

최
연구보고서

총
서

자주식 심토환경 개선기 개발

Development of Self-propelled Subsoiler

연구기관

주관연구기관 농촌진흥청 농업공학연구소
협동연구기관 국립산림과학원 산림생산기술연구소
위탁연구기관 성균관대학교

농림수산식품자료실



0014077

농림수산식품부

제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “자주식 심토환경 개선기 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2008 년 4 월 24일

주 관 연 구 기 관 명 : 농촌진흥청 농업공학연구소

총괄연구책임자 : 박 우 풍

제1세부연구책임자 : 박 우 풍

연 구 원 : 김상철, 김충길, 정인규,

연 구 원 : 성제훈, 정선옥, 장순우

연 구 원 : 박유성, 인원식, 정성근, 신기웅

위탁연구기관명 : 성균관대학교

위탁연구책임자 : 이규승

연 구 원 : 정병학, 이동훈, 조용진

참 여 기 업 명 : (주)일암

협동연구기관명 : 국립산림과학원

제2세부연구책임자 : 송태영, 김재원

연 구 원 : 박문섭, 김원극, 윤택승

요 약 문

I. 제 목

자주식 심토환경 개선기 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구 개발의 목적

본 연구의 목적은 과수 및 수목의 뿌리 생육을 촉진하고 고품질 과일생산에 적합한 토양환경 조성을 위하여 물 빠짐과 통기성을 증대시키는 심토개량을 목적으로 토양 중에서 압축공기를 폭기함과 동시에 토양개량제를 심토에 투입할 수 있는 자주식 심토 환경 개선기를 개발하는데 있다.

2. 연구 개발의 필요성

토양의 다짐은 농업기계 및 농작업자의 빈번한 통행과 강우 등으로 발생한다. 토양다짐은 트랙터와 이에 부착된 작업기에 의한 경운작업, 관리 작업, 그리고 수확작업 등에 의해 나타나며, 주 원인은 타이어에 의해 일어난다. 농기계 타이어의 정적, 동적 하중은 토양을 누르게 되며, 대부분의 토양 다짐은 동적 하중에 의해 발생한다. 또한, 차량의 통과횟수, 토양의 함수율, 타이어의 크기, 공기압, 슬립, 러그 등도 토양다짐에 영향을 미치는 요인이다.

과도한 토양 다짐은 토양밀도의 증가를 가져오고, 이에 따라 토양의 공극율이 작아져 토양중의 산소공급이 줄어든다. 또한, 물의 투과 특성과 보수 특성을 변화시켜 물이 토양 속으로 스며드는 것을 저지하게 되므로 물은 지표를 따라 토양 위로 흘러 토양의 침식을 증가시킨다. 토양 다짐은 이와 같이 작물과 환경에 다양한 형태로 영향을 미칠뿐 아니라 토양저항력을 증가시켜 뿌리성장을 방해하고 이로 말미암아 작물 수량이 줄어드는 결과를 가져온다.(Gill and Vanden Berg, 1967). Raghavan(1979)은 농기계류의 사용에 따른 토양 다짐과 곡물 생산량과의 관계에 관한 연구에서 토양 다짐은 수확량을 30~50 %까지 감소시킬 수 있다고 보고하였다.

과수원의 경우 과일 수확 작업시 까지는 방제작업을 비롯한 대형농기에 의해 여러 가지 관리 작업이 이루어진다. 이러한 작업들은 대부분 SS기 또는 트랙터와 같은 대형 농기계에

의해 이루어진다. 이 경우 농기계에 의한 토양의 다짐이 문제되고 있으며 시간이 흐를수록 토양 다짐정도는 심각한 지경에 이르게 되어 다져진 심토환경(통기성과 배수성)의 개선이 필수적이다. 최근 과수 재배농민들의 토양 환경 개선기에 대한 요구가 늘어나고 있으며, 이러한 추세는 계속 될 것이다.

토양 다짐에 대한 연구는 미국과 유럽 등지에서 활발히 진행되고 있으나 국내에서는 기계의 성능과 효율에 대한 연구에 비하여 토양다짐 이의 해결 방법에 대한 연구는 매우 저조한 실정이다. 그러나 국내에서도 대형 농기계의 사용이 증가되고, 그 크기가 대형화되고 있기 때문에 이에 따른 토양 다짐의 특성에 관한 계속적인 연구가 필요하다고 판단된다.

UR협상의 여파로 농산물의 수입자유화가 임박하고 발작물 소비량이 증가함에 따라 수익성이 떨어지는 벼농사 농가가 줄고 발작물 및 과수 재배농가가 점차 늘어나고 있다. 그러나 벼농사의 경우 1990년대 초반을 기점으로 상당한 기계화가 이루어졌으나 과수 기계화는 초기단계에 머무르고 있어 과수 기계화가 시급한 과제로 대두되고 있으며, 정부에서는 2010까지 총 1조 2천억 원의 FTA기금을 조성하여 과수산업에 중점지원 할 계획이다. (2004. 05 농림부)

우리나라 과실 재배면적은 2003년도 현재 245천ha이며 사과와 배의 경우 총 노동투하시간은 234시간/10a로, 이 중 관리 작업 141시간/10a로 전체의 60%를 차지하는 것으로 조사되고 있다. 병충해 방제작업을 제외한 거의 모든 작업이 기계화가 되어 있지 않고 특히 과수재배 중 토양관리 작업은 전적으로 인력에 의존하고 있으며, 노동 강도도 매우 높은 작업이고, 타 작물과 노동력 경합이 이루어지는 시기에 작업을 수행함으로써 농촌 노동력 부족을 가속화하고 있는 형편이다. 농촌진흥청에서 예측한 자료에 의하면 국제경쟁력을 유지하기 위해서는 소요노동력을 최소한 현재 소요노동력의 약 1/10이하로 줄이는 것이 필요하다고 예측하고 있다. 그러므로 인력에 거의 의존한 과수원의 토양관리 작업의 기계화가 매우 시급하며, 또한 반드시 이루어져야 할 과제이다.

우리나라 과수원의 토양관리는 경운기 트랙터 부착형 폭기식 심토파쇄기가 일부 보급되어 있으나 경사지에의 적응성이 낮고 과수원의 작업성이 좋지 않아 고성능의 기계화기술의 개발이 요구되고 있다.

국외의 경우는 과수원의 재배관리를 위한 주요작업의 기계장치에 대한 기초 연구와 더불어 실용화 연구를 통해 이미 자주식 토양 개선기가 개발되었으나, 과수원의 재배양식과 경사지에 적응토록 고가의 장비가 대부분으로 우리나라에 적용은 불가능하다. 따라서 공동이용 또는 임대작업이 편리하고 우리나라의 과수원의 과수재배여건에 적합한 심토 환경 개량기의 개발이 필요한 실정하다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

구분	연구개발목표	연구개발 내용 및 범위
1차년도	<ul style="list-style-type: none"> •자주식 심토환경 개선기 개발을 위한 실태 조사 및 분석 	<ul style="list-style-type: none"> - 과수기계 이용 실태 조사 분석 - 과수원의 심토관리 실태 및 적정심토환경 조사 - 선진국의 심토환경개선 기계자료 조사 - 과수 등 수목의 심토부 토양 물리성 조사분석 - 기계 설계인자 구명 및 개념설계 - 소요동력 계산 및 주행부 선정
(2005.05 ~ 2006.04)	<ul style="list-style-type: none"> •토양 침투 파쇄 및 유체 자동계량 주입부 설계, 인공토조시스템의 개조 	<ul style="list-style-type: none"> - 토양침투 및 파쇄부의 이론분석 및 설계. - 유체 자동계량 장치의 이론 분석 및 설계 - 토양 파쇄 침투부 및 유체자동계량장치의 요인실험을 위한 인공토조시스템의 개조
	<ul style="list-style-type: none"> •토양파쇄기 사용 효과 자료 수집 및 분석, 조사 항목 설정 	<ul style="list-style-type: none"> - 토양파쇄기 사용효과 자료수집 - 유실수, 정원수, 가로수의 생육토양환경조사 - 조사인자 설정, 기초조사

구분	연구 개발 목표	연구개발 내용 및 범위
2차년도 (2006.05 ~ 2007.04)	•실내 요인 실험장치 제작 및 성능시험	- 실내 요인실험용 토양 침투 파쇄 및 유체 자동계량 투입부 제작 - 인공토조시스템에서 요인실험장치의 성능실험
	•통합 시작기 설계제작 및 성능시험	- 분사장치 및 유체 주입량 조절장치 제작 - 토양 관입 및 파쇄부 제작 - 토양 파쇄, 유체 투입, 작업성능 검증 - 통합 시작기 구성 및 성능시험 - 통합 시작기의 파수원 적응시험 - 통합 시작기 안정성 분석 및 주행 성능시험
	•시작기 적용성시험	- 시작기 현지 적용성 시험(유실수, 정원수, 가로수) - 시작기 보완내용 도출

구분	연구 개발 목표	연구개발 내용 및 범위
3차년도 (2007.05 ~ 2008.04)	•주요작업부의 문제점 분석 및 개량보완	- 토양 침투 파쇄 및 유체 자동계량 투입부의 요인성 능실험 결과를 분석하고 문제점 도출 - 개량설계 및 제작 - 개량설계 주요부의 성능실험
	•통합 시작기 보완 제작 및 성능시험 (계속)	- 본체 제작 및 안정성, 주행성 시험 - 분사장치 및 유체 주입량 조절장치의 현장실험 - 개량통합시작기의 성능시험
	•시작기 현지적용성시험 및 작업방법 개발	- 시작기 임업 현지 적용성 시험 - 시작기 사용효과 분석 - 작업방법 개발

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구개발의 결과

본 연구는 과수 및 수목의 뿌리생육을 촉진하기 위하여 압축공기를 이용해 토양과채와 동시에 토양개량제를 투입함으로써 토양의 통기성, 배수성 그리고 동시에 전층시비효과를 증대시키고자 하였으며 기 보급된 동력경운기와 트랙터부착 심토환경개선기의 경사지주행 안전성, 작업편이성, 공동이용 편의성 제고를 위하여 자주식으로 연구 개발하였으며 연구결과는 다음과 같다.

가. 과수 및 수목의 토양관리 기계 이용실태 조사

과수 및 수목의 심토관리에 적합한 심토환경 개선기를 개발하기 위하여 현재 농가에서 사용되고 있는 작업기의 이용실태를 조사했다. 폭기식 심토과채기가 이용되는 현장을 중심으로, 현지 농가와 제조업체를 방문하여 작업기의 종류 및 작업 목적, 작업방법 등의 조사하여 현황과 문제점을 파악하고, 이후 개발되는 심토환경개선기의 설계에 반영하고자 했다.

수목의 심토관리에 사용되는 작업기는 대부분 폭기식이거나 구굴에 의한 퇴비구를 조성할 수 있는 기계들이었다. 그러나 동일한 폭기식 심토과채기를 사용하더라도 지형이나 영농환경에 따라 동력을 공급하는 원동기로 경운기, 트랙터, 관리기, 포크레인 등 여러 종류가 사용되고 있었으며 이용방법 또한 영농환경에 따라 다양하였다.

토양개량의 생력화를 위해서는 대부분의 농가가 폭기와 동시에 석회를 시용할 수 있는 기능을 필요로 하고 있었으나 분체통로의 막힘과 호퍼상 적체로 분체주입기능의 지속적 사용이 어려운 형편이며, 분체의 흡습정도나 통로의 막힘 상태에 따라 분출되는 석회량도 매우 가변적이며, 분사량도 부족한 것으로 나타났다. 작업기를 경운기나 트랙터의 후방에 장착했을 경우 선회반경이 3~5m이상으로 수목이 우거진 산림이나 과수원내에서 기동성 떨어지고 조작성이 어려운 것으로 나타났다. 또한 트랙터 3점 히치에 작업기를 장착할 경우 리프트 유압실린더의 단동구동 특성 때문에 폭기 노즐이 토양 중에 관입하는 동안 트랙터의 하중전이가 어려워 단단한 토양이나 관입부하가 크게 걸리는 토양에서는 별도의 고정장치가 필요한 것으로 나타났다.

수목의 심토환경을 관리하는데 발생하는 이러한 문제점을 해소할 수 있도록 작업기의 개선대책을 심토환경개선기의 설계에 반영하였다. 폭기식 심토개선 작업기가 자체의 동력

으로 움직일 수 있도록 자주형으로 개발하고, 기체의 길이는 가능한 짧게 하여 수목내에서 기동성을 높일 수 있도록 했다. 작업기의 주행부 설계시 주행부는 궤도형으로 하여 경사지 적응성을 높이고 제자리 선회기능을 부가하였다. 그리고 석회 등 토양개량제를 심토부에 주입하기 위하여 분체를 폭기장치 까지 원활히 공급할 수 있는 분체공급 호퍼 및 막힘방지 장치의 개발하여 적용하도록 했다.

나. 분뇨살포 기술에 관한 선행연구 조사

분말형 토양개량제를 지중에 주입하도록 설계된 시작기를 이용해 가축분뇨살포 가능성을 검토하였다. 가축 분뇨의 처리과정과 이용방법을 조사해 본 결과 가축 분뇨는 부식에 견딜수 있는 부품설계와 처리장치가 필요하고 운반차는 균일한 밀도의 점성액체를 이송하도록 특수하게 설계되어 있었다. 기계 장치의 구조나 특성이 심토환경 개선기의 살포구조와는 전혀 다른 방식을 이용하는 것으로 조사되어 개발중인 자주식 심토환경개선기로는 분뇨살포 겸용이 곤란할 것으로 판단되었다.

다. 과수원토양의 심토환경 측정 및 분석

다져진 토양에서는 일반 작물 뿐 아니라 과수의 뿌리 생육이 부진하며, 뿌리생육과 토양 관입저항 사이의 역학성을 규명한 연구에 의하면 대체로 1MPa까지는 뿌리의 생육에 지장이 없으나, 1- 1.5MPa부터는 토양의 저항으로 인해 뿌리의 생육에 장애가 발생하기 시작하며 2MPa 이상에서는 뿌리의 생육이 거의 불가능한 것으로 보고되고 있다. 특히 과수원의 심토는 과수의 생육과 과일의 품질에 직접적으로 관련이 있어 별도의 심토개선작업을 하지 않은 사과, 배, 복숭아 과원을 중심으로 토양의 다져진 상태를 조사해본 결과 대부분 토심 20~30cm이내에 경반층이 존재하고 있어 뿌리가 더 이상 작토 층 밑으로 자라기가 어려운 환경이었으며 이를 해소하기 위하여 경반층을 파쇄함과 동시에 토양개량제 투입이 필요한 것으로 판단되었다.

라. 자주식 심토환경 개선기 설계

폭기식 심토개선 작업기가 자체의 동력으로 움직일 수 있도록 15kW 공냉엔진을 탑재하여 자주형으로 개발하고, 기체의 길이는 가능한 짧게 하여 수목내에서 기동성을 높일 수 있도록 했다. 작업기의 주행부는 궤도형으로 하여 경사지 적응성을 높이고, 제자리 선회기능을 부가하여 공간이동이 용이하도록 하였다. 그리고 석회 등 토양개량제를 심토부에 주입

하기 위하여 분체를 폭기장치 까지 원활히 공급할 수 있는 분체공급 호퍼 및 막힘 방지장치를 개발하여 적용하였다.

폭기식 심토환경 개선기의 토양 관입장치는 에어해머, 관입봉, 분사노즐로 구성되며, 관입장치를 지지하고 수직관입을 유도하는 기구학적 구조로는 변형된 스콧-러셀 메카니즘(Scott-Russell mechanism)을 적용했으며, 직선 슬라이드는 링크로 연결된 공압 실린더를 이용했다. 토양개량제 동시투입을 위한 타이밍 장치는 공압 실린더 외벽에 부착하여 실린더의 움직임에 동기 되어 토양개량제가 동시에 땅속으로 분사되도록 했다.

폭기노즐을 토양속으로 관입시키는 공압 실린더의 수직에 대한 초기 설치각(AN)을 10도로 하고, 공압 실린더의 초기 장착 치수를 654mm, 링크절(X)의 길이를 413mm, 링크절(Y)의 길이를 285mm, 공압 실린더의 행정을 184mm로 했을 때 폭기노즐 지지대의 수직방향 운동변위는 수평면상에서 위쪽(상방향)으로 352mm, 아래쪽(하방향)으로 301mm를 이동하여 총 653mm의 관입깊이를 제어할 수 있도록 하였다.

마. 시작기 설계·제작 및 포장성능 시험

설계 요인 시험을 기초로 자주식 심토 환경 개선기를 설계 제작하였다. 탑재 엔진은 15kW(20ps) 공냉 가솔린 엔진을 사용하였으며, 주행부는 논용 운반차 및 SS기에 사용되는 무한궤도형 주행장치를 선발 하여 적용하였다. 당초의 심토 파쇄 깊이는 600mm로 설계되었으나 었다. 과수 및 수목원의 경반층 깊이가 대체로 400mm 내외이기 때문에 심토 파쇄 깊이를 500mm로 조정하여 사용할 수 있도록 제작 하였다.

기존의 토양개량제 자동계량 장치는 과립과 패화석은 가능하였으나 분말 석회의 경우는 1회 주입량이 불균일하고 양도 적을 뿐 아니라 잦은 막힘 현상 때문에 토양개량제 호퍼의 경사각을 60°에서 70°로 개량하고, 호퍼 모양은 사각에서 원뿔형으로 개량하였으며, 호퍼내부에 압축공기로 작동되는 교반기를 부착하여, 분말 토양개량제(석회)가 막히지 않고 1회 계량된 석회 양이 90cc이상이 전층에 시비가 가능하도록 개량 제작되었다.

궤도형 주행 장치를 이용한 시작기의 선회반경은 약 2.2~2.3m였고, 경사지 적응시험에서는 경사 22°까지 안전하게 주행이 가능하였다.

공기압축기의 성능은 사용압력 0.99Mpa/cm²까지 도달하는데 걸리는 시간은 약 1분이 소요되었으며, 압축공기 분사노즐이 심토파쇄 깊이 500mm내외까지 관입하는데 걸리는 시간은 평균10~20초, 폭기시간은 2~3초가 소요되어 심토파쇄 1회에 소요되는 시간은 약 1분20초가 소요되는 것으로 나타났다.

심토파쇄 폭기노즐을 약 500mm정도 타입 했을 때 파쇄직경은 토성 및 수분함량에 따라 차이가 있으나 약 3~4m내외로 나타났다. 따라서 농가에서 압축공기와 동시에 분말 토양개량제(석회)를 전층시비를 할 때 작업간격은 3~4m가 좋을 것으로 판단된다.

시작기의 경제성 분석 결과 자주식 심토 환경 개선기의 기계이용 비율은 442,410원/ha으로 트랙터 부착형 심토 환경 개선기 649,717원/ha 보다 약 32% 경비를 절감하는 효과가 있을 것으로 추산된다.

2. 활용에 관한 건의

과수와 수목의 뿌리 생육을 촉진하고 근권부의 심토환경을 개선할 목적으로 개발한 자주식 심토환경 개선기는 작업성능이나 운용효율 측면에서 작목반이나 공동이용 조직에서 활용하는 것이 바람직하다.

또한 농가 이용도의 제고와 효과적인 확대 보급을 통해 과수 농업의 노동력 절감과 경제력 강화에 도움을 주기위해서는 [농가 기계화 촉진법 제 4조]의 규정에 따라 지원되는 정부 자원 용자대상 기종에 포함하는 것이 필요하다.

그리고 자주식 심토 환경 개선기를 가동 운전하는데 필요한 연료는 면세를 공급 받을 수 있도록 면세유 공급대상 기종에 포함되어야 할 것으로 판단한다.

SUMMARY

This study was carried out to develop a self-propelled type explosive subsoiler for improving the root zone soil conditions in orchard and other forest fields. Prototype was designed to be able to inject air and other soil improving material such as lime into soil, and thus improve the air permeability and drainage of orchard soils to promote the root growth of tree for high quality fruit production.

Present usage status of orchard and forest management machinery, possibility of manure injection by subsoiler and deep soil hardness of several orchard field such as apple, pear, grape and peach field were investigated for designing a subsoiler. Specific results are as follows.

1. Utilization status of orchard and forest management machinery.

Most of the subsoil managing machinery were either explosive type or digging type for preparation of compost placing. Various types of prime mover such as power tiller, farm tractor and power shovel were used for supplying the power for explosive subsoiler depending on the farming conditions. Many of the farmers wanted to use the subsoiler which can put lime into soil and rupture soil at the same time. But most of the subsoiler have clogging problems of lime outlet and varying rate of discharge depending on the moisture absorbance status of lime. Thus this problems keep the discharge rate of lime low and make continuous operation of subsoiler for long time impossible. When a subsoiler was used as a attachment to the tractor or power tiller, turning radius of this machine was more than 3–5 m, and this makes impossible to use subsoiler in the orchard and woody forestry due to the handling problems and low maneuverability. Because the single acting hydraulic cylinder for tractor three point hitch system makes the weight transfer of tractor difficult during the soil penetration process of the air explosive nozzle, separate fixing system was needed for hard soil.

2. Investigation of precedent study for manure discharging.

Treatment and utilization of livestock manure was investigated to examine the possibilities of using explosive subsoiler to apply livestock manure into subsoil. Treatment facilities of livestock manure was needed for this purpose, and specially designed vehicle was used for transporting livestock manure. Different structural system from explosive subsoiler was used for applying the livestock manure in the soil. Thus it was concluded that explosive subsoiler developed in this study can not be used for application of livestock manure into subsoil.

3. Measurement and analysis of subsoil conditions in orchard.

Because subsoil conditions in orchard affect the growth of fruit trees directly, compaction study was carried out in the apple, pear and peach garden. Hard soil pan was formed for soil depth range of 20–30 cm under the surface soil and this hard soil layer impede the root growth of fruit trees. For improving the subsoil conditions in orchard, it was concluded that rupture of subsoil zone by subsoiler is needed with application of soil improving material such as lime.

4. Design of explosive subsoiler.

Dynamic analysis of explosive subsoiler was carried out using the three dimensional simulation model for examining the stability zone. Stability zone was 38.5 degree forward direction and 37.0 degree for side direction, and this value showed fairly wide range of stability zone but for the levelled surface, from the 15cm height of obstacle, the stability of prototype was not secured. Thus even in the security zone with the above range, for real situation with small obstacle in orchard or forest, stability of subsoiler can be worsen more. Stability zone from the stability test in sloped forest was a little smaller than that of the simulation results.

For the same vehicle, slope and soil density, simulation results showed that vehicle is safer on sandy loam than on dry sandy soil. The prototype was designed as self propelled type and overall length of the prototype was reduced as possible as to facilitate the maneuverability in the orchard and forests. Assuming the power

transmission efficiency as 80%, simulation results showed that power requirement for subsoiler was less than 14.6kw, thus 15kW air cooled engine was selected for providing power. Traction device of prototype was designed as track type to improve the slope adaptation ability and reduce the turning radius. Powder supplying hopper and clogging preventing device were developed and attached to the prototype for injecting the soil improving material such as lime into subsoil zone.

Soil penetration device of explosive subsoiler is composed of air hammer, penetration rod and injection nozzle. To support the soil penetration device of explosive subsoiler and to penetrate the nozzle vertically, modified Scott–Russel mechanism was used. Timing control device for simultaneous injection of soil improving material with air was attached to the out side wall of air cylinder and as the cylinder move, the soil improving material was injected into soil at the same time.

5. Construction of prototype and field performance test.

Depth for soil rupture was set as 500 mm considering the soil hard pan depth, generally 30 cm, of orchard and forest. It was possible to use the grain type soil improving material for automatic metering device of conventional explosive subsoiler, but when using the lime, there was clogging problems and the input volume of lime per cycle was less than 100cc. To resolve this problem, inclination angle of lime hopper was increased from 60 degree to 70 degree and the shape of hopper was changed from rectangular cone to circular cone. Agitating system operated by compressed air was attached to the metering device of the prototype, thus more than 90 cc of lime was passed per cycle of metering device without clogging problems.

Turning radius of prototype was 2.2–2.3 m and safe inclination angle for prototype was 22 degree. It tooks approximately 1 minute for lime injection system to reach the optimum pressure of 0.99 Mpa/cm², average 10–20 seconds were required to a soil rupture depth of 500mm and 2–3 seconds were required for explosion, so all in all about 1 minute and 20 seconds were required for one cycle of explosion. Maximum soil rupture depth and radius were 50 cm and 3–4 m respectively depending on the soil type and soil moisture content.

6. Cost analysis for prototype.

The cost of operating prototype was 442,410 won/ha. Prototype was able to save 32% of operating cost compared that of the operating cost of tractor attachment type subsoiler, 649,717 won/ha.

7. Performance and application test for forestry.

A series of application and performance test of prototype for forestry was carried out using Silver Apricot, Chinese Fringe Tree and Korean Stewartia. Growth, material production and chlorophyll content of seedling of Silver Apricot, Chinese Fringe Tree and Korean Stewartia were measured and compared between two groups of treatments: no treatment and subsoiling treatment with prototype. Height growth of seedlings in subsoiling treatment field was two times compared with that of the seedling height in no treatment field. Root growth and material production of silver Apricot seedling in subsoiling treatment field were much higher than that of the seedling in no treatment field. For chestnut tree, there was not so much difference in height growth between two treatment fields but root growth in subsoiling treatment field was 7 % higher compared with that in no treatment field.

From the above results it was concluded that using the explosive subsoiler can not only increase the productivity of fruit trees but also shorten the duration of seedling production. From the adaptation test for sloped mountainous areas, it was found that for more effective use of prototype in these areas, it is needed to improve the mobility of the prototype by increasing the height clearance.

CONTENTS

Chapter 1. Introduction	31
Section 1. Objectives of the project	31
Section 2. Background of the project	31
Chapter 2. Domestic & overseas states of the technical development	32
Section 1. Domestic & overseas status of the technical development	32
Section 2. Present Background of the project	32
Section 3. Prospects of technical development	32
Section 4. Validity for introducing foreign technology	33
Chapter 3. Contents & results of the project	34
Section 1. Surveys on sub-soil management system in Korea	34
1. Materials and methods	34
2. Results and discussion	34
3. Summary and conclusion	38
Section 2. Possibilities for applying livestock manure by subsoiler	39
1. Utilization and treatment of livestock manure	39
2. Present status of treatment facilities for livestock manure	39
3. Livestock manure application in orchard.	40
A. Application in apple orchard.	40
B. Application in pear orchard.	41
4. Conclusion.	43
Section 3. Measurement and analysis of subsoil conditions in orchard.	44
1. Materials and methods	44
A. Measurement of subsoil conditions in orchard.	44
B. Analysis of subsoil hardness in orchard.	45

2. Results and discussion	45
3. Conclusion.	49
 Section 4. Design of self propelled subsoiler.	5
1. Soil rupture theory by compressed air.	5
A. Soil rupture energy for pore formation.	50
2. Compressed air nozzle and automatic metering device for soil rupture system.	5
A. Construction of explosive subsoiler.	54
B. Link system for soil penetration nozzle.	55
C. Automatic metering of soil improving material and injection timing.	59
D. Summary and conclusion.	60
3. Stability analysis for self propelled subsoiler.	6
A. First stability analysis.	61
B. Second stability analysis.	64
4. Power requirement and traction device.	6
A. Traction prediction.	67
B. Parameters for traction prediction.	68
C. Application for real model.	68
5. Results and discussion.	72
 Section 5. Design factor analysis for prototype.	7
1. Specifications for experimental device.	7
2. Preparatory running performance test.	7
A. Materials and methods.	73
B. Results and discussion.	74
C. Conclusion.	74
3. Test of automatic metering system for soil improving powder.	7
A. Materials and methods.	74
B. Performance test for automatic metering system.	7
C. Results and discussion.	75
D. Conclusion.	76

4. Improvement of soil improving powder(lime) clogging problems.	76
A. Modification of hopper.	76
B. Design factor test for metering system.	77
C. Desing and construction of clogging preventing device.	79
D. Results of field test.	79
 Section 6. Construction of prototype.	80
1. Integrated design and construction of prototype.	80
A. Structure of prototype.	80
B. Specification.	82
 Section 7. Performance test of prototype.	8
1. Test method.	83
A. Injection test of soil improving powder.	83
B. Spreading test of soil improving powder.	83
2. Results and discussion.	85
A. Field performanc test of subsoiler.	85
B. Soil rupture and spreading of soil improving powder.	88
3. Conclusion.	89
 Section 8. Performance and application test for forestry.	8
1. Growth investigation for selected trees.	90
A. Seedling.	90
B. Fruit tree.	94
C. Garden tree.	95
2. Performance test of prototype in forest.	100
A. Running test in slope.	100
B. Machine capacity test.	100
3. Conclusion.	102

Section 9. Economical analysis of prototype.	103
1. Cost for machine use.	103
Section 10. Summary and conclusion.	104
1. Utilization status of orchard and forest management machinery.	104
2. Investigation of precedent study for manure discharging.	105
3. Measurement and analysis of subsoil conditions in orchard.	105
4. Design of explosive subsoiler.	105
5. Construction of prototype and field performance test.	106
6. Cost analysis for prototype.	107
7. Performance and application test for forestry.	107
Chapter 4. Objective achievement & contribution.	108
1. Objective achievement.	108
2. Self-evaluation for objective achievement.	110
3. Contribution to the related area.	110
Chapter 5. Application plan of the project results.	112
1. Need for additional researches.	112
2. Application of the project results.	112
3. Commercialization plan for the prototype.	112
Chapter 6. Overseas technical information.	113
Section 1. Present status of soil management machinery in orchard.	113
1. Present status of fruit tree culture in Japan.	113
2. Research in fruit tree culture in Japan.(soil management)	113
3. Agricultural machinery for fruit tree culture in Japan.	115
4. Soil management of forest in Japan.	117
Chapter 7. References.	119

Chapter 8. Appendix.	121
Section 1. Application of subsoiler.	121
1. Names of each part.	121
2. Operating procedure for subsoiler.	126
3. Operating methods and safety notice.	130

목 차

제 1장 연구개발 과제의 개요	31
제 1절 연구의 목적	31
제 2절 연구개발의 필요성	31
제 2장 국내외 기술개발 현황	32
제 1절 국내외 기술현황	32
제 2절 현 기술상태의 취약성	32
제 3절 앞으로의 전망	32
제 4절 기술도입의 타당성	33
제 3장 연구개발 수행내용 및 결과	34
제 1절 과수 및 수목의 심토관리기계 이용실태조사	34
1. 조사 배경 및 방법	34
2. 조사내용 및 결과	34
3. 요약 및 결론	38
제 2절 자주식 심토환경 개선기로 분뇨살포 겸용 검토	39
1. 가축분뇨의 처리와 이용	39
2. 가축분뇨 처리시설 설치현황	39
3. 과수원에 가축분뇨 시용	40
가. 사과 과수원	40
나. 배 과수원	41
4. 결론	43
제 3절 과수원토양의 심토환경 측정 및 분석	44
1. 재료 및 방법	44
가. 과수원 토양의 심토 환경 측정	44
나. 과수원 심토부의 토양경도 분석	45

2. 결과 및 고찰	45
3. 결론	49
제 4절 자주식 심토환경 개선기 설계	50
1. 압축공기에 의한 토양 파쇄이론	50
가. 공극형성을 위한 토양파쇄 에너지	50
2. 심토파쇄기의 압축공기 분사노즐의 토양관입 및 토양개량제 자동 계량부	54
가. 압축공기를 이용한 심토환경 개선기 구성	54
나. 분사노즐의 토양 관입장치의 링크구조	55
다. 토양개량제 자동계량 및 분사시기	59
라. 결과 요약	60
3. 자주식 심토환경 개선기 본체의 안전성 분석	61
가. 시작기의 안정성 분석(1차)	61
나. 시작기의 안정성 분석(2차)	64
4. 소요 동력 계산 및 주행부 선정	67
가. 견인성능 예측	67
나. 견인력 예측의 변수	68
다. 실제 모형에 적용	68
5. 결과 및 고찰	72
제 5절 시작기 기능별 요인시험	73
1. 요인시험장치 제원	73
2. 주행예비 성능시험	73
가. 재료 및 방법	73
나. 결과 및 고찰	74
다. 결과요약	74
3. 토양개량제 자동계량 시험	74
가. 재료 및 방법	74
나. 토양개량제 계량시험 요인시험	75
다. 시험결과 및 고찰	75
라. 결론	76

4. 분말 토양개량제(소석회) 막힘장치 개량	76
가. 호퍼 개량보완	76
나. 토양개량제 막힘해소 장치 개량요인 시험	77
다. 분말 토양개량제 막힘해소장치 설계제작(특허)	79
라. 현장포장 시험결과	79
제 6절 시작기 제작	80
1. 시작기 통합설계 제작	80
가. 시작기 구조	80
나. 제원	82
제 7절 시작기 성능 시험	83
1. 시험 방법	83
가. 토양개량제 계량 투입시험	83
나. 자주식 심토환경 개선기 성능 및 토양개량제 확산정도 조사	83
2. 결과 및 고찰	85
가. 자주식 심토 환경 개선기 포장 성능시험	85
나. 심토파쇄 및 분말 토양개량제(석회)의 투입상태	88
3. 결론	89
제 8절 자주식 심토환경 개선기에 대한 임업의 현지적용 및 성능시험(협동과제)	89
1. 임목의 생육상황조사	90
가. 묘목	90
나. 유실수	94
다. 조경수 및 정원수	95
2. 심토환경 개선기 현지적용 시험	100
가. 주행 및 등판성능 시험	100
나. 작업능률 시험	100
3. 요약 및 결론	102

제 9절 시작기 경제성 분석	103
1. 기계이용 비용	103
제 10절 요약 및 결론	104
1. 과수 및 수목의 토양관리 기계 이용실태조사	104
2. 분노 살포 기술에 대한 선행연구 조사	105
3. 과수원 토양의 심토환경 측정 분석	105
4. 자주식 심토환경 개선기 설계	105
5. 시작기 설계제작 및 포장 성능시험	106
6. 시작기의 경제성분석	107
7. 자주식 심토환경 개선기에 대한 임업의 현지 적용 및 성능 시험	107
제 4장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	108
1. 목표달성도	108
2. 평가의 착안점에 따른 목표달성도 자체평가	110
3. 관련분야에의 기여도	110
제 5장 연구개발결과의 활용계획	112
1. 추가연구의 필요성	112
2. 타 연구에의 응용	112
3. 기업화 추진방안	112
제 6장 연구개발과정에서 수집한 해외 과학기술정보	113
제 1절 과수원 토양관리 기계기술 현황	113
1. 일본의 과수재배 현황	113
2. 일본의 과수재배연구(토양관리)	113
3. 일본에서 이용되고 있는 과수재배 농기계	115
4. 일본의 수목의 토양관리 연구	117
제 7장 참고문헌	119

제 8장 부록	121
제 1절. 자주식 심토환경개선기의 사용법	121
1. 각부의 명칭	121
2. 심토환경 개선기 작동순서	126
3. 작업방법 및 안전주의사항	130

< 표 차례 >

표 3-1 국내 과수 및 수목 심토관리 기계 이용실태	36
표 3-2 과수원 심토과쇄 동시 전층시비기 문제점 및 개선방안	37
표 3-3 토양 검정에 의한 사과 과수원의 질소 시비량(원예연구소) (단위 : kg/10a)	44
표 3-4 토양 검정에 의한 배 과원의 질소 시비량 (단위 : kg/10a)	44
표 3-5 돈분 액비의 화학성 (단위 : %)	44
표 3-6 돈분액비 시용 후 악취도 조사 (농촌진흥청)	44
표 3-7 토양 침투수 중 화학성분(경기도 농업기술원) (단위 : mg/L)	44
표 3-8 기존 심토환경 개선기의 분사 노즐 관입깊이	58
표 3-9 기존 심토환경 개선기 요인 시험장치의 토양개량제 분사시기 계산 예	60
표 3-10 토양속성	66
표 3-11 Terrain values	71
표 3-12 요인시험장치 제원	73
표 3-13 경사주행시험 광경	74
표 3-14 토양과쇄 정도 예비시험	74
표 3-15 토양개량제 물성 [A (과립 소식회), B (해동, 패화석), C (분말, 소식회)]	57
표 3-16 토양개량제 종류별 계량 시험결과 (단위 : g)	58
표 3-17 토양개량제 막힘 해소 요인시험 장치	78
표 3-18 석회 계량시험(계량장치 제작 실내시험)	88
표 3-19 시작기 제원	82
표 3-20 시험에 사용한 시작기의 제원	84
표 3-21 각부 성능	86
표 3-22 심토과쇄 깊이 및 과쇄직경	86
표 3-23 처리구별 성장 특성 및 물질생산량	91
표 3-24. 처리구별 엽록소 함량 비교	92
표 3-25. 엽록소 형광반응 측정치	93
표 3-26. 심토환경 개선기 처리에 따른 매실나무의 엽록소 함량 비교	99
표 3-27 요소작업 시간조사 내역	102
표 3-28 가계이용 비용	103
표 6-1 일본 과수재배 농기계	115
표 6-2 보행형 압축공기를 이용한 심토환경 개선기의 핵심기술(교리쓰사)	116

<그림 차례>

그림 3-1 가축분뇨 처리·이용의 흐름도	39
그림 3-2 사과 밭에서의 깊이에 따른 토양경도 특성	46
그림 3-3 배 밭에서의 토양깊이에 따른 경도 특성	47
그림 3-4 복숭아 밭에서 토양깊이에 따른 경도 특성	47
그림 3-5 포도밭(논토양)에서의 토양깊이에 따른 경도 특성	48
그림 3-6 포도밭에서의 토양깊이에 따른 경도 특성	49
그림 3-7 공극형성을 위한 토양 파괴 개략도 (a) 3차원 토양파괴; (b) 그림 (a)의 단면 J-J	51
그림 3-8 폭기식 심토파쇄장치의 관입부	55
그림 3-9 폭기노즐의 수직관입을 위한 링크 기구	56
그림 3-10 토양개량제 계량 및 축 회전(S각) 기구	9
그림 3-11 본체의 2차원 모델링 I	61
그림 3-12 본체의 3차원 모델링 II	61
그림 3-13 동력학적인 해석의 결과를 통하여 안정성 여부를 진단	63
그림 3-14 시뮬레이션을 통한 안정영역	64
그림 3-15 시작기 2D 모델링	64
그림 3-16 시작기 3D 모델링	65
그림 3-17 동력학적인 해석의 결과를 통하여 안정성 여부를 진단	65
그림 3-18 시뮬레이션을 통한 안정영역	66
그림 3-19 Mohr-Coulomb failure criterion	66
그림 3-20 Shearing action of a track	69
그림 3-21 계량장치 시험 광경	75
그림 3-22 토양개량제 계량장치	75
그림 3-23 토양개량제(3종)	75
그림 3-24 다짐 현상	76
그림 3-25 막힘 현상	76
그림 3-26 공급되는 구멍	76
그림 3-27 개량전 (경사각 : 60° 용량 : 27,130cm ³)	77

그림 3-28	개량 후 (경사각 : 70° 용량 : 11,780cm ³)	77
그림 3-29	피스톤식 (A)	8
그림 3-30	시험 광경	78
그림 3-31	교반기+오거식 (B)	8
그림 3-32	시험광경	78
그림 3-33	에어 진동식(C)	8
그림 3-34	시험광경	78
그림 3-35	분말 토양개량제 막힘해소장치	79
그림 3-36	통합시스템의 구성	80
그림 3-37	자주식 심토환경개선기의 주행부	81
그림 3-38	심토파쇄 및 토양개량제 투입부	81
그림 3-39	토양개량제 계량부	82
그림 3-40	토양개량제 계량시험 장치와 시험광경	83
그림 3-41	시험에 사용한 시작기의 구조	84
그림 3-42	각부 성능을 조사를 위한 센서 부착도	85
그림 3-43	토양파쇄현상(CL, 30% d.b. 경심50cm, 직경2.6m)	78
그림 3-44	토양파쇄현상(SL, 28% d.b. 경심45cm, 직경3.0m)	78
그림 3-45	토양파쇄현상(L, 32% d.b. 경심50cm, 직경4.5m)	88
그림 3-46	토양파쇄 및 석회 확산 현상	88
그림 3-47	묘포장에서의 심토 개선기 현지적용 시험 (경운기용 심토 개선기)	9
그림 3-48.	심토환경개선기 처리에 따른 묘목의 생장특성(좌; 무처리구, 우; 처리구)	29
그림 3-49.	조사시기별 수고생장 변화	95
그림 3-50.	조사시기별 근원경 생장 변화	95
그림 3-51.	조경수 식재지의 심토환경 개선기 적용 시험	96
그림 3-52	조사시기별 근원경 생장 변화	97
그림 3-53.	조사시기별 흉고직경 생장 변화	97
그림 3-54	조사시기별 수고 생장 변화	98
그림 3-55.	정원수 심토환경 개선기 처리광경	98
그림 3-56.	심토환경 개선기 처리에 따른 매실나무 광합성 특성 비교(● 무처리구 ○ 처리구)	99
그림 3-57.	경사지 주행시험 광경(좌 : 10도 내외, 우 : 22도 내외)	0

그림 3-58. 경운기 부착용 심토 개선기 작업능률 시험	101
그림 3-59. 심토환경개선기의 작업범위 모식도	101
그림 6-1 과수 나무뿌리 주위 환경의 해석과 개선연구	114
그림 6-2 배, 복숭아의 생리기구의 해석과 제어기술개발	114
그림 6-3 토양다짐과 심토환경개선	114
그림 6-4 토층별 뿌리 분포량의 변화(기술보급센터)	114
그림 8-1 자주식 심토환경 개선기 명칭(우)	121
그림 8-2 자주식 심토환경 개선기 명칭(좌)	122
그림 8-3 각 조작부 및 패널	123
그림 8-4 무한레도 인장도 조절	124
그림 8-5 토양개량제(석회) 넣기	125
그림 8-6 시동시 변속레버 위치	126
그림 8-7 작업조작 패널	126
그림 8-8 엔진조작부	127
그림 8-9 브레이크 페달(좌 : 잠김, 우 : 풀림)	128
그림 8-10 이동주행 변속레버 위치	128
그림 8-11 작업주행 변속레버 위치	129
그림 8-12 작업조작 패널(작동 양함 : 노즐 압출)	130
그림 8-13 작업조작 패널(투입 깊이 : 60cm)	131
그림 8-14 노즐압출, 투입상태	132
그림 8-15 청소용 에어건	134

제 1장 연구개발 과제의 개요

제 1절 연구의 목적

본 연구의 목적은 우리나라 과수원의 재배조건, 포장 및 토양상태 등에 대한 이용조건을 충분히 고려한 자주식 심토 환경개선기의 개발에 있다.

제 2절 연구개발의 필요성

우리나라 과실 재배면적은 2003년도 현재 245천ha이며, 사과와 감의 경우 총 노동투하시간은 234시간/10a로, 이 중 관리 작업이 141시간/10a로 전체의 60%를 차지하는 것으로 조사되고 있다. 병충해 방제작업을 제외한 대부분의 작업이 기계화가 되어 있지 않고 특히 과수재배 중 토양관리 작업은 전적으로 인력에 의존하고 있으며, 노동 강도도 매우 높은 작업이고, 타 작물과 노동력 경합이 이루어지는 시기에 작업을 수행함으로써 농촌 노동력 부족을 가속화하고 있는 형편이다. 농촌진흥청의 분석 자료에 의하면 과수산업이 국제 경쟁력을 유지하기 위해서는 소요노동력을 현재 소요노동력의 약 1/10이하로 줄이는 노력이 필요한 것으로 판단하고 있다. 그러므로 대부분 인력에 의존하고 있는 과수원의 토양관리 작업은 기계화가 매우 시급하다 할 수 있으며, 또한 반드시 이루어져야 할 과제이다.

우리나라 과수원의 토양관리는 경운기 트랙터 부착형 폭기식 심토파쇄기가 일부 보급되어 있으나 경사지에의 적응성이 낮고 과수원의 작업성이 좋지 않아 고성능의 기계화기술의 개발이 요구되고 있다.

국외의 경우는 과수원의 재배관리를 위한 주요작업의 공정에 대한 기계장치의 기초 연구와 더불어 실용화 연구가 진행되어 왔으며, 토양 관리도 대형 자주식 토양 개선기를 개발활용하고 있다. 그러나 나라마다 과수의 재배양식이 서로 다르고 경사지에 적응토록 대형고가의 장비가 대부분이기 때문에 우리나라에 그대로 직접 적용하는 것은 불가능하다. 따라서 우리나라과수원의 과수재배여건에 적합한 심토 환경 개량기의 개발이 필요한 실정이다.

제 2장 국내외 기술개발 현황

제 1절 국내외 기술현황

국내에서는 트랙터 부착형 폭기식 심토파쇄기와 경운기부착형 심토파쇄기가 일부 보급되고 있으나 경사지 과수원의 적응성이 부족하고, 선회 작업시 선회반경이 크므로 기동성이 제약을 받아 수목 내에서의 작업에 많은 어려움을 겪고 있다. 또한 견인식 심토파쇄기를 이용하는 경우도 있으나 수목 뿌리로 인한 장애가 심하고 뿌리의 손상이 불가피하며 수목에 가까운 부분까지 파쇄하기가 어렵다.

제 2절 현 기술상태의 취약성

구미 나 일본에서 개발되어 사용되고 있는 심토 개선기는 우리나라 과수원의 토성, 경사도 등을 고려했을 때 적합하지 않은 것으로 판단된다. 우리나라의 토양은 일본이나 구미 지역에 비해 토양의 강도가 큰 사양토가 대부분이며 과수원의 경우 자갈 또한 많이 포함하고 있다. 우리나라에서 개발되어 사용될 수 있는 심토 환경 개선기는 경사지에서도 기동성 있게 사용될 수 있어야 하고, 자갈이 많고 토양강도 큰 과수원에서의 적응성도 좋은 기종이 개발되어야 한다. 따라서 주행부 및 작업부의 구성도 이에 적합하게 설계되어야 하나 국내에서는 아직 이에 대한 연구가 전무한 상태이다. 구미 또는 일본에서 사용되고 있는 작업 및 주행부는 경사정도 및 포장조건이 다르므로 구성상 그대로 사용하기에는 많은 문제점이 있는 것으로 판단된다.

제 3절 앞으로의 전망

농촌노동력의 감소에 대응하고, 농산물시장 개방에 따른 우리 농산물의 국제경쟁력을 강화시키기 위해서는 생력화와 생산비절감을 위한 과수원 작업의 기계화가 필수적이다. 특히 기계화가 미진하고, 대부분 인력에 의존하고 있는 과수산업의 경우 기계화에 대한 기초기술의 축적과 경험이 매우 중요할 것으로 보인다.

과수원의 경우 과일 수확작업 때까지 많은 방제작업을 비롯해 농기계를 이용한 관리 작

업이 이루어진다. 이러한 작업들은 SS기 또는 트랙터 등 대부분 대형 농기계에 의해 이루어진다. 이 경우 대형농기계에 의한 반복적인 토양 다짐은 심토 물리성의 악화원인이 되고 있으며, 시간이 흐를수록 토양 다짐정도는 심화되어 가는 경향이며 정상적인 재배환경의 조성을 위해서는 다져진 심토의 물리성(통기성과 배수성) 개선이 필수적이다. 이러한 이유로 최근 과수 재배농민들의 토양 환경 개선기에 대한 요구가 늘어나고 있으며, 이러한 추세는 계속 될 것이다. 이러한 과수재배 현장의 애로를 해소하기 위하여 개발한 한국형 심토환경 개선기는 과수 근권부의 토양환경을 개선하여 과일의 품질 및 가격 경쟁력을 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라, 가로수와 조경수 등의 근권환경을 조성하기 위한 심토관리 작업에도 매우 효과적일 것으로 예상된다.

제 4절 기술도입의 타당성

우리나라에 적용될 수 있는 심토 환경 개선기는 경사지나 소규모 포장에서 기동성 있게 사용될 수 있어야 하고, 강도가 높은 토양이나 자갈 등이 혼재하며 굳어진 퇴적토나 산간지 토양에도 사용이 가능하도록 개발되어야 한다. 따라서 기구부의 구성도 이에 적합하게 설계되어야 하나 국내에서는 아직 이에 대한 연구가 전무한 상태이며, 구미 또는 일본에서 사용되고 있는 기구부는 구성상 그대로 사용하기에는 많은 문제점이 있는 것으로 판단되며, 국내 기술진에 의해 국내의 실정에 적합한 자주식 심토 환경 개선기를 개발하여야 한다.

제 3장 연구개발 수행내용 및 결과

제 1절 과수 및 수목의 심토관리기계 이용실태조사

1. 조사 배경 및 방법

과수나 수목이 성장하는 동안 발생하는 토양의 다짐은 강우나 토질에 따라 자연적으로 발생하기도 하지만 대부분 농기계 및 농작업자의 빈번한 통행으로 점차 경도가 증가해 간다. 특히 고하중의 트랙터와 이에 부착된 작업기에 의한 경운작업, 관리 작업, 그리고 수확 작업 등의 동적 하중에 의해 발생한다.

과수 및 수목의 뿌리 생육을 촉진하고 고품질 과일생산에 적합한 토양환경 조성을 통한 영양공급과 물 빠짐 및 통기성을 증대시키기 위해서는 근권부의 심토개량은 필수적이라 할 수 있다.

우리나라 과수원에서 토양관리를 위해 사용하는 작업기는 경운기 또는 트랙터 부착형 폭기식 심토파쇄기가 대부분이다. 견인식 심토파쇄기는 자갈과 돌이 많은 산간지 토양에 적응력이 떨어지고 과수의 뿌리에 의한 과부하 발생 등과 같은 진행 장애가 크기 때문에 잘 이용하지 않는 경향이다.

우리나라의 영농환경에 적합한 심토환경 개선기를 개발하기 위하여 과수 및 수목의 심토관리에 사용되고 있는 작업기의 이용실태를 조사했다. 조사대상은 중남부지역의 사과, 복숭아, 포도, 밤 등의 과수원과 폭기식 심토파쇄기가 주로 이용되는 현장으로 했으며, 현지 농가를 방문하여 심토환경 개선을 위해 사용하는 작업기의 종류 및 작업목적, 작업방법 등의 조사를 통해 현재 사용되는 심토관리방법의 현황과 문제점을 파악하고, 이후 개발되는 심토환경개선기의 설계에 반영하고자 했다.

2. 조사내용 및 결과

수목의 심토관리에 사용되는 작업기는 대부분 폭기식이거나 구굴에 의한 퇴비구를 조성할 수 있는 기계들이었다. 그러나 동일한 폭기식 심토파쇄기를 사용하더라도 지형이나 영농환경에 따라 동력을 공급하는 원동기가 경운기, 트랙터, 관리기, 포크레인 등 종류가 다양

하였으며, 작업조건에 따라 작업기를 부착하는 방법이나 기능도 여러 가지 형태로 나타났
다. 또한 작업기의 사용 목적도 배수, 시비, 지주목 설치 등 여러 가지 용도로 활용하고 있
었다. 폭기와 동시에 석회를 시용할 수 있는 장치들도 있었으나 분체통로의 막힘으로 지속
적 사용이 어려운 형편이며, 분체의 흡습정도나 통로의 막힘 상태에 따라 분출되는 석회량
도 매우 가변적이며, 분사량도 부족한 것으로 나타났다.

표 3-1. 과수원 심토파쇄 동시 전층시비기 문제점 및 개선방안

	기 종	농 작 업	조사결과
방 제 작 업		농약 살포, 전정, 수확운반	○ 최근농약살포 10회 내외 (종전 15회 이상)
토 양 관 리		○ 다목적 관리기부착작업 - 압축공기분사 토양파쇄 (깊이: 40cm) - 전정, 지주목 설치구 혈공	○ 인삼, 과수농가에 일부보급 ○ 보급대수 : 200대 ○ 현재 보급중단
		○ 동력경운기(10ps이상)부착 - 과수원 및 수목의 심토 파쇄 및 석회 주입 - 장마 후 배수촉진	○ 300여대 보급(공동이용) - 석회 동시 투입이 가능함 - 공동이용시 본체에 공기 압축기 부착이 어려우며 선회반경이 큼
		○ 트랙터 부착작업 - 과수원 및 수목의 심토 파쇄 및 석회 주입 - 150여대 보급	○ 주문제작 보급 중 - 석회 동시 투입이 가능함 - 소규모 과수농가는 트랙터 보유농가가 없어 이용불편
		○ 소형 트랙터 부착작업 - 압축공기로 심토파쇄전용 - 1000여대 보급	○ 석회 동시 투입이 안됨
		○ 포크레인 부착작업 - 수목의 토양관리 - 비료주입 가능	○ 국립산림과학원 산림생산기술연구소 개발 - 수목 관리용 작업기
		○ 트랙터 부착작업 - 과수원의 구굴작업 후 퇴비사용	○ 가격 : 405만원, 80대 보급 - 퇴비는 인력으로 투입 - 단금효과가 더 있음.

표 3-2. 과수원 심토파쇄 동시 전층시비기 문제점 및 개선방안

문제점	개선방안
<ul style="list-style-type: none"> ○ 작업기를 경운기나 트랙터의 후방에 장착했을 경우 선회반경이 커 수목이 우거진 산림이나 과수원내에서 기동성 떨어짐 ○ 트랙터 3점하치 장착의 경우 리프트의 단동구동 특성으로 노즐의 토양 관입시 하중전이가 어려움 ○ 폭기와 동시에 석회를 살포할 경우 분체의 막힘현상 발생으로 발포량이 부족하거나 살포자체가 되지않음. - 살포 기준량: 20~30kg/10a 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 작업기가 자체의 동력으로 움직일 수 있도록 자주형으로 개발하고, 기체의 길이는 가능한 짧게 하여 수목내에서 기동성을 높임 ○ 작업기의 주행부 설계시 주행부는 궤도형으로 하여 경사지 적응성을 높이고 제자리 선회기능을 부가하여 기동성을 높임 ○ 석회 등 토양개량제를 심토부에 주입하기 위하여 분체를 폭기장치 까지 원활히 공급할 수 있는 분체공급 호퍼 및 막힘방지장치의 개발.
 <p style="text-align: center;">경운기 장착식 심토파쇄기</p>	 <p style="text-align: center;">트랙터 장착식 심토파쇄기</p>

3. 요약 및 결론

과수 및 수목의 심토관리에 적합한 심토환경 개선기를 개발하기 위하여 현재 농가에서 사용되고 있는 작업기의 이용실태를 조사했다. 폭기식 심토파쇄기가 이용되는 현장을 중심으로, 현지 농가와 제조업체를 방문하여 작업기의 종류 및 작업 목적, 작업방법 등의 조사하여 현황과 문제점을 파악하고, 이후 개발되는 심토환경개선기의 설계에 반영하고자 했다.

수목의 심토관리에 사용되는 작업기는 대부분 폭기식이거나 구굴에 의한 퇴비구를 조성할 수 있는 기계들이었다. 그러나 동일한 폭기식 심토파쇄기를 사용하더라도 지형이나 영농환경에 따라 동력을 공급하는 원동기로 경운기, 트랙터, 관리기, 포크레인 등 여러 종류가 사용되고 있었으며 이용방법 또한 영농환경에 따라 다양하였다.

토양개량의 생력화를 위해서는 대부분의 농가가 폭기와 동시에 석회를 시용할 수 있는 기능을 필요로 하고 있었으나 분체통로의 막힘과 호퍼상 적체로 분체주입기능의 지속적 사용이 어려운 형편이며, 분체의 흡습정도나 통로의 막힘 상태에 따라 분출되는 석회량도 매우 가변적이며, 분사량도 부족한 것으로 나타났다. 작업기를 경운기나 트랙터의 후방에 장착했을 경우 선회반경이 3~5m이상으로 수목이 우거진 산림이나 과수원내에서 기동성 떨어지고 조작이 어려운 것으로 나타났다. 또한 트랙터 3점히치에 작업기를 장착할 경우 리프트 유압실린더의 단동구동 특성 때문에 폭기노즐이 토양 중에 관입하는 동안 트랙터의 하중전이가 어려워 단단한 토양이나 관입부하가 크게 걸리는 토양에서는 별도의 고정장치가 필요한 것으로 나타났다.

수목의 심토환경을 관리하는데 발생하는 이러한 문제점을 해소할 수 있도록 작업기의 개선대책을 심토환경개선기의 설계에 반영하였다. 폭기식 심토개선 작업기가 자체의 동력으로 움직일 수 있도록 자주형으로 개발하고, 기체의 길이는 가능한 짧게 하여 수목내에서 기동성을 높일 수 있도록 했다. 작업기의 주행부 설계시 주행부는 궤도형으로 하여 경사지 적응성을 높이고 제자리 선회기능을 부가하였다. 그리고 석회 등 토양개량제를 심토부에 주입하기 위하여 분체를 폭기장치 까지 원활히 공급할 수 있는 분체공급 호퍼 및 막힘방지 장치의 개발하여 적용하도록 했다.

제 2절 자주시 심토환경 개선기로 분뇨살포 검토

1. 가축분뇨의 처리와 이용

분말형 토양개량제를 지중에 폭기 살포하도록 설계된 시작기를 이용해 가축분뇨 살포 가능성을 검토하였다. 가축분뇨는 자기의 농경지 내에 비료로 환원하는 것이 가장 이상적 방법이지만 사육규모가 커지게 되면서 토양환원의 한계를 초과함으로써 사육농장의 여건과 작물재배 여건을 고려하여 용이한 환원체계를 확립할 수 있는 여러 가지 방법에 대한 모색이 필요하다.

분뇨의 이용촉진을 위해서는 지역적인 축산과 경종 농업과의 효율적인 결합방법을 도모해야 하며, 분뇨저장시설의 설치, 운반수단, 유통계약제도 등에도 개개 농가의 노력뿐 아니라, 공공기관의 협조, 행정조치도 동시에 이루어져야 할 것이다.

2. 가축분뇨 처리시설 설치현황

1999년 말 현재 우리나라의 가축분뇨 처리시설 대상농가 82,647호 중 91%가 처리 시설을 갖추고 있다. 처리시설은 자원화시설을 갖추고 있는 농가가 전체 설치 농가의 86%이고, 정화방류 시설 농가는 14%정도 이다. 자원화시설 중에는 퇴비화시설 및 톱밥축사가 84%를 점하고 있으나 톱밥 등 수분 조절제 수급에 어려움이 있으며, 정화방류 처리방법은 양돈농가에서 주로 이용되고 있다.

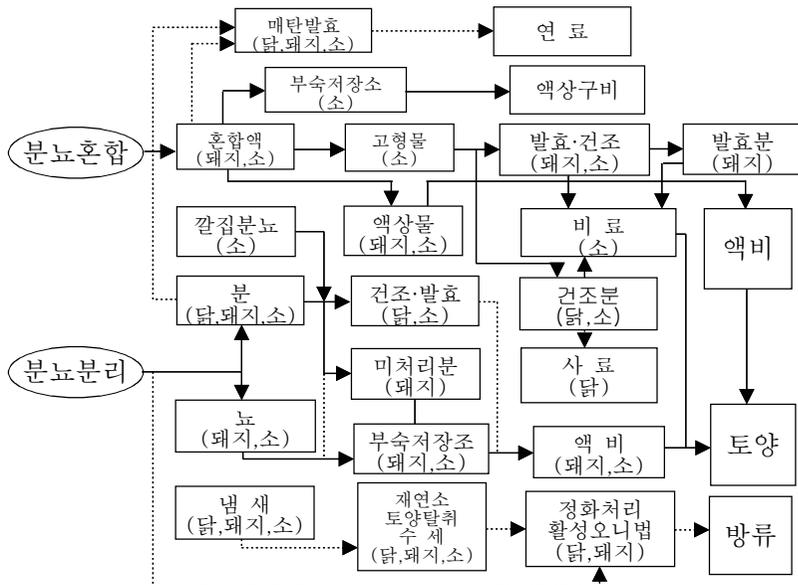


그림 3-1. 가축분뇨 처리·이용의 흐름도

3. 과수원에 가축분뇨 사용

가. 사과 과수원

(1) 액비 사용량

액비 사용량은 액비 중의 질소함량을 기준으로 사용하며, 사과 과수원의 액비 사용량은 토양 검정을 통해 계산한 시비량을 기준으로 하여 질소 시비량의 60%를 액비 시비량으로 결정하고 나머지 시비량은 화학비료로 추비를 권장하고 있다. 토양 유기물로 유기질 및 가축부산물 비료를 사용할 경우 이들의 질소함량을 고려하여 액비 시비량을 결정하며, 액비는 사용 전에 반드시 농업기술센터 또는 농업기술원에서 질소 성분을 분석하여 사용량을 결정하도록 권장하고 있다

(2) 사용 시기 및 방법

- (가) 밀거름 사용 시기와 동일한 늦가을과 해빙 직후(2월 상중순경)
- (나) 사용할 때 나무의 가지에 맞지 않도록 하여 토양에 고루 살포
- (다) 액비살포 후 악취와 양분 유실 방지를 위하여 쟁기나, 로타리 경운
- (라) 경사지 과수원에서는 양분이 아래쪽으로 흘러내리기 때문에 사용 지양

(3) 작물특성 및 유의사항

- (가) 사과원에서 액비 사용은 일반대목 성목원에서 밀거름으로 적합함
- (나) 질소가 많으면 영양성장과 키만 크고 분화가 나빠 과비하지 않도록 함
- (다) 과비하면 착색이 불량하고 당도가 떨어져 숙기가 늦어지는 경우도 있음
- (라) 저수고 밀식 사과원은 수세 조절과 과실 품질을 위하여 액비 사용 지양
- (마) 수령이 10년 이하인 나무는 시비량이 적으므로 액비 사용을 지양
- (바) 미 부숙된 액비 사용은 인축과 작물에 병해충을 유발할 수 있으며 악취로 인한 민원도 발생할 수 있으므로 부숙된 액비만을 사용함
- (사) 비가 내릴 우려가 있을 때는 살포금지 수질 오염
- (아) 과원을 개원 또는 개식할 때 사용방법은 전면 토양개량을 위하여 토양 비옥도를 조절하고 토양 안정화를 위하여 전면 살포 후 1~2작기 동안 목초나 화분과 작물 재배
- (자) 경사가 15%이상 지역이나 사질토양 및 환경규제(상수도보호, 특별대책, 자연공원) 지역 내에서 환경오염원이 될 수 있기 때문에 환경보전 차원에서 사용금지

표 3-3. 토양 검정에 의한 사과 과수원의 질소 시비량(원예연구소)

(단위 : kg/10a)

수령 (년)	토양 유기물 함량 (g/kg)		
	15 이하	16~25	26 이상
1~4	2.0	2.0	2.0
5~9	4.0	3.0	2.0
10~14	8.0	6.5	5.0
15~19	15.0	12.5	10.0
20년 이상	20.0	17.5	15.0

- 10년 이하는 질소 시비량이 적으므로 액비 사용을 지양

나. 배 과수원

(1) 액비 사용량

(가) 액비 시비량은 액비 중의 질소함량을 기준으로 함

(나) 배 과원의 액비 사용량은 토양 검정 후 시비량을 기준으로 하여 질소 시비량의 75%를 액비 시비량으로 결정하고 나머지는 화학비료로 5월과 9월에 추비함

(다) 토양 유기물로 유기질 및 가축부산물 비료를 시용할 경우 이들의 질소함량을 고려하여 액비 시비량을 결정하고, 액비는 사용 전에 반드시 농업기술센터 또는 농업기술원에서 질소 성분을 분석하여 사용량을 결정하도록 권장.

(2) 시용 시기 및 방법

(가) 밑거름 사용 시기와 동일한 늦가을과 해빙 직후 2월 상중순경

(나) 시용할 때 나무의 가지에 묻지 않도록 하여 토양에 고루 살포

(다) 시용 방법은 전면 살포를 원칙으로 하고 살포 후 악위와 양분 유실 방지를 위하여 쟁기경운이나 로타리 경운작업 실시

(라) 경사지 과수원에서는 양분이 아래쪽으로 흘러내리기 때문에 사용 지양

(3) 작물특성 및 유의사항

(가) 배 과원에서 액비 사용은 성목원에서 밑거름으로 적합함

(나) 배나무는 질소가 많으면 영양생장과 키만 크고 기형과가 많이 생길 수 있으므로 질소가 과비 되지 않도록 유의

- (다) 논에 심겨진 배 과원은 배수가 불량하고 지하수위가 높으므로 수질오염 우려가 있으므로 액비 사용금지
- (라) Y자 밀식재배 과수원은 재식 주수를 고려하여 액비 사용량을 조절하며 수령이 10년 이하인 나무는 시비량이 적으므로 액비 사용금지
- (마) 악취로 인한 민원도 발생할 수 있으므로 부속된 액비만을 사용권장
- (바) 경사가 15%이상 지역이나 사질토양 및 환경규제(상수도보호, 특별대책, 자연공원) 지역 내에서 환경오염원이 될 수 있기 때문에 환경보전 차원에서 사용금지

표 3-4. 토양 검정에 의한 배 과원의 질소 시비량 (단위 : kg/10a)

수령 (년)	토양 유기물 함량 (g/kg)		
	15 이하	16~25	26 이상
1~4	2.0	2.0	2.0
5~9	6.0	4.5	3.0
10~14	15.0	12.5	10.0
15~19	20.0	18.5	17.0
20년 이상	25.0	22.5	20.0

- 10년 이하는 질소 시비량이 적으므로 액비 사용금지

표 3-5. 돈분 액비의 화학성 (단위 : %)

구분	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	EC (dS/m)
A	0.62	0.13	0.51	0.15	0.20	35.6
B	0.65	0.17	0.52	0.30	0.29	32.7

- 액비 양분함량 중 전 질소함량이 가장 높음

표 3-6. 돈분액비 사용 후 악취도 조사 (농촌진흥청)

구분	액비사용 후 경과일수			
	사용일	사용1일후	사용2일후*	사용3일후
악취도	3.4	2.1	0	0

* 사용 2일 후 조사는 전면 로터리 실시 후 조사 성적임

표 3-7. 토양 침투수 중 화학성분(경기도 농업기술원)

(단위 : mg/L)

처리 내용	액비시용 30일후(4/26)			액비시용 55일후(5/20)		
	NO ₃ -N	PO ₄ -P	K	NO ₃ -N	PO ₄ -P	K
1. 화학비료	316.5	4.8	48.2	61.9	3.4	42.5
2. 질소 50% 해당량 돈분액비	117.3	3.8	38.7	65.0	4.1	42.9
3. 질소 75% "	144.2	5.2	32.7	113.6	3.9	39.4
4. 질소100% "	290.0	4.9	49.5	217.5	4.0	44.2
5. 질소200% "	397.8	6.2	58.5	236.9	6.4	61.6

4. 결론

과수나 수목에 가축분뇨(액비)의 시용은 대부분 농가에서 지표면에 살포하거나 치즐 푸라우 뒤에 액비를 주입하는 시스템을 이용해 지중 살포하고 있으며, 기계의 구조나 특성이 심토환경개선기와는 전혀 다른 형식으로 설계되어있어 부식에 대한 조치, 액비물성 등을 고려할 때 심토 환경 개선기로 액비를 살포하는 데는 어려움이 있을 것으로 판단된다.

선진국에서는 냄새 등 환경문제로 과수나 수목에 가축분뇨(액비)의 지표시용은 하지 않는 것으로 조사되었으며 효과적인 지중시용 기술에 대한 요구가 계속되고 있는 것으로 파악되었다.

따라서 본 연구에서는 자주식으로 과수 밑이나 수목사이로 이동이 편리하고 압축공기를 이용하여 심토를 파쇄함과 동시에 석회를 주입하는 시스템설계개발에 중점을 두고 수행함이 좋을 것으로 판단되었다.

제 3절 과수원토양의 심토환경 측정 및 분석

1. 재료 및 방법

가. 과수원 토양의 심토 환경 측정

1차 년도에는 우리나라 과수 재배의 대표적인 지역 중에서 작목 별로 1-2개씩을 선택하여 측정하였다. 사과와 배는 충북제천 및 경기도 화성지역, 복숭아는 충북 감곡지역, 포도는 충남천안 및 충북 옥천지역에서 각각 측정하였다. 측정항목은 심토환경 개선기의 성능에 직접적으로 영향을 미치는 토양경도를 중심으로 측정 분석 하였다.

토양 경도는 SR-2 모델의 토양경도 측정 장치를 이용하여 과수원에서 임의 지역을 선정하여 과수 근접지, 트랙터 스피드스프레이어 등 대형 농작업 기계가 운행되는 통행로 그리고 과수와 과수 사이의 중앙부 등 5 곳을 선정하여 측정하였다. 측정 깊이는 0, 5, 10, 15 그리고 20cm에서 3반복으로 측정하였다. SR-2 모델 토양경도 측정 장치의 측정한계는 $2.5\text{Mpa}/\text{cm}^2$ 로서 이 한계를 넘는 경도는 측정이 불가능 하였다. 따라서 2차 년도에는 심토부의 토양경도 특성을 좀 더 정확히 파악하기 위해 측정한계가 $1.0\text{Mpa}/\text{cm}^2$ 가 넘는 측정 장치를 이용하여 좀더 다양한 과수 및 지역에서 토양 물리성을 측정 분석할 필요성이 있다고 판단되었다. 이외에 토성, 밀도, 수분함량 등을 측정하였으나 분석이 덜 이루어져 2년차에 보고할 예정이다. 토양측정은 1개의 과수원에서 5곳을 임의로 선택하여 측정하였으며, 1 곳에서 양쪽의 과수를 중심으로 과수근처 2지점, 과수와 과수 사이의 중앙지점 그리고 작업 차량이 통과하는 지역 2지점 등 모두 5지점에서 3반복으로 측정하였다. 토양 물리성 측정 방법은 다음과 같다.

(1) 겉보기 밀도

토양의 겉보기밀도는 용량 100cc의 토양 채취관을 이용하여 측정하였다. 토양의 겉보기 밀도는 표면의 토양을 걷어낸 후 약 8cm 와 16cm의 두 깊이에서 수도포장의 임의의 세 곳을 선정하여 3반복으로 측정하였다.

(2) 토양전단저항계수

토양의 점착력과 내부마찰각은 SR-2 모델의 토양 전단저항 측정 장치를 사용하여 수도포장의 임의의 세 곳을 선정하여 3반복으로 측정하였다.

(3) 원추지수

원추지수는 SR-2 모델의 토양경도 측정 장치를 이용하여 수도포장의 임의의 세 곳을 선정하여 0, 5, 10, 15cm에서 3반복으로 측정하였다.

(4) 토양수분함량

토양수분함량은 상기 측정변수의 측정지점에서 토양을 채취하여 오븐 건조법에 의해 측정되었다.

나. 과수원 심토부의 토양경도 분석

토양의 다짐 정도가 일반 작물 뿐 아니라 과수의 생육에도 큰 영향을 미친다는 보고는 상당히 많다. 지금까지 일반 작물 및 과수 뿌리의 생육과 토양 관입저항 사이의 역학성을 규명한 연구에 의하면 대체로 1MPa까지는 뿌리의 생육에 문제가 없으나 1- 1.5MPa부터는 토양의 저항으로 인해 뿌리의 생육에 문제가 발생하기 시작하며 2MPa 이상에서는 뿌리의 생육이 거의 불가능하다. 특히 과수원의 토양의 위치 중에서 과수근접지의 심토의 토양 상태는 과수의 생육과 직접적으로 관련이 있으며 이를 주요한 분석의 대상으로 조사한 각 과수원별 토양의 심토환경 상태를 살펴보면 다음과 같다.

2. 결과 및 고찰

가. 그림 3-2는 제천 사과밭에서 과수로부터의 거리에 따른 각 지점별 토양 깊이에 따른 토양경도의 변화를 보여 주고 있다. 이 그래프는 각 지점에서 3반복으로 측정된 값의 평균값을 이용하여 작성한 것이다. 이 그래프에 의하면 작업차량이 자주 운행되는 지점의 토양경도는 같은 과수원 지역 내에서의 다른 지점에 비해 상대적으로 높은 것을 알 수 있다. 이것으로부터 대형농기계의 사용이 토양다짐에 아주 큰 영향을 주고 있다는 것을 알 수 있다. 이 지점의 경우 표토로부터 깊이6-8cm에서 측정한계인 2 MPa를 넘고 어려움이 있으며, 이지점에서의 뿌리생육은 토양다짐에 의해 크게 제한 받을 수 있다는 것을 알 수 있다. 과수 근접지에서도 뿌리 생육의 한계토양 경도(2 MPa) 깊이가 12cm 정도로 과수 뿌리의 토양침투 깊이를 고려한다면 이 과수원의 심토는 아주 심하게 다져져 있다고 판단된다. 그림 3-11에 의하면 작물의 뿌리가 토양의 다짐 정도에 영향을 받기 시작하는 깊이가 과수원 전체에 걸쳐 10cm 이내로 나타나 있어 어떠한 형태로 이던 심토의 다짐 정도를 완

화해서 심토의 환경개선이 필요한 것으로 판단되었다. 토양상태를 살펴보면 양호한 편토표토와 심토의 관입저항의 차이가 급격히 변화를 보이는 사례로서 작물 생육에 지장을 줄 수 있으므로 심토의 환경이 개선이 시급한 것으로 판단되었다.

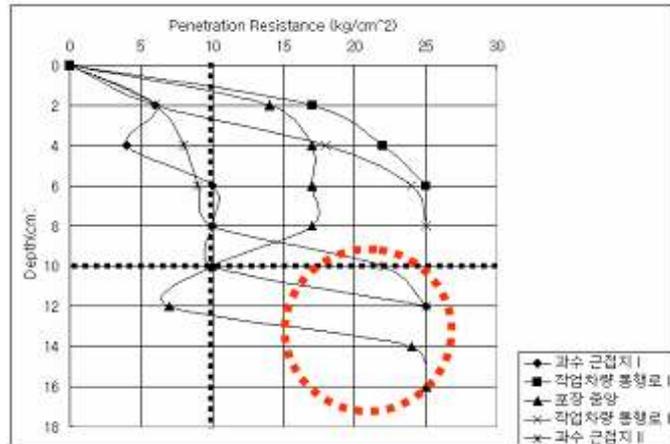


그림 3-2. 사과 밭에서의 깊이에 따른 토양경도 특성

나. 그림 3-3은 배 밭에서의 깊이에 따른 토양경도 특성을 보여주고 있다. 앞의 사과 밭에 비해 비교적 심토의 환경이 양호한 상태임을 알 수 있다. 같은 제천 지역임에도 불구하고 이와 같이 심토환경에 큰 차이가 나는 이유가 토성에 의한 것인지 또는 대형 농업기계의 사용 형태에 의한 것인지는 좀 더 분석해야 할 것으로 판단된다. 이 지역의 경우 작물의 뿌리가 토양 경도로부터 영향을 받기 시작하는 토양경도 값(1MPa)에 해당하는 깊이가 포장 전체적으로 30cm 이상인 것을 알 수 있다.

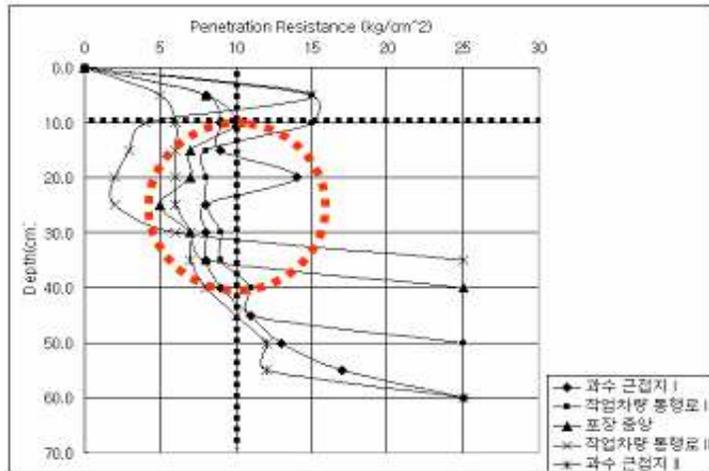


그림 3-3. 배 밭에서의 토양깊이에 따른 경도 특성

다. 그림 3-4는 복숭아밭에서의 깊이에 따른 토양 경도 특성을 보여주고 있다. 복숭아밭도 사과밭과 같이 심토의 토양 다짐 상태는 아주 심각한 것으로 나타났다. 뿌리의 생육에 영향을 주기 시작하는 토양경도(1MPa)의 깊이는 10cm이내, 그리고 뿌리의 생육을 크게 저해하는 토양경도(2MPa)에 해당하는 토양깊이가 측정 전 지점에 걸쳐 20cm 이내인 것으로 나타나 복숭아밭도 심토 환경 개선이 아주 필요한 것으로 판단된다.

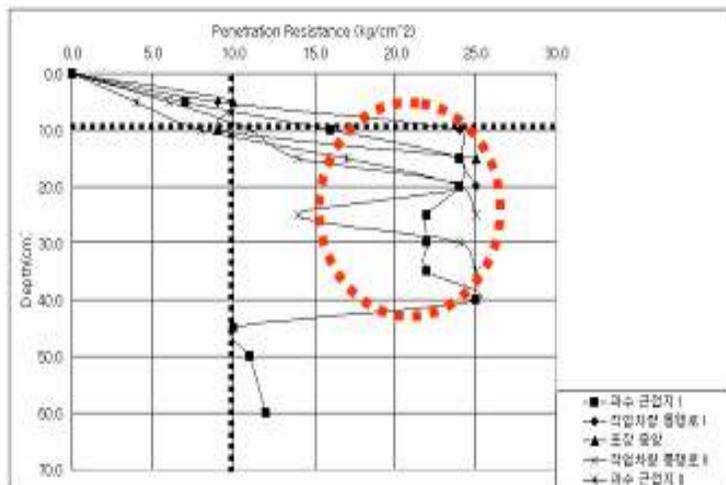


그림 3-4. 복숭아 밭에서 토양깊이에 따른 경도 특성

라. 그림 3-5는 논을 포도밭으로 변경하여 포도를 재배하는 과수원에서의 깊이에 따른 토양 경도 특성을 보여주고 있다. 작업차량이 통과하는 지점을 제외하면 작물생육에 크게 영향을 미치는 토양경도(2MPa)에서의 토양깊이는 20-30cm로서 포도의 뿌리가 토양 속으로 깊이 파고들어 가지 않는 점을 감안 한다면 측정이 이루어진 천안 지역의 포도과수원에 서의 심토환경은 다른 지역의 과수에 비교하면 비교적 양호한 것으로 나타났다. 그러나 차 량이 통과하는 지점에서의 심토환경은 심각한 것으로 나타나 이 지점에서는 토양의 다짐정 도가 작물생육에 지장을 줄 수 있으므로 심토의 환경이 개선이 시급한 것으로 판단되었다.

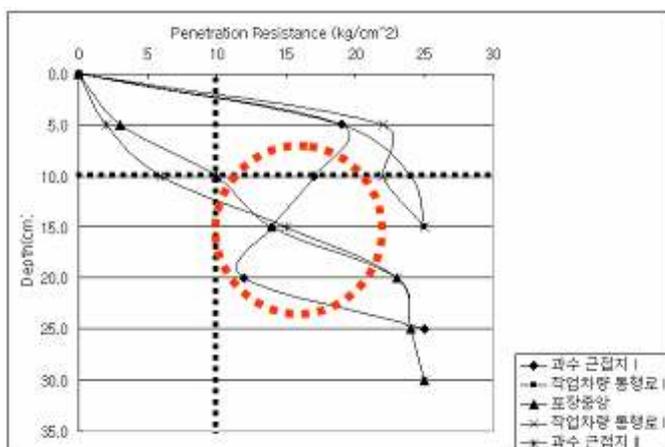


그림 3-5. 포도밭(논토양)에서의 토양깊이에 따른 경도 특성

마. 그림 3-6은 일반 포도밭에서의 깊이에 따른 토양 경도 특성을 보여 주고 있다. 이 과수원은 다른 지역의 토양 다짐 상태와 비교할 때 비교적 심토의 환경이 양호한 상태인 것으로 나타났다. 그러나 이 과수원에서도 전지점이 뿌리의 생육에 크게 저해 하는 토양경 도의 깊이가 25cm 이하로 나타나 심토환경의 개선이 필요한 것으로 판단된다.

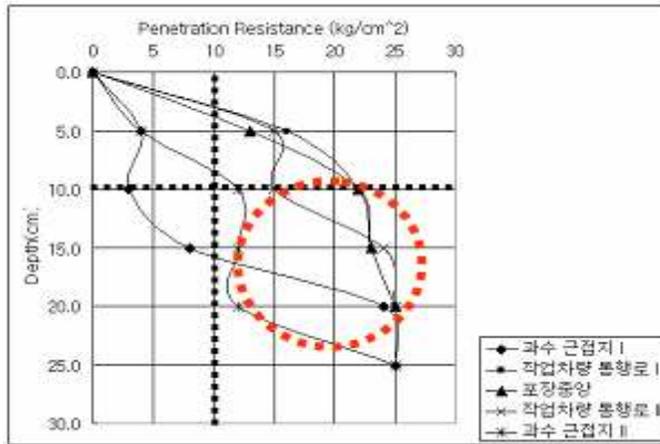


그림 3-6. 포도밭에서의 토양깊이에 따른 경도 특성

3. 결론

다져진 토양에서는 일반 작물 뿐 아니라 과수의 뿌리 생육이 부진하며, 뿌리생육과 토양 관입저항 사이의 역학성을 규명한 연구에 의하면 대체로 1MPa까지는 뿌리의 생육에 문제가 없으나 1- 1.5MPa부터는 토양의 저항으로 인해 뿌리의 생육에 문제가 발생하기 시작하며 2MPa 이상에서는 뿌리의 생육이 거의 불가능한 것으로 보고되고 있다. 특히 과수원의 심토는 과수의 생육과 직접적으로 관련이 있어 사과, 배, 복숭아 과원을 중심으로 토양의 다져진 상태를 조사해본 결과 토심 20~30cm이내에 경반층에 있어 뿌리가 더 이상 작토 층 밑으로 자라기가 어려울 것으로 판단되었으며 이를 해결하기 위하여 경반층을 파쇄와 동시에 토양개량제 투입이 필요한 것으로 판단되었다.

제 4절 자주식 심토환경 개선기 설계

1. 압축공기에 의한 토양 파쇄이론

가. 공극형성을 위한 토양파쇄 에너지

토양 속에 가스가 주입될 때 토양층에는 항상 공극이 발생한다. Araya(1994)는 토양 파쇄율을 설명하기 위해 토양 내 공극형성을 위한 파쇄 에너지에 대한 정의를 내렸으며 이를 간단히 정리하면 다음과 같다.

그림 3-7에서 토양 파쇄를 위한 동력(P_s)은 토양의 수직 이동률(P_{s1}), 토양의 수평 이동률(P_{s2}), 그리고 토양내 공극의 크기에 의해 다음과 같이 결정된다.

$$P_s = P_{s1} + P_{s2} + P_{s3} \dots\dots\dots (1)$$

여기서 P_{s1} 은 토양을 수직으로 이동시키는데 소요되는 동력, P_{s2} 는 토양을 교란시키는데 소요되는 동력 그리고 P_{s3} 는 공극형성에 필요한 동력을 의미한다.

Araya(1994)는 토양을 수직으로 이동시키는데 소요되는 동력(P_{s1})을 다음과 같이 정의하였다.

$$P_{s1} = \frac{v \cdot \rho_s \cdot g \cdot h_3}{3} + \frac{v}{3} F_x \tan \delta \dots\dots\dots (2)$$

여기서 S는 그림 7에서 yz 평면에 수직인 삼각형 형태의 교란영역의 넓이이고, v는 심토파쇄부의 속도, ρ_s 는 토양의 밀도, g는 중력 가속도, h_3 은 토양의 L평면에서의 최대 수직 변위, F_x 는 수평 견인력 그리고 δ 는 토양-금속의 외부 마찰각이다.

그림 3-7에서 교란영역 S는 다음과 같다.

$$S = jd \left(1 - \frac{k}{d-k} \right) \dots\dots\dots (3)$$

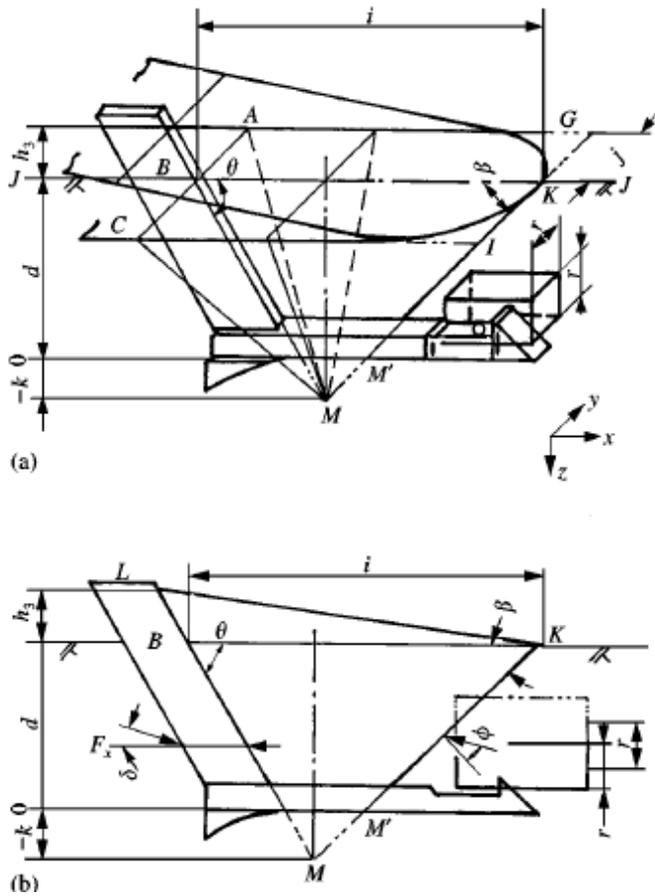


그림 3-7. 공극형성을 위한 토양 파괴 개략도
 (a) 3차원 토양파괴; (b) 그림 (a)의 단면 J-J

여기서 d 는 작업 깊이, j 는 측면파쇄거리 그리고 k 는 치즐 밀면과 M 점 그리고 생크표면 사이의 거리이다(그림 3-7).

k 는 다음과 같이 주어진다.

$$k = d - i(\cot\theta + \cot\beta) \dots\dots\dots (4)$$

여기서 i 는 전방파쇄거리, h 는 경운각(rake angle) 그리고 b 는 슬립 각을 의미한다. Araya(1994)는 토양을 교란시키는데 소요되는 동력 P_{∞} 를 Coulomb의 법칙을 사용하여 다음과 같이 정의하였다.

$$\begin{aligned}
P_{s2} &= \frac{v}{3 \sin \beta} \left[c \sum_{b=1}^m S_b + \tan \phi \cos \beta \sum_{b=1}^m W_b \right] \dots\dots\dots (5) \\
&= \frac{v}{3 \sin \beta} \left[c S_1 \left\{ 1 + \frac{(n-1)^2}{n^2} + \frac{(n-2)^2}{n^2} + \dots \right\} \right. \\
&\quad \left. + W_1 \tan \phi \cos \beta \left\{ 1 + \frac{(n-1)^3}{n^3} + \frac{(n-2)^3}{n^3} + \dots \right\} \right]
\end{aligned}$$

여기서 ρ 는 토양-접촉면 외부 마찰각, c 는 점착력, n 은 슬립면의 수, S_b 는 슬립면의 면적, 그리고 W_b 는 슬립면에 작용하는 토양의 하중을 의미한다. 슬립면에 작용하는 토양의 무게 W_1 은 다음과 같이 근사치로 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
W_1 &= \frac{2}{3} \rho_s g (d-k)^2 \cot \theta - \frac{2}{3} \rho_s g k^2 \cot \theta \dots\dots\dots (6) \\
&\quad + \frac{\rho_s g j}{2} (d-k) [i - (d-k) \cot \theta] \\
&\quad + \frac{1}{3} \rho_s g \frac{k^3 j [i - (d-k) \cot \theta]}{(d-k)^2}
\end{aligned}$$

M'K 접촉면의 면적 S_1 은 다음과 같이 근사치를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
S_1 &= (d-k) \cot \theta \sqrt{j^2 + (d-k)^2} - \frac{1}{2} k^2 \cot \theta \\
&+ \frac{i - (d-k) \cot \theta}{d-k} \left[(d-k) \sqrt{j^2 + (d-k)^2} \right. \\
&\quad \left. + j^2 \ln \frac{(d-k) + \sqrt{j^2 + (d-k)^2}}{j} \right] \dots\dots\dots (7) \\
&\quad + \frac{k \sqrt{k^2 j^2 + k^2 [i - (d-k) \cot \theta]^2}}{2(d-k)}
\end{aligned}$$

토양의 파쇄 크기는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$V_r = \frac{W_1}{\rho_s g} \dots\dots\dots (8)$$

공기를 투입함으로써 통한 토양내부의 공극생성을 위해 필요한 동력 P_{s3} 는 공극을 수직으로 이동시키는 동력 P_{s31} 과 토양의 공극을 파쇄 하는 전단력 P_{s32} 를 결합하여 추정할 수 있으며 다음과 같이 공극생성을 위한 전체 동력을 얻을 수 있다.

$$P_{s3} = P_{s31} + P_{s32} \dots\dots\dots (9)$$

그림 3-7에서처럼 단면 r에서의 일반적인 4변형 공극각이 생성된다고 가정하고 r의 평균거리만큼 토양 r_2v 가 상승한다고 가정하면, 다음 식과 같이 정리 할 수 있다.

$$P_{s31} = \rho_s g r^2 v r = \rho_s g r^3 v \dots\dots\dots (10)$$

다음으로 전단력이 작용하는 면적 $4rv$ 와 힘 $\rho_s g d$ 작업 깊이 d와 함께 식 11에서와 같이 Coulomb's 법칙을 적용하면 전단력 P_{s32} 는 다음과 같이 정리 할 수 있다.

$$P_{s32} = 4c r v r + \rho_s g d r v r \tan \phi \dots\dots\dots (11)$$

$$= 4c r^2 v + \rho_s g d r^2 v \tan \phi$$

식 10과 11을 식 9에 대입하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$P_{s3} = \rho_s g r^3 v + 4c r^2 v + \rho_s g d r^2 v \tan \phi \dots\dots\dots (12)$$

식 1의 동력 P_s 는 토양의 파쇄, 공극의 생성 및 투입을 위해 소요되는 동력이며 1m 주행 단위당 토양파쇄를 위해 소요되는 에너지는 다음과 같다.

$$E_s = \frac{P_s}{V} \dots\dots\dots (13)$$

토양 파쇄 에너지 E_s 는 심토경운 과정에서의 토양 파쇄 및 교란율을 나타낼 수 있으며 가스 배출 시 소요 동력 P_f 는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$P_f = \frac{RTG_t P_\infty}{P_\infty + P_0} + \frac{R^2 T^2 G_t^3}{2a^2 (P_\infty + P_0)^2} \dots\dots\dots (14)$$

여기서 p_∞ 는 노즐의 입구의 정규 압력, G_t 는 질량 유동률, a 는 노즐의 입구의 면적, R 은 가스 상수, T 는 절대 온도, p_0 는 대기 압력이다.

2. 심토파쇄기의 압축공기 분사노즐의 토양관입 및 토양개량제 자동 계량부

자주식 심토헬경 개선기 개발을 위하여 요인 시험 장치를 제작하고 주요 설계요인인 압축공기에 의한 타격 관입식 폭기 노즐부의 기구학적 구조에 따른 관입 깊이의 제어와 분사 시기를 분석 구명하였다.

가. 압축공기를 이용한 심토헬경 개선기 구성

폭기식 심토헬경 개선기의 토양 관입장치는 그림 3-8과 같이 에어해머, 관입봉, 분사노즐로 구성되며, 관입장치를 지지하고 수직관입을 유도하는 기구학적 구조로는 변형된 스콧-러셀 메카니즘(Scott-Russell mechanism)을 적용했으며, 직선 슬라이드는 링크로 연결된 공압 실린더를 이용했다. 토양개량제 동시투입을 위한 타이밍 장치는 공압 실린더 외벽에 부착하여 그림 3-9에서와 같이 S각 만큼 움직일 때 계량되어 낙하된 토양개량제가 동시에 땅속으로 분사되도록 했다.

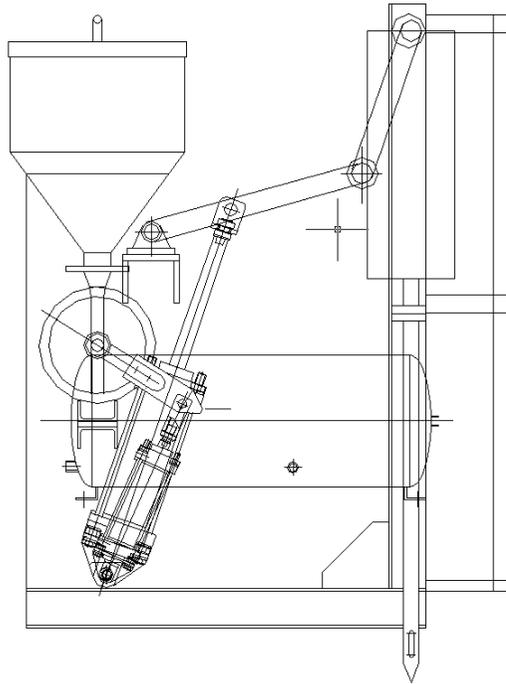


그림 3-8. 폭기식 심토파쇄장치의 관입부

나. 분사노즐의 토양 관입장치의 링크구조

압축공기 폭기노즐은 그림 3-9에서와 같이 변형된 스콧-러셀(Scott-Russell mechanism) 3절 링크 기구로 되어 하부링크(X)가 회전시 상부링크(Y)가 구속을 받아 Z축상에 있는 분사노즐이 상하 수직운동을 하게 된다. 노즐의 토양 내 관입력은 압축공기를 이용한 에어 햄머와 공압실린더의 수축력을 이용하도록 했다.

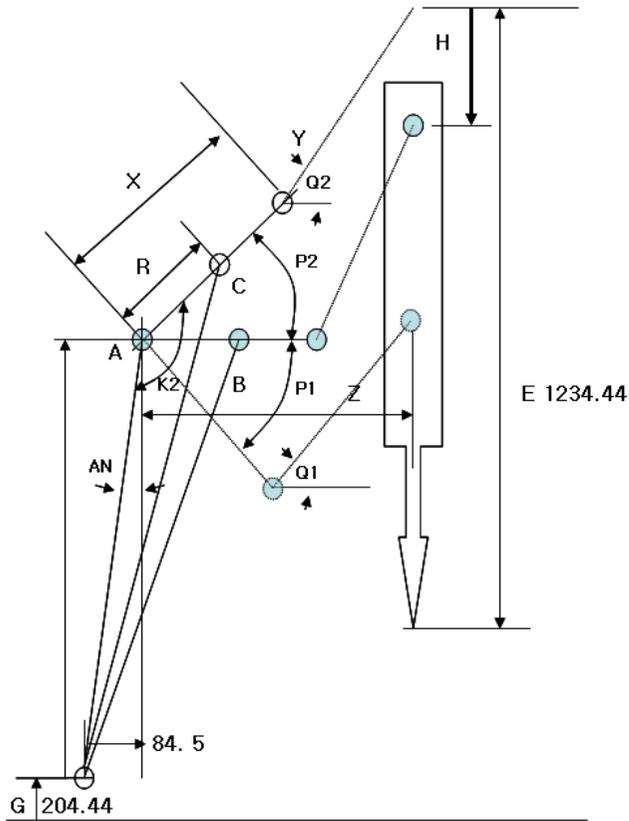


그림 3-9. 폭기노즐의 수직관입을 위한 링크 기구

관입부가 상승했을 때 Z축상의 노즐위치는 다음과 같이 계산할 수 있다. 링크절(X)와 링크절(Y)가 원점 A를 지나는 수평면에 대해 이루는 상방각을 계산한 후 링크절 X, Y의 길이로부터 노즐의 수직선상의 위치를 결정할 수 있다.

즉,

$$\text{링크절(X) 각도 (P2)} : P2 = K2 - 90 - AN, K2 = \arccos\left(\frac{A^2 + R^2 - C^2}{2AR}\right) \dots\dots\dots (15)$$

$$\text{링크절(Y) 각도 (Q2)} : Q2 = \arccos\left(\frac{Z - X\cos P2}{Y}\right) \dots\dots\dots (16)$$

$$\text{노즐의 Z축상 위치(H2)} : H2 = X\sin(P2) + Y\sin(Q2) \dots\dots\dots (17)$$

관입부가 하강했을 때 Z축상의 노즐위치는 위치도 역시 다음과 같이 계산할 수 있다. 링

크 절(X)와 링크절(Y)가 원점 A를 지나는 수평면에 대해 이루는 아래쪽(하방)각을 계산한 후 링크절 X, Y의 길이로부터 노즐의 수직선상의 위치를 결정할 수 있다.

즉,

$$\text{링크절(X) 각도 (P1)} : P1 = K1 - 90 - AN, \quad K1 = \arccos\left(\frac{A^2 + R^2 - B^2}{2AR}\right) \dots\dots\dots (18)$$

$$\text{링크절(Y) 각도 (Q1)} : Q1 = \arccos\left(\frac{Z - X\cos P1}{Y}\right) \dots\dots\dots (19)$$

$$\text{노즐의 Z축상 위치(H1)} : H1 = X\sin(P1) + Y\sin(Q1) \dots\dots\dots (20)$$

따라서 노즐의 수직이동거리

$$H = X\sin(P2) + Y\sin(Q2) - X\sin(P1) + Y\sin(Q1) \dots\dots\dots (21)$$

이 된다.

표 3-8은 위와 같은 계산방법으로 폭기 노즐의 설계변수를 표의 초기값과 같이 설정했을 때, 링크절이 이루는 각도와 폭기노즐의 위치와 이동변위를 나타내었다.

공압 실린더의 수직에 대한 초기 설치각(AN)을 10도로 하고, 공압 실린더의 초기 장착 치수를 654mm, 링크절(X)의 길이를 413mm, 링크절(Y)의 길이를 285mm, 공압 실린더의 행정을 184mm로 했을 때 폭기노즐 지지대의 수직방향 운동변위는 A점을 지나는 수평면상에서 위쪽(상방향)으로 352mm, 아래쪽(하방향)으로 301mm를 이동하여 총 653mm의 관입 깊이를 제어할 수 있는 것으로 나타났다.

표 3-8. 기존 심토환경 개선기의 분사 노즐 관입깊이

구분	항목		설정값	비고
설계변수 초기값	AN	초기 각도(°)	10	
	R	레버 반지름(mm)	159	
	A	장착 초기 치수(mm)	654	
	B	실린더 축소 치수(mm)	545	ST185+C
	C	실린더 확장 치수(mm)	729	
	X	하부링크 길이(mm)	413	
	Z	작업기 수평 거리(mm)	490	
	Y	상부링크 길이(mm)	285	
		행정(mm)		184
계산 예	P2	하부링크 수평각(°)	11.214	$K2 - 90 - AN$
	K2	각도 b(°)	$\cos(K2) = \frac{A^2 + R^2 - C^2}{2AR} = 112.204$	
	Q2	상부링크 수평각(°)	$\cos(Q2) = \frac{Z - X\cos(P2)}{Y} = 72.631$	
	H2	수직 위치(mm)	$X\sin(P2) + Y\sin(Q2) = 352.7$	
	P1	하부링크 수평각(°)	-59.395	$K1 - 90 - AN$
	K1	각도 b(°)	$\cos(K1) = \frac{A^2 + R^2 - B^2}{2AR} = 41.595$	
	Q1	상부링크수평각(°)	$\cos(Q1) = \frac{Z - X\cos(P1)}{Y} = 11.091$	
	H1	수직 위치(mm)	$X\sin(P1) + Y\sin(Q1) = -301.1$	
	H	수직 이송거리(mm)	653.8	H2-H1

다. 토양개량제 자동계량 및 분사시기

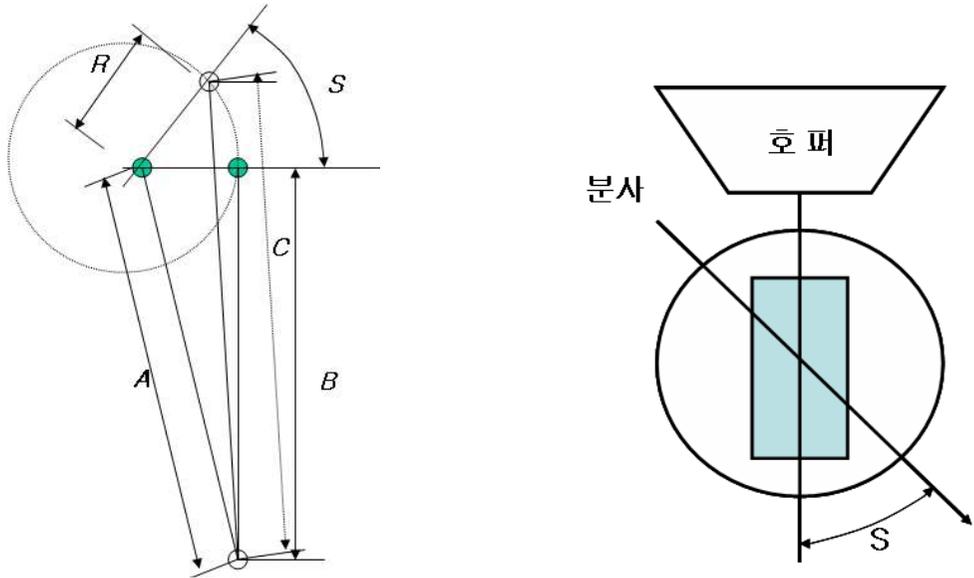


그림 3-10. 토양개량제 계량 및 축 회전(S각) 기구

토양개량제를 적재함으로부터 계량하여 인출하고, 토양개량제의 분사시기를 결정하는 기하학적 조건 (GEOMETRIC CONDITION)으로서 레버반지름, 실린더 최소길이, 장착초기 조건을 각각 159mm, 545mm, 654mm로 하고 토양 개량제의 분출 작동 각을 58° 로 하였을 때 실린더 C의 작동길이는 아래의 식 22, 23에 따라 536.43mm 가 된다.

$$K1 = \arccos\left(\frac{A^2 + R^2 - B^2}{2AR}\right), \quad K2 = S + K1, \quad K2 = \arccos\left(\frac{A^2 + R^2 - C^2}{2AR}\right) \dots\dots\dots (22)$$

$$\text{실린더 작동길이}(C) : C = \sqrt{A^2 + R^2 - 2AR\cos(S - K1)} = 536.43 \dots\dots\dots (23)$$

표 3-9. 기존 심토환경 개선기 요인 시험장치의 토양개량제 분사시기 계산 예

구분	항목		입력 값	비고
작업장치 초기 입력값	R	레버반지름(mm)	194.63	
	A	장착초기치수(mm)	434.91	
	B	실린더치수(mm)	353.83	
계산 예	S	작동각도(°)	58°	K2-K1
	K1	축소 각도 (b) (°)	$\cos(K1) = \frac{A^2 + R^2 - B^2}{2AR} = 53.022$	
	K2	확장 각도 (c) (°)	$S + K1 = 111.022$	

라. 결과 요약

기존 보급되고 있는 경운기나 트랙터용 심토환경개선기의 작업기부분만을 자주식 심토환경 개선기에 탑재해서는 목표 심토과쇄 깊이 60cm가 불가능하여 개량보완이 필요하나 과수원의 경반층이 200~300mm를 감안하면 압축공기 분사노즐의 관입깊이를 500mm 내외로 조정하여도 될 것으로 판단되었다.

3. 자주식 심토환경 개선기 본체의 안전성 분석

가. 시작기의 안정성 분석(1차)

심토파쇄기의 안정성 분석을 위하여 동역학 해석 소프트웨어를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 2차원 도면으로부터 3차원 모델링화를 위하여 AutoCad™ 프로그램을 이용한 2차원 도면으로부터 수치를 획득하였으며, SolidWorks™ 을 이용하여 차량 파트와 웨도파트를 3차원 모델링화 하였다.

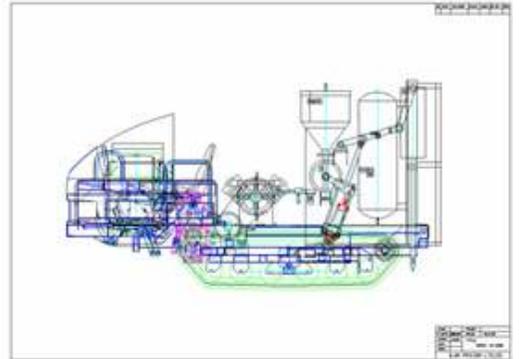
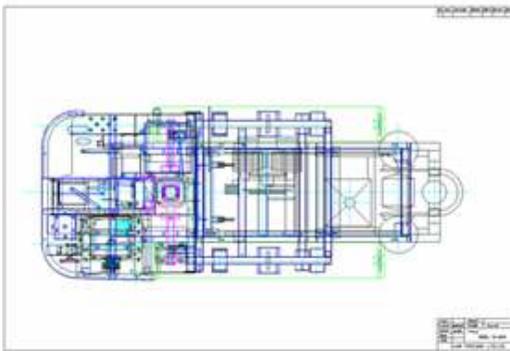


그림 3-11. 본체의 2차원 모델링 I

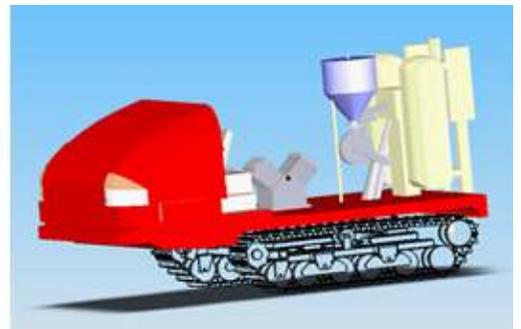
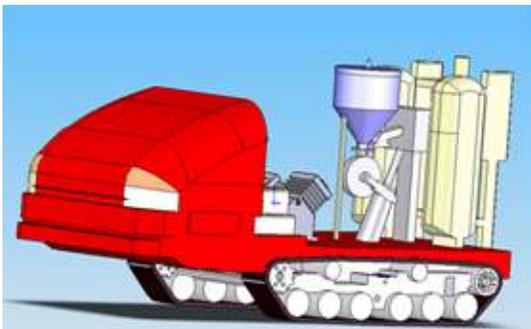


그림 3-12. 본체의 3차원 모델링 II

동역학 해석 및 안정성 분석을 위한 도구로는 RecurDyn™ 6.2 (Function, Bay. Inc)를 사용하였으며 주요 구성 부위의 물성치는 다음과 같이 설정하였다.

- 차량 본체

$$\text{밀도} = 1.8e-007 \text{ kg/mm}^3$$

$$\text{질량} = 153.30472 \text{ kg}$$

- 심토 파쇄기

$$\text{밀도} = 3.7e-006 \text{ kg/mm}^3$$

$$\text{질량} = 112.6006 \text{ kg}$$

- 총 질량 = 508.24988 kg

다물체 동역학 해석을 위하여 추진력 생성 요소 및 차량 본체의 진동 흡수를 위한 댐퍼를 제외한 요소들은 모두 강체로 연결되어 있다고 가정하였다.

동역학 해석을 위한 토양 접촉 방정식은 Bekker의 이론과 Hanamoto 모델을 사용하였으며 그 주요 변수는 다음과 같다. 한편 궤도 이외의 부분에 대한 토양과의 접촉 매개변수는 무시하였으며 토양의 종류는 사질토(Sandy loam)로 설정 후 해석을 수행하였다.

- Bekker's theory

$$p = k \cdot z^n \dots\dots\dots (24)$$

$$p = \left(\frac{k_c}{b} + k_\phi \right) \cdot z^n$$

$$\text{Terrain parameter } (k_c) = 0.35124(\text{N/mm}^2 + n)$$

$$\text{Terrain parameter } (k_\phi) = 1.7765e-002 (\text{N/mm}^2 + n)$$

$$\text{Exponent of skinkage } (n) = 0.3$$

- Janosi-Hanamoto model

$$\tau = (c + p \tan \phi)(1 - e^{-jk}) \dots\dots\dots (25)$$

$$\text{Soil cohesion } (c) = 1.379e-002(\text{N/mm}^2)$$

$$\text{Internal friction angle } (\phi) = 22(^{\circ})$$

$$\text{Shearing deformation modulus } (k) = 25(\text{mm})$$

요소별 동력학적 구속(Constraints)조건은 다음과 같이 설정하여 안정성 분석을 위한 시뮬레이션을 수행하였으며 각 요소별 마찰력은 없는 것으로 간주하였다.

- Sprocket joint : 궤도의 장력을 유지하기 위한 힘, 각 가속도
- Damper : 궤도와 차량 사이의 충격 흡수를 스프링 구속조건
스프링 상수 = 10^6 , 댐핑 상수 = 10^2

시뮬레이션을 수행을 위하여 기본 속도(5.5 rad/s)를 고정시키고 차량의 주행방향에 대한 장애물의 기하학적 형태의 변화, 지면의 경사각 및 차량의 주행 각도에 변화를 주었으며 동력학적인 해석의 결과를 통하여 안정성 여부를 진단하였다.

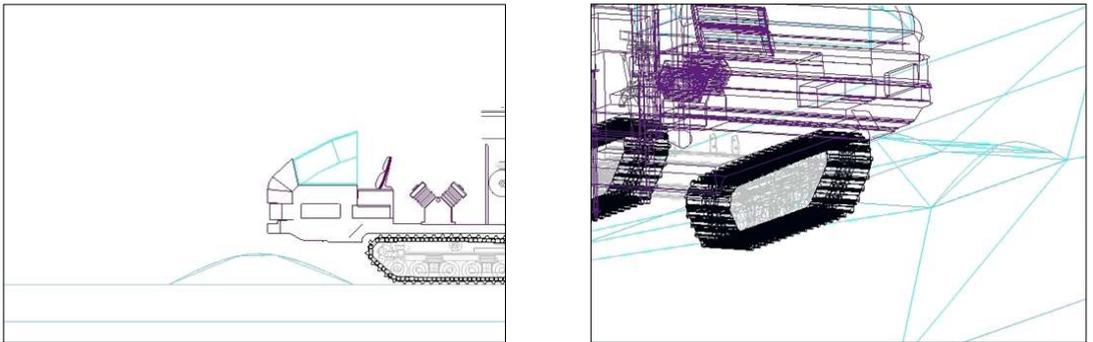
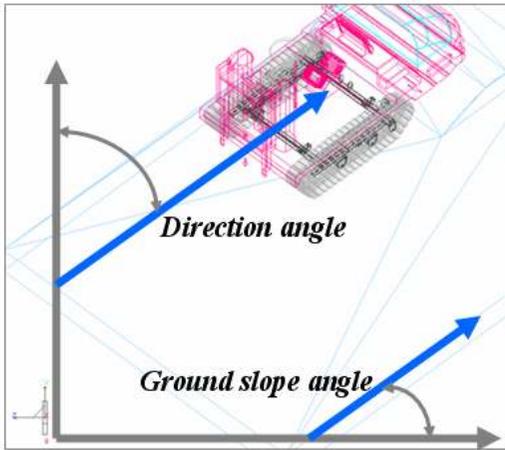
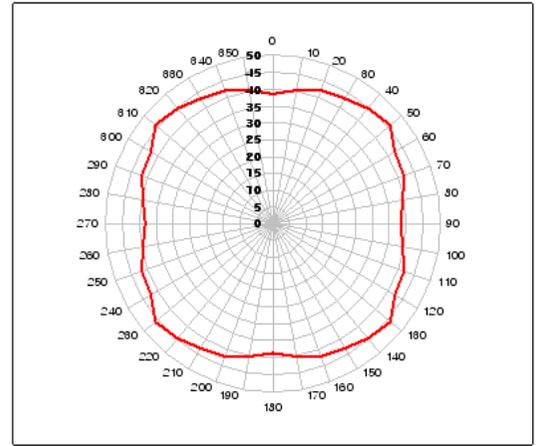


그림 3-13. 동력학적인 해석의 결과를 통하여 안정성 여부를 진단

안정성 평가 및 안전영역 해석은 차량의 주행각을 10° 씩 변화를 시키면서 횡전도 및 종전도가 일어나는 시점의 지면의 경사각을 구하는 방법으로 수행하였으며 앞서 기술한 요소 설계 이론 및 동력학적 해석에 필요한 가정을 바탕으로 산출한 안정영역은 다음 그림 3-14와 같이 나타낼 수 있다.



Safety zone simulation profile



Safety zone against overturning

그림 3-14. 시뮬레이션을 통한 안정영역

나. 시작기의 안정성 분석(2차)

1차 시작기의 문제점 개선을 위한 2차 시작기 제작에 따라 안정성 분석 또한 동일한 방식으로 다시 수행되었으며, 2차 안정성 분석 연구에서는 토양의 물리적 속성을 고려하여 토양에 따른 안정성 영역의 변화를 추가로 분석하였다.

심토파쇄기의 안정성 분석을 위하여 동역학 해석 소프트웨어를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 2차원 도면으로부터 3차원 모델링화를 위하여 AutoCad™ 프로그램을 이용한 2차원 도면으로부터 수치를 획득하였으며, SolidWorks™ 을 이용하여 차량본체 파트와 무한궤도파트를 3차원 모델링화 하였다.

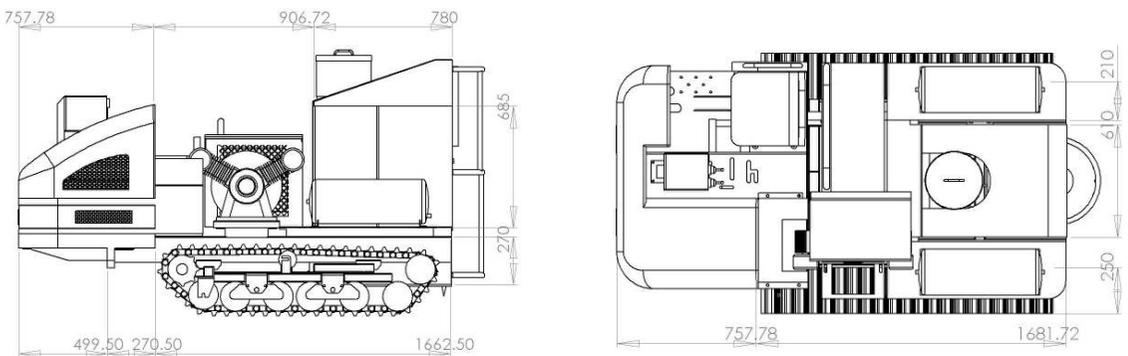


그림 3-15. 시작기 2D 모델링

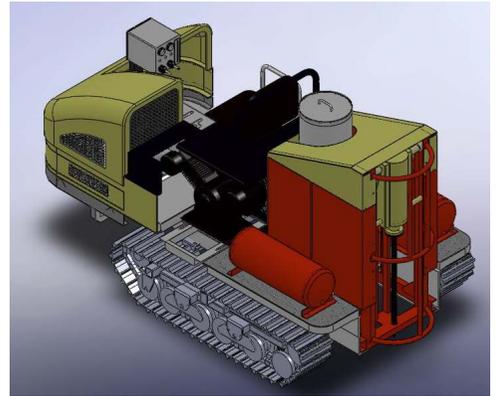
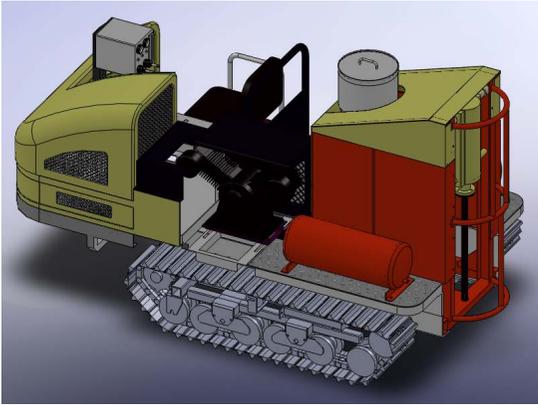


그림 3-16. 시작기 3D 모델링

요소별 동력학적 구속(Constraints)조건은 다음과 같이 설정하여 안정성 분석을 위한 시뮬레이션을 수행하였으며 각 요소별 마찰력은 없는 것으로 간주하였다.

- Sprocket joint : 궤도의 장력을 유지하기 위한 힘, 각 가속도
- Damper : 궤도와 차량 사이의 충격 흡수를 스프링 구속조건
스프링 상수 = 10^6 , 댐핑 상수 = 10^2

시뮬레이션을 수행을 위하여 기본 속도(5.5 rad/s)를 고정시키고 차량의 주행방향에 대한 장애물의 기하학적 형태의 변화, 지면의 경사각 및 차량의 주행 각도에 변화를 주었으며 동역학적인 해석의 결과를 통하여 안정성 여부를 진단하였다.

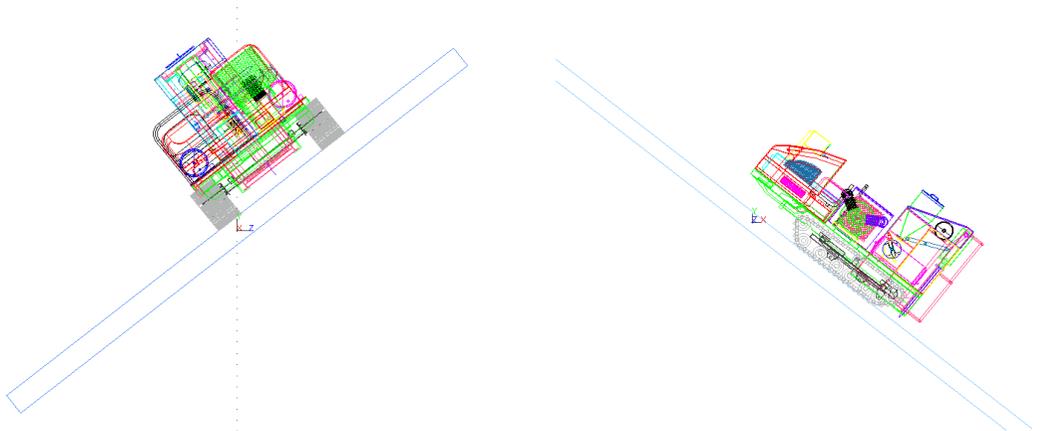


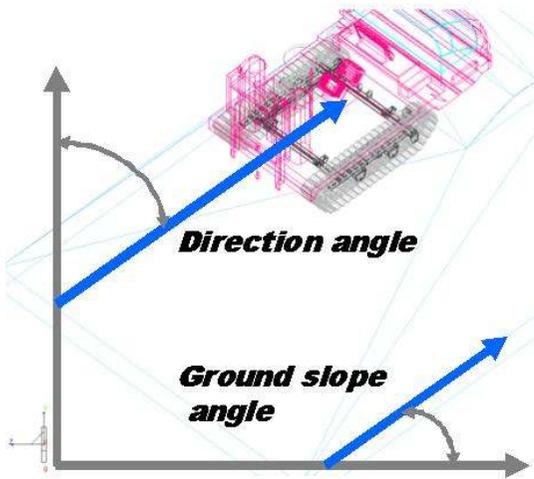
그림 3-17. 동력학적인 해석의 결과를 통하여 안정성 여부를 진단

또한 토양의 마른 사질토, 비중함량이 큰 사양토인 두 가지 토양 위에서 차량의 안정성 시뮬레이션 분석하였다. 두 가지 토양의 특성은 다음 표 3-10과 같다.

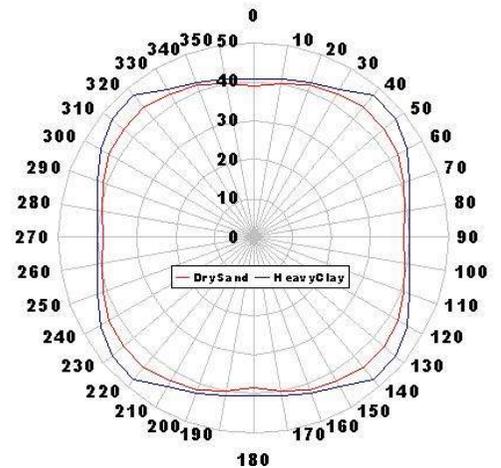
표 3-10. 토양속성

	Dry Sand	Heavy Clay
Terrain Stiffness(k_c)	4.75613e-003	5.1737
Terrain Stiffness(k_phi)	7.6603e-004	0.63386
Exponential Number(n)	1.1	0.13
Cohesion(c)	1.04e-003	6.895e-002
Shearing Resistance Angle	28	34
Shear Deformation Modulus(K)	25	25
Sinkage Ratio	5e-002	5e-002

안정성 평가 및 안전영역 해석은 차량의 주행각을 10°씩 변화를 시키면서 횡전도 및 종전도가 일어나는 시점의 지면의 경사각을 구하는 방법으로 수행하였으며 앞서 기술한 요소 설계 이론 및 동력학적 해석에 필요한 가정을 바탕으로 산출한 안정영역은 다음 그림 3-18과 같이 나타낼 수 있다.



Safety zone simulation profile



Safety zone against overturning

그림 3-18. 시뮬레이션을 통한 안정영역

4. 소요 동력 계산 및 주행부 선정

가. 견인성능 예측

차량의 주행 및 견인성능을 나타내는 요소는 크게 토양추진력(soil thrust)과 운동저항(motion resistance)으로 대별된다. 엔진으로부터 주행 장치에 전달된 구동에너지는 주행부(궤도)에 전달되고, 이것에 의한 토양추진력이 나타난다. 이러한 토양추진력은 차량이 주행 및 견인을 위해 나타낼 수 있는 최대견인력(maximum tractive force)으로서 궤도와 지면의 상호작용에 의한 토양의 전단력에 의해 나타난다. 한편 이러한 토양추진력은 모두 견인력으로 나타나지 못하고 그 일부는 주행부가 토양의 저항을 극복하는데 소비되는 운동저항으로 나타난다.

차량의 견인성능은 궤도-토양 접지면에서의 수직압력과 전단응력에 밀접한 관련이 있다. 즉, 차량의 운동저항은 주행부(궤도)의 침하를 유발하는 접지압에 관계되고, 추진력은 궤도-토양의 전단응력 특성에 관계된다. 따라서 본 논문에서는 궤도형차량의 견인성능을 예측하기 위하여 궤도형차량의 주행장치인 궤도와 토양과의 접촉면에서의 수직응력과 전단응력 분포를 예측할 수 있는 수학적 모델을 구하여, 모델로부터 궤도형차량의 견인성능을 나타내는 추진력, 운동저항, 견인력 등을 예측할 수 있는 수학적 모델을 개발하였다.

강성 궤도형차량이 연약한 지반위에 놓여 있을 때, 궤도는 지면에 평평한 상태로 놓여 있게 되고 전체 궤도길이에 따른 침하는 선형적인 관계를 나타내게 된다. 그러나 연성 궤도형차량이 연약한 지반위에 있는 경우에는, 궤도계를 통해 작용하는 수직하중은 전체 궤도계에 걸쳐 다르게 분포되어 전륜(roadwheel part : 前輪)아래 궤도부분에서 최대 침하가 나타나고, 전륜 사이의 궤도부분에서 최소 침하가 발생하게 된다. 전륜 아래 궤도부분의 형상은 전륜의 형태에 의해 영향을 받고, 전륜 사이 궤도구분의 형상은 토양-궤도변수의 상호작용, 특히 궤도장력에 크게 영향을 받아 전체 궤도계는 곡선형태를 나타내게 된다. 한편, 궤도형차량의 주행에 따른 전륜의 연속적인 통과와 궤도 아래에서 발생하는 추진력과 슬립, 그리고 견인력작용점(drawbar point)의 위치는 차량 후부(rear part)의 추가적인 침하를 유발하여 차량의 후부가 전부(front part)보다 낮아지는 상태가 된다. 따라서 궤도계의 해석은 토양변수와 차량의 설계변수, 그리고 운용조건에 따른 상호관계를 정확히 분석할 때 가능하게 된다.

나. 전인력 예측의 변수

1. 토양-궤도의 상호관계를 해석하는데 있어, 전륜의 진입각, 탈출각 및 전륜사이의 궤도부분을 모두 고려하여 전체 궤도길이에 따른 연속적인 장력변화를 해석에 고려하였다.

2. 치하가 큰 경우(deep sinkage)에도 모델을 적용하기 위해, 스프로킷부분과 첫 번째 전륜사이의 궤도부분에 대해서도 궤도의 형상과 장력변화를 해석에 고려하였다.

3. 추진력 계산에 궤도아래에서 발생하는 추진력뿐만 아니라 그라우저 측면에서 발생하는 측면추진력(side thrust)을 해석에 고려하였다. 측면추진력을 해석하는데 있어, 그라우저 사이의 토양을 탄성체로 가정하거나(Bekker,1956), 그라우저 사이의 토양에 작용하는 수평응력을 주동토압으로 간주하여 측면추진력 계산에 궤도의 침하 깊이만 고려하고 접지압분포를 고려하지 않은(Reece,1964) 기존의 모델들과는 달리, 본 논문에서는 그라우저 사이의 토양에 작용하는 수평응력을 주동토압으로 간주하여 측면추진력 계산에 궤도의 침하깊이뿐만 아니라 궤도아래에서의 접지압변화를 해석에 고려하였다.

다. 실제 모형에 적용

토양 파괴 모형 중 가장 일반적인 모형은 모어-쿨롬모형(Mohr-Coulomb failure criterion)이다. 이 모형에 의하면 전단응력이 다음과 같은 조건을 만족할 때 토양 파괴가 발생한다.

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \dots\dots\dots (26)$$

여기서, τ = shear strength of the material

c = apparent cohesion of the material

σ = normal stress on the sheared surface

ϕ = angle of internal shearing resistance of the material

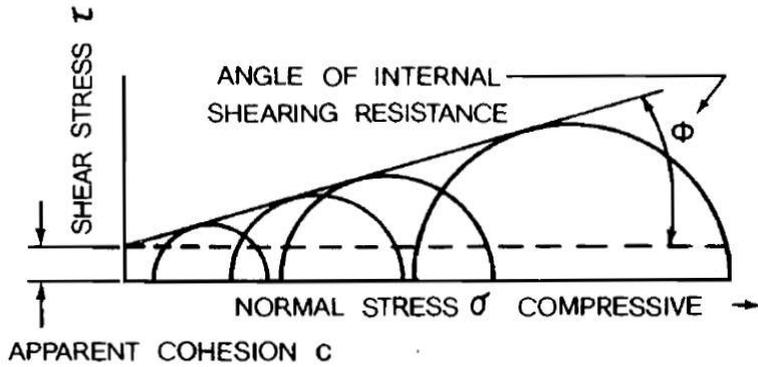


그림 3-19. Mohr-Coulomb failure criterion

궤도 차량의 경우 궤도의 스프로킷에 구동 토크가 전달되면 궤도 아래에 있는 토양의 전단 거동이 발생한다. 이 때 차량의 추진력-슬립 특성은 토양의 전단응력-전단변위 상호 작용 특성으로 결정된다.

야노시-하나모토(Janosi-Hanamoto)는 지수함수를 이용하여 전단응력-전단변위 관계를 다음과 같이 모형화 하였다.

$$\tau = \tau_{\max} (1 - e^{-j/K}) = (c + \sigma \tan \phi) (1 - e^{-j/K}) \dots\dots\dots (27)$$

여기서, τ_{\max} = maximum shear stress

j = shear displacement

K = shear deformation modulus

이 모형으로부터 다음과 같이 궤도형 차량의 견인력을 결정한다.

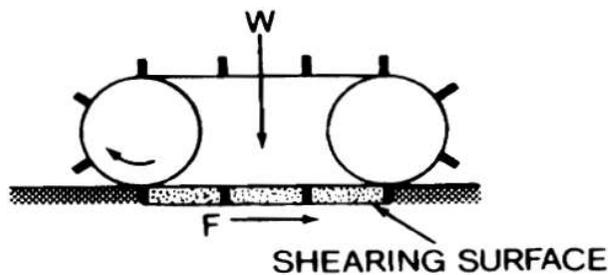


그림 3-20. Shearing action of a track

$$\begin{aligned}
 F &= b \int_0^l \tau dx \dots\dots\dots (28) \\
 &= b \int_0^l (c + \sigma \tan \phi) (1 - e^{-ix/K}) dx
 \end{aligned}$$

접촉면의 수직압력이 p 로 일정하다고 가정할 경우 $p = W/bl$ 이므로, 슬립을 l 라 하면

$$\begin{aligned}
 F &= b \int_0^l \left(c + \frac{W}{bl} \tan \phi \right) (1 - e^{-ix/K}) dx \dots\dots\dots (29) \\
 &= (Ac + W \tan \phi) \left\{ 1 - \frac{K}{l} (1 - e^{il/K}) \right\}
 \end{aligned}$$

이다. 이 때, 레도가 두 개이므로 접촉면적 $A = 2bl$ 이다. 따라서 최대 견인력 F_{\max} 는

$$\begin{aligned}
 F_{\max} &= Ac + W \tan \phi \dots\dots\dots (30) \\
 &= 2blc + W \tan \phi
 \end{aligned}$$

이다.

또한, 레도를 강체라 가정할 경우 레도에 의한 운동 저항은 토양을 침하시키는데 소요되는 힘과 같다. 따라서 베커(Bekker)의 압력-침하 관계식으로부터 침하량 z_0 는

$$z_0 = \left(\frac{p}{k_c/b + k_\phi} \right)^{1/n} = \left(\frac{W/bl}{k_c/b + k_\phi} \right)^{1/n} \dots\dots\dots (31)$$

따라서 운동저항을 R_c 라 할 경우

$$\begin{aligned}
 R_c l &= bl \int_0^{z_0} p dz \dots\dots\dots (32) \\
 &= bl (k_c/b + k_\phi) \left(\frac{z_0^{n+1}}{n+1} \right)
 \end{aligned}$$

의 관계가 성립하므로 레도가 두 개인 것을 고려하면, 레도에 의한 운동저항은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$R = 2b(k_c/b + k_\phi) \frac{Z_0^{n+1}}{n+1} \dots\dots\dots (33)$$

여기서, k_c = pressure-sinkage parameters

표 3-11. Terrain values

Terrain	Moisture Content (%)	n	k_c		k_ϕ		c		ϕ
			lb/in. ⁿ⁺¹	kN/m ⁿ⁺¹	lb/in. ⁿ⁺²	kN/m ⁿ⁺²	lb/in. ²	kPa	deg
Dry sand (Land Locomotion Lab., LLL)	0	1.1	0.1	0.99	3.9	1528.43	0.15	1.04	28°
Sandy loam (LLL)	15	0.7	2.3	5.27	16.8	1515.04	0.25	1.72	29°
Sandy loam (Michigan (Strong, Buchele))	22	0.2	7	2.56	3	43.12	0.2	1.38	38°
Sandy loam (Michigan (Strong, Buchele))	11	0.9	11	52.53	6	1127.97	0.7	4.83	20°
Sandy loam (Michigan (Strong, Buchele))	23	0.4	15	11.42	27	808.96	1.4	9.65	35°
Sandy loam (Hanamoto)	26	0.3	5.3	2.79	6.8	141.11	2.0	13.79	22°
Sandy loam (Hanamoto)	32	0.5	0.7	0.77	1.2	51.91	0.75	5.17	11°
Clayey soil (Thailand)	38	0.5	12	13.19	16	692.15	0.6	4.14	13°
Clayey soil (Thailand)	55	0.7	7	16.03	14	1262.53	0.3	2.07	10°
Heavy clay (Waterways Experiment Stn., WES)	25	0.13	45	12.70	140	1555.95	10	68.95	34°
Heavy clay (Waterways Experiment Stn., WES)	40	0.11	7	1.84	10	103.27	3	20.69	6°
Lean clay (WES)	22	0.2	45	16.43	120	1724.69	10	68.95	20°
Lean clay (WES)	32	0.15	5	1.52	10	119.61	2	13.79	11°
LETE sand (Wong)		0.79	32	102	42.2	5301	0.19	1.3	31.1°
Upland sandy loam (Wong)	51	1.10	7.5	74.6	5.3	2080	0.48	3.3	33.7°
Rubicon sandy loam (Wong)	43	0.66	3.5	6.9	9.7	752	0.54	3.7	29.8°
North Gower clayey loam (Wong)	46	0.73	16.3	41.6	24.5	2471	0.88	6.1	26.6°
Grenville loam (Wong)	24	1.01	0.008	0.06	20.9	5880	0.45	3.1	29.8°
Snow (U.S.) (Harrison)	1.6	0.07	4.37	0.08	0.10	196.72	0.15	1.03	19.7°
Snow (U.S.) (Harrison)	1.6	0.04	2.49	0.10	0.10	245.90	0.09	0.62	23.2°
Snow (Sweden)	1.44	0.3	10.55	0.05	0.05	66.08	0.87	6	20.7°

심토환경개선키의 총 중량 W , 레도의 폭 b 레도의 길이 l 를 각각

$W = 1000kg_f = 9.81kN$, $b = 30cm$, $l = 1300cm$ 라 하고, 사양토에서의 운동저항과 최대 견인력을 구해보자.

사양토는 $n = 0.7$, $k_c = 5.27kN/m^{1.7}$, $k_\phi = 1515.04kN/m^{2.7}$, $c = 1.72kPa$, $\phi = 29^\circ$ 이다.

$K = 5cm$ 라 할 경우

침하량은

$$z_0 = \left(\frac{p}{k_c/b + k_\phi} \right)^{1/n} = \left(\frac{9.81/(2 \times 0.3 \times 1.3)}{5.27/0.3 + 1515.04} \right)^{1/0.7} = 0.001m \dots\dots\dots (34)$$

며, 따라서 운동 저항은

$$R_c = 2b(k_c/b + k_\phi) \frac{z_0^{n+1}}{n+1} = \frac{2 \times 0.3 \times (5.27/0.3 + 1515.04) \times 0.001^{1.7}}{1.7} = 0.0043kN \quad (35)$$

이다.

또한, 최대견인력은

$$F_{max} = 2blc + W \tan \phi = 2 \times 0.3 \times 1.3 \times 1.92 + 9.81 \times \tan 29^\circ = 6.935kN \dots\dots\dots (36)$$

이다.

주행 속도를 6,0km/h(1.67m/s)라 하면 차량을 추진하는데 필요한 동력은

$$P \approx 7 \times 1.67 = 11.69kW \dots\dots\dots (37)$$

로 추정되며, 총 전동효율을 80%라 가정할 경우에도 주행에 필요한 동력은 14.6kW 이면 충분할 것으로 판단된다.

5. 결과 및 고찰

3차원 모델링 도구와 동력학 해석 도구를 이용하여 본체의 안전 영역을 분석하여 평가하였다. 자주심 심토환경 개선기의 안전영역은 전방 38.5°, 측방 37° 정도로서 상당히 안전영역이 넓은 것으로 파악되었으나, 평지에서 장애물의 높이가 15cm 정도부터 작업기의 주행을 안전하게 유지할 수 없음을 확인하였다. 따라서 안전 영역이라 할지라도 실제 임지에서 주행경로상의 장애물 등으로 인하여 안전성이 급격히 감소할 소지가 있음을 분석할 수 있었으며 실제 임지실험의 결과에서 드러난 바와 같이 실제 작업기의 안전영역은 시뮬레이션에 의한 분석에 비하여 적음을 확인할 수 있었다. 설계차량, 경사도, 밀도 등 같은 환경에서 토양속성만 바꾼 경우에 시뮬레이션 결과 마른 사질토에서는 차량 전복이 일어났으나, 비중함량이 큰 사양토에서는 차량 전복이 일어나지 않았다. 따라서, 차량의 안정성 평가시 토양의 속성 또한 고려해야할 설계변수로 파악해야 함을 알 수 있었다. 한편 소요동력의 경우 주행에 필요한 소요 동력은 전동효율 80% 가정하에 14.6kW이면 충분하리라 분석하였다.

제 5절 시작기 기능별 요인시험

1. 요인시험장치 제원

표 3-12. 요인시험장치 제원

요인시험장치	주요 치수
	<ul style="list-style-type: none"> ◦크기(L, W, H mm, 무게 kg) : 2,539×1,200×1,409, 986 최저 지상고(mm) : 150 ◦운전석 : 우측 ◦주 클러치 : 벨트 텐션방식 ◦노즐타입 깊이(mm) : 500 ◦탑재엔진 : 가솔린 공냉 15kW ◦브레이크시스템 밀림현상 ◦안전장치(공압, 전기배선 등)미비

2. 주행예비 성능시험

가. 재료 및 방법

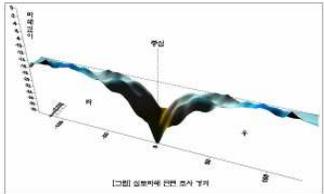
- (1) 공시기종 : 요인시험장치 제작(1호기 요인시험기)
- (2) 시험장소 : 원예연구소 과수원
 - ① 토성 : 미사토(SL)
 - ② 수분함량 : 25%,d.b.
 - ③ 토양강도(경도) : 2.5Mpa/cm²이상으로 측정 불가
- (3) 시험내용 : 경지지 주행성, 심토파쇄 예비시험 등

나. 결과 및 고찰

표 3-13. 경사주행시험 광경

경사 10도 내외	경사 20도 내외	경사 22도 내외	경사 주행시험결과
			경사 22도 내외까지 주행이 가능하였음

표 3-14. 토양파쇄 정도 예비시험

토양파쇄 작업	토양파쇄 상태 실측	토양파쇄 현상 단면조사
		

다. 결과요약

경사지 주행성은 경사 22도 내외까지 주행이 가능하였으며, 심토파쇄 깊이는 50cm내외로 목표치 60cm에 미달하였다. 토양개량제 (석회)의 확산 및 토양파쇄 범위는 직경 3m내외로 나타났으며 금후 토성별로 포장성능시험이 요구된다.

3. 토양개량제 자동계량 시험

가. 재료 및 방법

그림 3-21과 같이 계량시험장치를 만들어 토양개량제는 과립 소석회(A), 패화석(B), 분말토양개량제인 소석회(C) 3종을 가지고 공기압력은 0.95Mpa/cm², 토양개량제는 A,B,C각각 3kg정도씩 호퍼에 넣고 낙하 계량되는 양을 측정하였다. (기상조건 : 온도 : 31.9 ℃ 습도 : 49%)

표 3-15. 토양개량제 물성 [A (과립 소석회), B (패화석), C (분말,소석회)]

구분	A	B	C
밀도	1.301	1.68	0.799
부피	79.11	70.18	17.45
1.7mm 체 통과율	0%	90%	100%

나. 토양개량제 계량시험 요인시험



다. 시험결과 및 고찰

표 3-16. 토양개량제 종류별 계량 시험결과

(단위 : g)

구분	1회	2회	3회	4회	5회	6회	7회	8회	9회	10회	평균
A재료	100.4	101.2	101.9	102.4	102.6	102.7	104.3	103.8	104.3	103.7	102.73
B재료	119.4	119.6	119	119.1	117.9	117.5	116.5	117.2	116.7	116.7	117.96
C재료	21.5	13.3	12.5	12.8	9.8	12.7	11.4	17.2	10.9	12.5	13.46



그림 3-24. 다짐 현상



그림 3-25. 막힘 현상



그림 3-26. 공급되는 구멍

라. 결론

- ◇ A, B는 진동이 2G, 3G 상태에서도 계량 상태가 일정함.
- ◇ A, B는 15 kg 투입 후에도 계량 상태가 일정함.
- ◇ C는 다짐현상이 발생하여 진동 2G, 3G 상태에서 계량 상태 불량.
- ◇ C 재료를 석회저장탱크에 15 kg 투입 후 다짐현상 매우 심함

금후 분말 토양개량제를 사용 할 때에는 계량장치 보완이 필요하고 또는 과립과 분말을 섞어서 사용하도록 지도가 필요함.

4. 분말 토양개량제(소석회) 막힘장치 개량

가. 호퍼 개량보완

토양개량제가 소석회인 경우 분말소석회가 호퍼에서 잘 내려가지 않아 호퍼의 기울기를 그림 3-27 개량 전의 호퍼 경사각 60°를 그림 3-28과 같이 경사각을 70°로 개성하였으며 이때 호퍼의 용량이 50% 줄어들어 0.1ha에 2회 정도 토양 개량제를 넣어주어야 될 것으로 판단되었다.

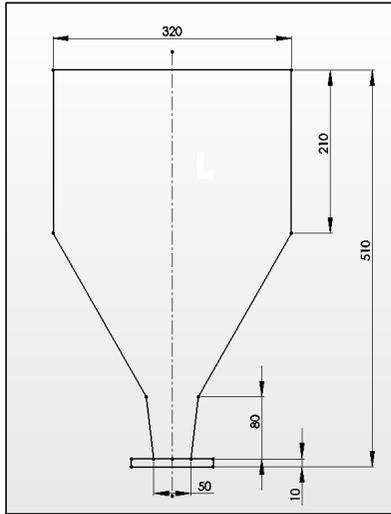


그림 3-27. 개량전
(경사각 : 60° 용량 : 27,130cm³)

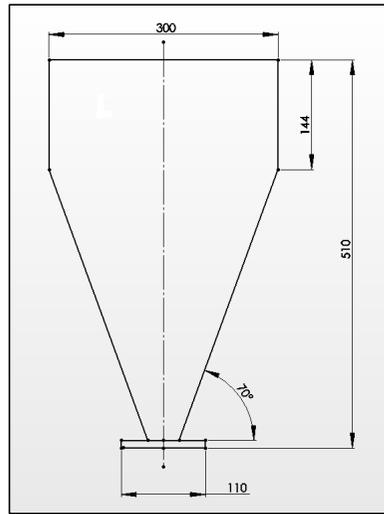


그림 3-28. 개량후
(경사각 : 70° 용량 : 11,780cm³)

나. 토양개량제 막힘해소 장치 개량요인 시험

토양개량제 막힘해소 요인을 구명하기 위하여 피스톤식, 교반기+오거식, 에어진동식 호퍼를 제작하였다. 피스톤식의 분사량은 62cc(48g)/회이었으며, 소석회를 피스톤을 밀어줄 때 다짐현상이 발생하였다. 교반기+오거식의 분사량은 121cc(94g)/회로 막힘현상이 전혀 없었으며, 에어진동식의 분사량은 79cc(62g)/회로 약간의 다짐현상이 발생하였다. 따라서 교반기+오거부식 막힘 해소 장치를 정밀하게 제작하여 사용하면 가능할 것으로 판단하였다.

표 3-17. 토양개량제 막힘 해소 요인시험 장치

 <p>그림 3-29. 피스톤식 (A)</p>	 <p>그림 3-30. 시험 광경</p>
 <p>그림 3-31. 교반기+오거식 (B)</p>	 <p>그림 3-32. 시험광경</p>
 <p>그림 3-33. 에어 진동식(C)</p>	 <p>그림 3-34. 시험광경</p>

표 3-18. 석회 계량시험(계량장치 제작 실내시험)

반복	10	10	10	총	평균(cc/회)
피스톤식(A)	400	500	550	1,450	62cc(48g)
교반기+오거식(B)	920	960	950	2,830	121cc(94g)
에어진동식(C)	호퍼에 5kg을 넣고 연속 50회 주입한 후 잔량 측정 ※ 토양: 마사토, 발포압력: 9.9kg/cm ² , 관입심: 50cm				79cc(62g)

※ 주입량이 동일할 것임으로 : 토성, 발포 압력, 관입 심도별 주입량 실험 불필요

다. 분말 토양개량제 막힘해소장치 설계제작(특허)

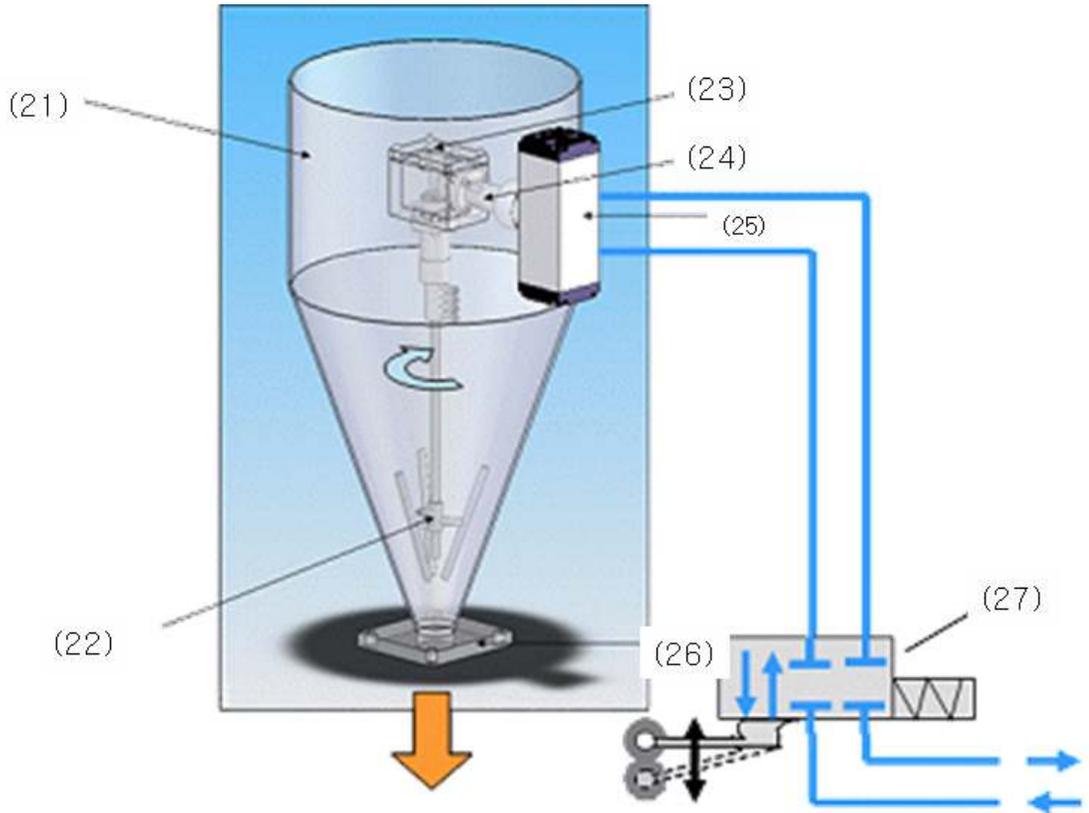


그림 3-35. 분말 토양개량제 막힘해소장치

- (21) 분말토양개량제 저장호퍼 (22) 삼지형 분체 교반 공급기 (23) 베벨기어박스
- (24) 실린더 연결축 (25) 공압 실린더 (26) 호퍼 고정대

라. 현장포장 시험결과

분말 토양개량제 막힘 방지장치를 탑재하고 소석회 5 kg을 호퍼에 넣고 시작기로 실제 포장에서 60회씩 압축공기와 동시에 토양속에 주입하고 남은 량을 계량하여 1회 투입량을 조사해본 결과 1회 투입량은 83.4g(92.7cc)정도로 계량되어 충분한 량이었으나 실내시험결과 : 121cc(94g)보다 적은 량이 투입되었다.

제 6절 시작기 제작

1. 시작기 통합설계 제작

기초조사와 설계요인시험에서 구명된 인자를 기초로 하여 아래 그림의 ① 본닛 ② 제어장치 ③ 엔진 및 공기압축기 ④주행부 ⑤ 압축공기 저장탱크 ⑥ 압축공기 분사노즐 봉 ⑦ 아축공기 분사노즐 타입장치(에어햄머) ⑧ 토양 개량제통 합하여 자주식 심토환경 개선기를 설계제작 하였다.

가. 시작기 구조

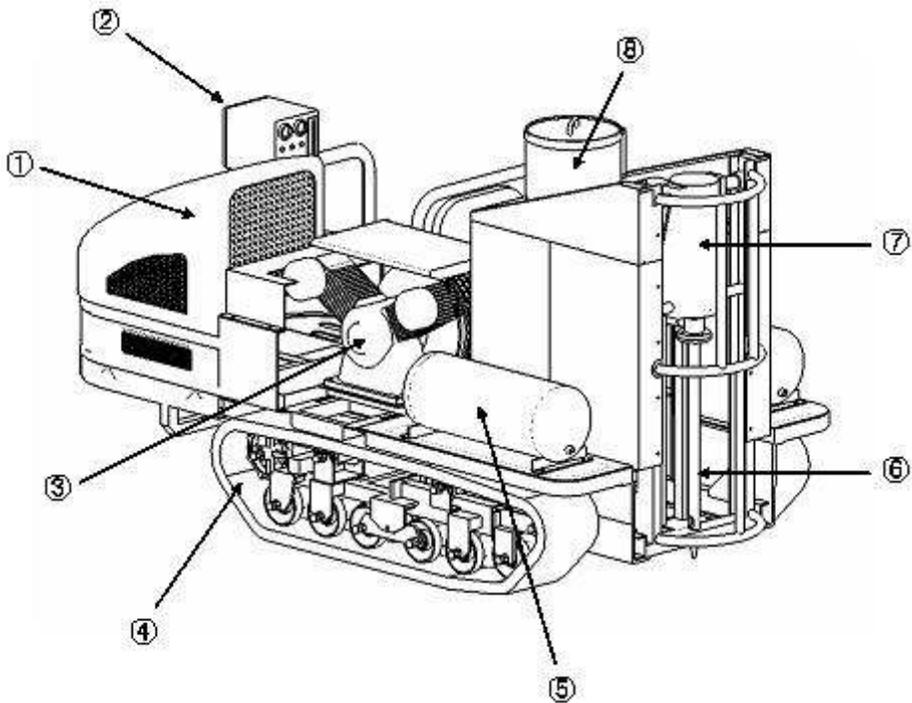


그림 3-36. 통합시스템의 구성

① 제어부(운전석) ② 제어장치 ③ 엔진+공기압축기 ④ 주행부(무한궤도) ⑤ 압축공기 저장탱크 ⑥ 압축공기 분사노즐 ⑦ 분사노즐의 토양 타입장치 ⑧ 토양개량제 호퍼

(1) 주행부(사진)

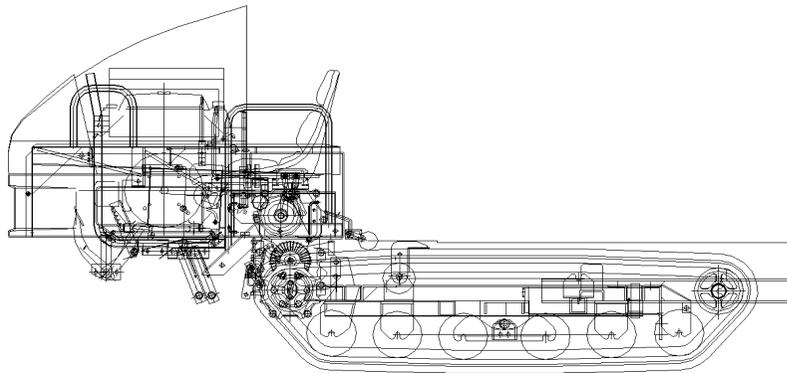


그림 3-37. 자주식 심토환경개선기의 주행부

(2) 심토파쇄 및 토양개량제 투입부

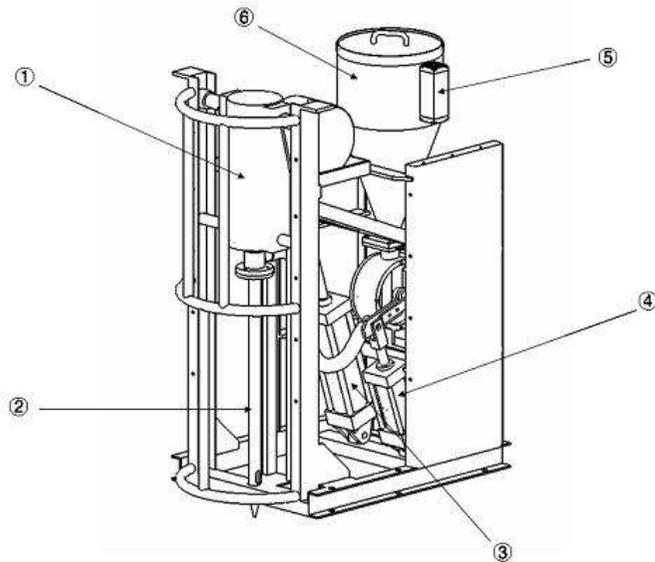


그림 3-38. 심토파쇄 및 토양개량제 투입부

- ① 사노즐 토양 타입장치(에어햄머) ② 압축공기 분사노즐 ③ 분사노즐 상하 작동 공압 실린더 ④ 토양개량제 계량 작동 실린더 ⑤ 토양개량제 막힘 해소 교반장치 작동 공압장치 ⑥ 토양개량제 호퍼

(3) 토양개량제 계량부

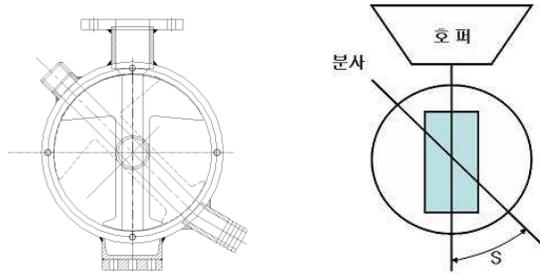


그림 3-39. 토양개량제 계량부

나. 제원

시작기의 제원은 표 3-19와 같이 주행단수는 전진 2단, 후진 1단 컴프레서는 약 5.6 kW이며 압축공기 저장탱크는 7.5L 2개를 장착하였다. 심토파쇄 노즐의 타입은 진동식 에어 햄머를 이용하였고 노즐은 Ø 32mm 니들형, 좌·우 분출식으로 길이 670mm로 하였다. 토양개량제의 계량은 로타리 자연낙하식이며 소석회와 같은 분말을 사용할 때 막힘 해소를 위하여 교반장치를 부착하였으며 이 교반장치는 압축공기의 힘으로 회전하도록 설계제작하였다.

표 3-19. 시작기 제원

기체 크기(L×W×H,mm)		2,542 × 1,250 × 1,450	중량(kg)	1.046	
주 행 장 치	(L×W×H, mm)	250 × 72 × 46(고무)			
	동력원(kW)	15 공냉 가솔린엔진	상용(rpm)	2,400	
	주행단수(단)	전진 2, 후진 1 × 저고속 2			
	동력전달부	벨트(전자클러치식)	최저지상고 (mm)	150	
	주행방식	무한궤도	노즐관입 깊이조절	심도 표시게이지식	
심 토 파 쇄 장 치	컴프레셔(Kw,Mpa/cm ²)	5, 최고압력 0.99			
	공압 탱크(L,개)	72×2			
	관 입 부	방 식	공압 진동 관입식(Air rock drill)		
		노즐(Ø,mm)	니들형, 좌우분출식 (32 × 670)		
		상하작동	복동 실린더식		
	석 회 주 입 부	탱 크	호퍼식		
		계 량	로터리식		
배 출		자연낙하식 (호퍼에 공압식 진동자 부착)			

제 7절 시작기 성능 시험

1. 시험 방법

가. 토양개량제 계량 투입시험

분말 토양개량제 자동 계량시험은 그림 3-40과 같이 실내시험과 실제 포장에서 투입량을 조사하였다. 또한 토양 개량제의 종류별 막힘 해소 요인을 구명하기 위하여 로터리식 계량장치와 2종의 호퍼와 3종(피스톤식, 교반기+ 오거식, 에어 진동식)의 막힘 해소 장치를 제작하여 요인시험을 하였다. 토양개량제의 계량은 로터리식으로 41.5° 회전할 때마다 약 100cc(92.7g)정도의 토양개량제가 자유 낙하하여 압축공기와 동시에 땅속으로 분사되도록 설계 제작하였다.



그림 3-40. 토양개량제 계량시험 장치와 시험광경

나. 자주식 심토환경 개선기 성능 및 토양개량제 확산정도 조사

자주식 심토환경 개선기는 SS기의 자주식 주행 장치에 심토 파쇄부를 탑재하여 시작기를 제작하였다. 성능시험은 토성별로 심토 파쇄성과 토양 개량제 확산 정밀도를 조사하였다. 심토파쇄와 토양 개량제 확산 정밀도 조사는 0.9.9Mpa/cm² 공기압의 에어 햄머로 공기 분사노즐을 토양 50cm내외 깊이에 타입 시켜 압축 공기와 동시에 약 92cc/회의 토양 개량제(석회)를 투입시킨 후 분사노즐 타입 위치로부터 약 200mm 전방에서부터 토양을 교란되지 않도록 절개해 나가면서 100×100mm 격자 모양이 그려진 투명 아크릴판을 대고 토양 파쇄와 석회 확산 현상을 그린 것을 가지고 3차원 분석하였다.

2. 결과 및 고찰

가. 자주식 심토 환경 개선기 포장 성능시험

(1) 각부 성능

각 부분의 성능시험 결과 처음 상용압력까지 도달시간은 평균 61초로 약 1분정도 소요되었으며 압축공기 분사노즐의 땅속 깊이 500mm 까지 타입시간은 토성에 따라 토양의 수분함량 토양경도 등에 따라 다르나 10~20초 정도가 소요되었다. 압축공기의 분사와 토양 개량제 투입시간은 1~2초가 소요되었으며 압축공기 분사노즐의 상승시간도 약 1~2초가 소요되었다. 선회 반경은 2.3~2.31m로 짧게 나타나 과수원의 작업이 용이할 것으로 판단되었다.

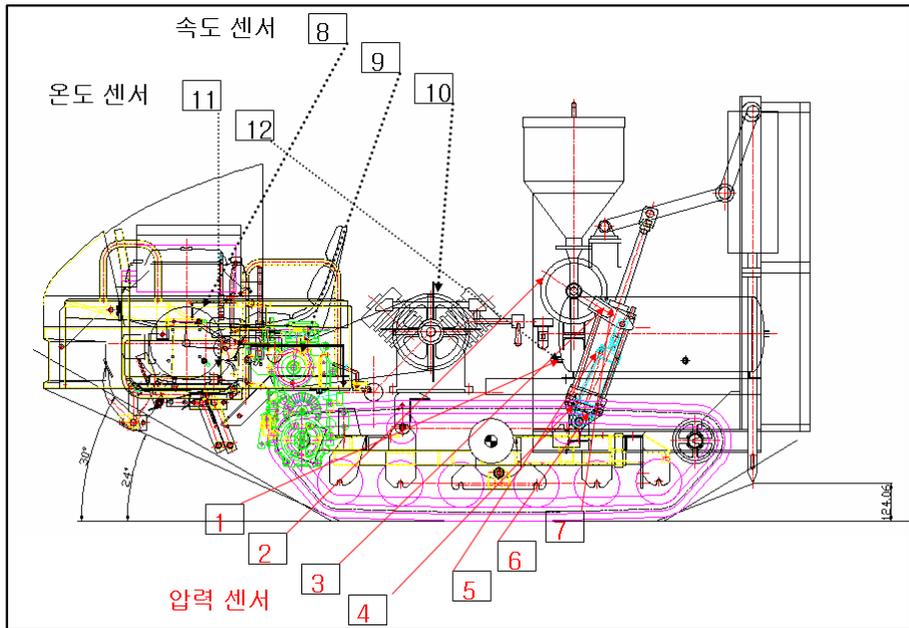


그림 3-42. 각부 성능을 조사를 위한 센서 부착도

표 3-21. 각부 성능

구분		1	2	3	평균
상용압력 도달 시간		68	57	58	61
관입시간(초)	식양토	11	10	10	10
	양토	20	21	20	20
	사양토	24	14	17	18
폭 발(초)		2	3	2	2
노즐상승 시간(초)	식양토	1	1	1	1
	양토	1	1	1	2
	사양토	2	1	1	1
주행 속도			저속	고속	
	전진	1단(m/s)	0.4		0.6
		2단(m/s)	0.8		1.2
	후진(m/s)		0.4		0.7
	선회반경(m)		2.31(우)		2.20(좌)

※ 연료소모량 : 2.4 L/h

(2) 심토파쇄 성능

① 노즐 투입깊이 및 파쇄직경

심토파쇄 깊이는 500mm 심토 파쇄직경은 표 3-22에서 보는 바와 같이 식양토에서 2.6m, 사양토에서 3.0m, 양토에서 4.5m로 토성과 토양수분함량, 토양경도 등 토양의 물성에 따라 다르게 나타나 토양파쇄 간격은 3~4m간격으로 하는 것이 좋을 것으로 판단되었다.

표 3-22. 심토파쇄 깊이 및 파쇄직경

구분	식양토	사양토	양토	평균
노즐 투입 깊이(mm)	500	450	500	500
파쇄직경(m)	2.6	3.0	4.5	3.7

그림 3-43은 수분함량 30%, d.b. 식양토에서 심토파쇄노즐 깊이 500mm타입 후 심토파쇄와 동시에 토양개량제 소석회를 주입 후 단면을 절개하여 조사한 결과, 직경 2.6m 내외로 파쇄 되었으며 방사선모양으로 파쇄된 것을 확인할 수 있었다.

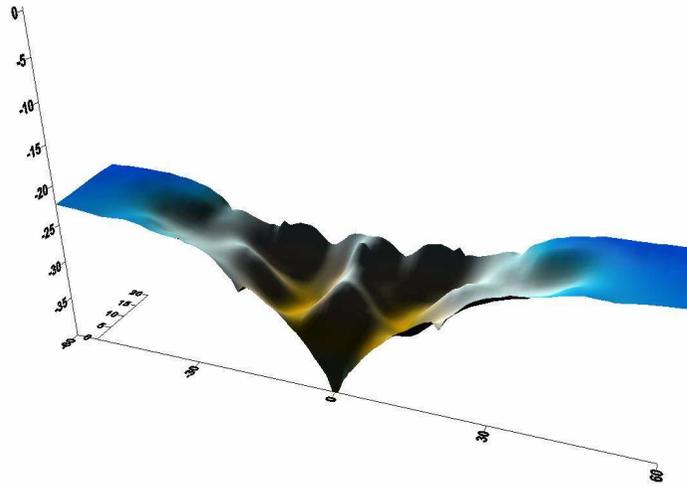
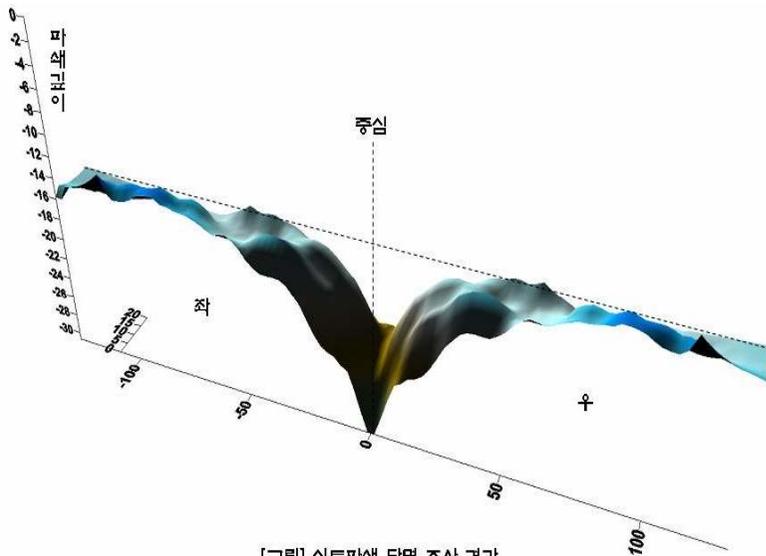


그림 3-43. 토양과쇄현상(CL, 30% d.b. 경심50cm, 직경2.6m)

그림 3-44는 수분함량 28% d.b. 사양토에서 심토파쇄노즐 깊이 500mm타입 후 심토파쇄와 동시에 토양개량제 소석회를 주입 후 단면을 절개하여 조사한 결과, 직경 3.0m내외로 파쇄 되었으며 방사선모양으로 파쇄된 것을 확인 할 수 있었다.



[그림] 심토파쇄 단면 조사 경과

그림 3-44. 토양과쇄현상(SL, 28% d.b. 경심45cm, 직경3.0m)

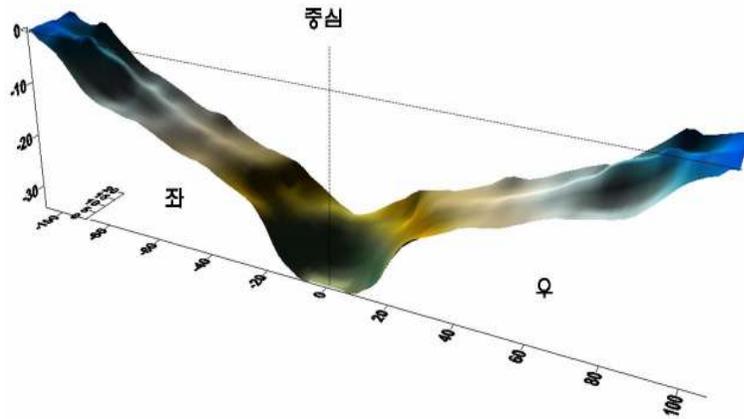


그림 3-45. 토양파쇄현상(L, 32% d.b. 경심50cm, 직경4.5m)

그림 3-45는 수분함량 32% d.b. 양토에서 심토파쇄노즐 깊이 500mm타입 후 심토파쇄와 동시에 토양개량제 소석회를 주입 후 단면을 절개하여 조사한 결과, 직경 4.56m내외로 파쇄 되었으며 방사선모양으로 파쇄된 것을 확인 할 수 있었다.

나. 심토파쇄 및 분말 토양개량제(석회)의 투입상태

심토파쇄 및 분말 토양개량제(석회)의 투입상태는 그림 3-46에서와 같이 심토파쇄 노즐 타입 지점으로부터 좌우로 골고루 퍼지는 것을 확인 할 수 있어 전층시비효과가 크게 기대 된다.



그림 3-46. 토양파쇄 및 석회 확산 현상

3. 결론

이 연구는 과수와 수목이 자라는 다져진 심토환경을 개선하기 위하여 압축공기로 심토(50cm)를 파쇄하여 토양 물리성을 개선하고, 분말 토양개량제를 심토파쇄균열 틈에 동시에 분사시킬 수 있는 자주식 심토환경 개선기를 개발하였으며 성능시험 결과는 다음과 같다.

가. 토양개량제의 자동 정밀계량 요인 시험 장치를 제작하여 압축공기와 동시에 토양을 파쇄하고 토양개량제를 땅속 깊이 균열 층에 확산시킬 수 있는 자주식 심토환경 개선 시작기를 개발하였다.

나. 기존의 토양개량제 자동계량 장치는 과립과, 폐화석은 가능하였으나 분말인 석회는 1회 주입량 100cc기준에 미치지 못하고 막힘 현상이 나타나 토양개량제 호퍼의 경사각을 60°에서 70°로 보완하고 호퍼 모양을 사각에서 원뿔형으로 개량하였으며, 압축공기로 작동되는 교반기를 부착하여 분말 토양개량제(석회)가 막히지 않고 1회 투입량은 92.7cc(83.4g) 전충시비가 가능하도록 호퍼에서 분말 막힘을 해결하였다.

다. SS기의 주행 장치를 이용한 시작기의 선회반경은 약 2.2~2.3m, 경사지는 경사 22°까지 안전하게 주행이 가능하였다.

라. 공기압축기의 최초 상용압력 0.9Mpa/cm²까지 도달시간은 약 1분이 소요되었으며 압축공기 분사노즐의 심토파쇄 깊이 500mm내외까지 관입시간은 평균10~20초, 폭파시간은 2~3초가 소요되어 심토파쇄 1회에 소요되는 시간은 약 1분20초가 소요되었다.

마. 심토파쇄 깊이는 약 50cm정도타입이 가능하였으며, 파쇄직경은 토성 및 수분함량에 따라 차이가 있으나 약 3~4m내외로 나타나 농가에서 압축공기와 동시에 분말 토양개량제(석회)를 전충시비를 할 때 작업간격은 3~4m가 좋을 것으로 판단된다.

제 8절 자주식 심토환경 개선기에 대한 임업의 현지적용 및 성능시험 (협동과제)

과수 및 농업용으로 활용중인 심토환경개선기의 임업적 적용 가능성을 파악하고자 묘목, 유실수 및 조경수(정원수) 등에 대한 현지 적용성 시험을 통하여 토양의 물리성 개량 효과에 따른 수목의 성장효과, 광합성량 및 엽록소 함량에 따른 수목의 활력증진과 효과를 구명하고자 하였다.

1. 임목의 생육상황조사

가. 묘목

일반적으로 묘포에서는 파종이나 이식 작업 전에 포장을 경운하여 토양의 물리성을 개선하며, 경운작업에 따라 산소가 토양과 혼합됨으로서 토양 내에 있는 각종 유·무기물과 반응하여 산화작용을 일으켜 토양의 화학적 성질도 좋게 하는 것으로 알려져 있다. 그러나 일반적으로 사용되는 고정묘포에서는 묘목의 묘령이 높고, 이식을 하지 않은 경우 통기성이 나빠지면서 자연담압이 생겨 토양 속에 산소가 들어오지 않게 되면 토양층에서 산소를 빼앗긴 환원물이 생성되고 이것이 뿌리에 좋지 않은 영향을 미칠 수 있다.

따라서, 묘포에서 생육하고 있는 묘목에 대한 토양 내 피해를 줄이면서 토양내 충분한 산소와 양료를 제공하고자 심토환경 개선기를 사용하여 토양 내 물리적 구조를 개선하고자 몇 활엽수종을 대상으로 성장과 관련된 생리·생태적 특성을 비교하였다.

(1) 공시 수종 및 시험구 설치

공시 수종은 노각나무와 이팝나무 1-2묘(3년생), 은행나무 1-3묘(4년생)로 각 처리구(m²)당 64본이 식재되어 있으며, 한번 묘상에 이식한 후 2내지 3년이 되는 수종으로 묘포 토양에 어떠한 처리도 하지 않은 상태로 자연적인 담압이 진행되었을 것으로 판단할 수 있다.



그림 3-47. 묘포장에서의 심토 개선기 현지적용 시험 (경운기용 심토 개선기)

(2) 토양내 공기 투입 효과 분석

2006년 11월에 묘목의 생장이 끝나고 휴지기에 들어간 처리수종을 대상으로 토양 내 공기를 투입 처리하였으며, 공기 투입은 Air Rock Drill방식으로 파쇄압력은 0.99Mpa/cm² 시간 20kg/m를 1m²당 1회씩 3반복으로 처리하였고, 공기 투입의 효과를 비교하기 위하여 처리하

지 않은 무처리구도 3반복씩 설정하였다. 처리에 따른 효과분석은 각 처리구에 대하여 생장특성, 엽록소 함량, 엽록소 형광 반응 등을 대상 묘목의 처리 후 6개월 후에 비교 조사하였다.

토양 내에 공기를 유입하는 심토환경 개선기 처리 결과는 토양의 물리적, 화학적 구성조건이 변화되면서 묘목의 세근발달이 촉진되었고 궁극적으로 생장효과가 우수하고, 생리적 활력도가 높아져 엽록소 함량, 엽록소 형광반응 등 생리적 안정된 생장 결과를 나타냈다. 또한 대조구에 비해 묘목의 생장과 물질생산량이 상대적으로 우수한 결과를 나타내었다.

① 생장 특성 및 물질생산량

노각나무는 처리를 실시한 경우 근원경 생장은 비슷한 값을 보이나 간장은 처리구가 83cm, 무처리구가 48.7cm로 2배 이상의 높은 생장 차이를 보였고(표 3-23), 그림 3-48에서 보는 바와 같이 이팝나무와 은행나무의 생장특성은 전체적으로 처리구가 우수한 경향을 보였다.

표 3-23. 처리구별 생장 특성 및 물질생산량

수 종 (묘령)	구분	생장특성				물질생산량					
		간장(cm)		근원경(mm)		지상부(g)		지하부(g)		Total(g)	
노각나무 (1-2)	처리	83.0	±2.8	8.6	±0.6	19.0	±2.6	15.3	±1.5	34.3	±2.1
	무처리	48.7	±2.5	6.7	±0.7	12.6	±6.3	2.6	±1.1	15.2	±3.9
이팝나무 (1-2)	처리	81.0	±5.1	7.8	±0.2	21.1	±0.3	11.3	±2.5	32.4	±1.8
	무처리	68.0	±3.7	5.9	±0.3	12.3	±2.2	6.3	±0.4	18.6	±2.0
은행나무 (1-3)	처리	14.0	±0.8	10.2	±2.9	15.7	±6.5	15.0	±4.8	30.7	±5.1
	무처리	17.0	±0.8	6.8	±1.5	5.2	±2.5	3.8	±1.4	9.0	±1.8



<노각나무 1-2묘>

<이팝나무 1-2묘>

<은행나무 1-3묘>

그림 3-48. 심토환경 개선기 처리에 따른 묘목의 성장특성(좌; 무처리구, 우; 처리구)

② 엽록소 함량

일반적으로 정상적인 생육을 하는 수목의 경우 엽록소 a/b의 비율이 약 3정도가 안정적이라는 선행 연구결과가 있으며, 표 3-24에서 보는 바와 같이 처리구의 대상 수종 모두 엽록소 a, b와 함께 전체 엽록소 함량이 높게 나타났으며, 엽록소 a/b의 비율도 높게 나타났다.

표 3-24. 처리구별 엽록소 함량 비교

수종	구분	Ch. a	Ch. b	Total Ch.	Ch. a/b
노각나무	처리	2.23	0.56	2.79	3.95
	무처리	1.78	0.52	2.30	3.39
이팝나무	처리	1.62	0.29	1.92	5.51
	무처리	1.41	0.31	1.72	4.58
은행나무	처리	1.87	0.37	2.23	5.08
	무처리	1.52	0.43	1.95	3.56

③ 엽록소 형광반응

일반적으로 형광반응의 측정치는 식물이 스트레스를 받으면 F_0 값이 증가하고 F_m 은 감소한다. 또한 F_v/F_m 은 일반적으로 0.83정도의 값이 건강하며, NPQ값은 상대적으로 낮은 수치가 생리적 특성이 안정적이라 알려져 있다. 이보다 낮은 값은 어떠한 형태로든 스트레스에 노출되었다고 판단된다. 수목이 성장하는 일반 묘포는 4월을 지나면서 묘포토양의 환경이 강한 일사량과 함께 높은 온도로 인해 수목의 생장에 많은 스트레스를 가한다. 특히 정상적으로 뿌리발달이 적은 묘목일수록 지상부의 엽량이 많다면 고온에 의한 자기방어적 기작의 일환으로 생리적 활력을 유지하기 위해 보다 많은 수분량이 요구되고, 이를 이루기 위해서는 토양 내 수분 흡수가 절대적으로 필요하다. 따라서 동일한 묘령의 수종이더라도 세근발달이 우수한 처리구가 무처리구에 비해 보다 안정적인 성장을 이룰 수 있으리라 판단된다. (표 3-25).

표 3-25. 엽록소 형광반응 측정치

수종	구분	F_0	F_v	F_m	F_v/F_m	NPQ
노각나무	처리	196	544	740	0.74	0.36
	무처리	199	619	818	0.76	0.20
이팝나무	처리	232	667	899	0.74	0.13
	무처리	259	685	944	0.73	0.17
은행나무	처리	160	409	569	0.72	0.09
	무처리	210	522	732	0.71	0.23

나. 유실수

임업에서 밤나무는 대표적인 소득 작물로서 최근 노령화에 따른 생산량의 감소와 제조업시 인력의 부족으로 제조제를 과다 사용함에 따른 토양의 지력 쇠퇴 등에 따라 본 심토환경개 선기를 적용하여 성장상태 등을 조사하였다.

(1) 유실수(밤나무) 재배지 개황

- 품종 및 수령 : 대보 8년생
- 처리방법 : 유박, 석회, 공기, 무처리 등 4방법, 각 10본
- 생육상황 조사 : 수고 및 직경 생장
- 조사 시기 : 1차(처리 전, 4. 4), 2차(6. 9), 3차(8. 30)

(2) 유실수 생육상황 조사

밤나무의 생장률 변화를 조사한 결과, 수고에 있어서는 무처리와 처리간에 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 무처리구의 1차 조사결과 평균 수고가 4.9m에서 3차 조사 결과 5.2m로서 약 6%의 생장률 향상을 나타내었다. 처리구 역시 5.3~8.1%로서 수고 생장 변화에 있어서는 거의 차이가 나지 않는 것으로 조사되었다. 그러나 근원경의 생장변화에 있어서는 무처리 지역이 17.6% 증가를 나타낸 반면, 처리지역의 경우 23.1~25.9%의 생장 증가를 나타내어 심토개선키의 효과가 있는 것으로 나타났다.

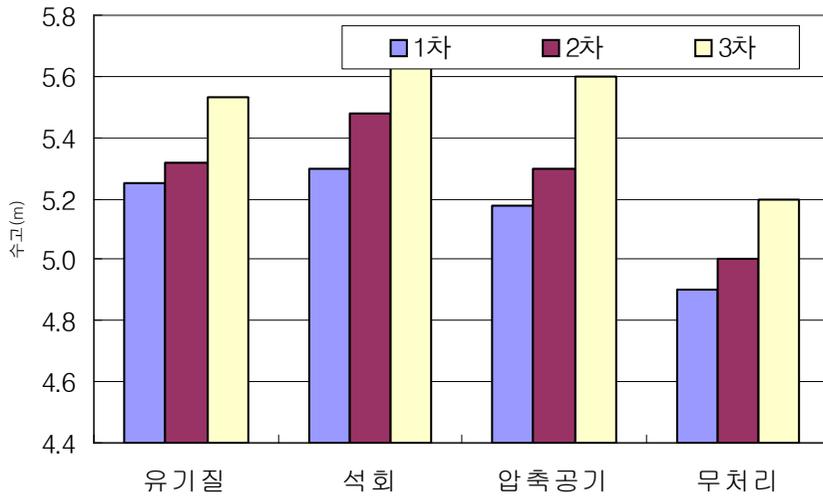


그림 3-49. 조사시기별 수고성장 변화

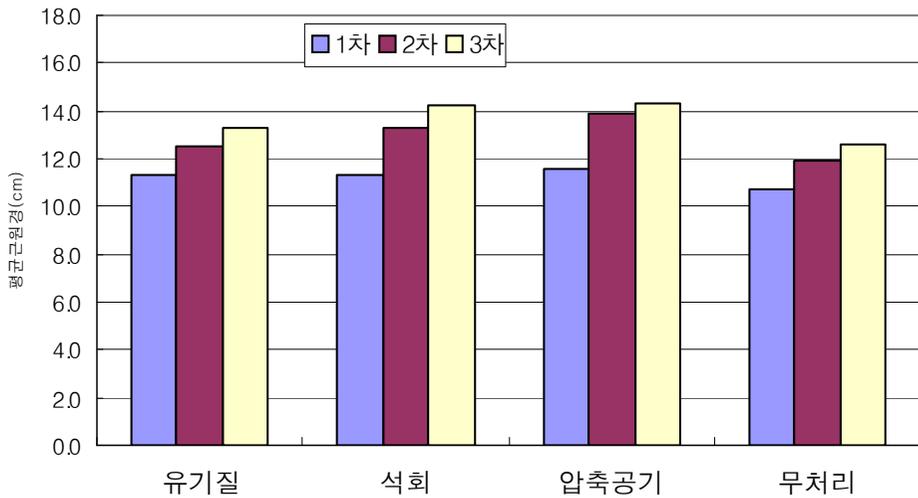


그림 3-50. 조사시기별 근원경 성장 변화

다. 조경수 및 정원수

(1) 조경수 재배지

조경수 재배지에 있어서는 상업적으로 판매하는 조경수 집단재배지로서 일반 묘포와 유사한 조건을 나타내었다. 특히, 평지에 위치하고 있어 경운기 부착용 심토환경 개선기에 의

한 적용성 시험을 실시하였다.

- 수종 및 수령 : 왕벚나무 3년생 수고 및 근원경 측정(처리별 10본)
- 처리방법 : 유박, 석회, 공기, 무처리 등 4방법, 각 10본
- 생육상황 조사 : 수고, 근원경 및 직경
- 조사시기 : 1차(처리 전, 3. 30), 2차(8. 30)



그림 3-51. 조경수 식재지의 심토환경 개선기 적용 시험

조사시기별 근원경 생장에 있어서 생장률은 무처리의 생장에 있어서는 121.3% 증가하였으나, 유기질 비료를 투입한 지역은 132.6%, 석회비료 투입구에서는 133.1%, 공기만 투입한 지역의 생장률 역시 136.2%로서 처리지역 3개소의 생장이 무처리구에 비해 10% 이상의 생장향상 효과를 나타내었다. 이로 미루어 보아 심토환경 개선기에 의한 생장효과가 있는 것으로 판단되었다.

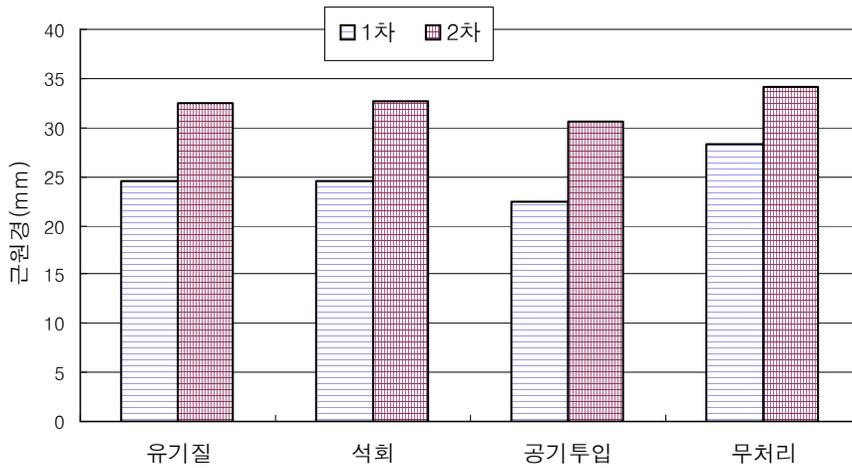


그림 3-52. 조사시기별 근원경 성장 변화

한편, 흉고직경의 성장률에 있어서는 유기질 비료, 석회투입 및 무처리 간에 큰 차이가 없었으나, 공기투입 지역은 무처리구(135.6%)에 비해 성장률이 좋은 143.9%로서 효과가 있는 것으로 조사되었다. 또한 수고생장에 있어서도 심토환경개선기의 처리가 되지 않은 지역에 비해 처리구의 생장이 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 3가지 성장변화 가운데 가장 효과가 좋은 것은 공기만 투입한 것이 무처리에 비해 모두 좋게 나타나 답압된 토양에 산소공급만으로도 충분한 효과를 거둘 수 있을 것으로 판단된다.

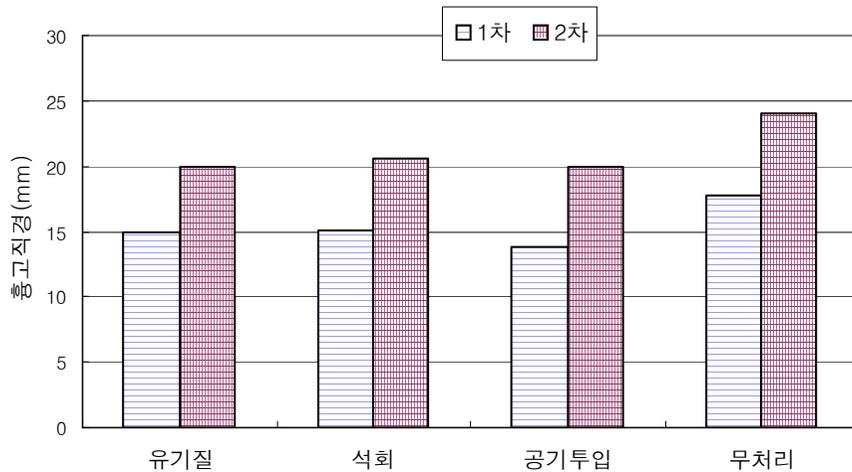


그림 3-53. 조사시기별 흉고직경 성장 변화



그림 3-54. 조사시기별 수고 성장 변화

(2) 정원수 재배지

- 수종 : 매실나무(처리별 각 1본)
- 처리방법 : 심토환경 개선기 공기투입 처리, 무처리
- 엽록소함량 조사 : 처리 3월, 조사 10월 초

엽록소 함량은 처리구가 무처리구에 비해 엽록소 a, b 및 전체 엽록소 함량 모두 높게 나타났으나, 엽록소 a/b의 비율은 처리구가 무처리구에 비해 낮게 나타났다.



그림 3-55. 정원수 심토환경 개선기 처리광경

표 3-26. 심토환경 개선기 처리에 따른 매실나무의 엽록소 함량 비교

구분	엽록소 a (mg/gr. fre. wt.)		엽록소 b (mg/gr. fre. wt.)		전체 엽록소 (mg/gr. fre. wt.)		엽록소(a/b)
	1.24	±0.52	0.33	±0.12	1.57	±0.68	
처리	1.24	±0.52	0.33	±0.12	1.57	±0.68	3.73
무처리	1.19	±0.56	0.22	±0.11	1.41	±0.74	5.40

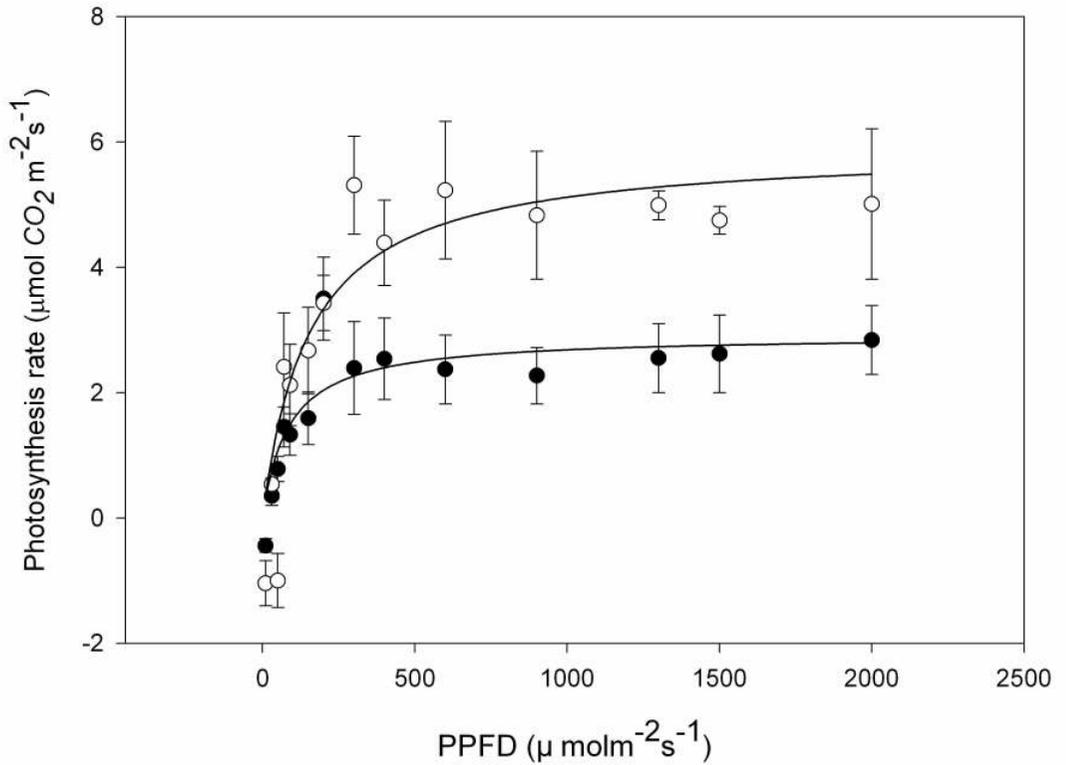


그림 3-56. 심토환경 개선기 처리에 따른 매실나무 광합성 특성 비교
(● 무처리구 ○ 처리구)

2. 심토환경 개선기 현지적용 시험

가. 주행 및 등판성능 시험

개발된 심토환경 개선기에 대한 현지 적용시험은 주로 산림지역이 대부분인 임업의 특성상 작업로가 개설된 임지에서 실행되었다.

대상기종은 궤도형 자주식 심토환경개선기로서 최저지상고가 150mm 밖에 되지 않아 임내에서의 주행은 근주 및 가지, 암석 등이 산재해 있어 주행성이 떨어지는 것으로 조사되어 임업에서 활용하기 위해서는 차체의 프레임 등을 보완하여 최저지상고를 높여야 할 것으로 판단된다.

작업로 경사지 주행시험 결과, 최고 22°까지 주행하는 것으로 나타나 종자를 채취하는 채종원 등에 활용이 가능할 것으로 판단된다.

- 조사지역 및 경사구분 : 농로, 경사 10°, 20°, 30°로 구분
- 경사지 주행시험 결과 : 22° 까지 주행이 가능하였음



그림 3-57. 경사지 주행시험 광경(좌 : 10° 내외, 우 : 22° 내외)

나. 작업능률 시험

경운기용 심토환경개선기의 작업능률을 분석하기 위하여 작업시간 및 이에 따른 토양의 식혈 등 작업량 조사를 실시하였다. 조사대상지역은 밤나무 재배임지로서 작업로가 시설되어 있어 경운기의 주행에 큰 어려움이 없는 지역이었다(그림 3-58).

시간조사는 연속시간 관측법으로 요소작업별로 계속 관측을 실시하였으며, 요소작업 구분은 표 3-27과 같이 준비, 이동, 노즐투입(파쇄), 휴식 및 장비지체(점거) 등으로 구분하여

조사하였다.

작업방법은 그림 3-59에서 보는 바와 같이, 뿌리의 손상을 방지하기 위하여 수관부의 끝 부분인 주간에서 1.5m 정도 떨어진 곳에 노즐을 투입하는 방법으로 진행되었다.



그림 3-58. 경운기 부착용 심토개선기 작업능력 시험

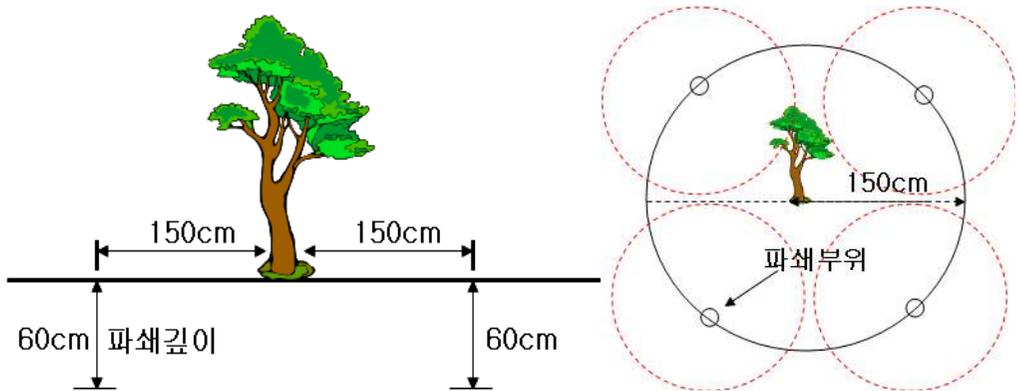


그림 3-59. 심토환경개선기의 작업범위 모식도

전체 71분의 작업시간 조사 결과, 작업을 시작하기 전의 준비(작업 후 정리 포함)작업 시간은 전체작업의 18.9%를 차지하였으며, 순수한 작업능률에 소요되는 이동 및 노즐투입(토양파쇄) 작업시간은 전체작업의 63.4%를 차지하는 것으로 조사되었다.

- 조사대상지 : 유실수 재배단지(밤나무 대보 8년생 임지로 식재간격 5m)

- 투입기종 : 경운기 부착용 심토환경 개선기
- 작업내용 및 작업시간 : 전체 71분 작업, 주당 평균 1.86혈 투입 시비
- 비료투입량 : 노즐 투입 1회당 100 cc 기준 [실제1회 투입량은 92.7cc(83.4g)]

표 3-27. 요소작업 시간조사 내역

구분	준비	이동	노즐투입	휴식	장비점검	계
전체(분)	19.4	35.2	29.5	6.7	11.4	102.2
1분당(분)	0.27	0.50	0.42	0.09	0.16	1.44
비율(%)	18.9	34.5	28.9	6.5	11.2	100.0

시간조사 및 작업량 조사자료를 근거로 경운기용 심토환경개선기의 작업능률은 시간당 41.7분으로 분석되었고, 본당 평균 1.86혈에 노즐을 투입하며, 본당 소요시간은 1.44분으로 계산되었다.

3. 요약 및 결론

자주식 심토환경개선기의 임업적 적용시험은 묘목, 유실수, 정원수 등을 대상으로 실시하였다. 묘목의 경우에 있어서는 노각나무, 이팝나무 및 은행나무 등 활엽수 3수종을 대상으로 성장량 및 물질생산량, 엽록소 함량을 조사한 결과 심토개선기 처리구가 무처리구에 비해 간장 성장량에 있어서는 약 2배의 성장 차이를 나타내었고, 은행나무의 경우에 있어서는 근원경 성장과 물질생산량에 있어 심토 개선기 처리구가 월등한 차이를 나타내었다.

또한 유실수(밤나무)의 경우에 있어서도 수고생장에 는 큰 차이가 없었으나, 근원경의 경우 처리구가 무처리구에 비해 7% 이상 생장이 좋은 것으로 조사되어 심토 개선기를 임업에 적용하면 묘목의 산출시기를 앞당길 수 있을 뿐만 아니라 밤나무 등 유실수 단지에 도입하여 생산량을 증대시킬 수 있을 것으로 판단되었다.

산지의 현장적용 시험결과, 임업에 투입하기 위해서는 최저지상고를 높여서 주행성능을 향상시킬 필요가 있을 것으로 판단되었다.

제 9절 시작기 경제성 분석

1. 기계이용 비용

표 3-28. 기계이용 비용

구분	시작기	트랙터 부착 심토환경 개선기	
		트랙터	심토 파쇄기
구입가격(원)	30,000,000	17,000,000	7,520,000
내구연한(년)	8	8	8
연간사용시간(시간/년)	200	202	120
고정비(원/년)	감가상각비	3,750,000	940,000
	수리비	1,800,000	451,200
	이자	750,000	188,000
	소계	6,300,000	1,579,200
시간당고정비(원/시간)	31,500	17,613	13,160
시간당 유동비 (원/시간)	인건비	10,296	10,296
	유류비	1,845	5,952
	소계	12,741	16,248
시간당비용(원/시간)	44,241	47,081	47,081
작업성능(시간/ha)	10.0	13.8	13.8
소요비용(원/ha)	442,410	649,717	649,717
지수	68	100	100

(주) 수리비계수 : 6%, 이율 : 연 5%

연료비 : 경유 647원/L, 휘발유 669/L, 윤활유비는 연료비의 15%

인건비 : 남자 58,834원/일, 여자 40,111원/일, 기계원 보통인부의 1.4배

시작기 연료소모량 : 휘발유 2.4l/h, 트랙터 연료소모량 : 경유 8l/h

위의 경제성 분석 결과와 같이 트랙터 부착 심토환경 개선기는 자주식 심토환경 개선기에 비해 작업 능률은 약간 높으며, 작업 소요 경비는 트랙터 부착 작업기에 비해 32% 정도 비용절감 효과가 있을 것으로 추산된다.

제 10절 요약 및 결론

본 연구는 과수 및 수목의 뿌리 생육을 촉진하고 고품질 과일생산에 적합한 토양환경 조성을 위하여 물 빠짐과 통기성을 증대시키는 심토개량 목적으로 압축공기 함과 동시에 토양개량제를 심토에 투입할 수 있는 자주식 심토 환경 개선기를 개발하고자 하였다.

이를 위하여 국내외 과수원의 토양관리 기계이용실태를 조사하였으며 연구수행 중 별도로 본 연구개발 기종에 분노를 살포할 수 있는지를 검토하였다. 또한 사과, 배, 포도, 복숭아 과수원에서 과수원의 심토환경 즉 토양의 경반층의 깊이를 알기 위하여 토양경도계를 가지고 측정 분석하였으며 자주식 심토 환경 개선기를 개발하기 위하여 시작기 설계요인시험, 시작기 제작 및 성능시험을 실시한 결과는 다음과 같다.

1. 과수 및 수목의 토양관리 기계 이용실태조사

수목의 심토관리에 사용되는 작업기는 대부분 폭기식이거나 구굴에 의한 퇴비구를 조성할 수 있는 기계들이었다. 그러나 동일한 폭기식 심토파쇄기를 사용하더라도 지형이나 영농환경에 따라 동력을 공급하는 원동기로 경운기, 트랙터, 관리기, 포크레인 등 여러 종류가 사용되고 있었으며 이용방법 또한 영농환경에 따라 다양하였다.

토양개량의 생력화를 위해서는 대부분의 농가가 폭기와 동시에 석회를 시용할 수 있는 기능을 필로로 하고 있었으나 분체통로의 막힘과 호퍼상 적체로 분체주입기능의 지속적 사용이 어려운 형편이며, 분체의 흡습정도나 통로의 막힘 상태에 따라 분출되는 석회량도 매우 가변적이며, 분사량도 부족한 것으로 나타났다. 작업기를 경운기나 트랙터의 후방에 장착했을 경우 선회반경이 3~5m이상으로 수목이 우거진 산림이나 과수원내에서 기동성 떨어지고 조작성이 어려운 것으로 나타났다. 또한 트랙터 3점 히치에 작업기를 장착할 경우 리프트 유압실린더의 단동구동 특성 때문에 폭기 노즐이 토양 중에 관입하는 동안 트랙터의 하중전이가 어려워 단단한 토양이나 관입부하가 크게 걸리는 토양에서는 별도의 고정장치가 필요한 것으로 나타났다.

2. 분뇨 살포 기술에 대한 선행연구 조사

자주식 심토 경개선기로 분뇨 살포가능성을 검토하기 위하여 가축 분뇨의 처리와 이용을 조사해 본 결과 가축 분뇨는 처리시설이 필요하고 운반차가 특수하게 설계되어 있었다. 기계 시설의 구조나 특성이 심토환경 개선기와는 전혀 다른 것을 이용하는 것으로 조사되었다. 따라서 개발 중인 자주식 심토환경개선기로는 분뇨살포 겸용이 곤란할 것으로 판단되었다.

3. 과수원 토양의 심토환경 측정 분석

과수원의 심토는 과수의 생육과 직접적으로 관련이 있어 사과, 배, 복숭아 과원을 중심으로 토양의 다져진 상태를 조사해본 결과 토심 20~30cm이내에 경반층에 있어 뿌리가 더 이상 작토 층 밑으로 자라기가 어려울 것으로 판단되었으며 이를 해결하기 위하여 경반층을 파쇄와 동시에 토양개량제 투입이 필요한 것으로 판단되었다.

4. 자주식 심토환경 개선기 설계

본체 설계를 위하여 3차원 모델링 도구와 동역학 해석 도구를 이용하여 본체의 안전 영역을 분석한 결과 주행부의 안전영역은 전방 38.5°, 측방 37° 정도로서 상당히 안전 영역이 넓은 것으로 파악되었으나, 평지에서 장애물의 높이가 15cm 정도부터 작업기의 주행을 안전히 유지할 수 없음을 확인하였다. 따라서 안전 영역이라 할지라도 실제 임지에서 주행경로상의 장애물 등으로 인하여 안전성이 급격히 감소할 소지가 있음을 분석할 수 있었으며 실제 임지실험의 결과에서 드러난 바와 같이 실제 작업기의 안전영역은 시뮬레이션에 의한 분석에 비하여 적음을 확인 할 수 있었다. 설계차량, 경사도, 밀도 등 같은 환경에서 토양속성만 바꾼 경우에 시뮬레이션 결과 마른 사질토에서는 차량 전복이 일어났으나, 비중함량이 큰 사양토에서는 차량 전복이 일어나지 않았다. 따라서, 차량의 안정성 평가시 토양의 속성 또한 고려해야할 설계변수로 파악해야 함을 알 수 있었다. 한편 소요동력의 경우 주행에 필요한 소요 동력은 전동효율 80% 가정하에 14.6kW 이면 충분하리라 분석하였다 동력은 15kW 공냉엔진을 탑재한 자주형으로 하고, 기체의 길이는 가능한 짧게 하여 수목내에서 기동성을 높일 수 있도록 했다. 작업기의 주행부 설계시 주행부는 케도형으로 하여 경사지

적응성을 높이고 제자리 선회기능을 부가하였다. 그리고 석회 등 토양개량제를 심토부에 주입하기 위하여 분체를 폭기장치 까지 원활히 공급할 수 있는 분체공급 호퍼 및 막힘 방지장치를 개발하여 적용하였다.

폭기식 심토환경 개선기의 토양 관입장치는 에어해머, 관입봉, 분사노즐로 구성되며, 관입장치를 지지하고 수직관입을 유도하는 기구학적 구조로는 변형된 스콧-러셀 메카니즘 (Scott-Russell mechanism)을 적용했으며, 직선 슬라이드는 링크로 연결된 공압 실린더를 이용했다. 토양개량제 동시투입을 위한 타이밍 장치는 공압 실린더 외벽에 부착하여 실린더의 움직임에 동기되어 토양개량제가 동시에 땅속으로 분사되도록 했다.

폭기노즐을 토양속으로 관입시키는 공압 실린더의 수직에 대한 초기 설치각(AN)을 10° 로 하고, 공압 실린더의 초기 장착 치수를 654mm, 링크절(X)의 길이를 413mm, 링크절(Y)의 길이를 285mm, 공압 실린더의 행정을 184mm로 했을 때 폭기노즐 지지대의 수직방향 운동변위는 수평면상에서 위쪽(상방향)으로 352mm, 아래쪽(하방향)으로 301mm를 이동하여 총 653mm의 관입깊이를 제어할 수 있도록 하였다.

5. 시작기 설계제작 및 포장 성능시험

자주식 심토 환경 개선기를 설계 제작하여 그 성능을 시험한 결과 탑재 엔진은 20ps 공냉 가솔린 엔진을 사용하였으며 주행부는 논용 운반차 및 SS기로 사용되는 무한궤도형 차량을 선발 하여 심토 환경 개선기 작업 장치를 부착하였다. 당초의 심토 파쇄 깊이 목표로 600mm였다. 과수 및 수목원원의 경반층 깊이가 300mm 내외를 심토 파쇄 깊이를 500mm로 조정하여 설계 제작 하였다.

기존의 토양개량제 자동계량 장치는 과립과, 폐화석은 가능하였으나 분말인 석회는 1회 주입량 100cc기준에 미치지 못하고 막힘 현상이 나타나 토양개량제 호퍼의 경사각을 60° 에서 70° 로 보완하고 호퍼 모양을 사각에서 원뿔형으로 개량하였으며, 압축공기로 작동되는 교반기를 부착하여 분말 토양개량제(석회)가 막히지 않고 1회 계량된 양이 90cc이상 전출 시비가 가능하도록 호퍼에서 분말 막힘을 해결하였다.

SS기의 주행 장치를 이용한 시작기의 선회반경은 약 2.2~2.3m, 경사지는 경사 22° 까지 안전하게 주행이 가능하였다.

공기압축기의 최초 상용압력 0.99Mpa/cm²까지 도달시간은 약 1분이 소요되었으며 압축공기 분사노즐의 심토파쇄 깊이 500mm내외까지 관입시간은 평균10~20초, 폭파시간은 2~3

초가 소요되어 심토파쇄 1회에 소요되는 시간은 약 1분20초가 소요되었다.

심토파쇄 깊이는 약 50cm정도타입이 가능하였으며, 파쇄직경은 토성 및 수분함량에 따라 차이가 있으나 약 3~4m내외로 나타나 농가에서 압축공기와 동시에 분말 토양개량제(석회)를 전층시비를 할 때 작업간격은 3~4m가 좋을 것으로 판단된다.

6. 시작기의 경제성분석

시작기의 경제성 분석 결과 자주식 심토 환경 개선기의 기계이용 비율은 442,410원/ha로 트랙터 부착 심토 환경 개선기 649,717원/ha 보다 약 32% 경비를 절감하는 효과가 있을 것으로 추산된다.

7. 자주식 심토환경 개선기에 대한 임업의 현지 적용 및 성능 시험

묘목, 유실수, 정원수 등을 대상으로 자주식 심토환경 개선기에 대한 임업의 현지 적용 및 성능 시험 실시하였다. 묘목의 경우에 있어서는 노각나무, 이팝나무 및 은행나무 등 활엽수 3수종을 대상으로 성장량 및 물질생산량, 엽록소 함량을 조사한 결과 심토 개선기 처리구가 무처리구에 비해 간장 성장량에 있어서는 약 2배의 성장 차이를 나타내었고, 은행나무의 경우에 있어서는 근원경 성장과 물질생산량에 있어 심토 개선기 처리구가 월등한 차이를 나타내었다.

또한 유실수(밤나무)의 경우에 있어서는 수고생장에 는 큰 차이가 없었으나, 근원경의 경우 처리구가 무처리구에 비해 7% 이상 생장이 좋은 것으로 조사되어 심토 개선기를 임업에 적용하면 묘목의 산출시기를 앞당길 수 있을 뿐만 아니라 밤나무 등 유실수 단지에 도입하여 생산량을 증대시킬 수 있을 것으로 판단되었다.

산지의 현장적용 시험결과, 임업에 투입하기 위해서는 최저지상고를 높여서 주행성능을 향상시킬 필요가 있을 것으로 판단되었다.

제 4장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

1. 목표달성도

구 분	연구 개발 목표	연구개발 수행내용	달성도(%)
1차년도	<ul style="list-style-type: none"> •자주식 심토환경 개선기 개발을 위한 실태 조사 및 분석 (주관기관) 	<ul style="list-style-type: none"> - 과수기계 이용 실태 조사 분석 - 과수원의 심토관리 실태 및 적정심토환경 조사 - 선진국의 심토환경개선 기계자료 조사 - 과수 등 수목의 심토부 토양 물리성 조사분석 - 기체 설계인자 구명 및 개념설계 - 소요동력 계산 및 주행부 선정 - 분뇨살포 기술에 관한 선행연구 조사분석 	100
(2005.4 ~ 2006.4)	<ul style="list-style-type: none"> •토양 침투 파쇄 및 유체 자동계량 주입부 설계 (위탁기관) 	<ul style="list-style-type: none"> - 토양침투 및 파쇄부의 이론분석 및 설계. - 유체 자동계량 장치의 이론 분석 및 설계 - 토양 파쇄 침투부 및 유체자동계량장치의 요인실험 설계 	100
	<ul style="list-style-type: none"> •토양파쇄기 사용 효과 자료 수집 및 분석, 조사 항목 설정 (협동기관) 	<ul style="list-style-type: none"> - 토양파쇄기 사용효과 자료수집 - 유실수, 정원수, 가로수의 생육토양환경조사 - 조사인자 설정, 기초조사 	100

구 분	연구 개발 목표	연구개발 수행내용	달성도(%)
2차년도 (2006.4 ~ 2007.4)	•실내 요인 실험장치 제작 및 성능시험	- 실내 요인실험용 토양 침투 파쇄 및 유체 자동계량 투입부 제작. - 인공토조시스템에서 요인실험장치의 성능실험	100
	•통합 시작기 설계제작 및 성능시험	- 분사장치 및 유체 주입량 조절장치 제작 - 토양 관입 및 파쇄부 제작 - 토양 파쇄, 유체 투입, 작업성능 검증 - 통합 시작기 구성 및 성능시험 - 통합 시작기의 과수원 적응시험 - 통합 시작기 안정성 분석 및 주행 성능시험	100
	•시작기 적용성 시험	- 시작기 현지 적용성 시험(유실수, 정원수, 가로수) - 시작기 보완사양 도출	100

구 분	연구 개발 목표	연구개발 수행내용	달성도(%)
3차년도 (2007.7 ~ 2008.6)	•주요작업부의 문제점 분석 및 개량보완	- 토양 침투 파쇄 및 유체 자동계량 투입부의 요인성능실험 결과를 분석하고 문제점 도출 - 개량설계 및 제작 - 개량설계 주요부의 성능실험	100
	•통합 시작기 보완 제작 및 성능시험 (계속)	- 본체 제작 및 안정성, 주행성 시험 - 분사장치 및 유체 주입량 조절장치의 현장실험 - 개량통합시작기의 성능시험	100
	•시작기 현지적용성 시험 및 작업방법 개발	- 시작기 임업 현지 적용성 시험 - 시작기 사용효과 분석 - 작업방법 개발	100

2. 평가의 착안점에 따른 목표달성도 자체평가

구분	평가의 착안사항 및 척도(점수)	자체평가 달성도(점수)
1차 연도 2005- 2006	조사여부 및 적절성 (20)	100
	적정 설계 여부 (30)	
	시험장치 적정설계 및 제작 여부 (30)	
	요인시험의 적절성 및 실시 여부(20)	
2차 연도 2006- 2007	시작기 적절 설계 제작 여부 (20)	100
	시작기 적절 설계 제작 여부 (20)	
	통합시스템 구성 및 안정성 여부 (20)	
	요인시험의 적절성 및 실시 여부 (20)	
	통합 시작기의 개량설계 여부 (20)	
3차 연도 2007- 2008	시작기 주행부성능시험 여부 (20)	100
	시작기 유체분사부 검증시험 여부 (20)	
	통합시스템 구성 성능 검증 시험여부 (20)	
	성능시험의 적절성 및 실시 여부 (20)	
	통합 시작기의 개량보완 여부 (20)	
최종평가	자주식 심토환경 개선기 성능의 우수성 (100)	100

3. 관련분야에의 기여도

자주식 심토 환경 개선기에 의한 토양 관리 작업의 기계화는 과수재배에 투입되는 노동력을 획기적으로 줄이기에 매우 적합하다. 투하 노동력 감소는 과수산업의 생산비를 크게 절감시키고 경쟁력을 증가시켜 결국 농가소득 증대효과를 가져오고 과수산업이 안정성을 확보하게 된다.

심토 환경의 평가와 이에 근거한 적정 토양 상태의 개선은 물과 양분의 흐름을 좋게 하여 투입되는 농자재의 양을 줄일 수 있어 생산비를 절감할 수 있으며, 뿌리의 성장과 과수의 생육을 촉진시켜 고품질 과실 생산에 기여할 수 있다.

자주식 심토 환경 개선기는 과수생산 뿐 아니라 정원수, 가로수를 위한 심토 환경 개선에 사용될 수 있어 임업분야에서도 그 활용가능성이 크다.

제 5장 연구개발결과의 활용계획

1. 추가연구의 필요성

- 자주식 심토환경 개선기 부품소재(에어 햄머부분, 노즐의 내구성)
 - 에어 용량에 알맞은 다양한 햄머의 국산화가 필요함
 - 노즐의 내구성을 위하여 소재의 응용연구가 필요
 - 분말 토양개량제의 토양속 전층시비 할 때 막힘해소 장치 제작을 위한 금형개발 등의 연구가 더 필요할 것으로 생각됨(회사측)

2. 타 연구에의 응용

- 자주식 심토 환경 개선기 응용 연구분야
 - 압축공기를 이용한 타 농작업의 응용 연구
 땅속 작물 수확(약초 등), 인삼 해가림시설용 지주목설치 등
 - 자주식 심토환경개선기의 다목적 이용 기술(친환경 경운 등)
- 토양소독 기계개발에 응용
 - 심토에 친환경 토양 소독제 분사 등

3. 기업화 추진방안

- 산업재산권 출원 : 2008년 4월
- 신개발기종 지원보급을 위한 정부시책건의 : 2008.
- 자주식 심토환경 개선기를 이용효과 및 이용방법 영농활용 : 2008
- 홍보 및 개선보완을 위한 현장 접목연구 : 2008 5월 이후 3개소
- 기술이전 : 2008
- 농기 사범보급 : 2009
- 업체 실용화 및 농가 보급 : 2009이후

제 6장 연구개발과정에서 수집한 해외 과학기술정보

제 1절 과수원 토양관리 기계기술 현황

1. 일본의 과수재배 현황

일본의 과수농가의 평균재배면적은 0,9 ha로 영세하며, 과수원의 토양관리는 트랜처로 골을 깊게 파고 유기물 시용농가가 많은 것으로 조사되었다. 일반적으로 표층 시비하는 농가가 많아 수목의 뿌리가 천근성이고, 우리나라와 마찬가지로 SS기 농기계의 빈번한 통행으로 토양 다짐이 크게 문제되고 있었다. 20여년 전 후지로빈, 교리쓰사가 압축공기를 이용한 토양파쇄기를 주문 생산 공급중이다.

2. 일본의 과수재배연구(토양관리)

일본의 과수연구소는 1902년 설립되어 육종, 생리, 환경, 감귤, 사과, 포도연구부 등 6개 연구부 200명(연구106명)가 있으며 맛있는 과일생산을 위하여 배, 복숭아 등의 생리기구 해석과 제어기술개발, 토양에 생리활성물질을 이용한 생육제어 연구, 수목의 근권 환경의 구명과 개선을 위하여 초생법에 의한 과수원의 환경회복, 과수의 근계 화상해석, 과수의 양분 흡수기구의 구명 등의 연구를 수행하고 있었다.

根圏環境の解析と改善

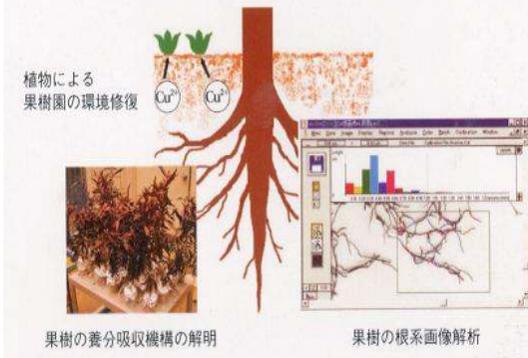


그림 6-1. 과수 나무 뿌리 주위 환경의 해석과 개선연구

ナシ・モモ等における生理機構の解明と制御技術の開発

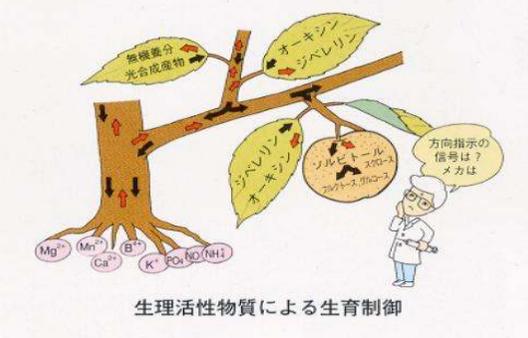


그림 6-2. 배, 복숭아의 생리기구의 해석과 제어기술개발

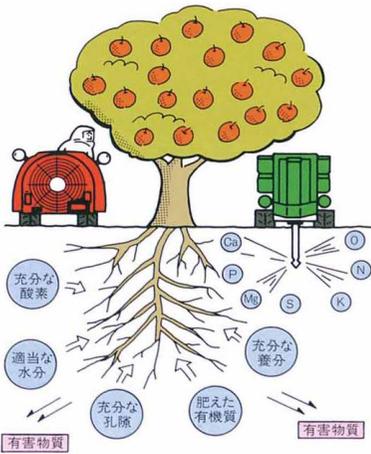


그림 6-3. 토양다짐과 심토 환경개선



各層位別の根量の変化

그림 6-4. 토층별 뿌리 분포량의 변화(기술보급센터)

3. 일본에서 이용되고 있는 과수재배 농기계

- 토양관리기, 방제기, 제초기, 수확 작업대 등

표 6-1. 일본 과수재배 농기계

<p>토양관리(과수원용경운기)</p>	
<p>구굴작업(관리기 부착 트랜처)</p>	
<p>농약살포작업(SS기)</p>	
<p>초생재배 후 (관리기부착, 초예기)</p>	
<p>수확작업(작업대), 모노레일 이용</p>	

※ 보행형 압축공기를 이용한 심토환경 개선기의 핵심기술 조사 내용(교리쓰사 제품)

표 6-2. 보행형 압축공기를 이용한 심토환경 개선기의 핵심기술(교리쓰사)

<p>보행형 압축공기를 이용한 심토환경개선기</p>		
<p>○ Air Blast : 50리터의 공기를 일시에 배출시켜 강력한 폭발력으로 다져진 토양을 파쇄</p>		
<p>○ 정밀한 토양개량제 계량 장치 1회당 100g의 토양개량제를 계량 투입 로터리식 계량장치 스텐레스스틸을 이용 방청작용</p>		
<p>○ 견고한 타입장치(좌) 에어햄머와 유압장치 병행 타입시 자동으로 발톱이 나와 지지하여 부상방지 ○ 주행장치 조종간(우)</p>		
<p>○ 오조작 방지장치 주행클러치와 브레이크가 연동하여 안전</p>		
<p>○ 공기압축기 탑재 - 고성능 2실린더 ○ 엔진 - 디젤엔진 탑재로 경제적임</p>		

4. 일본의 수목의 토양관리 연구

가. 과수에서는 과수원의 과종, 수령, 토양 조건에 따라 심토파쇄를 할 경우에 수세는 좋아지는 반면에 과일의 당도가 떨어지는 경향이 있으나 일반 가로수나 정원수의 경우에는 나무의 생육이 좋아지고 있음

나. 수목에 축산분뇨 사용은 수질오염 우려로 권장하고 있지 않음

<생연지원센터(일본 농업기계화연구소)>

- 트랙터 전측방 부착 주간 초예기 개발(1981)
- 과수원용 중경제초장치 개발(1985) : 트랙터 후방 부착, 왜성사과용
- 과수원용 유기물시용기 개발(1989)
- 코일 스프링식 과수원 토양관리기계(1990)

<일본(선진국) 과수 및 수목의 토양관리 현황>

- 과수원용 심토환경 개선기는 20여년 전에 후지로빈사, 교리쓰사 등에서 생산 판매하였으나 최근에는 교리쓰사에서 보행형 심토환경개선기만 주문생산보급하고 있으며, 대부분의 농가는 구굴기로 파고 유기물시용
- 과수원의 심토환경 관리는 과종과 토질에 따라 처리시기 및 방법이 신중하게 고려되고 있음(과도한 나무 생육은 과일의 당도 저하원인)
- 정원수나 가로수 등에는 심토환경개선이 좋을 것으로 판단됨.
- 자주식 심토 환경기 개발을 위한 벤치마킹 기종의 내용을 조사해본 결과 경사지 수행의 안전성과 토양개량제(석회 등)의 정밀한 계량장치설계 재질의 선택을 요하였음.

<기타 참고사항>

- 미국에서는 나무 주위에 밀을 재배하여 밀의 뿌리가 통기성을 증대(신농림사)
- 중남미에서는 커피나무 주위에 압축공기를 불어넣어 근권 신장을 도와주고 있는 농가도 있음. (신농림사)
- 일본에서는 후지로빈사가 20년 전 압축공기를 이용하여 심토파쇄기를 개발 보급한적이 있음.(신농림사)
- 독일에서는 압축공기를 이용한 파워 쇼벨(인력 삽)을 개발 보급중임(신농림사)

- 엔진+공기압축기, 압축공기 호스, 에어해머가 부착된 삽
 - 삽 : 길이 60cm, 무게 8.5kg, 공기사용압력 : 6-8bar
- 선진국에서는 과수원 농약 살포 전 측정용 페이퍼를 설치해놓고 농약의 균등살포상태를 체크한 후에 살포를 하고 있음(정밀살포 농약 사용량 줄임)

제 7장 참고문헌

1. 심토파쇄기 시험방법 및 기준, 2004, NIAE
2. 폭기식 심토파쇄기 보급타당성 검토, 1992, 농업기계화연구소 연구보고서 350-352
3. 김유학, 윤정희, 정병간. 석회소요량 결정방법 비교연구
4. Braja M. Das, 1997, Introduction to Soil mechanics, The Iowa state university press
5. Desrial and Nobutaka ITO, 1999, Theoretical Model for the Estimation of Turning Motion Resistance for the Tracked Vehicle. Journal of JSAM 61(6), 169-178
6. K. Araya and K. Kawanishi K. 1984, Soil failure introducing air under pressure, Transaction of ASAE 27(5): 1292-1297
7. K. Araya and G. Guo, 2001, Construction of an Artificial Perchaed Watertable, Part 1: Air Permeability of Soils and Aspects of Soil Failure, Biosystems Engineering 81(3): 333-345
8. K. Araya and G. Guo, 2002, Construction of an Artificial Perchaed Watertable, Part 2: Soil Cavity Production by Air pressure, Biosystems Engineering 82(1): 107-114
9. K. Araya and G. Guo, 2003, Construction of an Artificial Perchaed Watertable, Part 3: Sand Gun, Biosystems Engineering 85(3): 307-317
10. Don Kirkham, 1946, Field Method for Determination of Air Permeability of Soil in its Undisturbed State, Transaction of ASAE : 93-99
11. C. H. M. van Bavel and Don Kirkham, 1948, Field Measurement of soil Permeability Using Auger Holes, Transaction of ASAE : 90-96
12. George R. Blake and J. B. Page, 1948, Direct Measurement of Gaseous Diffusion in Soil, Transaction of ASAE : 37-42
13. M. B. Russell, 1949, A Simplified Air-Picnometer For Field Use, Transaction of ASAE : 73-76
14. W. A. Raney, 1949, Field Measurement of Oxygen Diffusion Through Soil, Transaction of ASAE : 61-73
15. J. B. Peterson, 1949, Relations Of Soil Air to Roots as Factors in Plant Growth, Purdue University Agricultural Experiment Station : 175-185

16. C. H. M. van Bavel, 1950, A Soil Aeration Theory On Diffusion, North Carolina Agricultural Experiment Station : 33-46
17. Eliot Epstein and Helmut Kohnke, 1957, Soil Aeration as Affected by Organic Matter Application, Transaction of ASAE : 585-588
18. A. R. Grable and E. G. Siemer, 1968 Effect of Bulk Density, Aggregate Size, and Soil Water Suction on Oxygen Diffusion, Redox Potentials, and Elongation of Corn Roots, Transaction of ASAE : 180-186
19. B. W. Eavis, 1972 Soil Physical Conditions Affecting Seedling Root Growth, Plant and Soil 37 : 151-158
20. H. D. Bowen, P. Ayers and M. Salyani, 1983 Air Permeability as an Aeration Criterion, Paper of Winter meeting ASAE : No 83-1541
21. Ken Araya and Koshiro Kawanishi, 1984, Soil Failure by Introducing Air Under Pressure , Transaction of ASAE : 128-133
22. M. F. Kocher and J. D. Summers, 1988, Wave Propagation Theory for Evaluating Dynamic Soil Stress-Strain Models , Transaction of ASAE 31(3) : 683-692
23. Jerzy Lipiec and Inge Hakansson, 2000, Influence of Degree of Compactness and Matric Water Tension on Some Important Plant Growth Factors, Soil & Tillage Research 53 : 87-94
24. R. E. Philips and Don Kirkham, 1961, Soil Compaction in The Field and Corn Growth , Agronomy Journal : 29-34
25. Kazuto Shigeta, Seiichi Naka, Kouichirou Okazaki and Hideoto Yamakawa, 1988, Soil Loosening Machine with Compressed Air Blast (I) , 農業機械學會誌 50(5) : 7-15
26. Ken Araya, Satoshi Tsunematsu and Tsukasa Maekawa, 1988, Break-up of Heavy Clay Soil Layers by Explosives (Part 2) , 農業機械學會誌 50(4) : 35-40
27. Ken Araya, 1985, Soil Failure by Introducing Fluid under Pressure (II), 農業機械學會誌 46(4) : 501-508
28. 木谷 収, 1974, ニューマティック耕うんのための基礎的研究, Transaction of JSAE : 309-371

제 8장 부 록

제 1절 자주식 심토환경 개선기 이용기술

심토환경 개선기는 견인형과 자주식으로 나눌 수 있다

견인형은 컴프레샤, 에어햄머, 심토층 관입노즐, 석회개량 및 배출장치, 각종조절장치(공압조절, 노즐승강 조절, 압축공기 및 석회배출조절) 등을 바퀴가 부착된 탑재대에 장착한 것으로 경운기 견인형과 트랙터 장착형이 있다

자주식 심토환경 개선기는 운전자가 탑승하여 주행하며 압축공기의 분사와 동시 토양개량제를 투입하여 심토를 팽윤과 석회시용 효과를 함께 거둘 수 있는 기종이다

여기서는 이번에 개발한 자주식 심토환경 개선기에 대하여 누구나 쉽게 활용할 수 있는 방안을 기술하고자한다

1. 각부의 명칭

1) 구조



그림 8-1. 자주식 심토환경 개선기 명칭(우)



그림 8-2. 자주식 심토환경 개선기 명칭(좌)

2) 제원

기체 크기 (L×W×H,mm)		2,542 × 1,250 × 1,450		중량(kg)	1.046	
주 행 장 치	(L×W×H, mm)	250 × 72 × 46(고무)				
	동력원(kW)	15 공냉 가솔린엔진	상용(rpm)	2,400		
	주행단수(단)	전진 2, 후진 1 × 저 고속 2				
	동력전달부	벨트(전자클러치식)	최저지상고 (mm)	150		
	주행방식	무한궤도	노즐관입 깊이조절	심도 표시게이지식		
심 토 과 쇄 장 치	컴프레셔(kW,Mpa/cm ²)	5, 최고압력 0.99				
	공압 탱크(L,개)	72×2				
	관 입 부	방 식	공압 진동 관입식(Air rock drill)			
		노즐(Ø,mm)	니들형, 좌우분출식 (32 × 670)			
		상하작동	복동 실린더식			
	석 회 주 입 부	탱 크	호퍼식			
		계 량	로터리식			
배 출		자연낙하식 (호퍼에 공압식 교반페달 부착)				

3) 특징

(1) 엔진

가솔린 엔진으로 시동이 쉽고 조용하며 진동이 적어 쾌적한 작업을 할 수 있다. 엔진의 동력으로 심초환경 개선 작업과 기체의 이동은 물론 공기압축기 등을 작동한다

(2) 무한궤도 주행장치

무한궤도 주행장치로 습윤하고 연약한 지반의 논이나 과수원, 산림 등의 경사지에서 주행 및 작업 성능이 높고 안전하다

(3) 편안한 안장

진동을 흡수하는 쿠션 고무안장으로 피로를 감소시켜주며 조작 공간이 넓어 편안한 작업을 할 수 있다

(4) 계기판넬, 조작레버 및 스위치

(가) 주행작업 조작부 : 주변속 2단(고속, 저속), 부분속 3단(1, 2, 후진), 액셀러레이터 레버, 주클러치레버가 로 구성되어 탑승자 좌측에 위치하고 있어 조작이 편리하다

(나) 작업 조작 판넬 : 공기 저장탱크와 압축탱크의 공기압 게이지, 노즐 관입 깊이 측정 게이지, 공기압축기 작동 스위치 등이 알아보기 쉽도록 부착되어 있다

(다) 엔진 조작부 : 경보음, 전조등 스위치, 오일경고등, 시동키 등으로 구성되어 있다

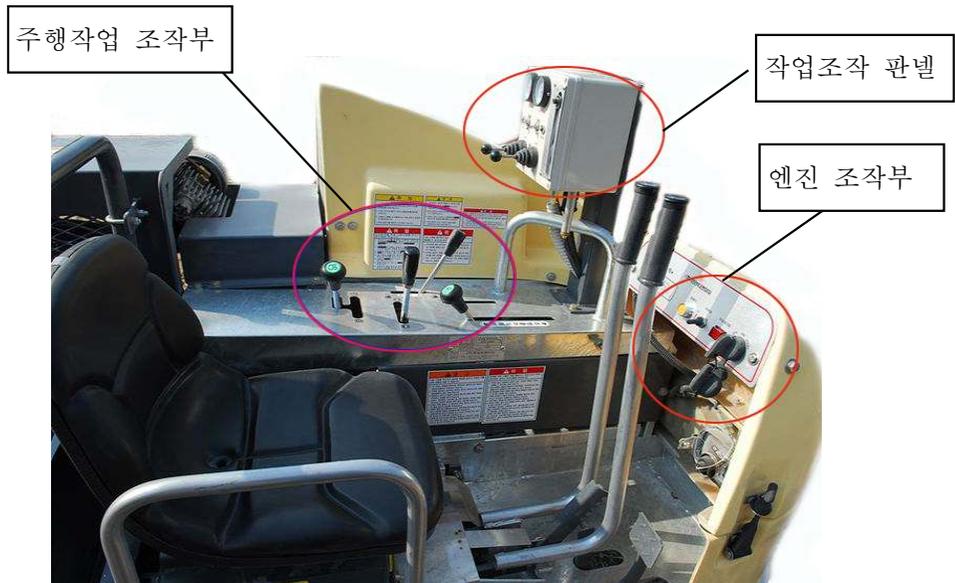


그림 8-3. 각 조작부 및 패널

4) 사용 방법

가) 운전하기 전 점검 조절

(가) 시동 준비

(1) 연료 보급

연료탱크의 연료를 점검하고 양질의 휘발유를 보급한다.

(2) 오일 점검

엔진 오일량이 게이지의 윗부분과 아랫부분 눈금의 사이에 있나 확인하고 보충한다.
이 때 공기압축기의 오일량도 함께 점검하고 시정한다.

(3) 각 구동부의 v-벨트 점검

주클러치, 공기압축기 등의 v-벨트를 점검하고 인장도를 조절한다.

(4) 무한궤도 점검, 조절

① 평지에서 기체를 후진 시켜 접지축이 당겨진 상태에서 **엔진 시동을 끄고** 궤도의 중앙부를 들어 올렸을 때 들어 올려지는 양이 20~30mm가 되도록 조절한다.

② 조절 방법은 아래 그림9와 같이 로크너트를 조금 풀고 조절스크류를 돌려서 조절한 후에 로크너트를 꼭 조인다.

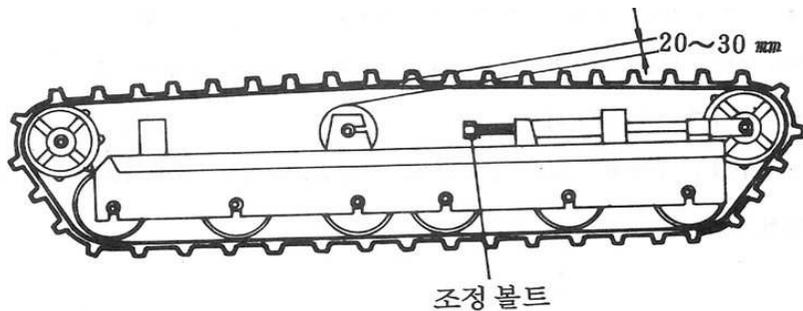
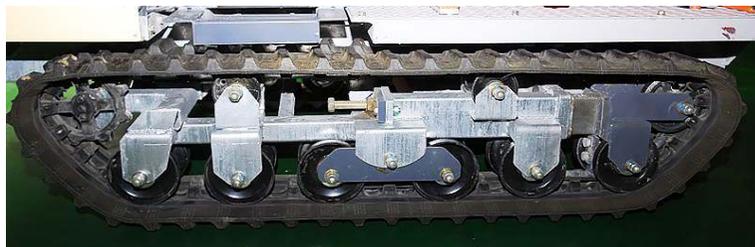


그림 8-4. 무한궤도 인장도 조절

※ 주의할 사항

- ① 장력이 느슨하면 웨도가 벗겨지기 쉬우므로 사용 전에 꼭 점검한다.
- ② 주행 중 예리한 물건 (뽕쪽한 돌 등)은 피해야하며 콘크리트 포장 도로 등 딱딱한 도로에서의 급회전은 사고의 원인이 되므로 주의해야한다
- ③ 장기보관은 직사광선을 피하고 습기가 적은 곳에 보관한다.
- ④ 점검 조절은 반드시 엔진을 끄고 실시한다.

(5) 레버와 페달부 점검

시동기를 넣지 않은 상태에서 각종 작동레버와 페달을 조작하여 원활하게 작동되는지 확인한다.

(6) 각부의 볼트, 너트 및 누유 점검 시정

외부의 볼트, 너트의 조임 상태를 점검하고 시정하며 이 때 누유 상태도 확인하고 시정한다.

(7) 공기압축기

공기압축기의 v-벨트 인장력 점검과 함께 흡입공기필터를 점검하고 먼지 등을 잘 털어주며 압력게이지 등의 파손 여부도 확인한다.

(8) 석회 넣기

석회탱크의 뚜껑을 열고, 석회 주입경로의 막힘 여부를 점검 시정하고 잘 건조된 석회를 1.7mm의 고운 체를 통과한 토양개량제를 탱크의 2/3까지 채운 후 뚜껑을 닫는다]



그림 8-5. 토양개량제(석회) 넣기

2. 심토환경 개선기 작동순서

1) 운전조작

(1) 시동 순서

① 레버 확인

- 주변속레버 중립 확인
- 부변속레버 중립 확인
- 클러치레버 풀림 상태 확인
- 액셀러레이터레버(조속레버) 위치 확인 (중간 위치)



그림 8-6. 시동 시 변속레버 위치

② 작업조작 패널부의 저장탱크와 압축탱크의 스위치 위치 중립 확인

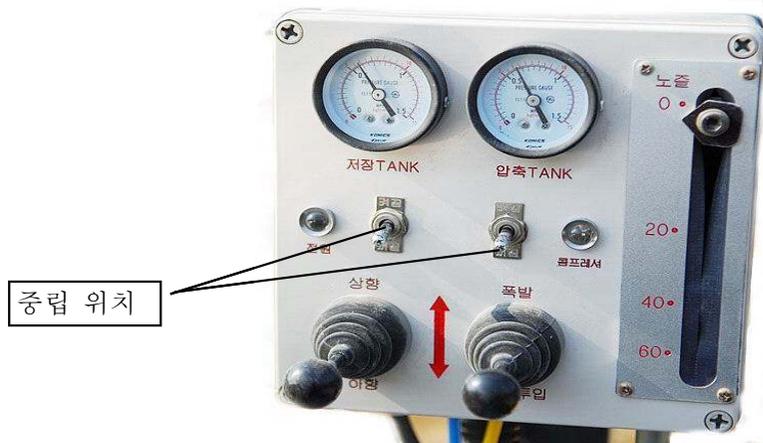


그림 8-7. 작업조작 패널

- ③ 엔진 조작부의 시동키를 on 위치로 한다
- ④ 주변속레버가 중립위치인가를 확인하고, 브레이크페달을 밟아 잠금 페달을 눌러 브레이크가 잠긴 상태로 고정한다
- ⑤ 조속레버를 중간 위치로 당겨 올린다.
- ⑥ 엔진 조작부의 시동키를 START 위치로 하여 시동하고, 시동이 되면 키에서 손을 떼는다. (자동으로 ON 위치로 간다)



그림 8-8. 엔진 조작부

(2) 열내기 운전

- ① 시동이된 상태로 여름에는 1~2분, 겨울철에는 3~5분간 공회전하여 엔진의 열내기 운전을 실시한다.
- ② 엔진오일 경고 등을 점검한다(꺼져 있어야함)
- ③ 엔진의 소음, 이상 음을 확인한다.
- ④ 각부의 볼트, 너트 조임 상태, 누유 등을 점검하고, 각부 작동상태를 확인한다.

(3) 변속레버 사용 방법

변속레버의 조작은 반드시 기체를 정지한 상태에서 실시해야한다.

<이동 주행 변속>

이동 주행은 저속 2단 또는 고속 2단에서 실시할 수 있으나 작업지의 경사도나 토양 상태에 따라서 안전한 속도로 주행한다.

- ① 엔진 조속레버를 뒤쪽으로 당겨 엔진의 회전속도를 낮춘다.
- ② 클러치레버를 끊김의 위치로 한다.
- ③ 브레이크페달을 밟고 주변속레버를 저속 또는 고속에 놓는다.
- ④ 부변속레버를 2단 위치에 놓는다.
- ⑤ 조속레버를 뒤쪽으로 당겨 1/2 위치에 놓는다.
- ⑥ 브레이크 잠금 페달이 풀린 것을 확인하고 클러치레버를 앞으로 밀어 주행한다.



그림 8-9. 브레이크페달(좌 : 잠김, 우 : 풀림)

- ⑦ 작업할 농경지의 상태에 따라 적당한 속도가 되도록 조속레버로 주행 속도를 조절한다.
- ⑧ 좌우 조향클러치를 앞으로 당겨 진행방향을 조절하고(좌측레버를 당기면 반 시계 방향, 우측레버를 당기면 시계 방향으로 조향한다)
- ⑨ 조향레버 하나를 당기고 있으면 한쪽 방향으로 그 자리에서 회전되는데 콘크리트 포장 등 딱딱한 도로에서의 회전 때는 엔진의 회전속도를 낮추어 저속으로 회전하도록 한다.

※ 이동주행 중에는 공기압축기를 작동하지 않는다.



그림 8-10. 이동 주행 변속레버 위치

<작업 주행 변속>

심토환경개선 작업 중 노즐을 관입하고 압축공기와 석회를 분출할 위치로 이동하는 작업 주행은 저속 1단 또는 2단에서 실시하는 것이 정밀한 작업과 안전에 도움이 된다.

- ① 엔진 조속레버를 뒤쪽으로 당겨 엔진의 회전속도를 낮춘다.
- ② 클러치레버를 끊김의 위치로 한다.
- ③ 브레이크페달을 밟고 주변속레버를 저속에 넣는다.
- ④ 주변속레버를 1단 또는 2단 위치에 놓는다.
- ⑤ 조속레버를 앞쪽으로 밀어 1/2 위치에 놓는다.
- ⑥ 브레이크 잠금 페달이 풀린 것을 확인하고 클러치레버를 앞쪽으로 밀어 주행한다.
- ⑦ 작업 속도, 조향, 회전방법은 이동 주행과 같다.

※ 작업주행 중에는 공기압축기를 작동한 상태로 한다.

※ 압축공기와 석회를 심토에 압출하기 위해 노즐을 토양에 삽입하고 뽑아내는 작업이 반복되는 작업이므로 이동주행 때는 노즐을 반드시 뽑아 올리고 주행해야한다.



그림 8-11. 작업 주행 변속레버 위치

(4) 공기압축기 사용법(압력 조절)

주행외의 작업은 모두 압축공기에 의하여 이루어지므로 공기압축기 및 압력게이지 등의 효율적인 사용 방법을 숙지하여야한다.

- ① 패널의 저장탱크와 압축탱크의 작동 스위치를 켜짐으로 하면 작동램프에 불이 들어오며 공기압축기는 작동한다.
- ② 저장탱크와 압축탱크의 압력게이지의 눈금이 각각 0.99Mpa/cm²를 유지되게 한다. 이 때 엔진의 회전 속도가 떨어짐으로 조속레버를 적당히 당겨 회전속도를 높여 준다.

3. 작업방법 및 안전주의사항

1) 작업 준비 및 작업순서

엔진을 시동하여 열내기 운전을 실시한 후 석회를 탑재하여 작업포장으로 이동한다. (이동 주행)

포장의 작업 위치에 정지한 후 작업주행 변속상태(저속 1단 또는 2단)로 변환하여 아래 순서로 심토환경 개선작업을 실시한다.

※ 작업자는 복장을 간편하게 하고, 마스크를 착용 한다.

- ① 작업조작 패널에서 저장탱크 스위치와 압축탱크 스위치를 같이ON하면 작동램프에 불이 들어오며 공기압축기는 작동한다.
- ② 저장탱크와 압축탱크의 압력게이지의 눈금이 그림 17에서와 같이 각각 0.99Mpa/cm²를 유지되게 한다. 이 때 엔진의 회전 속도가 떨어짐으로 조속레버를 적당히 당겨 회전속도를 높여 준다.

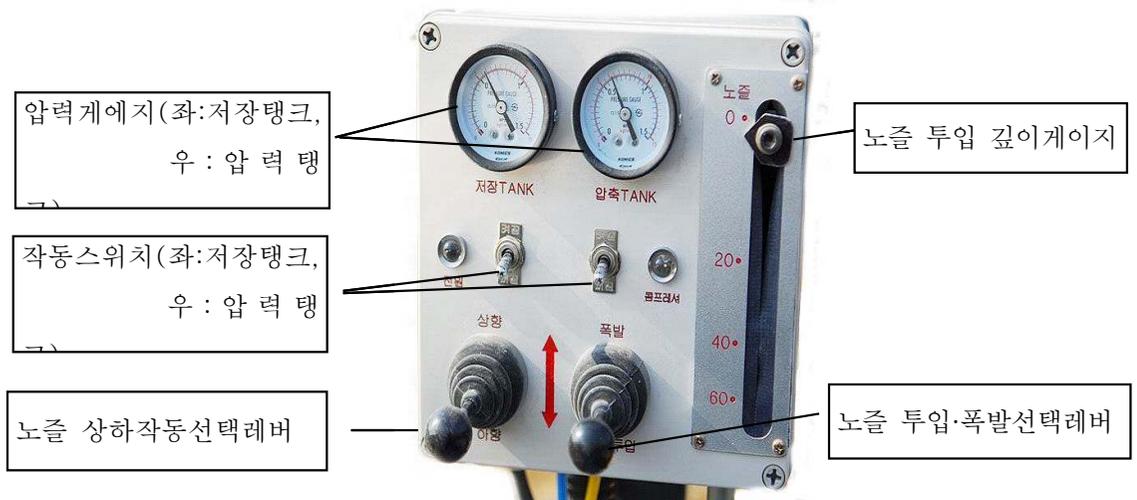


그림 8-12. 작업 조작 패널(작동 았함 : 노즐 압출)



그림 8-13. 작업조작 패널(투입 깊이 : 60cm)

- ③ 노즐 상하작동선택레버를 하향으로 내리고, 노즐 투입·폭발선택레버를 관입방향으로 하향하면 노즐이 심토로 타입 되며, 노즐 관입깊이게이지가 하강하므로 써 관입 깊이 눈금을 읽어 60에 이르면 관입레버에서 손을 떼는다.
- ④ 노즐 투입·폭발선택레버를 약 2초간 폭발 방향으로 상향하면 압축공기와 함께 정량의 석회가 심토에 분출되어 심토과쇄와 석회시용을 동시에 행한다.
- ⑤ 노즐 상하작동선택레버를 상향으로 올리면 심토 내에 관입된 노즐이 뽑혀 나온다.
- ⑥ 노즐이 완전히 뽑혀 나온 상태를 게이지를 통해 확인한 후 주클러치를 앞쪽으로 밀어 다음 노즐 투입지로 이동하여 반복 작업을 수행한다.

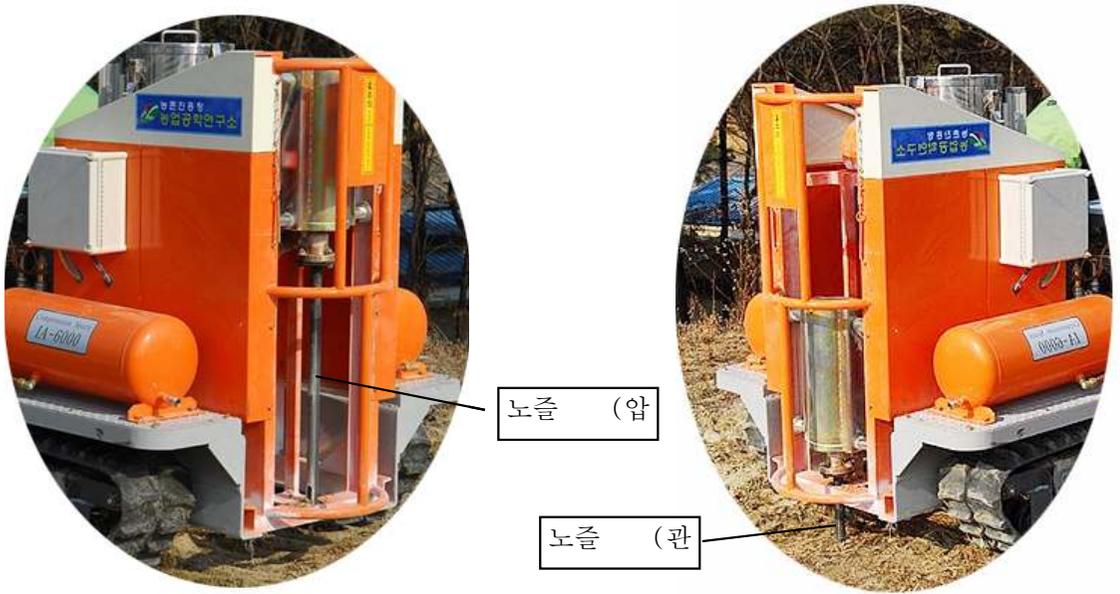


그림 8-14. 노즐 압출, 투입 상태

2) 작업 간격 및 석회 투입량

작업 간격은 토성, 경반의 깊이, 경작 작목에 따라 다르며, 석회 투입량도 토양 산도와 경작 작목에 따라 다르다. (반드시 가까운 농업기술센터에서 토양분석 후 처방을 받아 알맞은 토양개량제 투입)

표1. 작업 간격 및 석회 투입량

구 분	논	밭	과수원	임야
작업 간격 (가로×세로, m)	3-4	3-4	3-4	3-4
석회시용량 (분출횟수/회)	토양분석 후 추천량	토양분석 후 추천량	토양분석 후 추천량	토양분석 후 추천량

※ 작업 중 주의 사항

1. 노즐이 관입 중 암반 등에 걸리면 노즐 상하작동선택레버를 상향으로 올려서 노즐을 압출한 후 재 관입 작업하거나 노즐을 올린 상태로 약간 이동하여 다시 관입 작업한다.
2. 노즐이 완전히 뽑혀 나오지 않을 때는 지렛대 등으로 노즐이 잘 뽑혀 올라올 수 있도록 도와준다.
3. 노즐이 완전히 뽑아 올리지 않고 주행할 경우에는 고장의 원인이 되므로 주의한다(노즐대가 휘거나 파손)
4. 석회 투입량을 더 많게 하고자 할 때는 노즐을 심토에 관입 한 상태로 압축공기를 한번 더 분출시킨다.(1차 2-30cm깊이, 2차 50cm깊이)
5. 심토환경 개선기 사용 권장 대상
 - 토심이 깊은 농경지
 - 심토에 경반 층이 있는 농경지
 - 토심이 얇은 농경지
 - 경지정리 이후의 굳은 농경지
 - 평지보다 계단 농지
6. 심토파쇄 사용이 곤란한 토양
 - 하층에 자갈이 있는 농경지
 - 물 빠짐이 지나치게 잘 되거나 안 되는 농경지
 - 간척 연한이 짧은 염해지
 - 농경지보다 하상이 높아 지하수위가 높은 농경지
 - 경사도가 큰 농경지

3) 안전 작업을 위한 주의 사항

- ① 이동주행 또는 작업주행 시는 반드시 기체를 멈춘 후에 주변속레버를 끊음으로 하고 변속레버를 작동해야 한다.
- ② 저속으로 회전하여 사고를 예방한다. 고속 주행 중에는 급회전을 절대 하지 말 것
- ③ 경사지(오르막, 내리막길) 주행 시는 저속으로 운행하고, 조향클러치는 짧게 사용해야 하며, 정지 시는 꼭 브레이크페달을 밟은 상태에서 잠가야한다.
- ④ 작업자 외에 다른 사람의 접근을 막아야한다.
- ⑤ 작업자는 작업복이 간편하고, 단정해야하며, 마스크를 착용 한다 .
- ⑥ 물기(우천, 해빙 등)가 많은 경사지의 주행을 하지 말아야 한다.

- ⑦ 임야, 과수원 등지의 경사가 심하고 길이 없는 곳으로의 주행을 하지 말아야한다.
- ⑧ 운전 중 v-벨트 등 회전부에는 손대지 말고, 다른 물건을 접촉시키지 말아야 한다.
- ⑨ 석회는 건조한 것을 사용하고, 뚜껑은 꼭 덮은 상태에서 작업한다.
- ⑩ 주변속레버를 넣은 채로 엔진을 시동하지 말아야하며 브레이크를 잠근 상태에서 시동하는 습관을 들인다.
- ⑪ 기체를 떠날 때는 반드시 브레이크페달을 잠금으로 고정하고, 주변속레버를 중립으로 한 후 시동을 끄고 내리도록 한다.
- ⑫ 각 부위의 안전 카바를 때내고 운전하지 말아야 한다.
- ⑬ 화재 예방을 위하여 연료 주입은 반드시 엔진을 끄고 한다.
- ⑭ 사용 전 후는 점검, 정비를 하고, 점검, 정비는 엔진을 정지한 상태에서 실시한다.
- ⑮ 노즐을 관입한 상태에서 주행하지 않도록 주의 한다.

4) 보관 관리 요령

가) 일시 보관

- ① 매일 작업이 끝난 후에는 깨끗이 청소하고, 정비 한다.
포장에서 발생한 먼지와 자체에서 비산하는 석회 등으로 메워지기 쉬운 엔진 및 공기압축기의 에어크리너 등은 청소용 노즐로 매일 청소하는 것이 좋다.
- ② 옥외에 보관할 때는 덮개를 씌워 눈이나 비 맞지 않도록 한다.
특히 석회탱크에 습기가 스며들어 석회가 젖지 않도록 한다.
- ③ 각부 점검과 정비를 생활화 한다.



그림 8-15. 청소용 에어건

나) 장기 보관

- ① 건조한 옥내를 택하여 보관 한다.
- ② 석회탱크에 남아 있는 석회를 손으로 완전히 제거하고 석회분출량 조절기 내에 있는 석회는 여러 번에 걸쳐 압축공기를 분출하므로 써 완전히 제거한다.
- ③ 에어건 등을 이용하여 각부를 깨끗이 청소한다.
- ④ 엔진은 10분 정도 운전한 다음 시동을 끄고 엔진과 미션오일을 교환하여 준다.
- ⑤ 연료탱크와 기화기 내의 연료는 완전히 제거 한다.
- ⑥ 외부의 녹이 나기 쉬운 곳이나 작동 부위에는 오일이나 그리스를 발라 준다.
- ⑦ 페인트가 벗겨진 곳은 녹을 제거하고 녹 방지용으로 오일을 바르거나 도장해 준다.
- ⑧ 각부 볼트, 너트의 풀립과 빠져나감 여부를 확인하여 시정한다.
- ⑨ 무한궤도는 지면에 직접 접하지 않도록 포장된 곳 등에 위치하게 한다.
- ⑩ 습기가 들어가지 않도록 기대커버를 씌워 잘 보관 한다.

<현장 연시 및 홍보 사진자료>

	
<p>경운기부착용 현장연시 조사(청송)</p>	<p>경운기부착용 현장연시 조사(옥천)</p>
	
<p>여성운전자도 쉽게 가능함(유성)</p>	<p>요인시험장치 현장 평가(연구소)</p>
	
<p>자주식 심토환경개선기 현장평가(여기산)</p>	<p>자주식 심토환경개선기 현장평가(포천)</p>
	
<p>친환경 토양관리 교육 (2008.02.13충남도원)</p>	<p>현장연시((08.02.13충남도원)</p>
	
<p>농기계전시(2008.04.16 경북상주)</p>	<p>서울 국제농림축산기계 전시(코엑스2006)</p>