

트랙터부착형 배추수확장치의 설계요인

Design Factors for Chinese Cabbage Harvester Attachable to Tractors

홍종태	최 용	성제훈	김영근	이기명
정회원	정회원	정회원	정회원	정회원
J. T. Hong	Y. Choi	J. H. Sung	Y. K. Kim	K. M. Lee

SUMMARY

This study was conducted in order to develop a Chinese cabbage harvester attachable to tractors. For designing Chinese cabbage harvester in which laboratory and field tests were conducted with to determine feasible values design factors.

To adopt the various sizes of C-cabbages, U-type soft rubber band was attached to the chain conveyor with an angle. Required torque of the conveyor axle was about 206-210kgf · cm. And the required peripheral speed of the disk cutter was 6.54m/s or more to have a clean session in root cutting. Three different harvest methods were tested. The best harvesting method with minimum pulling force and damage was disk cutting flying just above the soil surface where the cut chinese cabbages are transferring to the holding conveyor attached soft rubber lug in prompt. Theoretical speed ratio of the tractor travel and feed of a chain conveyor was 1:1.2 with the attaching angle of 30 degree and 1:1.1 with the angle of 20 degree. Actual field experiment showed the speed ratio of 1:1.5 was the best because of the slip effect.

Keywords : Design factors, Optimum design, Theoretical speed ratio, Chinese cabbage harvester.

1. 서 론

배추재배는 '99년 말 44,674ha(한국농촌경제연구원, 2000)로 우리 나라에서 고추 다음으로 많이 재배되는 채소이다. 그러나 10a당 노동투하시간을 보면 벼농사는 '89년 65.4시간이 소요되던 것이 '97년 31시간으로 53%가 감소되어 그 동안 기계화가 많이 이루어진 것을 알 수 있으나 배추는 대표적인 가을배추를 기준으로 한 경우 157.0시간에서 117.9시간으로 경운정지, 병충해방제기 이 외에 비닐피복작업의 기계화가 일부 이루어지고 있어

25% 감소에 그쳐 생력기계화가 매우 필요한 것으로 나타났다. 또한, 노력이 많이 드는 작업은 '89년부터 '97년 사이의 배추작업 단계별 노동력 투하시간을 비교해본 결과 큰 변화 없이 수확, 정식, 파종, 제초 등의 순으로 나타났다. 이중 인력에 의존하고 있는 수확작업 노동력은 배추재배 작형에 따라 차이가 있지만 전체노동력의 16.1~19.4%(농촌진흥청, 1998)로 기계화가 절실히 요구되고 있다.

수확작업은 기계화 요구도가 높은 반면에 기계화하기 힘든 특성이 있다. 배추는 수분 함량이 90% 이상에 달하고 경도가 낮아서 손상을 입기

This study was conducted by the research fund supported by the Ministry of Agriculture and Forestry. This article was submitted for publication in may 2001; reviewed and approved for publication by editorial board of KSAM in august 2001. The authors are J. T. Hong, Y. Choi, J. H. Sung and Y. K. Kim at National Agricultural Mechanization Research Institute, Suwon, Korea, and K. M. Lee, Professor, Dept. of Agricultural Machinery Engineering, Kyungpook National University, Daegu, Korea. The corresponding author is J. T. Hong, Researcher, Div. of Bioproduction Machinery, National Agricultural Mechanization Research Institute, 249 Suhdun-dong, Kwonsun-ku, Suwon City, 441-100, Korea. E-mail: <hongjt@nda.go.kr>.

쉬우며 재배양식의 차이와 동일포장내에서도 작물 크기 등의 속도차이로 기계수확에 상당한 어려움이 따른다. 결구엽채류 수확기 개발에 관한 연구는 가장 먼저 구미에서 1960년대부터 양배추 등을 대상으로 연구되었으며(Stout et al., 1966), 주로 수확물의 품질을 보장하는 면에서는 다소 미흡하나 높은 작업능률을 갖는 일시 수확용 양배추 수확기, 양상추 수확기 등이 개발 실용화되어 이미 미국, 서독, 네덜란드 등에서 시판되고 있다(농기계연, 1997).

일본의 경우는 양배추, 양상추, 배추 등의 결구엽채류 수확기 개발연구가 주로 수행되었으며, 양배추수확기 개발연구는 1971년부터 개발개량연구를 계속 실시해 오다가 긴급개발사업으로 추진하여 1994년 자주형 양배추수확기를 개발 실용화하였다(山本健司, 1997). 배추를 포함한 범용수확기 개발개량에 관한 연구는 농업연구센터에서 수행하였고(大塚實治 등, 1996), 배추수확기 개발은 생연기구에서 1978년부터 개발에 착수하여 배추의 물성 등 기초실험, 보행형 및 트랙터용 수확기구 개발, 배추수확기의 높이제어 등의 연구를 1989년까지 수행하였다(Kanamitsu 등, 1993). '95년부터는 긴급 개발사업으로 시간당 2a 이상의 작업능률을 갖는 자주식 승용형 배추수확기를 1두둑 1줄 재배 배추를 대상으로 결구부 손상비율 5% 이하가 되도록 개발중에 있다.

지금까지 결구배추수확기 개발과 관련하여 연구결과로 Karahashi(1977) 등은 양배추, 배추, 양상추 등의 결구채소에 범용적으로 사용이 가능한 일시수확 결구채소 수확기의 개발연구를 하였다. 여기서 수확장치는 2축의 스크류와 협지벨트로 구성된 자세제어 및 공급장치, 회전칼날 및 상하협지 컨베이어 등으로 구성되어 있으며, 양배추 수확작업에는 그대로 이용하지만 배추에 적용시에는 유입 보조롤러를 추가 부착하여 수확작업속도는 1주당 3초 정도가 소요되어 배추수확 가능성이 있다고 보고하였다.

Kanamitsu(1993) 등은 보행형 수확기의 성능개선과 생리학 목적으로 수확기구의 개량과 수확물을 포장 밖으로 반출 할 수 있는 15kW급 트랙터부착용 배추수확기 개발 시험결과 작업속도 0.2m/s에서 배추를 인발, 이송중에 외엽과 뿌리를 절단하고 보조작업자가 탑승하여 수집대에 적재하는 작업을 연속적으로 할 수 있었으며, 수집작업대에는 100개의 배추를 적재 할 수 있었다. 협지벨트에 대한 스크류오거의 반송속도비는 1:1.13으로 한 경

우 배추경사절단비율이 비교적 감소했으나 경사절단으로 인한 출하불가능 비율이 11~37% 많은 것으로 나타났다.

西里(1996) 등은 트랙터견인형으로 구동은 유압모터를 이용하였고, 작업은 운전자와 2인이 탑승하여 작업 할 수 있는 결구채소수확기를 유럽에서 도입하여 포장적용시험을 한 결과 배추뿌리의 길이와 강도가 필요하여 병해가 있어 뿌리가 연약한 경우는 정상절단이 불가능하였다. 또한 이송컨베이어 각도가 큰 경우 배추가 미끄러져 외엽손상이 발생한다고 보고하였다.

大塚(1996)는 좌우대응하는 협지벨트(V벨트에 35×33mm의 연질고무부착)로 양배추, 배추 등 결구엽채류는 뿌리부를 잡아뽑고, 무 등의 근채류는 잎을 잡고 뽑아 90도 횡이송중에 경엽을 절단하도록 하였다. 한편 협지벨트에 의한 입체적 순환이 곤란하였지만 수확기의 선단부를 이랑의 요철에 맞추어서 상하로 움직일 수 있도록 수확기의 선단부에 스키드를 부착하여 20~30kg의 힘으로 지지하도록 하였다. 작업대에서의 배추외엽 절단작업은 이송된 배추를 고정테이블 위에서 외엽을 절단하는 방식을 채용함으로써 배추를 안정되게 수확할 수 있으며, V벨트 구동에 의해 경량이며 가격이 저렴한 노지채소 범용수확기의 개발이 가능하다고 보고하였다.

한편 국내에서도 홍(1997) 등은 배추물성, 실내요인시험 등 배추수확기 개발을 위한 기초연구를 수행한 바 있다. 현재까지 뿌리가 지상부에 노출되어 있고 작물의 경도가 배추에 비해 비교적 높은 양배추수확기 등은 실용화되었으나, 배추는 재배양식이 다양하고, 물리적 특성상 많은 제약요인으로 말미암아 배추수확기는 아직까지 국내외를 막론하고 실용화에는 이르지 못하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 인발력을 최소화하고 수확시 배추에 손상을 주지 않으며 뿌리를 효과적으로 절단할 수 있고 배추를 뽑아 이송하는 자세가 일정한 배추수확 적정설계조건을 구명하고자 실내모형시험과 수확방식별 포장시험을 실시하였다.

2. 이론 해석

가. 배추 이송장치의 구조 및 속도 해석

배추 이송장치의 구조는 그림 1에서와 같이 연질고무롤기를 장착한 체인(또는 벨트)과 직경이 큰 배추가 유입될 경우 안전을 위해 물러나도록 장치

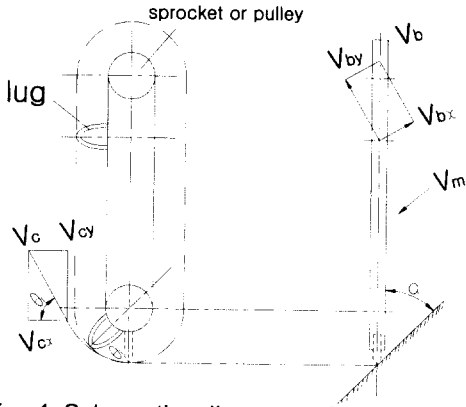


Fig. 1 Schematic diagram of holding conveyor lug belt.

한 텐션스프로킷으로 구성되어 있다. 또한, 이송장치의 경사각도는 조절이 가능하도록 하였다.

연질고무롤기의 선단속도는 상·하단의 회전운동 부분과 직선운동 부분이 서로 다르다.

연질고무롤기가 직선운동을 할 때의 롤기의 속도 V_b (m/s)는 다음 식으로 주어진다.

$$V_b = \frac{2\pi R_d N_d}{60} \quad (1)$$

여기서, N_d : 구동스프로킷의 회전수(rpm)
 R_d : 구동스프로킷의 피치반경(m)

또한, 롤기 속도 V_b 의 수평방향의 속도 V_{bx} (m/s) 및 수직방향의 속도 V_{by} (m/s)는 각각 다음의 식과 같이 된다.

$$\left. \begin{aligned} V_{bx} &= V_b \cos \alpha_a \\ V_{by} &= V_b \sin \alpha_a \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

여기서, α_a : 이송장치의 경사각(rad)
 V_b : 이송장치의 롤기 속도(m/s)

또한, 그림 2와 같이 이송장치의 연질고무롤기의 선단속도 V_b (m/s)는 식(2)에서 연질고무롤기의 슬립이 전혀 발생되지 않는다고 보고 롤기의 수평방향속도 V_{bx} (m/s)와 기계주행속도 V_m (m/s)을 동일한 속도로 한다고 가정하면

$$V_b = \frac{V_{bx}}{\cos \alpha_a} = \frac{V_m}{\cos \alpha_a} \quad (3)$$

이 성립된다.

식(3)에서 이송장치의 경사각 α_a 를 30° 로 하면 주행속도가 0.2m/s일 때 이송장치의 롤기선단속도는 0.23m/s가 되고, 주행속도가 0.3m/s일 때 롤기 선단속도는 0.35m/s가 되어 이론속도비는 1:1.15가 된다. 이송장치의 경사각 α_a 를 20° 로 하면 주행속도가 0.2m/s일 때 롤기선단속도는 0.21m/s, 주행속도 0.3m/s일 때 롤기선단속도는 0.32m/s가 되어

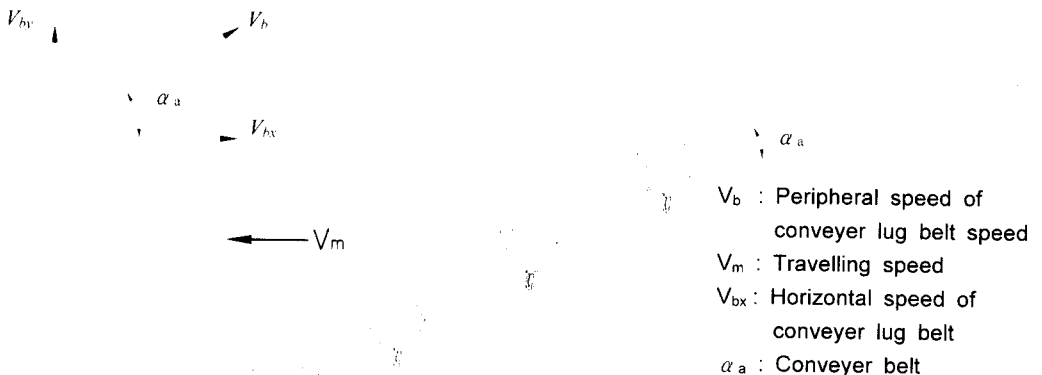


Fig. 2 The relationship between travelling speed and peripheral speed of holding conveyor lug belt.

주행속도와 배추이송장치의 돌기선단속도의 이론 속도비는 1:1.1 정도인 것으로 나타났다.

나. 토양절삭날과 이송장치의 배추잡는 위치와의 관계

인발력을 최소화하고 배추에 손상을 주지 않도록 하기 위해서 시험장치 설계시 적용할 수확방식으로는 ①진동굴취날로 토양을 파쇄한 후 연결고무돌기 부착 이송장치로 뽑아 이송하는 방법, ② 원관회전날로 지면을 스치듯 배추뿌리를 절단함과 동시에 연결고무돌기 부착 이송장치로 이송하는 방법, ③원관뿌리유도날로 배추의 뿌리를 뽑아 연결고무돌기 부착 이송장치로 이송하는 방법 등을 검토할 수 있으나 이 중에서, ②, ③의 방식은 연결고무돌기 부착 이송장치로 배추를 잡는 것과 뿌리를 절단하거나 유도하는 날의 작동이 거의 동시에 이루어지기 때문에 여기에서는 논하지 않겠다. 다만 토양절삭용 굴취날과 이송장치의 연결고무돌기 부분으로 배추를 잡아 쥐는 위치와의 관계는 다음과 같이 나타낼 수 있다(岩崎正美 등, 1979). 그림 3에 있어서 토양절삭날 K에 의해 토양의 표면은 K의 전방 $L_1(m)$ 의 위치보다 α_b 의 각도를 가지고 솟아 오른다.

배추포기를 잡아주는 입구 A에서 α_a 의 각도를 가진 연결고무돌기 부착 이송장치의 속도를 V_b (m/s), 트랙터의 주행속도를 V_m (m/s), 토양절삭날 K에 의해 연직방향으로 밀어올려지는 배추의 속도를 V_{bx} (m/s)로 한다. 또 여기서는 $\alpha_a > \alpha_b$ 로 가정한다. 지금 A점에서 배추를 잡아 연직상방으로

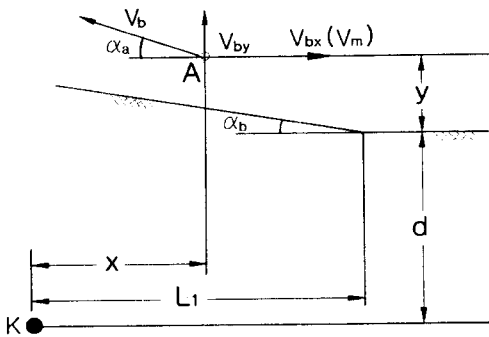


Fig. 3 The sectional position of the soil cutting edge and the held chinese cabbage head.

뽑아 이송하는 것으로 한다면 t 초 후의 배추의 연직변위는 $V_b \sin \alpha_a \cdot t$ 로 표시되어진다. 또 토양절삭날 K에 의한 배추의 연직변위를 토양표면의 연직변위와 같은 동작으로 나타내는 것으로 하면 $V_{bx}t = V_m \tan \alpha_b \cdot t$ 가 되고, 이것들 2개의 연직변위의 차가 뽑기에 의한 뿌리의 파쇄에 이를 때까지의 연직변위 $X_p(m)$ 보다도 작은 범위내에서 토양절삭날 K가 배추뿌리 바로 밑면에 이르면 배추뽑힘이 가능하다. 토양절삭날 K가 배추뿌리 바로 밑면에 이르는 시간을 t_1 이라고 하면,

$$x = V_m t_1 \tag{4}$$

$$X_p > (V_b \sin \alpha_a - V_m \tan \alpha_b) t_1 \tag{5}$$

이 되고, (4) 및 (5)식에서부터

$$x < \left(\frac{X_p}{\tan \alpha_a - \tan \alpha_b} \right) \tag{6}$$

이 된다.

또 지표면에서 배추를 잡아쥐는 입구 A까지의 높이 $y(m)$ 는

$$y > (L_1 - x) \tan \alpha_b \tag{7}$$

의 각 조건을 만족하지 않으면 안된다.

Kanamitsu(1993)는 배추의 물성측정시험결과 인발력이 최대일때의 연직변위가 배추의 경우 28~30mm 정도이며, 이 시점에서 배추뿌리는 토양에서부터 분리된다고 하였다.

3. 설계요인시험

가. 실내모형요인 시험

(1) 공시모형배추

본 뽑기·이송시험에 이용된 공시모형배추는 전술한 배추품종별 물성 측정결과(표 6)를 근거로 제작하였다. 공시모형배추는 그림 4와 같이 모형 배추의 폭은 170mm, 200mm, 220mm, 250mm로 하였고, 높이는 모두 300mm로 하였으며 이에 상응하는 배추무게도 2kgf, 2.5kgf, 3kgf, 4kgf의 4종류로 하였다. 뿌리는 배추공급부에 투입시 이송이 원활하고 일정한 인발력을 얻기 위하여 뿌리길이 70mm, 직경 50mm의 원기둥 형상으로 하였고, 재질은 실내에서 반복시험 과정에서 파손이 되지 않

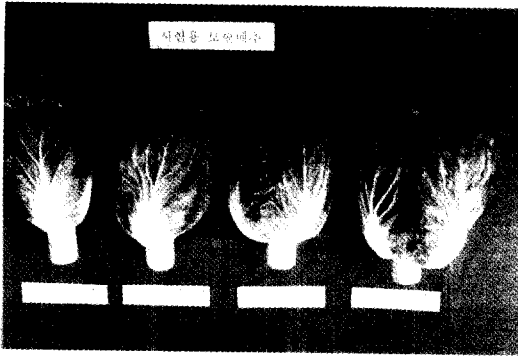


Fig. 4 Representation of the Chinese cabbages used in this experiment.

고 가공이 쉬운 염화비닐로 제작하였다.

또한 뿌리절단시험에는 셋도량배추를 공시재료로 이용하였다. 공시된 배추의 절구고는 359mm, 절구폭 219mm, 외엽배수는 15매 정도로서 절구무게는 2.6kgf, 절구부에 외엽을 포함한 무게는 3.9kgf, 뿌리직경은 25mm 정도로서 포장에서 뿌리를 절단하지 않고 운반하여 실내시험에 이용하였다.

(2) 실내모형요인 시험장치

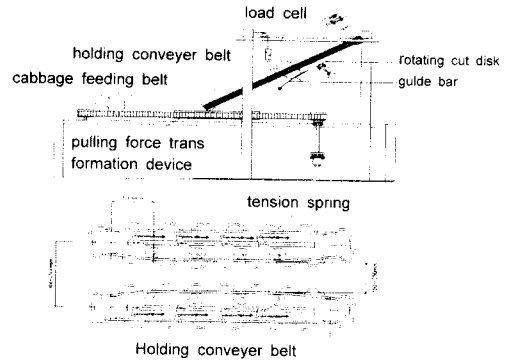




Fig. 5 Indoor testing equipment for the study of design factors of a Chinese cabbage harvester.

배추뽑기·이송 및 뿌리절단 설계조건을 구명하기 위해 그림 5, 표 1과 같이 실내요인시험장치를 설계 제작하였다.

시험장치는 배추공급부, 뽑기이송부, 뿌리절단부, 각부동력전달 유압시스템, 자료수집시스템으로 구성되어 있다. 배추공급부는 공급벨트를 설치하여 공급벨트의 속도조절과 더불어 벨트간격에 의해 배추뽑기에 필요한 인발력을 임의 조정할 수

Table 1 Specifications of indoor test equipment for determining optimum values of design factors.

Items		Type and specification	
Size(L×W×H) Power source		2,070×1,400×1,930mm hydraulic	
Feeding belt	Type of belt adjustment of belt space	Timing belt(width of 50mm) 0~50mm	
Holding conveyer belt	Tensile spring	Dia of coil 3mm, Length of freedom 110mm, No. of coil wound 36, Out-dia. of coil 20mm	
	Adjustment of inclination angle of belt	27° ~ 40°	
	Belt Shape		
	Materials	Main belt lug belt	VLW-22 VL-17
	Lug hight(mm) Lug pitch(mm)	80, 100 176	120 130
Root cutting method		Rotational cutting disk(dia 250mm)	

있도록 하였으며, 뽑기이송부는 인발력을 최소화 하기 위해 굴취날로 배추가 뽑히기 쉽도록 하고, 뿌리유도원판날로 뿌리를 유도 또는 절단날로 뿌리를 절단하여 인발력을 최대한 감소시킨 후 뽑기 벨트가 배추를 잡아 이송하는 원리를 적용하였다. 다만 굴취날, 뿌리유도원판 등의 적용은 포장작업에서만 적용이 가능하기 때문에 실내실험에서는 굴취날 등을 제외한 구조로 제작하였다. 뿌리절단 방식은 원판회전날식으로서 뽑기·이송벨트가 배추를 이송하는 도중에 뿌리를 유도하여 절단하도록 하였다. 동력원은 어느 각도에서나 임의로 동력을 취출할 수 있고 속도조절이 가능한 유압시스템을 이용하였고, 자료수집은 인발력, 각부회전속도, 뽑기벨트축 토오크 등을 측정할 수 있도록 시스템을 구성하였다. 따라서 실내요인 시험장치 5개 주요부의 구조 및 제원에 대한 상세한 설명은 다음과 같다.

(가) 배추공급부

배추공급부의 공급벨트는 벨트슬립이 일어나지 않고 직경 $\phi 50\text{mm}$, 길이 70mm의 원기둥 형상인 모형배추 뿌리를 협지하여 공급이 원활하게 될 수 있도록 폭 50mm의 타이밍 벨트를 사용하였다. 공급벨트의 간격조절에 의해 배추뽑기에 필요한 인발력을 임의 조정할 수 있도록 제작하여 모형배추 무게별로 공급벨트간격과 인발력과의 관계를 Calibration하면 그림 6과 같다. 여기에서 나타난 결과와 전술한 품종별 배추인발력과 비교할 경우 공급벨트간격 50mm에서는 배추를 유도원판날로 유도하거나 뿌리를 절단수확하여 인발력을 최대한 감소시켜 배추자체무게 상태에서 인발한 경우를 가정할 수 있다. 30~40mm 간격에서는 굴취날로

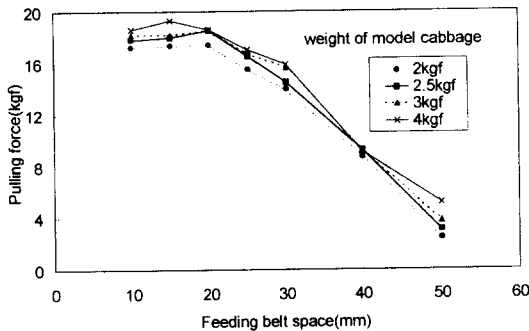


Fig. 6 The relationship between feeding belt space and pulling force.

토양 밀면을 절삭하여 인발력을 줄인 상태가 되며, 10~30mm에서는 미굴취상태의 인발력 범위에 속하는 것을 알 수 있다. 그러므로 실내시험에 필요한 인발력 조절이 충분한 것으로 판단되었다.

(나) 뽑기이송부

배추크기에 대한 적응성이 높고, 손상없이 효과적으로 뽑아 일정한 자세로 이송하기 위해 공시된 뽑기이송벨트는 용접에 의해 비교적 가공이 쉬운 불타러그벨트(주벨트 VLW-22, 러그벨트 VL-17,22)를 이용하였으며, 반원형 뽑기벨트는 러그높이와 피치가 80×176mm, 100×176mm, 직선형 뽑기벨트는 러그높이와 피치 120×130mm 인 3종류를 제작하였다.

각 벨트는 4개의 텐션풀리로 장력을 유지하고 각 텐션풀리에 부착한 인장스프링의 재질은 강선, 소선직경 3mm, 자유장 110mm, 권수 36, 외경 20mm로서 스프링정수는 0.46kgf/mm로 하였다.

스프링정수 k는 다음 식에 의해 구하였다(小栗富上雄, 1991).

$$k = \frac{Gd^4}{8ND^3}$$

여기서, G : 횡탄성계수 $8 \times 10^3(\text{kgf}/\text{mm}^2)$

d : 재료의 지름(mm)

N : 유효감김수(권수)

D : 스프링의 평균직경(mm)

뽑기이송벨트의 수평면에 대한 경사각도는 27°~40°로 조절되고, 또한 벨트사이의 간격은 품종별 물성 조사결과 품종별 결국폭이 190~240mm를 고려하여 주벨트사이의 간격을 150~250mm로 조절되며, 벨트속도의 조절이 가능하도록 제작하였다.

(다) 뿌리절단부

뿌리절단방식은 원판회전날식으로서 뽑기이송벨트가 배추를 협지하여 이송중에 가이드에 의해 절단날로 유도하여 절단하도록 제작하였다. 그러나 예비실험결과 연결고무돌기 부착 이송벨트에 의한 배추이송자세가 일정하지 않고 가이드작동이 원활하지 못해 이송벨트로 배추를 협지하여 이송도중에 정밀하게 뿌리를 절단하는 것은 곤란할 것으로 판단되었다. 따라서 배추 뿌리절단에 필요한 원판날의 적정원주속도를 알아보기 위하여 뿌리절단장치는 착탈식 구조로 하여 모형배추를 이용한 뽑

기·이송시험을 완료한 후 부착하여 시험하였다. 뿌리절단날은 직경 $\varnothing 250\text{mm}$, 날두께 2.5mm, 날잇수 35개인 원판회전날을 사용하였고 유압모터에 직결하여 회전수가 조절되도록 제작하였다.

(라) 동력전달용 이동식 유압시스템

본 시험에는 어느 조건에서나 동력을 취출할 수 있고 여러 부위에 속도, 압력, 방향을 동시 또는 개별 제어가능하며 이동이 편리하도록 제작된 이동식 유압시스템을 사용하였다. 그림 7은 이동식 유압시스템의 유압회로도이며 유압펌프의 용량은 50 l/min , 최대압력 150kgf/cm^2 , 상용압력 $70\sim 80\text{kgf/cm}^2$ 이다. 유압모터는 220V, 삼상 20HP \times 6P로서 유압펌프를 구동하고 PLC 제어를 이용 솔레노이드 밸브를 ON/OFF하여 6채널의 액츄에이터의 방향을 제어한다. 액츄에이터의 속도는 유량제어 밸브를 설치하여 각각의 속도를 제어할 수 있도록 제작하였다. 실제 시험에서는 공급벨트부, 뽑기이송벨트부, 뿌리절단부 등 3채널만 이용하였다.

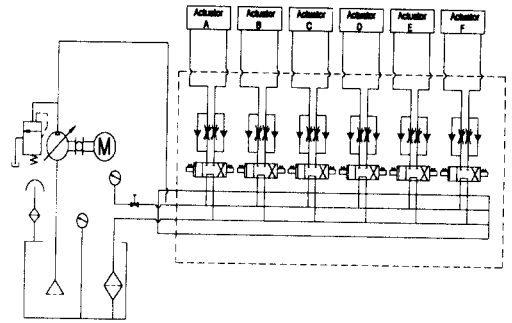


Fig. 7 The circuit diagram of mobile type hydraulic control system.

(마) 자료수집 시스템

자료수집시스템의 측정항목은 뽑기이송벨트축회전수와 토크, 뽑기이송부 순간최대인발력, 공급벨트와 회전원판날의 회전속도 등이다. 본 시험에 사용된 자료수집시스템의 구성도는 그림 8과 같다. 뽑기이송부 소요동력을 구하고자 축회전수와 축토크의 측정은 Onosokki사의 토크미터(Model SS-101, capacity 10kgf-m, range 1)를 이용하여 측정하였다.

측정값은 디지털 토크메타(Kyowa, Model TS-200)에서 바로 읽을 수도 있으며, 증폭하여 A/D 변환기를 통해 마이크로 컴퓨터에 입력되도록 하여 배추뽑기에 소요되는 동력을 계산하였다. 뽑기이송벨트로 모형배추를 뽑을 때의 인발력 측정용 국내의 봉신로드셀사의 제품으로 뽑기이송부의 전방에 수직으로 인장로드셀(Model 100-DBBP, Capacity 100kgf)을 설치하고, 후방 뽑기이송부 현지점 하단에 수직방향 압축력 측정이 가능한 압축로드셀(Model 100-OBU, Capacity 100kgf)을 설치하여 측정값은 Digital weighting indicator(Model BS-300A)에 기록된 순간 최대인발력을 측정하였다. 한편 공급벨트의 속도, 뿌리절단용 회전날의 회전속도는 Onosokki사의 디지털 타코메타(Model HT-3100)를 이용하여 측정하였다.

(3) 실험방법

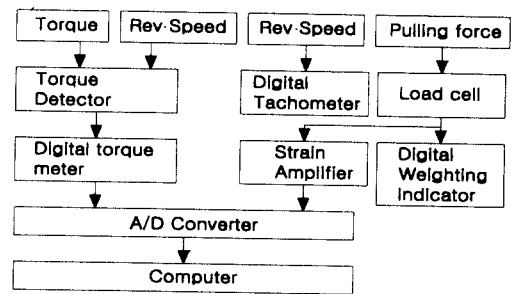


Fig. 8 Block diagram of the data acquisition system.

뽑기이송부의 설계인자로는 뽑기이송벨트의 종류, 뽑기이송부의 각도, 뽑기 가능한 인발력범위, 뽑기이송벨트 사이의 간격, 공급벨트(주행속도)와 뽑기이송벨트속도의 관계 등이 있다. 이 중에서 모형배추크기는 물성조사결과를 토대로 4수준으로 하였고, 뽑기이송벨트는 3종류로 하였다. 굴취여부에 따른 인발력 조절범위인 공급벨트 간격은 예비 실험을 거쳐 20mm, 30mm, 40mm로 하였으며, 뽑기이송부의 각도는 기존에 보고된 결구채소 수확기와 근채류 수확기의 인발각도를 고려하여 30°, 35°, 40°로 조절되도록 하였다. 배추공급벨트 속도는 실제포장에서 기존 채소수확기의 주행속도 범위인 0.2m/s, 0.3m/s로 하였으며, 이에 상응하는 뽑기이송벨트의 속도를 0.3, 0.4, 0.5, 0.6m/s의 4수준으로 하였다. 실험은 처리 수를 줄이기 위해 뽑기 및 이송상태가 양호한 뽑기이송벨트를 선정한다음 뽑기이송벨트의 경사도를 정하였으며, 선정된 뽑기이송벨트와 경사도를 고정하고 모형배추크기별, 공급벨트 속도별, 뽑기이송벨트 속도별로

순간최대인발력, 뽑기 및 이송율, 뽑기이송벨트축 회전수와 최대토크를 측정하여 뽑기이송벨트축 소요동력을 다음 계산식에 의하여 산출하였다.

뿌리 절단실험은 뽑기이송벨트가 배추를 이송하는 과정에서 회전원판날의 회전속도를 300, 500, 700, 900rpm의 4수준으로 하여 통과시켰을 때 뿌리절단상태를 육안으로 조사하였다.

$$\text{뽑기율}(\%) = \frac{\text{뽑힌 모형배추 개수}}{\text{모형배추 공급개수}} \times 100$$

$$\text{이송율}(\%) = \frac{\text{이송된 모형배추 개수}}{\text{모형배추 공급개수}} \times 100$$

$$\text{뽑기이송벨트축 소요동력 } H(kW) = \frac{2\pi N_s T_s}{6,120}$$

여기에서, N_s : 뽑기이송벨트축 회전수(rpm)

T_s : 뽑기이송벨트축 토크(kgf · m)

(4) 결과 및 고찰

(가) 뽑기이송벨트종류, 배추무게, 공급벨트간격과 뽑기이송상태와의 관계
적정 뽑기이송벨트 선정을 위하여 시험조건은

뽑기이송벨트의 경사각 조절범위 30° ~ 40°의 중간인 35°로 하였고, 공급벨트(주행속도)와 뽑기벨트속도비는 표 4에서 뽑기이송상태가 양호한 공급벨트속도 0.2m/sec, 뽑기이송벨트속도 0.4m/s로서 속도비를 1:2로 하고, 뽑기이송벨트의 주벨트사이 간격을 모형배추의 유입이 잘 되도록 입구쪽은 270mm, 이송부는 150mm로 하였다. 뽑기이송벨트 종류로는 리그높이와 피치가 80×176mm, 100×176mm인 반원형리그벨트와 120×130mm인 직선형리그벨트 3종류로 하였으며, 인발력 범위는 굴취날로 토양밀면을 절삭하여 인발력을 감소시킨 공급벨트 간격은 30mm(인발력 14.0~15.9kgf), 40mm(인발력 8.8~9.3kgf)로 하였다. 이때 모형배추의 무게(결구폭)는 2kgf(결구폭 170mm), 2.5kgf(200mm), 3kgf(220mm), 4kgf(250mm)로 하여 효과적으로 뽑아, 떨어뜨리지 않고 일정한 자세로 이송이 되는지 시험한 결과 뽑기·이송상태는 표 2와 같았다. 표에서 보면 각 뽑기이송벨트 공히 모형배추폭 250mm이며 무게 4kgf인 경우는 공급벨트 간격변화에 의한 인발력을 변화시켜도 모두 수용하였으나 모형배추 무게 2kgf, 2.5kgf, 3kgf에서는 반원형 리그벨트의 리그높이 80mm, 간격 176mm인 경우에만 모형배추를 뽑아 이송이 가능

Table 2 The variations of pulling and conveying posture by the types of holding conveyer belts, weight of cabbage heads and feeding belt space

Types of holding conveyer belt		Weight of model cabbage (kgf)	Pulling and conveying posture by the feeding belt space			
Shape of lug belt	Lug hight × pitch (mm)		30mm		40mm	
			Pulling	Conveying	Pulling	Conveying
Semi-circle type	80×176	2	○	○	◎	◎
		2.5	◎	◎	◎	◎
		3	◎	◎	◎	◎
		4	◎	◎	◎	◎
	100×176	2	×	×	△	△
		2.5	△	△	△	○
		3	×	×	◎	◎
		4	◎	◎	◎	◎
Straight type	120×130	2	×	×	×	×
		2.5	×	×	○	△
		3	×	×	◎	△
		4	◎	◎	◎	◎

Index: ○ Pulling and conveying

- Pulling rate : ◎ 100%, ○ 80~90%, △ 60~79%, × below 60%

- Conveying posture : ◎ 100% upright position, ○ more higher the 80%, △ more higher the 50%,

× missing or improper posture

Table 3 The variations of pulling and conveying posture by the different inclination angles and speeds of holding conveyer belt

Inclination angle of conveyer belt	Holding conveyer belt speed (m/s)	Ultimate momentary pulling force (kgf)	Pulling and conveying posture		Holding conveyer belt		
			Pulling rate (%)	Conveying rate (%)	Revolution speed (rpm)	Torque (kgf · cm)	Power requirement (kW)
30°	0.3	8.4	66.7	33.3	48.6	207.9	0.10
	0.4	7.5	66.7	33.3	65.7	208.3	0.14
	0.5	6.9	50.0	50	84.3	205.6	0.18
	0.6	6.0	66.7	33.3	97.8	206.2	0.21
35°	0.3	8.2	100	100	47.9	206.9	0.10
	0.4	7.7	100	100	68.3	206.0	0.15
	0.5	5.6	100	100	85.4	209.9	0.18
	0.6	5.6	100	100	105.0	208.1	0.22
40°	0.3	7.3	66.7	33.3	48.7	208.1	0.10
	0.4	7.6	33.3	16.7	64.2	207.2	0.13
	0.5	5.1	33.3	33.3	84.1	206.9	0.18
	0.6	4.9	50.0	16.7	104.3	207.0	0.22

하였다. 따라서 반원형 리그벨트형상의 뽑기이송장치를 이용하여 뿌리 밑면 토양절삭에 의한 인발력을 감소시킨다고 가정하면 배추크기에 관계없이 적용이 가능할 것으로 판단되었다. 그러나 좌우대칭의 뽑기이송벨트 구조로는 슬립이 일어나고 벗겨질 우려가 있어 실제포장에서 적용이 곤란할 것으로 예상되어 슬립이 일어나지 않는 attachment chain에 연결고무러그(돌기)를 부착하는 방식으로 개선이 요구되었다.

(나) 뽑기이송벨트 경사도 · 이송속도와 뽑기이송상태와의 관계

적정 뽑기이송벨트 설계요인을 구명하기 위하여 시험조건은 앞에서 뽑기이송상태를 고려하여 선정된 리그높이 80mm, 리그피치 176mm의 반원형러그벨트를 공시 뽑기이송벨트로 하였다. 그리고 공급벨트의 간격을 20mm로 하여 미결취상태의 배추의 인발력 범위인 17.4~18.6kgf 하며, 무게 3kgf의 모형배추를 공시재료로 하였다. 뽑기이송벨트의 경사도 30°, 35°, 40°로 하고, 공급벨트속도는 0.2m/s로 고정하고 뽑기이송벨트속도를 0.3, 0.4, 0.5, 0.6m/s로 달리 하였을 때 뽑기이송상태는 표 3, 그림 9, 10과 같이 나타났다. 표와 그림에서와 같이 경사도별 뽑기이송상태는 35°에서 뽑기이송벨트속도에 관계없이 뽑기율 100%, 이송율 100%로

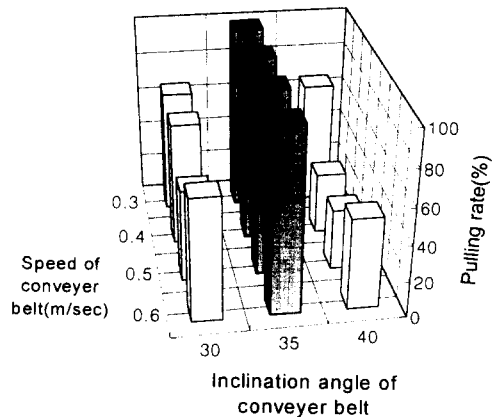


Fig. 9 Pulling rate in Chinese cabbage affected by the inclination angles and the speeds of holding conveyer belt.

가장 양호한 것으로 나타났다. 뽑기이송속도별 뽑기이송상태는 뽑기이송벨트 경사도에 관계없이 공급벨트속도 0.2m/s, 뽑기이송벨트속도 0.3m/s일 때 뽑기율 66.7~100%, 이송율 33.3~100%로서 상대적으로 높게 나타났다. 따라서 뽑기이송벨트의 경사도는 35°가 적정한 것으로 나타났으나 실제포장에서는 배추의 원활한 유입을 위한 뽑기이송벨

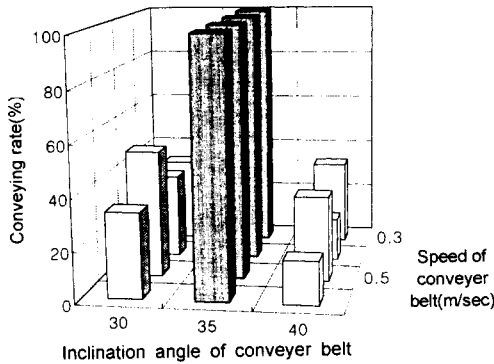


Fig. 10 Conveying rate in Chinese cabbage affected by the inclination angles and the speeds of holding conveyer belt.

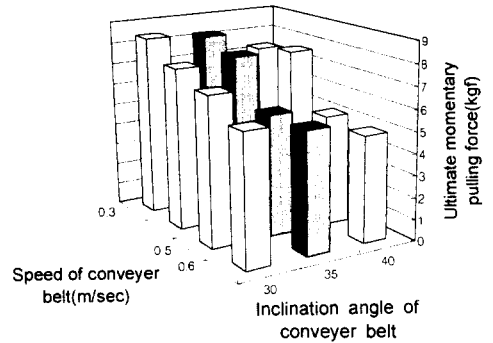


Fig. 11 Ultimate momentary pulling forces in Chinese cabbage affected by the inclination angles and the speeds of holding conveyer belt.

트 돌기의 비작용영역 감소와 인발력 감소를 위한 수확보조장치와 뽑기이송벨트와의 간섭 등의 검토가 필요할 것으로 판단되었다.

(다) 뽑기이송벨트 경사도 · 이송속도와 배추뽑기 인발력 및 소요동력과의 관계

뽑기이송벨트 경사도, 이송속도별 배추뽑기 순간최대인발력은 표 4, 그림 12에서 보는 바와 같이 뽑기이송벨트 경사각도와 이송속도가 증가할수록 순간최대인발력은 감소하는 경향으로 나타났다. 또한 공급벨트 정지시와 공급벨트 회전시의 인발력 비교를 위해 그림 6의 공급벨트간격과 인발력과의 관계에서 나타난 공급벨트간격 20mm, 무게 3kgf의 모형배추를 공급벨트를 회전시키지 않고 뽑을 때 순간최대인발력은 18.5kgf이고 공급벨트속도 0.2m/s, 뽑기이송벨트속도 0.3~0.6m/s에서의 순간최대인발력은 4.9~8.4kgf으로 나타나 정지시와 비교하여 현저히 낮은 것으로 나타났다. 이것은 배추를 뽑는 각도가 연직방향에 가깝고 주행하면서 빠른속도로 뽑을 때 순간최대인발력이 감소하는 것으로 판단된다.

뽑기이송벨트경사도, 이송속도별 배추뽑기이송벨트속도 소요동력은 표 3, 그림 12에서 보는 바와 같이 토오르는 205.6~209.9kgf·cm로 경사도와 이송속도의 변화에 따라 큰 차이가 없었으나 공급벨트속도(주행속도)를 0.2m/s로 일정하게 하고 뽑기이송벨트속도를 0.3m/s, 0.4m/s, 0.5m/s, 0.6m/s로 증가시키에 따라 축소요동력은 각각 0.10kW, 0.13~0.15kW, 0.18kW, 0.20~0.22kW로 나타나 뽑기이송

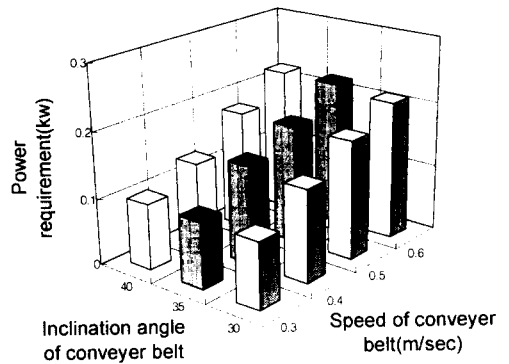


Fig. 12 Power for conveying Chinese cabbage with respect to the inclination angles and the speeds of conveyer belt.

벨트속도 증가에 따른 축회전수의 증가로 축소요동력도 비례하여 증가되는 것으로 나타났다.

(라) 공급벨트 및 뽑기이송벨트속도, 공급벨트간격과 뽑기이송상태와의 관계

공급벨트(주행속도) 및 뽑기이송벨트속도별, 공급벨트 간격과 뽑기이송상태와의 관계를 알아보기 위하여 시험조건은 이미 선정된 반원형러그벨트(러그높이 80mm, 피치 176mm)를 공시벨트로 하고, 뽑기이송벨트의 경사각도는 35°로 하였다.

공급벨트 속도는 0.2m/s, 0.3m/s이며, 뽑기이송벨

Table 4 Pulling and conveying posture by the speed of holding conveyer belt and feeding belt, space of feeding belt (cabbage weight : 2kgf)

Feeding belt speed (m/s)	Holding conveyer belt speed (m/s)	Feeding belt space (mm)	Ultimate momentary pulling force (kgf)	Pulling and conveying posture	
				Pulling rate (%)	Conveying rate (%)
0.2	0.3	20	0	0	0
		30	4.4	83.3	83.3
		40	3.3	100	100
	0.4	20	0	0	0
		30	3.9	83.3	66.6
		40	2.9	100	100
	0.5	20	3.1	50	50
		30	3.8	66.6	50
		40	2.6	100	100
	0.6	20	2.5	33.3	0
		30	3.2	50	50
		40	2.2	71.4	0
0.3	0.3	20	0	0	0
		30	3.5	100	0
		40	3.4	100	0
	0.4	20	0	0	0
		30	3.8	66.7	0
		40	3.2	100	0
	0.5	20	0	0	0
		30	3.4	50	0
		40	2.6	100	100
	0.6	20	0	0	0
		30	2.9	66.7	66.7
		40	2.4	100	100

Index: ○ Type of holding conveyer belt : semicircle type(lug height of 80mm).
 ○ Inclination angle of conveyer belt is 35° and conveyer belt space is 150mm.

트속도는 0.3, 0.4, 0.5, 0.6m/s, 공급벨트의 간격을 20, 30, 40mm로 하였다. 또한 배추의 크기를 2kgf, 2.5kgf, 3kgf, 4kgf로 하였을 때 뽑기이송상태는 공시모형배추 2.5kgf, 3kgf, 4kgf인 경우에는 처리요인에 관계없이 대부분 뽑기 및 이송율이 100%로 양호한 것으로 나타났다. 그러나 모형배추 2kgf(배추폭 170mm)인 경우에는 표 4와 같이 뽑기이송벨트의 주벨트사이의 간격 최소조절범위인 150mm로서 뽑기율도 저하하고 뽑힌배추도 이송중

에 떨어져 뽑기이송상태가 좋지 못한 것으로 나타나 실제 포장에 적용시에는 배추크기에 따른 적응성 향상을 위해 헝지벨트폭 조절범위를 좁게 설계하여야 할 것으로 판단되었다.

한편 공급벨트와 뽑기이송벨트와의 적정속도비를 구명하기 위하여 공시모형배추 2kgf으로 하고 공급벨트·뽑기이송벨트속도별, 공급벨트간격별 뽑기이송상태는 그림 13, 14와 같았다. 그림에 나타난 바와 같이 공급벨트간격이 넓어 인발력을 감소

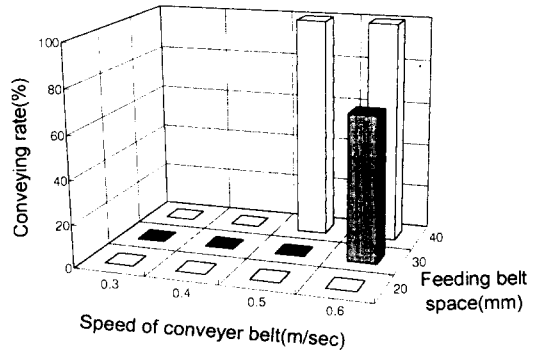
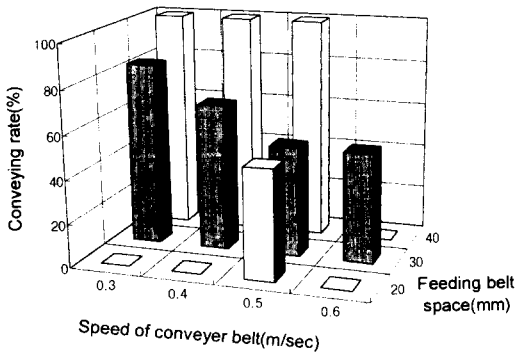
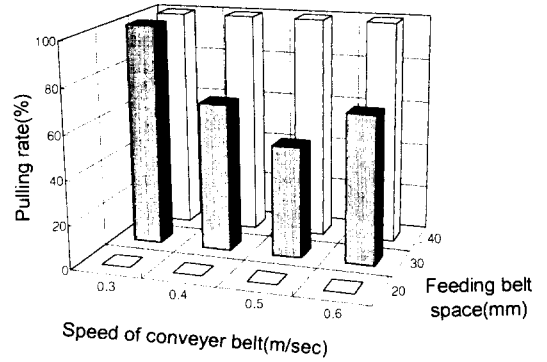
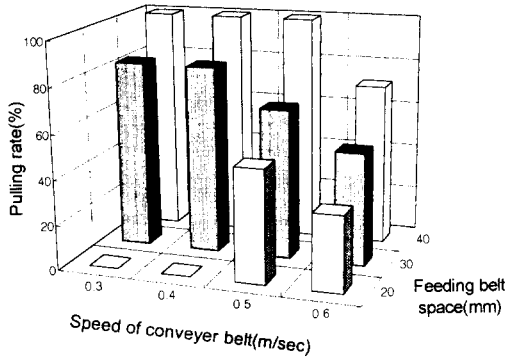


Fig. 13 Pulling rate and conveying rate in Chinese cabbage affected by the inclination angles and the speeds of holding conveyer belt. (feeding belt speed : 0.2m/s)

Fig. 14 Pulling rate and conveying rate in Chinese cabbage affected by the inclination angles and the speeds of holding conveyer belt. (feeding belt speed : 0.3m/s)

시킬수록 뽑기이송상태는 양호하게 나타났으며, 공급벨트속도와 뽑기이송벨트 속도별 뽑기이송상태는 공급벨트간격 40mm로 하고 공급벨트속도 0.2m/s인 경우 뽑기이송벨트속도 0.3, 0.4, 0.5m/s에서 뽑기율과 이송율이 각각 100%로 높게 나타났다. 그리고 공급벨트속도 0.3m/s일 경우 뽑기이송벨트속도 0.5, 0.6m/s에서 역시 뽑기율과 이송율이 100%로 높게 나타났다. 따라서 뽑기이송상태를 고려한 실내시험결과 주행속도(공급벨트속도)와 뽑기이송벨트속도와의 속도비는 1:1.5~1:2 범위가 적당한 것으로 나타났다. 이것은 앞서 이론해석에 의한 이론속도비 1:1.2 보다 높게 나타난 원인은 인발하기 직전에 모형배추와 뽑기이송벨트 사이에 슬립현상이 발생되기 때문인 것으로 판단된다.

(마) 뿌리절단용 원판날 회전속도별 뿌리절단상태

적정뿌리절단장치 설계조건을 구명하기 위하여 뿌리직경 $\varnothing 18 \sim 21\text{mm}$ 정도인 섀도랑배추를 뽑기이송벨트로 0.4m/s 속도로 협지하여 이송하는 과정에서 뿌리절단용 원판날의 회전속도를 300, 500, 700, 900rpm으로 하여 시험하였을 때 뿌리절단상태는 표 5에서 보는 바와 같다. 원판날 회전속도별 뿌리절단상태를 육안 조사한 결과 원판날 회전속도 300rpm까지는 절단면이 거칠고 사절현상이 발생되었으나 회전속도 500rpm, 원주속도 6.54m/s 이상부터는 절단상태가 양호한 것으로 나타났다.

Table 5 Status of cutting root by the revolution speed of cutting disk

Revolution of cutting disk (rpm)	Peripheral speed of cutting disk (m/sec)	Condition of cut root	Remark
300	3.93	Bad(cut with diagonal shape, rough in surface view)	Size of disk cutter : ∅250×t2.5mm Conveying speed of chinese Cabbage : 0.4m/sec
500	6.54	Good	
700	9.16	"	
900	11.78	"	

Index; ○ Variety : Satnorang
○ Size : head height×diameter 260×∅190mm, root diameter. ∅18~21mm

Table 6 Physical characteristics of soil for Chinese cabbage cultivation field

Location	Moisture content (% d.b)	Granule distribution(%)			Soil textures	Soil hardness by depths(kg/cm ²)			
		Sand	Silt	Clay		5	10	15	20cm
Suwon (NAMRI test field)	24.41	11.2	55.9	32.9	SiCl	2.20	5.33	5.63	6.87

Table 7 Physical characteristics of Chinese cabbage by the different varieties

Variety	Size(mm)		Head size(mm)		Depth of bottom for outer leaves (mm)	Weight(kgf)		Root dia (mm)	No. of outer leaves (leaf)	Pulling force (N)	
	Height	Width	Height	Width		Outer leaves+ head	Hard part				
Satnorang	Ave.	379	737	359	219	25	3.9	2.6	25	15	154
	S.D.	30	107	23	15	5	0.3	0.6	5	2	31

다. 포장요인 시험

(1) 공시포장 및 작물조건

수확방식별 포장요인시험을 실시한 공시포장은 표 6과 같이 기계화 재배양식인 조건 60cm, 주간 35cm 등근두둑 1줄 무피복재배한 농업기계화연구소 입북동 시험포장으로 토양함수율 24.41%d.b, 배추뿌리깊이가 150~200mm임을 감안하여 15~20cm 관입깊이에서의 토양경도 5.63~6.87kgf/cm²

정도인 미사질식양토였다. 공시배추는 평균결구고 359mm, 결구폭 219mm, 결구무게 2.6kgf, 결구+외엽무게 3.9kgf, 외엽매수가 15매, 평균인발력 154N 정도인 표 7의 샛노랑 배추를 공시재료로 하였다.

(2) 포장요인 시험장치

(가) 수확방식별 포장요인 시험장치

시험장치는 실내요인시험에서 얻어진 결과를 토대로 적정수확메카니즘을 구명하기 위하여 트랙터

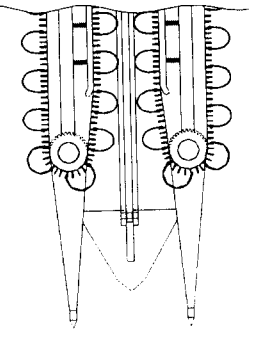
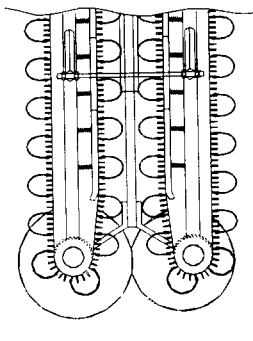
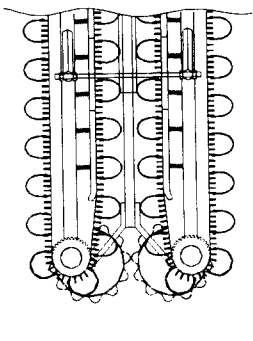
부착형으로 제작하였다. 실내시험에서 좌우대칭의 연결고무돌기 부착 이송벨트가 슬립이 일어나 이를 방지하고자 포장요인시험장치에서는 슬립이 일어나지 않는 어터치먼트 체인에 연결고무돌기(높이 100, 피치 175mm, 재질:리나텍스, 고무경도 45~50)를 부착하여 배추크기별 적응성 및 배추손상을 줄이도록 하였다. 배추를 뽑아 이송하는 자세가 일정하게 되는 이송장치의 선정을 위해 연결고무돌기 부착각도가 이송방향에 직각인 돌기와 경사진돌기를(지면에 직각인 돌기) 부착한 2종류의 이송체인을 교환 부착할 수 있도록 하였다. 인발력을 최소화하여 효과적으로 수확하기 위하여 수확방식을 달리하였다. 포장요인 시험장치에 적용한 수확방식은 표 8과 같이 ① 진동굴취날로 토양을 파쇄한 후 연결고무돌기 부착 이송장치로 뽑는 방법, ② 원판뿌리절단날로 지면을 스치듯 배추뿌리를 절단과 동시에 연결고무돌기 부착 이송

장치로 이송하는 방법, ③ 원판뿌리유도날로 배추의 뿌리를 유도하여 이송장치로 이송하는 3가지 방법으로 교환이 가능한 착탈식 구조로 하였다. 굴취 및 원판날의 전후길이가 조정되고, 원판날의 선단각도는 0~12°로 조절이 가능하나 예비시험결과 6°로 하였다. 유압실린더와 미륵조정에 의해 상하높이 조절이 가능하며, 연결고무돌기 부착 이송장치의 각도는 실내시험에서는 35°가 양호한 것으로 나타났다. 그러나 연결고무돌기 부착 이송장치의 비작용영역 감소 및 인발력 감소를 위한 수확보조장치와 연결고무돌기와의 간섭이 없도록 하기 위해 30°로 하여 시험장치를 설계 제작하였다. 제작된 포장요인 시험장치의 구조 및 제원은 표 8과 같다.

(나) 동력전달 유압시스템

진동굴취날과 유압구동 동력은 트랙터의 PTO

Table 8 Specifications of various prototype harvesting devices

Harvesting method	Shaking digger + holding conveyer belt	Disk cutter+holding conveyer belt	Disk guider+holding conveyer belt
Types			
Specifications	<ul style="list-style-type: none"> ○Digger shaking speed : 360cpm ○Width of cutter : 16mm ○Digger angle : around 20° 	<ul style="list-style-type: none"> ○Disk diameter : Ø480mm ○Cutting method : revolution speed difference between left and right disk ○Cutting disk revolution adjustment : 0~220rpm ○Disk edge angle adjustment : 6° (max.12°) 	<ul style="list-style-type: none"> ○Guiding disk diameter : Ø420mm ○Guiding disk adjustment of revolution speed : 0~220rpm ○Rug height : 35mm ○Rug number : 15 ea. ○Disk angle adjustment : around 6° (max.12°)

동력을 이용하고, 연질고무롤기 부착 이송체인과 원판 회전날 또는 원판 유도날의 구동, 굴취 및 인발부의 위치제어를 시험장치의 자체 유압장치를 설치하여 유압조절밸브를 이용하여 각부의 속도 및 위치를 제어하도록 설계 제작하였다. 시험장치에 적용된 유압 및 유압전기 회로도는 그림 15에 나타냈으며 트랙터의 PTO동력을 증속(540rpm×3배)하여 유압펌프(분당토출량: 43 ℓ/min) 를 구동하고 DC 12V용 솔레노이드 밸브를 이용하여 3개의 유압모터와 2개의 유압 실린더를 제어하면서 시스템의 각 라인마다 유량제어 밸브를 설치하여 각각의 속도를 제어할 수 있도록 하고 유압오일 탱크는 유압오일의 온도상승을 감안하여 120 ℓ로 설계·제작하였다.

모든 유압을 구동하는 소요동력은 아래 식에 의거 산출한 결과 13.15kw로 나타났다(新井登夫, 1991).

$$Li = \frac{2\pi NT}{6, 120}$$

여기서,

$$T = \frac{P \cdot Q_o}{2\pi} \cdot \frac{1}{\eta}$$

- Li : 소요동력(kw)
- T : 입력축 토크 (kgf·m)
- P : 펌프 토출축 최고압력 : 150 kgf/cm²
- Q_o : 펌프 1회전당 이론토출량(ℓ/rev)
- N : 펌프회전수(rpm)
- η : 기계효율 : 80 %

또한 시험장치의 운전조작을 용이하게 하기 위하여 유압조절레버를 자석부착식으로 제작하여 트랙터의 운전석 옆에 착탈이 가능하도록 하였으며, 시험자가 배추가 뽑혀지는 과정을 보면서 인발부와 굴취부의 위치를 유압조절레버를 작동하므로 동시 또는 개별 위치제어가 가능하도록 설계·제작하였다.

(3) 시험방법

배추수확 요인시험은 셋노랑배추를 기계수확이 용이하도록 조건 60cm, 주간 35cm 둥근두둑 1열

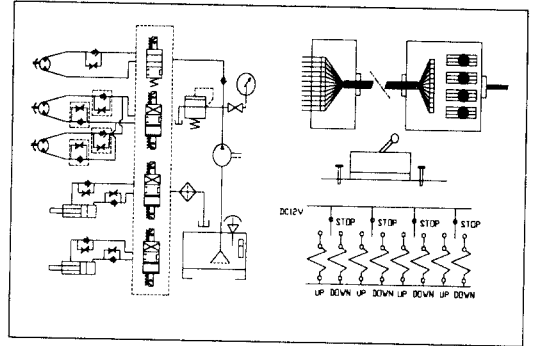


Fig. 15 Hydraulic circuit and electrohydraulic circuit of prototype.

의 무피복재배한 농업기계화연구소 시험포장에서 연질고무롤기 부착 이송체인 종류, 수확방식, 주행 속도 및 연질고무롤기 부착 이송체인 속도별 작동 상태와 작업정도를 조사 분석하였다. 작업정도는 연질고무롤기 부착 이송체인 종류와 수확방식별 뽑기율과 잎손상 정도에 관해서 처리당 50포기를 조사하였다. 배추수확 방식중에서 원판회전날로 배추뿌리절단과 동시에 연질고무롤기 부착 이송체인으로 뽑아 이송하는 방식의 경우에는 뿌리절단 정도의 기준으로 「뿌리미절단」은 재다듬기가 필요한 상태이고, 「적절」은 출하가능상태(남은 뿌리길이 5mm 이내), 「과절」은 외엽 뿐만아니라 결구부까지 절단되어 손실이 큰 상태로 3단계로 분류하여 조사하였다.

(4) 결과 및 고찰

(가) 연질고무롤기 부착 이송장치 종류 및 수확 방식별 작업정도

배추크기별 적응성 및 배추를 손상없이 수확하여 일정한 자세로 이송하기 위한 적정수확방법 구명을 위하여 시험기준은 주행속도를 0.3m/s로 하고, 주행속도와 뽑기벨트 속도비는 1:1.5로 하였다. 배추이송장치는 실내요인시험에서 좌우대칭인 연질고무롤기 부착 이송벨트가 슬림이 되는 것을 방지하고자 attachment chain에 연질고무롤기(높이 100mm, 피치 175mm)를 부착하는 구조로 개선하였다. 부착방식은 부착각도가 이송방향에 직각인 돌기와 경사진 돌기(지면에 수직인 돌기) 방식의 2종류로 하였고, 수확방식은 진동굴취날로 토양을 파쇄한 후 연질고무롤기 부착 이송장치로 뽑는 방

Table 9 Working accuracy by the type of belts and harvesting methods

Type of belts	Harvesting methods	Pulling rate (%)	Damaged outer leaves (%)			Average damaged leaves (ea.)
			1~5 leaves	6~9	Over 10	
Right angle belt	Shaking digger+ Holding conveyer belt	86	60	32	8	5.5
	Disk guider+ Holding conveyer belt	32	32	62	6	6.3
	Disk cutter+ Holding conveyer belt	74	8	76	16	8.4
Inclined belt	Shaking digger+ Holding conveyer belt	88	85	12	3	4.9
	Disk guider+ Holding conveyer belt	44	20	78	2	6.7
	Disk cutter+ Holding conveyer belt	100	92	2	6	4.1

법, 원판뿌리절단날로 지면을 스치듯 배추뿌리를 절단과 동시에 연질고무돌기 부착 이송장치로 이송하는 방법, 원판뿌리유도날로 배추뿌리를 유도하여 이송장치로 이송하는 3가지 방법으로 하였다. 시험한 결과 작업정도는 표 9와 같이 나타났다. 표에 나타난 바와 같이 연질고무돌기 부착 각도가 이송방향에 직각돌기보다 이송방향에 경사진 돌기부착 이송장치의 경우 뽑기율도 높고, 외엽손상도 적은 것으로 나타났는데 이는 이송방향에 경사진돌기를 부착한 좌우대칭의 연질고무돌기가 포장에 수직으로 서있는 배추자세를 흐트리지 않고 험지하여 이송이 가능하기 때문인 것으로 판단되었다.

따라서 이송방향에 경사진 연질고무돌기 부착 이송장치를 이용하여 수확방식별 뽑기율은 원판회전형 뿌리절단날+이송장치 100%, 진동굴취날+이송장치 88%, 원판뿌리유도날+이송장치 44% 순으로 나타났다. 이것은 다른 방법에 비하여 원판회전형 뿌리절단날로 뿌리를 절단하여 인발력을 배추자세무게로 최소화시킨 상태에서 좌우대칭의 연질고무돌기 부착 이송장치로 험지하여 이송하기 때문인 것으로 판단되었다.

수확방식별 평균 손상엽수는 원판회전형 뿌리절단날+이송장치 4.1매, 진동굴취날+이송장치 4.9매, 원판유도날+이송장치 6.7매 순으로 뽑기율이 가장 양호했던 원판회전형 뿌리절단날+이송장치의 수확방식이 엽손상이 비교적 적게 나타났으나 배추의 평균외엽매수 10~15매인 것을 감안할 때



Fig. 16 View of harvesting test in field.

10매이상의 과절단 비율은 6%로 다른방식에 비하여 3~4% 높게 나타났다. 이것은 등근두둑의 지면요철대응이 미흡한 원인으로 생각된다. 따라서 지면추종장치를 보완하여 잎 손상을 줄일 수 있다면 가장 적정한 수확방식이라고 판단된다. 그림 16은 포장에서 배추수확시험 광경을 나타내고 있다.

(나) 주행속도 및 이송장치속도별 작업정도

주행속도와 이송장치속도와의 적정속도비를 알아보고자 앞에서 선정된 원판회전형 날로 뿌리절단과 동시에 경사진 연질고무돌기 부착 이송장치로 배추를 험지하여 이송하는 방식으로 하고 주행속도 0.3m/s, 0.4m/s로 하였다. 그리고 이송장치의 속도를 0.46m/s, 0.6m/s로 하여 작업정도를 조사한 결과는 표 10과 같이 나타났다. 주행속도와 뽑기별

Table 10 Working accuracy by traveling speed and holding conveyer belt speed

Traveling speed (m/s)	Holding conveyer belt speed (m/s)	Speed ratio of traveling belt vs conveyer belt	Pulling rate (%)	Work accuracy of root cutting(%)			Damaged outer leaves (%)			Average damaged leaves (ea.)
				Miss cut	Good	Over cut	1~5 leaves	6~9	Over 10	
0.3	0.46	1:1.5	100	38	54	8	92	2	6	4.1
0.3	0.60	1:2.0	98	44	46	10	74	16	10	4.7
0.4	0.60	1:1.5	84	88	12	-	78	22	-	4.2

트의 이론속도비는 뽑기벨트경사각 30° 인 경우 1:1.2인 것으로 나타났으나 실제포장에서 배추와 이송장치의 슬립으로 인하여 속도비가 1:1.5 정도인 주행속도 0.3m/s, 이송장치속도 0.46m/s에서 뽑기율 100%, 외엽손상 5매 미만 분포가 92%로 대체로 양호하였다. 그러나 뿌리절단 정도는 미절단 38%, 적절 54%, 과절단 8%로 나타나 뿌리절단작업 정도 향상을 위해 원판날의 지면요철대응 가능한 구조로 개선이 요구되었다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 등근두둑 1줄 무피복재배한 배추를 일시에 수확하는 트랙터부착형 배추수확기 개발에 앞서 인발력을 최소화하고 수확시 배추의 결구부에 손상을 주지 않으며 뿌리를 효과적으로 절단할 수 있고 배추를 뽑아 이송하는 자세가 일정한 배추수확부 적정 설계조건 구명을 위하여 이송장치의 구조 및 속도해석, 토양절삭날과 배추잡는 위치와의 관계 등 이론 해석을 하였다. 또한 이를 기초로 하여 실내모형요인 시험과 수확방식별 포장요인 시험을 실시하여 주요설계인자를 분석하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 뽑기이송장치 설계를 위한 실내모형요인 시험 결과 적정 뽑기이송벨트는 배추크기별 적응성과 뽑기이송정도를 고려하여 반원형 리그벨트가 적합한 것으로 나타났으나, 벨트는 슬립이 일어나므로 벨트대신에 attachment chain에 반원형의 연결고무돌기 부착형태가 바람직 할 것으로 판단되었다. 여기서 뽑기이송벨트 각도는 35°, 주행속도와 뽑기이송벨트의 속도비는 1:1.5~1:2.0 정도에서 뽑기이송상태가 양호한 것으로 나타났다.

2) 뽑기이송벨트축 토오르는 206~210kgf·cm로 경사도, 이송속도의 변화에 따라 차이가 없이 비슷한 것으로 나타났으나 뽑기이송벨트속도 증가에 따른 축회전수의 증가로 벨트축 소요동력도 비례하여 증가되는 것으로 나타났다. 원판날 회전속도별 뿌리절단시험결과 뿌리절단원판날의 원주속도 6.54m/s 이상에서 절단상태가 양호한 것으로 나타났다.

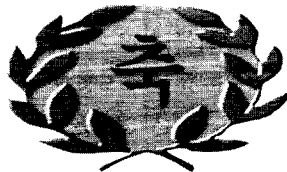
3) 포장요인 시험결과 이송장치의 경사도를 30°로 하고 연결고무돌기 부착 각도가 이송방향에 경사진 이송장치가 뽑기율도 높고 외엽손상도 적은 것으로 나타났다. 수확방식은 원판뿌리절단날로 뿌리절단과 동시에 경사진 연결고무돌기 부착 이송장치로 이송하는 방식이 뽑기율 100%, 평균손상엽수 4.1매로 엽손상은 비교적 적게 나타났다. 그러나 과절단 비율이 다른 방식에 비해 높게 나타나 뿌리절단용 원판날의 지면요철에 대응 구조로 개선이 요구되었다.

4) 주행속도와 이송벨트의 이론속도비는 이송장치의 경사각 30° 인 경우 1:1.2인 것으로 나타났으나 포장시험에서는 1:1.5 정도가 적합한 것으로 나타났다는데, 이는 유입부에서 배추와 이송벨트의 교차 슬립현상에 따른 것으로 판단되었다.

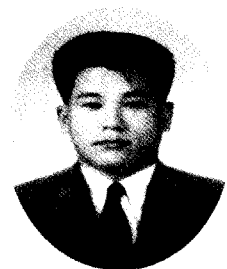
참 고 문 헌

1. Stout, B. A., F. W. Bakker-Arkema and S. K. Ries. 1966. Developing a mechanical Cabbage Harvester, Transaction of the ASAE, 9(6):860-861.
2. Kanamitsu, M., K. Yamamoto, Y. Shibano, Y. Goto and M. Suzuki. 1993. Development of a

- Chinese Cabbage Harvester(Part 1) -Fundamental Research and Development of Harvesting Mechanism-, Journal. of the Japanese Society for Agricultural Machinery 55(5):133-140(In Japanese)
3. Kanamitsu, M., K. Yamamoto, Y. Shibano and M. Suzuki. 1993. Development of a Chinese Cabbage Harvester(Part 2) -Tractor Attached Type Experimental Harvester-, Journal. of the Japanese Society for Agricultural Machinery 55 (6):121-128(In Japanese)
 4. Karahashi, M., K. Inoue, N. Sawamura and N. Ishizuka. 1977. Development of a Mechanical Harvester for Crisphead Vegetables-Development of a Harvesting Mechanism-, Journal. of the Japanese Society for Agricultural Machinery 55 (6):121-128(In Japanese)
 5. 홍종태 외 4인. 1997. 배추수확기 개발, 농업기계화시험연구보고서 : 199-218.
 6. 농업기계화연구소. 1997. 원예농업의 기계화기술과제와 발전방향, '97심포지엄 발표문.
 7. 농촌진흥청. 1998. 작목별 작업단계별 노동력 투하시간, pp.27-30.
 8. 농촌경제연구원. 2000. 농업전망 2001, pp. 265- 286.
 9. 岩崎正美, 石原昆. 1979. 引拔式掘取機に關する研究(第2報). 日本農業機械學會誌, 40(2), pp. 195-200.
 10. 西里明彦 他 5名. 1996. 葉莖菜類の機械收穫, 第55回農業機械學會年次大會講演要旨, pp. 87-88.
 11. 大塚實治, 杉本光徳, 村上則幸. 1996. 露地野菜汎用收穫機の試作, 第55回農業機械學會年次大會講演要旨, pp. 91-92.
 12. 山本健司. 1997. キャベツ收穫機, 日本農業機械學會誌, 59(3)147-149.
 13. 小栗富士雄, 小栗達男. 1991. 標準 機械設計 圖表便覽, 大光書林, pp. 17-1~17-35.
 14. 新井登夫. 1991. 油壓回路設計便覽, 世和出版社, pp. 207-281.



학 위 취 득



성 명 : 류 동 수

생 년 월 일 : 1966년 9월 5일

취 득 학 위 명 : 공 학 박사

학 위 수 여 대 학 : 서울대학교

학 위 취 득 년 월 일 : 2001년 8월 29일

학 위 논 문 : VIS/NIR 투과 분광분석법을 이용한 감귤의 비파괴 내부품질
판정시스템 개발