

배추수확기 개발(IV)

-시작기 제작 및 성능시험-

Development of Chinese Cabbage Harvester(IV)

-Manufacture and Performance Test of The Prototype Harvester-

홍종태*	최 용*	김영근*	전현중*	박원규*	황 현**
정회원	정회원	정회원	정회원	정회원	정회원
J.T.Hong	Y.Choi	Y.K.Kim	H.J.Jun	W.K.Park	H.Hwang

1. 서론

배추는 발효식품인 김치의 주원료가 되는 중요한 채소로서 고추 다음으로 많이 재배되고 있는 농가소득 작목의 하나이다. 배추재배는 2000년말 51,801ha로 총채소 재배면적의 약13%를 차지하고 있다. 수확작업은 배추재배 중 가장 많은 노력을 필요로 하여 전체노동투하시간의 16.1~19.4%를 차지하고 있고, 주산지재배로 수확시기에 노동피크를 이루며 인력수확시 부피가 크고 무거워 경노동화를 위한 결국 배추수확기 개발이 요구되고 있다. 그러나 수확작업에 대한 기계화 요구도가 높은 반면에 배추는 조직이 연약하여 손상되기 쉽고 재배양식이 다양하며, 동일포장 내에서도 지면요철이 있고, 배추크기의 차이로 기계수확 장애요인이 많아 기계화에 상당한 어려움을 겪고 있는 실정이다.

배추 수확기 개발을 위한 기초연구로서 배추의 재배 양식, 관행 수확 및 수확후 처리 실태를 고려하여 기계화 수확체계를 설정하였으며, 배추의 물성 조사분석에 의거하여 배추수확장치 및 수집반출 장치의 기구부와 구동부에 대한 설계 제원설정을 위한 기초자료를 제공하였다. 또한, 배추의 기계수확시 생길 수 있는 배추수확 손실 경감과 뿌리절단날의 지면요철대응, 배추크기별 적응성 향상 등을 위하여 실내 및 포장시험을 실시 주요핵심 기구장치의 적정설계인자를 도출하였다(홍종태 등, 2000a, 2000b, 2000c, 2001., 송기수 등, 2000).

따라서 본 연구에서는 지금까지 수행한 연구결과를 토대로 배추의 뿌리절단, 이송, 수집 및 반출을 일관되게 작업할 수 있는 트랙터부착형 1조식 배추수확기를 제작하여 성능시험을 실시하였다.

2. 재료 및 방법

가. 배추수확기 제작

배추수확기의 구조 및 제원은 그림 1, 표 1과 같이 뿌리절단부, 배추협지이송부, 수

† 본 연구는 농림부 특정연구과제 연구비 지원에 의해 수행되었음.

* 농업기계화연구소

** 성균관대학교 바이오메카트로닉스 전공

집·반출부, 동력전달부, 각부 구동레바 등으로 구성되어 배추를 뿌리절단과 동시에 이송하여 수집, 반출하게 된다. 배추수집·반출방식은 수확후 운반적재 작업과 연계성 향상을 위해 보조자 1명이 탑승하여 메시팔레트(영문:Mesh pallet, 부피감소를 위해 접을 수 있음)에 수집하였다가 지면에 반출하면 별도의 운반적재기가 포장내에서 수집 운반하는 방식과 수확기와 나란히 주행하는 운반 트럭에 산물상태로 직접 이송하여 수집·반출하는 2가지 방식으로 설계 제작하였다.

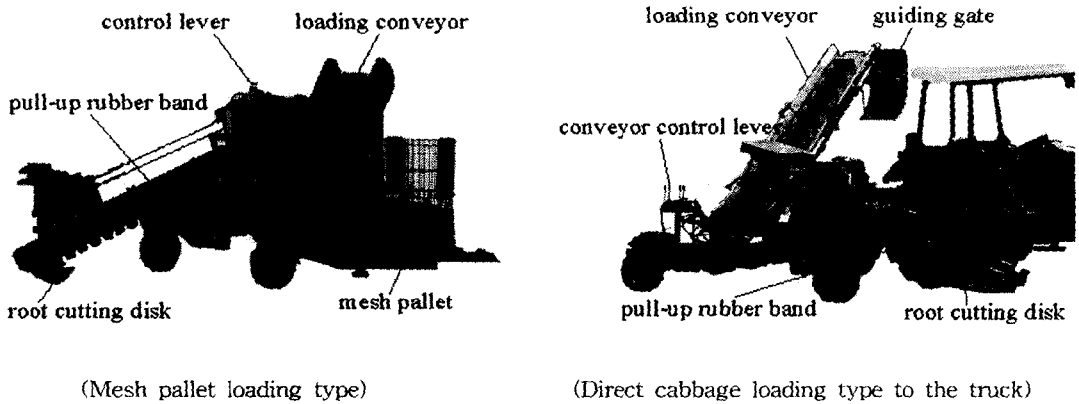


Fig. 1. Schematic diagram of Chinese cabbage harvesters.

Table 1. Specifications for the testing unit of chinese cabbage harvester.

Items	Types and specification	
	Mesh pallet loading type	Direct loading type to the truck
Types	3,330×3,003×1,850	3,100×2,800×1,550
Size(L×W×H) (mm)		
Weight (kg)	1,250	1,280
Type	Rotating disk cutter with disk guide wheel	←
Diameter of disk cutter(mm)	∅440	←
Radius of curvature(mm)	700	←
Revolutionary speed difference between left and right disk	1 : 1.2	←
Cutting disk revolution adjustment(rpm)	0 ~ 500	←
Backward edge degree of disk	0~14°	←
Side edge degree of disk	0~12°	←
Type	Soft rubber lug attached chain	←
Inclination angle of conveyer	20°	←
Lug height ×thickness(mm)	80×6t	←
Rug pitch(mm)	175	←
Adjustable of holding conveyer(mm)	250~300	←
Type	Mesh pallet loading type	Direct loading type to the truck
Inclination angle of conveyer	38°	0~ 42°(Adjustable)
Lug height × width(mm)	120×350	120×250
Rug pitch(mm)	350	350
Length conveyer(mm)	2,800	Max 4,000
Power transmission	Hydraulic	Hydraulic

1) 배추 뿌리절단 및 이송부

뿌리절단·이송부는 회전원판날로 뿌리절단과 동시에 attachment chain에 반원형의 연결고 무돌기를 이송방향에 경사지게 부착한 이송장치로 배추를 협지하여 이송하는 구조이다. 뿌리절단용 원판날의 형상은 날이 땅속으로 파고들지 않도록 볼록원판형날(곡률반경 700mm)로 하고, 날의 직경은 두둑의 측면에 심겨진 배추손상을 고려하여 440mm로 하였다. 날의 각도 조절은 날의 전·후선단각도조절 0~14°(12°~14°적정), 날의 중첩에 의한 깨끗한 절단면이 되도록 좌·우날의 측면각도조절 0~12°(8°적정)이 가능하도록 하였다. 뿌리절단정도 향상을 위해 등근두둑에서 뿌리절단날이 지면요철에 대응하도록 뿌리절단날 밑면에 뿌리절단날의 회전과 무관하게 작동할 수 있도록 축에 베어링으로 연결된 지면추종륜과 일체형 구조의 뿌리절단·이송부 상하작동용 유압실린더상부에 탄력적으로 지지되도록 압축스프링을 설치하여 지면추종이 되도록 하였다. 배추크기별 적응성을 높이기 위해 협지이송장치 프레임의 간격을 250~300mm까지 조절 가능한 구조로 설계·제작하였다.

2) 수집·반출부

메시팔레트 수집형 수집·반출시스템은 뿌리절단과 동시에 벨트로 협지이송하여 횡이송 컨베이어로 이송된 배추를 한사람의 보조작업자가 탑승하여 상자에 수집하고, 상자에 배추가 가득차면 푸트레버 작동으로 고무롤러 위를 미끄럼 반출되도록 한 구조이다. 횡이송 컨베이어에서 메시팔레트에 배출시 높이결정은 표2와 같이 자유낙하에 따른 배추무게별, 높이별 걸임손상정도 시험결과 1m이내인 경우 손상이 적은 것으로 나타나, 배출에 의한 자유낙하시 배추손상과 메시팔레트(1,050×880×930mm)의 적재높이를 고려하고, 이송 및 배출이 원활하도록 횡이송 컨베이어 이송각도를 38°로 하고, 벨트깊이 및 간격은 120×350 mm로 하였다.

트럭에 직접 이송하는 수집·반출시스템은 수확기의 측방 및 후방에 따라오는 운반차에 직접 반출되도록 하기 위해 횡이송 컨베이어의 측방·후방으로 90°선회 및 상하로 최대 42°까지 조절이 가능하도록 하였다. 또한 횡이송 컨베이어는 절첩식 구조로 이동 중에는 컨베이어를 반으로 접어서 도로주행에 지장이 없도록 하고, 작업 중에는 유압실린더 작동으로 4,000mm까지 펼쳐 작업이 원활토

록 하였다. 횡이송 컨베이어로 이송된 배추를 운반차에 직접 배출하기 위하여 배출부는 배출안내가이드 길이를 90~150cm로 조절가능하며, 배출된 배추의 자유 낙하시 걸임 손상을 줄이기 위해 벨트식 충격완화장치를 부착하였다.

Table 2. Damage of C-cabbage caused by free falling.

Weight of C-cabbage (kgf)	Damaged outer leaves by free falling height				
	1,000mm		1,300mm		
	Weight decrease (kgf)	Number of leaves removed	Weight decrease (kgf)	Number of leaves removed	
2.5~3.0	Range	0~0.13	0~2	0~3.0	0~3.0
	Avg	0.06	0.8	0.11	2.8
3.0~3.5	Range	0~0.04	0~1	0~3.0	0~3.0
	Avg	0.03	0.2	0.19	3.6

3) 동력전달부

동력전달장치의 유압구동동력은 메시팔레트 수집·반출형 배추수확기의 경우는 당초에

트랙터의 PTO동력을 증속하여 유압펌프를 구동하고 DC 12V용 솔레노이드밸브를 이용하여 좌·우 원판회전날(2), 연질고무돌기부착 협지이송부(1), 수집·반출시스템(1)을 구동하는 유압모터 4개와 뿌리절단·이송부의 위치제어용 유압실린더 1개를 제어하고, 유압 시스템의 각 라인마다 유량제어 밸브를 설치하여 각각의 속도를 제어할 수 있는 유량제어방식으로 하였으나 과부하 발생시 각부의 원활한 작동이 안되었다. 따라서 이를 개선하고자 설계요인구명결과를 토대로 각부를 일괄제어 함으로서 부하를 받아도 각부작동을 확실히 하고, 유압의 안정과 기구의 단순화(솔레노이드 4→2, 유량제어밸브제거)를 위해 그림 2와 같은 압력제어방식으로 하였다.

트럭에 직접 산물상태로 수집·반출형 배추수확기의 경우는 동력전달장치의 유압구동동력은 PTO에서 취출하였고, 뿌리절단·이송부·횡이송 컨베이어의 구동, 뿌리절단·이송부의 위치제어와 횡이송 컨베이어의 위치제어, 컨베이어 접철, 벨트텐션 조절을 위해 작업기에 자체 유압장치를 설치하여 유량조절 밸브를 이용하여 각 부의 속도 및 위치를 제어하도록 설계제작하였다. 뿌리절단·이송장치와 반출시스템의 각 장치간 동력전달을 고려하여 설계 제작된 동력전달유압시스템에 적용된 유압회로도에는 그림 3과 같이 트랙터의 PTO동력을 증속하여 유압펌프를 구동하고 DC 12V용 솔레노이드밸브를 이용하여 좌·우 원판회전날(6⑦), 연질고무돌기부착 협지이송부⑧, 횡이송컨베이어⑨를 구동하는 유압모터 4개를 일괄 제어하고, 작업중에는 사용하지 않고 정지한 상태에서만 사용하는 협지이송부의 인발각도조절①, 횡이송 컨베이어 벨트텐션 조절②, 컨베이어 접철③, 컨베이어 이송각도④ 및 회전⑤의

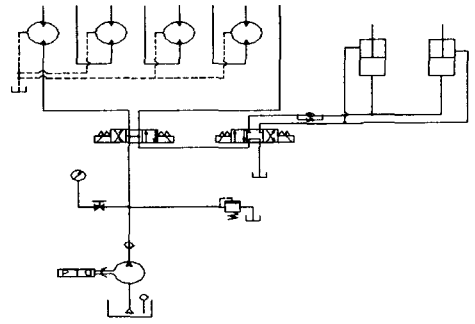


Fig. 2. Hydraulic circuit of mesh pallet loading type harvester.

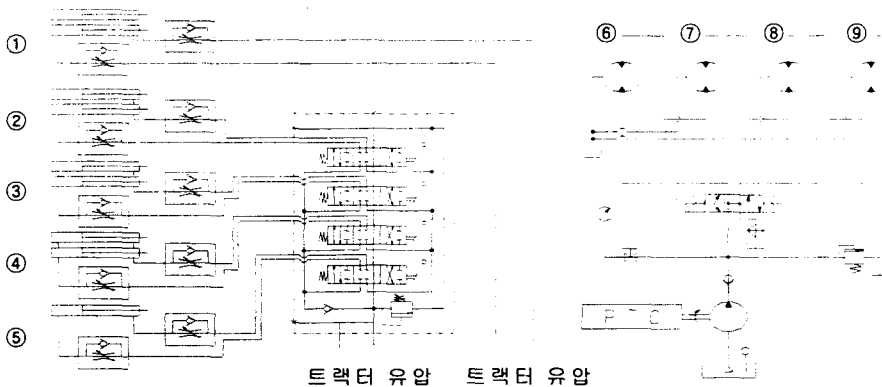


Fig. 3. Hydraulic circuit of direct cabbage loading type harvester to the truck.

나. 공시포장 및 작물조건

메시팔레트에 수집·반출하는 배추수확기 성능시험은 봄 노지, 고랭지 여름배추포장

에서 실시하였다. 봄노지 배추재배는 원예연구소 구내포장으로 조간60cm, 주간35cm, 둥근 두둑 1줄 무피복재배한 사양토 포장이며, 공시배추는 셋노랑 배추로서 평균결구고 307mm, 결구폭 173mm, 결구무게 1.43kg, 외엽매수 12.7매 정도였다. 여름배추 재배는 고랭지시험장포장으로 조간 60cm, 주간 35cm, 둥근두둑 1줄 피복과 무피복 재배한 사양토 포장이고, 공시배추는 고랭지 여름배추로서 평균결구고 270mm, 결구폭 145mm, 결구무게 1.5kg, 외엽매수 10매 정도로 비교적 크기가 작았다. 트럭에 직접 산물상태로 수집·반출하는 배추수확기 성능시험은 전남해남의 월동배추재배 농가포장으로서는 평두둑 2줄 피복 재배한 양토 포장으로서 기계작업이 가능하도록 비닐을 제거한 후 1줄만 배추를 남겼으며, 공시배추는 동백배추로서 평균결구고 393mm, 결구폭 233mm, 결구무게 3.0kg, 외엽매수 5.9매로 결구정도가 양호하였다.

다. 시험방법

수확성능시험은 수집·반출방식별 작업능률 및 작업인원을 측정하였고, 작업정도로 뽑기율, 뿌리절단정도, 손상률, 수집상태, 비닐피복적용성 등을 조사하였다. 뽑기율, 뿌리절단정도와 손상을 조사는 시험 전 결구가 안된 배추는 미리 제거한 후에 처리당 50포기를 조사하였다. 뿌리절단정도의 기준은 뿌리가 절단되지 않은 경우는 발생되지 않아 출하가능 상태 중 남은 뿌리길이가 5mm이내, 5mm이상, 뿌리가 모두 잘려진 심철의 3단계로 분류하였으며, 손상율은 육안조사하여 겉잎뿐만 아니라 결구부까지 절단되어 손실이 크거나 상품성이 없는 상태를 기준으로 하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 메시팔레트 수집·반출형 배추수확기 성능시험

봄 노지배추 수확성능시험은 주행속도 0.2m/s, 0.3m/s로 하고 이송장치의 속도는 주행 속도에 비례하여 1:1.5로 하여 시험한 결과 표3과 같이 주행속도 0.2m/s, 0.3m/s에서 뽑기율 100%, 결구부손상 3%이내로 양호한 것으로 나타났으나, 직경이 적은 배추의 경우 반원형의 횡이송컨베이어(홈깊이 : 150mm)에 끼어 메시팔레트로 배추가 배출이 안 되는 경우가 발생되어 홈 깊이를 120mm로 개선하였으며, 배추가 두둑측면에 심겨진 경우 원판회전날에 의해 배추손상이 발생될 우려가 있어 원판회전날의 직경축소검토가 필요하였고, 메시팔레트에 수집된 배추상자의 반출이 원활하도록 개선이 요구되었다.

Table 3. Working accuracy by the travelling speed of the mesh pallet loading type harvester.

Speed of travelling and conveying unit (m/s)		Pulling rate (%)	Root cutting accuracy(%)			Damaged rate(%)	No. of loading (ea/1 pallet)
Traveling	Conveying		Under 5m/m	Over 5m/m	Over cut		
0.2	0.30	100	62	18	6	3	
0.3	0.45	100	80	16	4	0	

봄노지배추 수확시험결과 나타난 미비점 보완사항인 두둑측면에 심겨진 배추손상방지 우

려가 있어 원판회전날 직경을 480mm에서 440mm로 축소하였고, 메시팔레트에 수집된 배추 상자의 반출이 원활하도록 반출용 고무롤러와 프레임 절첩부위 돌출체인을 개선하였으며, 배추결구상태가 미흡하여 협지벨트간격을 250mm로 최대한 축소하여 시험한 결과 결구폭 120mm이상된 배추는 모두 뿌리 절단과 동시에 벨트로 협지 이송하여 메시팔레트에 50~60포기가 담겨지고, 용기에 가득 차면 푸트레버 작동으로 슬라이딩 배출이 잘 되었다. 비닐피복 유무별 시험결과 비닐피복유무에 관계없이 표4와 같이 0.3m/s 주행속도로 작업이 가능하였으며, 작업능률은 2.5시간/10a, 작업정도에 있어 손상률 2~3%정도로 것으로 나타났다.



Fig. 4. Photo of Chinese cabbage harvester.

Table 4. Working performance and accuracy of the mesh pallet loading type harvester.

Traveling speed (m/s)	Working performance (hr/10a)				Working accuracy		
	Traveling	Turning	Changing of Mesh- pallet	Total	Pulling rate (%)	Damaged rate (%)	No. of loading (ea /1 pallet)
0.3	1.55	0.45	0.5	2.5	100	2~3	50~60

(Index) ○ Disk : cutter cross inclination angle of 12°, longitudinal inclination angle of 8°
○ Holding conveyer belt space of 250mm

나. 트럭에 직접 수집·반출형 배추수확기 성능시험

회전원판날로 배추뿌리를 절단한 배추를 연결고무롤러부착 벨트로 협지 이송하여 횡이송 컨베이어에 의해 수확기의 측방 또는 후방에서 따라오는 운반차(세레스, 300~350포기)에 적재시키는 구조로 평두둑에서의 시험관계로 둥근두둑 수확 시에 사용하는 지면추종륜을 제거한 상태에서 주행속도별로 예비시험한 결과 0.5m/s까지 작업이 가능하였으나 작업상태, 보조자의 후처리작업 등을 고려하여 0.3m/s로 한 경우 작업능률은 2.0시간/10a인 것으로 나타났다. 걸잎이 마른 월동배추를 수확하였기 때문에 수확상태도 대체로 양호하였다.

Table 5. Working performance and accuracy of direct cabbage loading type harvester to the truck.

Traveling speed (m/s)	Working performance (hr/10a)	Working accuracy		
		Pulling rate(%)	Damaged rate(%)	No. of loading (ea /1 ton truck)
0.3	2.0	100	2	300~350

다. 노력절감 및 비용절감 효과 분석

10a당 수확작업능률은 메시팔레트 수집형의 경우 기계운전자 외에 기계진입로 인력수확과 메시팔레트 교환의 보조작업자 포함하여 3인 작업으로 2.5시간, 트럭에 직접 수집형의 경우 기계운전자와 보조작업자 포함 2인 작업으로 2.0시간이 소요되어, 인력수확 25.2시간에

비해 각각 70%, 84%의 노력절감효과가 있는 것으로 나타났으며, 소요비용은 인력수확에 비해 메시팔레트 수집형은 24%, 산물수집형은 44% 절감되는 것으로 나타났다.

Table 6. Working efficiency and economic analysis of Chinese cabbage harvester.

Items	Prototype		Conventional method (manual)
	Mesh pallet loading type	Direct loading type to the truck	
Working efficiency(hr/10a)	2.5(3 persons)	2.0(2 persons)	25.2
Cost requirement(1,000won/10a)	92.5(76)	67.2(56)	121(100)

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 배추수확작업 기계화를 위하여 주요핵심장치의 설계요인 구명 결과를 토대로 뿌리절단, 이송, 수집 및 반출을 일관 작업할 수 있는 트랙터 부착형 1조식 배추수확기를 설계 제작하여 성능시험을 실시한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 가. 배추수확기는 등근두둑에 1줄재배(조간 60cm)한 배추를 수확하는 기종으로서 뿌리절단과 동시에 이송하여 수집하게 된다. 배추수집·반출은 배추수확기에서 메시팔레트에 수집하여 지면에 내려놓으면 운반적재기로 트럭에 옮겨심는 방식과 배추수확기에서 운반트럭에 산물상태로 이송하여 직접 수집하는 2가지 방식의 배추수확기를 제작하였다.
- 나. 포장성능시험결과 보조자의 후처리작업을 고려하여 작업속도 0.3m/s로 작업한 경우, 작업능률은 메시팔레트 수집형 2.5시간/10a(3인), 트럭에 직접 산물수집형 2시간/10a(2인)으로. 인력 25.2시간/10a에 비하여 각각 70%, 84%의 노력절감효과가 있었으며, 작업정도는 원관회전날 밑면에 지면추종륜이 부착되어 뿌리절단정도가 균일하고 연질고무벨트부착 이송장치를 이용하므로 이송시 걸림손상이 적어 손상률도 2~3%로 적었다.
- 다. 경제성을 분석한 결과 메시팔레트 수집형과 트럭에 직접 수집형 배추수확기의 경우 관행수확에 비하여 각각 24%, 44%의 비용절감효과가 있는 것으로 나타났다.

5. 참고문헌

1. 홍종태, 성제훈, 전현종, 김영근, 이기명. 2000a. 배추수확기 개발(I)-배추수확기 개발을 위한 기초연구-. 한국농업기계학회 하계학술대회 논문집 5(2): 59-66.
2. 홍종태, 최용, 성제훈, 김영근, 이기명. 2000b. 배추수확기 개발(II)-배추수확 설계요인시험-. 한국농업기계학회 하계학술대회 논문집 5(2): 67-74.
3. 홍종태, 최용, 박환중, 전현종, 이창휴. 2000c. 배추수확기 개발(III)-고정도 수확을 위한 배추수확기 포장적응성 검증-. 한국농업기계학회 하계학술대회 논문집 5(2): 75-80.
4. Hong, J. T., Y. Choi, J. H. Sung., Y. K. Kim and K. M. Lee. 2001. Design for Chinese Cabbage Harvester Attachable to Tractor. J. of the KSAE. 26(4): 337-354(In Korean)
5. Song, K. S., H. Hwang and J. T. Hong. 2000. Automatic Cabbage Feeding, Piling, and Unloading System Tractor Implemented Chinese Cabbage Harvester. ICAME 2000. Proceedings Vol. II of III : 489-497.