

## 양파줄기 절단기계 개발 연구

이승윤\* / 경상남도 농업기술원

### 연구 필요성

양파는 농가의 겨울 휴경기 이용으로 소득을 증대시키는 중요한 작물이며 채소류 중 소비 증가율이 가장 큰 작목 중의 하나로 '90년 이후 소비자들의 식생활 변화 및 건강에 대한 관심도 증가와 함께 소비량이 지속해서 증가함에 따라 재배면적도 2013년 20,036ha, 2014년 23,557ha이며 생산량도 평년보다 각각 6% 이상 증가한 1,471,000톤이다.

양파는 재배면적과 농가소득 측면에서 중요하고 국민 식생활에도 큰 영향을 미칠 만큼 중요한 작물이다. 2014년도 가격은 평년보다 60% 수준으로 형성되고 있는데 그 원인은 5월 고온과 가뭄 등의 영향으로 병해충 발생이 늘어나 전체 작황은 중만생종 양파의 생육이 부진하여 단위면적당 수확량은 감소하였으나 최근 몇 년간 양파가격의 상승세로 재배면적이 23,908ha로 전년보다 19% 증가하였기 때문이다.

2011년 4월에는 한·중 통상장관 회담(베이징), 2012년 2월 한·중 FTA 공청회, 3월과 4월에 각각 한·중 FTA 추진 관련 사전 실무협의회를 서울과 베이징에서 개최한 데 이어 2012년 5월 2일에 이르러 한·중 통상장관의 회담을 계기로 본격적인 한·중 FTA 협상 개시를 선언하게 되었고, 2012~2013년 중국의 내수 소비 시장 성장의 기회를 잡을 수 있는 가장 직접적인 방법은 한·중 FTA에 따른 관세철폐를 들 수 있다. 하지만 농수산업 등의 1차 산업, 특히 경쟁력이 약한 양파, 마늘, 고추, 잡곡류, 두류, 특·약용 작물 등 발작물 생

---

\* 이승윤: 경상남도 농업기술원 농기계 교관. 농업인을 대상으로 올바른 농기계사용법, 점검정비법과 안전사고 예방 교육을 맡고 있으며, 농업인들의 애로와 고충을 덜어주고자 양파줄기 절단기계 개발에 노력하고 있다.

산에 막대한 피해가 예상되므로, “밭농업 FTA”라고 한다. 특히 양파의 경우 2014년도 중국산 양파 작황이 양호하여 5월 말 중국산 신선양파의 민간 수입 가능 가격은 전년 동기(1,930원)보다 60% 낮은 765원/kg(할당관세<sup>1)</sup> 135% 적용)이나, 도매시장 출하가능 가격은 840원으로 국내산보다 높은 수준으로 추정한다. 한·중 FTA가 발효되면 중국산 수입 양파의 가격은 국산 양파 가격의 60% 이하 수준까지 하락하게 될 것이다.

양파의 기계화작업은 경운 정지, 방제, 휴립 비닐 피복(골을 만들면서 비닐을 피복) 등을 제외하고는 대부분 인력에 의존하고 있는 실정으로 규모화와 생산비 절감, 가격 경쟁력 제고를 위한 기계화가 절실하다(양파 정식의 경우는 일부 지역에서 반자동 정식기 및 구보다 4조 정식기를 사용함).

국내의 양파재배 작업별 노동 투하시간은 총 241.2hr/10a로 기계화가 미흡한 파종, 정식 및 수확작업의 비중이 가장 높아 생산비에서 노력비가 42%로 가장 많고, 작업 단계별로는 파종과 정식이 30.8%, 수확작업은 26.4%이며 수확작업에서는 줄기절단 30%, 굴취 60%, 수집 10%의 비율로 노동력 전체 노동 투하시간 중 줄기절단에는 27.6hr/10a이 소요된다. 특히 수확작업은 대부분 인력에 의존하고 있고 농촌 노동력은 1970년 2,843,318 농가에서 2010년 53%로 급속히 감소하고 있으며, 농촌 노동력은 노령화로 도시에서 온 숙달되지 않은 인력이 작업을 하기 때문에 노동생산성이 많이 떨어지고 있다. 이러한 현상은 전체 농업 구조와 같은 현상이지만, 특히 양파 재배는 벼농사와 마찬가지로 정식과 수확시기에 노동력이 집중되므로 심각한 문제를 초래하고 있다. 더욱이 양파 주생산지인 남부지방은 논에서 재배할 경우 수확 후 곧바로 묘 이앙(6월 초순~중순경)으로 이어지므로, 동시다발적 인력수요로 수확에 많은 어려움을 겪고 있다. 굴취 및 수집의 기계화는 진행되고 있으나 줄기 절단 장치의 연구는 저조하며 줄기 절단이 상품성에 크게 영향을 미치므로 손상을 최소화할 수 있는 장치의 기술개발이 요구되고 해마다 재고물량과 재배물량 증가로 양파 가격하락으로 이어지면 농가소득에 악영향을 미치므로 양파 재배 기계화로 농가 경영비 절감이 절실히 필요하다.

관행 양파 재배에서 최대한 기계화할 경우 생산비를 약 50% 정도 줄일 수 있고 농업인의 근골격계 질환도 80% 정도 예방할 수 있다. 이처럼 중요한 위치를 차지하고 있는 양념 채소의 안정적 생산·공급을 위하여 기계화 기반 조성, 생산비 절감 등이 해결되어야 할 과제이다.

1) 할당관세(관세법 제71조): 특정 물품의 수입촉진, 수입가격이 급등한 물품의 국내 가격 안정, 세율 불균형 해소 등을 목적으로 특정물품의 수입에 대하여 일정한 수량의 쿼터를 설정하여 놓고 그 수량 또는 금액만큼 수입되는 분에 대해 무세 내지 저세율을 적용하고 그 이상 수입되는 분에 대해 고세율을 적용한다.

(표 1) 양파생산 작업공정별 노동투하시간 분석

(단위: hr/10a)

작업 공정		관행	비고
묘 준비		3.2	기계화 할 경우 29.9~57.7
본답 준비		9.9	
정식		64.0	
줄기 유인		25.7	
수확	줄기 절단	18.0	
	뽑기	27.6	
	포장 운반	37.9	
기타(육묘, 시비복토, 방제, 관수 등)		54.9	
계		241.2	

농업인들의 애로사항인 양파 재배 기계화의 소망을 많이 들었고 농업기계를 평생의 천직으로 생각하는 본 연구자에게 농업인들의 애로와 고충을 들어주고자 양파줄기 절단기계 개발을 시작하였으며 저비용의 기계를 개발하고자 4차에 걸쳐 다양한 방법으로 기계를 연구·제작하여 실험하였다. 연구를 시작하면서 지역별, 농가별로 농업인들의 재배 양식의 차이가 커 기계 개발에 많은 애로사항이 많았고, 1년차에는 아무런 성과를 거두지 못했다. 2013년 10월 25일, 2년차 실험은 기계화가 가능한 양파 정식기로 양파를 정식, 재배한 포장에서 실험하여 양파줄기 절단기계 실용화에 이바지하고자 하였다.

## 연구방법 및 내용

국내 양파 재배 형태는 대부분 9월에 파종하여 이듬해 4월부터 수확하는 추파재배 작형과 강원도 일부지역을 중심으로 3월 상순에 파종하여 9월 상순경에 수확하는 춘파재배 작형으로 크게 나누어진다. 숙기별로는 추파재배에서는 3월 하순부터 4월 하순까지 생산되는 조생종이 15% 정도를, 5월 중순부터 6월 중순까지 생산되는 중만생종이 85%를 점유하고 있으며, 춘파재배는 극만생종 위주로 재배되고 있다. 전국 어디에서나 재배가 가능하며 제주, 전남, 경남, 경북지역에서 전체 재배면적의 94% 이상이 재배되고 있으며 주요 주산지는 무안, 신안, 함평, 해남, 창녕, 함양, 합천, 제주, 영천 등이다.

본 연구는 경남지역 주산지인 창녕, 함양을 중심으로 양파재배 기계화를 전제로 줄기 절단기계 개발을 하여 농가소득과 노동력 절감에 기여하고자 수행하였다.

## 1. 양파줄기 절단기계 개발을 위한 기초조사

## 가. 주산지 재배 양식 특성 및 관행수확방법 조사

〈표 2〉 양파 재배 양식 특성

구분	주산지별 재배 특성	
	함양	창녕
양파 재배포장	논, 밭	논
토양	미사질양토	미사질양토
주요 재배 품종	조생종(마이볼), 중만생종(아트, 유토피아, 아이연)	중만생종(터보, 카다마루, 창녕대고)
이랑폭(mm)	1,400~2,000	1,200~1,400
골폭(mm)	200~400	300~400
골깊이(mm)	100~150	100~200
이식방향	장방향	장방향
조간(mm)	140~160	150~180
비닐피복(유공, 무공)	유공(8~12)	유공(6~8공), 무공
비닐제거시기	줄기절단 후	줄기절단 후
수확시기	6.10~22(중만생종)	6.5~6.20(중만생종)
수확방법	인력뽑기, 굴취기	인력뽑기, 굴취기
줄기절단위치(mm)	30~70	30~50
출하형태	망(20kg)	망(20kg)
후작물	벼	벼

양파줄기 절단기계 개발에 영향을 미치는 재배측면의 설계 기초자료를 제시하고자 각 지역별로 포장에서 비닐제거 시기와 수확 시기, 작업폭, 조간 등에 관한 기본 조사를 실시하였다.

## (1) 함양 지역

전국 양파재배 면적의 3.5%를 차지하는 경남 함양군은 이랑 폭이 1,400~2,000mm, 8구에서 12구까지 다양하게 재배를 하였으며, 포장준비는 관리기로 구굴 작업을 해서 인력으로 정식후 수확하는 전형적인 노동 집약형 농법을 하였다. 줄기절단의 길이는 100mm 이하로 저장 중에 발생할 수 있는 병원균 감염에 대비하여 30~70mm정도 낮으로 줄기 절단작업을 하였다.

〈그림 1〉 함양지역 양파 재배 모습



\*두둑 폭 8구 1400mm, 구와 구사이의 거리 50mm

## (2) 창녕지역

통계청 자료에 의하면 전국 재배면적의 8%를 차지하는 경남 창녕군은 대부분 농가가 이랑 폭 1,200mm, 6구의 멀칭비닐을 사용하여 트랙터로 구굴 작업과 피복을 한 후 인력으로 정식을 하였다. 줄기 절단은 함양지역과 마찬가지로 기계화되지 않아서 인력으로 절단하였으며, 일부 농가는 굴취기로 수확작업을 한다.

〈그림 2〉 창녕지역 양파 재배 모습



\*두둑 폭 6구 1200mm, 구와 구사이의 거리 70mm

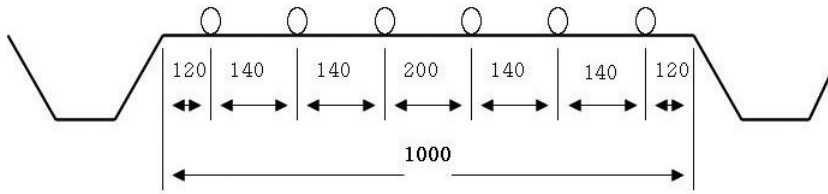
## 나. 기계화 표준재배 방법

### (1) 양파 기계화 재배 두둑 규격

양파재배 생력화를 위한 정식기계 개발에 있어서 기계화 재배양식으로 경남양파산학연합

력단이 제시하고 있는 양파 6조 표준재배 두둑 규격은 <그림 3>과 같이 조간거리는 중앙 200mm, 나머지는 140mm이고 끝단은 120mm이다.

<그림 3> 양파정식기계 6조 표준재배 규격(단위: mm)



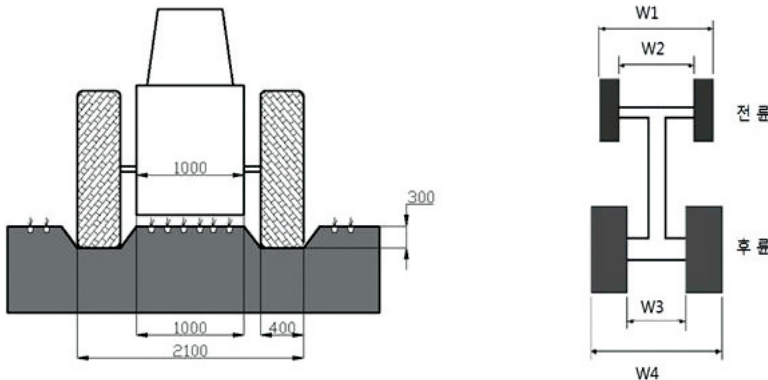
(2) 주행장치 특성조사

1, 2, 3차 시작기의 주행장치는 보행형 관리기와 승용 이앙기인 자주식인데 반해서 작업의 효율성을 높이고자 최종실험을 위한 장치는 트랙터를 이용한 부착작업기 형태로 결정하였다.

(가) 트랙터 바퀴 간 거리

<그림 4>는 트랙터가 두둑에서 작업하는 것을 나타낸 그림이다. 두둑이 1,000mm이기 때문에 그 이상의 폭이 필요한 것으로 나타났다. 그림 4(우측)는 트랙터의 바퀴 구조를 나타낸 것이다. 양파의 줄기 절단이나 수확을 위해서는 전륜내측(W2)과 후륜 내측(W3)이 1,000mm 이상이 되는 트랙터를 사용하여야 한다. <표 3>은 트랙터 바퀴간의 거리를 조사한 것이다.

<그림 4> 트랙터 작업 폭과 구조



〈표 3〉 트랙터 기종별 바퀴 간 거리

(단위: mm)					
기종(PS)	전륜 외측(W1)	전륜 내측(W2)	후륜 내측(W3)	후륜 외측(W4)	바퀴 폭(후륜)
대동(35)	1,300	930	790	1,470	340
L S(48)	1,480	960	926	1,606	340
국제(45)	1,500	1,180	940	1,620	340
동양(52)	1,500	1,050	890	1,530	320
L S(62)	1,700	1,150	1,000	1,760	380
대동(65)	1,750	1,180	1,150	1,950	400

(나) 실험 주행 장치 기종 선정

〈표 3〉의 내외측 바퀴간 거리 조사를 근거로 기체의 중량과 차축 폭의 개량 용이성 등을 검토하여 양파 재배 기계화 일관체계를 구축할 수 있는 최적의 기종으로 Ls엠트론 저상형 R480트랙터를 선정하였다. 구체적인 제원은 〈표 4〉와 같다.

다. 절단장치의 유형 선정

양파의 줄기를 절단하는 방법에는 다양한 도구가 있고 현재 농촌에는 대부분 낫이나 가위 등으로 작업하고 있다. 줄기절단 기계의 절단장치의 유형 선정은 앞으로 수확 후 보관과 저장 중에 병원균의 침투로 발생할 수 있는 부패를 줄이기 위한 실험과 관련성이 있다. 〈그림 5〉는 관행 작업 도구인 낫, 회전식 일자 칼날, 원형 칼날, 콤파인용 예취 칼날을 절단 실험

〈표 4〉 선정된 저상형 R480트랙터의 사양

	항 목	규 격
본체크기	길이×폭×높이 (mm)	3,120×1,430×2,585
	중량 (kg)	1,650
타이어규격	전륜	9.5-16
	후륜	13.6-24
PTO	형식 (선택 사양)	독립형/주행 비례형
	PTO 속도(rpm)	540/750/1000/ 주행 비례
유압	유압 제어 종류 (선택 사양)	위치/견인/수평제어
	후방포트수	6개
엔진	엔진 출력 PS(kW)	48(35)
	회전 수(rpm)	2,600
주행성능	전·후진 변속단수 (전진×후진)	32×16
	주행속도(Km/h)	0.17~26.22

하여 mi-5040p 영상현미경으로 50배 확대한 결과 관행작업 도구인 낫과 절단면이 유사한 콤팩트인 예취날인 트리머형으로 결정하였다.

〈그림 5〉 작업도구별 절단부 표면(mi-5040p 영상현미경으로 50배 확대)

도구	낫	일자 낫	원형 낫	트리머
절단 모습				
절단면				
확대				

### 라. 줄기절단 길이 선정

장기저장용 양파의 줄기는 70mm 이상 남겨두고 자르는 것이 좋다. 너무 짧게 자르면 목 부위로 병원균 침입이 쉬워 저장 중에 쉽게 부패한다. 5개월 이내의 단기저장 시에는 40mm 이상 절단 처리 구에서 부패발생에 큰 차이를 보이지 않아, 12월 이전까지 저장하여 출하할 경우에는 수확 시 40mm 이상으로 절단하도록 하고, 7개월 이상 장기저장 할 경우 70mm 이상으로 절단하여 수확하도록 한다.

〈표 5〉 줄기절단 길이에 따른 부패 발생률(2011~2012)

(단위: %)

줄기절단 길이(mm)	수확시기	8월	9월	10월	11월	12월	1월
10	90% 도복	2.8	7.3	7.8	10.0	10.3	13.4a*
40		0.4	2.6	2.9	4.0	5.1	9.0b
70		0.6	1.2	3.1	5.0	4.8	7.0bc
100#		0.4	1	1.4	2.1	3.2	4.4c
10	100% 도복 10일 후	1.4	3.5	5.6	9.5	9.8	16.6a
40		1.1	1.7	2.8	6.0	5.3	8.9b
70		0.2	0.6	2.4	3.0	3.3	5.5bc
100#		0.4	0.6	1.6	2.0	2.4	3.8c

\*DMRT (5%), # 100mm 처리 : 1년 차 결과

〈그림 6〉 수확 시 줄기 절단 길이



## 2. 비닐 인장 실험

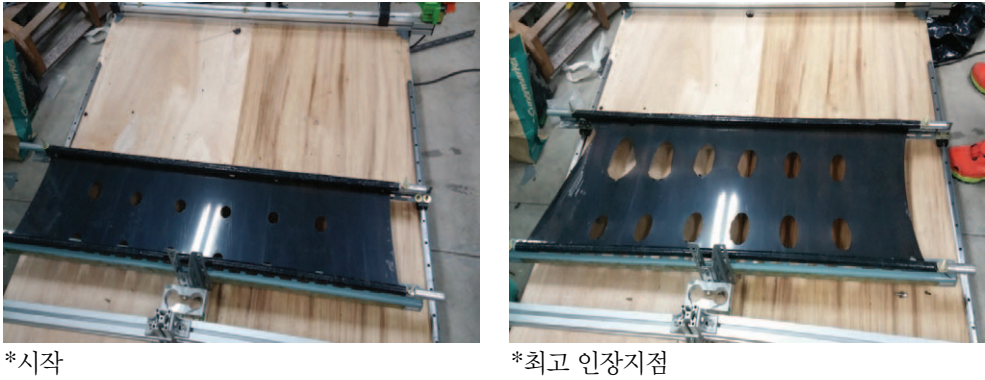
### 가. 공시재료

공시재료는 양파재배 농가에서 멀칭용으로 사용하고 있는 두께 0.02mm와 0.025mm의 흑색 6공 필름을 사용전과 비닐을 피복하여 250일에 샘플을 채취하여 인장시험을 하였다.

### 나. 실험방법

본 실험에 적용한 양파줄기 절단기계의 특징은 비닐을 유도하면서 양파의 줄기를 절단하는 기계이므로 줄기 절단시 비닐의 최대 인장력을 구명하기 위하여 제작한 비닐 인장실험 장치이다.

〈그림 7〉 스트레인 게이지(Strain Gauge)를 활용한 멀칭비닐 인장실험 장치



비닐 인장시 속도 조정과 좌우 직선운동을 위하여 전기모터 및 LM guide(직선 운동장치)를 설치하여 인장력이 로드셀로 잘 전달되도록 하였다. 인장 시 로드셀에 전달되는 스트레인 값은 로드셀과 연결된 스트레인 증폭기(표 6)로 검출, 증폭, 출력되며 이때 출력된 아날로그 신호는 데이터 계측장치(표 7)에 입력되어 디지털 값으로 변화시킨 후 RS232C 통신을 통하여 컴퓨터(표 8)에 입력되게 하였는데, 이 자료들은 Quick Basic을 이용하여 처리하였다. 인장속도는 전기모터에 컨트롤러를 달아서 조정하였다.

〈표 6〉 스트레인 게이지 증폭기 사양

항목	내용
모델	DPM-700B (Kyowa co., Japan)
입력 전원	AC 110V
감도비(S/N ratio)	$2/10 \times 10^{-6}$ , 52db, 8ch
범위	100~200 $\mu\epsilon$ , 200was selected

〈표 7〉 컴퓨터 데이터 수집 장치 사양

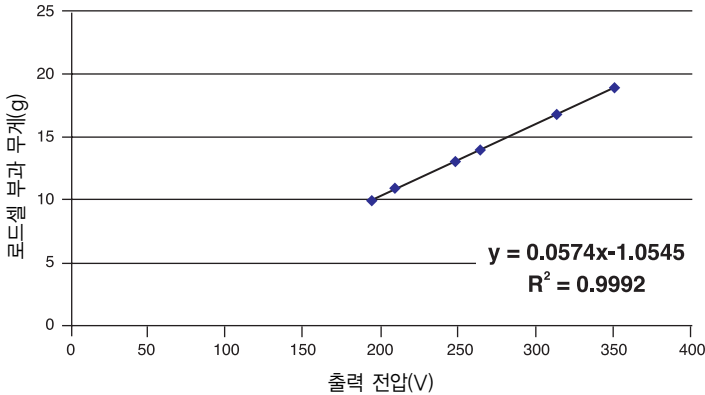
항목	내용
모델	System 10 K7 (Daytronic co., U.S.A)
입력 전원	AC 220V
변환 장치	Quad Voltage conditioner card( $\pm 5V$ DC)
통신	RS-232C to PC

〈표 8〉 비닐인장실험을 위한 컴퓨터 사양

항목	내용
컴퓨터CPU	Intel Pentium - 75MHz, RAM 16Mb
운영체제	Windows 98 SE
언어	Quick BASIC
모니터	Samsung color monitor (800×600)

〈그림 8〉은 시험에 사용한 로드셀에 부과되는 무게와 스트레인증폭기로 출력되는 전압과의 관계에 대한 선형회귀식을 도식한 것이다.

〈그림 8〉 로드셀에 부과되는 무게와 스트레인 증폭기로 출력되는 전압과의 관계



이 선형회귀식은 비닐 인장시 인장력을 측정하기 위하여 사용하였다. 측도 설정은 로드셀에 부착된 평판 위에 일정한 무게를 부과하였을 때 출력되는 전압을 측정하여 선형회귀식을 구하였다. 비닐 인장 속도의 변화에 따른 비닐 최대 인장력 등을 분석하였다.

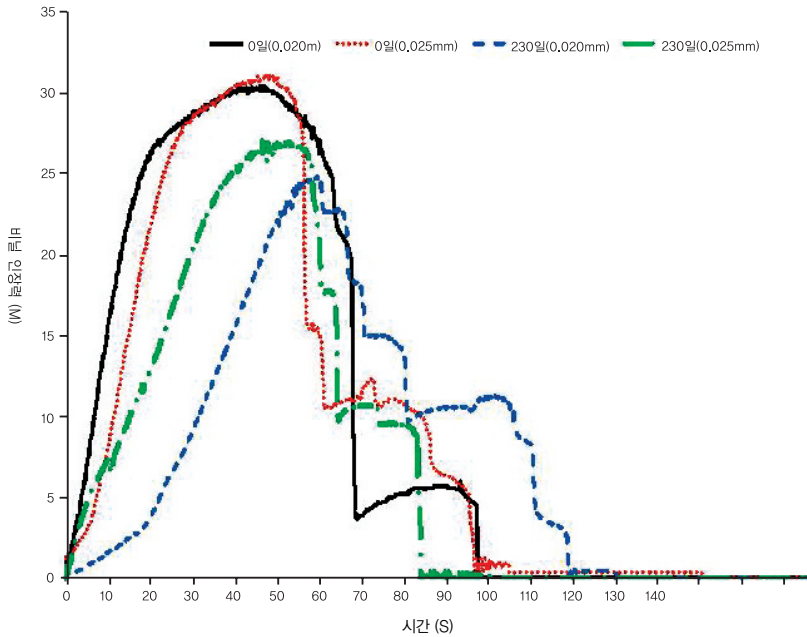
### 다. 인장력 실험

시간이 지남에 따라 비닐 인장력의 변화가 있는지 확인하기 위하여 사용 전 비닐 3회, 땅에 묻은 후(정식 후) 230일이 지난 비닐을 3회 채취하여 실험하였다.

인장력 실험에서 비닐 두께 0.020mm는 0일 경과 시 최대인장력이 30.35N으로 230일 경과 시는 24.77N으로 나타났으며, 비닐 두께 0.025mm의 경우는 0일 경과 시 31.02N이며, 230일 경과 시는 26.99N으로 나타났다. 그러나 시간경과에 따른 차이는 크게 나타나지 않았다.

비닐의 두께가 0.005mm 증가함에 따라 최대 인장력이 약 2N이 증가한 것으로 나타났으며, 재료비 단가는 0.020mm가 m<sup>2</sup>당 87원, 0.025mm가 평당 110원으로 23원의 차이가 났다. 하지만 양파 재배 기계화를 위하여 0.025mm 두께의 비닐을 사용하여 재배하는 것이 적합한 것으로 판단되며 본 연구의 줄기 절단기계는 작업 시 비닐을 유도하여 줄기를 절단하는 방식이기 때문에 비닐이 끊어질 경우 작업이 중단되므로 실험 결과를 바탕으로 4차 시작기 제작에 반영하였다.

〈그림 9〉 멀칭 비닐 인장실험 결과



〈표 9〉 비닐 최대 인장력

비닐 두께(mm)	최대 인장력(N)		가격(원)
	0일	230일	
0.020	30.35	24.77	87
0.025	31.02	26.99	110

\*양파를 정식한 포장과 같은 조건으로 비닐을 두둑에 멀칭하여 포장에서 0일과 230일에 수거하여(도복 90%이상의 수확 시기) 실험함.

### 3. 양파줄기 절단기계

#### 가. 1, 2차 시작기 구조 및 주요사양

1차 제작한 줄기 절단기계의 주행장치는 실용화 차원에서 저비용으로 기계화하기 위하여 농가에서 많이 사용하는 6.5마력 보행형 관리기이며 예취날을 구동하기 위하여 동력취출부를 개조하였고, 예취날은 4조 콤바인의 복동식 예취날을 단동식으로 개조하였다. 비닐을 유도하는 비닐 끌어당김롤러(롤러폭 1,200mm)를 장착하여 비닐을 걷어 올린 후 회전축식 비닐

수거장치(직경 150mm, 폭 1,400mm)로 비닐을 감아서 수거하는 구조로 최대 100m까지 비닐 수거가 가능토록 제작하였다.

줄기 이송 및 배출을 할 수 있도록 DC 12V 모터를 장착하였으며 비닐유도, 줄기절단, 절단 줄기배출, 비닐수거 일관작업이 가능토록 고안된 구조이다.

작동원리는 양파줄기 길이를 고려하여 비닐을 20° 경사로 유도한 상태에서 양파구에서 50~70mm 정도의 높이로 6줄의 양파줄기를 트리머 형태의 절단 날을 이용하여 한꺼번에 절단하며, 비닐은 회전식 비닐수거장치(직경 150mm, 폭 1,400mm)로 감아서 수거한다. 줄기 절단 높이 조절 방식은 이륜구동의 보행형이기 때문에 작업기 전방에 부착하여 기계식 구조인 미륵에 의해 조절되도록 하였다.

절단된 줄기배출방식은 우레탄 컨베이어벨트(1,400mm×2,000mm)에 절단된 줄기가 비닐과 함께 상부로 이송되어 비닐수거장치에 비닐이 감기기전에 자연 낙하하여 배출 컨베이어(1,400mm×500mm)에 의해 좌측 이랑골로 배출되도록 하였다.

〈표 10〉 1, 2차 시작기의 구조 및 주요사양

구분	구조	주요 사양
1, 2차 시작기 도면		①비닐수거구동모타 ②롤러 ③폐비닐 ④배출롤러 ⑤높이조정핸들 ⑥높이조정외통 ⑦유니버설조인트 ⑧하부텐션롤러 ⑨예취날구동크랭크 ⑩예취날 ⑪바퀴 ⑫텐션구동모터 ⑬체인 ⑭컨베이어 벨트 ⑮상부텐션롤러 ⑯배출구동모타 ⑰프레임 ⑱PTO ⑲엔진 ⑳주행바퀴 ㉑멀칭비닐
1차 시작기 (외형)		○기체크기: 1,700mm×1,400mm×1,600mm ○형식: 줄기절단 비닐수거 동시작업 ○비닐건어올림부: - 회전식비닐끌어당김롤러(폭1,400mm) ○주행동력원: 6.5hp 보행형 관리기 ○비닐수거동력: 12V DC모터 구동

### 나. 3, 4차 시작기 구조 및 주요 사양

1, 2차 시작기는 2륜 구동되므로 토양에 따라서 슬립이 발생하고 조향이 어려워 승용형으로 다시 제작하였다. 줄기절단작업의 편의성을 위하여 승용형으로 제작한 3호기는 자원의 재활용 차원에서 92년식 대동공업사의 제품인 S2-600 중고 승용이양기를 활용하였으며, 0.51~0.82 m/s의 작업 속도와 엔진부가 전방에 있어 2호기의 작업장치부를 그대로 적용하여 후방에서 작업할 수 있도록 제작하였다.

비닐 수거 롤러의 회전수는 롤러 중간지점에 텐션장치를 추가하였고 텐션장치에 액셀러레이터를 설치하여 비닐의 긴장도에 따라서 비닐 수거 롤러의 회전수가 자동 조정되도록 설계하였다.

〈표 11〉 2차 시작기의 구조 및 주요사양

구분	구조	주요 사양
2차 시작기 (외형)		<ul style="list-style-type: none"> <li>○기체크기 : 1,700mm×1,400mm×1,200mm</li> <li>○형식: 줄기절단 비닐수거 동시작업</li> <li>○줄기절단방식 : 왕복구동형 트리머식</li> </ul>
2차 시작기 (전면)		<ul style="list-style-type: none"> <li>○비닐수거동력: 12V DC모터 구동, 액셀러레이터 부착</li> <li>○주행동력원: 6.5hp 보행형 관리기</li> </ul>

〈표 12〉 3차 시작기의 구조 및 주요사양

구분	구조	주요 사양
3차 시작기 (측면)		<ul style="list-style-type: none"> <li>○기체크기: 2,000mm×1,400mm×1,200mm</li> <li>○형식:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>줄기절단 비닐수거 동시작업</li> </ul> </li> <li>○줄기절단방식:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>양복구동형 트리머식</li> </ul> </li> <li>○비닐수거동력:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>12V DC모터 구동,</li> <li>액셀러레이터 부착(회전수 조정)</li> </ul> </li> <li>○주행동력원: 7hp 승용이앙기</li> <li>○예취날구동: 유압 모터식</li> <li>○작업 속도: 0.51~0.82m/s</li> </ul>
3차 시작기 (상부)		

3호기 제작과 동시에 제작된 4호기는 다양한 작업이 가능하고 실용화가 용이하도록 트랙터부착 작업기의 형태로 제작하였다.

예취날의 작업 폭은 기계화 정식에 맞는 1,200mm이며, 구동방식은 트랙터의 외부 유압을 이용하여 유압모터에 크랭크 구동 방식이다.

멀칭비닐은 3호기까지는 줄기 절단과 동시에 수거하는 형태이나 4호기는 비닐을 양파와 이격시켜 줄기를 절단하고 곧바로 배출 롤러에 의해 후방으로 이송되도록 하였다.

공시 트랙터는 LS엠트론의 저상형 48마력이며, 앞타이어는 좌·우측의 위치를 교환하면 확장되는 구조로 뒷바퀴 내측 폭이 1,000mm가 되도록 차륜을 좌·우측 15mm씩 확장하였으며 최저 지상고는 300mm이다.

〈표 13〉 4차 시작기의 구조 및 주요사양

구분	구조	주요 사양
4차 시작기 (측면)		<ul style="list-style-type: none"> <li>○기체크기: 880mm×1,250mm×840mm</li> <li>○예취 폭: 1,200mm</li> <li>○비닐소입롤러 회전방식: 주행비례형 PTO</li> <li>○형식: 줄기절단 비닐 후방 배출</li> </ul>
4차 시작기 (전면)		<ul style="list-style-type: none"> <li>○줄기절단방식: 왕복구동형 트리머식</li> <li>○주행동력원 : 48hp 트랙터</li> <li>○예취날구동 : 유압 모터식</li> <li>○작업 속도 : 0.11~0.14m/s</li> </ul>

### 다. 실험방법

양파줄기 절단장치의 성능 특성 분석을 위한 포장 요인 실험은 작물 재배조건(복토 유무, 비닐유공 크기 및 조건), 가이드로 인한 양파의 손상 정도 등을 조사하였으며, 줄기 절단 요인 실험은 좌·우측부의 줄기 절단 작업 후 포장의 일부만 표본 추출하여 양파줄기 절단 길이와 절단 정도를 조사하였다.

## 연구결과 및 현장 적용사례

### 1. 줄기 절단기계의 포장 성능시험

#### 가. 1차 시작기 포장실험

포장실험은 함양군 수동면 소재 농가 재배포장으로 토양 함수율 20%, 두둑 높이 100mm 정도인 미사질사양토 포장에서 하였다. 수확시기에 줄기절단과 동시에 비닐제거가 가능하게 설계하였으나 비닐이 장기간 옥외에 노출되어 경화현상을 일으켜 인성이 없어서 끌어당길 때 몇몇 부분이 찢어지고 끊어지는 현상이 발생하여 연속 작업이 불가능하였다.

시작기의 비닐 감는 속도와 주행속도가 맞지 않아서 칼날 또는 가이드에 의해 비닐이 찢어져 버리는 결과가 발생하여, 주행속도에 맞추어 수동으로 비닐을 감으면서 실험하였다.

〈그림 10〉 1차 시작기 포장실험



\*비닐 감는 속도와 주행속도가 맞지 않아 비닐이 찢어짐.

1차 시작기는 보행형 관리기의 본체를 이용하였기 때문에 초저속작업이 불가능하고 작업 속도가 0.2m/s로 고정되어 있어 줄기 절단율 72%로 저조하였으며, 구 손상률은 10~12%로 다소 많이 손상되었고, 좌·우측의 골 깊이가 균일한 포장에서는 편차가 50mm 이내이나 좌·우측 골 깊이 차이가 있는 포장에서는 다소 편차가 크게 발생하였다.

〈표 14〉 2차 시작기 비닐수거 동시 줄기 절단 실험

작업 속도 (m/sec)	줄기 절단을 (%)	줄기 절단 길이(mm)		구 손상률 (%)	비 고
		평균	편차		
0.2	72	56	65	10~12	양파 100개 표본 추출

나. 2차 시작기 포장 실험

강원도 강릉시 왕산면 소재 농가의 춘파용 양파재배 포장에서 실험했다. 1차 실험에서 발생된 문제점을 개선하여 2차 시작기에는 비닐수거모터의 회전수 조절이 가능하도록 액셀러레이터를 설치하였고, 중량이 무거워 주행바퀴의 슬립이 발생하는 것을 막고자 중량을 최대한 줄이고, 기체의 높이(1,200mm)를 낮추어 전방주시를 쉽게 할 수 있게 제작하였다.

강원도의 춘파용 양파 재배지의 토양은 마사토이다. 마사토의 경우 뿌리가 깊게 내리지 못하고 더욱이 멀칭비닐 위로 양파구근이 생육하므로 비닐을 20° 정도 들어 양파가 직립할 때 줄기 절단과 동시에 멀칭비닐을 수거하는 방식의 본 연구 작업장치는 강원도 지역에서는 적용이 불가능할 것으로 판단하였다.

〈그림 11〉 2차 시작기 포장실험



\*강원도 양파 재배 토양은 줄기 절단과 비닐 수거 동시 작업에 적합하지 않음.

다. 3차 시작기 포장 실험

양파의 재배 특성상 반복실험을 못 하여 2년 차 실험준비를 위하여 경남 진주시 소재 경상남도 농업기술원 실습포장에 준비하여 양파 재배 규격은 트랙터의 바퀴 폭이 고려되고 양파 기계화 정식이 가능한 재배양식인 이랑 폭 1,000mm에 장방향 6조로 2013년 10월 25일 정식하여 멀칭 재배하였다.

토양의 조건에 따라 슬립이 발생하는 1, 2차 시작기의 보행형 기대를 1,400mm 이랑 폭에도 작업이 가능한 승용형으로 개선, 이랑장치의 고장으로 이랑기로 사용할 수 없는 중고 승용이랑기의 주행장치부와 2차 시작기의 절단장치부를 결합하였다. 수확시기가 도래된, 도복 시작된 후 평균 구 지름 85mm, 높이 72mm 정도로 구의 비대 상태인 유토피아 품종을 공시재료로 하였다.

〈그림 12〉 3차 시작기 포장실험



절단 높이 조절 방식은 작업장치 후부에 미륵을 설치하여 절단 높이를 15mm까지 조정 가능하도록 하였다. 줄기 제거와 동시에 비닐 수거가 가능하도록 비닐 회수 모터에 텐션장치를 설치하여 긴장도에 따라서 회수 속도가 자동조절되도록 컨트롤러를 추가 부착하여 실험하였다. 보행형보다는 다소 안정된 작업상태를 유지할 수 있었으나 작업 속도를 0.5m/s로 했을 경우 줄기 절단율은 저조했으나, 작업부에 좌우 롤링장치가 있어 줄기절단의 좌우편차는 다소 적었다. 그러나 6줄 조간에 가이드를 설치하였기 때문에 구 손상률은 증가하였다.

〈표 15〉 3차 시작기 비닐수거 동시 줄기절단 실험

작업 속도 (m/sec)	줄기 절단율 (%)	줄기 절단 길이(mm)		구 손상률 (%)	비고
		평균	편차		
0.2	81	56	55	8~10	양파 100개 표본 추출
0.5	79	62	60	12~15	

#### 라. 4차 시작기 포장 실험

3차 시작기와 같은 실험포장에서 2014년 6월 1일 실험을 실시하였으며, 4차 시작기는 실

용화와 작업이 용이하도록 트랙터 부착형으로 줄기 절단 높이는 포지션 레버의 위치로 조정하도록 하였고 줄기 절단 길이는 70mm가 되도록 조정하였으며, 비닐은 줄기 절단과 동시에 후방으로 배출하도록 하였다.

비닐을 당기는 속도는 4차 시작기의 1차 실험에서는 엔진 2,000RPM, PTO 회전수 540RPM으로 실시하였고, 조간마다 가이드를 설치하여 비닐을 이격이 가능하도록 하여 실험한 결과 주행속도 0.17m/sec에서 줄기 절단율 90%, 평균 절단높이 36mm 정도로 연속 작업은 가능하였으나 비닐이 찢어지고 양파가 손상되는 현상이 발생하여 재실험이 요구되었다.

〈그림 13〉 트랙터 부착형 작업기-1차 포장실험



양파 손상 현상 발생



비닐 손상 현상 발생

트랙터 부착형 1차 포장실험에서 양파손상과 비닐이 찢어지는 문제점이 발생되어 가이드의 상부를 재가공하여 부착하였고 비닐 인장롤러는 트랙터 주행속도와 비례하여 작동이 가능하게 하여 6월 5일 재실험하였다.

〈그림 14〉 트랙터 부착형 작업기-2차 포장실험



작업 속도를 0.13m/s로 했을 때 줄기 절단율이 95%가 되었고 비닐 배출상태도 매우 양호하였으나, 가이드 좌·우측 부분에서는 미절단되는 경우가 발생하였다.

〈표 16〉 주행속도에 따른 줄기 절단율

작업 속도 (m/sec)	줄기 절단율 (%)	줄기 절단길이(%)				비닐 배출상태
		50mm 이하	50~100mm	100mm 이상	미절단	
0.13	95	17	65	13	5	양호
0.2	91	13	59	19	9	양호

조간 간격이 140mm로 구와 구 사이의 거리는 평균 50mm 정도의 실험포장 조건에서는 구의 손상이 발생했고, 가이드 숫자를 4개로 줄여 장착하였을 경우는 양파의 손상률이 3%~5%까지 줄어들었다.

〈표 17〉 가이드 개수에 따른 줄기절단 길이 및 손상률

가이드 개수(개)	주행속도 (m/sec)	줄기 절단 길이(mm)		양파 손상률(%)
		평균	편차	
7	0.13	74	28	7
	0.2	87	30	9
4	0.13	68	25	4

2014년 6월 15일 창녕군 대지면 소재의 농가로 실험장소를 변경하여 다양한 작업조건에서 실험을 하여 다양한 데이터를 얻고자 하였다. 두둑 폭이 1,200mm, 6구, 0.02mm 투명 멀칭비닐 포장으로 도복 상태는 100%이며, 구와 구사이의 간격이 65~70mm로 다소 여유가 있었으며, 관리기로 겨울철 바람에 비닐이 날리지 않게 하려고 복토를 두껍게 해 놓았다.

기계적인 변경은 비닐은 6구이며, 조간은 기계정식 표준 포장보다 넓어 가이드 간격을 조정하였고, 트랙터 바퀴의 내측폭이 1,200mm 되도록 트랙터 차폭을 좌·우측 60mm씩 연장하였다. 트랙터 본체의 안전성에 문제가 제기되었으나 작업 가능성을 판단하기 위하여 실시하였고, 줄기 절단장치의 근본적인 구조 변경은 없이 양파의 손상률을 줄이기 위하여 가이드 간격만 좌우 200mm, 중간 부분 300mm로 4개만 부착, 조정하여 실험을 수행하였으나 비닐을 받쳐주는 간격이 넓어 멀칭비닐위의 복토와 함께 비닐이 칼날 앞으로 늘어져서 멀칭비닐이 손상되면서 작업이 불가능하였다.

〈그림 15〉 트랙터 부착형 작업기-3차 포장실험(창녕군 대지면)



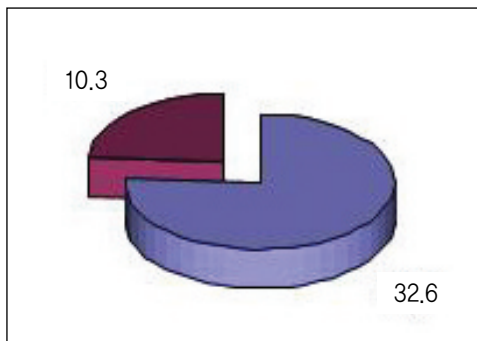
## 2. 포장 성능실험 결과

양파줄기 절단 기계화의 가능성에 대한 실험을 위하여 1차~4차 시작기를 제작하여 포장 실험을 한 결과 트랙터 부착작업기의 형태가 작업성능이나 작업환경 측면에서 적합하였다. 장기 저장을 위해서는 100% 도복된 상태로 작업을 해야 하지만 남부지방의 특성상 후작인 벼 재배를 위하여 90% 도복 상태에서 줄기의 길이는 70mm 내외로 절단과 주행속도 0.13m/sec로 줄기 절단과 동시에 비닐 배출이 가능하였다.

작업능률은 468m<sup>2</sup>/hr였으며, 비닐두께 0.02mm보다 인장력이 약 2N 정도 많으므로 원활한 기계화를 위해서는 0.025mm로 하고, 잡초발생과 날림방지를 위해 흑색비닐을 사용하며 복토는 0.5kg/m<sup>2</sup> 이하로 얇게 하여 재배하는 것이 좋겠다. 따라서 시작기의 작업효율은 비닐 제거와 줄기 절단에 소요되는 인력 작업소요시간 32.6hr/10a(주산지 평균)에서 10.3hr/10a로 약 70% 노동력 절감효과가 있을 것으로 판단되었다.

〈그림 16〉 작업효율(노동력 절감)

(단위: hr/10a)



## 기대효과

본 연구에서는 양파줄기 절단기계 개발을 위해 주산지 재배양식 특성 및 관행 수확방법 조사, 재배포장 등을 기초 조사하였고, 시작기의 성능특성 분석을 위한 수확요인 실험과 개선방향을 분석하여 시작기를 설계 제작하였다. 양파 재배 기계화의 실용화를 위하여 다양한 작업장치를 제작하여 줄기 절단기의 포장 성능실험을 하여 적정 작업조건을 구명한 결과는 다음과 같다.

1. 농가에서 현재 재배하고 있는 지역별, 작형별 이랑폭의 다양성과 비닐피복은 양파 재배 기계화에 장애요인이 되고 있다. 양파 기계화 재배양식은 재배용 농기계 개발 촉진과 재배 측면을 고려한 이랑폭 1,000mm로 하고, 사용비닐은 잡초발생이 적고 복토가 필요 없어 줄기 절단작업이 용이한 두께가 0.025mm 흑색 비닐을 사용하는 것이 바람직할 것으로 판단되었다.

2. 수확시기인 작물이 도복 90% 이상 되어 있는 상태에서 줄기 절단기계를 이용하여 절단과 동시에 비닐을 배출하는 트랙터 부착작업기 형태로 하였다. 이때 절단기계의 작업성능은 요인시험 및 포장 적응성 시험과정에서 나타난 작물재배 측면과 기계적 측면을 고려하였다. 성능은 줄기 절단과 동시에 비닐제거가 쉽도록 재배 측면에서는 수확시기에 작업을 실시하며, 사용비닐은 양파와 비닐을 이격 시 손상이 가지 않도록 비닐두께 0.025mm로 한다. 잡초 발생과 날림 방지를 위해 흑색비닐을 사용하여 복토를  $0.5\text{kg/m}^2$  이하로 얇게 하여 재배하고, 기계적 측면에서는 트랙터의 양쪽 바퀴가 이랑폭 1,000mm의 고랑 사이에 들어가도록 맞추고 차폭을 확장하며, 작업기의 비닐유도 각도는  $20^\circ$ , 줄기 절단날은 낮으로 절단하는 절단부위와 아주 유사하게 절단면이 깨끗한 왕복 구동식 트리머 형태이다. 절단 길이는 구의 손상과 저장 중에 발생할 수 있는 부패를 방지하기 위하여 절단 길이를 약 70mm 내외로 맞추어 주행속도 0.13m/sec로 작업할 경우 작업능률은  $468\text{m}^2/\text{hr}$ 이었으며, 양파 절단 줄기의 배출은 비닐과 함께 후방으로 배출되며, 비닐수거는 인력 또는 트랙터부착형 비닐수거기를 이용하여 처리할 수 있다. 가이드를 4개보다는 7개를 장착했을 경우가 평균 74mm로 저장성이 가장 좋은 적정길이를 절단되었으며, 편차도 20mm였다. 그러나 조간마다 설치되었기 때문에 양파 손상률은 7%로 다소 높아 앞으로 계속해서 보완되어야 할 과제이다.

따라서 비닐 제거(5h/10a), 줄기 절단(27.6h/10a)에 소요되는 총 작업소요시간은 관행방식, 즉 인력으로 할 때에는 32.6hr/10a(주산지 평균)에 비해 개발된 양파줄기 절단기계를 투입할 경우 10.3hr/10a으로 약 70% 노동력 절감효과가 있는 것으로 나타났다.

## [참고문헌]

1. 이우승, 백합과 채소재배기술(백합과 채소의 식물분류학상의 위치), 경북대학교 출판부(1994)
2. 농촌진흥청(1996), 작목별 작업단계별 노동력 투하시간
3. 농촌진흥청(2012), 농업기계임대사업효율화 방안(농업기계화기본계획), p.4~20
4. 통계청, 2014 양파재배면적조사
5. 농업관측센터, 2014년 6월 통계자료
6. 농촌진흥청(2013), 양념채소 파종, 수확기계화 현황과 과제, p.5~32
7. 민영봉(2013), 양파생산생력화를 위한 고성능 정식 시스템 개발, 경남양파산학협력단
8. 정창주, 김경욱(1997), 농작업기계학원론, 서울대학교출판부, p.263~287
9. 박환중(1994), 진동 굴취날형 마늘 양파수확기 개발
10. 최철구(2002), 농업경영정보(양파 경영안정화를 위한 작업체계 개선 생산비 절감방안), 농촌진흥청, p.26~27
11. LS엠트론(2014), R48 사용설명서
12. 김희대(2014), 수확후 관리기술 매뉴얼, 경남양파연구소, p.8
13. 네이버 지식백과(<http://terms.naver.com/entry.nhn?docId=1228480&cid=40942&categoryId=31864>)
14. 네이버 지식백과(<http://terms.naver.com/entry.nhn?docId=1199699&cid=40942&categoryId=31864>)