

최 중
연구보고서

자주식 감자수확기 개발

Development of Self-propelled Potato Harvester

연구기관

농촌진흥청 국립농업과학원

농림수산식품부

제출문

농림수산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “자주식 감자수확기 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2010년 12월 일

주관연구기관명 : 농촌진흥청 국립농업과학원 농업공학부
수확기계연구실

총괄연구책임자 : 최 용
연구원 : 전 현 중
이 충 근
이 채 식
강 태 경
성 제 훈
최 덕 규

협동연구기관명 : 성균관대학교
바이오메카트로닉스공학과

협동연구책임자 : 이 규 승
연구원 : 김 영 길
이 동 훈
조 용 진
김 태 훈
김 영 기

협동연구기관명 : 전남대학교
생물산업공학과

협동연구책임자 : 유 수 남
연구원 : 김 동 화
강 성 일
한 득 희
이 진 현

요 약 문

I. 제목

자주식 감자수확기 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구개발의 목적

본 연구의 목적은 감자를 굴취하면서 이송 중에 흙, 자갈 등 이물질을 제거하고 1차 선별하여 상품성 있는 감자만 500kg용 톤백(bulk bag)에 수집하여 별도의 인력 투입 없이 감자 수확의 일관기계화가 가능한 자주식 감자수확기를 개발하는데 있다.

2. 연구개발의 필요성

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.

따라서 완전한 기계수확작업이 이루어지기 위해서는 굴취, 이송, 정선, 선별, 수집 작업을 동시에 수행할 수 있는 감자수확기의 개발이 요구되며, 경제적으로 보면 농가에 많이 보급된 트랙터를 활용한 트랙터부착용으로 개발해야 하나 트랙터부착용은 선별, 정선, 수집부의 공간 확보문제, 기체 크기 증가에 따른 선회문제, 미수확 구간의 인력수확 등 소규모 경지 수확에 많은 문제점이 대두되어 이들 문제를 해결할 수 있는 소형의 컴팩트한 자주식 감자수확기 개발이 필요하다.

국외의 경우는 구미에서 개발되어 사용되고 있는 자주식 감자수확기는 대부분이 대형이며, 굴취작업은 굴취기에 의해, 굴취된 감자의 수집은 별도의 차량 또는 트랙터 트레일러에 의해 수행되는 방법을 채택하고 있어 우리나라의 감자 재배포장의 크기 및 경사도 등을 고려했을 때 적합하지 않은 것으로 판단된다.

일본에서 개발되어 사용되고 있는 자주식 감자수확기는 화산회토 토양에서 작업이 가능하도록 설계되어져 있어 우리나라 감자주산지의 재배 토성이 사양토인 것을 감안하면 우리나라의 실정에는 적합하지 않은 것으로 판단된다. 또한 우리나라 감자 재배포장에는 자갈 등이 많이 혼입되어 있어 정선장치가 요구되나 일본 기종에는 화산회토 토양에 맞춰져 있어 우리나라 감자수확에는 적용이 불가능하다.

감자는 저칼로리의 알칼리성 건강식품으로 가공 산업의 발달로 다양한 가공품이 생산되면서 소비가 계속 증가되고 있으며, 가공 감자인 튀김감자나 감자칩, 감자전분 등의 소비는 아직도 증가의 여지가 많다. 그러나 소비증가량은 주로 수입에 의존하고 있는 실정이어서 국내에서의 총생산량은 거의 변동이 없다. 그러나 근본적으로 국제경쟁력을 갖추고 증가되는 국내 소비량을 국내 생산 감자로 충당하여야 감자재배농가의 소득을 안정시키고 감자산업 분야의 안정적 발전을 기대할 수 있다.

우리나라의 감자생산은 감자칩용을 제외하고는 국제경쟁력이 매우 낮은 실정이다. 이는 생산 기술 수준이 낮고 재배환경이 불리하여 생산비가 높은 것이 원인이다. 우리나라의 감자재배 기술수준이 낮은 것은 타 작물에 비해 상대적으로 기계화율이 낮아 인력작업에 의존하고 있어 재배면적의 증가도 불가능하였기 때문이다.

농산물의 시장개방에 따른 외국산 농산물의 대량 범람으로 농민의 경작의지가 크게 떨어지고 이농현상이 심화되고 있는 현실에서 주요 식용작물중의 하나인 감자 생산비의 절감으로 공급의 탄력성을 제고하여 국제경쟁력을 높임으로써 농민의 경작욕구를 창출할 필요가 있다.

농민들은 현재의 굴취하여 지면에 깔아 놓는 감자굴취기 형태에서 굴취하여 대형 톤백(bulk bag)에 수집이 가능한 자주식 감자수확기를 개발하여 작업 단계를 축소하고 투하노동력을 줄이는 것을 강력히 요구하고 있다

III. 연구개발의 내용 및 범위

구분	연도	연구개발목표	연구개발 내용 및 범위
1차 년도	2008	주 관 · 자주식 감자수확기 개발을 위한 기초조사 · 감자 수확 요인시험장치 설계 제작 및 요인시험	- 수확시기 감자의 이송 및 수집 관련 물성 특성 분석 - 자주식 감자수확기에 적합한 고랑 및 형상특성 분석 - 감자 굴취 장치 설계를 위한 토양 물리성 조사 분석 - 감자 굴취 및 이송장치의 설계인자 구명 및 설계 - 감자 수집 및 배출장치의 설계인자 구명 및 설계 - 감자 굴취, 이송, 수집 및 배출 시험장치의 제작 - 감자 굴취, 이송, 수집 및 배출장치 요인시험
		협 동 A · 시작기의 작업 안정성 분석을 위한 이론 정립 및 분석 · 시작기의 균평 제어시스템 설계	- 감자 재배지역의 재배 조건 및 지형 특성 분석 - 시작기의 안정성 분석을 위한 요인 분석 - 통합시작기의 이론적 안정성 분석 - 시작기의 균평 제어시스템의 동력학적 분석 - 시작기의 경사지 적응력 향상을 위한 균평 제어 시스템 설계
		협 동 B · 감자 정선, 선별 기초조사 · 감자 정선 및 선별 요인시험장치 설계 제작 · 감자 정선 및 선별장치 요인별 성능실험	- 감자 정선 및 선별장치 자료 수집 - 감자 정선 및 선별장치의 설계인자 구명 및 설계 - 감자 줄기, 잡초 제거장치의 설계 제작 및 요인별 성능실험 - 흙덩이, 돌 선별장치의 설계 제작 및 요인별 성능실험 - 감자 크기별 분리장치의 설계 제작 및 요인별 성능실험
2차 년도	2009	주 관 · 통합시작기 구성 및 포장성 능시험 · 문제점 보완 설계 및 개량 제작	- 감자 굴취, 이송, 수집, 배출 시작기 제작 - 굴취이송부, 장선선별부, 수집배출부, 주행부 통합시작기 구성 - 각부 상호 연계 성능 검증 - 통합 시작기의 문제점 보완 설계 및 개량 제작 - 통합 시작기의 성능 시험
		협 동 A · 시작기의 작업 안정성 분석 · 시작기의 균평 제어시스템 제작 및 성능실험	- 시작기의 주행성 및 작업 안정성 분석 - 시작기의 경사지 적응력 향상을 위한 균평 제어 시스템의 제작 - 시작기의 균평 제어시스템의 제어 성능 평가
		협 동 B · 정선 및 선별장치설계 제작 · 정선 및 선별장치 기초 성능실험 · 정선 및 선별장치 보완 설계제작 · 감자수확기 채용 정선 및 선별장치 포장실험	- 감자수확기 채용 감자 줄기, 잡초 제거장치 설계 제작 - 정선 및 선별장치 기초 성능실험 - 흙덩이, 돌 선별장치 설계 제작 및 기초 성능실험 - 감자 크기별 분리장치 설계 제작 및 기초 성능실험 - 정선 및 선별장치 보완 제작, 포장성능 실험

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구개발의 결과

본 연구는 현행 인력에 전적으로 의존하고 있는 감자 수확작업을 기계화하기 위하여 우리나라 수확작업에 적합한 건조 감자의 수집, 이송, 경사지에서의 자세제어를 위한 자동 균형장치, 이물질 선별과 감자 선별을 위한 선별장치 그리고 수확한 감자의 적재와 배출 기능을 수행할 수 있는 자주식 감자 수확기를 개발하고자 하였다.

이를 위하여 감자 주산지에서의 감자 재배양식, 수확작업 체계, 감자 물성을 조사하였으며, 자주식 감자 수확기 설계요인을 구명하기 위하여 자주식 감자 수확기 시작기기, 균형제어 자동장치, 선별장치를 설계 제작하여 요인별 성능을 실험하였다.

이상과 같은 감자 수확에 대한 기초 조사와 설계요인 구명 실험을 바탕으로 엔진 및 프레임, 동력전달부, 주행부, 컨베이어를 이용한 수집 및 이송부, 자동균형제어장치, 선별장치, 톤백 적재 배출이 가능한 적재부, 운전부 등으로 구성된 자주식 감자수확기 시작기를 설계 제작하였다.

자주식 감자수확기 시작기에 이송속도에 따른 감자 굴취율, 수집율 그리고 손상률의 분포를 조사하기 위한 성능실험을 한 결과 자주식 감자 수확기에 의한 굴취율은 이송속도가 0.21 m/s 일때 가장 우수하였고, 수집율은 이송속도가 0.21 m/s일 때 가장 우수한 것으로 나타났다. 또한 손상률은 이송속도 0.21 m/s에서 가장 낮은 것으로 나타났다. 이상의 결과로부터 굴취율과 수집율이 높고 손상률이 낮은 시작기의 이송속도는 0.21 m/s인 것으로 나타났다. 그러나 통합시작기에서의 문제점인 굴취날의 보완이 필요하며 굴취날의 개선을 통한 굴취율을 높일 수 있을 것이며 굴취율에 따라 수집율 또한 향상될 것으로 판단되었다.

포장 성능시험 결과 시작기는 작업속도 0.31m/s, 감자 수집능력 15.1t/h가 가능하였으나 기체의 진동과 소음 등을 고려하였을 때 적정 작업은 주행속도 0.21m/s, 감자 수집능력 12.4t/h, 감자 수집률 93.0%, 감자 손상률 3.0%, 선별능력 83.5%인 것으로 나타났다. 따라서 시작기의 작업능률은 1.2 시간/10a으로 관행 인력 수확작업의 60.1시간/10a의 50배로 98.0%의 노력을 줄일 수 있는 것으로 분석되었다.

자주식 감자수확기의 경제성 분석결과 자주식 감자수확기의 이용비용은 60,176원/10a으로 관행 인력 수확비용 301,334원/10a에 비하여 80% 절감할 수 있는 것으로 나타났다.

2. 활용에 관한 건의

본 연구에는 우리나라 최초의 자주식 수확기인 자주식 감자수확기 등 자주식 농업기계를 현재 생산하여 판매하고 있는 회사가 참여기업으로 참여하고 있어 개발된 감자수확기의 실용화를 연구종료와 함께 바로 추진할 예정이다. 2010년 특허 취득과 함께 바로 참여업체에 기술을 이전하여 2011년부터 농가에 보급이 가능하며, 특히 감자 수확작업 기계화가 절실한 감자칩 가공업체와 계약 재배한 농가부터 우선 공급하고 개인농가는 다수가 사용할 수 있는 임대용 농업기계로 보급할 예정이다.

SUMMARY

The purpose of this study is to develop a self-propelled potato harvester with sorting out the dust and pebbles, and collecting the potatoes at the same time in 500 kg bulk bags without hand-labor methods. To design the harvester, investigation on cultivation patterns, harvesting methods and property of the potatoes were conducted.

To find the harvesting factors the machine was separated to each parts as digging device, convey part and loading parts. An experiment was conducted with digging blades, convey speed and optimal angle, the ratio between secondary convey system and the digging parts.

And also for sorting the potatoes with dust and pebbles with a proper sorting device.

By studying the basics of the potatoes and selecting the harvester factors the prototype machine was manufactured with engine, transmission, drive parts, harvesting parts and loading parts. The performance test on field harvesting was proceeded and an economical analysis was conducted.

The results of this project are summarized as follows;

1. Surveys on potato cultivation patterns, harvesting methods, and physical properties of harvesting potatoes.

Traditional harvesting method is to dig out the potatoes from the earth with digging machines and pick the potatoes by hand-labor. But, this method provides only 1 phase by machines. The rest of the harvesting process is conducted by hand-labor. Due to the shortage of rural labor, all harvesting process must be run by machines. It is considered more effective by a machine than hand-labor.

2. Test on finding the design factors.

From the experiment to find the proper angle and driving parts of the digging device it was found that 23 degree is the effective angle. But for the convey parts the angle must be more wider. It is to be more studied in further future.

The balance device for the convey part is to be tiltable for exact transportation of the potatoes. When the vehicle is tilted the angle sensor will find the data and tilt the convey part to the opposite side to maintain the balance of the potatoes. 300 data mean - 50 sampling was the proper value for the rolling and tilting device.

Sorting device was by image processing. To find the potatoes from the background the threshold value of the pebbles was 84. This is very similar with the potato threshold value. For the mud lumps threshold value was 85. Dividing the potatoes from the dust and pebbles, each threshold value were quite different and it was not very accurate.

3. Construction and performance of the prototype potato harvester.

As shown in figure 3.4-1 the design factors were applied by merging the digging part, sorting part, convey part and the balance device. The harvester was manufactured for one way system for the harvest process.

Results from fundamental tests on the prototype, at the speed of 0.21 m/s, 0.26 m/s and 0.31 m/s the harvest accuracy were 93 %, 90.5 % and 91.3 % each. And the damage rate were 2 %, 3 % and 5 % each and for the sorting ability it were 83.5 %, 80.1 % and 79.9 % at each corresponding speeds.

4. Field performance tests for the prototype

Analyzed the results from field tests on performance of the prototype potato harvester to find the proper convey speed for higher digging rate and collecting rate. And also find the proper speed for lesser damage rate. For overall optimal performance speed was 0.21 m/s.

But for more effective harvest work, the digging blade must be improved. If the digging blade is more properly developed, the digging rate will be more upgraded and also the collecting rate will increase.

The maximum travel speed and gathering capacity were 0.31 m/s and 15.1 t/h. Considering vibration and noise for the prototype, travel speed of 0.21 m/s, gathering capacity of 12.4t/h, rate of potato gathered of 93.0 %, rate of potato damaged of 3.0%, rate of potato sorting of 83.5 % were optimum. Effective field capacity of the prototype was about 1.3 hours per 10a. Compared with conventional manual harvesting, capacity of the prototype was about 50 times greater and labor requirement was reduced by 86.9 %.

5. Economic analysis for the prototype

Total machinery costs of the prototype for harvesting potatoes were estimated as 120,077 won per 10a. Thus harvesting costs can be reduced by 74.5% compared with conventional manual harvesting costs of 470,659 won per 10a.

CONTENTS

Chapter 1 Overview of Research and Development Project	15
Section 1 The purpose of a joint research and development	15
Section 2 The necessity of research and development	15
Chapter 2 Technical development at home and abroad	17
Section 1 Technology at home and abroad	17
Section 2 The fragility of the current state of technology	18
Section 3 Future Prospects	18
Section 4 Technical feasibility of introducing	19
Chapter 3 Research and development information and results	20
Section 1 Survey of potato harvest	20
1. Materials and methods	20
2. Results and Discussion	24
Section 2. The prototype of operation for the stability analysis and analysis of theories	29
1. Potato growing regions, growing conditions and local topography characterization of analysis	29
2. Design direction for potato cultivation conditions	33
Section 3. The prototype design for the balance control system	35
1. Designed digging and convey devices	35
2. Prototype Control System for the Dynamic Analysis of balance	41
3. Designed slop adaptive balance control system for improved	43
4. Designed slop adaptive balance control system for improved and performance evaluation	62
5. Development of potato harvesters sorting device	83

Section 4. For the development of self-propelled potato harvester	
Design Factors	89
1. Integrated Prototype potato harvester performance tests	89
a. Materials and methods	89
b. Results and Discussion	99
c. Conclusion	103
3. Integrated potato harvester field performance tests	104
a. Materials and methods	104
b. Results and Discussion	106
c. Conclusion	109
3. Economic analysis of a prototype	111
a. Cost of machinery used	111
Section 5. Summary and Conclusion	113
1. Survey of potato culture and harvest	113
2. The searching design factor	113
3. Design of prototype product and basic performance tests	114
4. The prototype field performance tests	115
5. Economic analysis of a prototype	115
Chapter 4 Goals and the related contribution to the field	116
1. Goal attainment	116
2. Achieving a self-assessment	117
3. Relevant contribution to the field	118
Chapter 5. Utilization of research results	119
1. The need for further research	119
2. Its application to other studies	119
3. Plans to commercialize	119
Chapter 6. During the study collected the foreign scientific information	120

Chapter 7. Reference 121

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요	15
제 1 절 연구개발의 목적	15
제 2 절 연구개발의 필요성	15
제 2 장 국내외 기술개발 현황	17
제 1 절 국내외 기술 현황	17
제 2 절 현 기술상태의 취약성	18
제 3 절 앞으로의 전망	18
제 4 절 기술도입의 타당성	19
제 3 장 연구개발 수행내용 및 결과	20
제 1 절 감자 재배 및 수확 실태 조사	20
1. 재료 및 방법	20
2. 결과 및 고찰	24
제 2 절 시작기 작업 안정성 분석을 위한 이론 정립 및 분석	29
1. 국내 감자 재배지역의 재배 조건 및 지형 특성 분석	29
2. 감자 재배 조건에 적합한 설계 방향	33
제 3 절 시작기 설계 및 제작	35
1. 감자 굴취 및 이송 시험장치의 설계	35
2. 시작기 균평 제어 시스템의 동역학적 분석	41
3. 시작기의 경사지 적응력 향상을 위한 균평 제어 시스템 설계	43
4. 시작기의 경사지 적응력 향상을 위한 균평 제어 시스템의 제작 및 성능평가	62
5. 시작기 정선·선별장치 설계 및 개발	83
제4절 자주식 감자수확기 개발을 위한 통합시작기 구성	89
1. 통합 시작기 감자 수확 성능시험	89

가. 재료 및 방법	89
나. 결과 및 고찰	99
다. 결론	103
2. 통합 시작기 포장 성능시험	104
가. 재료 및 방법	104
나. 결과 및 고찰	106
다. 결론	109
3. 시작기 경제성 분석	111
가. 기계 이용비용	111
제 5 절 요약 및 결론	113
1. 감자재배 및 수확실태 조사	113
2. 설계요인 구명시험	113
3. 시작기의 설계 제작 및 기초 성능시험	114
4. 시작기 포장 성능시험	115
5. 시작기의 경제성 분석	115
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	116
1. 목표달성도	116
2. 평가 착안점에 따른 목표달성도 자체 평가	117
3. 관련분야에의 기여도	118
제 5 장 연구개발결과의 활용계획	119
1. 추가 연구의 필요성	119
2. 타 연구에의 응용	119
3. 기업화 추진방안	119
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술 정보	120
제 7 장 참 고 문 헌	121

제1장 연구개발 과제의 개요

제1절 연구개발의 목적

본 연구의 목적은 현재 우리나라의 경우 감자 수확은 주로 경운기용 또는 트랙터용 굴취기를 이용하여 지면위로 감자를 분리하고 인력에 의해 선별 및 수집하고 있다. 본 연구의 최종 목적 굴취하면서 이송 중에 흙, 자갈 등 이물질을 제거하고 1차 선별하여 상품성 있는 감자만 500kg용 톤백(bulk bag)에 수집하여 별도의 인력 투입 없이 감자 수확의 일관기계화가 가능한 자주식 감자수확기를 개발하고자 하는데 있다.

제2절 연구개발의 필요성

현재 농촌지역에서의 감자 수확은 주로 경운기용 또는 트랙터용 땅속작물 굴취기로 토양을 파쇄하여 지면위로 감자를 분리하고 인력에 의해 선별 및 수집하고 있다. 위의 방법은 모두 땅속에 있던 감자를 단순히 굴취하여 지상으로 노출시키는 작업만을 기계화 한 것으로 인력에 의해 다시 굴취된 감자를 거두어 들여야 하는 번거로움이 따른다. 따라서 완전한 기계수확작업이 이루어지기 위해서는 굴취, 이송, 정선, 선별, 수집 작업을 동시에 수행할 수 있는 감자수확기의 개발이 요구되며, 경제적으로 보면 농가에 많이 보급된 트랙터를 활용한 트랙터부착용으로 개발해야 하나 트랙터부착용은 선별, 정선, 수집부의 공간 확보문제, 기체 크기 증가에 따른 선회문제, 미수확 구간의 인력수확 등 소규모 경지 수확에 많은 문제점이 대두되어 이들 문제를 해결할 수 있는 소형의 컴팩트한 자주식 감자수확기 개발이 필요하다.

현재 국내에서 사용되고 있는 감자수확기는 단지 감자를 굴취하여 지상에 노출시키기만 하는 굴취작업용으로 수집하는 시스템이 갖추어져 있지 않아 인력으로 굴취된 감자를 다시 수집해야 한다. 굴취에 소요되는 시간은 경운기용이 1.2hr/10a, 트랙터용이 0.3hr/10a이나 수집에 소요되는 시간은 경운기용이 11.9hr/10a, 그리고 트랙터용이 9.6hr/10a(2002, 농촌진흥청)으로 수집에 소요되는 시간이 경운기용의 경우 약 10배 그리고 트랙터용이 32배로서 정선, 선별, 수집 작업까지 가능한 수확작업기의 개발이 시급한 실정이다.

6월 하순부터 7월에 걸쳐 고온기에 수확하는 봄 감자의 경우 땅속작물 굴취기로 수확한 후 인력에 의해 바로 수거하지 못하고 사질토 1시간, 사양토 3시간 이상 포장에서 햇볕에 노출될 경우 감자가 열상(熱傷)에 의해 변색 및 부패되어 상품성을 잃게 된다. 따라서 굴취와 동시에 바로 수집할 수 있는 자주식 감자수확기의 개발이 절실히 요구되어지고 있다.

우리나라의 감자는 저칼로리의 알칼리성 건강식품으로 가공 산업의 발달로 다양한 가공품이

생산되면서 소비가 계속 증가되고 있으며, 가공 감자인 튀김감자나 감자칩, 감자전분 등의 소비는 아직도 증가의 여지가 많다. 그러나 소비증가량은 주로 수입에 의존하고 있는 실정이어서 국내에서의 총생산량은 거의 변동이 없다. 그러나 근본적으로 국제경쟁력을 갖추고 증가되는 국내 소비량을 국내 생산 감자로 충당하여야 감자재배농가의 소득을 안정시키고 감자산업 분야의 안정적 발전을 기대할 수 있다.

우리나라의 감자생산은 감자칩용을 제외하고는 국제경쟁력이 매우 낮은 실정이다. 이는 생산 기술 수준이 낮고 재배환경이 불리하여 생산비가 높은 것이 원인이다. 우리나라의 감자재배 기술수준이 낮은 것은 타 작물에 비해 상대적으로 기계화율이 낮아 인력작업에 의존하고 있어 재배면적의 증가도 불가능하였기 때문이다.

농산물의 시장개방에 따른 외국산 농산물의 대량 범람으로 농민의 경작의지가 크게 떨어지고 이농현상이 심화되고 있는 현실에서 주요 식용작물중의 하나인 감자 생산비의 절감으로 공급의 탄력성을 제고하여 국제경쟁력을 높임으로써 농민의 경작욕구를 창출할 필요가 있다.

농민들은 현재의 굴취하여 지면에 깔아 놓는 감자굴취기 형태에서 굴취하여 대형 톤백(bulk bag)에 수집이 가능한 자주식 감자수확기를 개발하여 작업 단계를 축소하고 투하노동력을 줄이는 것을 강력히 요구하고 있다

따라서 굴취하면서 이송 중에 흙, 자갈 등 이물질을 제거하고 1차 선별하여 상품성 있는 감자만 500kg용 톤백(bulk bag)에 수집하여 별도의 인력 투입 없이 감자 수확의 일관기계화가 가능한 자주식 감자수확기를 개발이 요구되고 있다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제1절 국내외 기술현황

국내에서 사용되고 있는 감자수확기는 경운기용 또는 트랙터 부착형으로 굴취날로 굴취하여 체인컨베이어로 단지 감자를 지상에 노출시키기만 하는 굴취작업용으로 수집하는 시스템이 갖추어져 있지 않아 인력으로 굴취된 감자를 다시 수집하여 이물질을 골라내고 선별해야 한다.

국내 업체에서 개발한 자주식 감자수확기는 차량엔진과 트랙터 밧손을 조합하여 개발하였으나, 정선, 선별기능이 없어 운전자 외 보조작업자 8명이 수확기에 탑승하여 육안으로 보고 판단하여 정선, 선별작업을 해야 하는 등 작업성능이 미흡하고 기체가 너무 커서 우리나라 감자 재배여건에 맞지 않아 보급되지 못하고 있는 실정이다.

구미에서의 감자재배는 완전히 기계화되어 있는 실정이다. 구미에서 개발되어 사용되고 있는 감자수확기는 넓은 포장에서 사용하므로 대부분이 대형이며, 굴취작업은 굴취기에 의해, 굴취된 감자의 수집은 별도의 차량 또는 트랙터 트레일러에 의해 수행되는 방법을 채택하고 있어 우리나라의 감자 재배포장의 크기 경사도 등을 고려했을 때 적합하지 않은 것으로 판단된다.

일본에서 개발되어 사용되고 있는 자주식 감자수확기는 50마력의 디젤엔진을 사용하며 크기는 길이는 약 6m, 폭은 3m 그리고 높이는 3.2m로 대형이며, 작업능률은 2.1~16.8hr/10a 정도이다. 이는 일본의 감자는 화산회토 토양에 재배하므로 화산회토 토성에서 작업이 가능하도록 설계되어 있어 정선, 선별장치가 필요치 않고, 사양토 토성에서 재배하는 우리나라에는 재배양식 및 토양조건이 맞지 않아 우리나라의 실정에는 적용이 불가능한 것으로 판단된다.

제2절 현 기술상태의 취약

구미 및 일본에서 개발되어 사용되고 있는 자주식 감자수확기는 우리나라의 감자 재배포장의 토성, 규모, 경사도 등을 고려했을 때 적합하지 않은 것으로 판단된다. 우리나라에서 개발되어 사용될 수 있는 자주식 감자수확기는 소규모 포장에서도 작업이 가능하도록 소형으로 기동성 있게 사용될 수 있어야 하고, 정선, 선별장치를 탑재하여 포장에서 수확작업의 모든 과정을 기계화하여 바로 저장고에 투입하도록 설계되어져야 한다. 따라서 기구부의 구성도 이에 적합하게 설계되어져야 하나 국내에서는 아직 이에 대한 연구가 전무한 상태이며, 구미 또는 일본에서 사용되고 있는 기구부는 구성상 그대로 사용하기에는 많은 문제점이 있는 것으로 판단된다.

제3절 앞으로의 전망

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

감자재배의 경우 수확작업과 선별작업에 특히 많은 노동력이 소요되며, 노동강도가 매우 높은 것으로 조사되고 있는데 본 연구를 통하여 감자수확기 개발에 대한 기초기술을 축적하여 수확기 개발이 성공적으로 이루어지는 경우 소요노동력을 대폭 줄일 수 있으며, 작업자의 편의성 향상이 기대된다. 또한 감자생산의 안정적 생산에도 기여할 수 있어 생산비 절감을 통한 국제경쟁력 재고와 농민 소득 향상에도 도움이 될 것이다. 이밖에 감자수확기와 원리가 비슷한 땅속작물 수확의 기계화에도 파급효과가 클 것으로 예상된다.

따라서 본연구는 이러한 현실을 감안하여 감자 수확작업의 생력기계화를 위해 미리 인력으로 감자를 채굴하고 선별한 후 다음 감자를 수집하는 체계로 수집, 흙분리, 줄기제거, 이송 선별 및 적재 등 감자수확기 주요부를 분석 설계하고, 시작기를 제작 성능시험을 수행함으로써 효율적인 감자수확기 개발의 기초를 마련하고, 감자 수확작업 생력화를 위한 감자수확기를 개발하여 작업단계를 축소하고 투하노동력을 줄이는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

제4절 기술도입의 타당성

구미 및 일본에서 개발되어 사용되고 있는 감자수확기는 우리나라의 감자의 재배포장의 토성, 규모, 경사도 등을 고려했을 때 적합하지 않은 것으로 판단된다. 우리나라에서 개발되어 사용될 수 있는 자주식 감자수확기는 소규모 포장에서도 작업이 가능하도록 소형으로 기동성 있게 사용될 수 있어야 하고, 정선, 선별장치를 탑재하여 포장에서 수확작업의 모든 과정을 기계화하여 바로 저장고에 투입하도록 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 감자수확기를 개발하여야 한다.

제 3 장 연구개발 수행내용 및 결과

제1절 감자재배 및 수확 실태조사

1. 재료 및 방법

가. 감자 재배 및 수확 실태 조사

(1) 재배현황

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 1).

표 1 작형별 감자재배동향('04 농림통계연보)

구 분	봄감자	여름감자	가을감자	계
재배면적(ha)	14,937	4,073	4,179	23,189
생산량(톤)	554,470	154,230	199,300	908,000
면적점유율(%)	64	18	18	100

감자는 품종별로 내병성, 숙기, 입모형태, 추대성, 토양적응성이 매우 다르기 때문에 품종을 선택할 때에는 재배지역의 기후조건, 재배시기, 파종기, 출하시기 등을 고려하여야 하므로 작형을 구분하여 재배하고 있다.

표 2 작형별 주산지 현황

작형별	주산지	재배시기	주품종
봄재배	제주, 김제, 금릉, 고령, 밀양, 강릉, 보성, 창녕	2월하순~7월상순	남작, 수미, 조풍, 대서
여름재배	강릉, 대관령, 봉화	4월하순~9월하순	남작, 수미, 조풍, 대서
가을재배	해남, 무안, 완도, 밀양, 창녕	8월상순~12월상순	대지, 추심
겨울재배	제주, 강진, 보성	12월중순~5월중순	대지, 수미, 남서, 추심
하우스재배	남원, 김제, 밀양, 영광	1월상순~5월상순	수미, 대지, 남서, 조풍

(2) 재배양식

국내의 감자재배는 지역마다 작형 및 재배양식, 수확시기 등이 다양하기 때문에 감자수확기

의 개발은 지역적 재배 특성을 고려하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 적절한 감자수확기를 개발하기 위해 감자 주산지의 작업시기, 재배양식 등을 조사하였고, 감자수확장치를 설계하기 위하여 경남 창녕과 경북 선산, 강원 평창지역의 수확시기에 달한 감자를 대상으로 감자의 재배양식, 감자의 크기 및 무게 등을 표 3과 같이 조사하였다. 국내의 감자재배는 일반적으로 노지에서 행해지며 재배양식은 경남 창녕과 강원 평창지역은 그림 1과 같이 둥근 두둑에 한줄 또는 2줄로 재배하고 있었으며, 경북 선산지역은 평두둑에 2줄로 재배하고 있었다. 국내의 감자재배는 표 4와 같이 일반적으로 노지에서 행해지며 재배작형, 토성 등에 따라 같은 지역에서도 다르게 재배되어지지만 둥근두둑 한줄 재배와 평두둑 두줄 재배가 일반적이었다.

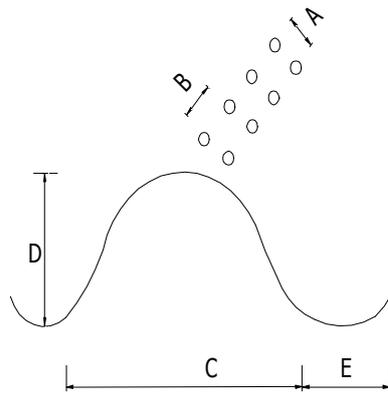


그림 1. 둥근 두둑의 재배 예

표 3 지역별 재배양식

지 역	두둑형상	재배줄 수	두둑크기(cm)			식부거리(cm)		비 고
			두둑 폭(C)	두둑높이(D)	골폭(E)	조간(A)	주간(B)	
강원 평창	둥근두둑	1	38~42	20~25	30	68~72	30	고랭지감자
경남 창녕	둥근두둑	2	100	25	30	30	36	가을감자
경북 선산	평두둑	2	90	12	30	45	24	봄감자

표 4 감자 주산지의 재배양식

지역	작업시기		등근두둑 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 25 평야	80 70	50 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	-	-	-

나. 수확시기 감자의 물성 및 포장조건

감자의 물리적 특성은 품종, 재배작형, 조간, 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.

가) 포장조건

조사대상 지역은 강원 평창(고랭지 감자), 경남창녕(가을감자), 경북선산(봄감자), 전북 김제(봄감자) 지역을 대상으로 하였다. 포장조건은 표 5와 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 5 감자 재배 포장의 토양조건

지역	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

나) 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 6에 나타내었다. 표 2-5에서 가을감자는 수확시기에 줄기가 고사한 상태이므로 측정이 불가능하였다.

표 6 수확시기 감자의 크기 및 무게

구분		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	-	-	-

2. 결과 및 고찰

가. 감자 재배 및 수확 실태

1) 감자 재배 조건 및 토양 특성

감자 수확기의 설계를 위해 감자가 재배중인 현장 토양의 특성을 조사하고, 생산자의 필요한 요구사항을 파악 하여 수확기의 개발에 참고하고자 2008년 8월 7일부터 2008년 8월 9일 까지 강원도 홍천군을 중심으로 토양의 물리적 특성(감자 재배지의 경사도, 토양 전단력, Cone Index)을 조사하였다.

표 7 감자수확기 재배 특성

조사 장소	강원도 홍천군 자운 4리
조사 날짜	2008년 8월 7일 ~ 2008년 8월 9일
재배 규모	5만평(12가구)
재배 형태	전체 경지를 이분하여 감자와 무를 윤작 재배
감자 종자	수미 감자, 씨감자
농기계 보유현황	1가구당 트랙터, 경운기, 승용관리기 3가구당 수확기(구모델 : 부착식, 신모델 : 자주식)
경사지별 재배 형태	경사지 5도 이내 : 감자 수확기 이용 경사지 5도 이상 : 기계 운행 불가, 인력으로 수확

1) 재배 조건 및 토양 특성 분석



그림 2 감자 재배지



그림 3 감자 재배지

현지 재배지의 토양 경사도는 일정 간격으로 측정하기 위해 일정하게 놓인 줄자를 따라서 3m 간격으로 측정을 실시하였다. 측정한 각 지점의 값은 평지의 경우 0~4° 정도의 경사도를 보였으며 surfer 소프트웨어를 통하여 표시된 그림은 그림 3-5과 같다. 토양 특성을 측정하기

위해 SC-900을 사용하여 Cone Index를 측정하였다. 이때의 토양 수분은 3~5%로 비교적 수분이 적은 상태였다. 측정 결과 25~30cm 부위에 토양 다짐 구간이 존재함을 알 수 있다. surfer를 통한 그래프와 측정값은 그림 3-6, 3-7, 3-8와 같다.



그림 4 경사지의 각도 측정

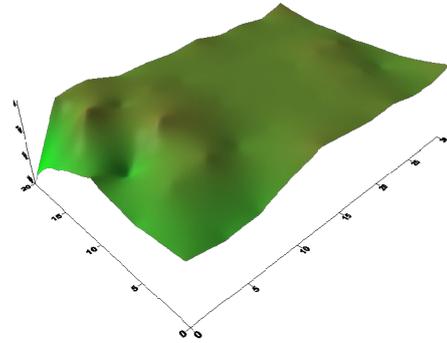
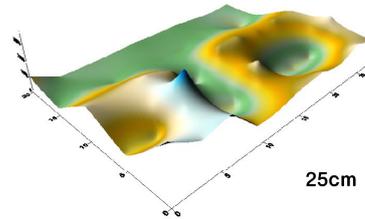


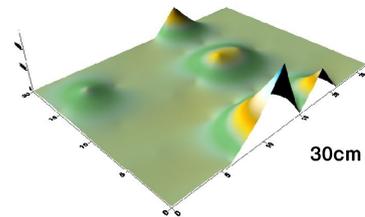
그림 5 surfer를 이용한 지형도



그림 6 토양 경도 측정



25cm



30cm

그림 7 토양 경도 지형도

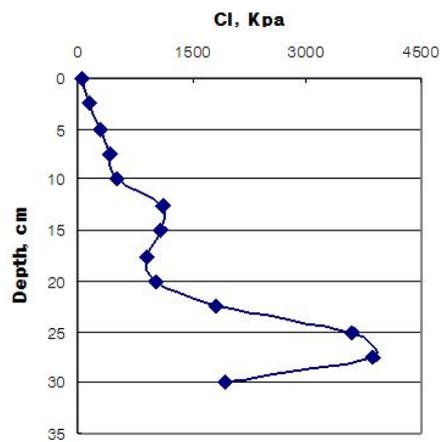


그림 8 Depth-CI 그래프

2) 감자 재배지 수확 기계화 현황

조사 지역에서는 트랙터 부착용으로 개발된 감자 수확기의 경우 자주식으로 대체 되어 사용되고 있지 않는 실정이다. 자주식 감자 수확기는 승용 차량으로 차량 전면부의 굴취부를 통하여 작업대로 감자를 올리는 방식을 취하고 있으며, 운송 벨트를 거쳐 차량의 뒤쪽에 포대에 담을 수 있는 구조로 되어 있다. 하지만, 작업부의 균평 제어를 고려한 선별부 시스템이 갖추어지지 않아 경사지에 적합하지 않다.



그림 9 부착식 감자 수확기



그림 10 부착식 감자 수확기



그림 11 자주식 감자 수확기



그림 12 자주식 감자 수확기

감자 농사는 그 재배 면적에 비하여 소수 인원(1가구 4000평)에 의하여 재배되고 있으며, 부족한 노동력을 대신하여 다양한 농업용 기계가 사용되고 있다. 하지만 기존의 농업용 기계의 경우 일정 경도 이상이거나, 경사도가 심한 경사지(경사도 5° 이상)에서는 운영될 수 없다. 또한 지형에 굴곡의 영향으로 작업 중인 수확기 날에 의해 감자가 파손될 수 있으므로, 이를 고려한 수확기의 개발이 필요하다.

나. 수확특성을 고려한 기초조사

1) 토양조건

조사대상지역의 토성은 표 8에서와 같이 고령지역의 경우 사양토와 양토, 창녕지역은 미사질양토, 의성지역은 양토였다. 토양경도는 주로 15~20 cm 사이에서 큰 차이를 보였으며 이는 대부분의 농가에서 트랙터나 경운기를 이용하여 경운작업을 하기 때문이며 15 cm 이상은 토양경도가 높게 나타나 단단한 지반임을 알 수 있었다. 따라서 자주식 감자수확기의 주행부는 무한궤도식이나 바퀴형 모두 가능한 것으로 판단되었다.

표 8 주산지 감자재배포장의 토양조건

지역	토양 함수율 (% db)	입 도			토성	관입깊이별 토양경도(kg/cm ³)				비고
		Sand(%)	Silt(%)	Clay(%)		5cm	10cm	15cm	20cm	
무안 I	14.3	63.6	27.4	9	SL	2.36	2.83	4.66	19.33	
무안 II	12.7	38	47.3	14.7	L	25	25	25	25	객토
창녕	22.3	23.6	51.6	24.8	SiL	16.3	13.9	13.9	12.6	
의성	26.6	50.2	35.6	14.2	L	3.13	4.93	14.16	24	

감자재배 포장의 고랑과 두둑의 전단강도를 그림 13에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 전단강도는 고랑에서 측정된 값이 두둑에서 측정된 값에 비해 상대적으로 매우 크게 측정되어 수집부가 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.

따라서 감자 수확기를 개발하는데 있어 토양 굴취부는 지역적 특성과 재배양식에 따라 경심 조절이 가능하게 설계되어야 하고, 굴취부의 토양 절삭 경심은 두둑아래 토양속 20cm 이내 또는 고랑 아래 토양속 5 cm 이내로 유지하는 것이 감자수확기의 소요 견인력을 최소로 할 수 있을 것으로 판단된다.

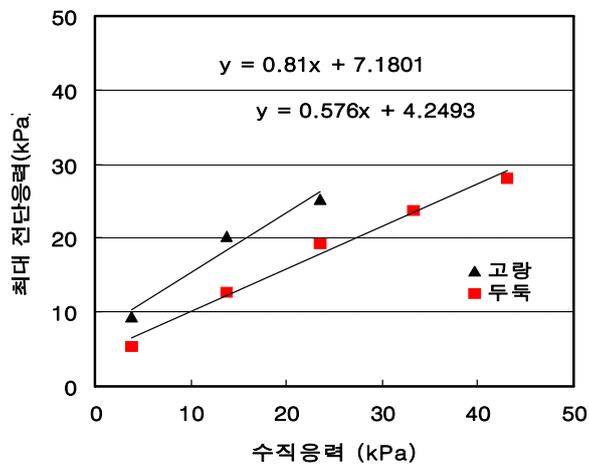


그림 13 고령지역의 토양 전단강도

감자 재배지의 경도를 조사하기 위해, 임의로 선택한 100 m × 100 m 면적의 감자 밭을 여러 군데 1 m 단위로 SC-900을 이용하여 측정하였다. 또한 3m 간격으로 각도를 측정하여 지형의 경사도를 파악하여 그래프화 시켰다. 이렇게 얻은 측정 값을 이용하여 구현된 토양을 시뮬레이션 하여 감자 수확기가 운행될 수 있는 경도 내에서 차량으로 인한 감자의 손상 방지를 목적으로 하는 actuator system을 구동하는 시스템을 제작 하여야 한다. 또한 수확물의 운송부에 작업대가 토양의 경사도나 기울임의 방향에 적응하여 균형을 유지해주는 제어 시스템을 설계하여야 한다. 차량의 기울임에도 수확물을 이송하는 작업대는 균형을 유지하기 위해서는 PID을 이용한 제어를 사용하였으며 피드백을 받아 각각의 상황에 맞추어 균형을 유지 할 수 있도록 구현 하였다. 주행 방향의 경사에 기존보다 더 기울어진 곳에서도 작업이 가능하고 수확물의 손상을 최소화 할 수 있는 작업이 가능하도록 소형 차체를 설계하고 실내/외 실험을 수행하였다.

제 2 절 시작기 작업 안정성 분석을 위한 이론 정립 및 분석

1. 국내 감자 재배지역의 재배 조건 및 지형 특성 분석

현재 국내 농업은 택지 개발과 선업화로 인해 농지 면적이 감소되어 왔다. 그림 3-14에서 나타나듯이 강원도에 있는 감자 밭 또한 경작 면적이 감소되어 왔다. 그러나 그림 3-15의 통계를 보면 감소된 경작 면적과 적은 인력임에도 불구하고, 생산량은 예전 수준을 유지하거나 혹은 그 이상이 되었다. 따라서 감자 수확의 일관기계화가 가능한 자주식 감자수확기의 동력학적인 안정성을 분석하고 경사지에서의 고효율 일관 작업 체계를 유지하기 위한 균형 제어 시스템을 설계하여, 경사지 각도가 5~10° 인 경사지에서 작업이 가능하도록 개발 하고자 한다.

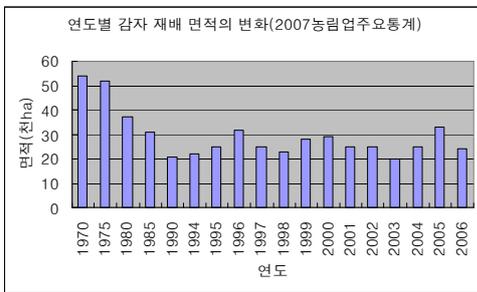


그림 14 연도별 감자 재배 면적의 변화

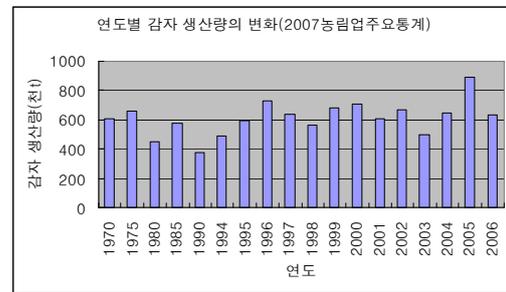


그림 15 연도별 감자 생산량의 변화

구분	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
경운기	11,884	85,722	289,799	588,962	756,489	868,870	939,219	922,709	891,660	857,829	832,769	819,684	802,662
트랙터	61	564	2,664	12,389	41,203	100,412	191,631	201,089	206,371	211,576	219,664	227,873	236,707
이앙기	-	16	11,061	42,138	138,405	248,009	341,978	342,648	340,754	335,306	333,634	332,393	325,351
바인더	-	-	13,652	-	55,575	66,960	72,315	70,333	68,216	63,035	62,071	60,008	57,343
콤바인	-	56	1,211	11,667	43,594	72,268	86,982	87,805	87,441	86,858	87,457	86,825	86,492
관리기	-	-	-	-	50,699	239,496	378,814	379,922	379,309	376,431	382,788	392,505	399,226
곡물건조기	-	694	1,616	5,437	17,749	28,408	55,573	58,213	60,672	63,633	66,437	70,363	73,205
스피드프레머	-	-	1,249	-	4,944	13,472	28,885	30,201	32,748	35,612	36,274	38,790	40,025
과일선별기	-	-	-	-	-	13,951	26,431	27,549	29,361	-	-	-	-
농업용난방기	-	-	-	-	-	42,153	127,557	126,606	133,119	147,476	166,992	186,246	178,430
농산물건조기	-	-	-	-	59,434	117,875	164,532	167,967	169,708	171,519	176,606	184,097	188,668
동력방제기	45,008	137,696	330,663	517,530	680,034	682,675	600,061	612,713	910,672	-	-	-	116,445
양수기	54,078	65,993	193,943	286,298	341,548	384,900	292,871	325,282	320,695	-	-	-	-
기타	41,668	127,194	223,355	330,639	290,698	163,423	80,034	77,634	84,554	29,699	40,557	-	-
총보유	152,699	417,937	1,069,213	1,795,260	2,480,372	3,042,872	3,366,883	3,430,671	3,715,280	2,378,974	2,405,249	2,398,784	2,504,554

그림 16 연도별 농기계 보유현황 (2007 농림업 주요통계)

감자의 생산성 향상을 위한 여러 가지 노력들이 있었겠지만, 농업용 기계의 보급이 굉장히 큰 역할을 했다는 것은 부인할 수 없는 사실이다. 매년 농업용 기계의 보급은 점차 증가되고 있다. 그림 16에서 '관리기' 항목은 이번 연구 과제에서 개발하고자 하는 주행형 감자수확기를

포함하는 항목이다.

가. 감자 재배지 수확 기계화 현황

조사 지역에서는 트랙터 부착용으로 개발된 감자 수확기의 경우 자주식으로 대체 되어 사용되고 있지 않는 실정이다. 자주식 감자 수확기는 승용 차량으로 차량 전면부의 굴취부를 통하여 작업대로 감자를 올리는 방식을 취하고 있으며, 운송 벨트를 거쳐 차량의 뒤쪽에 포대에 담을 수 있는 구조로 되어 있다. 하지만, 작업부의 균평 제어를 고려한 선별부 시스템이 갖추어지지 않아 경사지에 적합하지 않다.



그림 17 부착식 감자 수확기



그림 18 부착식 감자 수확기



그림 19 자주식 감자 수확기



그림 20 자주식 감자 수확기

감자 농사는 그 재배 면적에 비하여 소수 인원(1가구 4000평)에 의하여 재배되고 있으며, 부족한 노동력을 대신하여 다양한 농업용 기계가 사용되고 있다. 하지만 기존의 농업용 기계의 경우 일정 경도 이상이거나, 경사도가 심한 경사지(경사도 5° 이상)에서는 운영될 수 없다. 또한 지형에 굴곡의 영향으로 작업 중인 수확기 날에 의해 감자가 파손될 수 있으므로, 이를 고려한 수확기의 개발이 필요하다.

표 22 조사 현황

조사 장소	강원도 홍천군 자운 4리
조사 날짜	2008년 8월 7일 ~ 2008년 8월 9일
재배 규모	5만평(12가구)
재배 형태	전체 경지를 이분하여 감자와 무를 윤작 재배
감자 종자	수미 감자, 씨감자
농기계 현황	1가구당 트랙터, 경운기, 승용관리기 3가구당 수확기(구모델 : 부착식, 신모델 : 자주식)
재배 형태	경사지 5도 이내 : 감자 수확기 이용 경사지 5도 이상 : 기계 운행 불가, 인력으로 수확

나. 재배 현황 분석 및 수확 기계화 방향

감자 재배지의 경도를 조사하기 위해, 임의로 선택한 100 m × 100 m 면적의 감자 밭을 여러 군데 1 m 단위로 SC-900을 이용하여 측정하였다. 또한 3m 간격으로 각도를 측정하여 지형의 경사도를 파악하여 그래프로 나타내었다. 이렇게 얻은 측정값을 이용하여 구현된 토양을 시뮬레이션 하여 감자 수확기가 운행될 수 있는 경도 내에서 차량으로 인한 감자의 손상 방지를 목적으로 하는 actuator system을 구동하는 시스템을 제작 하여야 한다. 또한 수확물의 운송부에 작업대가 토양의 경사도나 기울임의 방향에 적응하여 균형을 유지해주는 제어 시스템을 설계하여야 한다. 차량의 기울임에도 수확물을 이송하는 작업대는 균형을 유지하기 위해서는 PID을 이용한 제어를 사용하였으며 피드백을 받아 각각의 상황에 맞추어 균형을 유지할 수 있는 시스템이 필요하다. 주행 방향의 경사에 기존보다 더 기울어진 곳에서도 작업이 가능하고 수확물의 손상을 최소화 할 수 있는 작업이 가능하도록 소형 차체를 설계하여 실내/외 실험을 수행될 필요성이 있다.

2. 감자 재배 조건에 적합한 설계방향

가. 기존 감자 수확기 주행부의 문제점

현재 시판되고 있는 감자수확기들은 아래의 그림 3-21과 같이 정상 경지 경사의 경우에는 무리 없이 작동하지만, 그림 3-22과 같은 일정이상의 굴곡과 같이 이랑의 깊이가 일정하지 않을 때에는 수확기가 너무 깊거나 비스듬하게 들어가서 감자를 굴취를 못하거나, 굴취를 하더라도 감자에 흠집이 나서 제품으로 판매하기 어렵게 된다. 또한 감자 정선 작업부분이 기울어져 정선틀이 떨어지게 된다. 이런 문제점을 해결하게 된다면, 경사진 재배지라도 현행의 인력

대신 기계로 수확이 가능하여, 생산성의 증대를 이루어 낼 수 있을 것이다. 또한 적은 인력으로 효율적인 수확이 가능하여 농가에 현재 부족한 노동력을 대신할 수 있는 대안이 될 것이다. 따라서 주행부의 안정성 확보 및 정선작업의 효율을 극대화하기 위하여 감자수확기 균형 시스템 구현이 반드시 필요하다.

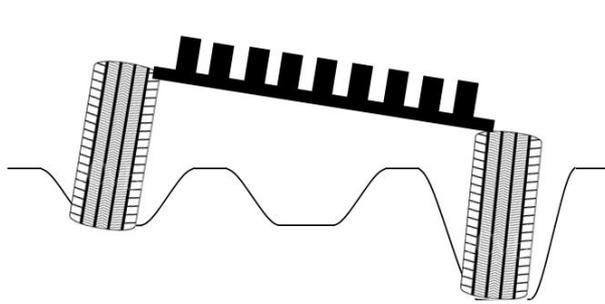


그림 21 정상 경지 경사

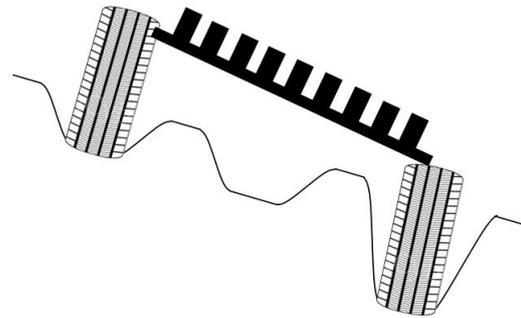


그림 22 이상 굴곡 경사

나. 기존 감자 수확기 문제점 해결 방안

작업대를 수평하게 유지 시켜주면서 수확물에 손상이 가지 않도록 하고 차량의 기울임에도 안정적으로 꾸준히 수확이 가능하도록 차량의 상판 작업부의 균형 제어가 반드시 필요하다. 실제 경사지와 관계없이 감자의 수확이 이루어지는 작업 부분과 감자의 이송이 이루어지는 작업 부분의 작업부가 균형을 유지해야 되며, 수평으로 균형을 유지하여 수확물에 손상이 없도록 하여야 한다. 지면의 경사는 물론 어떤 이랑의 높낮이에도 작업대의 상판은 균형을 유지하도록 하여야 한다.



그림 23 감자 수확기의 균형 제어부

제 3 절 시작기의 균평 제어 시스템 설계

1. 감자 굴취 및 이송 시험장치의 설계

가. 감자 굴취, 이송 시험장치 설계조건

감자 굴취, 이송 시험장치는 감자수확기 개발에 앞서 최적의 굴취, 이송 메카니즘을 구명하기 위하여 자주식 전용형으로 ①감자의 손상을 최소화 할수 있을것, ②감자가 원활하게 이송될것. ③각 부의 착탈이 용이하고 ④각부의 속도 및 각도 등을 쉽게 가변할 수 있을 것 등의 설계조건을 가지고 시험장치를 구성하였다.

나 감자 굴취, 이송 시험장치 설계제작

1) 구조

수집형 감자수확기 개발에서 가장 중요한 요인인 기체 크기를 최소화하고 토양파쇄를 극대화하여 수집용기에 감자만 수집할 수 있도록 적정 굴취, 이송 설계요인 구명을 위하여 굴취날로 토양을 절삭한 후, 회전하는 체인컨베이어로 흙을 파쇄함과 동시에 감자를 끌어올려 이송컨베이어로 보내면 이송컨베이어의 러그를 타고 상부로 이송되어 수집부에 보내질 수 있는 시스템으로 구성되었다

감자 굴취 및 이송 설계조건을 구명하기 위하여 토양을 절삭하는 굴취부와 토양파쇄, 흙분리, 이송을 동시에 할 수 있도록 컨베이어 이송장치로 구성하였다. 컨베이어 이송장치는 수집부까지 감자를 이송해야 하므로 각도가 클 수밖에 없으므로 이송중에 감자가 떨어지지 않도록 컨베이어에 러그를 설치하였다. 본 장치는 요인시험용이므로 각부의 착탈 및 조절할 수 있도록 설계 제작하였다.

2) 제원

표 25 시작기의 제원

구 분		제 원
기체	길이×폭×높이(mm)	6,220(4,400)×2,300×2,230
	중량(kg)	2,780
엔진	형식	수냉식 디젤엔진
	최대출력/회전수(rpm)	55.2ps/2,800
	시동방식	전기시동식
	배기량(cc)	2.607
주행부	주행형식	4륜구동, 4륜조향(2륜조향 선택가능)
	조향형식	유압식
	변속단수	전진2단 후진 2단
	클러치 형식	건식 다판 마찰식
	브레이크 형식	유압 디스크식
	축거×윤거(mm)	1,590×1,250
	타이어 규격	26 "×10.00-12pr, Max load : 980kg
굴취부	수확방식	고정굴취날+체인컨베이어식
	굴취폭(mm)	1,160
	굴취깊이(mm)	300 이내
이송부	이송방식	러그부착 체인 컨베이어
수집부	수집방식	톤백(500kg)
	배출방식	유압



(가) 주행부

자주식 감자수확기 개발을 위한 주행부는 기초조사와 설계요인 구명시험 결과를 토대로 4륜 구동식 차륜형으로 설계 제작하였다.

주행형식은 기계식 밧순 4륜구동식, 조향방식은 핸들식, 2륜 또는 4륜 조향형으로 작업시는 선회반경을 줄이기 위하여 4륜조향식으로 하고 도로주행시는 안전을 위해 2륜조향을 선택해서 하도록 하였다. 2륜조향의 경우 선회반경은 4.4 m 였으나 4륜조향을 하면 선회반경은 1.7 m 로 작아지므로 작업시는 4륜조향이 유리하다.

클러치 형식은 건식 단판마찰식, 브레이크 형식은 건식 디스크식, 변속단수는 전진 6단, 후진 2단으로 하였다. 차륜은 최대하중 980 kg용을 사용하여 최대하중 3,920kg 으로 하였다. 엔진은 55마력 직립형 수냉 4기통 4짜이클 디젤엔진을 탑재하였다. 연료탱크의 용량은 42 L 로 하였다. 자주식 감자수확기의 모든 조작은 운전석에서 운전자가 모두 조작이 가능하도록 하였다.

(나) 굴취부

감자 굴취부는 경사진 블레이드 형태의 굴취날로서 감자 이송장치의 전면에 위치하여 고속의 감자를 지면위로 올려 이송부로 옮겨지도록 제작하였다. 또한 굴취날은 토양 절단 시 견인 부하를 최소로 하기 위해 굴취날의 전면 진입부를 췌기 형태의 좌우 대칭인 2쌍으로 구성하였고, 굴취날 각도는 23~28°, 굴취날의 폭은 감자의 유입량을 감안하여 1,100 mm로 설계, 제작하였다.



(다) 이송부

굴취부를 통과한 감자는 최종적으로 감자 적재함에 적재되어야 한다. 그러나 감자가 이송되는 이송장치의 끝단의 높이는 감자 적재함의 투입구에 비해 매우 낮은 위치에 있다. 따라서 이송장치를 통과한 감자가 적재함에 적절히 적재되기 위해서는 이송장치의 경사각을 크게 하여 이송장치의 끝단 높이를 감자 적재함의 투입구 위치보다 높게 하여야 한다. 그러나 경사각이 너무 클 경우에는 수집부에 의해 이송장치에 올려진 감자가 미끄러져 수집 이송장치를 통해 이송될 수 없다. 또한 경사각을 작게 할 경우에는 이송장치의 이송 구간을 길게 해야 하는데, 이 경우에는 감자수확기의 길이 및 무게가 너무 커지게 되어 실제 포장에서 운용하는데 어려

움을 초래하게 된다.

따라서 이송장치의 경사를 적정 경사각으로, 그리고 이송길이를 짧게 유지하면서 이송 컨베이어를 통과한 감자가 수집 컨베이어의 끝단보다 높은 곳에 위치한 감자 적재함에 수거되기 위해서는 이송장치를 통과한 감자를 감자 적재함보다 높은 위치로 이동시킨 후 적재함에 떨어뜨릴 수 있도록 수직형으로 구성되어 각도가 클 수밖에 없으므로 이송 중에 감자가 떨어지지 않도록 컨베이어에 러그를 설치하였다. 러그는 기초조사에서 나타난 감자의 최대크기 120 mm 까지 이송할 수 있도록 러그의 크기를 105 mm로 제작하였다.



<이송부>



(라) 적재부

적재부는 적재판 위에 톤백을 걸이대에 걸어 적재한다. 줄기절단장치에서 줄기는 절단되어 밖으로 배출되고 감자만 톤백에 수집된다. 배출부에서 감자가 톤백에 떨어질 때 손상발생을 최소화 하기 위하여 유압실린더를 이용하여 높이를 높여서 배출부와 톤백과의 간격을 최소화 하고 감자가 쌓이면 적재판을 내릴수 있도록 제작하였다. 톤백 걸이대는 톤백의 4곳을 걸수 있도록 하고 이동시에는 적재판을 접을 수 있도록 걸이대를 슬라이딩 하는 구조로 제작하였다.

배출시에는 적재판의 각도를 유압으로 조절하여 톤백을 배출하도록 하였다.



3) 감자 굴취, 이송 설계요인 구명시험

(가) 굴취날의 각도별 쇄토율 및 토양흐름상태

굴취날의 적정 각도를 구명하기 위하여 시험 한 결과, 토양흐름상태를 감안하면 23° 이하에서 양호한 것으로 나타났으나 굴취 이송부와의 연계를 감안하면 굴취날 각도를 더 크게 해야만 하는 것으로 판단되어 종합적인 검토, 보완이 요구되었다.

표 26 굴취날의 각도별 쇄토율 및 토양흐름상태

굴취날각(°)	토양흐름상태
23	양호
26	흙을 밀고 감
28	흙을 밀고 감

(나) 굴취 컨베이어봉의 간격 및 속도별 작업정도

굴취 컨베이어봉의 간격과 컨베이어 이송속도를 구명시험, 주행속도와 이송컨베이어의 이송속도 구명시험은 12월에 수확하는 가을감자를 대상으로 실시하였다.



2. 시작기 균평 제어 시스템의 동역학적 분석

가. 균평 제어 시스템의 개념 설계

차량의 기울임과 관계없이 작업대가 수평을 유지하고 균형을 잡기 위해서는 작업대를 올리거나 내려야 한다. 이는 각도를 실시간으로 측정하여 그에 대응하는 각도 값을 입력 받아 액츄에이터를 작동 시켜 작업대를 보정하여야 한다. 작업대를 상판, 차체를 하판으로 생각하였을 때 하판과 상판없이 상판의 각도는 항상 0° 를 유지하도록 하여야 한다. 따라서 상판과 하판 모두에 각도 센서를 부착하여 측정하고 둘 사이의 연결 부위에 액츄에이터를 설치하여 자유롭게 조절이 되도록 한다.

그림 3-44과 그림 3-45는 감자 수확기에 균평 제어 시스템을 적용한 개념 설계도이다. 한 쪽 방향의 액츄에이터를 이용하여 힌지 형식으로 수확물 이송부를 장착하여 어떠한 경사에도 수평을 유지하도록 하고 있다. 최대 각도는 상하 20° 씩 총 40° 를 제어하도록 설계하며 추후 더 급격한 경사에도 차체가 안정하게 주행하는 이상 수확물에 전혀 손상이 가지 않도록 설계를 수행 하였다. 차체의 얇은 작업부는 차량이 정상지면에 있을 때의 초기 작업부 상태이며 기울임에 따라 각도를 변화시켜 보정할 수 있다.

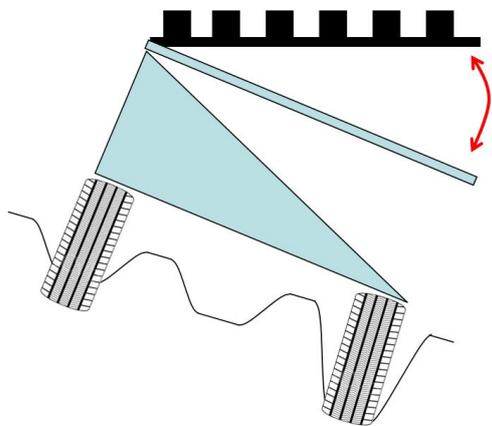


그림 31 오른쪽 기울임 균평 제어 적용

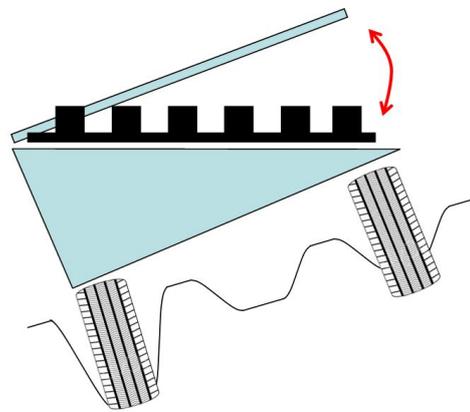


그림 32 왼쪽 기울임 균평 제어 적용

나. 작업부의 보에 발생하는 전단력 및 모멘트

작업부의 보에 발생하는 전단력과 모멘트를 계산하기 위해 그림 3-46과 같이 적용 힘이 적용 했을 때의 힌지 점에서의 발생하는 전단력과 모멘트를 계산하고자 한다. 이는 수확물의 이송부를 균평 제어 했을 때 힌지 반대편에 하중이 가장 많이 걸리는 경우를 고려했을 때의 보에 걸리는 상황이다. 힌지의 끝단을 점 A라고 가정하고 다음과 같은 식으로 표현하여 분석

하였다.

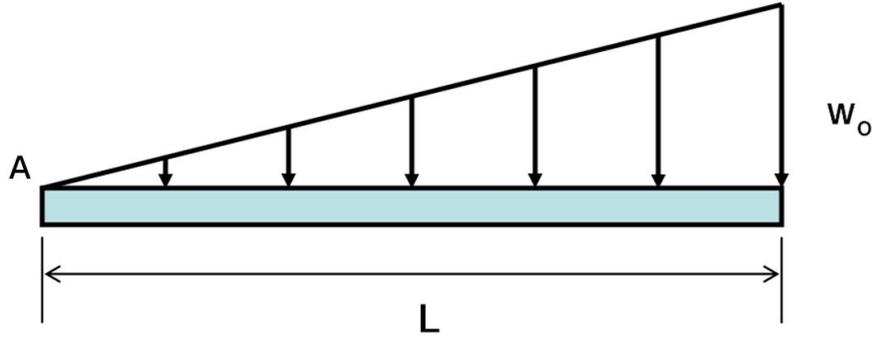


그림 33 작업부 보에 작용하는 하중 도식

그림 3-46과 같은 상황에서 작업부 보에 걸리는 상황을 계산해 보았다. 힌지 A점에 걸리는 모멘트를 계산하여 보 전체에 발생하는 모멘트와 전단력을 도식하면 그림 3-47과 같다.

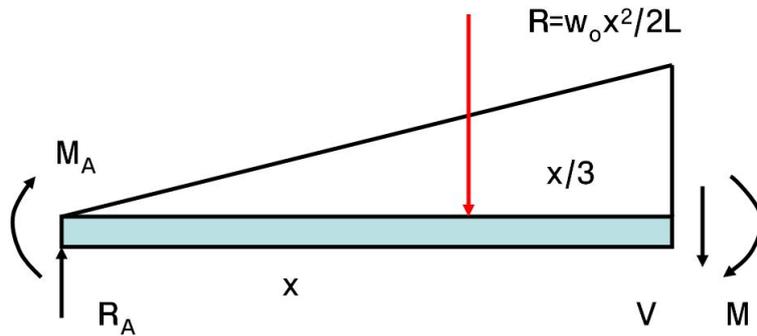


그림 34 작업부 보에 작용하는 모멘트, 전단력 도식

힌지 A 점의 모멘트

$$\sum M_A = 0 : M_A + \frac{w_0 L}{2} \frac{2L}{3} = 0 \qquad M_A = -\frac{w_0 L^2}{3}$$

$$\sum F = 0 \Rightarrow R_A = \frac{w_0 L}{2}$$

모멘트 그래프 식

$$\Sigma M=0 : M + \frac{w_0 x^2}{2L} \frac{x}{3} + \frac{w_0 L^2}{3} - \frac{w_0 L}{2} x = 0$$

$$\therefore M = -\frac{w_0}{6} \left(-2L^2 + 3Lx - \frac{x^3}{L} \right)$$

전단력 그래프 식

$$\Sigma F = 0 : \frac{w_0 L}{2} - \frac{w_0 x^2}{2L} - V = 0$$

$$\therefore V = \frac{w_0 L}{2} \left(1 - \frac{x^2}{L^2} \right)$$

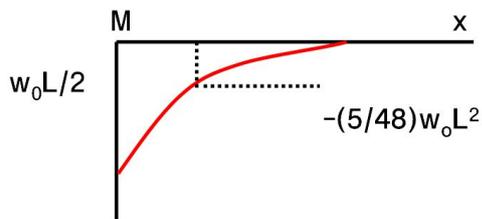


그림 35 보에 작용하는 모멘트 그래프

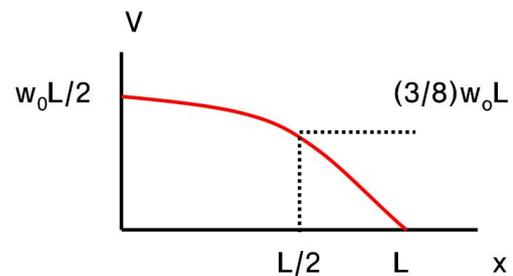


그림 36 보에 작용하는 전단력 그래프

3. 시작기의 경사지 적응력 향상을 위한 균평 제어 시스템 설계

가. PID 제어의 이론적 배경

단순한 ON/Off 제어의 경우에는 제어 조작량은 0%와 100% 사이에 존재함으로 조작량의 변화가 너무 크고, 실제 목표 값에 대해 지나치게 반복하기 때문에, 목표 값의 부근에서 계속 왕래하는 진동을 반복하는 제어가 되고 만다. 아래의 그림은 ON/Off 제어의 경우를 설명한 것이다.

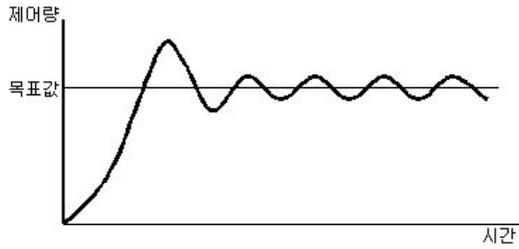


그림 37 실제 제어 조작 상태

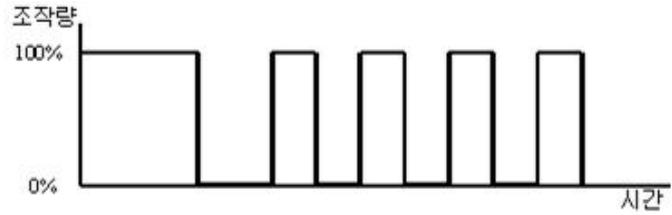


그림 38 On/Off 제어

이 진동의 의한 오차 값을 줄이기 위해 조작량을 목표 값과 현재 위치와의 차에 비례한 크기가 되도록 하며, 서서히 조절하는 제어 방법이 비례 제어 방식이다. 즉, 측정값과 목표 값 사이의 차인 오차 값에 적당한 비례상수 이득을 곱해서 제어신호를 만들어내며 오차신호에 비례하는 제어신호를 만든다는 뜻에서 이 기법에 의한 제어를 비례제어기 (Proportional Controller), 또는 영문약자를 써서 P제어기라고 부른다.

하지만 P제어의 경우 상승시간과 초과 사이의 상충문제를 절충하지는 못하기 때문에 정상 상태에서 편차(Offset)를 남길 수 있는 한계를 갖는다.

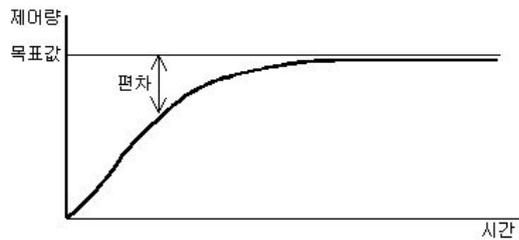


그림 39 P제어로 측정된 제어량

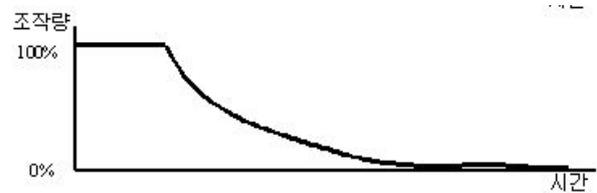


그림 40 P제어의 조작량

오차신호를 미분하여 제어신호를 만들어내는 미분제어를 비례제어에 병렬로 연결하여 사용하는 제어기법. 비례제어 부분과 미분제어를 함께 쓴다는 뜻에서 이 기법에 의한 제어를 비례미분 제어기(proportional-derivative controller), 또는 PD제어기라고 한다. D요소를 부가한 것으로 인해 PD제어기는 단순한 P제어기보다 응답이 빠르다.

이에 대해 조작량을 목표 값과 현재 위치와의 차에 비례한 크기가 되도록 하며, 서서히 조절하는 제어 방법이 비례 제어라고 하는데 이는 기준신호와 되먹임 신호 사이의 차인 오차 신호에 적당한 비례상수 이득을 곱해서 제어신호를 만들어내는 제어기법을 설명하는 것이다. 오차신호에 비례하는 제어신호를 만든다는 뜻에서 이 기법에 의한 제어를 비례제어기 (Proportional Controller), 또는 영문약자를 써서 P제어기라고 부른다. 제어값이 주기적으로 변화하여 제어편차가 발생하기 때문에, 편차에 상응하는 조작량을 부여하여 제어값을 변동시켜야 한다. 비례 제어는 PID제어기에서 반드시 사용하는 가장 기본적인 제어이며 구성이 간단하

여 구현하기가 쉽다. 하지만 이득의 조정만으로는 시스템의 성능을 여러 가지 면에서 함께 개선시키기는 어렵다. 상승시간과 초과 사이의 상충문제를 절충하지는 못하기 때문에 정상상태에서 편차(offset)를 남길 수 있는 한계를 갖는다. 식으로 나타내면 다음과 같다.

-Time domain $uc(t)=kPe(t)$

-Laplace domain $Uc(s)=kPE(s)$

$uc(t)$, $Uc(s)$: Proportional term of output

k : Proportional gain, a tuning parameter

e , E : Error = SP-PV

t : Time or instantaneous time(the present)

SP : Set point

PV : Process variable

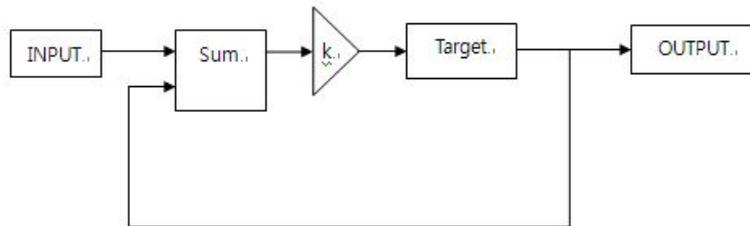


그림 41 비례 제어 블록 다이어그램

나. 소형 비도로 차량 제작

감자수확기의 실제 자체제작에 소요되는 비용을 감안했을 때 본 연구에서 지향하는 비도로 차량에 근접하는 적당한 차량의 자재를 구입하여 소형으로 제작하여 조립하는 것으로 대체하였다. 소형 차량에 구현할 수 있는 액츄에이터와 각도센서 등을 모두 구현 하였으며 감자수확기의 상판과 하판에 대응하는 각각의 모듈을 모두 구현 하였다.

표 12 소형 비도로 차량 사양

재질	알루미늄 합금	
크기	전장 32cm, 전폭 35cm, 타이어 직경 12cm	
구동방식	DC 모터 (12V - 24V)	
주행속도	입력 전압에 비례 (5V , 0.04 m / sec)	
입력	차체의 기울기1(진행방향), 차체의 기울기2(진행에 직각 방향)	
출력	서보모터의 PWM 제어 신호1, 2(진행방향, 직각방향)	
제어부	MCU	AVR128
	입력 AD 해상도	10 bit
	출력 PWM 채널	2 채널
	제어방식	비례제어, FeedBack 보정 추가

다. 균형 제어시스템의 제어부 설계

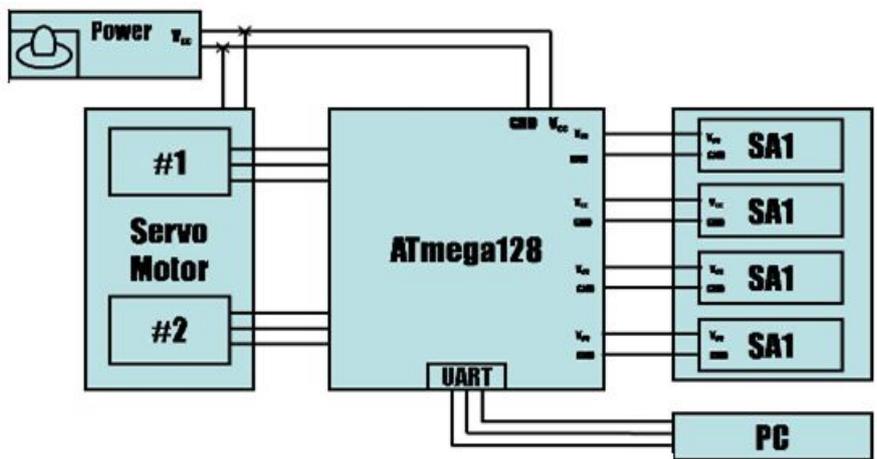


그림 42 균형 제어시스템 제어부 회로도

비도로 차량의 소형 모델을 제작한 후 차체에 MICOM 128을 연결하여 Codevision AVR 프로그램을 통한 프로그램의 이식을 용이하게 하고 ATmega 128에서 제공하는 UART와 RS232포트를 연결하여 PC와의 시리얼통신을 가능하게 하였다. 또한 실시간 데이터를 가능하게 하였을 뿐 아니라 서보모터 2개를 사용하여 제어대상의 2축제어가 가능하게 하였고, 5V Power supplier에 3상 스위치를 연결한 케이싱 박스를 제작하여 차량의 전후방향 제어 및 회전이 가능하게 하였다. 센서는 차체에 2개의 각도 센서를 부착하였고 제어대상에 추가적으로 2개의 각도센서를 더 부착하여 제어의 효율성의 Reference로 삼을 수 있게 하였다. 소형으로 제작 된 차체에 힌지나 유압과 같은 모듈을 부착하기에 공간의 활용성이 적어서 서보모터를 사용하였다. 이는 동일 원리로 균형 제어를 하는데 전혀 영향이 없게 하였으며 액추에이터는 각각의 상황에 따라 달리 쓰일 수 있다는 점을 감안하였다.

라. 구동부, 계측부 및 통신부 재료 및 구성

1) ATmega128

ATmega family에 속하는 소형 MCU칩셋으로 MICOM128과 RCM128 등의 메인 칩으로 쓰인다. MCU란 컴퓨터와 같은 범용프로그램이 아닌 특정기능만 수행하면 되는 전자제품에 사용되는 것으로 Micro Controller Unit이다. 이는 하나의 칩 안에 CU, ALU, Memory, I/O를 모두 가진 칩을 의미한다. 여기서 CU는 명령어를 읽어오고 해석해서 각 유닛을 제어하는 것이고, ALU는 산술, 논리연산 유닛을, Memory는 저장을, I/O는 입, 출력을 말한다. 추가적인 논리 회로 없이 모든 것을 칩 하나로 할 수 있기 때문에 PCB(printed circuit board) 부피를 줄일 수 있어서 많이 사용한다. Controller는 MCU의 I/O를 사용하여 주변 장치들을 제어하기 때문에 붙은 말이다. 약어로 줄여서 MICRO COMPUTER 또는 MICOM이라고도 한다.

2) RCM 128

ATmega128 베이스, 내부 플래시 128k바이트 내부 RAM 4k바이트, ADC 10bit 8 채널, RS232 통신 3핀 커넥터, 프로그램 다운로드용 ISP와 JTAG 커넥터 등등의 사양을 갖춘 모듈이다.

표 13 RCM 128 사양

Atmega 128 베이스 모듈
내부 플래시 : 128K 바이트
내부 RAM : 4K 바이트
SCI 2채널, SPI, Wire 시리얼 통신 지원
ADC : 10bit 8채널, PWM, 8bit타이머2, 16bit타이머2, RS232 통신 3핀 커넥터
프로그램 다운로드 ISP 또는 JTAG 커넥터 지원

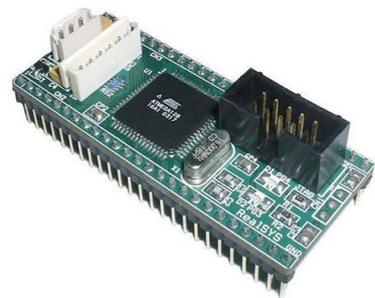


그림 43 RCM 128

3) MICOM 128

ATmega 128 베이스 보드로 RCM 128등의 모듈을 탈, 부착할 수 있으며, GPIO 포트 커넥터 6개 RS 232, RS 485/422 등의 통신을 지원하며 서보모터에 PORT를 제공함에 따라 제어대상의 구동까지 제어해준다.

표 14 MICOM 128 사양

Atmega 128 베이스 보드
GPIO 포트 커넥터 6개
RS232, RS485/422 통신지원
프로그램 다운로드 ISP 또는 JTAG 커넥터 지원

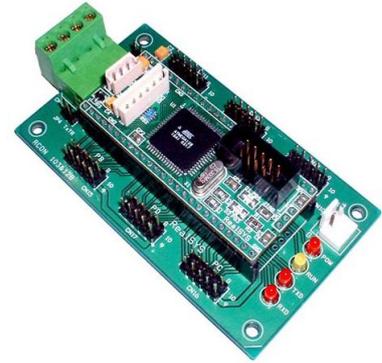


그림 44 MICOM 128

4) 기울기 센서

SA1 기울기 센서는 집적회로가 내장된 전자식 액체 충전 방식으로 설계되었으며 장시간 사용해도 변하지 않는 매우 안정된 성능을 갖고 있는 낮은 가격대의 기울기 센서이다.

표 15 기울기 센서 (SA1) 사양

Measuring range	±60°
Resolution	<0.1 degrees
Non-linearity	<1% FS
Transverse Sensitivity	<0.5% at ±60° tilt
Response Time	<0.5 second
Power supply(Regulated)	5V DC
Min.to Max.supply	3 to 6 Vdc
Current consumption 5V	<1mA
Operating Temperature	-30 to ... +60°C
Storage Temperature	-45 to ... +90°C
Weight	approx. 5g
Sensitivity	approx 30mv/°
Zero offset at 5V	2.5±0.2 Volt
Temperature Drift of sensitivity	1%/°C
Temperature drift of Zero	±0.5mv/°C
Output impedance	10kOhm

5) 액츄에이터 및 서보모터(HS-635HB)

동력원에 따라 종류가 나뉘지나 본 연구에서는 전기식인 서보 전동기를 사용하였다. 서보 전동기는 빠른 응답과 넓은 속도제어의 범위를 가진 제어용 전동기로, 그 전원에는 직류 서보모터와 교류 서보모터로 분류된다. 고유 서보모터의 대부분은 3상 서보모터이다. 서보모터는 정지, 시동, 역전 등의 동작을 반복하므로, 방열효과를 좋게 하거나, 동작의 변화가 빨라지도록

설계상 고려되어 있다. 서보모터는 제어신호에 따라 운전이 되므로 제어 신호의 정확성을 고려하여야 한다. 연구에서 서보모터 2개는 차체의 기울기 센서 값을 Reference로 하여 전후, 좌우 개별 축별로 각각의 제어대상에 대한 균형 제어를 수행하였다.



그림 45 HS-635HB

표 16 HS-635HB 사양

TORQUE	5.0/6.0(4.8/6.0V)
SPEED	0.18/0.15(4.8/6.0V)
SIZE	39.8*18.8*38.8mm
WEIGHT	52.1g

6)기울기 센서 값의 각도 보정

기울기 센서 값의 각도변환을 위한 Calibration 작업과 반응속도 측정을 실시하였다. 기울기센서가 보내는 센서 값은 ATmega128의 Input Ad resolution 10bit을 통해 0~024 사이의 어떠한 값을 통해 나타나게 되는데 이 값을 전압으로 변환시키면 정확히0~5V를 나타낸다고 가정했을 때 변환되는 식은 $(\text{Bit Value}/1024)*5$ 이다. 이때 센서의 angle resolution이 60°라서 각도와 전압 간 관계에 어떤 선형적인 추세가 나타날 것으로 기대했지만 센서자체가 가지고 있는 오차와 노이즈에 의한 값의 fluctuation등의 요인들로 인하여 정확한 추세관계를 알아낼 수 없었다. 따라서 전압 값에 관계하여 나타나는 정확한 각도 값을 알아내기 위하여 정밀각도계를 이용, 30°의 범위 내에서 5° 단위의 각도변화를 통해 나타나는 전압 값을 측정하였다. 좀 더 정밀한 추정을 위해 같은 각도에서 나타나는 전압 값을 10회 측정하여 평균 값을 사용하였다.

각도의 보다 정밀한 측정을 위해 아래의 그림에서 나타난 정밀 각도계를 이용하여 매번 각도를 측정하였고 전후방향과 좌우방향에 대해서 개별적으로 Calibration을 실시하였다.

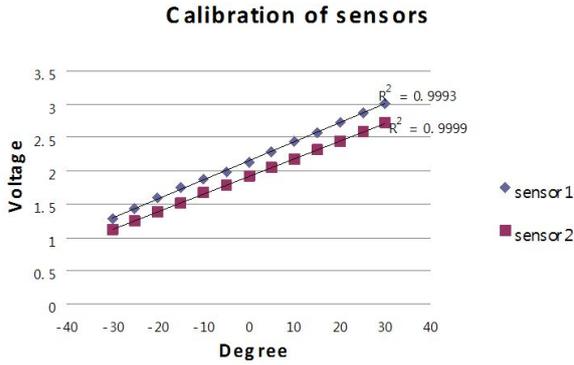


그림 46 각도계 캘리브레이션



그림 47 각도계 TL-100

7) 균평 제어 알고리즘

기울기 센서를 통해 얻은 값을 calibration을 통해 얻은 데이터를 이용하여 각도로 보정하였고 각 실험마다 반응속도의 차이점을 두고 센서자체의 심한 noise를 제거하기 위하여 sampling ratio 개념을 이용하여 sampling ratio가 각각 8, 16, 32, 64, 128일 경우의 데이터의 평균값을 추출하였다. 평균값을 사용함에도 불구하고 노이즈가 완전히 잡히지는 않았기 때문에 각각의 경우에서 최대값과 최소값을 제외한 나머지 값의 평균값을 데이터로 사용하였다. 비례제어 알고리즘을 사용했을 경우와 사용하지 않았을 경우 안정성의 차이를 알아보기 위하여 p_control이라는 변수를 선언하여 비례 제어일 경우와 비례제어가 아닐 경우를 구분 지었고 비례 제어를 사용할 경우에는 비례계수를 0.5, 0.75 두 가지 경우로 나누어 실험하여 최적의 안정성 요인을 분석할 수 있도록 하였다.

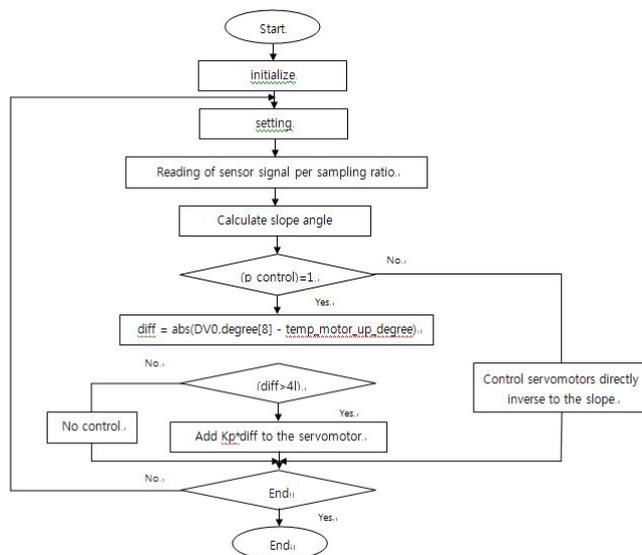


그림 48 균평 제어 플로우 차트

다. 주행 본체 제작

하드웨어의 구현은 차체조립 후에 위에서 소개한 재료들을 적절하게 구성하여 완성하였다. 차체상부에 판을 더 올려서 그사이에 차체바퀴모터의 동력선을 정리하였다. 그리고 그 판 위에 PCB를 깔고 그 위에 재료를 배치하였다. 서보모터는 2개를 차체 진행방향과 그에 90° 방향으로 교차하여 배치하였다. 2개의 서보모터 위에 부착한 판, 즉 제어대상이 서보모터 각 1개씩에 의해 제어되면 전후·좌우 방향으로 움직일 수 있고, 서보모터 2개를 동시에 구동할 때에는 모든 방향으로 움직이는 것이 가능해졌다. 설계상 제약으로 전후·좌우 방향에서 각각 -40°부터 40°까지의 가동 범위가 정해졌다. 원래는 PCB를 서보모터를 사이에 두고 차체 전체에 부착하였으나, 그럴 경우 서보모터의 진동으로 인한 센서의 흔들림을 야기할 수 있다고 생각하여 탈부착이 가능한 센서용 PCB를 별도로 제작하여 아래 그림과 같이 차체와 제어대상위에 각각 부착하였다. 탈부착이 가능하게 만들기 위하여 전원과 MICOM128에서 연결되는 전선을 별도의 기다란 PCB를 만들어서 차체 진행방향과 90도로 길게 부착하였다.

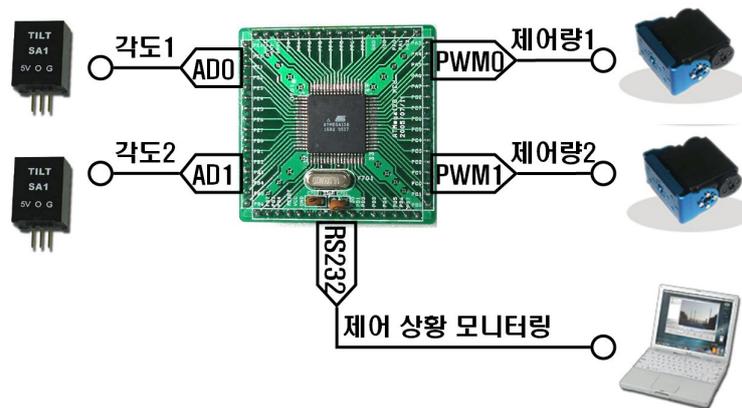


그림 49 균평 제어 시스템

바. 균평 제어 시스템 실내 반응속도 요인 실험

반응속도를 구하기 위한 실내 요인 실험이다. 그림 3-63과 같이 차체를 제자리에서 빠른 속도로 들어 올려서 차체에 급격한 각도 변화를 주었다. 이 때 자체 균평 제어시스템이 이러한 상황에 반응하여 목표 각도 값인 0도에 얼마나 빨리 수렴하는지를 알아봄으로써 비례제어 미 적용 시와 적용 시, 건본추출비율의 변화를 각각 적용 시에 따라 다른 결과를 얻을 것이라고 유추 해볼 수 있다. 즉, '각속도 = 각도변화량 / 시간변화량'이기 때문에 각각의 경우에 0°로 수렴하는 시간은 분명히 달라져야 하며, 이때의 각도를 확인하여 각속도, 즉 반응속도를 구할 수 있는 것이다. 이 때 달라져야할 조건은 비례 제어와 건본추출비율 이 두가지만 해당하므로 최대한 같은 힘과 같은 각도만큼 동일한 시간 내에 실험자가 개입하여 차체에 각도변화를 주

는 것이 관건이다. 오차를 줄이기 위하여 각각의 경우에 해당하는 많은 실험을 실행하여 평균을 구하도록 상의하였다. 1회 실험 당 15회씩 10번, 총 150회의 실험을 행하였다.

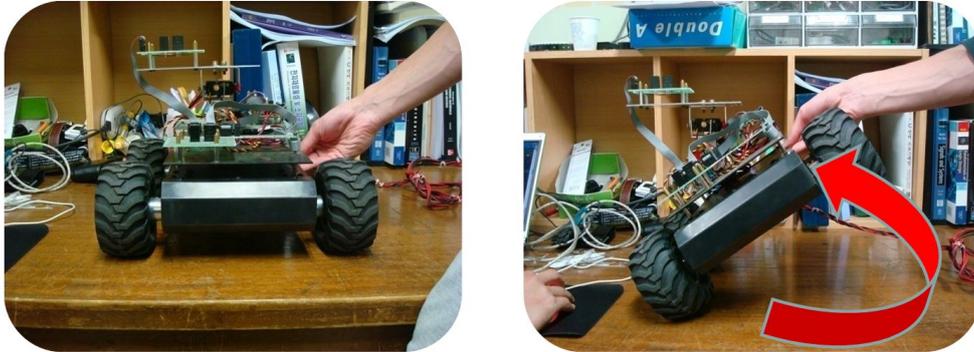


그림 50 반응 전과 반응 후의 차체 모양 (좌) 반응 전 (우) 반응 후



그림 51 기울기 변화를 가했을 때 상판과 하판의 제어각도 변화와 제어시간

사. 균형 제어 시스템 실외 실험

1) 제어대상의 RMSE 측정 실험

$$RMSE = \sqrt{\frac{(y - \hat{y})^2}{N}}$$

RMSE : Root Mean Square Error

y : Measured Value

\hat{y} : Measured Value by automated device

N : Number of experiment

RMSE는 위의 식과 같으며, 본 연구의 제어대상의 평가방법으로 사용하였다. 소형차체로 4.4 m 정도의 동일한 약 20도에 해당하는 완만한 경사지를 약 30초 동안 0.147 m/sec의 동일한 속도로 올라가게 하였다. 1회 실험 당 15회씩 4번, 총 60번의 실험이 행해졌다. 5개의 견본추출비율과 그에 해당하는 비례제어 미적용, 비례계수 0.5 적용, 비례계수 0.75 적용 총 15번의 실험이 각각 4번씩 이루어졌다. 실제로 실외의 풀밭, 낙엽, 흩날린 경사지를 주행하게 함으로써 본래 취지인 비도로 차량의 주행조건과 유사하게 구성하고자 하였다. 그림 3-7은 실험이 끝난 후 얻은 데이터를 이용하여 그래프를 만든 것이다. 붉은 색이 제어대상의 전후센서로 차체의 각도가 변함에 따라 같이 변하지만 대체적으로 0°의 위, 아래를 왕복하며 제어가 되고 있음을 알 수 있다.



그림 52 RMSE 측정 실험에 적용된 등판 경사 방향

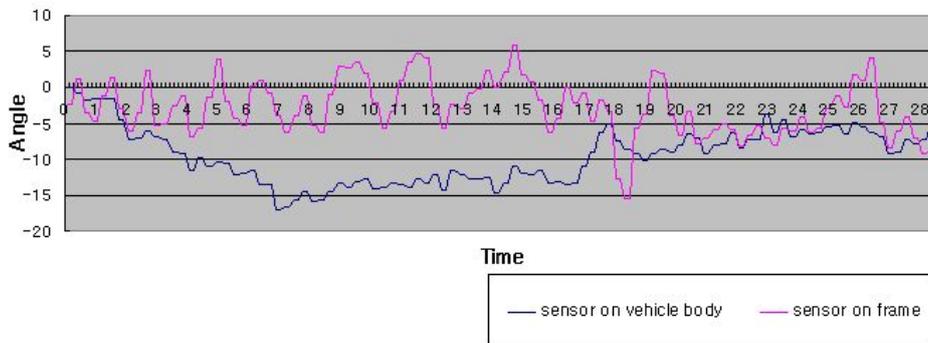


그림 53 RMSE 측정 실험에 반응하는 차체(하판)와 작업부(상판) 그래프 변화

2) 데이터 수집

실험 중 데이터의 실시간 확인은 물론 실험 후 데이터 정리를 손쉽게 하기 위해 일종의 툴을 프로그래밍을 통해 만들어 사용하였다. 차체에 장착된 마이크로 콘트롤러와 통신포트를 사용하여 사용자의 컴퓨터로 각도 값이 실시간으로 전송되도록 하였다. 그리고 이를 사용자가

눈으로 알아보기 편리하도록 차 그림과 모터 그림을 가지고 차체 각도가 기운 정도와 모터가 움직인 정도를 구현하였다. 동시에 로그인을 하면 각도 값, 즉 데이터 값을 텍스트파일에 날짜와 로그온한 시간까지 표시하여 저장이 되도록 하였다. 사용자는 차체를 구동하여 측정이 끝난 후, 데이터가 저장된 텍스트 파일을 가지고 손쉽게 분석을 할 수 있게 되었다. 또한 텍스트 파일이 날짜, 시간을 제목으로 하여 저장되기 때문에 데이터 관리가 수월하도록 개발하였다.

Log(20081011-170933).txt - 메모장

파일(F)	편집(E)	서식(O)	보기(V)	도움말(H)
4.000000	-6.000000	2.000000	-7.000000	
1.000000	-6.000000	1.000000	-6.000000	
1.000000	-6.000000	1.000000	-1.000000	
-1.000000	-3.000000	-1.000000	-3.000000	

그림 3-67 데이터 수집 예시

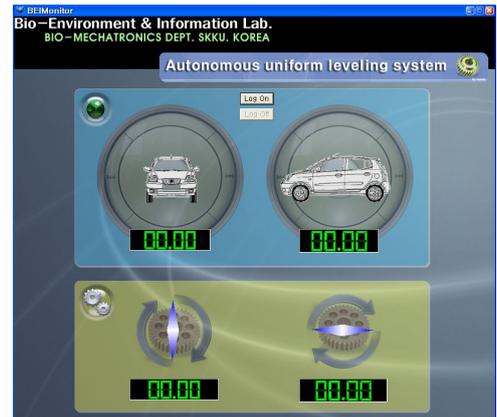


그림 54 데이터 수집용 소프트웨어

3) 작업부(상판) 센서 2개 추가 실험

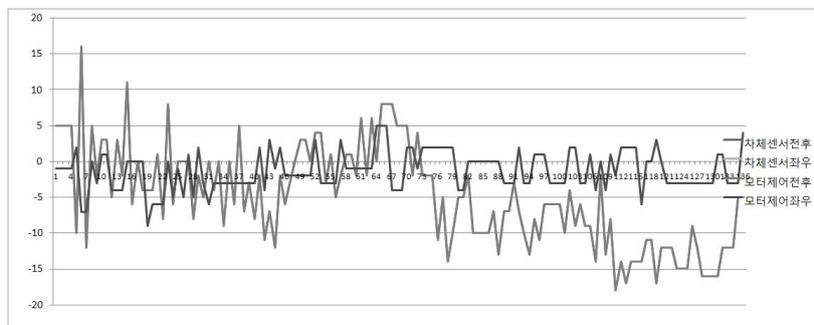


그림 55 작업부 추가 기울기 센서를 부착 후 실험 결과

최초 실험 단계에서는 SA-1 기울기 센서 2개를 차체에만 부착하였다. 센서 1개당 한축만의 기울기를 측정할 수 있기 때문에 전/후, 좌/우 마다 1개씩 총 2 개를 부착하였다. 차체의 기울기와 같은 정도로 반대의 값을 서보모터에 부여하여 실시간으로 평판(작업부)을 제어하였다. 그러나 이 경우 제어대상인 평판의 즉각적인 상태 파악이 어려웠기 때문에 센서 두 개를 추가로 부착하였다.

그림 3-70는 Soil-bin 실내 실험 수행 결과에 대한 그림이다. 초기(proto-type) 균평 제

어는 차체의 기울기와 비슷한 반대의 값을 서보모터에 부여하여 실시간으로 평판(작업부)을 제어하도록 하였다. 첫 주행 실험 장소는 soil-bin 실험실이었고 전체적인 토양의 기울기가 고르고 약 8 cm의 거리에 10° 가량의 경사가 있었다.

데이터 값을 살펴보면 평판은 지평선과 평행을 유지하려는 경향을 보이고는 있으나 센서 자체의 노이즈 값과 차량의 진동으로 인해 위의 그래프에서 나타나듯이 평판 전/후 및 좌/우 센서 값은 0°를 기점으로 최대 25°까지 진동하는 것을 볼 수 있었다. 이는 하드웨어적인 관점에서 보았을 때 평판에 부착되어 있는 2개의 센서가 기관과의 결속 불안정이 하나의 요인으로 생각할 수 있다.

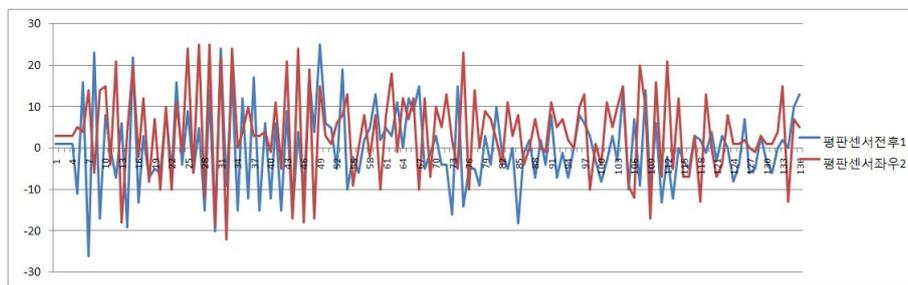


그림 56 추가 센서의 부착 후 실험 결과 그래프

4) 하드웨어적 결함 보강 및 보정식의 정정

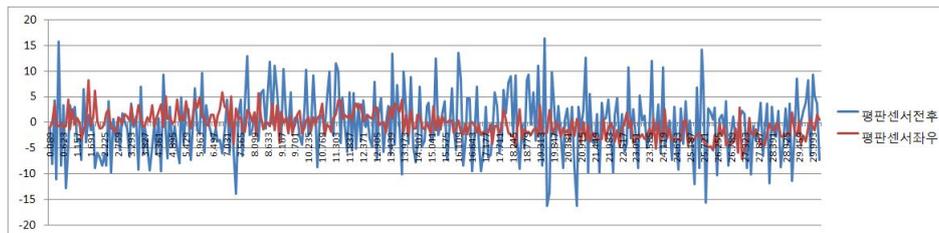


그림 57 센서의 추가와 더불어 차체의 보강 후 실험 그래프

다음과 같은 사항을 보정하여 실험장소는 기울기가 지평선과 확연히 차이가 나는 soil-bin 실험실 뒤 야지로 이동하였다. 노이즈 문제를 해결하고자 보다 좋은 Resolution을 가지고 있는 센서를 찾아보았으나 조사결과 현재 소지하고 있는 SA-1보다 더 나은 사양의 센서가 없었기 때문에 SA-1을 쓰는 대신에 하드웨어적인 결함 중 하나였던 센서의 유격을 줄이고 자 부품을 평판위의 PCB에 납땜으로 고정시켰다.

이전의 프로그램 상에서는 임의로 세운 보정식을 사용하여 센서의 전류 값을 각도 값으로 변환시켰다. 그러나 지난 실험에서 실제 각도보다 너무 큰 값이 그래프로 표현되는 현상을 분

석하여 단순히 센서의 노이즈뿐만 아닌 보정식의 문제점도 있는 것은 아닌지 고찰해보았다. SA-1의 사양 상으로는 $-60^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 를 0 v ~ 5 v의 범위의 데이터로 표출가능하다고 나왔으나 직접 조사해본 결과 0v 나 5v에 근사한 값이지 정확하게 일치 하지 않으므로 보정식을 실제 측정을 통해 얻은 값 사이로 조정하여 적용하였다.

지금까지의 변경사항을 토대로 재실험을 실시하였다. 그림 3-71을 살펴보면 평판센서의 진동과 RMSE 값이 전 실험에 비해서는 많이 감소하였음을 알 수 있다. 그러나 그래프를 분석하여 얻은 결과는 본래 목적이었던 차체와 반대 값이 모터에 전해지기는 하나 무척 빠른 속도로 대량의 데이터가 전달되기 때문에 모터에 불필요하게 많은 값이 전달되어 서보모터의 부정확한 움직임이 있을 수 있다고 판단하였다. 무엇보다도 센서 자체의 노이즈는 실험데이터에 너무 많은 영향을 주어 소프트웨어적인 조정이 필요하다.

5) Sampling ratio 이용

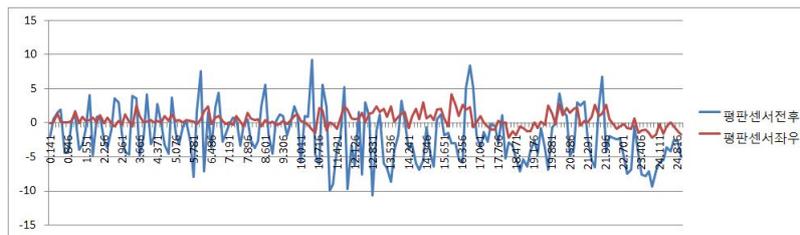


그림 58 Sampling ratio 8을 이용한 추가 실험

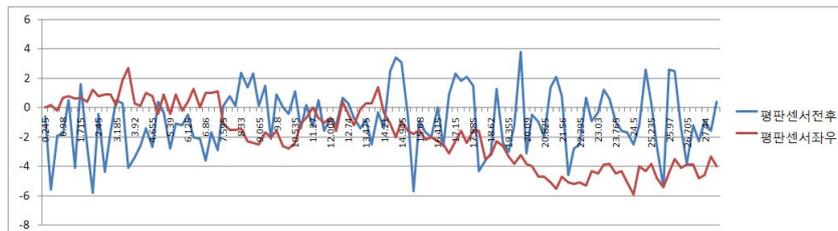


그림 59 Sampling ratio 16을 이용한 추가 실험

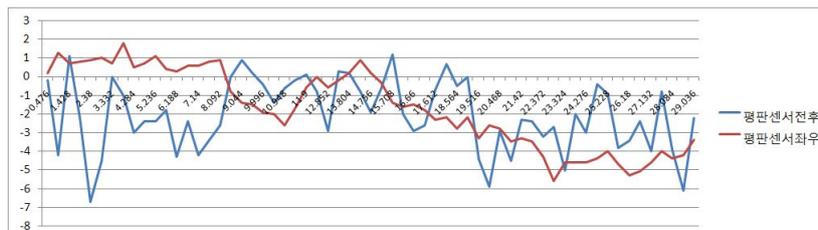


그림 60 Sampling ratio 32를 이용한 추가 실험

지난 실험에서 파악한 문제점을 해결하기 위하여 소프트웨어의 변화를 주었다. 센서 값의 변화가 크게 없음에도 불구하고 너무 자주 모터 값을 변화시킨다는 판단 하에 센서 값을 특정 범위 내에서 filtering 과정을 거쳐 모터로 전달하도록 하였다. 센서로 인한 오차를 고려하였을 때 2° 정도의 변화는 오차로 처리할 수 있다고 판단하여 센서를 통해 얻은 각도 값이 그 전 값과 2° 이상의 차이가 나지 않으면 이전의 값을 모터로 전달하도록 소프트웨어를 수정하였다. 또한 Sampling Ratio 개념을 도입하여 매회 받는 데이터를 8회, 16회, 32회 등의 데이터를 하나로 묶어 평균값을 하나의 데이터로 처리하여 시스템의 안정성을 증대시켰다. 부가적으로 노이즈의 보다 효율적 제거를 위하여 각 데이터 단위 내에서 최대값과 최소값을 배제하였다.

이런 식으로 sampling ratio 개념을 도입하여 여러 번의 실험을 수행 후 가장 최적의 조건을 충족시키고자 하였다. 여기서 최적의 조건이라 함은 모터의 반응속도와 제어부의 안정성 중 한쪽에 치우치지 않고 동시에 만족하는 적정의 조건을 말한다.

6) 비례제어의 적용

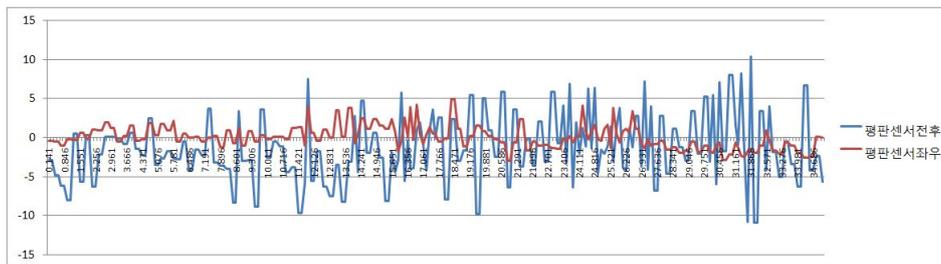


그림 61 비례 계수 0.5를 이용한 추가 실험 그래프

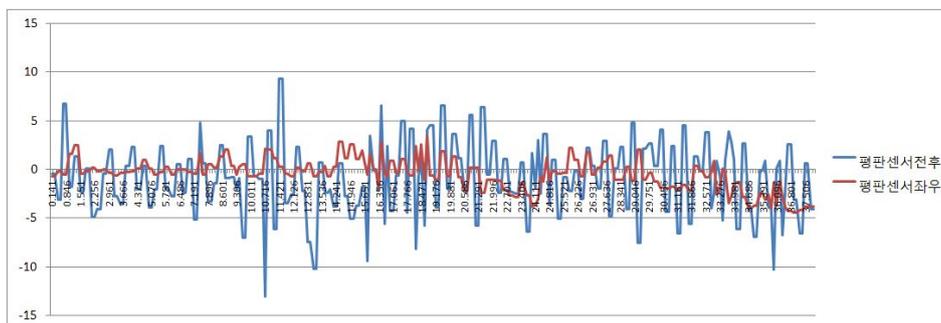


그림 62 비례 계수 0.75를 이용한 추가 실험 그래프

Sampling ratio 개념을 도입함으로써 센서 값을 지형에 따라 비교적 안정적으로 얻을 수 있었다. 이번 실험부터는 제어공학적 관점에서 상황이 급변할 때마다 그에 상응하는 제어가 필요하도록 조건을 조절해 보았다. 센서 값이 안정되었다고는 하나 그 값에 상응하는 모터 값을

직접적으로 주는 것은 비도로 지형같이 갑작스런 지형의 기울기 변화가 있을 때 제어부를 움직이는 모터가 원하는 목표 값에 도달하는데 오차가 생겨 결과적으로 RMSE 값이 커짐을 알 수 있었다. 이에 제어기법 중 하나인 비례제어(proportional control)를 도입하였다. 비례계수를 0.25, 0.5, 0.75 등으로 나누어 실험을 실시하였다. 비례계수가 1일 경우는 앞에서 했던 것처럼 센서 값을 곧바로 모터에 전달하여 움직이는 경우에 해당된다.

아. 균형 제어 시스템 실외 실험 결과 및 고찰

1) 반응속도 실험 결과

표 17 다양한 조건에서의 반응속도 표

			1	2	Sum	Average	R e s p o n s e Velocity
No Proportional	8	time	0.99	0.99	1.98	0.40	31.76
		angle	26.00	36.80	62.80	12.56	
	16	time	1.23	1.23	2.45	0.49	28.04
		angle	33.80	35.00	68.80	13.76	
	32	time	1.90	1.90	3.81	0.76	16.68
		angle	36.30	27.20	63.50	12.70	
	64	time	3.03	3.03	6.06	1.21	8.23
		angle	24.90	25.00	49.90	9.98	
	128	time	6.63	6.63	13.26	2.65	3.51
		angle	21.20	25.30	46.50	9.30	
Proportional (0.5)	8	time	0.99	0.99	1.98	0.40	35.66
		angle	35.00	35.50	70.50	14.10	
	16	time	1.23	0.74	1.96	0.39	30.72
		angle	37.20	23.10	60.30	12.06	
	32	time	1.90	1.90	3.81	0.76	9.46
		angle	15.00	21.00	36.00	7.20	
	64	time	4.04	4.04	8.08	1.62	5.80
		angle	28.30	18.60	46.90	9.38	
	128	time	6.63	6.63	13.26	2.65	3.32
		angle	25.30	18.70	44.00	8.80	
Proportional (0.75)	8	time	0.71	0.71	1.41	0.28	31.58
		angle	24.80	19.80	44.60	8.92	
	16	time	1.47	1.47	2.94	0.59	23.54
		angle	35.10	34.20	69.30	13.86	
	32	time	1.90	1.90	3.81	0.76	16.31
		angle	31.60	30.50	62.10	12.42	
	64	time	4.04	4.04	8.08	1.62	5.01
		angle	17.10	23.40	40.50	8.10	
	128	time	6.63	6.63	13.26	2.65	3.32
		angle	25.30	18.70	44.00	8.80	

표 17은 실시한 반응속도를 알기 위한 요인 실험의 결과이다. ‘각도변화량 / 시간변화량 = 각속도’ 이므로 그에 상응하는 결과로써 비례계수 0.5를 사용한 비례제어의 조건과 견본추출비율(sampling ratio)이 8의 조건을 갖는 실험에서 $14.10 / 0.40 = 35.66$ (radian/sec)의 값으로 다른 실험과 비교하여 가장 빠른 반응속도를 갖는다는 것을 알 수 있었다. 그림 3-77는 수치를 꺾은 선 그래프로서 나타낸 것이다.

반응 시간

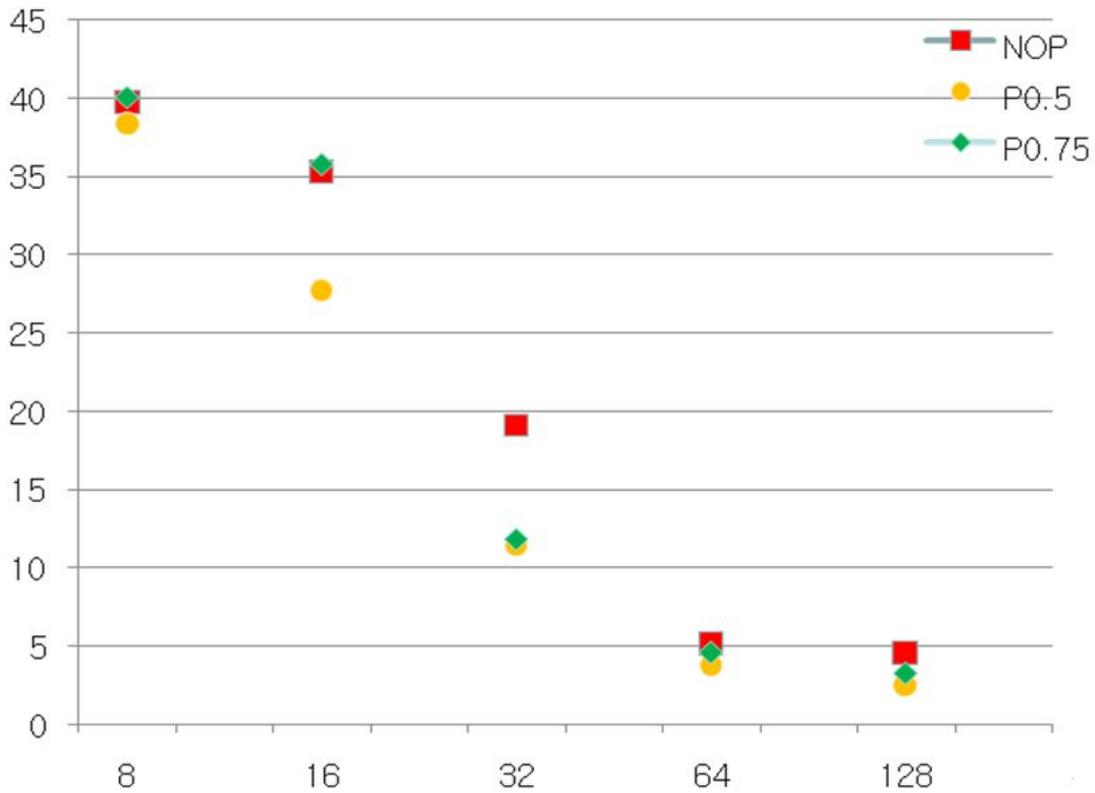


그림 63 다양한 조건에 따른 반응속도 그래프

2) 제어대상 RMSE 실험 결과

Soil-bin 실험실 뒤쪽의 언덕을 실외 실험장소로 사용하여 얻은 제어대상의 목표 각도 값에 수렴하는 정도의 오차를 표 3-28과 그림 3-78로 표시하였다. RMSE를 구하는 수식은 아래와 같다. 여기서 y 는 제어대상의 각도 값에 해당한다. 우리의 전제를 따른다면 이 값은 0에 가까워져야 한다. \hat{y} 는 제어대상의 목표 각도 값, 즉 0° 에 해당한다. N번의 실험을 수행하였을 때 제어대상과 그 목표 각도 값과의 RMSE 값은 제어대상이 0° 와 가까우면 가까울수록 오차가 적은 것이기 때문에 RMSE 값이 가장 적은 제어조건이 오차가 가장 적은 것임을 알 수 있다. 그림 3-78을 보면 비례제어를 적용한 경우와 적용하지 않은 경우 전반적인 오차가 전자보

다는 후자에서 크게 줄었음을 알 수 있다.

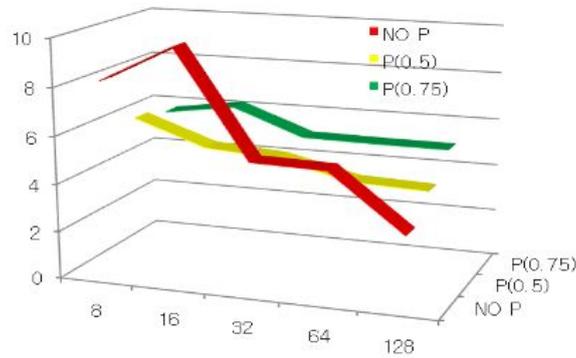


그림 64 다양한 조건에서의 RMSE 값 그래프

표 18 다양한 조건에서의 RMSE 값

	Sampling Ratio	RMSE
No Proportional	8	8.22
	16	9.75
	32	5.35
	64	5.27
	128	2.95
Proportional(0.5)	8	6.07
	16	5.02
	32	4.81
	64	4.08
	128	3.96
Proportional(0.75)	8	5.75
	16	6.18
	32	5.06
	64	5.01
	128	5.00

3) 제어의 최적 값(결과 분석)

최적의 제어값은 반응속도가 가장 빠르고 RMSE 값은 가장 작은 것이다. 수식으로 나타내면 최적의 제어값 = 반응속도/RMSE 이며 표 3-29에서 보면 알 수 있듯이 견본추출비율 (sampling ratio)의 값이 8이고 비례계수가 0.5로 비례 제어에 사용될 때의 값이 $5.84 = 35.50 / 6.07$ 로 가장 큰 값이 나와서 우리의 조건을 충족시키는 제어의 최적 값이라고 말할 수 있다. 그림 3-79은 반응속도 / RMSE 의 값을 3차원 그래프로 나타내어 보았다. 앞에서부터 뒤로 비례제어 미적용, 비례계수 0.5의 적용, 비례계수 0.75의 적용 그래프이며 가운데 그

래프에서 가장 왼쪽 부분, 즉 견본추출비율이 8인 결과 값이 가장 크다.

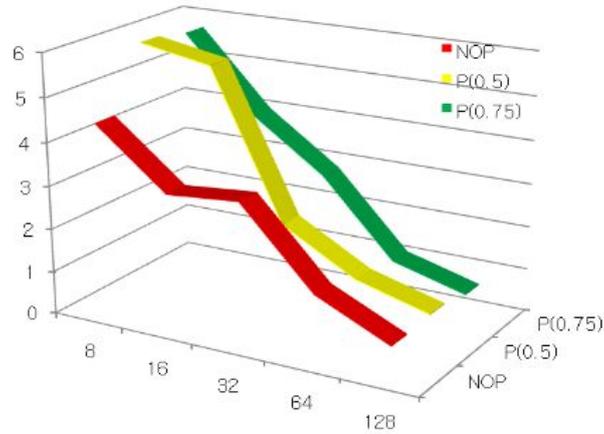


그림 65 다양한 조건에서의 반응속도/RMSE 값 그래프

표 19 다양한 조건에서의 반응속도/RMSE 값

	Sampling Ratio	Response Velocity	RMSE	Response Velocity/RMSE
No Proportional	8	36.40	8.22	4.43
	16	30.32	9.75	3.11
	32	17.39	5.35	3.25
	64	7.97	5.27	1.51
	128	3.82	5.27	0.72
Proportional (0.5)	8	35.50	6.07	5.84
	16	27.87	5.02	5.55
	32	10.51	4.81	2.19
	64	5.09	4.08	1.25
	128	3.11	3.96	0.78
Proportional (0.75)	8	32.78	5.75	5.70
	16	24.63	6.18	3.99
	32	14.31	5.06	2.83
	64	5.44	5.01	1.08
	128	3.11	5.00	0.62

4) 요약 및 결론

자동 균평 제어시스템을 구현해보고자 소형으로 비도로 차량에 접목시켜 보았다. Micro Controller Unit인 ATmega 128을 통해 RS232 시리얼 통신을 통한 데이터 송수신이 PC와 Micro Controller Unit사이에 이루어져서 실시간으로 기울기 센서에서 얻은 데이터를 수집하고 확인할 수 있었다. 여기에 비례 제어이론을 C 언어로써 구현하여 앞에서 얻은 데이터 값을 입력 값으로 사용, 차체에 장착한 서보모터를 통해 전후좌우 어느 방향으로도 평판 제어가 가

능한 시스템을 개발해 보았다. 추후 수확기에 적용될 액추에이터는 유압 또는 힌지를 이용한 방식으로 더 내구성을 높인 차량이 되도록 보장 하여야 한다. 반응속도 측정 실험과 제어대상의 오차 실험을 통해 현재 구현된 소형 차량의 기본 조건에서 얻을 수 있는 최적의 제어 조건을 찾아보았다. 반응속도가 빠르면서 RMSE 값이 가장 작은 값일 때 최적의 제어값이 됨을 실험을 통해 확인 하였다. 이는 반응속도 / RMSE의 값이 가장 큰 수치 일 때 이므로 위의 표 3-29를 통해 ‘반응속도 / RMSE = 5.84’ 임을 알 수 있다. 즉, 비례 계수 0.5와 sampling ratio 8을 적용 했을 때 이다. 그러나 작업자의 안전 또한 생각해야 됨으로 너무 빠른 반응속도는 최적의 제어값이 아님을 인지하여야 한다.

4. 시작기의 경사지 적응력 향상을 위한 균평 제어 시스템의 제작 및 성능평가

가. 제어 시스템 설계를 위한 시작기 각도 제어 및 진동 분석

1) 계측 시스템 제작

감자 수확기에서 발생하는 기계적 진동이 균평 제어에 끼치는 영향 분석하기 위하여 3축 가속도 센서와 각도 센서로 구성된 계측 시스템을 제작하였다.

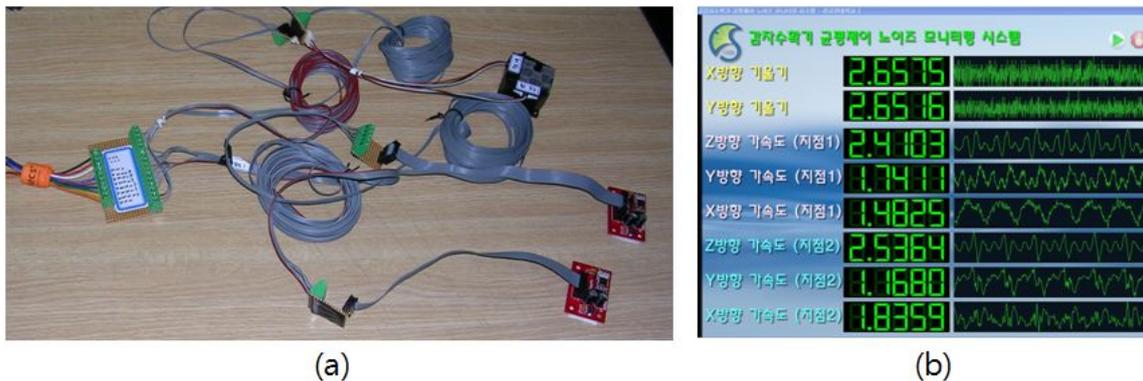


그림 66. 가속도 및 각도 측정 수집 장치 및 프로그램 (a) 수집장치 (b) 프로그램

본 계측 시스템에서 사용된 각도 센서는 균평 제어 시스템에 사용된 각도 센서와 동일한 사양이며 3축 가속도 센서는 X, Y, Z 방향의 가속도를 1 kHz의 샘플링 비율로 측정 할 수 있다. 시작기의 전면에서 후면으로 향하는 방향을 X 방향으로, 측면을 가로지르는 방향을 Y 방향으로, 하부에서 상부로 향하는 방향을 Z 방향으로 설정하였다. X, Y 방향의 각도를 측정할 수 있는 센서 2식과 2지점의 가속도를 측정할 수 있는 가속도 센서 2식을 사용하여 계측 시스템을 구성하였으며 계측 값을 실시간으로 PC에 저장하기 위한 계측 소프트웨어를 제작하였다.

2) 시작기 각도 제어 및 진동 분석

감자 수확기 시작기의 각도 제어 및 진동 특성 실험을 수행하기 위하여 계측 시스템을 그림과 같이 설치하였다. 균형 제어의 대상이 되는 정선부에 가속도 센서 1식과 각도 센서 2식을 설치하였다(그림 81-(c)).

진동 발생의 가장 큰 요인이 되는 엔진 부위(그림 67(d))에 가속도 센서 1식을 설치하였다. 이와 같이 설치된 계측 시스템을 이용하여 초당 1000 회의 데이터를 저장하여 진동 신호와 각도 신호의 관계를 분석하였다.

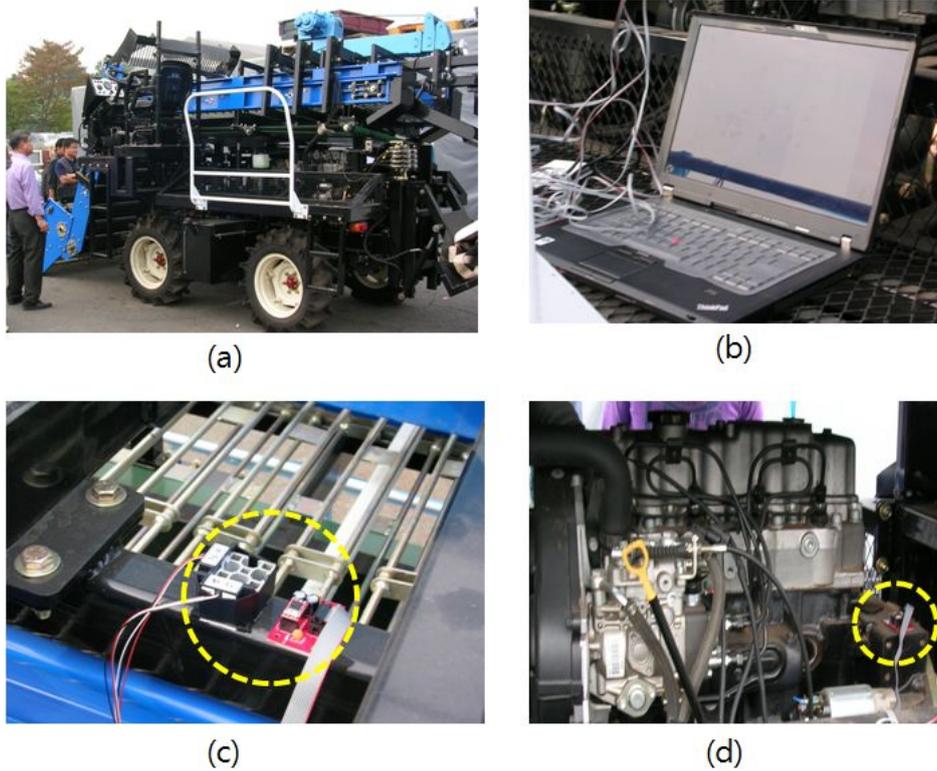


그림 67. 계측 시스템 설치 (a) 시작기 (b) 데이터 수집 장치 (c) 각속도 및 각도 센서 (d) 가속도센서

계측 시스템의 작동 성능을 파악하기 위한 예비 실험을 수행하였으며 다음 그림과 같이 각도 센서 및 가속도 센서의 값을 확인할 수 있었다.

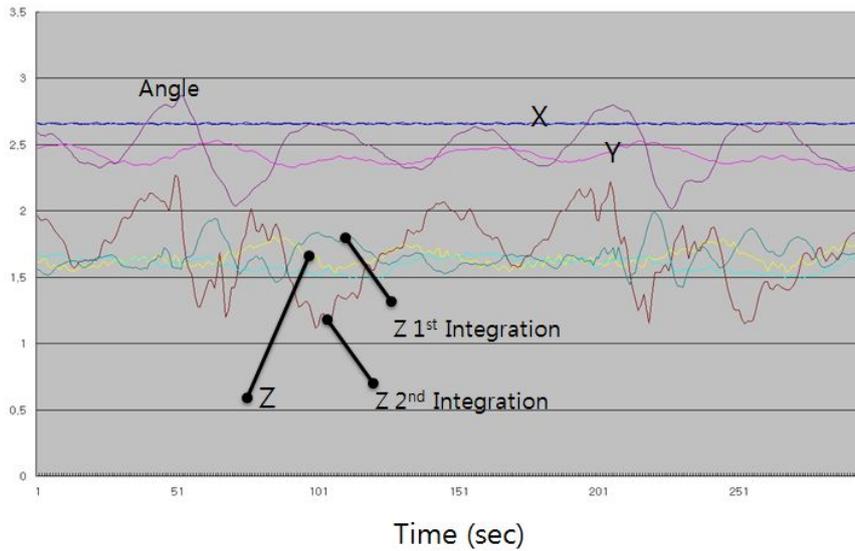


그림 68 각/가속도 센서의 계측값 및 1차-2차 적분 그래프

그림 68은 정선부에 설치된 각도 센서와 가속도 센서의 계측 값을 도시한 것이다. 추가로 Z 방향 가속도 계측 값에 대하여 1차 적분 및 2차 적분을 동시에 도시하였다. X, Y 방향의 가속도 신호는 계측 시스템에서 발생하는 화이트 노이즈 이외의 성분이 발견되지 않았으며 Z 방향 가속도 신호의 2차 적분 값이 각도의 변화를 반영하고 있는 것으로 판단이 되었다.

시작기의 진동 특성이 균형 제어에 미치는 영향을 분석하기 위하여 각기 다른 운전 조건을 요인으로 하여 실험을 수행하였다. 무 부하에서 정상 운전을 하는 경우와 최고 RPM 조건에서 제어를 수행한 경우에 대하여 엔진 부위의 가속도 신호와 정선부의 가속도, 각도 신호를 계측하였다.

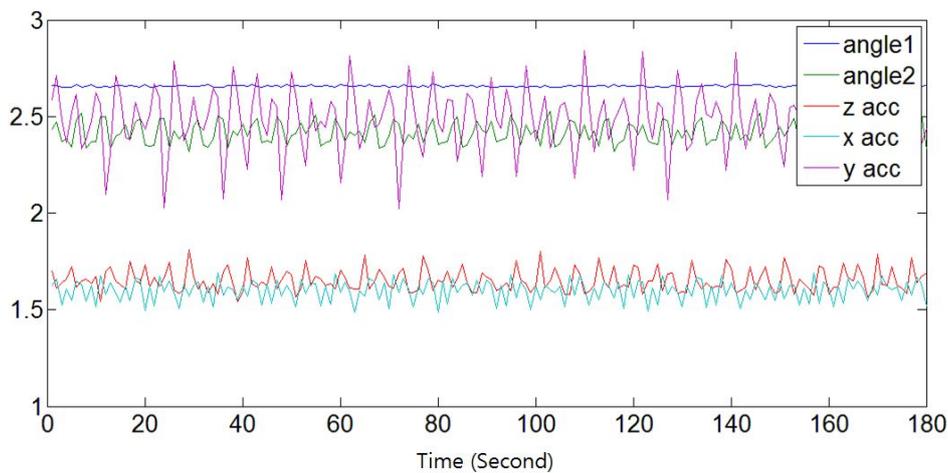


그림 69 무부하시 각도 및 가속도 계측 그래프

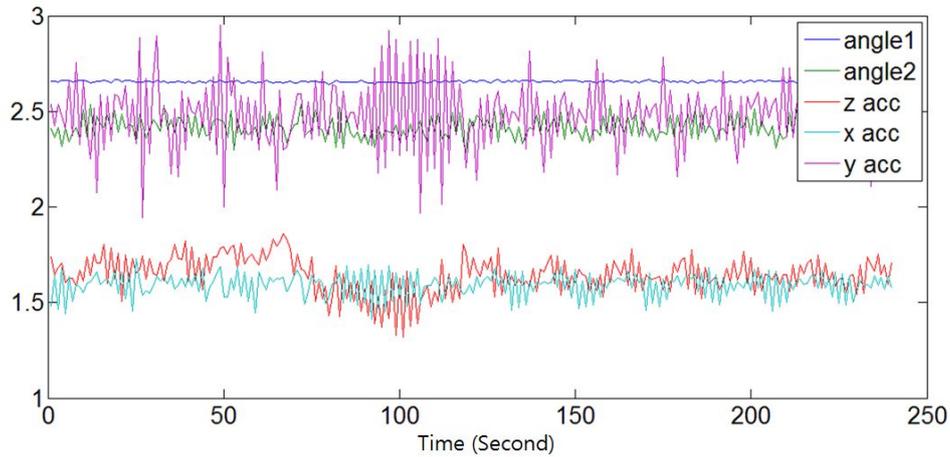


그림 70 최대 RPM 운전 조건시 각도 및 가속도 계측 그래프

무 부하 운전 조건과 최대 RPM 운전 조건에서 동일하게 시작기의 엔진에서 발생한 진동으로 인한 주기 신호가 발견이 되었다. 분석 결과 운전 조건과 무관하게 엔진에서 발생한 진동이 크기의 변화 없이 균평 제어부에 전달이 됨을 확인하였다. 상대적으로 Y 방향의 진폭이 큰 이유는 시작기에서 발생하는 진동의 특성에 기인한 것으로 판단되었다. 즉, 시작기의 엔진에서 발생하는 진동의 주성분은 X, Z 방향이 아니라 Y 방향임을 의미하는 것이라고 볼 수 있다. 그러나 진동의 크기가 크에도 불구하고 각도의 변화에 영향을 받는 성분은 Z 방향만이 영향을 받고 있으며 X, Y 방향의 진동의 중심은 변화가 없음을 확인하였다. 즉, 시작기의 진동 및 센서의 특성에 기인한 고주파 영역의 주기 신호가 존재하고 있으나 각도 신호와 상관성을 가지는 신호는 Z 방향 가속도 성분임을 확인 할 수 있었다.

결론적으로 시작기에서 발생하는 진동에 대한 적절한 노이즈 필터링을 수행한다면 정선부에 각도 계측에 끼치는 영향을 최소화 할 수 있다고 판단하였다. 아울러 균평 제어 시스템의 안정성 향상을 위하여 이러한 고주파 영역의 주기 신호를 제거할 필요성이 제기 되었다. 이를 위하여 주파수 필터링을 수행할 수 있는 신호 처리 기법을 제어 시스템에 도입할 방안을 마련 하였다.

3) 주파수 필터링

본 연구에서는 주파수 필터링을 수행할 수 있는 신호 처리 기법 중 Fourier Transform (FT)를 사용하였다. 신호의 대부분은 전 시간 영역에 걸쳐 있고 비주기적이며, Fourier에 급수로는 비주기적 함수의 스펙트럼을 계산에 부적합하다고 알려져 있다. 따라서 비주기적인 신호의 스펙트럼을 계산하기 위한 방법이 Fourier 변환을 사용하고 있다. Fourier 변환이란 Fourier의 급수의 적분형태로 변화 시킨 것인데 주기가 무한대이므로 기본 주파수는 0으로 수

럼한다. 즉, 이는 시간이나 공간상에서 얻어진 자료를 주파수 또는 파장의 함수로 변환시켜주는 역할을 하는데 연속시간 신호이지만 주기적인 신호와 비주기신호가 혼합된 신호 분석을 위해서 사용되고 있다. Fourier 변환식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)e^{-j2\pi ft} dt$$

Low Pass Filter는 특정 주파수 대해 낮은 주파수 성분은 통과시키고, 높은 주파수 성분은 차단시키는 필터이며 LPF라고 줄여서 쓴다. High Cut Filter 와 동일하게 사용된다.

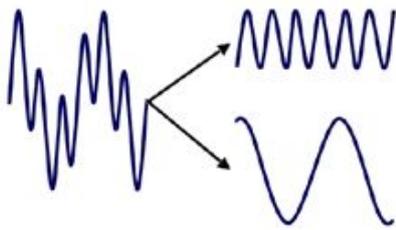


그림 71 주파수 필터링을 이용한 신호 및 주파수 분리 예

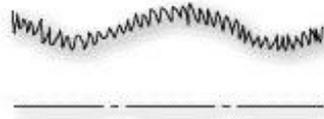


그림 72 LPF 적용 전 신호

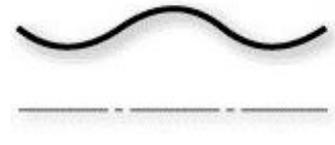


그림 73 LPF 주파수 적용 후 신호

아래의 그래프는 시간영역에 응답 특성을 가용범위 좌/우측의 최대각과 균평 위치 가속도 센서 ADC값을 표시한 그래프이다.

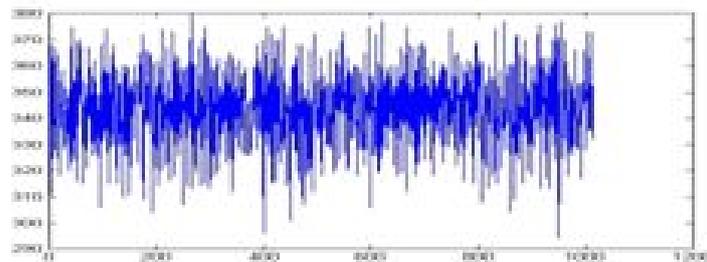


그림 74 시간영역에서 응답 특성

위 그래프의 Y축의 양수는 우측으로 기울어진 상태이고 음수는 좌측으로 기울어진 상태를 의미한다. 시간영역에서 응답 특성을 분석한 결과는 차량의 엔진에 의한 작업부의 롤링현상으로 인해 좌/우 측의 균평 판단이 어려웠다.

응답에 대한 노이즈 제거를 위해 아래와 같이 주파수 필터링을 이용하였다. 사용된 필터는 Low Pass Filter를 사용 하였다.

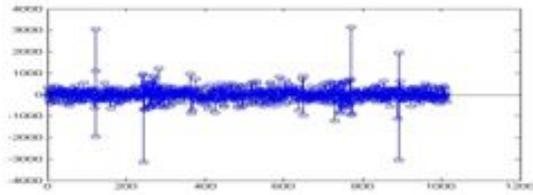


그림 75 주파수 영역에서 응답 특성

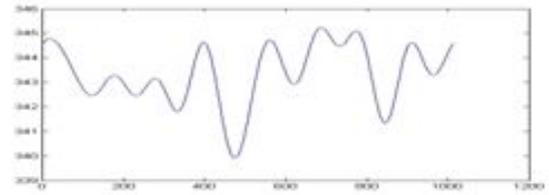


그림 76 주파수 필터링을 이용한 노이즈 제거

나. 작업부 균형 제어 시스템 설계

본 연구에서는 감자 수확기에 직접 부착하여 제어할 수 있는 시스템을 제작하였다. 차량에 MICOM 128을 연결하여 AVR Studio이라는 프로그램을 통한 프로그램의 이식을 용이하게 하고 ATmega 128에서 제공하는 UART와 RS-232포트를 연결하여 PC와의 시리얼통신을 가능하게 하였다. 그래서 실시간 데이터 처리를 가능하게 하였을 뿐 아니라 각도 센서와 가속도 센서를 사용하여 아날로그 값을 입력 받아서 디지털 값으로 출력하여 제어대상인 모터제어가 가능하게 하였다. 따라서 3상 스위치를 연결한 컨트롤 박스를 제작하여 차량의 좌우방향 자동 제어와 수동제어가 가능하게 하였다.

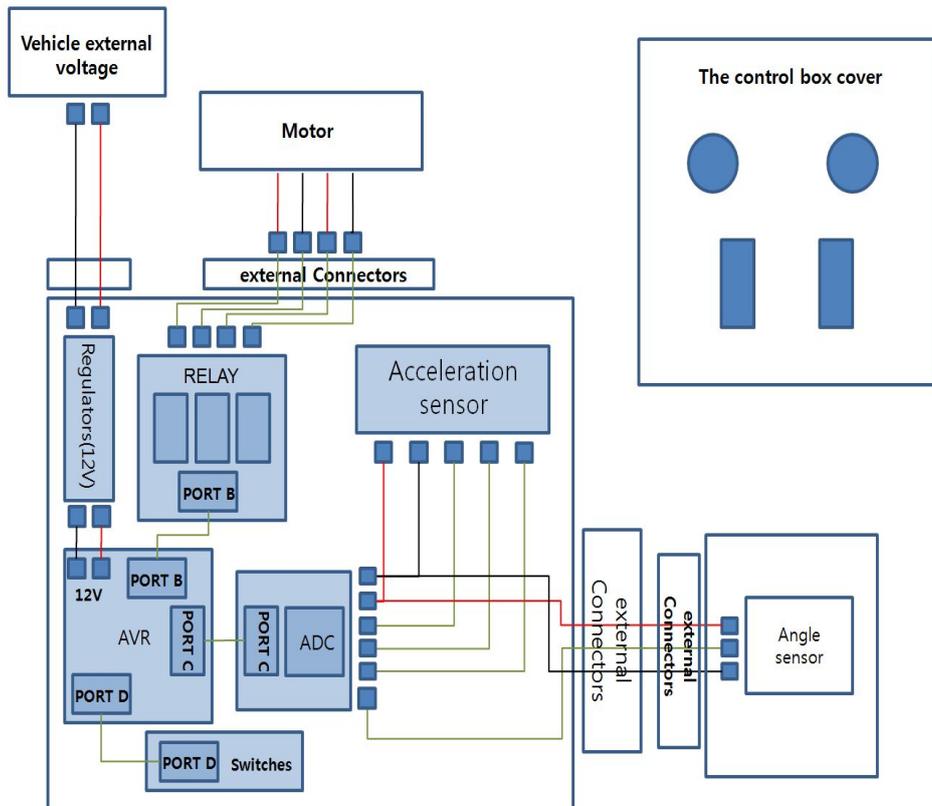


그림 77 균형 제어시스템 회로도

다. 작업부 균평 제어 시스템 제작

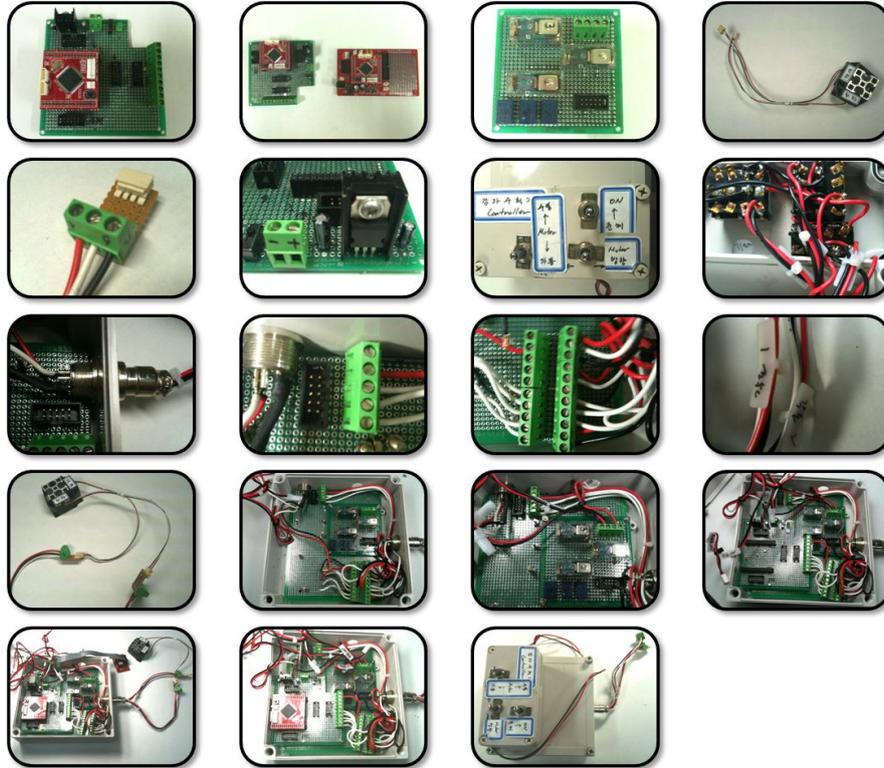


그림 78 균평 제어 시스템

그림 78은 균평 제어시스템의 모습이며, 표 20은 균평 제어 시스템의 제원이다.

표 20 시스템 제원

Length (mm)	1800
Width (mm)	1800
Height (mm)	1400
Weight (kg)	2.7
Outside Voltage (V)	12
Inside Voltage (V)	5
Electric current (A)	15

라. 작업부 균평 제어 시스템 중요 구성 부품

비도로 차량용 트랙터 자동 균평 제어 시스템에 사용한 구동부, 계측부 및 통신부 부품의 사양은 다음과 같다.

1) 마이크로 컨트롤러

ATmega128은 ATmega 계열에 속하는 소형 MCU 칩셋으로 고성능 저전압의 AVR로 5V전압에서 동작하며 8비트 마이크로 컨트롤러를 지칭하는 칩의 모델 번호로 AM-128PRO 등의 코어 파트와 AB-M128-B 등의 개발 보드의 메인칩으로 쓰이며 가속도센서와 각도센서를 제어하는데 있어 핵심 칩이다.

MCU는 특정 기능만 수행하면 되는 전자 제품에 등에 많이 사용되는 것으로 Micro controller unit의 약자이며 하나의 칩 안에 다양한 장치들이 있어 대부분의 기능을 수행 할 수 있는 칩을 의미한다.

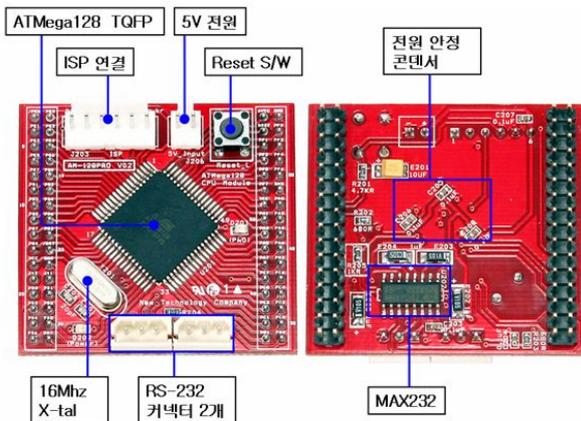


그림 79 ATmega128 코어 모듈



그림 80 ATmega128 핀 구성회로도

본 연구에서 차량의 자동 균형 제어 시스템의 개발을 위해서 ATmega family에 속하는 소형 MCU칩셋으로 MICOM128과 RCM!28 등의 메인칩으로 쓰인다. MCU란 컴퓨터와 같은 범용프로그램이 아닌 특정기능만 수행하면 되는 전자제품에 사용되는 것으로 Micro Controller Unit이다. 이는 비도로 차량의 제어부의 코어(Core) 모듈이며 내부 플래시 256K 바이트, 내부 RAM 32K 바이트, 2줄의 2.54 Header Pin이 양쪽으로 32핀씩 배치되어 있고, MAX232 내장으로 RS232 통신이 가능하며, 프로그램 다운로드용 ISP 연결 포트 등의 사양을 갖춘 모듈이다. 크기는 47mm x 47mm이다.

2) 가속도 센서(Acceleration Sensor)

가속도 센서 테스트 모듈은 AM-3AXIS(3축 XYZ축 측정) 모듈을 연결하여 AVR 보드와 연결하여 X, Y, Z축을 테스트 할 수 있다. 자체 3.3V 레귤레이터를 내장하여 5V 전압 입력만으로 동작 시킬 수 있다. 10Pin Header Box 커넥터로 연결되어 AVR 보드를 연결하여 편리하게 사용 할 수 있는 모듈이다. 가속도 센서의 출력 신호는 아날로그 값으로 X_데이터, Y_데이터, Z_데이터 커널로 각각 X축 Y축 Z축으로의 가속도 값을 출력하게 된다.

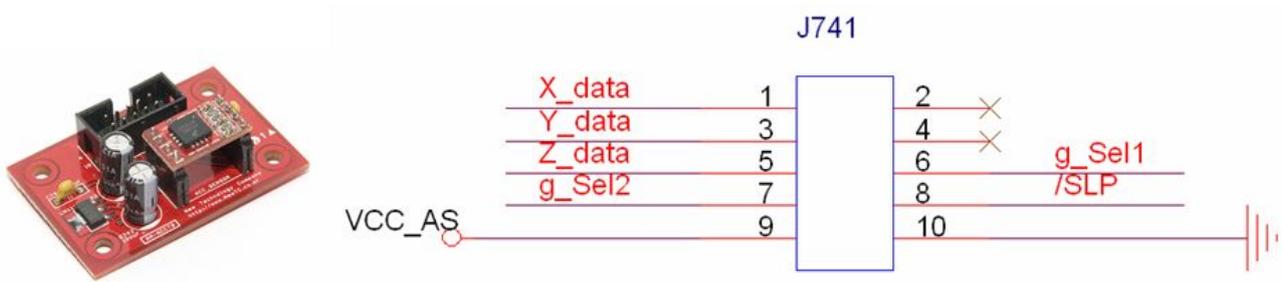


그림 81 가속도 센서 모습 및 회로도 (Model : AM-3AXIS-P)

가속도 센서를 실제 트랙터에 적용하기 위해서는 반드시 보정 작업이 필요하다. 값의 각도변환을 위한 Calibration 작업을 실시하였다.

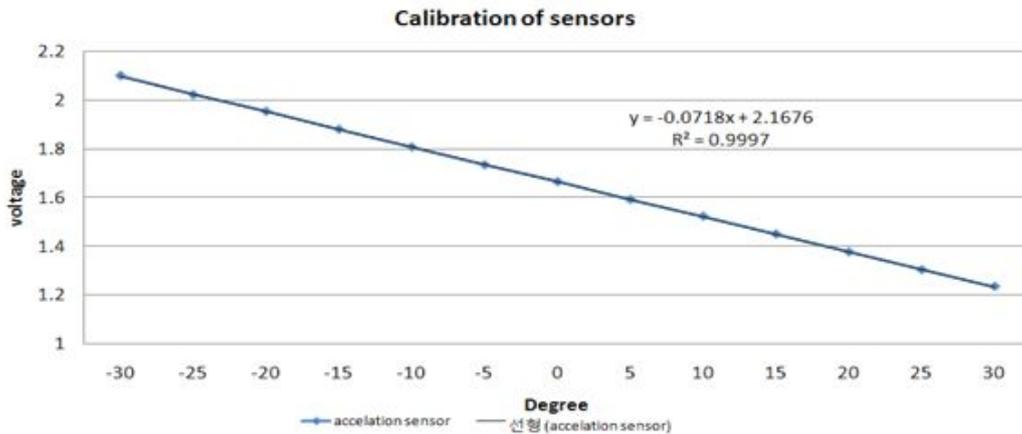


그림 82 가속도 센서 보정 그래프

가속도 센서가 보내는 센서 값은 ATmega128의 Input ADC resolution 10bit을 통해 0~1024 사이의 어떤 값을 통해 나타나게 되는데 이 값을 전압으로 변환시키면 정확히 0~5V를 나타낸다고 가정했을 때 변환되는 식은 $(\text{Bit Value}/1024) \times 5$ 이다. 이때 센서의 각도변화와 ADC에서 출력한 값과의 관계를 비교하면 센서의 0°값은 ADC에서 340이었으며 1°당 ± 3 씩 좌우로 변화였다. 하지만 인위적으로 센서의 위치를 매번 놓을 때 마다 위치가 변화하여 ADC값이 변화는 것을 볼 수 있었다. 따라서 본 연구에서는 초기 조건을 ADC 측정값 340에 맞추어 실험 하였다. 본 실험에서 보정은 DC 모터와 전압 값에 관계하여 나타나는 정확한 각도 값을 알아내기 위하여 정밀각도계를 이용, $\pm 30^\circ$ 의 범위 내에서 5° 단위의 각도변화를 통해 나타나는 전압 값을 측정하였다. 좀 더 정밀한 추정을 위해 같은 각도에서 나타나는 전압 값을 10회 측정하여 평균값을 사용하였다. 각도의 보다 정밀한 추정을 위해 아래의 그림에서 나타난 정밀 각도계를 이용하여 매번 각도를 측정하였고 전후방향과 좌우방향에 대해서 따로

Calibration을 실시하였다.

마. 각도센서(Angle Sensor)

Das의 전자식 기울기센서는 매우 고정도의 각도측정센서이다 본 센서는 집적회로가 내장된 전자식 액체충전 방식으로 설계되었으며 뛰어난 정밀도, 우수한 S/N비, 장시간 사용해도 변하지 않는 매우 안정된 성능을 갖고 있다. 또한 제품의 크기가 소형이고, 자체 브래킷이 설치되어 X축 또는 Y축으로의 설치가 용이하며 강도 높은 플라스틱케이스에 방수처리 되어 있어 가혹한 환경에서도 적용할 수 있는 특징이 있다. 또한 실제 감자수확기의 경우 좌우로 최대로 8도씩 움직이기 때문에 분해능이 0.01도인 (Model : DAS M3)을 사용하였다.

표 21 각도센서 제원

Measuring range	±70°
Resolution	<0.01 degrees
Non-Linearity	<0.2% FS
Transverse Sensitivity	<1% at ±70°tilt
Response time	<0.3 second
Power supply (Regulated)	5 Vdc
Current consumption 5V	<1 mA
Operating Temperature	-40 to .. +85°C
Weight	approx. 22 g
Sensitivity	approx 2.5mV/°
Zero offset at 5V	2.5±0.1 Volt
Temperature Drift of sensitivity	-0.12%/K
Temperature Drift of Zero	±0.025mV/K
output Impedance	10 kOhm
200 mm long approx. Φapprox 1.0 mm	

바. 레귤레이터(Regulator)

LM7805의 기능은 전류를 일정하게 +5v로 전압을 일정하게 출력시키는 기능으로 1번 입력에서 정류된 직류전원이나 일반 직류전원이 들어가서 3번 출력으로 5v의 전압이 일정하게 인가된다. 최소전압 7v, 최대전압 15v가 인가되어야한다.

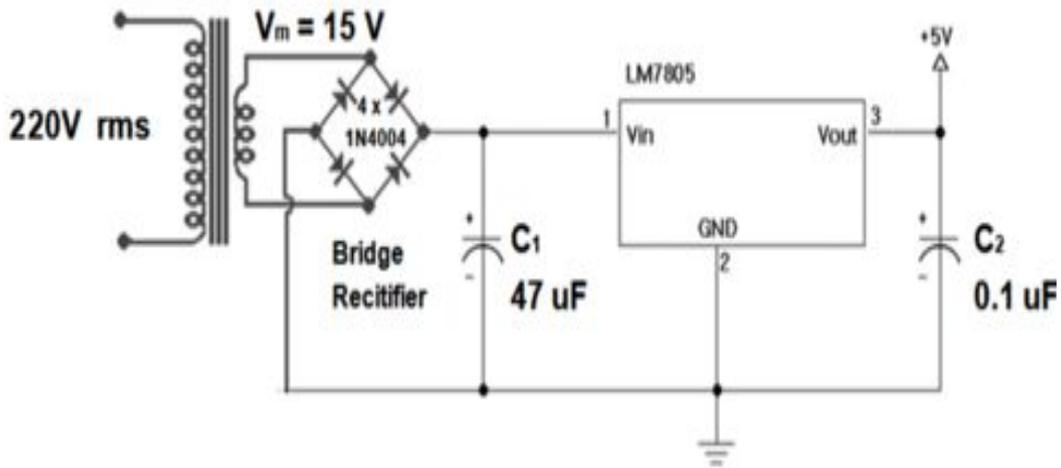


그림 83 레귤레이터 개요도

표 22 레귤레이터 제원

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Vo	Output Voltage	TJ = ±25°C	4.8	5.0	5.2	V
		5 mA ≤ IO ≤ 1 A, PO ≤ 15W, VS=7V to 20V	4.75	5.0	5.25	
Io	Quiescent Current	TJ = ±25°C	-	5.0	8.0	mA
ΔIo	Quiescent Current Change	Io = 5mA to 1A	-	0.03	0.5	mA
		VI = 7V to 25V	-	0.3	1.3	
ΔVo/ΔT	Output Voltage Drift	Io = 5mA	-	-0.8	-	mV/°C

사. 릴레이(Relay)

Relay Switch는 전선을 ON/OFF 두 가지 동작을 하는 소자로서, controlled switch의 개념을 가지고 있다. 동작 방법에는 Relay 내에서 기계적으로 회로를 ON/OFF하는 것이 있고, 전자소자를 이용해 Control 하는 방식으로 나뉘어진다. 본 연구에서 Relay의 역할은 데이터 처리를 통해 MICOM으로 전송된 제어 값을 바탕으로 모터와 연결되어 있는 회로를 ON/OFF 하는 것이다. 특히 CH1-ED12F의 릴레이를 제어하기 위한 TQ2의 릴레이의 특징은 2접점 릴레이로 좌우가 다르게 연결 되어있다. 대용량의 배터리에 건디기 위해 모터를 제어 해주는 CH1-ED12F의 릴레이를 사용하였다. CH1-ED12F의 릴레이는 1접점으로서 모터의 2방향을

제어하기 위해서는 방향을 반대로 연결해야한다.



그림 83 TQ relay

표 23 TQ relay의 제원

Initial contact resistance	50mΩ max
Rated load, resistive	10A 30V(DC)
	10A 250V(AC)
Maximum carry current	16A
Maximum switching capacity	30W 62.5 VA
Maximum switching voltage	110V DC, 125V AC
Minimum switching rating	100mA 5V DC



그림 84 CH1-ED12 relay

표 24 CH1-ED12 relay의 제원

Initial contact resistance	100mΩ max
Rated load, resistive	16A 30V(DC)
	16A 240V(AC)
Maximum carry current	16A

그림 85는 위의 두 릴레이로 구성된 릴레이 회로도이다.

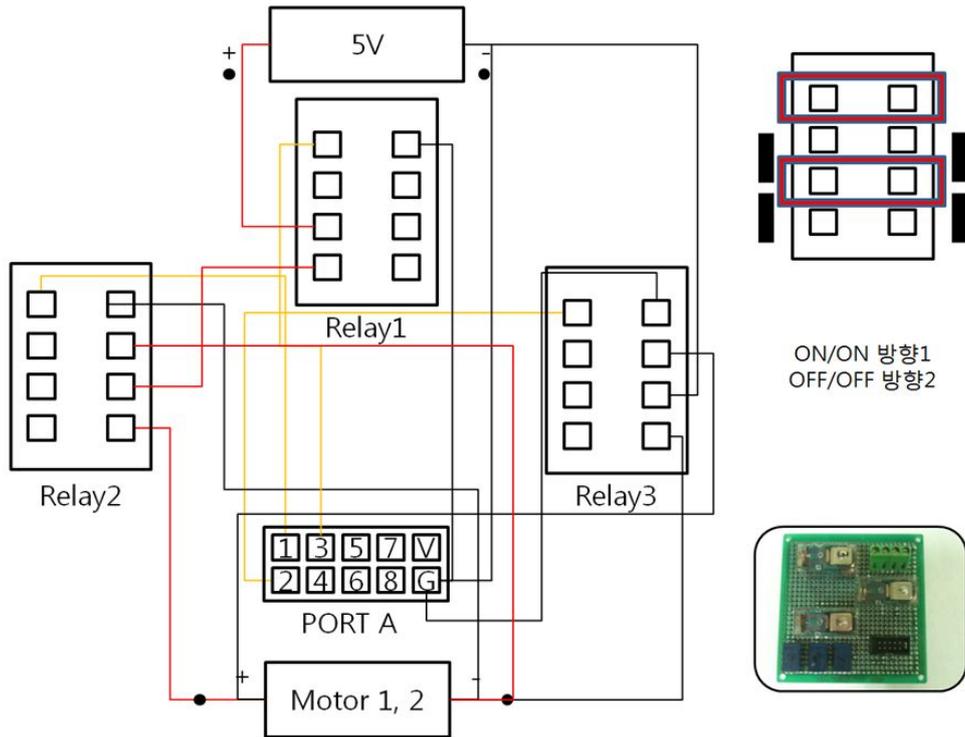


그림 85 릴레이 회로도

아. 커패시터(Capacitor)

전기적인 콘덴서를 커패시터라 하는데 일본에서 번역하는 과정에 포괄적인 단어인 콘덴서를 사용하였고 이것이 그대로 국내로 유입되어 축전기가 콘덴서로 불리어온 것이다. 다양한 종류의 축전기(蓄電器)는 두 도체 사이의 공간에 전기장을 모으는 장치이다. 콘덴서(condenser)나 커패시터(capacitor)로 부르기도 한다. 축전기는 보통 두 개의 도체 판으로 구성되어 있고, 그 사이에 절연체가 들어간다. 여기에서 각 판의 표면과 절연체의 경계 부분에 전하가 비축되고, 양 표면에 모이는 전하량의 크기는 같지만 부호는 반대이다.

본 연구에서는 상기 성질을 이용하여 위에 설명한 레귤레이터와 함께 회로를 설계 하여 12V의 전압을 5V로 낮추었다. 커패시터는 50V 10 μ F와 16V 10 μ F를 사용하였다.

아. RS-232 Serial port

RS232C(Recommended Standard system for serial communications의 한 부분)1969년 미국 전자공학협회에서 제정한 통신 인터페이스 규약의 하나로 프린터, 모뎀 등 각종 주변 장치를 연결하는데 주로 사용된다. 이러한 시리얼 포트에 비동기 통신을 위해서는 이미 언급했지만 UART가 반드시 필요하다.

본 연구에서는 Rs-232 Serial port에서 한 방향은 AM-128Pro 모듈에 3핀 UART 커넥

터와 결합하며 반대 방향은 PC의 RS-232C 커넥터인 DB-9 커넥터에 연결하여 사용하였다.

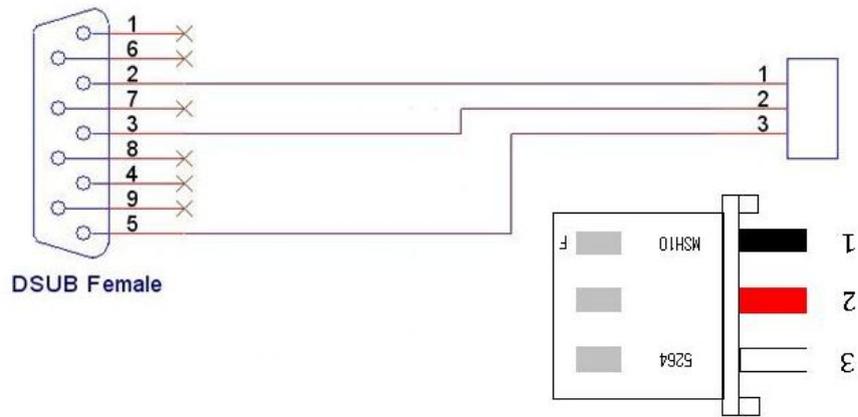


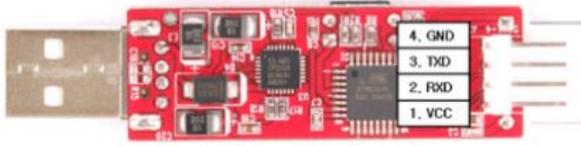
그림 86 RS-232 시리얼 포트의 구조



그림 87 ATmega128에 연결된 모습

자. AVR용 USB-ISP

AVR 내부 프로그램 메모리에 사용자가 작성한 프로그램 디버깅이 가능하다.



1	VCC
2	RXD (PC가 데이터를 수신하는 핀)
3	TXD (PC가 데이터를 송신하는 핀)
4	GND

그림 88 UART 커넥터 핀 번호

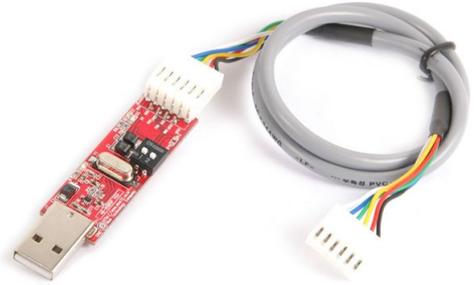


그림 89 AVR USB-ISP

차. 토글스위치(Toggle Switch)

토글스위치는 ON/OFF 스위치로 많이 사용되고 있다. 본 연구에서 사용된 토글스위치는 좌측으로 두면 가운데 핀과 우측 핀이 연결되고 우측으로 두면 가운데 핀과 좌측 핀이 연결된다. 그러면 아래 도면 과 같이 토글스위치가 전원 선에 연결 될 때에는 전기가 흘러 A-B가 연결 되어 전기가 흐르고, B-C가 연결 될 때 에는 전기가 그라운드 선으로 흘러내려 전류가 흐리지 않는다.



그림 90 토글스위치 장착모습

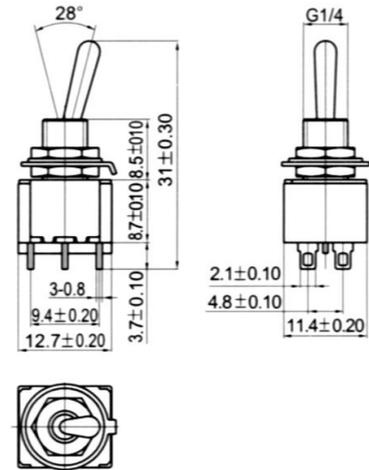


그림 91 토글스위치 제원

다. 작업부 균형 제어시스템 알고리즘

본 연구는 굴 곡면 변화가 있는 주행 노면에서 감자수확기로 작업 시 작업부에서 발생하는 좌우 롤링현상을 상쇄하기 위한 작업부의 자동 균형 제어 시스템을 연구를 위하여 시스템 설계 및 제작하였다.

본 연구에서 개발한 작업부 균형 제어시스템의 알고리즘은 다음 그래프와 같다.

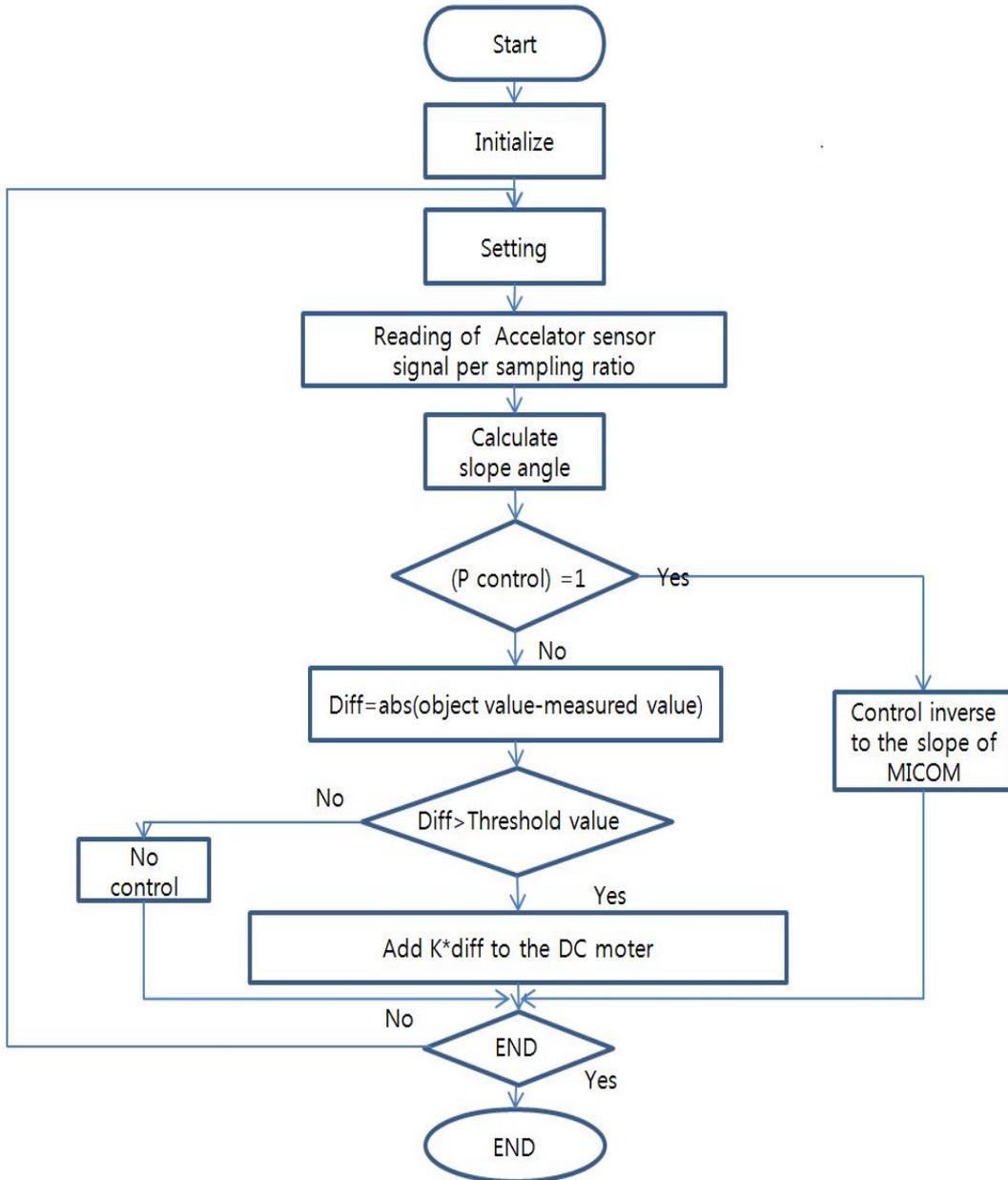


그림 92 작업부 균형 제어 시스템 알고리즘

라. 작업부 균평 제어시스템 성능평가

1) 실험 방법



그림 93 작업부 균평 제어 시스템 설치



그림 94 시작기 실험모습(수동제어)



그림 95 시작기 실험모습(자동제어)



그림 96 시작기 실험모습(자동제어)

작업부 균평 제어 시스템의 성능평가는 다음과 같은 방법으로 진행되었다.

- (1) 시작기의 작업부 균평 제어 시스템을 설치하기 위하여 차량 구조 및 회로 파악을 하였다. 작업대의 균평 제어부에는 솔레노이드 밸브와 유압모터가 연결되어 있다. 시작기 작업부의 속도는 유압실린더로의 유압량 조절을 통해 결정되며, 차량의 작업부의 이동방향은 좌우방향으로서 가동범위가 최대 $\pm 8^\circ$ 인 것을 확인하였다.
- (2) 차량의 작업부의 균평을 유지한 상태에서 수동제어를 통해 엔진에 의한 롤링 현상에 대한 보정 실험을 하였다. 각각의 센서 및 제어 신호는 ATmega128에 내장된 A/D 컨버터를 통하여 입·출력하고 UART통신을 이용하여 PC에 저장하였다. 3 반복씩 측정을 통해 제어 시스템의 시간영역에서 응답특성을 분석하였다. 초기 측정값에 대하여 분석 결과 기대와 같이 차량 엔진의 진동으로 인해 시간 영역에서 센서로부터 오는 좌, 우측, 중앙

영역에 대한 구분 판단이 어려웠다. 판단을 위해 FT를 이용하여 주파수 영역에서의 응답 특성을 평가하였고 Low Pass Filter를 이용하여 노이즈 제거 후 중앙, 좌측, 우측에 대한 센서 값을 보정하였다. 컨트롤 박스 내부의 보정 된 가속도 센서 값을 이용하여 측정된 각도 값만큼 반대방향으로 이동하도록 모터에 명령하여 우리가 원하는 제어부의 목표 각도 값인 0°을 얻는 방향으로 설계하였다.

- (3) 초기 분석 결과 데이터를 이용하여 공회전 상태에서 자동 균평 제어 실험을 하였다. 1년 차 연구 결과에서 최적의 P제어 비례계수 값이 0.5일 때 값이 가장 최적의 결과 값이 나왔다는 연구결과를 활용하여 비례계수를 0.5로 설정한 후 자동 제어 실험을 하였고 제어 신호에 대한 응답 속도 측정과 방향판단을 위한 Range를 결정하였다. 자동 제어 시 작업부의 진동에 대한 중앙 보정실험을 하였다. 실험은 중앙 인식 범위를 0°, ±1°, ±2°, ±3°의 조건하에서 각 3 반복 하였다.
- (4) 굴곡면 변화가 있는 주행 노면에 감자수확기로 작업 시 센서에 대한 작업부의 응답속도를 측정하기 위한 실험을 하였다. 데이터 평균값과 샘플링 데이터 개수 변화를 통하여 가장 최적의 제어 찾는 실험을 수행하였으며 실험 방법은 100개의 데이터 평균값을 기준으로 선택 후 10, 50, 100 샘플링 데이터 개수를 변화시키면서 각 3회 측정하여 평균 값을 나타내었고 500, 900개의 데이터 평균값을 기준한 상태에서 샘플링 데이터 개수 변화 하면서 같은 작업을 반복하여 총 27회 실험을 하였다.
- (5) 주행실험 전 실험의 정확성을 판단하기 위해 직접 정밀 각도 측정계를 이용하여 주 25M의 거리와 폭 2M의 지형의 상태를 1M의 간격으로 측정하였다.

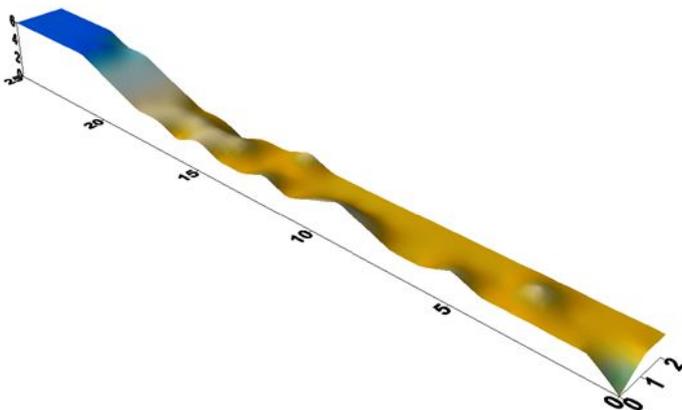


그림 97 주행 실험 필드 등고 그래프 및 사진

- (6) 감자수확기 주행을 통해 응답속도 분석 실험을 하였다. 공회전 시 자동 균평 제어시 최적의 결과 값을 기준으로 선택 후 10, 30, 50 샘플링 데이터 개수 변화시키면서 각 3회 반복 측정하여 실험하였고 250, 300의 데이터 평균량을 기준으로 샘플링 데이터 개수

변화시키면서 총 27회 측정 하였다. 공회전 상태와 다르게 기준 값을 다르게 선택 한 이유는 전 실험을 통해 안정 된 측정범위 예측할 수 있어 그 기준을 통해 다르게 설정하여, 안전성과 데이터 분석을 통하여 가장최적의 제어를 선택하였다.

나) 성능 실험 결과

1) 시작기 공회전시 작업부의 균형 응답 속도 분석

굴곡면 변화가 있는 주행 노면에 감자수확기로 작업 시 센서에 대한 작업부의 응답속도를 측정하기 위한 실험이었다.

반응 속도 측정을 위해 차량의 작업기 부분을 편 방향으로 최대한 기울인 후 데이터평균 값과 샘플링 데이터양을 변화시키는 조건하에 3회 반복을 통한 총 27회에 걸쳐 실험 하였다. 하지만 측정 후 이론에 의한 기대 값과 최적의 균형 제어 측정값과의 차이를 발견하였다.

이론적 분석에 의하면 100데이터평균값-100샘플링데이터일 때 가장 응답속도가 빠르고 안정된 제어가 되어 잘 동작한다고 예측하였지만 측정 결과는 500데이터평균값-100샘플링데이터가 잘 동작하였다.

아래의 그래프는 작업기를 편 방향으로 최대로 기울인 상태에서 100데이터평균값-100샘플링데이터와 500데이터평균값-100샘플링데이터에 대한 비교분석 그래프이다.

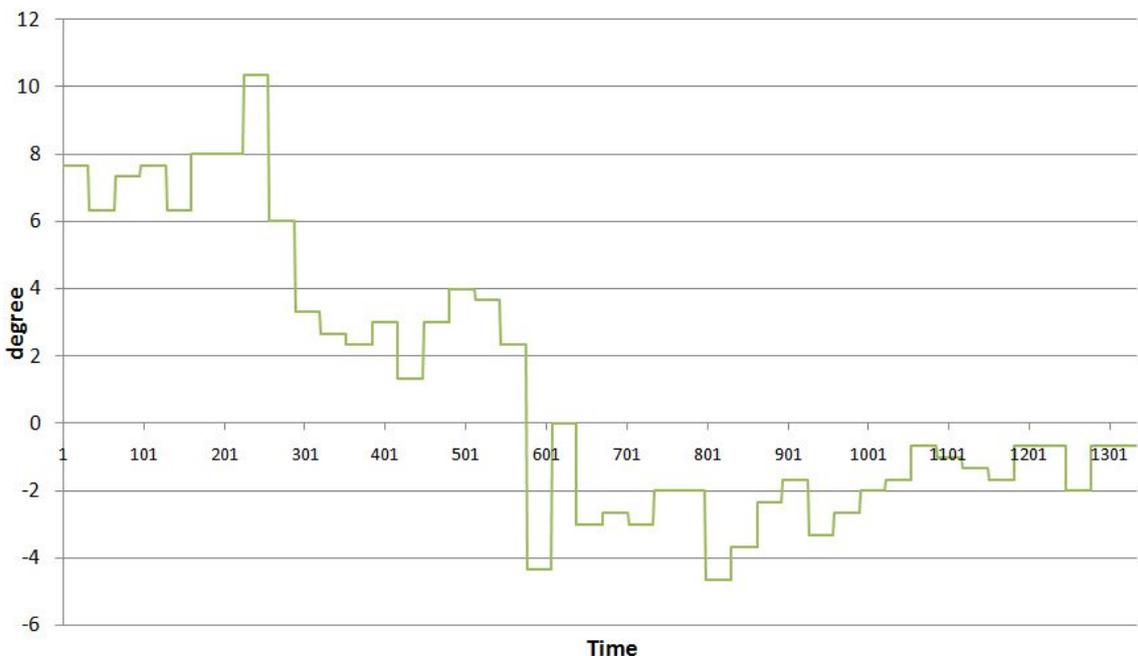


그림 98 공회전시 100 데이터평균값-100샘플링데이터 그래프

분석결과 100데이터평균값-100샘플링데이터는 민감한 응답속도로 인해 좌우로 롤링 현

상이 심하게 발생하는 것을 볼 수 있었으며 0°부근에서 멈추지 못하는 보여 주었으며 시간이 많이 흐른 뒤에도 계속적으로 반대 방향인 음의 영역에서 제어되지 못하는 결과를 볼 수 있었다. 따라서 처음 기대 값인 100데이터평균값-100샘플링데이터에서 출력 값이 되어 최적의 제어라고 할 수 없었다.

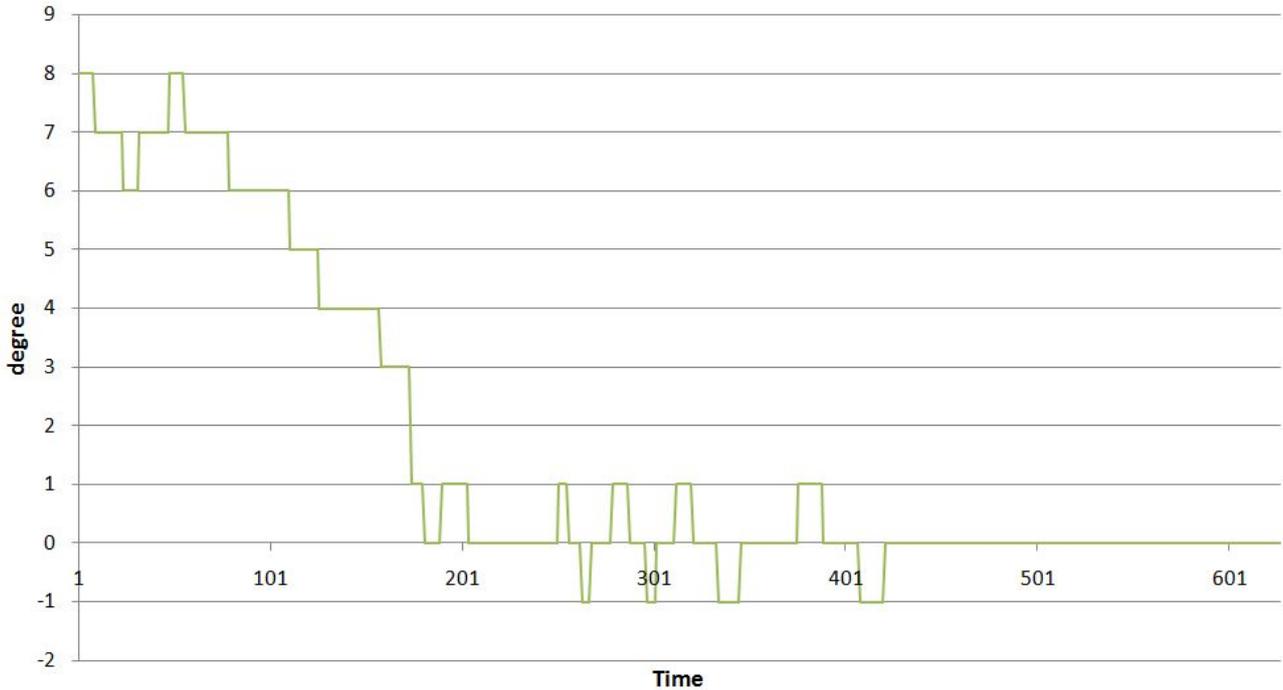


그림 99 공회전시 500 데이터평균값-100샘플링데이터 그래프

이에 반해 500데이터평균값-100샘플링데이터의 100데이터평균값-100샘플링데이터보다는 둔감한 응답속도를 하지만 이로 인해 좌우 롤링 현상이 발생되지 않아 빠르게 0°부근에 도달 하였고 안정된 제어가 된 것을 위 그래프를 통해 알 수 있었다.

공회전시 자동 균평 제어를 할 경우 500데이터평균값-100샘플링데이터일 때 가장 최적의 제어라는 것을 실험을 통하여 확인 하였다.

2) 시작기 주행시 작업부의 균평 응답 속도 분석

실제 감자수확기를 주행을 통해 응답속도 분석 실험을 하였다. 전 실험인 공회전시 자동 균평 제어를 할 경우 최적의 결과 값인 500데이터평균값-100샘플링데이터를 적용하였다. 다음과 같은 그래프의 결과와 같이 2500데이터 이후부터 지형이 변화에 의하여 좌우 롤링 현상이 심한 아래와 같은 결과를 확인하였다.

따라서 응답 특성을 분석 결과 공회전시 자동 균평 제어 대한 최적의 제어 값이 주행 시 자동 균평 제어에 잘 동작되지 못 한 것을 발견 할 수 있었다. 이는 지형에서 생기는 굴곡에

의한 롤링 현상에 의한 것이라 판단되었다. 따라서 상기 발생 현상의 문제점 참조하여 Range Value 값을 $\pm 3^\circ$ 로 조정하고 다시 데이터평균값과 샘플링 데이터양을 변화시키는 조건하에 3회 반복을 통한 총 27회에 걸쳐 실험 하였다.

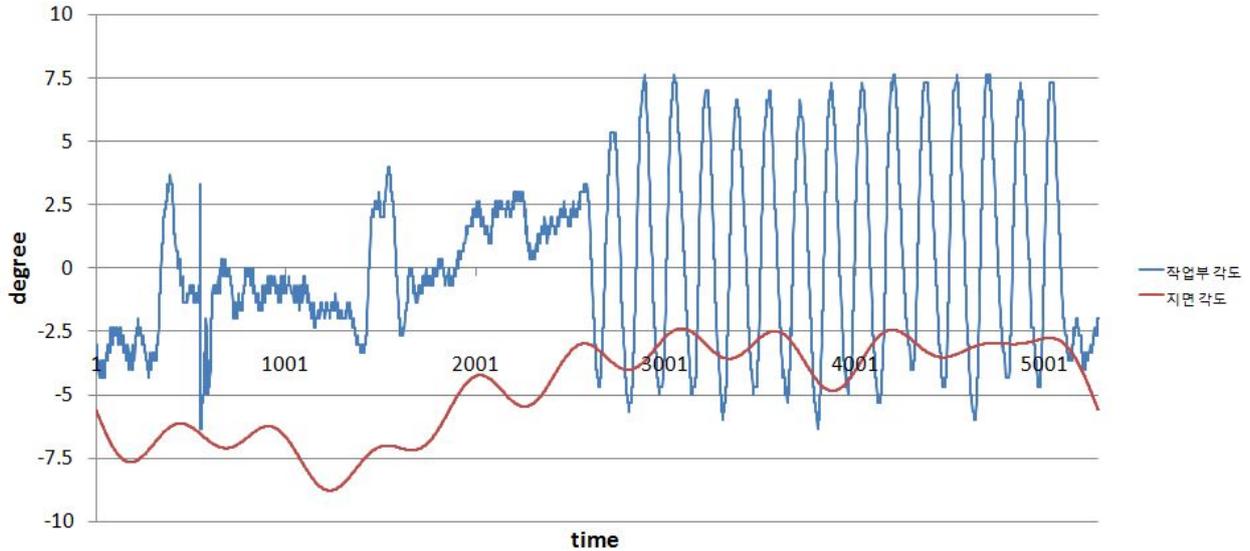


그림 100 시작기 주행시 500 데이터평균값-100샘플링데이터 그래프

하지만 주행 시 조건은 공회전시와 다르게 전 실험을 통해 안정 된 측정범위를 예측하여 기준 조건을 설정하여 실험하였다. 실험 측정 결과 분석에서 300데이터평균값-50샘플링 데이터가 가장 최적화 된 제어가 된 것이 특징이다.

그림 3-116는 300데이터평균값-50샘플링 데이터의 균형 제어 그래프이다.

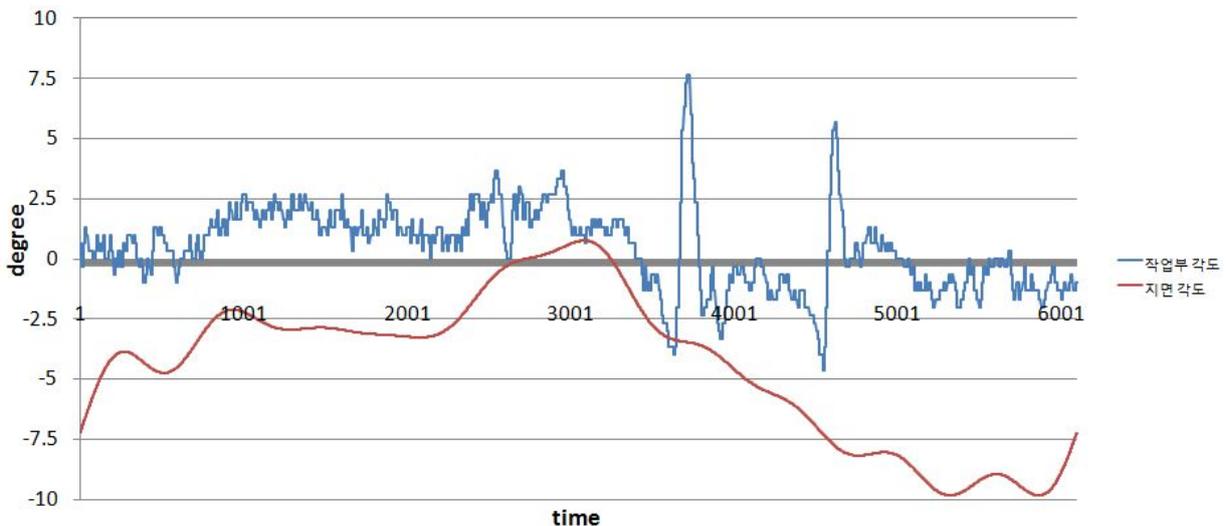


그림 101 시작기 주행시 300 데이터평균값-50샘플링데이터 그래프

분석결과 3000데이터를 넘어 가면서 지형이 음의 영역으로 변화됨에 따라 작업부의 각도가 양의 영역으로 변화되는 부분이 확인가능하며, 제어 후 잠시 균형을 유지 하였으며 그 이후 지면이 음의 영역으로 변화 되면서 다시 양의 영역으로 균형 제어를 통해 균형을 유지되는 것을 확인할 수 있다. 따라서 분석 결과 300데이터평균값-50샘플링 데이터 일 때 차량의 작업기 부분의 롤링 현상에 가장 최적인 상태로 나타났다.

5. 시작기 정선·선별장치 개발

감자수확기의 기계수확 과정은 굴취부에서 굴취된 감자가 수직이송컨베이어를 통해 수평이송장치를 통과하면서 정선 및 선별작업을 거쳐 저장톤백에 저장된다. 정선 및 선별장치는 수평이송장치부에 1차 정선작업이 가능한 기계적 정선장치를 설계 제작하고, 수평이송장치의 출구에 영상처리를 이용한 2차 정선·선별장치를 설계 제작하여 기초실험을 수행하고 성능을 분석하였다.

1) 감자수확기 선별·정선 실험장치 설계 제작

가) 1차 기계적 선별 정선장치

굴취부에서 넘어오는 감자는 흙덩이, 돌, 줄기등이 포함되어 이송되게 된다. 이러한 이물질이 포함되기 때문에 감자의 선별을 위해서는 인력이 필요로 하게 되어, 소요노동력을 줄이기 위해서는 기계화가 필요로 한 것으로 나타났다. 그림 155은 감자와 이물질을 정선하고 선별하는 장치를 나타낸 것이다.

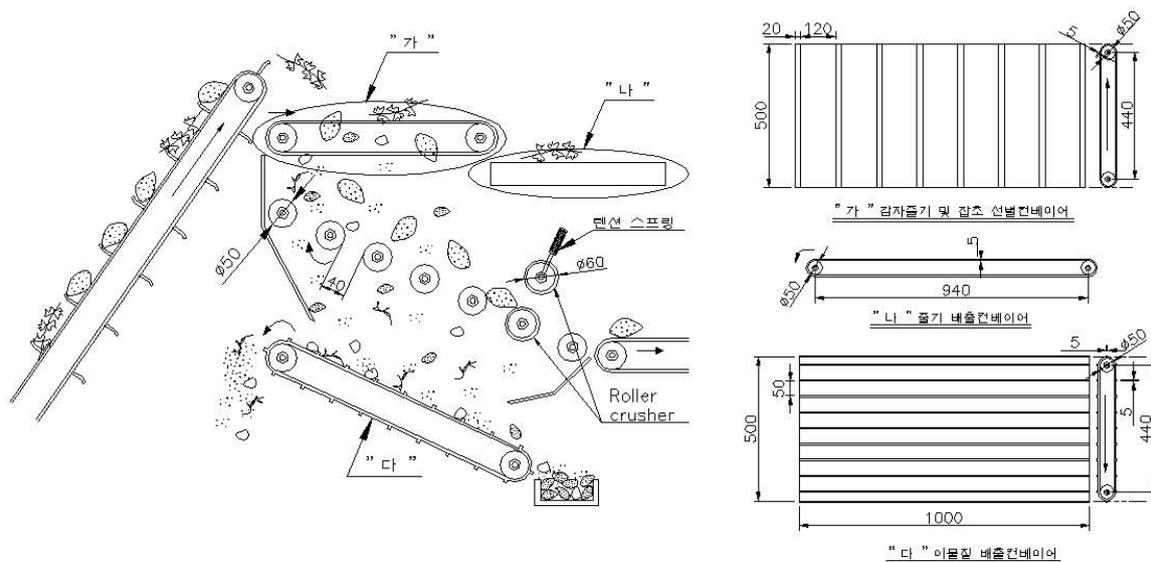


그림 155 1차 기계적 선별 정선장치의 외관

그림에서 보는 바와 같이 굴취부에서 이송되는 물체는 감자, 흙덩이, 돌, 줄기등이 포함되어 이송된다. 따라서 이전의 수확기의 경우는 이송컨베이어에 인력이 탑승해서 이물질을 직접 제거하거나 포장에서 톤백에 수집에서 저장되기 전에 다시 한번 정선 및 선별 작업을 거쳤기 때문에 많은 소요노동력이 필요로 하였다. 따라서 굴취부 수직이송컨베이어의 연결부에 그림 57과 같은 장치를 설계하여 감자, 감자와 비슷한 크기의 돌이나 흙덩이만을 선별할 수 있도록 고안하였다. “상세도 가”에 설계한 장치는 줄기를 선별하도록 설계한 것으로 폭 1000mm, 정선길이 400mm의 사이에 $\varnothing 50\text{mm}$ 의 롤러를 설치하고 롤러에 2mm V벨트 8개를 12mm 간격으로 설치하였다. 따라서 감자와 흙, 돌 등은 V벨트 사이로 떨어지고 줄기는 V벨트에 걸려서 줄기 배출컨베이어로 이송되어 외부로 배출되도록 설계하였다. “상세도 나”의 줄기 배출컨베이어는 폭 1000mm, 이송길이 300mm로 설계하여 감자수확기의 이송방향과 90도 방향, 반시계 방향으로 회전하면서 줄기를 감자수확기의 진행방향의 좌측으로 배출하도록 설계하였다. “상세도 가”에서 떨어진 감자와 이물질은 $\varnothing 50\text{mm}$ 롤러 6개를 40mm 간격 25도 각도로 설치한 정선장치로 떨어뜨려 잔흙과 작은 크기의 감자 및 이물질을 정선하도록 설계한 것으로 5번 6번 롤러 사이에 $\varnothing 60\text{mm}$ 파쇄롤러를 통과높이 30mm로 설치하여 롤러를 통과하는 흙덩이를 파쇄하고, 감자에 묻어있는 흙덩이를 파쇄하는 기능을 추가로 설치하였다. 한쪽 롤러에 텐션스프링을 설치하여 최소 30mm에서 최대 130mm까지 늘어나면서 흙덩이를 파쇄하는 기능이 되도록 설계하였다. 위의 장치에서 정선된 감자와 감자크기의 돌, 흙덩이는 수평이송컨베이어를 통해 영상처리 선별장치로 이송되어 이물질은 배출시키고 감자만을 수집톤백에 수집하도록 하였다. “상세도 다”는 40mm 간격 사이로 떨어진 작은 크기의 감자와 이물질 중에서 흙과 작은 줄기 등의 이물질은 외부로 배출시키고 작은 크기의 감자를 수집하도록 설계하였다. 이 장치는 25도 각도로 기울어진 돌기가 있는 벨트에 감자와 이물질이 떨어지게 되면 진행방향으로 회전하는 벨트에 의해 이물질은 외부로 배출되면서 감자는 굴러서 뒤쪽의 수집부로 이송되도록 설계하였다.

500mm로 설계하였으며, 바닥판에 50mm 간격으로 높이 5mm, 두께 5mm 러그를 설치하여 마찰계수를 증가시켜 이물질은 외부로 배출되고 작은 크기의 감자가 수집되도록 설계하였다.

나. 2차 영상처리 선별장치

그림 58은 기계적 선별장치를 사용하지 않고 기계시각을 이용한 감자 선별 시스템을 개발하여 감자와 돌, 흙덩이를 영상으로 판별하여 이물질은 외부로 배출시키고 감자를 수집 톤백에 수집하도록 설계하였다.

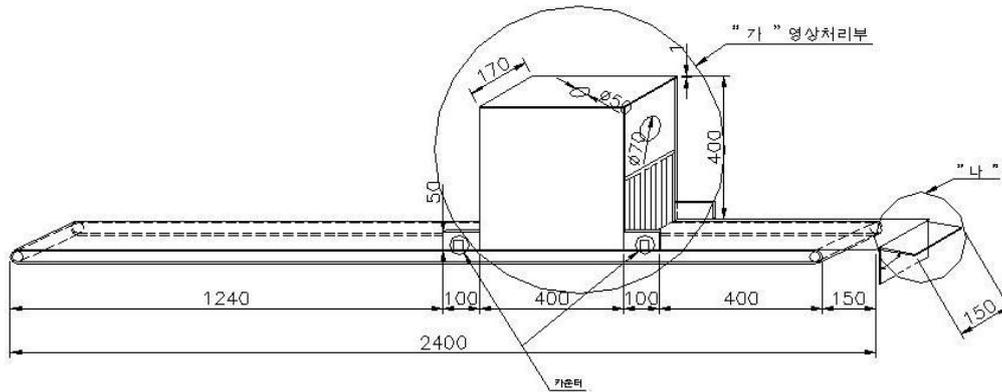


그림 156 영상처리 선별장치의 구조

감자 및 이물질 정선장치에서 이송된 감자를 영상처리부로 이송시켜 영상을 획득한 후 이물질은 외부로 배출시키면서 감자는 수집통백에 저장하도록 하기 위하여 그림 157에서 나타낸 것처럼 2400mm 길이의 이송컨베이어를 설계하였는데 이송컨베이어의 재질은 감자를 이송시키면서 상처가 발생하지 않으면서 영상처리부의 B/W CCD camera가 촬영을 할 때 조명장치에 의해 바닥에 발생하는 반사광을 흡수할 수 있는 재질을 사용해야 할 것으로 조사되었다. 또한 영상처리부로 이송될 때 그림에서 나타낸 것처럼 이송되는 물체의 정확한 이송속도를 계산하기 위하여 영상처리부의 입구와 출구에 카운터를 설치하여 실시간으로 이송되는 감자와 이물질의 속도를 계산하여 처리할 수 있도록 설계하였다.

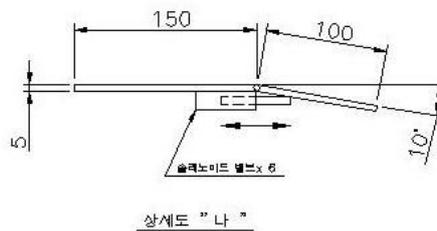


그림 157 이물질 배출장치

감자와 이물질의 분류 배출 방법은 그림 3에 나타낸 것처럼 이송컨베이어벨트 끝부분에 이물질 배출장치를 설계하였다. 하단부에 솔레노이드 밸브를 설치하여 이물질로 판별된 물체가 이송컨베이어벨트의 끝부분에 도착하면 솔레노이드 밸브가 움직여 배출판이 아래쪽으로 움직여

외부로 배출되도록 설계하였고, 감자로 판별되면 슬레노이드 밸브가 고정되어 수집 통백으로 감자가 이송되도록 설계하였다.

3) 감자수확기 선별 정선 요인 성능실험

가) 1차 기계적 선별 정선장치

1차 기계적 선별 정선장치는 굴취 후 견어올려진 감자 이외의 돌, 흙덩이 그리고 크기가 작은 감자를 정선하고 선별하기 위하여 설계하고 성능을 분석하였다. 이송컨베이어에 탑재되어 이송된 흙덩이는 컨베이어에서 1차적으로 부서지거나 걸러지고 크기가 작은 감자의 경우 2차 컨베이어에서 컨베이어 하부에 설치된 3개의 벨트 컨베이어로 떨어지고 떨어진 감자를 배출 적재하는 구조로 설계하고 성능을 분석하였다.

나) 2차 영상처리 선별장치

기계시각을 이용하여 감자와 이물질을 선별하기 위해서는 임계값, 화소수, 화소값을 구분인자로 사용하여 선별가능 여부를 판별할 수 있다. 기계시각을 이용하여 각 물체들의 영상을 촬영한 후 영상처리를 실행하여 각각의 영상에서 나타나는 특징들을 찾아낼 수 있는 알맞은 처리 방법을 찾아야 하는데, 첫 번째로 영상을 배경화면과 물체만을 분류할 수 있는 임계값(threshold)처리 방법을 사용하여 배경화면과의 분리 여부를 판단하는 실험을 실시하였다. 두 번째 방법으로 Salt and peper 처리, 영상 edge 검출 방법을 사용하고 Morphology algorithm 영상복원을 통해 복원 영상의 화소값을 계산한 후 최종적으로 판별분석 Algorithm 소프트웨어를 개발하여 감자, 흙, 돌, 기타 이물질의 선별이 가능하도록 하고자 한다.

영상처리 선별장치의 핵심은 기계시각으로 감자와 이물질의 선별가능 여부이기 때문에 실험 장치로 B/W CCD camera 와 수동렌즈를 사용하였고, 다양한 외부 광에 따른 영상을 파악한 결과 조명 장치가 필요한 것으로 판단되었다. 기계시각을 이용하여 화면에서 특정 물체를 검출하는데 있어 기본적인 방법은 화소 단위로 그 특성값인 화소값을 검색하는 방법이 있다. 따라서 영상처리 선별 요인실험장치는 그림 3과 같이 암실구조로 된 요인실험장치의 하단부 중앙에 감자, 돌, 흙덩이를 위치시키고 암실장치 내부에 설치된 B/W CCD camera로 투입된 물체의 영상을 획득하여 선별 가능 여부를 판단하고자 실험을 수행하였다. 장치의 주요 구조는 빛을 차단할 수 있는 암실구조의 상자, B/W CCD camera, 카메라 설치대, 조명장치, 이송 가이드, 환풍구로 구성되었고, 전체 크기는 가로 540 mm, 세로 500mm, 높이 590mm이다.

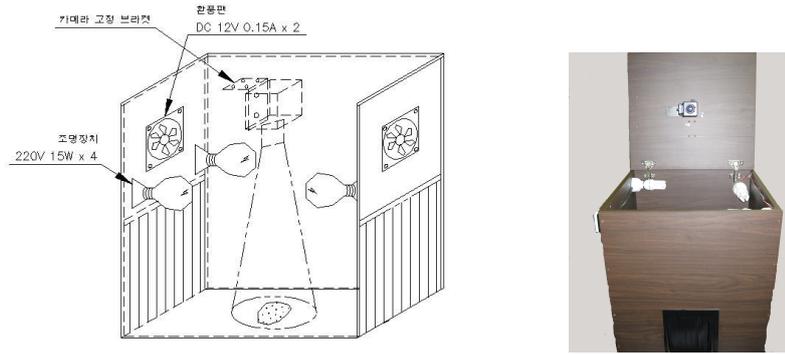


그림 158 영상처리 선별 요인실험장치의 구조와 외관

이러한 영상처리 선별 요인실험장치를 토대로 감자수확기에 채용할 영상처리 선별장치에 사용할 소프트웨어는 이동하는 물체를 추적하여 B/W CCD camera가 화면의 중앙에 물체가 이동하는 시점에 영상을 촬영하여 전송한 바와 같이 임계값, 화소값, 화소수 등을 처리하고 판별 분석하여 감자와 이물질을 선별하도록 설계 제작할 예정이며 2차 영상처리 선별장치를 설계 제작하여 감자 및 이물질 선별률, 이물질 배출장치의 선별률, 배출률, 손상률의 성능을 분석하였다.

다) 결과 및 고찰

1) 선별장치 성능실험 결과

감자, 돌, 흙덩이의 영상을 촬영한 후 영상을 분석하기 위하여 소프트웨어는 Inspector (Ver. 2.2. Matrox Co., Canada)를 사용하였다.

200g 이하로 분류한 소 크기의 감자의 경우 평균 임계값이 59.7로 나타났으며, 200g ~ 300g 으로 분류한 중 크기의 감자의 경우 평균 임계값이 59.9, 300g 이상으로 분류한 대 크기의 감자의 경우 평균 임계값이 60.7로 나타났으며 평균 60.1의 임계값을 나타내었다.

표 31 3등급으로 분류한 감자의 가로 세로 직경 및 무게, 임계값

감자	가로 직경(mm)		세로 직경(mm)		무게(g)		threshold	
	Ave.	S.D.	Ave.	S.D.	Ave.	S.D.	Ave.	S.D.
소	72.2	±6.7	67.6	±8.0	157.2	±19.5	59.7	±3.9
중	75.4	±4.2	93.8	±10.1	262.7	±25.9	59.9	±2.1
대	82.0	±5.2	93.3	±5.5	306.7	±8.1	60.7	±1.5
평균	76.5	±5.4	84.9	±7.9	242.2	±17.8	60.1	±2.5

정선·선별부에 유입될 가능성이 있는 돌의 경우는 임계값이 84일 때 배경화면과의 분리가 가능한 것으로 조사되었고, 감자의 임계값을 적용하면 배경화면과의 분리가 정확하게 이루어지지 않음을 알 수 있었다.

흙덩어리의 경우는 임계값이 85일 때 배경화면과의 분리가 가능한 것으로 조사되었으나 배경화면과의 분리가 명확할수록 흙덩어리의 원본영상에 비해 크기가 작아지거나 완전한 분리가 어려운 것으로 조사되었고, 감자의 임계값을 적용하면 돌의 경우와 같이 배경화면과의 분리가 정확하지 않은 것으로 조사되었다.

그러나, 임계값 처리 방법만으로 감자와 이물질을 판별하는 것은 판별오류가 생길 수 있는 것으로 나타났다. 임계값 처리의 경우 배경화면과의 분리는 완벽한 것으로 나타났으나 포장에서 수확이 이루어지기 때문에 감자와 이물질에 흙이 묻어있을 것으로 조사되었기 때문에 영상의 중앙부에서 위치하는 감자와 돌, 흙덩이 이외에 영상의 주변부에 구분하려는 물체들과 크기가 비슷한 이물질이 포함되는 경우가 생기면 판별에 오류가 발생하여 이물질을 감자로 처리하여 판별하는 오류가 발생할 것으로 조사되었다. 임계값 처리만으로는 영상을 완벽히 구분하기가 어려워 전술한 바와 같이 추가적인 영상처리 방법으로 추가 실험을 실시하여 배경화면과 물체의 분리 및 감자와 이물질의 특징을 추출하여 분리할 수 있는 영상처리 방법을 찾아내고자 하였다.

제5절 자주식 감자수확기 개발을 위한 통합시작기 구성

1. 통합 시작기 감자 수확 성능시험

가. 재료 및 방법

1) 실험 재료

기초조사와 설계 요인 시험에서 구명된 인자를 바탕으로 그림 159의 감자굴취부, 선별부와 컨베이어 이송장치 그리고 균평제어장치를 통합하여 수집, 흙 분리, 이송, 적재, 배출의 일관작업 가능한 자주식 감자 수확기의 통합 시작기를 설계·제작하였다.



그림 159 통합시작기

시작기는 수확시기에 달한 감자를 인력없이 굴취하면서 감자를 걷어올림으로서 적재하기 전 흙 또는 돌, 잔가지 등을 선별하고 적재하는 형태로 굴취부에 의해 땅 속의 감자를 굴취하고 유입턱에 의해 수집 컨베이어 이송장치 위로 올려놓으면, 수집 컨베이어 이송장치는 감자를 이송하는 동안 흙은 파쇄하여 제거함과 동시에 감자를 2차 컨베이어 이송장치로 이송한다.

2차 컨베이어 이송장치의 돌출된 러그위에 감자와 흙이 얹혀져 상부로 이송되고 다시 3차 이송컨베이어에 의해 이송되면서 크기가 작은 감자 또는 이물질 등을 선별 한 후 감자만 톤백에 담겨지게 된다. 톤백에 담겨진 감자가 가득차게 되면 유압장치에 의해 배출하는 시스템으로 구성하여 제작하였다.



그림 162 운전석과 계기판

주행형식은 기계식 밧손 4륜구동식, 조향방식은 핸들식, 2륜 또는 4륜 조향형으로 작업시는 선회반경을 줄이기 위하여 4륜조향식으로 하고 도로주행시는 안전을 위해 2륜조향을 선택해서 하도록 하였다. 2륜조향의 경우 선회반경은 4.4 m 였으나 4륜조향을 하면 선회반경은 1.7 m 로 작아지므로 작업시는 4륜조향이 유리하다.

클러치 형식은 건식 단판마찰식, 브레이크 형식은 건식 디스크식, 변속단수는 전진 6단, 후진 2단으로 하였다. 차륜은 최대하중 980 kg용을 사용하여 최대하중 3,920kg 으로 하였다. 엔진은 55마력 직립형 수냉 4기통 4싸이클 디젤엔진을 탑재하였다. 연료탱크의 용량은 42 L 로 하였다. 감자 수확기의 모든 조작은 운전석에서 운전자가 모두 조작이 가능하도록 하였다.

나) 감자 수집부

감자 수집부는 경사진 핀 형태의 굴취날로서 감자 수집 및 이송장치의 전면에 위치하여 토양과 최초로 접촉하는 부분으로서 토양 조건에 따라 탈부착이 가능하도록 착탈형으로 제작하였다. 또한 굴취날은 토양 절단 시 견인부하를 최소로 하기 위해 구성하였고, 굴취날 각도는 23°, 굴취날의 폭은 감자의 유입량을 감안하여 1,100 mm로 설계, 제작하였다.

굴취날을 통해 토양과 함께 수집된 감자는 수집 컨베이어 이송장치로 보내지고, 이송장치 위로 올려진 감자와 토양덩어리는 과쇄되면서 제거되고 감자는 2차 이송컨베이어로 이송되어지게 된다.

수집 컨베이어 이송장치는 설계요인시험 결과를 바탕으로 철제 원형봉을 체인 형태로 연결한 방식으로서 원형봉은 직경이 12 mm이고, 길이가 1,100 mm로서 원형봉의 양 끝은 체인 형태로 연결하여 이송중에 토양은 원형봉 사이로 떨어져 제거되고 감자만 이송될 수 있도록 하였으며, 수집 컨베이어 이송장치의 봉 간의 피치는 50.8 mm, 속도는 0.35 m/s, 이송각도는 19°, 수집 컨베이어와 유입틸과의 속도비는 1 : 1.2로 제작하였다. 감자의 유입을 원활하게 하기위한 유입틸은 고무경도 50의 고무판 4개가 회전하도록 하였다.



그림 163 2차 이송장치 구조

다) 2차 컨베이어 이송장치

수집 컨베이어 이송장치를 통과한 감자는 최종적으로 감자 적재함에 적재되어야 한다. 그러나 감자가 이송되는 수집 컨베이어 이송장치의 끝단의 높이는 감자 적재함의 투입구에 비해 매우 낮은 위치에 있다. 따라서 수집 컨베이어 이송장치를 통과한 감자가 적재함에 적절히 적재되기 위해서는 수집 컨베이어 이송장치의 경사각을 크게 하여 수집 컨베이어 이송장치의 끝단 높이를 감자 적재함의 투입구 위치보다 높게 하여야 한다. 그러나 경사각이 너무 클 경우에는 수집부에 의해 수집 컨베이어 이송장치에 올려진 감자가 미끄러져 2차 이송장치를 통해 이송될 수 없다. 또한 경사각을 작게 할 경우에는 수집 컨베이어 이송장치의 이송 구간을 길게 해야 하는데, 이 경우에는 감자 수확기의 길이 및 무게가 너무 커지게 되어 실제 포장에서 운용하는데 어려움을 초래하게 된다.

따라서 수집 컨베이어 이송장치의 경사를 적정 경사각으로, 그리고 이송길이를 짧게 유지하면서 수집 컨베이어 를 통과한 감자가 수집 컨베이어 의 끝단보다 높은 곳에 위치한 감자 적재함에 수거되기 위해서는 수집 컨베이어 이송장치를 통과한 감자를 감자 적재함보다 높은 위치로 이동시킨 후 적재함에 떨어뜨릴 수 있는 2차 컨베이어 이송장치를 제작하였다. 2차 컨베이어 이송장치는 적재함까지 감자를 이송해야 하므로 수직형으로 구성되어 각도가 클 수밖에 없으므로 이송 중에 감자가 떨어지지 않도록 컨베이어에 러그를 설치하였다. 러그는 기초조사에서 나타난 감자의 최대크기 120 mm 까지 이송할 수 있도록 러그의 크기를 105 mm로 제작하였다.

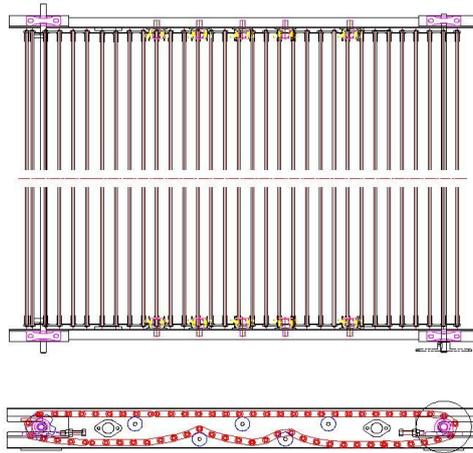


그림 164 이송장치의 구조도

투입구를 통해 이송된 감자를 적재부로 이송되도록 하기 위하여 수평 이송장치를 설계 제작하였다. 감자 이송장치는 로드체인 이송장치로 전체 이송 길이는 1,500mm, 이송 폭은 1,100mm로 제작하였다. 이송장치에 사용된 체인은 피치가 15.87mm인 #50 체인을 이용하였고, 직경 12.5mm 길이 1170mm 로드를 35mm 간격으로 설치하였다. 이송장치는 유압모터에 의하여 구동되는데 이송속도 조절을 위하여 유량조정밸브를 설치하였다. 이송속도는 엔진 1800rpm에서 최대 0.35m/s까지 가능하였다.

라) 적재부

적재부는 적재판 위에 톤백을 걸이대에 걸어 적재한다. 줄기절단장치에서 줄기는 절단되어 밖으로 배출되고 감자만 톤백에 수집된다. 배출부에서 감자가 톤백에 떨어질 때 손상발생을 최소화 하기 위하여 유압실린더를 이용하여 높이를 높여서 배출부와 톤백과의 간격을 최소화 하고 감자가 쌓이면 적재판을 내릴수 있도록 제작하였다. 톤백 걸이대는 톤백의 4곳을 걸수 있도록 하고 이동시에는 적재판을 접을 수 있도록 걸이대를 슬라이딩 하는 구조로 제작하였다.

배출시에는 적재판의 각도를 유압으로 조절하여 톤백을 배출하도록 하였다.



그림 165 적재부

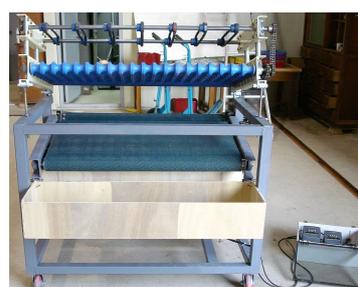
마. 롤러, 벨트식 감자 정선, 선별장치

1) 주요 구조 및 작동원리

롤러, 벨트식 감자 정선, 선별 실험장치의 구조는 그림 166과 같다.

정선, 선별 과정은 그림에서와 같이 굴취 이송된 감자와 줄기, 잡초, 흙덩이, 돌 등 이물질 혼합물 중 벨트 컨베이어에 의하여 줄기와 잡초를 선별하고 나머지 혼합물은 낙하시킨다. 낙하된 혼합물은 롤러 컨베이어에 의하여 이송되면서 형상과 크기에 따라 직경 40mm 롤러 구멍으로 작은 감자와 흙덩이, 돌 등 이물질이 낙하되고 아래에 위치한 벨트 컨베이어에 의하여 마찰 등의 차이에 의하여 작은 감자와 작은 흙덩이, 돌 등 이물질이 분리된다. 한편 롤러 컨베이어 구멍을 통과하지 못한 감자와 흙덩이, 돌은 벨트 컨베이어에 의하여 같은 원리로 2 단계에 걸쳐서 정상 감자와 흙덩이, 돌을 분리한 후 이들을 각각 수집할 수 있도록 설계하였다.

롤러, 벨트식 감자 정선, 선별장치의 주요 구조는 투입구, 감자줄기 제거 벨트 컨베이어, 감자 크기 선별 및 이송 롤러 컨베이어, 3조의 감자, 흙덩이, 돌 선별 벨트 컨베이어, 줄기 배출용 송풍장치, 배출구, 컨베이어 및 송풍기 구동 모터와 동력 전달장치, 콘트롤 박스, 프레임 및 지지부로 구성하였으며 전체 크기는 전체 크기는 길이 1950mm, 높이 1450mm, 폭 1210mm 이다.



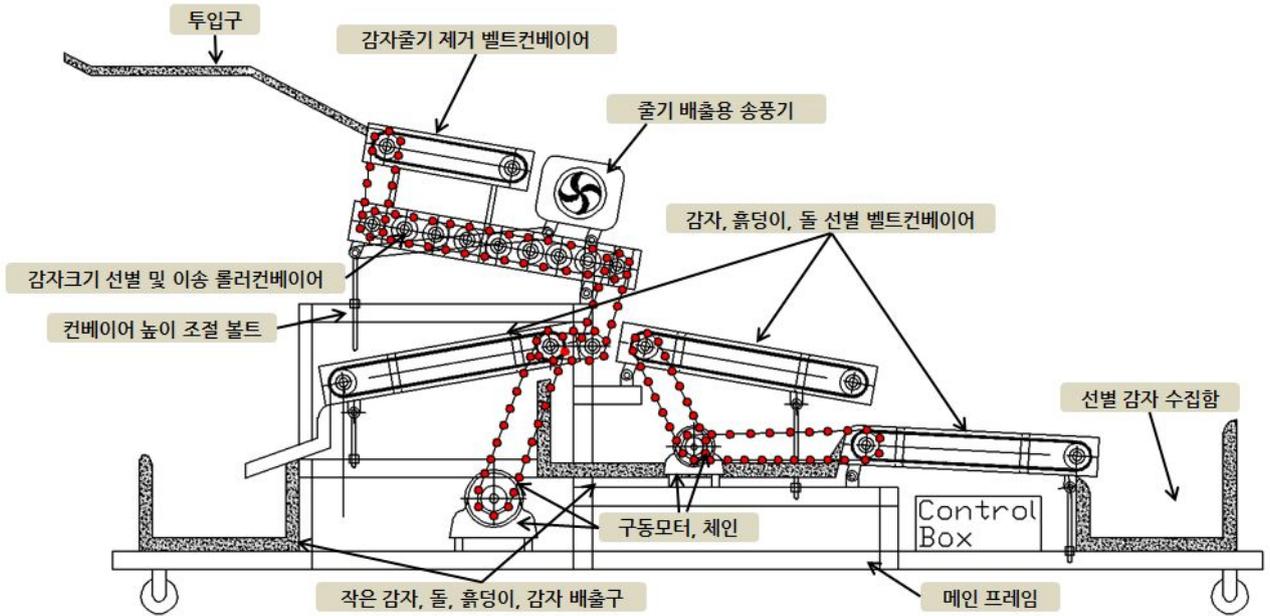


그림 166 실험용 롤러, 벨트식 감자 정선, 선별장치의 구조도

2) 주요부 제원

그림 167은 줄기 및 잡초 선별장치의 구조를 나타낸 것이다. 주요 구조는 $\varnothing 20$, 폭 1200mm의 2개의 축에 $\varnothing 50$ V폴리를 150mm 간격으로 7set를 설치하여 V벨트를 연결하였다. 벨트의 축간 거리는 400mm이고, 벨트사이의 간격은 150mm로 시계방향으로 회전하면서 투입구에서 투입되는 감자 및 이물질 혼합물 중 감자 줄기나 잡초는 벨트위로 얹혀 송풍기를 이용 외부로 배출시키고, 형상이 150mm 보다 작은 감자, 흙덩이, 돌 등은 하부로 낙하되도록 제작하였다. 벨트의 이송속도는 굴취 이송기의 최대속도인 약 3배인 1.0m/s까지 조절가능하도록 하였다. 송풍기는 K회사의 원심식 송풍기를 사용하였으며, 송풍기 배출구의 단면적은 $\varnothing 300$ mm로 바람의 최대 풍속은 약 25m/s였다.



그림 167 줄기 및 잡초 선별장치의 구조도

그림 168은 감자크기 선별 롤러 컨베이어의 구조를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 $\varnothing 70$, 길이 1000mm의 플라스틱 합성소재의 롤러에 $\varnothing 20$, 길이 1200mm 축을 중앙에 고정한 형태로 6개의 홈이 파진 롤러와 3개의 평롤러로 구성하였다. 다. 홈이 파진 롤러는 직경 45mm로 홈을 파내어 가공한 것으로 홈의 깊이는 21mm, 롤러사이의 간격은 3mm로 제작하여 직경 45mm의 원형 구멍을 형성하도록 하여(농업기계학, 松居勝廣 역, 중국농업기계출판사 참조) 형상이 45mm 이하인 작은 감자나 이물질은 떨어지도록 하였고, 그 이상은 감자와 이물질은 이송될 수 있도록 제작하였다.

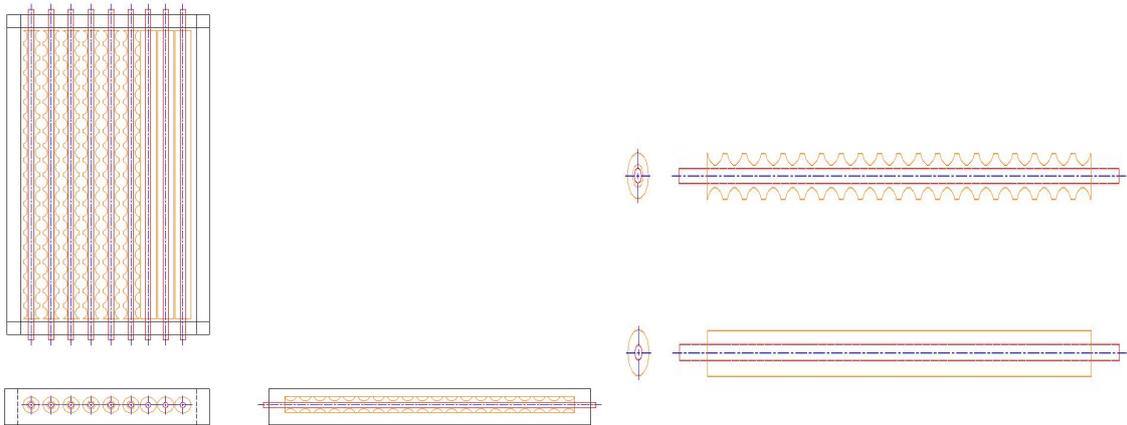


그림 168 감자크기 선별 롤러 컨베이어의 구조도

그림 169는 롤러 컨베이어를 통과하거나 이송되어 온 감자, 흙덩이, 돌을 선별하기 위한 3조의 벨트식 선별 컨베이어의 구조도와 사용된 벨트의 형상을 나타낸 것이다. 이물질 정선장치의 구조와 정선컨베이어의 외관을 나타낸 것이다.

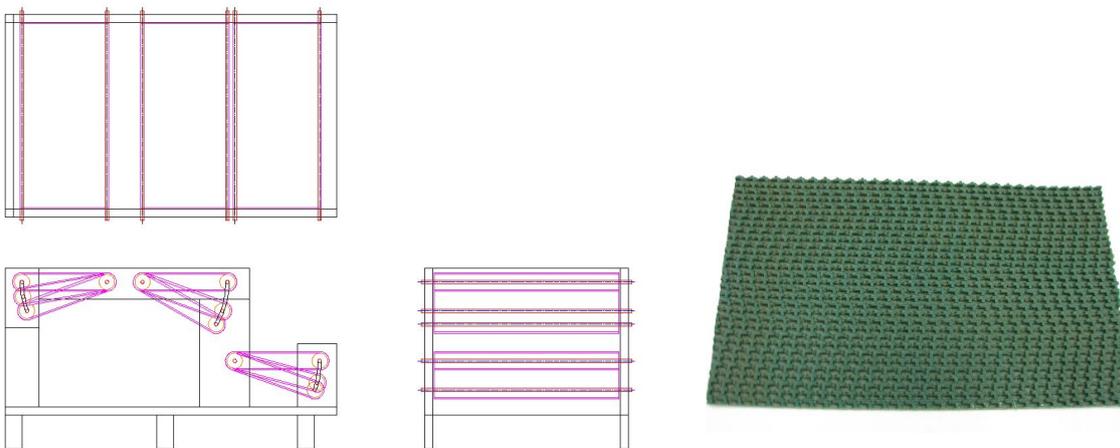


그림 169 감자 및 이물질 선별용 벨트 컨베이어의 구조도와 벨트의 외관

감자, 흙덩이, 돌 선별 컨베이어는 $\varnothing 70\text{mm}$ 롤러 2개를 중심축 거리 500mm의 간격을 만든 벨트식 컨베이어로 그림에서 나타낸 것과 같이 고무재질에 돌기가 형성된 러프 톱 벨트를 폭 1000mm, 길이 500mm로 감아 구동하도록 하였다. 감자, 흙덩이, 돌의 마찰계수의 차이를 이용하여 감자와 흙덩이, 돌 혼합물의 흐름 방향과 반대로 구동하도록 하여 감자는 경사진 컨베이어의 아래쪽으로 떨어지고 흙덩이와 돌과 같은 이물질은 벨트의 마찰력 때문에 회전방향으로 이송되어 위로 배출할 수 있도록 제작하였다. 롤러 컨베이어 밑에 설치된 컨베이어(작은 감자 선별 컨베이어)는 경사각을 $10^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 의 각도로 조절 가능 하도록 제작하고 시계방향으로 회전하도록 하여 롤러 컨베이어를 통과한 작은 감자가 좌측하단부에 적재함에 적재하였으며, 롤러 컨베이어 위에서 이송되어 온 큰 감자와 흙덩이, 돌 선별을 위한 컨베이어(큰 감자 선별 컨베이어)는 경사각을 반대로 하여 1단 컨베이어는 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$, 2단 컨베이어는 $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 로 각도를 조절할 수 있도록 하였으며, 시계반대방향으로 회전하도록 제작하였다. 선별 컨베이어 벨트의 속도 기존 국외 선별 컨베이어가 0.4-0.7m/s, 인 것을 고려하여 0.6m/s까지 조절가능하도록 하였다.

벨트의 구동은 S사의 1/2HP, 감속비 1/10, 축 직경 28mm의 변속모터 2개를 사용하였다. 이 밖에 콘트롤 박스에는 모터 구동 S/W, 롤러 속도조절 S/W, 비상정지 S/W를 설치하였다.

본 연구에서 설계 제작한 롤러, 벨트식 감자 정선, 선별 실험장치의 실험은 농산물 시장에서 구입한 가을 감자를 이용하였는데 그 제원은 표 3-1과 같다. 실험은 구입한 감자 중 길이, 폭, 두께가 모두 45mm 이상인 감자를 50개, 길이와 폭이 45 mm 이상이면서 두께가 45mm 이하인 감자 50개, 길이, 폭, 두께 모두 45mm 이하 20mm 이상인 감자 50개를 선정하고, 이 물질인 흙덩이와 돌은 경남 고령에서의 감자수확기 시작기 시험 시 이송장치에 의하여 올라온 흙덩이와 돌을 수집하여 길이, 폭, 두께가 모두 45mm 이상인 것 25개, 길이와 폭이 45 mm 이상이면서 두께가 45mm 이하인 것 25개, 길이, 폭, 두께 모두 45mm 이하 20mm 이상 것 25개를 선정하여 이를 균일하게 혼합 공급하여 실험하였다. 이는 개수로 흙덩이와 돌 혼입율이 50%인 조건으로 이물질 혼입율이 매우 높은 것을 가정한 것이며, 감자의 무게는 모두 약 15.5kg, 흙덩이와 돌의 무게는 13.4kg이었다. 그 외 마른 감자 줄기는 예비실험 결과 큰 감자 줄기는 감자줄기 선별 컨베이어, 작은 줄기는 감자 선별 컨베이어에 의하여 모두 선별되어 하여 혼합치 아니 하였다.

표 32 감자 규격

구 분		감자의 크기(mm)			
		길이	폭	두께	무게(g)
가을감자	Ave.	62	53	47	103
	Max.	106	86	73	346
	Min.	28	24	17	9
	S.D.	15	13	11	65

표 33은 롤러, 벨트식 감자 정선, 선별 실험장치의 실험계획을 나타낸 표이다. 표에서와 같이 감자 공급율, 선별 벨트 컨베이어의 속도, 경사각을 실험 요인으로 하여 3반복 실험하였으며, 작은 감자 선별율, 큰 감자 선별율, 총 감자 선별율, 작은 흙덩이 및 돌 선별율, 큰 흙덩이 및 돌 선별율, 총 흙덩이 및 돌 선별율을 구하였으며, 최종적으로 이를 종합한 롤러, 벨트식 감자 정선, 선별 실험장치의 선별성능지수(general index for the accuracy of separation)를 구하여 선별성능을 평가하였다. 이때 실험재료 공급장치의 공급속도는 감자수확기 시작기 굴취 후 수직 이송장치의 이송속도를 고려하여 0.3m/s로 고정하였으며, 예비실험 결과 감자줄기 선별 컨베이어의 속도, 감자 크기 분리 및 이송 롤러 컨베이어의 원주 속도도 이송에 문제가 없어 각각, 1.0m/s, 1.5m/s로 고정하여 실험하였다.

롤러, 벨트식 감자 정선, 선별 실험장치의 감자 공급율은 감자 굴취 후 수직 이송장치의 이송속도와 이송버킷에 담기는 감자의 양에 따라 다르게 나타난다. 감자수확기 시작기의 수직 이송장치의 최대 이송속도는 약 0.35m/s로 실험재료 공급장치의 이송장치의 속도는 0.3m/s로 고정하였으며, 공급방법으로 감자를 초당 약 54, 40, 27개 씩 각각 공급함으로써 감자 공급율은 약 20, 15, 10t/hr로 3수준으로 실험을 수행하였다.

선별 벨트 컨베이어의 속도는 기존 국외 감자수확기에 채용된 것(Czeslaw Kanafojiski, Agricultural machines, theory and construction)을 참조하고 벨트의 마찰계수가 큰 것을 고려하여 0.2, 0.4, 0.6m/s의 3수준으로 실험하였다. 또한 벨트의 경사각은 작은 감자 선별 컨베이어, 큰 감자 선별 컨베이어 1단과 2단 각각 30, 30, 20°, 20, 25, 15°, 10, 20, 10° 3수준으로 실험하였다.

성능평가를 위한 분석항목으로 작은 감자 선별율은 공급된 길이, 폭, 두께 모두 45mm 이하 20mm 이상인 감자 개수(50개)에 대한 작은 감자 배출구에서 수집된 폭, 두께 모두 45mm 이하 20mm 이상인 감자개수의 비율로, 큰 감자 선별율은 공급된 길이, 폭, 두께가 모두 45mm 이상인 감자개수(50개)에 대한 큰 감자 배출구에서 수집된 길이, 폭, 두께가 모두 45mm 이상인 감자개수의 비율로, 총 감자 선별율은 총 공급 감자개수(150개)에 대한 작은 감자와 큰 감자 배출구에서 수집된 감자개수의 비율로 정의하였다. 또한 작은 흙덩이 및 돌 선별율은 공급된 길이, 폭, 두께 모두 45mm 이하 20mm 이상인 작은 흙덩이 및 돌 개수(25개)에 대한 흙덩이 및 돌 배출구에서 수집된 폭, 두께 모두 45mm 이하 20mm 이상인 작은 흙덩이 및 돌 개수의 비율로, 큰 흙덩이 및 돌 선별율은 공급된 길이, 폭, 두께가 모두 45mm 이상인 큰 흙덩이 및 돌 개수(25개)에 대한 흙덩이 및 돌 배출구에서 수집된 길이, 폭, 두께가 모두 45mm 이상인 흙덩이 및 돌 개수의 비율로, 총 흙덩이 및 돌 선별율은 총 공급 흙덩이 및 돌 개수(75개)에 대한 흙덩이 및 돌 배출구에서 수집된 흙덩이 및 돌 개수의 비율로 정의하였다. 또한 총 감자 선별율과 총 흙덩이 및 돌 선별율을 종합한 선별장치의 선별성능지수는 전체 감자와

흙덩이 및 돌의 개수(225개)에 대한 감자 배출구에서 수집된 감자의 개수 더하기 흙덩이 및 돌 배출구에서 수집된 흙덩이 및 돌 개수 합에 대한 비율로 정의하여 선별장치의 선별성능을 평가하였는데 단, 선별과정 중 부서진 흙덩이는 정상적으로 선별된 것으로 하였다.

표 33 롤러, 벨트식 감자 정선, 선별 실험장치 실험

실험요인			분석항목
감자공급율 (t/h)	선별 컨베이어 벨트속도(m/s)	선별 컨베이어 경사각(°)	
20, 15, 10	0.2, 0.4, 0.6	작은감자, 큰감자 1단, 큰감자 2단 30, 30, 20°, 20, 25, 15°, 10, 20, 10°	- 작은 감자 선별율, 큰 감자 선별율 총 감자 선별율, - 작은 흙덩이 및 돌 선별율, 큰 흙덩이 및 돌 선별율, 총 흙덩이 및 돌 선별율 - 선별장치의 선별성능지수

나. 결과 및 고찰

1) 감자 선별율

표 34는 롤러, 벨트식 감자 정선, 선별 실험장치의 감자공급율, 선별 컨베이어 벨트속도, 경사각에 따른 작은 감자 선별율, 큰 감자 선별율, 총 감자 선별율을 나타낸 것이다.

표 34 작은 감자 선별율, 큰 감자 선별율, 총 감자 선별율

감자공급율 (t/h)	선별 컨베이어 벨트속도(m/s)	선별 컨베이어 경사각(°) (작은감자, 큰감자1 단, 큰감자2 단)	작은 감자 선별율(%)	큰 감자 선별율(%)	총 감자 선별율(%)
10	0.2	30, 30, 20	100(0.0)	100(0.0)	100(0.0)
		20, 25, 15	94(3.3)	88(4.5)	91(4.1)
		10, 20, 10	78(2.7)	72(3.3)	75(3.0)
	0.4	30, 30, 20	98(0.3)	96(0.7)	97(0.5)
		20, 25, 15	86(0.7)	82(2.6)	84(2.0)
		10, 20, 10	66(3.7)	64(6.6)	65(4.0)
	0.6	30, 30, 20	86(2.0)	88(2.3)	87(2.2)
		20, 25, 15	82(4.0)	78(4.3)	80(4.1)
		10, 20, 10	58(9.9)	52(13.2)	55(12.5)
15	0.2	30, 30, 20	100(0.0)	100(0.0)	100(0.0)
		20, 25, 15	92(2.7)	86(3.3)	89(3.0)

	0.4	10, 20, 10	76(3.3)	74(2.7)	75(3.0)
		30, 30, 20	96(0.3)	92(0.3)	94(0.3)
		20, 25, 15	88(1.0)	86(1.7)	87(1.4)
	0.6	10, 20, 10	64(2.7)	68(3.3)	66(3.0)
		30, 30, 20	88(3.3)	90(1.7)	89(2.5)
		20, 25, 15	74(6.7)	68(5.0)	71(5.8)
20	0.2	10, 20, 10	48(7.0)	56(6.7)	52(6.8)
		30, 30, 20	100(0.0)	100(0.0)	100(0.0)
		20, 25, 15	86(3.3)	82(3.7)	84(3.5)
	0.4	10, 20, 10	76(4.3)	68(4.7)	72(4.5)
		30, 30, 20	98(0.7)	94(0.7)	96(0.7)
		20, 25, 15	82(1.3)	78(3.3)	80(2.5)
	0.6	10, 20, 10	58(3.7)	48(6.7)	53(5.2)
		30, 30, 20	82(4.3)	78(5.7)	80(5.0)
		20, 25, 15	62(7.0)	54(3.7)	58(5.2)
		10, 20, 10	42(6.6)	36(9.9)	39(8.6)

* 괄호안은 표준표차를 나타냄.

표에서와 같이 감자 공급율이 10, 15, 20 t/h일 때 총 감자 선별율은 각각 52-100, 48-100, 36-100%로 나타나 같은 선별 컨베이어 벨트속도, 경사각에서는 감자 공급율이 증가할수록 총 감자 선별율은 낮아지는 경향을 보였다. 선별 컨베이어 벨트속도가 0.2, 0.4, 0.6 m/s일 때 총 감자 선별율은 각각 68-100, 48-98, 36-90%로 나타나 벨트속도가 증가할수록 총 감자 선별율은 낮아지는 경향을 보였다. 또한 선별 컨베이어 경사각에 따라서는 경사각이 커질수록 총 감자 선별율은 높아지는 경향을 보였다.

2) 흙덩이 및 돌 선별율

표 35는 감자공급율, 선별 컨베이어 벨트속도, 경사각에 따른 작은 흙덩이 및 돌 선별율, 큰 흙덩이 및 돌 선별율, 총 흙덩이 및 돌 선별율을 나타낸 것이다.

표 35 작은 흙덩이 및 돌 선별율, 큰 흙덩이 및 돌 선별율, 총 흙덩이 및 돌 선별율

감자공급율 (t/h)	선별 컨베이어 벨트속도(m/s)	선별 컨베이어 경사각(°) (작은감자, 큰감자1 단, 큰감자2 단)	작은 흙덩이, 돌 선별율(%)	큰 흙덩이, 돌 선별율(%)	총 흙덩이, 돌 선별율(%)
10	0.2	30, 30, 20	64(9.7)	38(13.2)	52(11.6)
		20, 25, 15	88(6.7)	68(9.7)	78(8.2)
		10, 20, 10	100(0.0)	100(0.0)	100(0.0)

	0.4	30, 30, 20	56(4.0)	44(2.6)	50.0(6.1)
		20, 25, 15	92(4.7)	82(6.3)	87(5.2)
		10, 20, 10	100(0.0)	100(0.0)	100(0.0)
	0.6	30, 30, 20	68(3.3)	42(8.7)	55(6.2)
		20, 25, 15	88(4.3)	68(2.7)	78(3.4)
		10, 20, 10	96(0.3)	92(0.7)	94(0.5)
15	0.2	30, 30, 20	62(6.7)	40(5.3)	51(6.0)
		20, 25, 15	84(3.7)	76(3.0)	80(3.3)
		10, 20, 10	100(0.0)	100(0.0)	100(0.0)
	0.4	30, 30, 20	56(2.7)	48(4.3)	52(3.5)
		20, 25, 15	88(4.0)	80(4.7)	84(4.3)
		10, 20, 10	96(0.7)	88(1.0)	92(0.8)
	0.6	30, 30, 20	60(8.3)	44(2.7)	52(6.2)
		20, 25, 15	72(1.3)	72(2.0)	72(1.5)
		10, 20, 10	88(0.7)	92(1.0)	90(0.9)
20	0.2	30, 30, 20	52(7.3)	36(10.0)	44(8.1)
		20, 25, 15	68(2.3)	56(3.3)	62(2.7)
		10, 20, 10	92(6.7)	96(3.3)	94(4.8)
	0.4	30, 30, 20	48(7.0)	44(5.6)	46(6.2)
		20, 25, 15	64(5.7)	60(4.3)	62(5.1)
		10, 20, 10	92(5.3)	84(1.3)	88(3.3)
	0.6	30, 30, 20	48(7.7)	40(5.7)	44(6.1)
		20, 25, 15	68(3.7)	60(7.3)	64(5.3)
		10, 20, 10	92(0.7)	88(2.0)	90(1.5)

* 괄호안은 표준표차를 나타냄.

표에서와 같이 감자 공급율이 10, 15, 20 t/h일 때 총 흠덩이 및 돌 선별율은 각각 52-100, 51-100, 44-94%로 나타나 감자 공급율이 20 t/h일 경우 총 흠덩이 및 돌 선별율이 약간 낮게 나타났다. 선별 컨베이어 벨트속도가 0.2, 0.4, 0.6 m/s일 때 총 흠덩이 및 돌 선별율은 각각 44-100, 46-100, 44-94%로 나타나 벨트속도에 따른 총 흠덩이 및 돌 선별율은 차이가 없는 것으로 나타났다. 그러나 선별 컨베이어의 경사각에 따라서는 경사각이 증가할수록 총 흠덩이 및 돌 선별율 선별율은 낮아지는 경향을 보였다.

3) 선별장치의 선별성능지수

종합적인 선별장치의 선별율은 총 감자 선별율이 커지는 경우에는 총 흠덩이 및 돌 선별율이 저하되는 경향을 보였다. 표 36은 총 감자 선별율, 총 흠덩이 및 돌 선별율을 종합하여 선별장치의 선별성능지수를 감자 공급율, 선별 컨베이어 벨트속도, 경사각에 따라 나타낸 것이다.

표 36 선별장치의 선별성능지수

감자공급율 (t/h)	선별 컨베이어 벨트속도(m/s)	선별 컨베이어 경사각(°) (작은감자, 큰감자1단, 큰감자2단)	선별성능지수(%)
10	0.2	30, 30, 20	84.0
		20, 25, 15	86.7
		10, 20, 10	83.3
	0.4	30, 30, 20	81.3
		20, 25, 15	85.0
		10, 20, 10	76.7
	0.6	30, 30, 20	76.3
		20, 25, 15	79.3
		10, 20, 10	68.0
15	0.2	30, 30, 20	83.7
		20, 25, 15	86.0
		10, 20, 10	83.3
	0.4	30, 30, 20	80.0
		20, 25, 15	86.0
		10, 20, 10	74.7
	0.6	30, 30, 20	76.7
		20, 25, 15	71.3
		10, 20, 10	64.7
20	0.2	30, 30, 20	81.3
		20, 25, 15	76.7
		10, 20, 10	79.3
	0.4	30, 30, 20	79.3
		20, 25, 15	74.0
		10, 20, 10	64.7
	0.6	30, 30, 20	68.0
		20, 25, 15	60.0
		10, 20, 10	56.0

* 괄호안은 표준표차를 나타냄.

표에서와 같이 선별장치의 선별성능지수는 감자 공급율이 10, 15, 20 t/h일 때 각각 68.0-86.7, 64.7-86.0, 56.0-81.3%로 나타나 감자 공급율이 커질수록 선별성능지수는 낮아지는 경향이 있었으며, 선별 컨베이어 벨트속도가 0.2, 0.4, 0.6 m/s일 때 선별성능지수는 각각 76.7-86.7, 64.7-86.0, 56.0-79.3%로 나타나 벨트속도가 커짐에 따라 선별성능지수는 낮게 나타났다. 선별컨베이어의 경사각에 따라서는 작은 감자 컨베이어, 큰 감자 1단 컨베이어, 큰 감자 2단 컨베이어가 각각 20, 25, 15° 조합이 가장 높게 나타났는데 선별 컨베이어 벨트속도

가 0.2-0.4m/s일 때 85.0-86.7%로 가장 높았다. 이는 실용화된 고성능 감자콤바인의 가장 높은 선별성능지수 95-98% 보다는 낮은 수치로 나타났다.

4) 고찰

본 롤러, 벨트식 감자 정선, 선별 실험장치는 선별성능지수를 고려해 볼 때 선별 컨베이어 벨트속도가 0.2-0.4m/s, 작은 감자 컨베이어, 큰 감자 1단 컨베이어, 큰 감자 2단 컨베이어가 각각 20, 25, 15° 조합 일 때 가장 좋은 선별성능을 보인 것으로 판단된다. 그러나 기존 개발 자주식 콤바인의 경우 선별성능지수가 100%에 가깝더라도 감자의 손실과 흙, 돌 등 이물질의 완전한 혼입을 방지하기 위하여 최종적으로 인력에 의하여 선별을 수행하고 있다. 소요되는 인력의 규모는 선별장치를 거쳐 이송되어 오는 상품성 있는 큰 감자와 덩어리가 큰 흙 및 돌의 선별율에 따라 다르며 이를 검토해야 한다. 소요인력의 산정은 Czeslaw Kanafojiski (Agricultural machines, theory and construction)의 문헌을 통하여 선별 테이블에 필요한 소요되는 인력의 규모는 선별장치를 거쳐 이송되어 오는 상품성 있는 정상 감자와 덩어리가 큰 흙 및 돌의 선별율에 따라 다른데 테이블에 필요한 소요인력의 산정은 $\{(1-\text{감자 선별율}) \times \text{분당 통과 감자 수} + (1-\text{흙 및 돌의 선별율}) \times \text{분당 통과 흙덩이 및 돌 수}\} / \text{선별인력 1인의 분당 선별 수}$ 로 표시되며, 2조의 감자 콤바인을 고려할 때 분당 통과 감자 수를 약 2000개(개당 100g 일 때 약 12t/h), 분당 통과 흙덩이 및 돌 수를 1000개, 1인의 분당 선별 수를 135개로 가정하고 본 연구 선별장치의 적정조건에서의 정상 감자 선별율(78-88%) 약 83%, 큰 흙덩이 돌 선별율(60-82%) 약 71%를 대입하면 약 3.9명의 선별 인력을 필요로 한다. 따라서 본 선별장치의 경우 국외 개발 자주식 감자수확기에 비하여 비교적 소형으로 설계 제작되었지만 선별인력을 감소시키기 위한 선별성능 향상에는 한계가 있는 것으로 판단되며, 기계시각을 이용한 선별장치 보완 개발 등 추가적인 선별장치의 도입이 필요할 것으로 판단되었다.

다. 결론

자주식 2조 감자수확기에 채용을 위한 롤러 및 벨트 컨베이어를 이용한 감자 줄기, 흙덩이 및 돌 선별, 2단계 감자크기로 분리 수집할 수 있는 실험용 감자 선별, 정선장치를 설계 제작하여 감자공급율, 선별 컨베이어 벨트속도, 선별 컨베이어 경사각에 따른 선별 성능을 분석하였다.

선별 컨베이어 벨트속도가 0.2-0.4m/s, 작은 감자 컨베이어, 큰 감자 1단 컨베이어, 큰 감자 2단 컨베이어가 각각 20, 25, 15° 조합 일 때 가장 좋은 선별성능을 보인 것으로 판단되었으며, 이때 총 감자선별율 80-91%, 총 흙덩이 및 돌 선별율 62-87%, 선별, 정선장치의 선별성능지수는 74.0-86.7%로 분석되었다. 국외 개발 자주식 감자수확기에 비하여 매우 소형으로 설계 제작되었지만 선별인력을 감소시키기 위한 선별성능 향상에는 한계가 있는 것으로 판단되며, 기계시각을 이용한 선별장치 보완 개발 등 추가적인 선별장치의 도입이 필요할 것으로 판단되었다.

3. 통합 시작기 포장 성능시험

가. 재료 및 방법

1) 실험 재료

통합시작기의 성능 실험은 2009년 6월 경북 고령군에 위치한 감자 재배농가에서 실시하였고 감자 두둑은 길이가 70 m 폭이 0.95 m이었다. 수확된 감자의 구의 평균직경은 각각 가로 평균 5.9 ~ 6.3 cm, 세로 5.1 ~ 5.4 cm였고, 평균 무게는 94.9 ~ 102.3 g의 범위의 것이었다.

2) 실험내용 및 방법

실험은 표 32에서와 같이 시작기의 이송속도에 따른 수평 이송장치의 이송속도, 감자 공급율에 따른 감자의 수집율, 손상을 및 선별율 분포를 조사 분석하였으며 3반복 실험을 실시하였다.

표 37 Experimental design on the prototype topping device

이송장치 이송속도 (m/s)	분석 아이템
0.21	* 굴취율
0.26	* 수집률
0.31	* 손상률
	* 선별율

2) 시험 포장 및 작물조건

자주식 감자 수확기 시작기의 포장 성능시험은 2010년 6월 29일에 경북 고령군 포장에서 실시하였다. 포장의 경사도는 3~8° 에서 실시하였다.

토성은 표 33에 나타난 바와 같이 토양함수율이 36.1 %d.b.인 사양토 포장을 사용하고, 공시작물은 두둑폭 95 cm, 골폭 30 cm인 포장에서 실시하였다.

표 38 시험포장 조건

토 성	토양수분함량 (%, d.b)	깊이별 토양경도(kPa)			
		5cm	10cm	15cm	20cm
SL	36.1	588	861	1,341	1,920

또한 포장의 평균 감자의 무게와 개수를 조사하기 위해 5 m 4구간을 설정하여 각각의 구간 내에 있는 감자를 조사하였다.

표 39 5m 구간의 감자의 양

구간	감자의 총무게 (kg)	감자 개수 (개)	평균 감자무게 (g)
1	66.4	704	94.1
2	99.1	969	102.3
3	83.2	842	98.8
평균	82.9	838	98.4

수집한 감자 구의 직경은 77.6 mm(표준편차 \pm 1.1 cm), 세로 64.3 mm(표준편차 \pm 0.8 cm)였고, 감자 줄기의 평균 직경은 6.8 mm(표준편차 \pm 0.1 cm)였다. 줄기와 일부분의 함수율은 21.3 %d.b(표준편차 \pm 2.1 %)이었고 구의 함수율은 91.9%d.b(표준편차 \pm 2.8 %)였다.

표 40 시험에 사용한 감자의 물성

구 분	구			
	직경(mm)	높이(mm)	무게(g)	함수율(%db)
Ave.	77.6	64.3	214.1	91.9
Max.	101.1	92.0	412.5	93.2
Min.	39.2	37.2	61.6	89.1

3) 시험 내용 및 방법

시작기의 성능시험은 10m 구간내의 감자를 수집하여 선별 후 톤백에 저장하는 방법으로 시험은 각각 10m의 구간에서 3반복을 수행하였다. 시험 포장에서 9구간을 설정하고 시작기를 구동하여 10m를 주행해서 감자의 굴취율과 수확률 그리고 선별율을 조사하였다.

작업능률은 운전자 1인과 톤백을 교체하는 보조작업자 1인이 작업하는 방식으로 20 m × 50 m 포장을 장방향으로 작업했을때 순작업시간과 톤백을 교체하는 시간, 회행시간을 조사하여 환산하였다.

$$T = \left(\frac{50}{V} + t + c \right) \times \frac{20}{60b}$$

T : 포장작업능률(min/10a)

V : 평균 작업속도(m/s)

t : 평균 회행시간(sec)

c : 평균 톤백 교체 시간(sec)

b : 작업폭(m)



그림 179 감자 수집과 선별

나. 결과 및 고찰

1) 통합시작기 성능

통합시작기에 의한 굴취율, 수집율 그리고 선별율을 표 36에 나타낸 것이며, 그림 176은 수집된 감자를 나타낸 것이다.



그림 180 수집된 감자 사진



그림 181 감자 수집과 선별

표와 같이 통합시작기에 의한 감자 굴취율은 엔진회전속도에 관계없이 91.5 %정도의 성능을 보인 것으로 나타났다. 이는 굴취할 수 없는 크기의 감자를 제외하는 것을 감안 하면 95% 이상의 성능의 것으로 판단할 수 있었다. 또한 굴취 후 감자의 수집율은 이송속도가 증감에 따라 가장 높은 성능을 나타내었다. 그리고 버킷에 올라오는 감자 이외에 물체와 감자를 선별하기 위한 기계장치에 의한 선별율은 이송속도가 0.21 m/s일 때 가장 우수한 것으로 나타났다. 이는 이송속도가 빠르면 1차 컨베이어에서 올라오는 흙덩이 등이 2차 컨베이어에 올라오는 도중 부스러 지거나 비중에 의해 크기가 작은 감자는 배출되기 때문인 것으로 판단되었다. 또한 통합시작기에 의해 수집된 감자의 손상을 또한 이송속도가 높을 때 낮은 것으로 나타났다.

2) 시작기 주요부 성능

시작기의 주요부 성능은 표 37에 나타낸 바와 같이 주행속도는 0.21, 0.26, 0.31 m/s 였으며, 수집 컨베이어의 이송속도는 0.29, 0.32, 0.34 m/s 였고, 2차 이송 컨베이어 이송속도는 0.22, 0.24, 0.25 m/s였다. 그리고 수평이송장치의 이송속도는 0.27, 0.31 m/s 그리고 0.32 m/s로 나타났다.

표 41 시작기의 주요부 성능

항 목	시작기 주행속도(m/s)		
	0.21	0.26	0.31
수집 컨베이어 이송속도 (m/s)	0.29	0.32	0.34
2차 이송 컨베이어 이송속도 (m/s)	0.22	0.24	0.25
수평 이송장치 이송속도 (m/s)	0.27	0.31	0.32

3) 감자 수집 성능

표 38에 감자수확기의 수집성능을 나타내었다. 작업속도가 0.21, 0.26, 0.31 m/s 일때 감자 수집률은 각각 93 %, 90.5 %, 91.3 %로 나타났으며 손상률은 2 %, 3 %, 5 %, 그리고 선별 능력은 각각 83.5 %, 80.1 %, 79.9 %로 나타났다. 따라서 자주식 감자수확기의 작업속도는 이송속도가 0.21 m/s에서 가장 적당한 것으로 판단되었다.

자주식 감자수확기의 적응 경사도는 8° 이내로 실제 그 이상의 경사도에서는 수집률이 낮고 손상이 많이 발생되어 이에 대한 보완이 요구되었다.

표 42 통합시작기 감자 수집 성능

주행속도	수집률	선별률	손상률
0.21 m/s	93.0 %	83.5 %	2 %
0.26 m/s	90.5 %	80.1 %	3 %
0.31 m/s	91.3 %	79.9 %	5 %

4) 작업능률

자주식 감자수확기의 작업능률은 20 m × 50 m 포장을 장방향으로 작업했을 때 평균 작업 속도 0.21 m/s, 평균 선회시간 240 초, 톤백 교체시기는 50m 당 1회, 1회 교체시간은 50 초로 나타나 작업능률은 1.3시간/10a으로 관행 트랙터와 수집형감자수확기의 수확작업의 9.9시간/10a의 약 8배로 86.9%의 노력을 줄일 수 있는 것으로 분석되었다.

표 43 시작기의 작업능률

구분	시작기					트랙터+수집형 감자수확기 (시간/10a)
	작업속도 (m/s)	선회시간 (sec)	교체시간 (sec)	톤백 교체시기 (회/50m)	작업능률 (시간/10a)	
시간	0.21	240	50	1	1.3	9.9

5) 개선점

포장 성능시험 결과 나타난 시작기의 개선점은 기대의 중량이 너무 무거워서 보다 정확한 설계가 요구되었으며 감자가 수집폭 1,100 mm 범위를 벗어나는 경우도 있어 감자의 손상이 발생하는 문제가 발생하게 되는데 가이드를 설치하여 손상을 줄여야 할 것으로 판단되었다. 또한 크기가 작은 감자가 선별되어 배출 될 때 배출부와 컨베이어의 간격에 따라 손상이 일어나는 문제점이 있어 이에 대한 해결책을 강구할 필요가 있는 것으로 나타났다. 또한 작업시 톤백에 담기는 감자의 양을 운전자가 직접 확인할 수 없었기 때문에 운전조작 레버를 후방에 설치하여 보조작업자가 담기는 감자의 양을 보면서 유압조작을 할 수 있도록 보완해야 할 것으로 나타났다. 또한 톤백으로 이송되는 감자가 배출부의 경사가 낮고 양쪽에 턱이 있어 톤백으로 넘어가지 않고 적체가 되어 운전자 외의 작업자가 넘겨주어야 하는 현상이 발생되어 적체가 되지 않도록 배출부를 개선 할 필요가 있는 것으로 나타났다. 그리고 굴취 시 견어올려진 감자 이외의 이물질이 컨베이어부에 적재되는 등의 문제점을 해결할 필요성이 있는 것으로 나타났다.

다. 결론

자주식 감자수확기 시작기에 이송속도에 따른 감자 굴취율, 수집율 그리고 손상률의 분포를 조사하였다. 분석 결과 굴취율은 이송속도가 0.21 m/s일 때 가장 우수하였고, 수집율은 이송속도가 0.21 m/s일 때 가장 우수한 것으로 나타났다. 또한 손상율은 이송속도 0.21 m/s에서 가장 낮

은 것으로 나타났다. 이상의 결과로부터 굴취율과 수집율이 높고 손상율이 낮은 시작기의 이송 속도는 0.21 m/s인 것으로 나타났다. 그러나 통합시작기에서의 문제점인 굴취날의 보완이 필요하며 굴취날의 개선을 통한 굴취율을 높일 수 있을 것이며 굴취율에 따라 수집율 또한 향상될 것으로 판단되었다.

포장 성능시험 결과 시작기는 작업속도 0.31m/s, 감자 수집능률 15.1t/h가 가능하였으나 기계의 진동과 소음 등을 고려하였을 때 적정 작업은 주행속도 0.21m/s, 감자 수집능률 12.4t/h, 감자 수집률 93.0%, 감자 손상률 3.0%, 선별능률 83.5%인 것으로 나타났다. 따라서 시작기의 작업능률은 1.3 시간/10a으로 관행 트랙터와 수집형 감자수확기의 수확작업의 9.9시간/10a의 약 8배로 86.9%의 노력을 줄일 수 있는 것으로 분석되었다.

4. 시작기 경제성 분석

가. 기계 이용비용

자주식 감자수확기의 경제성을 분석하기 위하여 관행방법인 인력으로 수확하는 방법과 개발된 시작기에 의한 감자 수확작업의 고정비와 유동비를 각각 계산하여 감자수확작업이 기계화됨으로서 유발되는 수확작업노력과 소요비용의 절감효과를 비교 평가하였다.

관행수확작업은 조사 결과 지역에 따라 차이가 있으나 굴취에 소요되는 시간은 경운기용이 1.2hr/10a, 트랙터용이 0.3hr/10a이나 수집에 소요되는 시간은 경운기용이 11.9hr/10a, 그리고 트랙터용이 9.6hr/10a(2002, 농촌진흥청)으로 수집에 소요되는 시간을 사용하였고 시작기는 남자 운전자 1인이 운전하고 여자 1인이 톤백 교체작업을 하는 것으로 하였다.

경제성 분석에 있어서 연간이자율은 5%, 연간수리비율은 6%, 면세경유 574원/l, 운할유비는 연료비의 15%, 1일당 임금은 '05년도 평균 임금인 여자는 40,111원, 남자는 58,834원을 적용하였으며 운전원은 위 금액의 140%로 적용 산정하였다.

자주식 감자수확기의 연간 사용시간은 감자 수확기간과 자주식 감자수확기의 1일 사용시간을 기준으로 설정하였다. 감자 수확기간은 지역에 따라 시기적 차이와 수확시기의 강우 등 기상에 의해 또는 다른 작업과의 중첩 등으로 수확작업이 불가능한 일수를 고려할 때 30일을 수확할 수 있다고 가정하였고, 1일 작업시간은 8시간으로 하여 자주식 감자수확기의 연간작업시간을 240시간으로 설정하였다.

분석결과 자주식 감자수확기의 이용비용은 120,077원/10a으로 관행 인력 수확비용 470,659원/10a에 비하여 74.5 % 절감할 수 있는 것으로 나타났다.

표 44 경제성 분석

구 분		자주식 감자수확기	트랙터+수집형 감자수확기+인력
구입가격(원)		40,000,000	46,700,000
내구연한(년)		8	8
연간사용시간(시간/년)		240	450
연간고정비 (원/년)	감가상각비	4,750,000	5,000,000
	수리비	2,400,000	2,000,000
	이자	1,050,000	884,000
	소계	8,200,000	7,884,000
시간당고정비(원/시간)		34,167	23,584
시간당유동비 (원/시간)	인건비	7,354	12,368
	유류비	3,829	6,152
	소계	45,350	42,104
시간당비용(원/시간)		71,638	5,014
작업성능(시간/10a)		1.3	9.9
소요경비(원/10a)		120,077	470,659
지 수(%)		26	100

(주) 자료 : '05 시험연구결과 경제성 분석기준 자료(농진청 농업경영관실)

- 수리비계수 : 6% ◦ 연 이 율 : 5%
- 연료비 : 면세경유 574원/ℓ ◦ 윤활유비 : 연료비의 15%
- 인건비 : 남자 58,834원 여자 40,111원

제 5 절 요약 및 결론

본 연구의 목적은 감자를 굴취하면서 이송 중에 흙, 자갈 등 이물질을 제거하고 1차 선별하여 상품성 있는 감자만 500kg용 톤백(bulk bag)에 수집하여 별도의 인력 투입 없이 감자 수확의 일관기계화가 가능한 자주식 감자수확기를 개발하고자 하였다.

이를 위하여 감자 주산지에서의 감자 재배양식, 수확작업 체계, 감자 물성을 조사하였으며, 자주식 감자 수확기 설계요인을 구명하기 위하여 굴취부, 수집 컨베이어, 적재 장치 등으로 구성된 자주식 감자 수확기를 설계 제작 굴취날의 적용 여부, 수집 컨베이어의 적정 피치, 속도, 이송각도, 수집 릴과 이송장치의 속도비, 수집 컨베이어와 2차 이송 컨베이어의 속도비 등에 대하여 실험하였으며, 자주식 감자수확기에 채용할 수 있는 효과적인 감자 선별장치 개발의 기초를 마련하고자 장치를 설계 제작하여 성능을 실험하였다.

이상과 같은 감자 수확에 대한 기초 조사와 설계요인 구명 실험을 바탕으로 엔진 및 동력전달부, 주행부, 수집 및 이송부, 적재부, 운전부 등으로 구성된 자주식 바퀴형 감자수확기 시작기를 설계 제작하여 기초 성능시험과 포장 성능시험, 경제성 분석을 실시하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 감자재배 및 수확실태 조사

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·수집 및 선별해야 하는 추가 작업이 필요하기 때문에 인력에 의존하는 감자 수확을 자주식 감자수확기를 개발하여 일관기계화 작업이 가능하도록 하는 것이 효과적인 것으로 판단되었다.

2. 설계요인 구명시험

주행부 및 굴취날의 적정 각도를 구명하기 위하여 시험 한 결과, 토양흐름상태를 감안하면 23° 이하에서 양호한 것으로 나타났으나 굴취 이송부와의 연계를 감안하면 굴취날 각도를 더 크게 해야만 하는 것으로 판단되어 종합적인 검토, 보완이 요구되었다.

균형제어시스템의 설계 요인 구명시험 결과 지형이 음의 영역으로 변화됨에 따라 작업부의 각도가 양의 영역으로 변화되는 부분이 확인가능하며, 제어 후 잠시 균형을 유지 하였으며 그 이후 지면이 음의 영역으로 변화 되면서 다시 양의 영역으로 균형 제어를 통해 균형을 유지되는 것을 확인할 수 있다. 따라서 분석 결과 300데이터평균값-50샘플링 데이터 일 때 차량의 작업기 부분의 롤링 현상에 가장 최적인 상태로 나타났다.

감자 정선·선별부 설계 요인 구명시험 결과 정선·선별부에 유입될 가능성이 있는 돌의 경우는 임계값이 84일 때 배경화면과의 분리가 가능한 것으로 조사되었고, 감자의 임계값을 적용하면 배경화면과의 분리가 정확하게 이루어 지지 않음을 알 수 있었다.

흙덩어리의 경우는 임계값이 85일 때 배경화면과의 분리가 가능한 것으로 조사되었으나 배경화면과의 분리가 명확할수록 흙덩어리의 원본영상에 비해 크기가 작아지거나 완전한 분리가 어려운 것으로 조사되었고, 감자의 임계값을 적용하면 돌의 경우와 같이 배경화면과의 분리가 정확하지 않은 것으로 조사되었다.

3. 시작기의 설계 제작 및 기초 성능시험

기초조사와 설계 요인 시험에서 구명된 인자를 바탕으로 그림 3.4-1의 감자굴취부, 선별부와 컨베이어 이송장치 그리고 균평제어장치를 통합하여 수집, 흙 분리, 이송, 적재, 배출의 일관작업 가능한 자주식 감자 수확기의 통합 시작기를 설계·제작하였다

통합 시작기의 성능시험 결과 작업속도가 0.21, 0.26, 0.31 m/s 일때 감자수집률은 각각 93%, 90.5%, 91.3%로 나타났으며 손상률은 2%, 3%, 5%, 그리고 선별능률은 각각 83.5%, 80.1%, 79.9%로 나타났다. 따라서 자주식 감자수확기의 작업속도는 이송속도가 0.21 m/s에서 가장 적당한 것으로 판단되었다. 자주식 감자수확기 시작기에 이송속도에 따른 감자 굴취율, 수집율 그리고 손상률의 분포를 조사하였다. 분석 결과 굴취율은 이송속도가 0.21 m/s일때 가장 우수하였고, 수집율은 이송속도가 0.21 m/s일 때 가장 우수한 것으로 나타났다. 또한 손상율은 이송속도 0.21 m/s에서 가장 낮은 것으로 나타났다. 이상의 결과로부터 굴취율과 수집율이 높고 손상율이 낮은 시작기의 이송속도는 0.21 m/s인 것으로 나타났다. 그러나 통합 시작기에서의 문제점인 굴취날의 보완이 필요하며 굴취날의 개선을 통한 굴취율을 높일 수 있을 것이며 굴취율에 따라 수집율 또한 향상될 것으로 판단되었다.

자주식 2조 감자수확기에 채용을 위한 롤러 및 벨트 컨베이어를 이용한 감자 줄기, 흙덩이 및 돌 선별, 2단계 감자크기로 분리 수집할 수 있는 실험용 감자 선별, 정선장치를 설계 제작하여 감자공급율, 선별 컨베이어 벨트속도, 선별 컨베이어 경사각에 따른 선별 성능을 분석하였다.

선별 컨베이어 벨트속도가 0.2-0.4m/s, 작은 감자 컨베이어, 큰 감자 1단 컨베이어, 큰 감자 2단 컨베이어가 각각 20, 25, 15° 조합 일 때 가장 좋은 선별성능을 보인 것으로 판단되었으며, 이때 총 감자선별율 80-91%, 총 흙덩이 및 돌 선별율 62-87%, 선별, 정선장치의 선별성능지수는 74.0-86.7%로 분석되었다. 국외 개발 자주식 감자수확기에 비하여 매우 소형으로 설계 제작되었지만 선별인력을 감소시키기 위한 선별성능 향상에는 한계가 있는 것으로 판단되며, 기계시각을 이용한 선별장치 보완 개발 등 추가적인 선별장치의 도입이 필요할 것으로 판단되었다.

4. 시작기 포장 성능시험

포장 성능시험 결과 시작기는 작업속도 0.31m/s, 감자 수집능률 15.1t/h가 가능하였으나 기계의 진동과 소음 등을 고려하였을 때 적정 작업은 주행속도 0.21m/s, 감자 수집능률 12.4t/h, 감자 수집률 93.0%, 감자 손상률 3.0%, 선별능률 83.5%인 것으로 나타났다. 따라서 시작기의 작업능률은 1.3 시간/10a으로 관행 인력 수확작업의 9.9시간/10a의 약 8배로 86.9%의 노력을 줄일 수 있는 것으로 분석되었다.

5. 시작기의 경제성 분석

분석결과 자주식 감자수확기의 이용비용은 120,077원/10a으로 관행 인력 수확비용 470,659원/10a에 비하여 74.5 % 절감할 수 있는 것으로 나타났다.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

1. 목표달성도

구분	연구 개발 목표	연구개발 내용 및 범위	달성도 (%)
1차 년 도 200 8.	주 관 · 자주식 감자수확기 개발을 위한 기초조사 · 감자 수확 요인시험장치 설계 제작 및 요인시험	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 수확시기 감자의 이송 및 수집 관련 물성 특성 분석 ◦ 자주식 감자수확기에 적합한 고랑 및 형상특성 분석 ◦ 감자 굴취 장치 설계를 위한 토양 물리성 조사 분석 ◦ 감자 굴취 및 이송장치의 설계인자 구명 및 설계 ◦ 감자 수집 및 배출장치의 설계인자 구명 및 설계 ◦ 감자 굴취, 이송, 수집 및 배출 시험장치의 제작 ◦ 감자 굴취, 이송, 수집 및 배출장치 요인시험 	100
	협 동 A · 시작기의 작업 안정성 분석을 위한 이론 정립 및 분석 · 시작기의 균평 제어시스템 설계	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 감자 재배지역의 재배 조건 및 지형 특성 분석 ◦ 시작기의 안정성 분석을 위한 요인 분석 ◦ 통합시작기의 이론적 안정성 분석 ◦ 시작기의 균평 제어시스템의 동력학적 분석 ◦ 시작기의 경사지 적응력 향상을 위한 균평 제어 시스템 설계 	100
	협 동 B · 감자 정선, 선별 기초 조사 · 감자 정선 및 선별 요인 시험장치 설계 제작 · 감자 정선 및 선별장치 요인별 성능실험	<ul style="list-style-type: none"> - 감자 정선 및 선별장치 자료 수집 - 감자 정선 및 선별장치의 설계인자 구명 및 설계 - 감자 줄기, 잡초 제거장치의 설계 제작 및 요인별 성능실험 - 흙덩이, 돌 선별장치의 설계 제작 및 요인별 성능실험 - 감자 크기별 분리장치의 설계 제작 및 요인별 성능실험 	100
2차 년 도 200 9.	주 관 · 통합시작기 구성 및 포장 성능시험 · 문제점 보완 설계 및 개량 제작	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 감자 굴취, 이송, 수집, 배출 시작기 제작 ◦ 굴취이송부, 정선선별부, 수집배출부, 주행부 통합시작기 구성 ◦ 각부 상호 연계 성능 검증 ◦ 통합 시작기의 문제점 보완 설계 및 개량 제작 ◦ 통합 시작기의 성능 시험 	100
	협 동 A · 시작기의 작업 안정성 분석 · 시작기의 균평 제어시스템 제작 및 성능실험	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 시작기의 주행성 및 작업 안정성 분석 ◦ 시작기의 경사지 적응력 향상을 위한 균평 제어 시스템의 제작 ◦ 시작기의 균평 제어시스템의 제어 성능 평가 	100
	협 동 B · 정선, 선별장치 설계 제작 · 정선, 선별장치 기초 성능 실험 · 정선, 선별장치 보완 설계 제작 · 감자수확기 채용 정선, 선별장치 포장실험	<ul style="list-style-type: none"> - 감자수확기 채용 감자 줄기, 잡초 제거장치 설계 제작 및 기초 성능실험, - 흙덩이, 돌 선별장치 설계 제작 및 기초 성능실험, - 감자 크기별 분리장치 설계 제작 및 기초 성능실험, - 정선 및 선별장치 보완 제작, 포장성능 실험 	100

2. 평가 착안점에 따른 목표달성도 자체 평가

구 분	평가 착안사항 및 척도(점수)	자체평가 달성도(점수)
1차년도 (2008)	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 감자주식 감자수확기 개발을 위한 기초조사(5) ◦ 감자 수확 요인시험장치 설계 제작 및 요인시험(10) ◦ 시작기의 작업 안정성 분석을 위한 이론 정립 및 분석(20) ◦ 시작기의 균형 제어시스템 설계(20) ◦ 수확시기 감자의 물성 분석 여부 및 적절성(5) ◦ 감자 정선, 선별장치의 자료조사 및 적절성(20) ◦ 감자 정선, 선별장치의 적정 설계 제작 여부(20) 	100
2차년도 (2009)	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 통합시작기 구성 및 포장성능시험 (20) ◦ 문제점 보완 설계 및 개량 제작(20) ◦ 시작기의 작업 안정성 분석(10) ◦ 시작기의 균형 제어시스템 제작 및 성능실험(20) ◦ 감자 정선, 선별장치의 요인시험의 적절성 및 실시 여부(10) ◦ 감자 정선, 선별장치의 성능 및 적절성(10) ◦ 감자수확기 채용 정선 및 선별장치 포장실험(10) 	100
최종 평가	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 자주식 감자수확기 성능의 우수성(100) 	100

3. 관련분야에의 기여도

- 우리 실정에 적합한 소구획 재배포장에 적용 가능한 감자수확기 개발
- 감자 수확작업에 소요되는 노동 투하량을 현재의 9.9hr/10a에서 1.3hr/10a으로 줄일 수 있고 적기수확이 가능하여 감자재배의 생산비 절감과 상품성 향상
- 감자 생산비의 절감으로 공급의 탄력성, 국제경쟁력을 높임으로써 농민의 경작욕구 제고
- 감자 수확기 개발 기술의 참여기업 이전을 통한 국산화 개발에 기여
- 비닐 무피복 재배 감자수확기 개발의 기초자료 제공
- 바퀴형 주행장치의 전작물 수확기 개발 기초자료 제공
- 국내 감자수확기 선별, 정선장치 채용
- 감자수확기 선별, 정선 소요 노동력 절감
- 타 전작물 수확기 선별, 정선장치 개발의 기초자료 제공
- 감자수확기 기계시각 적용 선별장치 개발 기초자료 제공
- 타 전작물 수확기 수집장치, 이송장치 개발의 기초자료 제공
- 감자 선별 소요 노동력 절감, 적기수확을 통한 감자의 상품성 향상
- 감자 선별 수확으로 인한 수확 후 감자처리의 용이성 증대
- 수확 후 저장 출하용 감자의 품질 향상에 기여

제 5 장 연구개발 결과의 활용계획

1. 추가 연구의 필요성

- 감자수확기 개량 연구(동력전달시스템, 굴취부, 선별 개선 등)
 - 감자수확기 안전성 확보를 위한 자세제어장치의 개량
 - 감자 굴취 및 배출을 위한 굴취 및 배출부의 개선
 - 감자 이송장치의 소음과 진동 개선
 - 감자 선별시스템의 개선
- 감자수확기 선별, 정선부 개량 연구
 - 감자 선별율, 흙덩이 및 돌 선별율 제고, 선별, 정선부 소형화를 위한 개선
 - 기계시각 시스템을 활용한 감자 선별, 정선장치의 수확기 채용
 - 다양한 선별, 정선장치의 유기적 결합을 통한 선별, 정선 성능 제고

2. 타 연구에의 응용

- 무멀칭 재배 감자 수확기 개발 연구
- 감자, 고구마 등 자주식 서류수확기 개발 연구
- 바퀴형 전작용 수확기 개발 연구
 - 기계시각을 이용한 발작물 수확기 선별, 정선장치 개발 연구
- 롤러, 벨트 등 각종 기계식 컨베이어 장치를 활용한 발작물 이송장치, 선별장치 개발 연구

3. 기업화 추진방안

- 산업재산권 출원 : 2011년
- 신개발기종 지원 보급을 위한 정부 시책건의 : 2011
- 자주식 감자수확기 이용 효과 및 이용 방법 영농활용 : 2011
- 홍보 및 개선보완을 위한 현장접목연구 수행 : 2011년
- 기술이전 : 2011년
- 신기술 농업기계 지정 추진
- 농가 시범보급 : 2011년
- 업체 실용화 및 농가보급 : 2012년

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술 정보

- 감자수확기의 형태, 주요 구조, 성능
- 저장용 감자의 수확 후 관리 체계 및 방법
- 감자수확기에 채용된 굴취 전 감자의 형태, 주요 구조, 성능
- 감자수확기에 채용된 굴취 후 감자의 형태, 주요 구조, 성능
- 저장용 감자의 적정 크기
- 생 감자 및 저장 감자의 물리적, 기계적 특성
- 속도에 따른 감자의 등급 분포
- 감자수확기 선별, 정선장치의 형태, 주요 구조, 성능, 특히 현황
- 감자수확기 채용을 위한 기계시각 시스템 활용 선별장치의 기초연구 자료

제 7 장 참고문헌

1. 농림부. 2004. 채소산업 종합대책 추진계획(안).
2. 농촌진흥청. 1994. 진동굴취탈형 마늘·감자수확기 개발. 농시보. pp. 300-313.
3. 농촌진흥청. 1995. 채소 수확 후 기계화 유형개발. 농촌진흥청 연구보고서.
4. 농촌진흥청. 1998. 원예작물 기계화를 위한 재배양식의 표준화 연구.
5. 농촌진흥청. 2005. DDA·FTA 대응 품목별 경쟁력 제고방안. pp. 81-121.
6. 농촌진흥청. 2005. 시험연구결과 경제성 분석방법. pp. 39-60.
7. 이승규, 1995, 농업기계화의 장기전망과 기계화기술 개발전략에 관한 연구, 농림부 연구 보고서
8. 이종호, 이중용. 1994. 원예작물 수확기의 개발현황과 문제점. 원예작물의 재배 및 생산의 생력화를 위한 장치개발에 관한 심포지엄자료. pp.57-63.
9. 이우승 외, 1994. 백합과 채소 재배기술. 경북대학교 출판부
10. 정창주 외. 1992. 농작업기계의 분석과 설계. 서울대학교 출판부.
11. 이종호, 이중용. 1994. 원예작물 수확기의 개발 현황과 문제점. 원예작물의 재배 및 생산의 생력화를 위한 장치개발에 관한 심포지엄. pp. 57-63.
12. Carson W. M., Jr. and L. G. Williams. 1969. Design and Field Testing of an Experimental Onion Topper. Transactions of the ASAE. 228-230.
13. Chance, W. O, D. M. Granberry, and W. J. McLaurin. 1993. Dry bulb onions: commercial vegetable production. Cooperative Extension Service Publication C-801. Athens, Ga.:University of Georgia.
14. Chesson J. H., H. Johnson, Jr., C. R. Brooks, R. G. Curley, P. F. Burkner, and R. M. Perkins. 1977. Mechanical Harvesting Investigations for Fresh Market Onions. Transactions of the ASAE.
15. D. B. Curchill, 1981, A Direct-Loading, Offset Pickup Machine for Citrus. Transactions of the ASAE : 315-317
16. D. L. Peterson, G. K. Brown, A. K. Srivastava, 1981, Mechanical Harvester for Leafy Green Vegetables. Transactions of the ASAE : 312-314, 318
17. 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
18. Droll R .W. , R. E. Armstrong, C. G. Coble, W. H. Alfred. 1976. Mechanical Onion Top Removal and Related Pre-Harvest Practices.

- Transactions of the ASAE. 1048-1050.
19. 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
 20. 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.
 21. G. C Misener, C. D. McLeod, L. P. McMillan, 1984, Evaluation of a Prototype Potato Harvester. Transactions of the ASAE : 24-28
 22. Kanafojski C. T. Karwowski. 1976. Agricultural machines, Theory and Construction Vol. 2 Crop-Harvesting Machines. The foreign scientific publications department of the national center for scientific, technical and economic information Warsaw, Poland.
 23. Lepori, W. and P. Hobgood. 1970. Mechanical harvester for fresh market onions. Transactions of the ASAE. 13(4):517~519
 24. Lorenzen, C., Jr. 1950. Development of a mechanical onion harvester, Agricultural Engineering. 31(1)13-15.
 25. Maw B. W, D. A. Smittle and B. G. Mullinix. 1997. Artificially curing sweet onions. Applied Engineering in Agriculture. 13(4):517~520.
 26. Maw B. W, B. G. Mullinix .2001. Grade distribution of sweet onions harvested at different maturities. Applied Engineering in Agriculture. 17(6):833~836.
 27. Maw B. W, E. J Williams and B. G Mulinix. 2002. Resistance of sweet onions to airflow. Transactions of the ASAE. 45(1):39~45.
 28. Maw B. W, D. A. Smittle, B. G. Mullinix and J. S. Cundiff. 1998. Design and evaluation of principles for mechanically harvesting sweet onions. Transactions of the ASAE. 41(3):517~524.
 29. Maw B. W, R. L Torrance and B. G Mulinix. 2002. Suitability of full bed elevator harvesters for sweet onions. Applied Engineering in Agriculture. 18(1)29~33.
 30. Maw B. W, Y. C. Hung, E. W. Tollner, D. A. Smittle and B. G. Mullinix. 1996. Physical and mechanical properties of fresh and stored sweet onions. Transactions of the ASAE. 39(2):633~637.
 31. Maw B. W., A. C. Purvis, B. G. Mullinix. 2002. Enhancing the

- Performance of the CPES Sweet Onion Harvester. Transactions of the ASAE
18(1): 23-28
32. Shahin M. A, E. W Tollner, R. D. Gitaitis, D. R. Sumner and B. W. Maw.
2002. Classification of Sweet onions based on internal defects using
image processing and neural network techniques. Transactions of the ASAE.
45(5):1613~1618.
33. Wingate-Hill R. 1977. Performance of a Top-lifting Harvester for Early
Onions. J. Agric. Engng Res. 22, 271-281
34. W. M. Carson. Jr. and L. G. Williams, 1969, Design and Field Testing of an
Experimental Onion. Transactions of the ASAE :228-230
35. 三浦恭志郎. 1997. 日本の園藝作物生産機械化技術現況と發展方向. 농업기계화연구소
심포지움, pp. 3-46
36. 川崎 建, 富田 貢, 金谷 豊. 1975. タマネギ用定置式 タップの改良試験. 農業機械
學會誌. 38(4)529-537.

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.