

최 종
연구보고서

수집형 감자 수확기 개발

Development of Gathering Type Potato Harvester

연구 기관

성균관대학교

농림부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “수집형 감자 수확기 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2003년 8월 23일

주관연구기관명 : 성균관대학교

생명공학부

총괄연구책임자 : 이 규 승

연구원 : 박 원 엽

김 영 길

오 만 수

최 달 문

김 재 동

하 창 섭

협동연구기관명 : 농업기계화연구소

협동연구책임자 : 최 용

연구원 : 홍 종 태

김 영 근

전 현 중

요 약 문

I. 제목

수집형 감자 수확기 개발

II. 연구개발의 목적 및 중요성

현재 국내의 감자재배지역에서 수행되고 있는 감자 수확방법은 주로 땅속 작물 굴취기 또는 감자 수확기를 이용하여 토양을 절삭하여 지면 위로 감자를 분리한 후 인력에 의해 선별 및 수집하고 있다. 그러나 이러한 방법은 땅속에 있던 감자를 단순히 굴취하여 지상에 노출시키는 작업만을 기계화 한 것으로 지상에 노출된 감자는 다시 인력에 의해 수집해야 하는 추가 작업이 필요하다.

현재 국내의 감자 수확작업 중 굴취에 소요되는 시간은 경운기용이 1.2 hr/10a, 트랙터용이 0.3 hr/10a이나 굴취된 감자를 인력에 의해 수집하는데 소요되는 시간은 경운기용이 11.9 hr/10a, 트랙터용이 9.6 hr/10a로서 수집에 소요되는 시간은 굴취작업에 비해 경운기용의 경우에는 약 10배, 그리고 트랙터용의 경우에는 약 32배로 보고되고 있다('99 농촌진흥청).

이와 같이 굴취된 감자를 인력에 의해 수집하는 작업은 기계에 의한 수집작업에 비해 현저히 많은 작업시간이 필요할 뿐만 아니라 고노동력과 고비용이 요구되는 작업이기 때문에 감자 재배농가의 작업환경 개선뿐만 아니라 경쟁력을 확보하기 위해서는 굴취작업에서 수집작업까지 일관 기계화 작업체계가 가능한 수집형 감자 수확기의 개발이 필요하다.

본 연구의 목적은 감자의 굴취부터 수집에 이르는 전 수확과정을 일관 기계화 작업체계로 수행할 수 있는 수집형 감자수확기를 개발하는데 있다.

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

구 분	연구개발 목표	연구개발 내용 및 범위
1차년도	<ul style="list-style-type: none"> • 수집형 감자 수확기 개발을 위한 기초조사 	<ul style="list-style-type: none"> - 감자 재배 및 수확 실태 조사 분석 - 수확시기 감자의 이송 및 수집 관련 물성 특성 분석 - 생력기계시스템에 적합한 고랑 및 형상특성 분석 - 감자 굴취 장치 설계를 위한 감자 수확시기의 토양 물리성 조사 분석 - 국내외 서류 수확기에 관한 자료분석
	<ul style="list-style-type: none"> • 수집형 감자 수확기의 요인 시험 장치 설계 제작 및 시험 	<ul style="list-style-type: none"> - 감자 굴취, 이송, 수집 및 배출장치의 설계인자 구명 및 설계 - 수집 트레일러의 설계인자 구명 및 설계 - 수집 트레일러의 용량분석 - 트랙터 조합 및 부착장치 설계인자 구명 및 설계 - 감자 굴취, 이송, 수집 및 배출 시험장치의 제작 - 감자 굴취, 이송, 수집 및 배출장치의 설계 요인 구명 시험 - 트랙터 조합 및 부착장치 제작
2차년도	<ul style="list-style-type: none"> • 수집형 감자 수확기의 성능실험 및 문제점 분석 	<ul style="list-style-type: none"> - 수집 트레일러의 제작 - 통합 시스템 구성 및 상호 연계 성능 검증
	<ul style="list-style-type: none"> • 문제점 보완 설계 및 개량 제작 	<ul style="list-style-type: none"> - 통합 시작기의 문제점 보완 설계 및 개량 제작 - 통합 시작기의 성능 시험

IV. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구결과

가. 감자 재배 및 수확 실태 조사

국내의 감자재배는 일반적으로 노지에서 재배되고 있으며, 주년공급 체계를 갖추기 위해 크게 봄감자, 여름감자, 가을감자 및 겨울감자 작형으로 구분되어 재배되고 있으며, 작형별로 주산지가 다르게 나타났다. 또한 작형별 생산량에 있어서는 봄감자, 여름감자, 가을감자의 순으로 나타났고, 10a당 생산량은 여름감자, 봄감자, 가을감자 순으로 나타났다. 한편, 지역에 따른 재배양식(두둑형상과 크기, 재배 줄 수 등)은 등근두둑에 한줄 또는 두줄 재배와 평두둑에 두줄로 재배하는 것으로 조사되었다.

감자 수확 실태를 조사하기 위하여, 우리나라의 주요 감자재배지역 중에서 당진, 김제, 창녕, 고령, 괴산, 청원, 횡성 등에서 감자 수확 실태를 조사하였다. 조사 결과, 대부분의 감자 재배 지역에서의 수확방법은 주로 감자 수확기 또는 땅속작물 수확기를 이용하여 전체 재배 면적에 걸쳐 토양 절삭 및 감자 굴취과정을 통해 지상으로 감자를 노출시킨 후 인력에 의해 선별 및 수집하는 것으로 조사되었다. 그러나 이러한 방법은 땅속에 있던 감자를 단순히 굴취하여 지상에 노출시키는 작업만을 기계로 수행하고 지상에 노출된 감자는 다시 인력에 의해 수집되어야 하기 때문에 과도한 노동력과 인건비가 소요되는 것으로 조사되었다.

나. 수확시기 감자의 물성 조사 및 분석

감자의 물리적 특성은 품종, 재배작형, 조건, 주간 등의 재배양식에 따라 차이가 있다. 따라서 감자수확기의 굴취, 이송장치를 개발하는데 있어서 그 수확기구와 작용부의 제원을 결정하기 위한 기초자료로서 수확시기 포장조건 및 감자의 물리적 성질을 조사하였다. 감자의 물성은 수확시기에 달한 감자와 줄기의 물성을 조사하였다. 봄감자는 조풍, 가을감자는 대지마 품종을 공시품종으로 하고 3 m 구간의 감자를 모두 수확하여 조사하였다.

다. 감자 수확시기의 토양물리성 측정 및 분석

적절한 감자 수확기를 개발하기 위해서는 감자의 재배양식 뿐만 아니라 감자 수확시기의 토양특성도 함께 고려해야 한다. 따라서 우리나라의 주요 감자 재배지역중 춘천, 평창, 강릉, 횡성, 서산, 당진, 선산, 충주 등지에서 감자 수확시기 토양의 물리적 특성을 측정, 분석하였

다. 토양의 물리적 특성은 토양의 원추지수, 내부마찰각, 점착력 등을 측정하였으며, 그 외에 토성과 토양의 수분함량 등을 측정하였다.

현장 측정 결과 측정지역에서의 토성분포는 사질양토(SL)가 5곳, 양질사토(LS)가 3곳, 양토(L)가 1곳, 미사질양토(SiL)가 1곳으로서 감자 재배지역의 토성은 대부분 양토 계열이었다. 한편, 수분함량은 9.8~24.5% 범위로 나타났다.

토양경도와 토양의 전단응력은 고랑의 경우가 두둑에 비해 상대적으로 크게 나타났다. 또한 고랑의 경우에는 5 cm 전·후, 두둑의 경우에는 20 cm 전·후에서 도양경도가 급격히 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 감자 수확기의 감자(또는 토양) 굴취부는 감자밭의 고랑과 두둑의 높이를 고려하여야 하며, 굴취부의 경심은 두둑표면에서 20 cm 전·후 또는 고랑 표면에서 5cm 이내의 토양 깊이 내에서 작업을 수행할 경우에 감자 수확시 소요 견인부하를 최소화할 수 있을 것으로 판단되었다.

라. 감자 굴취 및 이송 요인 시험 장치의 설계 및 제작

감자 굴취 및 이송 장치는 감자가 묻혀 있는 토양을 절단하여 토양을 포함한 감자를 이송 장치위로 올려놓은 후 이송 중에 토양은 제거되고 감자만을 감자 수집함으로 보내는 장치로서 감자 수확기의 개발에 있어 가장 중요한 기능을 수행하는 장치 중의 하나이다. 따라서 감자 굴취 및 이송 시험 장치는 감자수확기 개발에 앞서 최적의 굴취, 이송 메카니즘을 구명하기 위하여 트랙터 부착형으로서 ①감자의 손상을 최소화 할 수 있을것, ②감자가 원활하게 이송될 것. ③각 부의 착·탈이 용이할 것 ④각부의 속도 및 각도 등을 쉽게 변화시킬 수 있을 것 등의 설계 방침을 가지고 시험 장치를 구성하였다.

감자 굴취 및 이송장치는 소요 견인력 및 기체 크기를 최소화하고 토양파쇄를 극대화하여 감자 수집함에 감자만의 수집이 가능한 적정 굴취 및 이송 설계 요인을 구명하기 위하여, 굴취날로 토양을 절삭한 후 회전하는 1차 컨베이어 이송장치로 흙을 파쇄함과 동시에 감자를 끌어 올려 2차 컨베이어 이송장치로 보내면 2차 컨베이어 이송장치의 러그를 타고 상부로 이송되어 감자 수집함에 보내질 수 있는 시스템으로서 감자 굴취장치, 1차 컨베이어 이송장치, 2차 컨베이어 이송장치의 3 부분으로 설계, 제작하였다.

마. 감자 굴취 및 이송 요인 시험장치의 설계 요인 구명

수집형 감자 수확기의 감자 굴취 및 이송부의 적정 설계 요인을 구명하기 위하여 고정 굴취날로 굴취하여 1차 및 2차 체인컨베이어로 이송하는 시스템으로 구성하여 설계 요인 구명

시험을 수행하였다.

굴취날의 각도에 따른 쇄토율은 각도가 클수록 높게 나타났으나 토양의 흐름상태를 감안하면 26°에서 가장 양호한 것으로 나타났다.

1차 컨베이어 이송장치는 체인봉의 간격이 적을수록 쇄토율과 손상률이 적게 나타났으나 흙 혼입률이 높게 나타났고, 체인봉의 간격이 클수록, 컨베이어의 이송속도가 빠를수록 손상이 과다하여 체인봉 간격 50.8 mm, 컨베이어 속도 1.2 m/s에서 작업정도가 가장 양호한 것으로 판단되었다.

2차 컨베이어 이송장치의 적정 이송방법을 구명하기 위하여 돌출리그형과 홈리그형의 두 가지 형태의 이송장치를 제작하여 이송형태에 따른 이송 시험을 수행한 결과, 돌출리그형이 적정한 것으로 나타났다. 그러나 돌출리그형 이송장치는 홈리그형에 비해 흙 혼입율이 높은 것으로 나타나 흙 제거를 위한 추가적인 장치가 필요한 것으로 판단되었다.

2차 컨베이어 이송장치의 적정 경사각을 구명하기 위하여 세 수준의 경사 각도별로 시험한 결과, 이송각도를 63°에서 가장 양호한 것으로 나타났다. 작업속도와 2차 이송컨베이어의 적정 속도비를 구명하기 위한 실험을 수행한 결과, 작업속도 0.4 m/s, 이송속도 1.7 m/s에서 이송률 95%, 손상률 2%, 흙 혼입률 23%로 가장 양호하게 나타났다.

바. 감자 수집 및 배출 요인 시험장치의 설계 및 제작

감자 수집 및 배출 요인 시험장치를 설계하는데 있어, 감자수집함은 트레일러 일체형이 아닌 대용량의 버킷 방식으로 구성하였고, 수집된 감자를 쉽게 배출할 수 있도록 유압 덤프 방식으로 구성하였다. 또한, 적재함의 지상고를 최소로함으로써 수집함의 높이를 높게 하여 수집함의 전체 길이는 작게 하면서도 수집함이 충분한 양의 감자 수집 능력을 갖출 수 있도록 하였다. 한편, 수집함으로 수집되는 감자는 경사 완충 안내판을 통해 굴러 쌓이도록 하여 감자의 손상을 최소화할 수 있도록 설계·제작하였다.

제작된 감자 수집 및 배출 장치는 크게 ①2차 이송장치를 통과한 감자를 수집하는 감자 수집함, ②2차 이송장치를 통과한 감자가 수집함에 적재되도록 안내하는 동시에 감자의 손상을 최소화하기 위한 경사 완충안내판, ③수집된 감자를 배출하는 유압식 덤프 시스템으로 구성되었다. 한편, 감자 수집함의 체적은 약 0.5m³(1300×700×500mm)이고, 또한 4절 링크방식으로 구성하여 덤프시에도 수집함이 항상 수평을 유지하도록 설계·제작하였다.

사. 감자 수집 및 배출 요인 시험장치의 설계 요인 구명

설계 제작된 감자 수집·배출장치의 설계 요인을 구명하기 위해 경북 선산에 위치한 감자

재배 지역에서 감자 수집 및 배출 시험장치의 성능 실험을 수행하였다.

시험 결과, 감자 수집함은 약 200kg 정도의 감자 수집용량으로서 2줄 수확 기준으로 1회에 약 50m 길이의 작업이 가능한 것으로 조사되었고, 감자 수집 및 배출 메카니즘은 전 과정에 걸쳐 만족할만한 결과를 나타내었다. 한편, 제작된 감자 수집 및 배출 시스템에 대한 현지 감자 재배 농민들의 의견을 종합한 결과는 현재의 시스템에 대해 전반적으로 만족하는 것으로 나타났으나 흙 혼입량을 현재보다 좀 더 줄여야 할 필요성이 있는 것으로 조사되었다. 따라서 흙 혼입율을 줄이기 위해 2차 컨베이어 이송장치와 감자 수집함 사이에 흙 등 이물질 제거를 위한 리그가 부착된 역회전 컨베이어를 추가로 설계, 제작하여 역회전 컨베이어의 각도와 속도에 따른 흙 및 이물질 제거 요인을 구명하기 위한 시험을 수행하였다. 시험 결과, 역회전 컨베이어는 흙 제거 효과가 뛰어난 것으로 판단되었으며, 역회전 컨베이어의 각도 26°, 컨베이어의 속도 0.2 m/s일 때 이송율 99%, 흙 제거율 98%로 가장 양호하게 나타났다.

아. 트랙터 조합 및 부착장치의 설계 및 제작

수집형 감자 수확기는 자체 동력원 및 주행능력이 없는 독립적인 시스템이기 때문에 감자 굴취 및 컨베이어 이송장치에 동력을 전달하기 위해서는 트랙터의 PTO 동력을 이용해야 한다. 따라서 수집형 감자 수확기의 트랙터 조합 및 부착방법은 부착의 용이성, 이송 컨베이어에 PTO 동력 전달의 용이성, 굴취부의 토양 절단 및 굴취부의 경심 조절의 용이성, 그리고 그리고 일반적인 범용의 트랙터에 모두 적용할 수 있도록 트랙터의 3점 링크 부착 방식으로 설계·제작하였다.

자. 통합시작기의 설계 및 제작

설계 요인 시험에서 구명된 인자를 바탕으로 감자 굴취 및 이송장치와 감자 수집 및 배출 장치, 그리고 트랙터 조합 및 부착장치를 통합하여 굴취, 이송, 흙 분리, 수집, 배출의 일관 작업이 가능한 트랙터 부착형 수집형 감자수확기를 개발하기 위한 통합 시작기를 설계·제작하였다.

통합시작기는 굴취날로 토양을 절삭하여 굴취된 감자와 흙덩어리를 1차 컨베이어 이송장치 위로 올려 놓으면, 1차 컨베이어 이송장치는 흙과 감자를 이송하는 동안 흙은 파쇄하여 제거함과 동시에 감자를 2차 컨베이어 이송장치로 올려 놓으면, 2차 컨베이어 이송장치의 돌출된 리그위에 감자와 흙이 얹혀져 상부로 이송되고 다시 역회전 컨베이어를 통하여 흙과

이물질은 제거되고 감자만 수집함에 담겨지게 된다. 배출은 원하는 장소나 트럭 등에 적재할 수 있도록 트랙터의 유압을 이용하여 수집함을 상부로 올리고 밑판을 열어 감자를 배출하는 시스템으로 구성하여 제작하였다.

굴취날은 고정 굴취날, 1차 컨베이어 이송장치는 체인 피치 50.8 mm, 체인 속도 1.2 m/s로 하였고, 2차 컨베이어 이송장치의 이송 방식은 돌출형 리그부착 컨베이어로서 주행속도와 이송 컨베이어의 속도비는 1 : 4.2, 이송각도는 63°이다. 또한, 역회전 컨베이어의 각도는 26°, 컨베이어 속도는 0.2 m/s이며, 감자 수집함의 용량은 200 kg, 배출방식은 수집함의 상승과 바닥판의 개폐가 독립적으로 운용 가능하도록 유압식으로 하였다.

차. 통합시작기의 성능 시험

본 연구에서 개발한 수집형 감자 수확기(통합시작기)의 성능을 평가하기 위하여 통합시작기의 작업성능을 시험하였고, 시험결과는 관행의 작업성능과 비교·분석하였다.

시험 결과, 통합시작기의 작업정도는 굴취율 97%, 손상률 2%, 흙혼입률 2%로서 관행의 방법과 큰 차이를 보이지 않았으나 작업능률 면에서는 관행의 수확작업에 비해 현저히 높은 성능을 나타내었다. 즉, 수집형 감자 수확기를 이용한 작업능률은 작업속도 0.4 m/s에서 0.5 hr/10a로 나타났다. 이것은 농가에서 가장 많이 사용되고 있는 트랙터 부착형 감자굴취기를 이용한 관행의 수확방법을 이용할 경우의 작업능률 9.9 hr/10a(굴취 0.3 hr/10a, 수집 9.6 hr/10a)에 비해 굴취부터 수집까지 소요되는 시간을 9.4시간 줄일 수 있어 95%의 노력절감 효과가 있는 것으로 나타났다.

한편, 수집형 감자 수확기의 경제성을 평가하기 위하여 수집형 감자 수확기와 관행의 수확작업체계에 의한 10a당 감자 굴취 및 수집에 소요되는 경비를 비교·분석하였다. 두 가지 수확방법에 의한 경제성 분석 결과, 수집형 감자 수확기는 10a당 소요경비가 25,716원/10a로서 관행 감자굴취기 이용시의 50,152원/10a에 비하여 49%의 경비절감 효과가 있는 것으로 나타났다.

2. 활용에 관한 건의

본 연구에서는 감자의 굴취부터 수집에 이르는 전 수확과정을 일관 기계화 작업체계로 수행할 수 있는 수집형 감자수확기를 개발하였다.

개발된 수집형 감자 수확기는 성능 시험 결과 굴취율 97%, 손상률 2%, 흙혼입률 2%로서 관행의 방법에 비해 큰 차이를 보이지 않으면서도 10a당 굴취부터 수집까지 소요되는 시간을 9.4시간 줄일 수 있어 95%의 노력절감 효과가 있고, 49%의 경비절감 효과가 있는 것으로 나타났다. 또한 본 연구에는 감자 수확기 전문 생산 업체가 참여하여 농민들의 구매 의사가 있을 시에는 빠른 시일 내에 상품화가 가능하여 감자 재배 농가의 경쟁력 확보에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

SUMMARY

This study was carried out to develop the gathering type potato harvester which can perform the digging operation, soil separation and gathering continuously in series.

The present status of potato cultivation system was investigated as a basic study for developing the gathering type potato harvester. Most of the potato cultivation was carried out in the outdoor field and there are four main season for potato cultivation, or spring, summer, autumn and winter. Depending on the season, main cultivation area are differed. There are two types of cultivation system with ridge shape, or round shape ridge with one or two row seeding and flat shape ridge with two row seeding.

The investigation for potato harvesting system was carried out in TangJin, KimJe, Changnyung, Goryung, Goesan, Chungwon and Hoengsung area. Most of the crop was dug by lifter, hand picked and placed boxes for curing and subsequent handling. This kind of harvesting system requires too much labour power. For reducing the more man power it is needed to develop a gathering type potato harvester.

Soil physical properties were measured and analyzed during the potato harvest season. Investigation areas were Choonchun, Pyungchang, Kangneung, Hoesung, Seosan, TangJin, and Chungju. Cone index, internal friction angle, cohesion, soil texture and soil moisture content were the measured soil physical properties. For the most of the investigated area, soil type were sandy loam, silty loam and loam by USDA textural classification, and soil moisture content was ranged from 9.8~24.4%. Soil shearing force parameters and soil hardness of furrow bottom was much higher than that of the ridge for the same field. From this result it was concluded that both the soil physical properties of furrow bottom and ridge should be considered for better design of digging systems of gathering type potato harvester. For the furrow bottom, soil hardness increased rapidly from 5 cm below soil surface and it was 20 cm for the ridge. Thus the height of ridge should be considered for the better design of digging system of harvester. Draft force of harvester can be reduced if the digging depth of lifter 20 cm

below the ridge and 5cm below furrow bottom.

On the basis of the above results, design factors were verified and first prototype was designed and constructed for experiment. The prototype consists of soil cutting and lifting parts for digging out the potato in the soil, front conveyer system for soil crushing and sending potato to the vertical type conveyer system with lug and discharging system to gathering container.

The performance test was carried out in the Choonchun area, Kangwondo. Digging ratio was 97%, damaged potato ratio was 2% and soil containing ratio was 2%. These value is almost the same with conventional harvesting method but the time required for the prototype was 0.5 hours per 10a and it was 9.9 hours for the conventional method. Thus 9.4 hours can be saved for the mechanical harvesting system compared with the conventional method. 95% of labour requirement 45% of harvesting cost can be saved for the mechanical harvesting system compared with the conventional method.

CONTENTS

Chapter 1	Introduction	14
Section 1	Background	14
Section 2	Objectives	14
Chapter 2	Present Status of Potato Cultivation and Harvest	15
Section 1	Present status of Potato cultivation in Korea	15
Section 2	Present status of Potato harvest	17
Section 3	Physical properties of potato during harvesting season	18
Chapter 3	Soil Physical Properties during Potato Harvesting Season	20
Section 1	Measurement of soil physical properties	20
Section 2	Analysis of soil physical properties	21
Chapter 4	Investigation of Design Factors for Development of Gathering Type Potato Harvester	28
Section 1	Investigation of design factors for potato digging and carrying system	28
Section 2	Investigation of design factors for potato gathering and discharging system	40
Section 3	Design and construction of tractor attaching system	47
Chapter 5	Construction of prototype	48
Section 1	Structure and specification of prototype	48
Section 2	Performance test of prototype	51
Chapter 6	Conclusions	56
References		59

목 차

제 1 장 서 론 -----	14
제 1 절 연구배경 -----	14
제 2 절 연구목적 -----	14
제 2 장 감자 재배 및 수확 실태 조사 -----	15
제 1 절 국내의 감자 재배 현황 -----	15
제 2 절 감자 수확 실태 조사 -----	17
제 3 절 수확시기 감자의 물성 조사 -----	18
제 3 장 감자 수확시기의 토양물리성 측정 및 분석 -----	20
제 1 절 감자 수확시기의 토양물리성 측정 -----	20
제 2 절 감자 수확시기의 토양물리성 분석 -----	21
제 4 장 수집형 감자수확기 개발을 위한 설계 요인 구명 -----	28
제 1 절 감자 굴취 및 이송장치의 설계 요인 구명 -----	28
제 2 절 감자 수집 및 배출 장치의 설계 요인 구명 -----	40
제 3 절 트랙터 조합 및 부착 장치의 설계 및 제작 -----	47
제 5 장 수집형 감자수확기 개발을 위한 통합 시작기 구성 -----	48
제 1 절 통합 시작기의 구조 및 제원 -----	48
제 2 절 통합 시작기의 성능 시험 -----	51
제 6 장 결 론 -----	56
참 고 문 헌 -----	59

제 1 장 서 론

제1절 연구배경

현재 국내의 감자재배지역에서 수행되고 있는 감자 수확방법은 주로 땅속 작물 굴취기 또는 감자 수확기를 이용하여 토양을 절삭하여 지면 위로 감자를 분리한 후 인력에 의해 선별 및 수집하고 있다. 그러나 이러한 방법은 땅속에 있던 감자를 단순히 굴취하여 지상에 노출시키는 작업만을 기계화 한 것으로 지상에 노출된 감자는 다시 인력에 의해 굴취·수집해야 하는 추가 작업이 필요하다.

현재 국내의 감자 수확작업 중 굴취에 소요되는 시간은 경운기용이 1.2 hr/10a, 트랙터용이 0.3 hr/10a이나 굴취된 감자를 인력에 의해 수집하는데 소요되는 시간은 경운기용이 11.9 hr/10a, 트랙터용이 9.6 hr/10a로서 수집에 소요되는 시간은 굴취작업에 비해 경운기용의 경우에는 약 10배, 그리고 트랙터용의 경우에는 약 32배로 보고되고 있다('99 농촌진흥청).

이와 같이 굴취된 감자를 인력에 의해 수집하는 작업은 기계에 의한 수집작업에 비해 현저히 많은 작업시간이 필요할 뿐만 아니라 고노동력과 고비용이 요구되는 작업이기 때문에 감자 재배농가의 작업환경 개선뿐만 아니라 경쟁력을 확보하기 위해서는 굴취작업에서 수집작업까지 일관 기계화 작업체계가 가능한 수확작업기의 개발이 시급한 실정이다. 따라서 완전한 기계 수확작업이 이루어지기 위해서는 굴취와 수집작업을 동시에 수행할 수 있는 수집형 감자 수확기의 개발이 필요하다.

제2절 연구목적

본 연구의 목적은 감자의 굴취부터 수집에 이르는 전 수확과정을 일관 기계화 작업체계로 수행할 수 있는 수집형 감자수확기를 개발하는데 있다.

제 2 장 감자 재배 및 수확 실태 조사

제1절 국내의 감자 재배 현황

1. 재배 현황

국내의 감자재배는 일반적으로 노지에서 재배되고 있으며, 주년공급 체계를 갖추기 위해 작형을 구분하며 재배하는데 크게 봄감자, 여름감자, 가을감자 및 겨울감자 작형으로 구분할 수 있다. 작형별 생산량에 있어서는 봄감자, 여름감자, 가을감자의 순으로 나타났고, 10a당 생산량은 여름감자, 봄감자, 가을감자 순으로 나타났다.(표 2-1).

감자는 품종별로 내병성, 숙기, 입모형태, 추대성, 토양적응성이 매우 다르기 때문에 품종을 선택할 때는 재배지역의 기후조건, 재배시기, 출하시기 등을 고려하여야 하므로 작형을 구분하여 재배하고 있다(표 2-2).

표 2-1 작형별 감자 재배 동향 ('01 농림부통계)

구 분	봄감자	여름감자	가을감자	계
재배면적 (ha)	14,955	4,886	4,850	24,691
면적점유율 (%)	60.6	19.8	19.6	100.0
생산량 (톤)	336,901	163,634	103,092	603,627
10a당 수량 (kg)	2,253	3,349	2,126	2,445
생산량점유율 (%)	55.8	27.1	17.1	100.0

표 2-2 작형별 주산지 현황

작형별	주산지	재배시기	주품종
봄 재배	김제, 금릉, 고령, 밀양, 창녕	2월하순 ~ 7월상순	남작, 수미, 조풍, 대서
여름 재배	대관령, 봉화	4월하순 ~ 9월하순	남작, 수미, 조풍, 대서
가을 재배	해남, 무안, 완도, 밀양, 창녕	8월상순 ~ 12월상순	대지, 추심
겨울 재배	제주, 강진, 보성	12월중순 ~ 5월중순	대지, 수미, 남서, 추심
하우스 재배	남원, 김제, 밀양	1월상순 ~ 5월상순	수미, 대지, 남서, 조풍

2. 재배 양식

국내의 감자재배는 지역마다 작형 및 재배양식, 수확시기 등이 다양하기 때문에 감자수확기의 개발은 지역적 재배 특성을 고려하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 적절한 감자수확기를 개발하기 위해 감자 주산지의 작업시기, 재배양식 등을 조사하였다. 국내의 감자재배는 표 2-3과 같이 일반적으로 노지에서 행해지며 재배작형, 토성 등에 따라 같은 지역에서도 다르게 재배되어지지만 둥근두둑 한줄 재배와 평두둑 두줄 재배가 일반적이다(그림 2-1).

표 2-3 감자 주산지의 재배양식

지역	작업시기		둥근두둑 1줄재배			평두둑 2줄재배		
	파종	수확	점유율 (%)	이랑폭 (cm)	두둑폭 (cm)	점유율 (%)	이랑폭 (cm)	두둑폭 (cm)
평창	4월상 ~ 4월중	7월상 ~ 7월중	100	70~75	40~45	-	-	-
춘천	4월초 ~ 4월중	7월상 ~ 7월중	100	80	60	-	-	-
청원	4월상	6월하 ~ 7월상	20	70	40	80	75 (조간30)	45
괴산	3월상	6월하	100	70	40	-	-	-
제천	3월상	6월하	70	75	40	30	90~100 (조간30)	70
서산	3월중	6월중	95	90	60	-	-	-
당진	3월상 ~ 3월중	6월중 ~ 6월하	80	70	40	20	140 (조간40)	110
김제	3월하	6월하 ~ 7월상	100	75	45	-	-	-
남원	3월하	6월하	75 고냉	80	50	-	-	-
			25 평야	70	40			
신안	1월중 ~ 2월중	5월중 ~ 6월상	80	70~75	40~45	20	120 (조간30)	90
고령	2월하 ~ 3월상	6월상 ~ 6월중	40	70~75	40~45	60	140 (조간40)	110
창녕	2월하	5월하 ~ 6월상	30	70	40	70	90 (조간25)	60
밀양	2월하	5월하 ~ 6월상	95이상	70	40	-	-	-

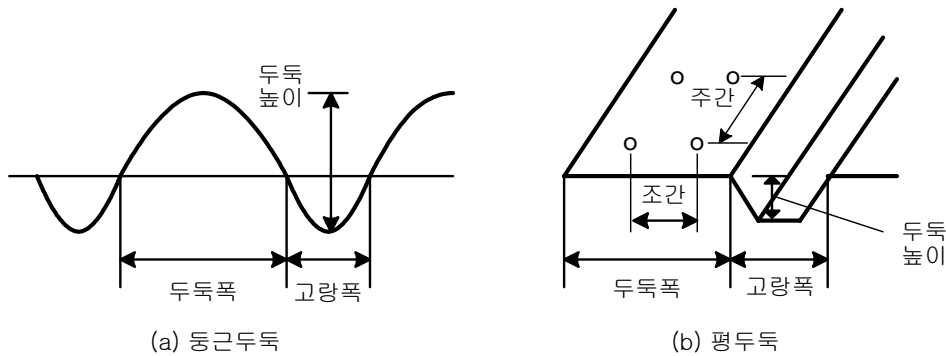


그림 2-1 두둑형상

제2절 감자 수확 실태 조사

우리나라의 대표적 서류작물인 감자의 수확 방법을 조사하기 위하여, 표 2-3에 나타낸 우리나라의 주요 감자재배지역 중에서 당진, 김제, 창녕, 고령, 괴산, 청원, 횡성 등에서 감자 수확 실태를 조사하였다.

감자의 재배방법은 전술한 바와 같이 지역적, 시기별, 토양별로 다르게 나타났지만 수확방법은 모든 조사지역에서 거의 유사하게 나타났다. 조사 결과, 일부 소규모 감자재배 농가에서는 감자 굴취부터 선별까지 전체 수확과정을 인력에 의해 수행하는 것으로 조사되었으나 대부분의 감자재배 지역에서의 수확방법은 주로 감자 수확기 또는 땅속작물 수확기를 이용하여 전체 재배면적에 걸쳐 토양 절삭 및 감자 굴취과정을 통해 지상으로 감자를 노출시킨 후 인력에 의해 선별 및 수집하는 것으로 조사되었다. 그러나 이러한 방법은 땅속에 있던 감자를 단순히 굴취하여 지상에 노출시키는 작업만을 기계로 수행하고 지상에 노출된 감자는 다시 인력에 의해 수집되어야 하기 때문에 과도한 노동력과 인건비가 소요되는 것으로 조사되었다.

한편 조사한 감자 재배지역의 단위 면적당 수확량은 지역, 재배방식, 작황수준에 따라 차이가 있었지만 일반적으로 2~4 kg/m² 정도로 나타나 전체 감자 재배 면적에 굴취된 감자를 인력에 의해 수거하는데는 상당한 시간과 노동력이 필요한 것으로 나타났다. 따라서 감자의 굴취부터 수집에 이르는 전 과정을 기계에 의해 수행할 수 있는 수집형 감자 수확기의 개발이 시급한 것으로 판단되었다.

제3절 수확시기 감자의 물성 조사

감자의 물리적 특성은 품종, 재배작형, 조건, 주간 등의 재배양식에 따라 차이가 있다. 따라서 수집형 감자 수확기를 개발하는데 있어 감자수확기의 굴취 및 이송장치와 수집 및 배출장치에 이르는 전 수확시스템의 기구와 작용부의 제원을 결정하기 위한 기초 자료로서 감자 수확시기의 포장조건 및 감자의 물리적 성질을 조사하였다.

1. 포장조건

조사대상 지역은 강원 평창(고랭지 감자), 경남창녕(가을감자), 경북선산(봄감자), 전북 김제(봄감자) 지역을 대상으로 하였다. 포장조건은 표 2-4와 같이 토양함수율, 토성, 토양경도 등을 조사하였다. 토양 경도 측정은 관입식 토양경도계(SR-2)를 이용하여 감자의 뿌리분포를 감안하여 관입시 관입 깊이별로 지표에서 5, 10, 15, 20 cm일 때의 측정값을 평균하여 산출하였다. 조사대상 지역의 토성은 강원 평창, 전북 김제지역은 사양토, 경남 창령과 경북 선산지역은 양질사토였다.

표 2-4 감자 재배 포장의 토양조건

지 역	토양함수율 (%, d.b.)	토성	관입깊이별 토양경도(kPa)			
			5	10	15	20
강원 평창	13.2	SL	228	360	821	1397
경남 창녕	16.3	LS	263	412	597	632
경북 선산	12.9	LS	914	1470	1679	1546
전북 김제	23.5	SL	365	972	1,726	2,465

2. 감자의 물성

감자의 물성은 수확시기에 달한 감자와 줄기의 물성을 조사하였다. 봄감자는 조풍, 가을감자는 대지마 품종을 공시품종으로 하고 3 m 구간의 감자를 모두 수확하여 조사한 결과를 표 2-5에 나타내었다. 표 2-5에서 가을감자는 수확시기에 줄기가 고사한 상태이므로 측정이 불가능하였다.

표 2-5 수확시기 감자의 크기 및 무게

구 분		감자의 크기(mm)				줄기		
		가로	세로	높이	무게(g)	길이	개수	무게
봄감자	Ave.	61	45	53	100	62	53	47
	Max.	96	63	80	290	106	86	73
	Min.	50	32	40	46	28	24	17
	S.D.	10	6	8	45	15	13	11
가을감자	Ave.	62	53	47	103	-	-	-
	Max.	106	86	73	346	-	-	-
	Min.	28	24	17	9	-	-	-
	S.D.	15	13	11	65	-	-	-

제 3 장 감자 수확시기의 토양물리성 측정 및 분석

제1절 감자 수확시기의 토양물리성 측정

적절한 감자 수확기를 개발하기 위해서는 감자의 재배양식 뿐만 아니라 감자 수확시기의 토양특성도 함께 고려해야 한다. 따라서 우리나라의 주요 감자 재배지역중 춘천, 평창, 강릉, 횡성, 서산, 당진, 선산, 충주 등지에서 감자 수확시기 토양의 물리적 특성을 측정하였다.

토양의 물리적 특성은 토양의 원추지수(Cone Index), 내부마찰각(internal friction angle), 점착력(cohesion) 등을 측정하였으며, 그 외에 토성(soil texture)과 토양의 수분함량 등을 측정하였다. 토양물리성의 측정 방법은 다음과 같다.

1. 원추지수

토양의 원추지수는 SR-2 모델의 토양경도 측정장치(cone penetrometer)를 이용하여 감자 재배지역에서 감자 수확시기에 두둑과 고랑에서 각각 임의의 5곳을 선정하여 0~30 cm 깊이까지 5 cm 간격으로 각각 5반복으로 측정하였다.

2. 내부마찰각과 점착력

토양의 점착력과 내부마찰각은 SR-2 모델의 토양 전단 측정장치를 이용하여 감자 수확시기에 두둑과 고랑에서 임의의 5곳을 선정하여 측정하였다.

3. 토양의 수분함량 및 토성 측정

토양의 수분함량은 EVERWELL 332 토양 채취기를 이용하여 토양샘플을 채취한 후 오븐 건조법에 의해 측정하였다. 토양샘플의 채취는 용량 100cc의 토양 채취통을 이용하여 감자 수확시기에 두둑과 고랑에서 임의의 3곳을 선정한 후 토양속 0~10 cm, 10~20 cm 깊이의 두 구간에서 채취하였다. 한편, 토성은 채취한 토양 샘플을 비중계법에 의해 분석하였으며, 그 기준은 미농무성(USDA) 분류기준을 을 따랐다.

제2절 감자 수확시기의 토양물리성 분석

표 3-1은 전술한 감자 재배지역에서 감자 수확시기에 측정된 토양의 물리적 특성을 보여주고 있다. 표 3-1에서 볼 수 있듯이, 전체 측정지역에서의 토성분포는 사질양토(SL)가 5곳, 양질사토(LS)가 3곳, 양토(L)가 1곳, 미사질양토(SiL)가 1곳으로서 감자 재배지역의 토성은 대부분 양토 계열이었다. 한편, 수분함량은 9.8~24.5% 범위로 나타났다.

표 3-1 주요 감자 재배지역에서 수확시기에 측정된 토양의 물리적 특성

지 역		콘 관입저항 (kPa)							점착력 (kPa)	내부 마찰각 (deg.)	수분 함수 율 (%,db)	토성
		0cm	5cm	10cm	15cm	20cm	25cm	30cm				
강원 춘천	두둑	23	57	117	319	794	1536	1997	4.25	29.94	19.63	SL
	고랑	282	647	1432	1849	1897	2129	1911	7.18	39.01	18.47	
강원 평창	두둑	64	228	360	821	1397	2389	-	6.42	30.37	13.25	SL
	고랑	473	1409	2225	-	-	-	-	6.83	40.56	13.72	
강원 강릉	두둑	133	182	255	549	929	1460	1842	5.21	21.16	16.53	L
	고랑	974	1568	1778	1664	1921	-	-	9.44	29.07	14.33	
강원 횡성	두둑	147	251	372	480	1039	1558	1901	5.97	23.22	12.55	SiL
	고랑	1098	1509	1823	1764	2117	-	-	9.13	31.09	9.80	
충남 서산-1	두둑	33	322	534	1275	1548	2114	-	3.40	23.89	19.22	SL
	고랑	986	1210	1519	2225	-	-	-	6.80	29.27	12.78	
충남 서산-2	두둑	7	81	326	1004	1686	-	-	3.33	20.38	24.45	SL
	고랑	625	1451	1561	1165	1085	1121	1145	8.98	28.50	14.66	
충남 당진-1	두둑	131	278	533	1160	1388	1797	-	-	-	18.09	LS
	고랑	670	1437	2287	-	-	-	-	-	-	16.54	
충남 당진-2	두둑	196	425	915	1111	1405	1666	-	7.48	31.22	12.24	LS
	고랑	604	1156	1584	-	-	-	-	9.37	37.24	18.67	
경북 선산	두둑	914	1470	1679	1546	-	-	-	1.92	31.59	10.49	LS
	고랑	710	1062	1446	-	-	-	-	2.67	36.08	12.17	
충북 충주	두둑	212	386	784	931	1372	1993	-	4.54	28.44	13.55	SL
	고랑	555	784	1764	-	-	-	-	6.38	29.03	12.67	

그림 3-1과 3-2는 현장조사를 수행한 전체 감자재배 지역에서 SR-2형 토양 경도측정기를 이용하여 감자 수확시기에 두둑과 고랑에서 측정된 깊이에 따른 원추관입저항(cone penetration resistance)의 측정결과를 보여주고 있다. 그림 3-1은 두둑에서 측정된 토양의 원추관입저항 결과로서 토양 깊이에 따른 원추관입저항은 토양표면에 가까울수록 작게 나타났으며, 토양 속으로 깊이 들어갈수록 증가하는 경향을 나타내었다. 한편, 대부분 지역에서의 원추관입저항은 토양 깊이 20~25 cm 전·후에서 급격히 증가하였고, 일부 지역에서는 25 cm 전·후 깊이에서 토양 경도 측정장치의 최대 측정한계인 2500 kPa를 초과하여 측정이 불가능하였다.

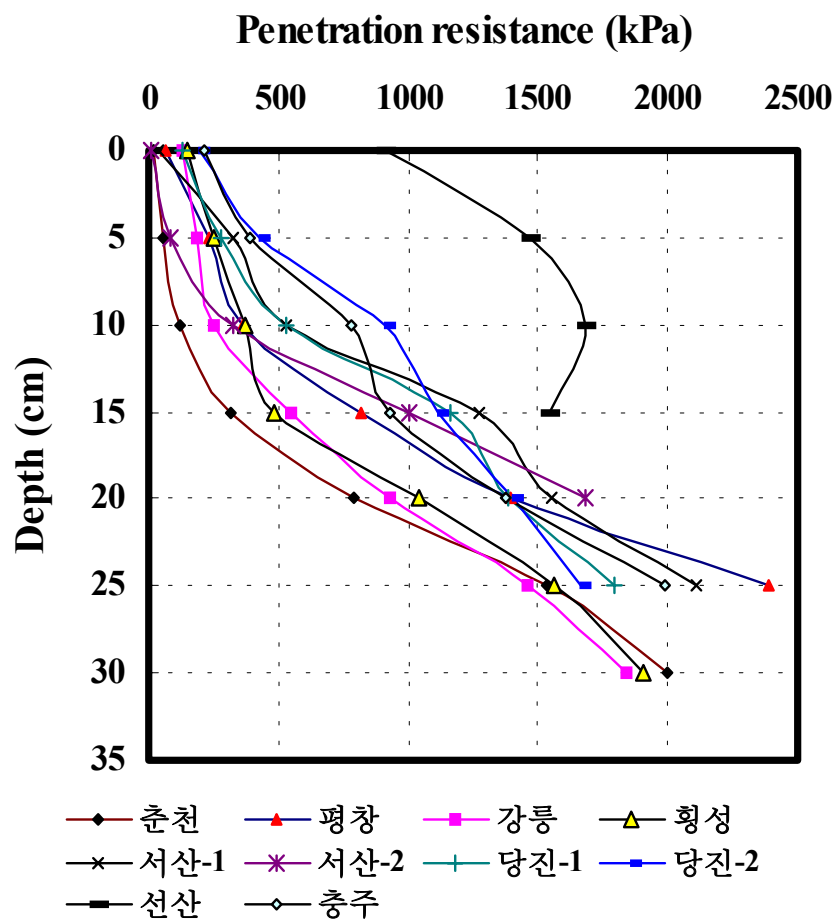


그림 3-1 감자 수확시기 두둑에서 측정된 토양 깊이에 따른 관입저항

그림 3-2는 고랑에서 측정한 원추관입저항의 측정결과로서 강원 춘천지역과 충남 서산-2 지역에서는 30 cm까지, 강릉과 횡성지역에서는 20 cm까지, 그리고 충남 서산-1 지역에서는 15 cm까지 측정이 가능하였으나 그 외 지역에서는 토양강도가 매우 높아 5~10cm 깊이까지만 측정이 가능하였다. 또한 고랑에서는 모든 측정지역에 대해서 표층에서부터 토양강도가 매우 크게 나타났고, 표층 아래 5~10 cm를 전후해서 원추관입저항이 급격히 증가하였다

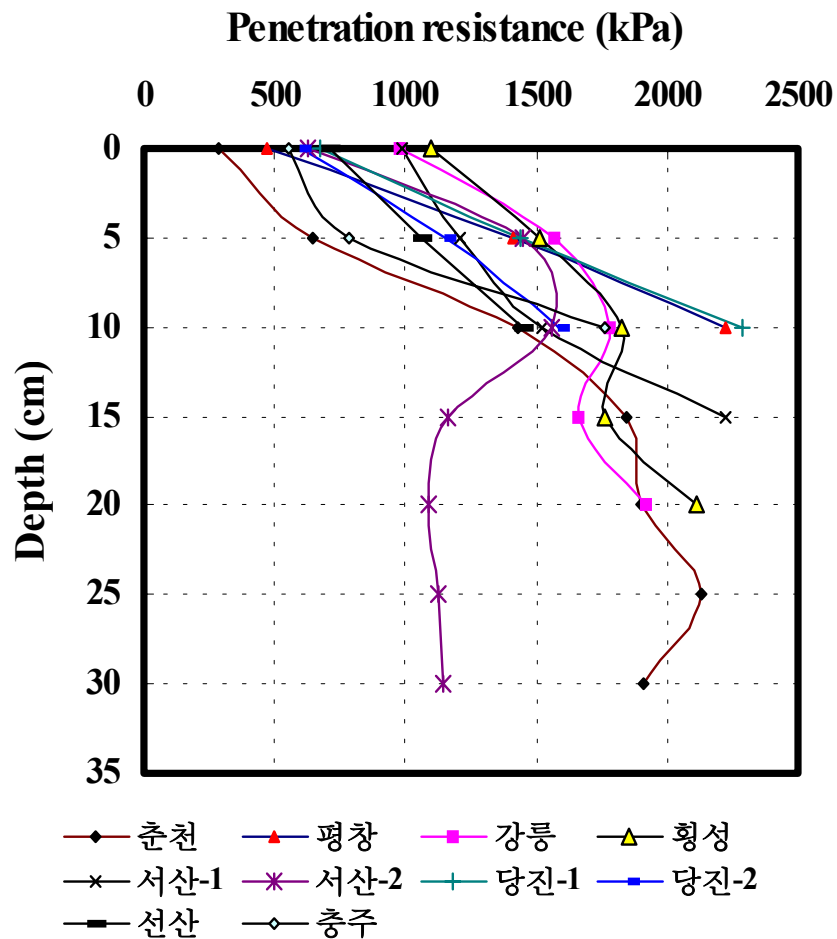


그림 3-2 감자 수확시기 고랑에서 측정한 토양 깊이에 따른 관입저항

그림 3-3은 그림 3-1과 그림 3-2에 나타난 전체 감자 재배지역의 두둑과 고랑에서 측정된 원추관입저항 값들을 두둑과 고랑별로 평균한 값으로서 두둑과 고랑간의 토양경도는 큰 차이를 보이는 것으로 나타났다. 두둑과 고랑간에 토양경도의 차이가 크게 나타난 이유는 20 cm 전·후의 쟁기작업을 통해 두둑과 고랑이 형성되기 때문에, 고랑 아래 5 cm(또는 두둑아래 20~25cm) 깊이를 전·후로 하여 단단한 표층이 발생하기 때문으로 판단된다.

한편, 앞의 그림 3-1에 나타난 바와 같이, 지역에 따라 두둑아래에서 단단한 토층의 깊이가 다르게 나타난 이유는 전술한 바와 같이 지역간 쟁기작업 깊이와 고랑 및 두둑높이의 차이 때문으로 판단된다. 즉, 두둑 아래에서와 고랑 아래에서의 단단한 토층은 같은 지반층으로 판단되고, 이러한 점이 전체 측정지역에 대해 두둑아래 단단한 토층 깊이의 차이가 나게 된 것으로 판단된다.

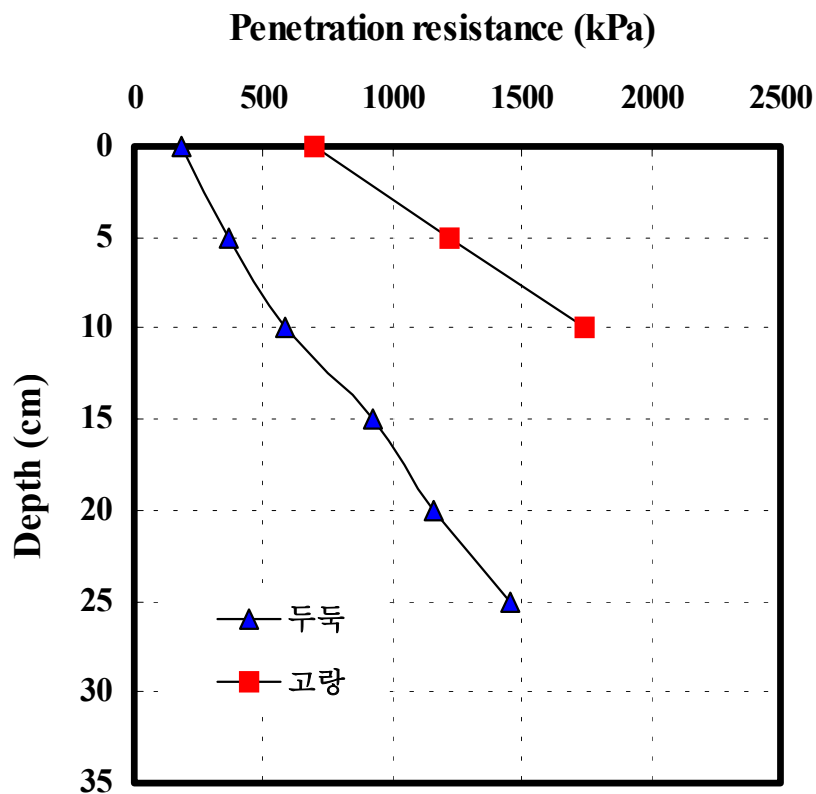


그림 3-3 감자 수확시기 두둑과 고랑에서 측정된 토양 깊이에 따른 관입저항

그림 3-4는 SR-2형 토양 전단측정장치의 전단링(shear ring)을 이용하여 춘천지역의 감자밭에서 감자 수확직전 두둑과 고랑에서의 전단응력(전단강도)의 측정 결과이다.

토양의 전단강도는 감자수확기의 토양굴취부가 토양을 절단할 때 소요되는 견인부하와 직접적으로 관련되는 특성으로서 토양의 전단강도가 클 경우에는 굴취부가 토양을 절단하는데 높은 견인부하 및 동력이 필요하다. 토양의 전단력은 식 (3-1)에 의해 결정된다.

$$\tau = c + p \tan \phi \quad \text{-----} \quad (3-1)$$

여기서, τ : 토양의 전단응력

c : 점착력

p : 수직응력

ϕ : 토양의 내부마찰각

그림 3-4에서 볼 수 있듯이, 전단강도는 고랑에서 측정한 값이 두둑에서 측정한 값에 비해 상대적으로 매우 크게 측정되어 굴취부가 토양을 굴취 및 절삭하는데는 두둑보다 고랑에서 더욱 큰 동력이 소요될 것으로 판단된다. 이러한 결과는 토양의 전단응력에 영향을 주는 점착력 및 내부마찰각이 두둑에 비해 고랑에서 상대적으로 크기 때문이다.

한편, 그림 3-5와 그림 3-6은 현장 조사를 실시한 전체 감자 재배지역에서 감자 수확시기에 측정한 두둑과 고랑에서 토양의 점착력 분포와 내부마찰각 분포를 나타낸 결과로서, 점착력과 내부마찰각은 전체 조사지역에서 고랑의 경우가 두둑에 비해 크게 나타났으며, 두둑과 고랑간에는 명확한 차이가 있는 것으로 나타났고, 이러한 결과가 두둑보다 고랑에서의 전단력이 크게 나타난 것으로 판단된다.

그림 3-1~3-6의 결과로부터 감자 수확기를 개발하는데 있어 감자수확기의 토양 굴취부는 지역적 특성과 재배양식에 따라 경심조절이 가능하게 설계되어야 하고, 굴취부의 토양 절삭 경심은 두둑아래 토양속 20~25 cm 또는 고랑 아래 토양속 5 cm 이내로 유지하는 것이 감자수확기의 소요 견인력을 최소로 할 수 있을 것으로 판단된다.

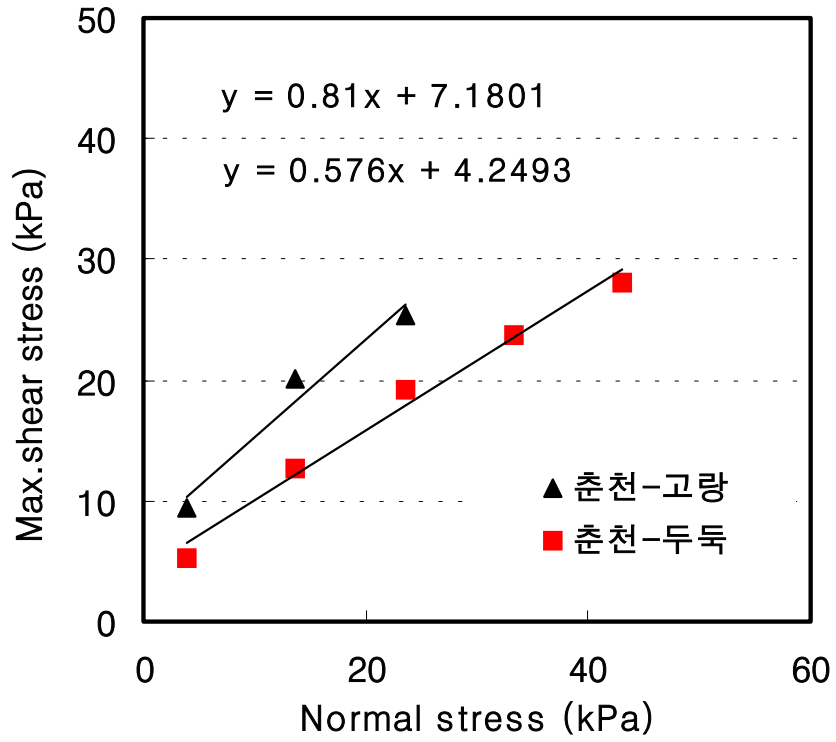


그림 3-4 춘천지역의 감자밭에서 측정된 토양의 전단강도

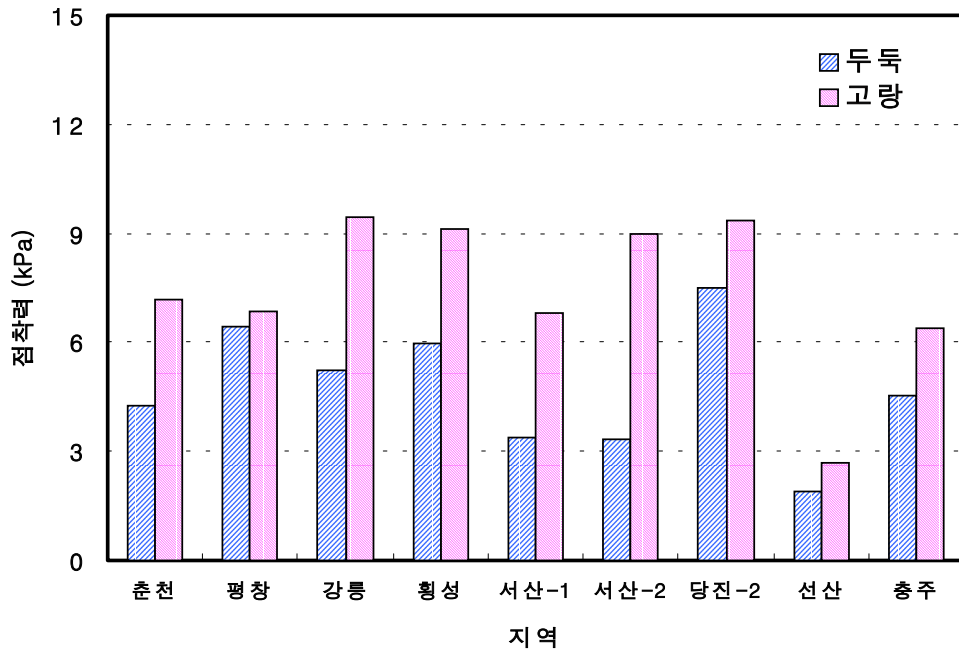


그림 3-5 주요 감자 재배지역에서 두둑과 고랑에서의 토양 점착력

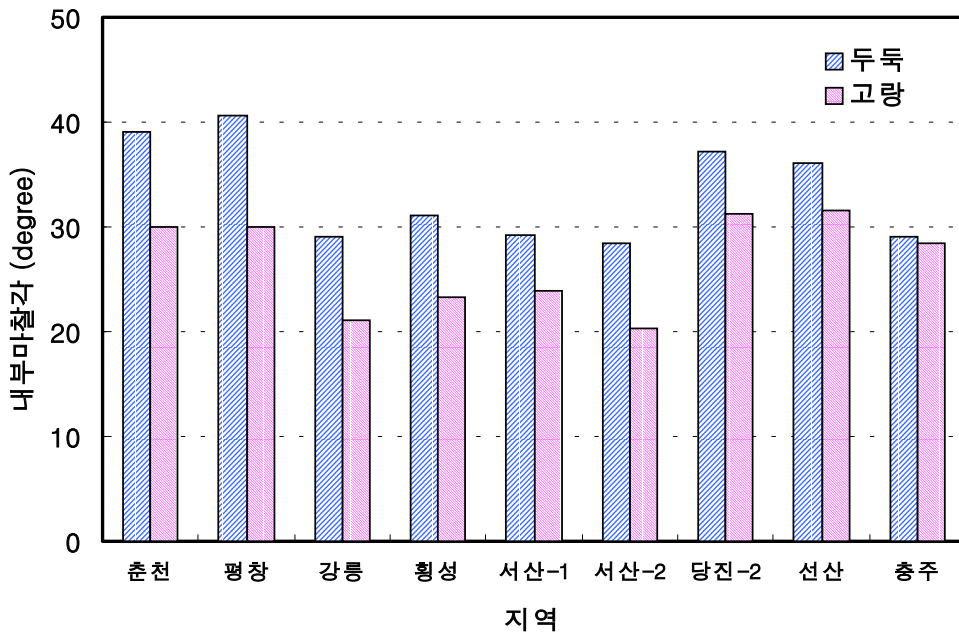


그림 3-6 주요 감자 재배지역에서 두둑과 고랑에서의 토양 내부마찰각

제 4 장 수집형 감자수확기 개발을 위한 설계 요인 구명

전통적인 감자 수확기를 이용한 감자 수확방법은 감자밭에 묻혀 있는 감자를 굴취하여 토양 표면으로 노출시킨 후 표면에 노출된 감자를 인력에 의해 다시 수집하는 작업체계로 이루어진다. 이러한 방법은 토양 속에 묻혀 있는 감자를 굴취하여 지상으로 노출시키는 과정만이 기계를 통해 이루어지고, 지상에 노출된 감자를 수집하는 과정은 고비용, 고노동력이 필요한 인력을 통해 수행되고 있다. 따라서 감자의 굴취부터 수집에 이르는 전 과정이 기계에 의해 수행될 수 있는 일괄 기계화 작업체계가 필요하고 이를 위해서는 수집형 감자 수확기의 개발이 필요하다. 이러한 목적을 달성하기 위한 수집형 감자 수확기는 다음과 같은 기능을 갖는 요소 장치를 갖추어야 한다.

- 1) 토양속의 감자를 굴취하고, 굴취된 감자를 수집함까지 이송할 수 있는 감자 굴취 및 이송장치
- 2) 감자 굴취 및 이송장치로부터 이송된 감자를 수집하고 원하는 장소에 배출할 수 있는 감자 수집 및 배출장치
- 3) 일반적인 범용의 트랙터에 부착하여 사용할 수 있는 트랙터 조합 및 부착장치

본 장에서는 감자의 굴취부터 수집에 이르는 전 과정을 기계화할 수 있는 수집형 감자 수확기를 개발하는데 있어 감자 수확기가 갖추어야 할 위의 3가지 각 부분별 요소장치에 대한 설계 요인을 구명하였다.

제1절 감자 굴취 및 이송 장치의 설계 요인 구명

1. 감자 굴취 및 이송 장치의 설계 및 제작

감자 굴취 및 이송 장치는 감자가 묻혀 있는 토양을 절단하여 토양을 포함한 감자를 이송장치위로 올려놓은 후 이송 중에 토양은 제거되고 감자만을 감자 수집함으로 보내는 장치로서 감자 수확기의 개발에 있어 가장 중요한 기능을 수행하는 장치 중의 하나이다. 따라서 감자 굴취, 이송 시험 장치는 감자수확기 개발에 앞서 최적의 굴취, 이송 메카니즘을 구명하기 위하여 트랙터 부착형으로서 ①감자의 손상을 최소화 할 수 있을것, ②감자가 원활하게

이송될 것, ③각 부의 착·탈이 용이할 것, ④각부의 속도 및 각도 등을 쉽게 변화시킬 수 있을 것 등의 설계 방침을 가지고 시험 장치를 구성하였다.

감자 굴취 및 이송장치는 소요 견인력 및 기체 크기를 최소화하고 토양파쇄를 극대화하여 감자 수집함에 감자만을 수집할 수 있도록 적정 굴취 및 이송 설계 요인을 구명하기 위하여 굴취날로 토양을 절삭한 후 회전하는 1차 컨베이어 이송장치로 흙을 파쇄함과 동시에 감자를 끌어 올려 2차 컨베이어 이송장치로 보내면 2차 컨베이어 이송장치의 러그를 타고 상부로 이송되어 감자 수집함에 보내질 수 있는 시스템으로서 그림 4-1에 나타난 바와 같이 크게 ①감자 굴취장치, ②1차 컨베이어 이송장치, ③2차 컨베이어 이송장치의 3 부분으로 설계·제작하였다.

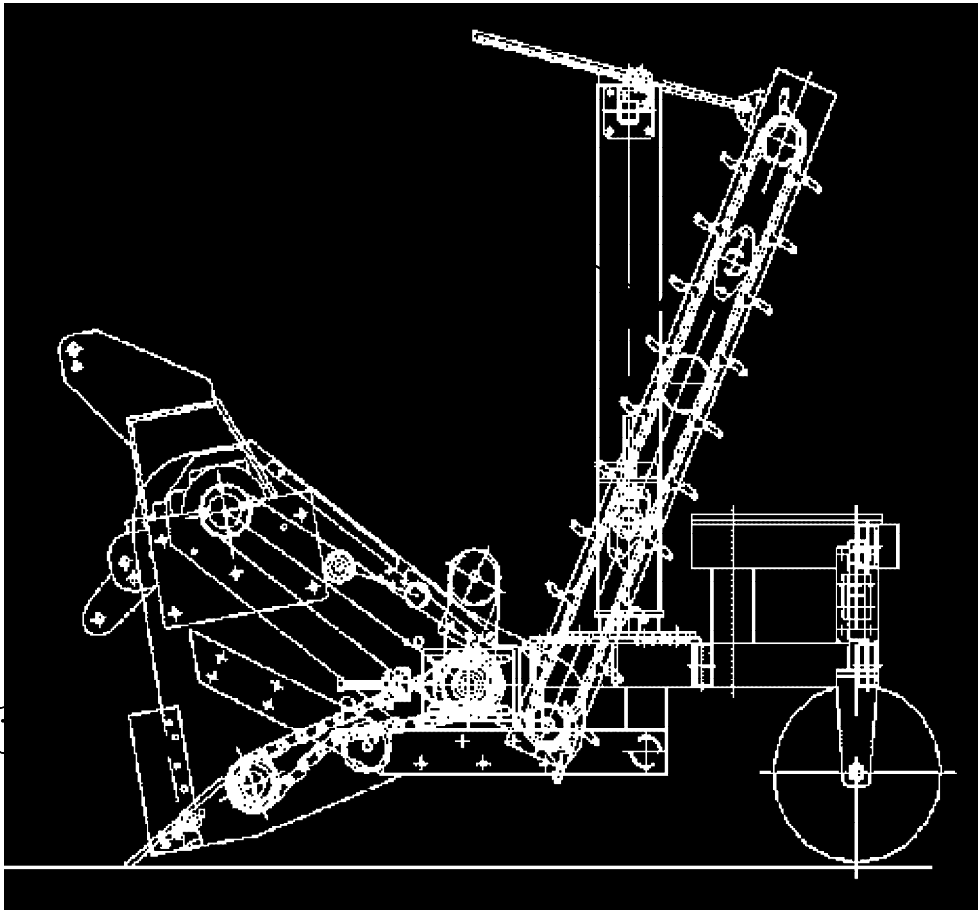


그림 4-1 감자 굴취 및 이송 요인 시험장치의 설계 도면

① 토양 및 감자 굴취 날 ② 1차 컨베이어 이송장치 ③ 2차 컨베이어 이송장치

한편, 감자 굴취 및 이송장치는 요인 시험용이므로 1차 및 2차 이송장치를 분리 또는 조합하여 시험할 수 있고, 굴취날의 각도와 이송컨베이어의 각도 및 속도를 조절 가능하도록 설계·제작하였으며, 또한 1차 및 2차 이송장치의 착·탈 및 거리를 조절할 수 있도록 설계·제작하였다. 각 요소장치의 특성은 다음과 같다.

가. 감자 굴취부

감자 굴취부는 경사진 블레이드 형태의 굴취날로서 감자 굴취 및 이송장치의 전면에 위치하여 토양과 최초로 접촉하는 부분으로서 감자의 재배양식과 토양특성을 고려하여 설계·제작되어야 한다.

감자 재배지역의 토양 표면의 형상은 2장에서 전술한 바와 같이 두둑과 고랑으로 이루어져 있고, 감자는 두둑 속 토양에 묻혀 있다. 또한 두둑표면에서 고랑까지의 높이는 대략 20 cm 전·후이고, 고랑의 토양강도는 3장에서 전술한 바와 같이 두둑에 비해 상대적으로 매우 높고, 고랑표면에서 5 cm 정도 깊이부터 토양의 강도가 급격히 증가하는 것으로 조사되었다. 따라서 굴취날로 두둑뿐만 아니라 고랑아래 토층을 파괴하여 감자를 포함하는 토양덩어리를 절단하여 굴취할 경우에는 굴취날에 작용하는 견인부하가 매우 크게 나타나게 되어 결과적으로 트랙터에 높은 소요견인력을 요구하게 된다. 따라서 굴취날의 토양 절삭 경심은 가능한한 고랑표면으로부터 약 5 cm(두둑 표면으로부터는 약 25 cm) 이내로 유지할 수 있어야 하며, 지역적 재배양식과 토양특성에 따라 두둑 및 고랑의 형태가 다르므로 굴취날의 경심을 조절할 수 있도록 설계·제작하였다. 또한 굴취날은 토양 절단 시 견인부하를 최소로 하기 위해 굴취날의 전면 진입부를 췌기 형태의 좌·우 대칭인 2쌍으로 구성하였고, 굴취날의 폭은 한 번에 2열 수확작업이 가능하도록 1400 mm로 설계, 제작하였다(그림 4-2).

나. 1차 컨베이어 이송장치

굴취날을 통해 토양과 함께 굴취된 감자는 1차 컨베이어 이송장치로 보내지고, 이송장치 위로 올려진 감자와 토양덩어리는 토양은 제거되고 감자만 이송되어 수집함으로 보내져야 한다. 따라서 굴취되어 1차 이송장치로 올려진 토양과 감자는 철재 원형봉을 체인으로 연결한 컨베이어 벨트 형태로 구성된 이송장치를 따라 이동시키는 것이 적절한 것으로 판단되었으며 다음과 같은 설계 방침을 가지고 시험 장치를 구성하였다.

첫째, 컨베이어 형태의 이송장치는 적당한 경사각을 유지해야 한다. 경사각이 너무 크면

감자가 컨베이어 이송장치를 통해 이송되지 못하고 아래로 미끄러지게 되며, 경사각이 너무 작을 경우에는 1차 이송장치의 길이가 너무 길어지게 되어 감자 수확기의 전체 길이가 커지게 된다. 따라서 1차 컨베이어 이송장치의 적정 경사각을 찾기 위해 1차 컨베이어 이송 요인 시험장치는 경사각을 조절하여 시험할 수 있도록 설계·제작한다.

둘째, 컨베이어의 이동속도가 적절해야 한다. 컨베이어의 속도가 적정속도보다 느릴 경우에는 토양과 감자가 1차 컨베이어 이송장치에 쌓이게 되고, 이것은 토양제거와 감자의 이송에 영향을 주게 된다. 컨베이어 이송장치에 요구되는 최저속도(V_c)는 식 (4-1)의 조건을 만족해야 한다. 따라서 1차 컨베이어 이송장치의 적정 이송속도를 구명하기 위하여 이송속도를 조절할 수 있도록 설계·제작한다.

$$V_c \geq \frac{V_v}{\cos \alpha} \text{ ----- (4-1)}$$

여기서, V_v : 트랙터의 이동 속도

α : 1차 컨베이어 이송장치의 경사각

셋째, 굴취날에 의해 1차 컨베이어 이송장치로 올려진 토양과 감자는 이송 중에 토양은 제거되고 감자만 이송되어야 한다. 그러나 점질토나 수분함량이 많이 함유된 토양은 토양의 점착력 및 부착력에 의해 이송중에 토양덩어리의 파쇄가 용이하게 이루어지지 않게 되고, 또한 토양덩어리가 컨베이어 벨트에 부착되어 토양의 분리 및 제거효과가 떨어지게 된다. 따라서 이송중에 토양의 파쇄 및 분리를 용이하게 하기 위해서는 컨베이어 벨트에 적절한 진동효과가 필요하다.

위의 설계방침에 의해, 1차 컨베이어 이송장치는 철제 원형봉을 체인 형태로 연결한 방식으로서 컨베이어의 구동은 트랙터의 PTO 동력을 직접 인출하여 사용할 수 있도록 설계하였다. 원형봉은 직경이 12 mm이고, 길이가 1400 mm로서 원형봉의 양 끝은 체인 형태로 연결하여 이송중 토양은 원형봉 사이로 떨어져 제거되고 감자만 이송될 수 있도록 하였으며, 1차 컨베이어 이송장치의 전체 이송 구간은 약 580 mm이다. 또한 이송 중 토양 파쇄가 원활하게 이루어지도록 진동효과를 주기 위해 컨베이어 벨트의 처짐을 조절하여 컨베이어 벨트의 회전시 스프라켓에서 발생하는 진동을 조절할 수 있도록 설계, 제작하였다(그림 4-3).



그림 4-2 감자 꺠취부의 모습



그림 4-3 1차 컨베이어 이송장치의 모습

다. 2차 컨베이어 이송장치

1차 컨베이어 이송장치를 통과한 감자는 최종적으로 감자 수집함에 적재되어야 한다. 그러나 감자가 이송되는 1차 컨베이어 이송장치의 끝단의 높이는 감자 수집함의 투입구에 비해 매우 낮은 위치에 있다. 따라서 1차 컨베이어 이송장치를 통과한 감자가 수집함에 적절히 수집되기 위해서는 1차 컨베이어 이송장치의 경사각을 크게 하여 1차 컨베이어 이송장치의 끝단 높이를 감자 수집함의 투입구 위치보다 높게 하여야 한다. 그러나 경사각이 너무 클 경우에는 굴취부에 의해 1차 컨베이어 이송장치에 올려진 감자가 미끄러져 1차 이송장치를 통해 이송될 수 없다. 또한 경사각을 작게 할 경우에는 1차 컨베이어 이송장치의 이송구간을 길게 해야 하는데, 이 경우에는 감자 수확기의 길이 및 무게가 너무 커지게 되어 실제 포장에서 운용하는데 어려움을 초래하게 된다.

따라서 1차 컨베이어 이송장치의 경사를 적정 경사각으로, 그리고 이송길이를 짧게 유지하면서 1차 이송장치를 통과한 감자가 1차 이송장치의 끝단보다 높은 곳에 위치한 감자 수집함에 수거되기 위해서는 1차 컨베이어 이송장치를 통과한 감자를 감자 수집함보다 높은 위치로 이동시킨 후 수집함에 떨어뜨릴 수 있는 2차 컨베이어 이송장치가 필요하다. 2차 컨베이어 이송장치는 수집함까지 감자를 이송해야 하므로 수직형으로 구성되어 각도가 클 수밖에 없으므로 이송 중에 감자가 떨어지지 않도록 컨베이어에 러그를 설치하였다.

한편, 2차 컨베이어 이송장치는 러그가 컨베이어 이송부의 외부로 돌출되어진 돌출러그형(그림 4-1의 ③)과 컨베이어 이송장치의 내부에 러그가 위치한 홈러그형(그림 4-4)의 두 가지 형태로 설계, 제작하였다.

돌출러그형 이송장치는 굴취되어진 감자를 이송함에 있어 돌출된 러그에 감자가 얽혀서 이송되도록 설계하였으며, 러그보다 큰 흠덩이나 이물질은 이송되지 못하도록 제작하였다.

홈러그형 이송장치는 굴취되어진 감자를 이송함에 있어 감자가 이송부의 홈에 들어가서 이송되도록 설계하였으며 홈보다 큰 흠덩이는 홈 안에 들어갈 수 없으므로 1차 이송장치와 2차 이송장치 사이에서 계속 파쇄되고 홈 안에 들어갈 수 있는 감자만 이송되도록 설계 제작하였다. 한편, 이송속도는 체인의 스프라켓을 교환하여 조절할 수 있도록 하였고, 이송장치의 각도는 프레임과 이송장치를 지지하는 볼트를 이용하여 조절하도록 제작하였다. 또한 1차 이송장치와 2차 이송장치의 간격 및 2차 이송장치의 높이를 시험조건에 따라 조절할 수 있도록 제작하였다. 그림 4-5와 4-6은 각각 설계도면을 토대로 제작한 돌출러그형과 홈러그형 2차 컨베이어 이송장치를 보여주고 있다.

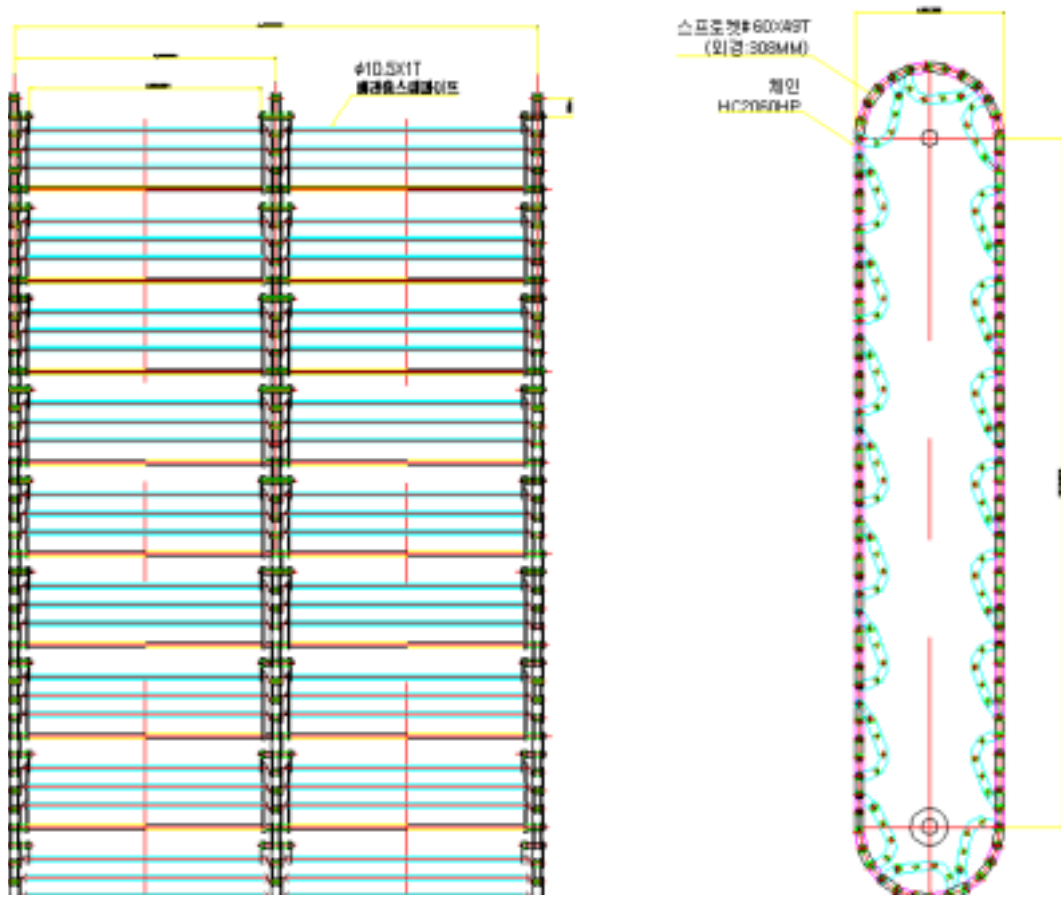


그림 4-4 홈리그형 2차 컨베이어 이송장치의 설계도면



그림 4-5 돌출러그형 2차 컨베이어 이송장치



그림 4-6 홈러그형 2차 컨베이어 이송장치

2. 감자 굴취 및 이송 장치의 설계 요인 구명 시험

가. 굴취날의 각도에 따른 쇄토율 및 토양 흐름

굴취날의 적정 각도를 구명하기 위하여 굴취날의 각도를 각각 23°, 26°, 28°의 세 수준으로 조정하여 굴취날의 각도에 따른 쇄토율과 토양 흐름 상태를 시험하였다. 표 4-1은 굴취날의 각도에 따른 토양의 흐름 상태 및 쇄토율을 나타낸 결과로서 굴취날의 각도가 클수록 쇄토율을 높게 나타냈으나 토양 흐름상태를 고려하면 26°에서 가장 양호한 것으로 나타났다.

표 4-1 굴취날의 각도별 쇄토율 및 토양흐름상태

굴취날 각도 (degree)	쇄토율 (%)	토양 흐름 상태
23	65	양호
26	78	양호
28	81	흙을 밀고감

나. 1차 이송장치의 컨베이어부의 간격 및 속도별 작업 정도

1차 이송장치의 컨베이어부의 간격과 컨베이어 이송속도를 구명하기 위하여 체인봉 간격을 38.1 mm, 50.8 mm, 63.5 mm의 세 수준으로 선택하였고, 각각의 체인봉 간격에 대해 컨베이어의 이송속도를 각각 1.0 m/s, 1.2 m/s, 1.4 m/s의 3 수준으로 조정하여 각각의 조건에서의 쇄토율과 감자의 손상 정도를 시험하였다.

표 4-2는 1차 이송장치의 체인봉 간격 및 컨베이어의 속도 변화에 따른 작업 정도를 나타낸 결과로서, 체인봉의 간격이 작을수록 쇄토율과 손상율이 적고, 흙 혼입율은 높게 나타났으며, 체인봉의 간격이 클수록, 그리고 컨베이어의 이송속도가 빠를수록 손상이 과다하여 체인봉의 간격이 50.8 mm이고 컨베이어 속도가 1.2 m/s에서 작업정도가 가장 양호한 것으로 나타났다.

표 4-2 1차 컨베이어 이송장치의 컨베이어봉의 간격 및 속도별 작업정도

체인봉 간격 (mm)	컨베이어속도 (m/s)	작업정도		비 고
		쇄토율(%)	손상률(%)	
38.1	1.0	45	2	흙 혼입 과다
	1.2	54	2	"
	1.4	64	4	"
50.8	1.0	74	2	
	1.2	89	3	
	1.4	93	5	
63.5	1.0	87	8	
	1.2	92	19	
	1.4	95	26	

다. 2차 컨베이어 이송장치의 적정 이송방법 구명

굴취된 감자를 이송하는 적정 이송방법을 구명하기 위하여 전술한 두 가지 리그형태, 즉 돌출리그형과 홈리그형 각각에 대한 이송 성능 시험을 수행하였다. 표 4-3은 두가지 리그형태에 따른 이송성능 시험 결과로서 쇄토율은 홈리그형이 86%로 돌출리그형보다 양호하였으나 1차 컨베이어 이송장치와의 사이에서 감자가 절단되는 손상율이 12%로 높게 나타났다.

돌출리그형은 손상률 4%, 흙 혼입률 23%로 나타나 수집형 감자 수확기의 이송장치로는 돌출리그형으로 제작하는 것이 적절한 것으로 판단되었고, 돌출리그형의 단점인 혼입된 흙을 재 배출하는 별도의 장치를 설치할 필요가 있는 것으로 판단되었다.

표 4-3 이송방법별 정도

구 분	돌출리그형 이송장치	홈리그형 이송장치
쇄토율 (%)	62	86
이송률 (%)	99	98
손상률 (%)	4	12
흙 혼입률 (%)	23	3
문 제 점	흙 혼입 과다	손상 과다

라. 주행속도와 2차 컨베이어 이송장치의 이송 속도 구명

작업속도와 2차 컨베이어 이송장치의 적정 속도비를 구명하기 위하여 각각 0.3 m/s, 0.4 m/s, 0.5 m/s인 세 수준 트랙터의 작업속도와 각각의 작업속도에 대해 2차 컨베이어 이송장치의 이송속도를 각각 1.4 m/s, 1.7 m/s의 2 수준으로 조정하여 시험을 수행하였다.

시험 결과, 작업속도 0.4 m/s, 이송속도 1.7 m/s에서 이송율 95%, 흙 혼입율 23%로서 트랙터의 적정 작업속도는 0.4 m/s를 초과하지 않는 것이 바람직한 것으로 판단되었다. 2차 컨베이어 이송장치의 이송속도는 고정된 상태에서 작업속도가 느릴 경우 흙이 없이 감자만 이송되기 때문에 손상이 많고, 작업속도가 빠를 경우에는 흙과 감자가 빨리 이송되지 못해 감자의 손상과 흙 혼입율이 증가하는 것으로 나타났다(표 4-4).

표 4-4 주행속도와 2차 컨베이어 이송장치의 속도별 작업정도

작업속도 (m/s)	이송속도 (m/s)	이송률 (%)	손상률 (%)	흙혼입률 (%)
0.3	1.4	95	4	15
	1.7	96	3	18
0.4	1.4	92	3	22
	1.7	95	2	23
0.5	1.4	89	2	31
	1.7	91	2	36

마. 2차 컨베이어 이송장치의 이송 각도별 작업정도

돌출러그형 이송장치의 적정 이송각도를 구명하기 위하여 세 수준의 이송 각도(60°, 63°, 66°)에 대한 작업 정도를 시험하였다(그림 4-7). 표 4-5는 2차 컨베이어 이송장치의 각도 변화에 따른 작업 정도를 분석한 결과로서, 이송각도가 클 경우에는 흙 혼입율이 낮게 나타났으나 이송중에 감자가 떨어져 이송율은 저하되고 손상율은 높게 나타났다. 한편, 이송각도가 작을 경우에는 이송율은 양호하나 흙 혼입율이 증가되어 적정 이송각도는 63°에서 가장 양호한 것으로 나타났다.

표 4-5 2차 컨베이어 이송장치의 이송 각도별 작업정도

이송각도(degree)	이송률(%)	손상률(%)	흙 혼입률(%)
60	99	1	31
63	99	2	23
66	97	4	19



그림 4-7 2차 컨베이어 이송장치의 시험 장면

제2절 감자 수집 및 배출장치의 설계 요인 구명

1. 감자 수집·배출 및 트레일러 장치의 설계 및 제작

감자 수집·배출 및 트레일러의 설계 시 고려해야할 주요 사항은 ①트레일러의 길이는 최소화하면서 감자 수집함이 적정 용량을 갖추어야 하고, ②굴취 및 이송장치를 통해 수집함에 수거된 감자는 수거(수집)시 손상이 최소화 되어야 하고, ③수집함에 수거된 감자는 포장내·외의 원하는 장소에 쉽게 배출할 수 있어야 한다.

위의 조건을 충족시키기 위해 감자수집함은 트레일러 일체형(전통적 운반목적의 트레일러)이 아닌 대용량의 버킷 방식으로 구성하였고, 수집된 감자를 쉽게 배출할 수 있도록 유압 덤핑방식으로 구성하였다. 또한, 적재함의 지상고를 최소로함으로써 수집함의 높이를 높게 할 수 있도록 하여 수집함의 전체 길이는 작게 하면서도 수집함이 충분한 양의 감자 수집 능력을 갖출 수 있도록 하였다. 한편, 수집함으로 수집되는 감자는 경사 완충 안내판을 통해 굴러 쌓이도록 하여 감자의 손상을 최소화할 수 있도록 하였다.

그림 4-8은 수집형 감자 수확기의 전체 설계도면으로서 감자 수집 및 배출을 위한 장치의 메카니즘은 그림 4-8에 점선으로 나타내었으며, 수집 및 배출 시험장치는 그림 4-8의 설계도면을 토대로 제작하였다(그림 4-9).

제작된 감자 수집 및 배출 장치는 크게 ①2차 이송장치를 통과한 감자를 수집하는 감자수집함, ②2차 이송장치를 통과한 감자가 수집함에 적재되도록 안내하는 동시에 감자의 손상을 최소화하기 위한 경사 완충안내판, ③수집된 감자를 배출하는 유압식 덤핑 시스템으로 구성되었다.

한편, 감자 수집함의 체적은 약 $0.5\text{m}^3(1300 \times 700 \times 500\text{mm})$ 이고, 또한 4절 링크방식으로 구성하여 덤핑시에도 수집함이 항상 수평을 유지하도록 설계·제작하였다.

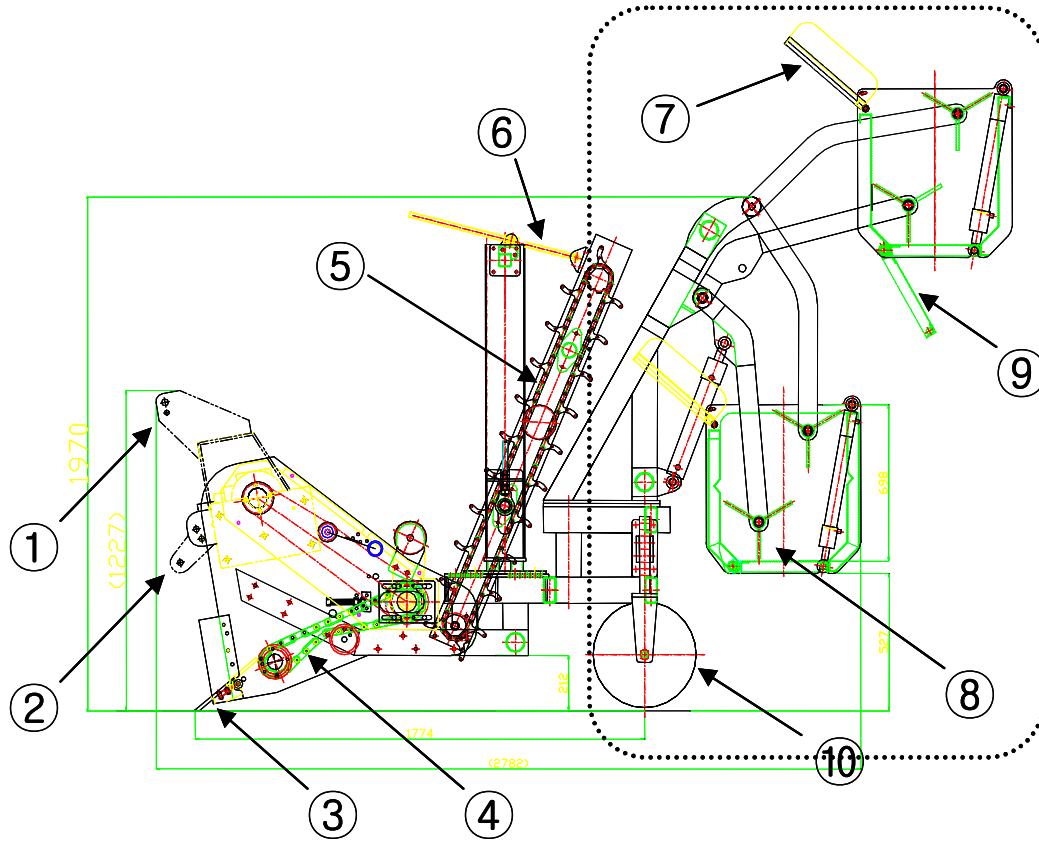


그림 4-8 감자 수집·배출 장치의 설계도

- | | |
|---------------|-------------------|
| ① 트랙터 조합 상부링크 | ② 트랙터 조합 하부링크 |
| ③ 토양 및 감자 굴취날 | ④ 1차 컨베이어 이송장치 |
| ⑤ 2차 이송장치 | ⑥ 2차 이송장치의 경사조절장치 |
| ⑦ 경사 완충 안내판 | ⑧ 감자 수집함 |
| ⑨ 감자 배출장치 | ⑩ 지지륜 |



그림 4-9 감자 수집 및 배출 장치

2. 감자 수집 및 배출 시험장치의 설계 요인 구명 시험

설계 제작된 감자 수집 및 배출장치의 설계 요인을 구명하기 위해 경북 선산에 위치한 감자재배 지역에서 감자 수집 및 배출 시험장치의 성능 실험을 수행하였다. 그림 4-10의 ①~④는 제작된 감자 수집 및 배출장치의 작동 순서를 나타낸 그림으로서, 토양속에서 굴취되어 1차 컨베이어 이송장치를 통과한 감자는 ①~④의 과정을 통해 수집, 배출된다. 즉, 1차 컨베이어 이송시스템을 통과한 감자는 ①2차 컨베이어 이송장치의 상단으로 올려지고, ②2차 컨베이어 이송장치의 상단에서 자유 낙하된 감자는 경사 완충안내관을 통해 ③감자수집함으로 수집되고, 수집함의 감자는 ④유압 덩핑방식에 의해 원하는 장소에 덩핑된다.

감자 수집 및 배출 메카니의 감자 수집 및 배출 시험 결과, 감자 수집함은 약 0.5cm^3 의 크기로 약 200 kg 정도의 감자 적재용량을 갖고 2줄 수확 기준으로 1회에 약 50m 길이의 작업이 가능한 것으로 조사되었고, 감자 수집 및 배출 메카니즘은 전 과정에 걸쳐 만족할만한 결과를 나타내었다. 한편, 제작된 감자 수집 및 배출 시스템에 대한 현지 감자 재배 농민들의 의견을 종합한 결과는 현재의 시스템에 대해 전반적으로 만족하는 것으로 나타났으나 흙 혼입량은 현재보다 좀 더 줄여야 할 필요성이 있는 것으로 조사되었다.



① 2차 이송장치를 통한 감자의 이송



② 경사 완충안내판을 통한 감자의 수집



③ 수집함에 수집된 감자



④ 수집된 감자를 덩핑하는 모습

그림 4-10 감자 수집 및 배출 장치의 시험 장면

- ① 2차 이송장치를 통한 감자의 이송 ② 경사 완충안내판을 통한 감자의 수집
 ③ 수집함에 적재된 감자 ④ 수집된 감자를 덩핑하는 모습

돌출러그형 이송장치의 단점인 흙 혼입율을 줄이기 위해 흙 등 이물질 제거를 위한 러그가 부착된 역회전 컨베이어를 추가로 설계·제작하였다. 역회전 컨베이어는 2차 컨베이어 이송장치와 감자 수집함 사이에 설치되어 2차 이송장치를 통해 역회전 컨베이어에 떨어진 감자와 흙은 역회전 컨베이어를 통해 감자 수집함으로 떨어져 수집되고, 흙 및 이물질 등은 역회전 컨베이어를 통해 감자 수집함의 반대방향으로 이송되어 제거되도록 하였다.

본 절에서는 역회전 컨베이어의 적정 속도 및 각도를 구명하기 위하여 역회전 컨베이어의 각도와 속도에 따른 흙 및 이물질 제거 요인을 구명하기 위한 시험을 수행하였다.

표 4-6은 역회전 컨베이어의 속도 및 각도 변화에 따른 실험 결과로서 컨베이어의 각도 26°, 컨베이어의 속도 0.2 m/s일 때 이송율 99%, 흙 제거율 98%로 가장 양호하게 나타났다. 그림 4-1은 흙 및 이물질을 제거하기 위해 제작한 역회전 컨베이어의 작동 모습을 보여주고 있다.

표 4-6 컨베이어 각도 및 속도별 정도

컨베이어 각도 (degree)	컨베이어 속도 (m/s)	이송률 (%)	제거율 (%)
20	0.2	96	99
25	0.1	99	95
	0.2	99	98
	0.3	98	99
30	0.2	99	93



① 역회전 컨베이어의 흙 및 이물질 상태



② 역회전 컨베이어를 통해 흙 및 이물질이 제거되는 모습

그림 4-11 역회전 컨베이어의 흙 및 이물질 제거 과정

제3절 트랙터 조합 및 부착장치의 설계 및 제작

1. 트랙터 조합 및 부착 장치의 설계 및 제작

수집형 감자 수확기는 자체 동력원 및 주행능력이 없는 독립적인 시스템이기 때문에 감자 굴취 및 컨베이어 이송장치에 동력을 전달하기 위해서는 트랙터의 PTO 동력을 이용해야 한다. 따라서 수집형 감자 수확기의 트랙터 조합 및 부착방법은 부착의 용이성, 이송 컨베이어에 PTO 동력 전달의 용이성, 굴취부의 토양 절단 및 굴취부의 경심 조절의 용이성, 그리고 일반적인 범용의 트랙터에 모두 적용할 수 있도록 트랙터의 3점 링크 부착 방식으로 설계·제작할 필요성이 있는 것으로 판단되었다.

따라서 수집형 감자 수확기의 트랙터 조합 및 부착장치는 트랙터의 3점 링크 부착방식(그림 4-8의 ①, ②)으로 설계하였고, 또한 전체 감자 수확기의 무게를 지지하기 위해 지지륜을 부착하였고(그림 4-8의 ⑩), 그림 4-12에 설계도면을 토대로 제작한 트랙터 조합 및 부착장치의 모습을 나타내었다.



그림 4-12 3점링크 방식의 트랙터 조합 및 부착장치

제 5 장 수집형 감자수확기 개발을 위한 통합시작기 구성

제1절 통합 시작기의 구조 및 제원

설계 요인 시험에서 구명된 인자를 바탕으로 감자 굴취 및 이송장치와 감자 수집 및 배출 장치, 그리고 트랙터 조합 및 부착장치를 통합하여 굴취, 이송, 흙 분리, 수집, 배출의 일관 작업 가능한 트랙터 부착형 수집형 감자수확기의 통합 시작기를 설계·제작하였다.

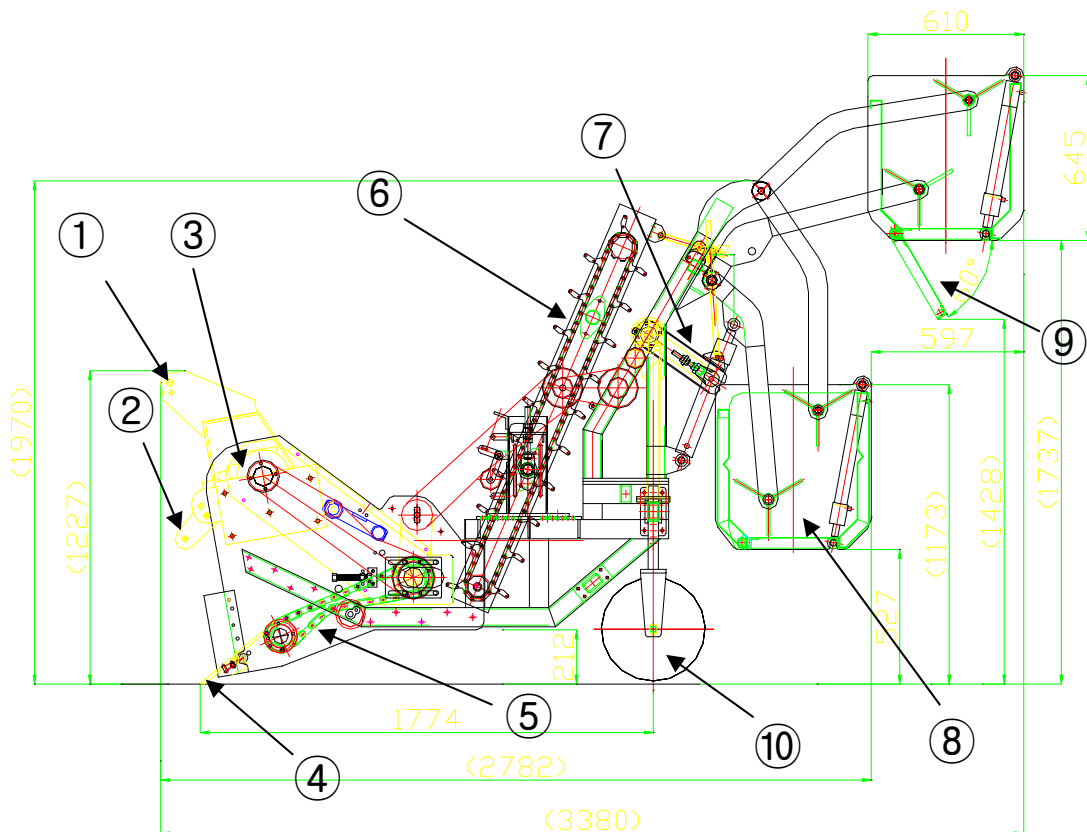


그림 5-1 감자 수집·배출 및 트레일러의 설계도

- | | |
|----------------|----------------|
| ① 트랙터 조합 상부링크 | ② 트랙터 조합 하부링크 |
| ③ PTO동력 연결축 | ④ 토양 및 감자 굴취날 |
| ⑤ 1차 컨베이어 이송장치 | ⑤ 2차 컨베이어 이송장치 |
| ⑦ 역회전 컨베이어 | ⑧ 감자 수집함 |
| ⑨ 감자 배출장치 | ⑩ 지지륜 |

시작기는 굴취날로 토양을 절삭하여 굴취된 감자와 흙덩어리를 1차 컨베이어 이송장치 위로 올려 놓으면, 1차 컨베이어 이송장치는 흙과 감자를 이송하는 동안 흙은 파쇄하여 제거함과 동시에 감자를 2차 컨베이어 이송장치로 올려 놓으면, 2차 컨베이어 이송장치의 돌출된 러그위에 감자와 흙이 얹혀져 상부로 이송되고 다시 역회전 컨베이어를 통하여 흙과 이물질은 제거되어 감자만 수집함에 담겨지게 된다. 배출은 원하는 장소나 트럭 등에 적재할 수 있도록 트랙터의 유압을 이용하여 수집함을 상부로 올리고 밑판을 열어 감자를 배출하는 시스템으로 구성하여 제작하였다.

굴취날은 고정 굴취날, 1차 컨베이어 이송장치는 체인 피치 50.8 mm, 체인 속도 1.2 m/s로 하였고, 2차 컨베이어 이송장치의 이송 방식은 돌출형 러그부착 컨베이어로서 주행속도와 이송 컨베이어의 속도비는 1:4.2, 이송각도는 63°이다. 또한, 역회전 컨베이어의 각도는 26°, 컨베이어 속도는 0.2 m/s이며, 감자 수집함의 용량은 200 kg, 배출방식은 수집함의 상승과 바닥판의 개폐가 독립적으로 운용 가능하도록 유압식으로 하였다. 통합 시작기의 제원은 표 5-1과 같다.

표 5-1 통합 시작기의 제원

구 분		제 원
기 체	길이×폭×높이 (mm)	2,750 × 1,620 × 1,920
	중량 (kg)	1,168
굴취부	형식	고정굴취날
	굴취각도 (degree)	26
	굴취 폭	1,400
	최대 굴취 깊이 (mm)	250
1차 이송장치	이송방식	체인 컨베이어형
	체인 피치 (mm)	50.8
	체인 이송각도 (degree)	21
2차 이송장치	이송방식	러그부착 체인 컨베이어형
	체인 이송각도 (degree)	63
	러그 피치 (mm)	160
	이물질제거방식	러그부착 역회전벨트컨베이어
수집·배출부	수집방식	탱크형
	용량 (kg)	200
	배출방식	유압

그림 5-2는 본 연구에서 제작한 통합 시작기의 모습을 보여주고 있고, 그림 5-3은 트랙터에 부착한 수집형 감자 수확기의 전체 모습을 보여 주고 있다.



그림 5-2 통합 시작기



그림 5-3 트랙터에 장착된 통합시작기의 모습

제2절 통합 시작기의 성능 시험

1. 포장성능시험

가. 공시포장조건

포장성능시험은 강원도 춘천지역에 위치한 감자 재배농가에서 실시하였으며, 표 5-2에 시험이 수행된 감자 재배포장의 물리적 특성을 나타내었다.

표 5-2 공시포장조건

	토양 수분함량 (%, d.b.)	관입깊이별 토양경도(kPa)							토성
		0	5	10	15	20	25	30	
두둑	19.63	23	57	117	319	794	1536	1997	SL
고랑	18.47	282	647	1432	1949	1897	2129	1911	

나. 공시작물조건

포장성능시험에 사용된 감자는 봄감자인 자서품종으로서 재배양식은 이랑 폭 80 cm, 두둑 폭 60 cm의 평두둑 두줄재배이고, 비닐피복 재배된 감자를 인력으로 줄기 및 비닐을 제거한 상태의 감자를 사용하였다. 그림 5-4는 감자재배농가의 재배양식을 보여주고 있고, 표 5-3에 시험이 수행된 감자 재배농가의 공시작물 조건을 나타내었다.



그림 5-4 통합시작기의 성능 시험이 수행된 감자재배 포장의 모습

표 5-3 공시작물조건

구 분	감자				줄기		
	가로 (mm)	세로 (mm)	높이 (mm)	무게 (g)	길이 (mm)	개수	무게 (g)
Ave.	70	59	56	152	62	3	47
Max.	129	111	105	634	106	8	73
Min.	13	18	16	10	28	2	17
S.D.	20.6	18.5	16.4	114.0	15	1.6	11

다. 작업성능

본 연구에서 개발한 수집형 감자 수확기(통합시작기)의 성능을 평가하기 위하여 통합시작기의 작업성능을 시험 결과를 관행의 작업성능과 비교·분석하였다.

시험 결과, 통합시작기의 작업정도는 굴취율 97%, 손상률 2%, 흙혼입률 2%로서 관행의 방법에 비해 큰 차이를 보이지 않았으나 작업능률 면에서는 관행의 수확작업에 비해 현저히 높게 나타났다. 즉, 시작기를 이용한 작업능률은 작업속도 0.4 m/s에서 5 hr/10a로 나타났다. 이것은 농가에서 가장 많이 사용되고 있는 트랙터 부착형 감자굴취기를 이용한 관행의 수확방법을 이용할 경우의 작업능률 9.9 hr/10a(굴취 0.3 hr/10a, 수집 9.6 hr/10a)의 시간이 소요되는 것에 비해 굴취부터 수집까지 소요되는 시간을 9.4시간 줄일 수 있어 95%의 노력 절감 효과가 있는 것으로 나타났다(표 5-4).

한편, 그림 5-5~그림 5-8은 통합 시작기에 의한 감자 수확 과정을 보여 주고 있다.

표 5-4. 통합시작기의 작업성능

구 분	작업속도 (m/s)	작업능률 (hr/10a)			작업정도 (%)		
		굴취	수집	계	굴취율	손상률	흙혼입률
관행	0.7	0.3	9.6	9.9	98	1	-
시작기	0.4	0.5		0.5	97	2	2



그림 5-5 굴취 및 1차 컨베이어 이송장치의 감자 이송 모습



그림 5-6 2차 컨베이어 이송장치의 감자 이송 모습



그림 5-7 2차 이송장치로부터 수집함에 수집되는 감자



그림 5-8 감자 수확작업 후의 포장 상태

2. 경제성 분석

수집형 감자 수확기의 경제성을 평가하기 위하여 시작기(수집형 감자 수확기)와 관행의 수확작업체계에 의한 10a당 감자 굴취 및 수집에 소요되는 경비를 비교·분석하였다.

표 5-5는 두 가지 수확방법에 의한 경제성 분석 결과로, 수집형 감자 수확기는 10a당 소요경비가 25,716원/10a으로서 관행 감자굴취기 이용시의 50,152원/10a에 비하여 49%의 경비 절감 효과가 있는 것으로 나타났다.

표 5-5 경제성 분석

구 분		시 작 기		관 행		
		트랙터	수집형 감자수확기	트랙터	감자굴취기	인력
구입가격(원)		28,700,000	9,000,000	17,060,000	3,700,000	
내구연한(년)		8	5	8	5	
연간사용시간(시간/년)		330	120	330	120	
연간 고정비 (원/년)	감가상각비	3,587,500	1,800,000	2,132,500	740,000	
	수리비	1,722,000	540,000	1,023,600	222,000	
	이자	717,500	225,000	426,500	92,500	
	소계	6,027,000	2,565,000	3,582,600	1,054,500	
시간당고정비(원/시간)		18,264	21,375	10,856	8,788	
		39,639		19,644		
시간당 유동비 (원/시간)	인건비	8,908		8,908		4,723
	유류비	2,885		1,719		
	소계	11,793		10,628		4,723
시간당비용(원/시간)		51,432		30,272		4,723
작업성능(시간/10a)		0.5		0.3		9.6
소요경비(원/10a)		25,716		9,082		41,021
				50,152		

(주) 자료 : '02 시험연구결과 경제성 분석기준 자료(농진청 농업경영관실)

- 수리비계수 : 6%
- 연 이 율 : 5%
- 연료비 : 면세경유 392원/ℓ
- 윤활유비 : 연료비의 15%
- 인건비 : 운전자 남자 50,959원×1.4, 여자 33,687원
- 트랙터 : 수집형 감자수확기 대동 68마력, 감자굴취기 대동 35마력 적용

제 6 장 결 론

본 연구는 감자의 굴취부터 수집에 이르는 전 수확과정을 일관 기계화 작업체계로 수행할 수 있는 수집형 감자수확기를 개발하기 위해 수행되었으며, 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 국내의 감자재배는 일반적으로 노지에서 재배되고 있으며, 주년공급 체계를 갖추기 위해 크게 봄감자, 여름감자, 가을감자 및 겨울감자 작형으로 구분되어 재배되고 있으며, 작형별로 주산지가 다르게 나타났다. 한편, 지역에 따른 재배양식은 둥근두둑에 한줄 또는 두줄 재배와 평두둑에 두줄로 재배하는 것으로 조사되었다.
2. 우리나라의 주요 감자재배지역 중에서 당진, 김제, 창녕, 고령, 괴산, 청원, 횡성 등에서 감자 수확 실태를 조사하였다. 조사 결과, 대부분의 감자재배 지역에서의 수확방법은 주로 감자 수확기 또는 땅속작물 수확기를 이용하여 전체 재배면적에 걸쳐 토양 절삭 및 감자 굴취과정을 통해 지상으로 감자를 노출시킨 후 인력에 의해 선별 및 수집하는 것으로 조사되었다. 그러나 이러한 방법은 땅속에 있던 감자를 단순히 굴취하여 지상에 노출시키는 작업만을 기계로 수행하고 지상에 노출된 감자는 다시 인력에 의해 수집되어야 하기 때문에 과도한 노동력과 인건비를 줄이기 위해서는 감자의 굴취부터 수집에 이르는 전 수확과정을 일관 기계화 작업체계로 수행할 수 있는 수집형 감자수확기의 개발이 필요한 것으로 조사되었다.
3. 우리나라의 주요 감자 재배지역의 토양 특성을 조사하기 위해 춘천, 평창, 강릉, 횡성, 서산, 당진, 선산, 충주 등지에서 감자 수확시기 토양의 물리적 특성을 측정, 분석하였다. 토양의 물리적 특성은 토양의 원추지수(Cone Index), 내부마찰각(internal friction angle), 점착력(cohesion) 등을 측정하였으며, 그 외에 토성(soil texture)과 토양의 수분함량 등을 측정하였다. 측정 결과, 측정지역의 토성은 대부분 양토 계열이었으며, 수분함량은 9.8~24.5% 범위로 나타났다. 한편, 토양경도와 토양의 전단응력은 고랑의 경우가 두둑에 비해 상대적으로 크게 나타났으며, 고랑의 경우에는 5 cm 전·후, 두둑의 경우에는 20 cm 전·후에서 토양경도가 급격히 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 감자 수확기의 감자(또

는 토양) 굴취부는 감자밭의 고랑과 두둑의 높이를 고려하여야 하며, 굴취부의 경심은 두둑표면에서 20 cm 전·후 또는 고랑 표면에서 5 cm 깊이 이내에서 작업을 수행할 경우에 감자 수확시 소요 견인부하를 최소화할 수 있을 것으로 판단되었다.

4. 최적의 수집형 감자수확기를 개발하기 위하여 감자 굴취 및 이송장치와 감자 수집 및 배출장치의 설계 요인을 구명하기 위한 요인 시험장치를 설계·제작하였다.

감자 굴취 및 이송장치는 굴취날로 토양을 절삭한 후 회전하는 1차 컨베이어 이송장치로 흙을 과쇄함과 동시에 감자를 끌어 올려 2차 컨베이어 이송장치로 보내면 2차 컨베이어 이송장치의 러그를 타고 상부로 이송되어 감자 수집함에 보내질 수 있는 시스템으로서 감자 굴취장치, 1차 컨베이어 이송장치, 2차 컨베이어 이송장치의 3 부분으로 설계, 제작하였다.

감자 수집·배출 시험장치는 대용량의 버킷 방식으로 구성하였고, 수집된 감자를 쉽게 배출할 수 있도록 유압 덤핑방식으로 구성하였다. 또한, 적재함의 지상고를 최소로함으로써 수집함의 높이를 크게 할 수 있도록 하여 수집함의 전체 길이는 작게 하면서도 수집함이 충분한 양의 감자 수집 능력을 갖출 수 있도록 하였다. 또한 적재함으로 투입되는 흙 혼입량을 줄이기 위하여 2차 컨베이어 이송장치와 감자 수집함 사이에 흙 제거를 위한 러그가 부착된 역회전 컨베이어를 추가로 설계, 제작하였다.

한편, 수집형 감자 수확기의 트랙터 조합 및 부착방법은 부착의 용이성, 이송 컨베이어에 PTO 동력 전달의 용이성, 굴취부의 토양 절단 및 굴취부의 경심 조절의 용이성, 그리고 그리고 일반적인 범용의 트랙터에 모두 적용할 수 있도록 트랙터의 3점 링크 부착 방식으로 설계, 제작하였다.

5. 감자 굴취 및 이송장치의 적정 설계 요인을 구명하기 위한 시험 결과, 굴취날의 각도는 26°에서 가장 양호한 것으로 나타났다. 1차 컨베이어 이송장치는 체인봉 간격 50.8 mm, 컨베이어 속도 1.2 m/s에서 작업정도가 가장 양호한 것으로 나타났다. 2차 컨베이어 이송장치는 이송각도를 63°에서 가장 양호한 것으로 나타났고, 작업속도 0.4 m/s, 이송속도 1.7 m/s에서 이송률 95%, 손상률 2%, 흙 혼입률 23%로 가장 양호하게 나타났다.

6. 감자 수집 및 배출장치의 설계 요인 시험 결과, 감자 수집함은 약 0.5cm³의 크기로 약 200 kg 정도의 감자 적재용량으로서 2줄 수확 기준으로 1회에 약 50m 길이의 작업이 가

능한 것으로 조사되었다. 역회전 컨베이어는 흙 제거 효과가 뛰어난 것으로 판단되었으며, 역회전 컨베이어의 각도는 26°, 컨베이어의 속도는 0.2 m/s일 때 이송율 99%, 흙 제거율 98%로 가장 양호하게 나타났다.

한편, 제작된 감자 수집 및 배출 시스템에 대한 현지 감자 재배 농민들의 의견을 종합한 결과는 현재의 시스템에 대해 전반적으로 만족하는 것으로 나타났다.

7. 설계 요인 시험에서 구명된 인자를 바탕으로 감자 굴취 및 이송장치와 감자 수집 및 배출장치, 그리고 트랙터 조합 및 부착장치를 통합하여 굴취, 이송, 흙 분리, 수집, 배출의 일관작업이 가능한 트랙터 부착형 수집형 감자수확기의 통합 시작기를 설계·제작하였다.

통합시작기는 강원도 춘천지역의 감자 재배 농가에서 성능 시험을 수행하여 관행에 의한 감자 수확방법과 작업성능을 비교·분석하였다. 시험 결과, 통합시작기의 작업정도는 굴취율 97%, 손상률 2%, 흙혼입률 2%로서 관행의 방법에 비해 큰 차이를 보이지 않으면서도 10a당 굴취부터 수집까지 소요되는 시간을 9.4시간 줄일 수 있어 95%의 노력절감 효과가 있고, 49%의 경비절감 효과가 있는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 국립농산물품질관리원, 1999, 99작물 생산동향분석, 농림부
2. 이승규, 1995, 농업기계화의 장기전망과 기계화기술 개발전략에 관한 연구, 농림부 연구 보고서
3. G. J. Burkhardt, W. L. Harris, L. E. Scott and E. G. McKibben, 1971, Mechanical Harvesting and Handling of Sweet Potatoes. Transactions of the ASAE : 517-519
4. Michael O'Brien and R. W. Scheuerman, 1969, Mechanical Harvesting, Handling, and Storing of Sweetpotatoes. Transactions of the ASAE : 261-263
5. James R. Hammerle, 1970, The Design of Sweet Potato Machinery. Transactions of the ASAE : 281-285
6. J. W. Mishoe, Sun-Fu Shih, 1977, A Mechanized System to Harvest Celery Seedlings. Transactions of the ASAE : 613-616
7. W. M. Carson. Jr. and L. G. Williams, 1969, Design and Field Testing of an Experimental Onion. Transactions of the ASAE :228-230
8. H. Zhu. R. D. Fox, H. E. Ozkan, R. D. Brazee, R. C. Derksen, 1998, Time Delay for Injection Spraters. Transactions of the ASAE Vol.41(3):525-530
9. G. K. Cuillier, G. M. Hyde, 1987, Modeling of a Chain-Load Control System for Potato Harvesters. American Society of Agricultural Engineers. Transactions of the ASAE : Vol.30(5):1323-1330, September-October.
10. G. C Misener, C. D. McLeod, L. P. McMillan, 1984, Evaluation of a Prototype Potato Harvester. Transactions of the ASAE : 24-28
11. G. M. Hyde, R. E. Thornton, D. W. Woodruff, 1983, Potato Harvester Performance with Automatic Chain-Load Control. Transactions of the ASAE : 19-22
12. D. B. Curchill, 1981, A Direct-Loading, Offset Pickup Machine for Citrus. Transactions of the ASAE : 315-317
13. Lynn F. Johnson, 1974, A Vibrating Blade for the Potato Harvester. Transactions of the ASAE : 867-870
14. T. A. Esch, D. E. Marshall, 1987, Trash Removal from Mechanically Harvested

- Peppers, Transactions of the ASAE : 30(4): July–August. 1987: 893–898
15. G. S. Nelson, 1984, A Mechanized System for Harvesting Broilers. Transactions of the ASAE : 41–44
 16. D. H. Lenker, D. F. Nascimento, 1982, Mechanical Harvesting and Cleaning of Chili Peppers. Transactions of the ASAE : 42–46
 17. W. Coates, E. Yazici, 1991, Pneumatic Device for Harvesting Jojoba Seeds, Transactions of the ASAE Vol.34(6):2304–2308
 18. D. L. Peterson, G. K. Brown, A. K. Srivastava, 1981, Mechanical Harvester for Leafy Green Vegetables. Transactions of the ASAE : 312–314, 318
 19. J. H. Wilhoit, D. H. Vaughan, 1992, Evaluation of Plant Uprooting as a Method for Selectively Harvesting Broccoli. Transactions of the ASAE Vol. 35(2):451–453
 20. E. E. Marshall, M. G. Pickett, T. A. Esch, 1990, Using Air to Convey Mechanically Harvested Peppers. Transactions of the ASAE Vol.33(1):47–50
 21. G. C. Misener, C. D. Mcleod, L. P. McMillan, 1985, Development of a Foam Padded Elevator for a Potato Harvester. Transactions of the ASAE Vol.28(6):1726–1728
 22. James R. Hammerle, 1970, The Design of Sweet Potato Machinery. Transactions of the ASAE :281–285
 23. D. L. Peterson, A. K. Srivastava, G. K. Brown, 1980, Development of a Bunching Mechanism for Leafy Green Vegetables. Transactions of the ASAE : 1374–1378

주 의

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