

가변 제어형 식용 풋옥수수 수확기 설계 및 성능평가

Design and Performance Evaluation of a Variable Control Type Fresh Corn Harvester

우제근¹ · 최일수^{1*} · 김영근¹ · 최용¹ · 최덕규¹ · 이호섭² · 김지태^{3,4} · 박영준^{2,3,4} · 김재동⁵

Jeon Keun Woo, Il Su Choi, Young Keun Kim, Yong Choi, Duck Kyu Choi,

Ho Seop Lee, Ji Tae Kim, Young Jun Park, Dong jae Kim

Received: 20 Apr. 2023, Revised: 12 May. 2023, Accepted: 12 May. 2023

Key Words : Fresh Corn(풋옥수수), Agricultural Machinery(농기계), Harvester(수확기), Oil Pressure(유압), Performance Evaluation(성능평가)

Abstract: Fresh corn, one of the main food crops, must be harvested by hand. A harvest mechanization technology is required. In this study, a tractor-attached harvester was designed and manufactured to sequentially perform stem reaping, fresh corn detaching, and collecting. The(harvester was designed so that the main device could operate through a hydraulic pump and a generator could be operated through the tractor's PTO. Factor tests were conducted according to cultivars (Ilmichal, Super sweet corn) and working speed (0.12 m/s, 0.17, 0.22). After the factor test, detached corns ratio, collected corns ratio, and damaged corns ratio were analyzed and harvest performance was evaluated. Harvesting performance was good for super sweet corn. Considering operation efficiency, 0.22 m/s was judged to be an appropriate working speed. It was found that it took two hours to work an area of 10 a.

기호 설명

P_d : Detached corns ratio, %

E_t : Total number of corns, ea

E_{ud} : Undetached corns, ea

P_c : Collected corns ratio, %

E_{uc} : Uncollected corns, ea

P_{da} : Damaged corns ratio, %

E_{da} : Damaged corns, ea

T : Working capacity, h/10a

v : Working speed/ m/s

t : Turning times, s

b : Effective working width, m

c : Total required time for changing bulk bag, h/10a

1. 서론

옥수수는 벼 다음으로 생산량이 많은 작물로 벼, 밀과 더불어 세계 3대 식량작물 중 하나이며, 식용 및 사료용과 더불어 에너지원으로도 사용된다. 국내의 경우, 대부분 옥수수를 주식과 간식으로 소비하고 있으며, 찰옥수수, 단옥수수 및 초당옥수수 등의 품종이 주로 유통되고있다.

식용 풋옥수수는 타작물 대비 생육기간이 짧아 남부지역에서는 2기작이 가능하여 경지활용도를 제고할 수 있으며, 노지재배, 터널재배, 비가림재배 등 재배유형에 따라 출하시기를 조절할 수 있어 농가소득에 유리하다.¹⁾ 식용 풋옥수수의 재배면적은 2017년도에 14,801 ha이었으나, 2021년을 기준으로 15,005 ha

* Corresponding author: cis1981@korea.kr

1 Upland Mechanization Team, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Jeonju 54875, Korea

2 Research Institute of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

3 Department of Biosystems Engineering, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

4 Convergence Major in Global Smart Farm, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

5 Dooroo Machinery&Trading Co, Asan 31420, Korea

Copyright © 2023, KSFC

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

으로 점진적으로 증가추세에 있다. 재배작형은 주로 봄에 파종 또는 정식을 한 다음 여름에 수확하는 형태로 생산이 이루어지고 있다.²⁾

국내 농가인구는 2010년 3,063 천 명에서 2021년 2,215 천 명으로 지속적으로 감소하고 있으며 65세 이상의 고령 농업인의 비중은 46.8%으로 양질의 노동력 부족 현상이 심화되고 있어 국가적인 식량 안보문제가 초래할 수 있다.^{3,4,5)} 풋옥수수 수확작업은 재배 단계 중 가장 많은 노동력이 투입되는 작업으로 10 a 작업에 투입되는 총 노동투입시간 56.8시간 중 16.8시간으로 29.6%를 차지하고 있다. 또한 2021년 기준, 풋옥수수 총 생산비 852천원/10a 중 인건비는 144천원/10a으로 총 생산비의 16.9%를 차지하고 있으며, 2020년 인건비 98천원/10a 대비 31.8% 증가하였다.⁶⁾

풋옥수수의 주 수확시기는 고온다습한 여름철이기 때문에 노동강도가 높고, 전국적으로 일시에 출하되기 때문에 노동력 부족으로 인해 수확작업이 지연될 경우 상품성이 급격히 저하되는 문제점이 있다.⁷⁾ 풋옥수수는 수분함량이 높고, 호흡작용이 왕성할 뿐만 아니라, 당분의 전분화 현상이 빠르게 일어나기 때문에 수확적기로부터 약 2~3일만 경과해도 당도 및 식미감이 저하되기 때문에 상품성을 보존하기 위해서는 단시간내에 수확할 수 있는 기술 개발이 필요하다.⁸⁾

선행 연구에서는 Kang 등(2019)은 풋옥수수 줄기 하단을 예취하면서 파쇄함과 동시에 풋옥수수 이삭을 탈과 및 수집하는 트랙터 부착형 시험장치를 설계·제작하여 작업속도와 수확성능 관계 등을 구명하였다.⁹⁾ Kim 등(2021)은 풋옥수수 수확기 주요부 구동을 위한 기어박스의 최적 설계를 위하여 수확작업 시 발생하는 부하를 계측한 다음, 기어박스 요소들의 강도 및 수명평가를 위한 부하 스펙트럼을 구축하였다.¹⁰⁾ Xiaoyu 등(2022)은 옥수수 전용 콤팩인을 이용한 수확작업 시 발생하는 옥수수 낱알 손상을 최소화하기 위해 낱알 및 탈곡장치 모델링 및 탈곡장치 구동요인에 따른 손상률 분석 시뮬레이션을 수행하였다.¹¹⁾ 외국의 경우 줄기 예취부터 풋옥수수 이삭 수집까지 일관작업이 가능한 풋옥수수 수확기(TS10D, Osada, Japan)가 개발되었으나, 찰옥수수 대비 초장 및 착협고가 낮은 단옥수수 및 초당옥수수 전용으로 개발되어 찰옥수수를 주로 재배하는 농가가 많은 국내에 바로 도입하기에는 어려운 실정이다.

따라서 본 연구에서는 찰옥수수, 초당옥수수 등 착협고가 상이한 다양한 품종의 풋옥수수의 수확작업

기계화를 위하여 줄기 예취 및 이송장치의 높이 제어가 가능한 가변 제어형 풋옥수수 수확 시험장치를 설계·제작하였으며, 주산지를 중심으로 풋옥수수의 생육특성 조사와 시험포장 조성을 진행하였다. 또한, 시험장치의 수확 성능을 고찰하기 위해 요인시험 및 분석을 수행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 가변 제어형 풋옥수수 수확기 설계 및 제작

국외에서 보급 중인 옥수수 수확기의 수확 메커니즘은 줄기를 예취한 다음, 줄기는 파쇄하고 줄기로부터 분리된 옥수수 이삭에서 알곡을 분리하는 Full-feed 방식과 예취된 줄기로부터 옥수수 이삭을 탈과 및 수집하고 줄기를 후방으로 배출하는 Head-feed 방식으로 나누어진다. 본 연구에서는 가공되지 않은 풋옥수수 이삭이 주로 유통되는 국내 소비 여건을 고려하여, Head-feed 방식 수확 메커니즘을 가변 제어형 풋옥수수 수확기에 적용하였으며, 수확기의 제원은 Table 1에서 확인할 수 있다.

가변 제어형 풋옥수수 수확기는 트랙터 부착형 1조식으로 설계 및 제작하였다. Fig. 1은 수확기의 모습으로 트랙터의 3점링크와 결합하는 체결부, 줄기 예취부(Stem cutting part), 줄기 이송부(Stem conveying part), 이삭 탈과부(Corn detaching part), 이삭 이송부(Corn conveying part) 및 수집부(Corn collecting part)로 구성되어있다.

Fig. 2는 수확기의 동력전달 개념도를 나타낸 것으로 유니버설 조인트를 통해 트랙터의 PTO축으로부터 취출된 동력이 증속기어 박스에 전달 및 증속되어 유압펌프 및 제네레이터를 구동되도록 한다. 유압펌프에 전달된 동력은 줄기 예취부 및 이송부와 탈과부의 상하높이가 제어가 가능한 유압실린더와 예취부와 이송부의 유압모터를 구동시킨다. 제네레이터는 DC모터를 구동시켜 수집부의 풋옥수수 이삭 이송용 컨베이어벨트가 작동되도록 한다.

Table 1 Specification of variable control type fresh corn harvester

Item	Specification
Length × Width × Height (mm)	3,900 × 2,882 × 2,283
Power Source	Tractor PTO
Weight (kg)	1,683



Fig. 1 A photo of variable control type fresh corn harvester

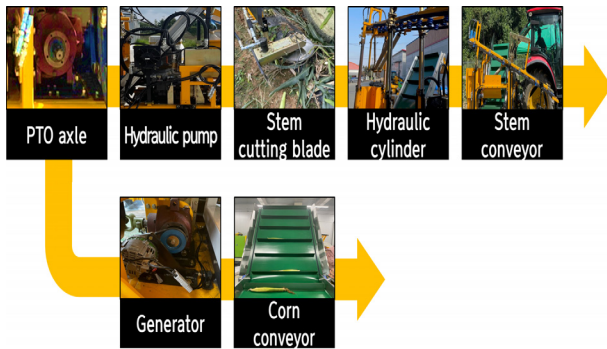


Fig. 2 Schematic diagram of power flow of variable control type fresh corn harvester

Head-feed 방식의 가변 제어형 풋옥수수 수확기는 줄기 예취 및 이송, 풋옥수수 이삭 탈과, 풋옥수수 이삭 수집을 동시에 수행하도록 설계·제작하였다. 기계 수확 메커니즘은 Fig. 3에서 확인할 수 있다. 하단의 원형 예취날로부터 절단된 풋옥수수 줄기가 1쌍의 컨베이어 벨트에 투입 및 이송하게 된다. 서로 반대방향으로 회전하는 탈과롤러에 의해 이송 중인 풋옥수수 줄기로부터 풋옥수수 이삭은 분리되어 이송용 컨베이어 벨트에 낙하하고 풋옥수수 줄기는 후방으로 배출된다. 이송용 컨베이어 벨트에 낙하된 풋옥수수 이삭은 수집부에 거치된 톤백에 담기게 된다.

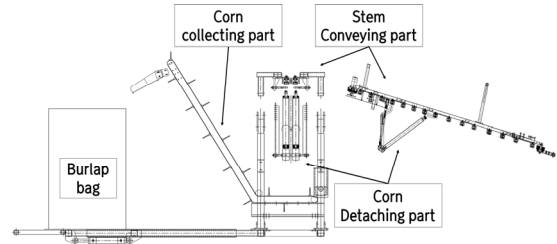


Fig. 3 Schematic diagram of variable control type fresh corn harvester with major components

탈과부의 회전롤러는 해외 업체의 제품(TS10D, Osada, Japan)을 참고하여 직경 60.5 mm, 길이 80 mm, 롤러 사이 간격 25 mm로 설계하였다. 수확작업 시, 알곡터짐이나 표면찍힘과 같은 손상현상 발생을 최소화하기 위해 롤러 표면에 실리콘 소재를 적용하였다. 인력으로 풋옥수수 수확작업을 수행할 때, 풋옥수수 이삭을 줄기의 아랫방향으로 꺾어 분리하는 방식을 고려하여 투입방향을 기준으로 오른쪽 롤러는 반시계방향, 왼쪽 롤러는 시계방향으로 회전하게 하였다(Fig. 4). 또한, Fig. 5와 같이, 품종에 따라 풋옥수수 이삭이 형성되는 높이인 착협고가 상이한 점을 고려하여 최대 700 mm 범위에서 이송부 및 탈과부의 상하 높이 가변제어가 가능하도록 유압실린더를 적용하였다.

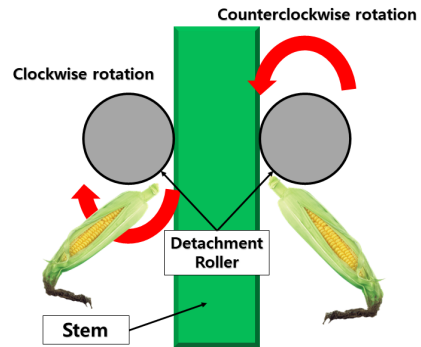


Fig. 4 Mechanism of fresh corn detachment for variable control type fresh corn harvester

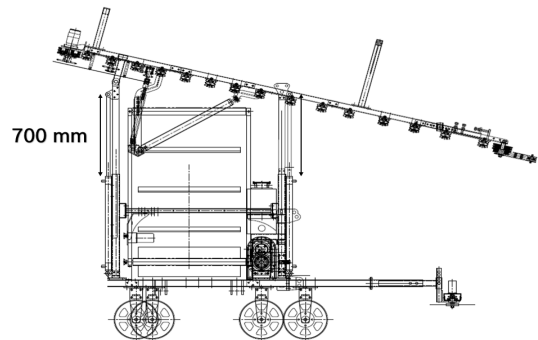


Fig. 5 Schematic diagram of variable control type fresh corn harvester with hydraulic cylinder

2.2 공시 포장 및 작물 조건

수확기의 성능시험은 품종에 따른 기계 수확 성능을 평가하기 위해 찰옥수수(일미찰), 초당옥수수를 대상으로 시험을 수행하였다. 일미찰 옥수수(Ilmichal)의 경우 경상남도 밀양시에 위치한 국립식량과학원 남부작물부 소재 시험포장에서 수행하였으며, 초당옥수수(Super sweet corn)는 옥수수 주산지인 강원도의 인제군 서화면 농가 소재 포장에서 시험을 수행하였다. 재배양식은 Fig. 6과 같이 두둑높이, 두둑너비, 골폭, 조간·주간을 조사하였다. 풋옥수수의 생육특성은 Fig. 7과 같이 전체길이인 초장, 지면으로부터 풋옥수수 이삭까지의 길이인 착협고, 풋옥수수 이삭의 길이, 함수율, 풋옥수수 줄기 폭(지면에서 가장 가까운 하단 부분, 풋옥수수 이삭이 위치한 중간 부분, 줄기의 가장 상단 부분)을 조사하였다. 풋옥수수 이삭의 함수율은 공기오븐(PH-201, ESPEC CORP., Japan)을 이용하여 103℃에서 24시간 건조한다음 측정하였다.¹²⁾

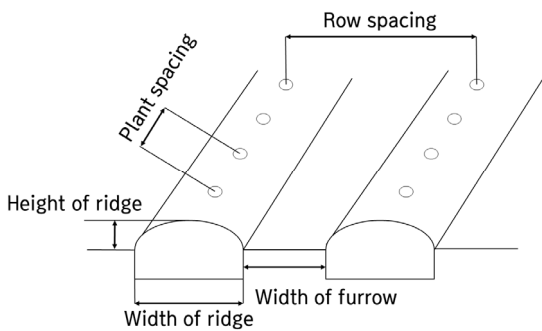


Fig. 6 Measuring point of cultivation conditions at test field

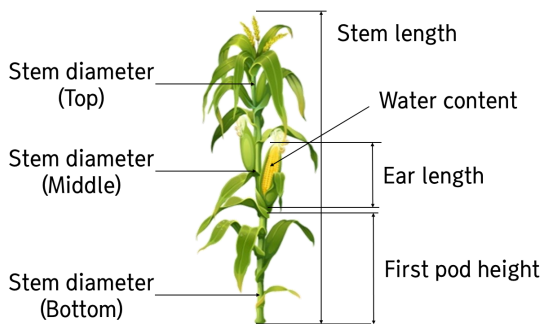


Fig. 7 Measuring physical properties of fresh corn

2.3 가변 제어형 풋옥수수 수확기 요인시험

품종에 따른 수확기의 성능평가를 위해 탈과율, 손상률, 수집률 등 주요 수확성능과 적정 작업조건 도출을 위해 품종 및 작업속도, 탈과부의 회전롤러와

Table 2 Specification of agricultural tractor used in performance test of variable control type fresh corn harvester.

Item	Specification
Length × Width × Height (mm)	4,020 × 2,270 × 2,790
Weight (kg)	4,000
Rated power of engine (kW@rpm)	67@2,200rpm
Travelling speed (km/hr)	0.14 ~ 29.42

이송부의 컨베이어벨트 사이의 탈과각도를 요인으로 설정하였다. 시험에 투입된 트랙터의 제원은 Table 2와 같다.

요인시험 수행 시, 작업속도는 예취 수확기의 적정 작업속도인 0.17 m/s을 기준¹³⁾으로 총 3수준(0.12 m/s, 0.17 m/s, 0.22 m/s)으로 설정하였으며, 풋옥수수 줄기의 예취높이는 수확시기 착협고 높이를 고려하여 150 mm로 설정하였다. 탈과부 회전롤러의 회전속도는 사료용 옥수수 수확기의 탈과통 회전속도를 고려하여 180 rpm으로 설정하고, 예취된 줄기의 이송속도는 탈과부에서 적체현상이 일어나지 않도록 작업속도를 고려하여 0.25 m/s로 설정하였다.

각 요인별 수확 성능평가를 위해 탈과율, 수집률, 손상률을 아래 식 (1)-(3)과 같이 계산하였으며, 요인당 10 m 시험구간 조성 후 시험을 3반복 수행하고 결과를 분석하였다.¹⁴⁾ 손상률의 경우, 손상형태(찍힘, 멍)에 따라 분류하였다. 수확 성능평가 후 최적 작업속도를 도출한 다음 수확기의 작업능률 산출을 위해 50×20 m 포장조건에서 50 m 장방향을 작업방향으로 하는 Fig. 8과 같은 연결법과 아래 식 (4)를 이용하였다. 수확기의 성능평가 및 작업능률 산출을 위한 식은 농업과학기술 연구조사분석기준을 참고하여 도출하였다.

$$P_d = \frac{E_t - E_{ud}}{E_t} \times 100 \quad (1)$$

$$P_c = \frac{E_t - E_{uc}}{E_t} \times 100 \quad (2)$$

$$P_{da} = \frac{E_{da}}{E_t} \times 100 \quad (3)$$

$$T = \left(\frac{50}{v} + t \right) \times \frac{20}{3600b} + c \quad (4)$$

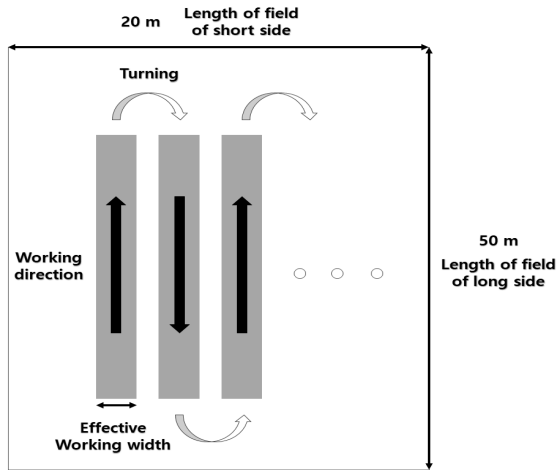


Fig. 8 Working and turning path of a variable control type fresh corn harvester

3. 결과 및 고찰

3.1 공시포장 및 작물 조건 분석

수확기 성능평가를 위한 찰옥수수(일미찰), 초당옥수수를 재배하는 각 공시포장의 재배양식 조사결과는 Table 3에서 확인할 수 있다. 일미찰 포장의 경우, 두둑폭 94.45±1.92 cm로 1두둑 2줄로 재배되어, 1두둑 1줄 재배인 초당옥수수 포장보다 두둑폭이 34.72 cm 크게 조사되었다. 두둑폭 이외에 두둑높이, 골폭, 조간 및 주간거리는 재배지역이 상이함에 따라 다른 치수로 조사되었지만, 두둑의 측면에 위치하여 1줄만 수확하는 수확기 특성을 고려하여 기계 수확작업에 영향을 미치지 않을 것으로 판단되었다.

공시포장의 일미찰 옥수수 및 초당옥수수의 생육 특성 조사결과는 Table 4와 같다. 일미찰 옥수수의 초장은 200.36±13.15 cm, 착엽고 67.93±9.41 cm으로 초당옥수수의 초장 169.30±15.52 cm, 착엽고 37.45±6.08 cm 대비, 약 30 cm 더 크게 조사되었다. 함수율의 경우, 일미찰 옥수수 62.36%, 초당옥수수 80.40%로 조사되어 초당옥수수가 요인시험 당시, 손상률에 더 취약했던 것으로 판단되었다.

Table 3 Cultivation condition at test field

Cultivar	Width of ridge (cm)	Height of ridge (cm)	Width of furrow (cm)	Row spacing (cm)	Plant spacing (cm)
Ilmichal	94.45 ±1.92	21.00 ±1.41	47.25 ±3.89	47.67 ±6.23	25.89 ±0.91
Super sweet corn	59.73 ±1.85	9.88 ±0.69	20.58 ±1.03	79.17 ±1.47	20.52 ±2.07

Table 4 Investigation of fresh corn's physical properties

Cultivar	First pod height (cm)	Ear length (cm)	Stem length (cm)	Stem diameter(cm)			Water content (%wb)
				Top	Middle	Bottom	
Ilmichal	67.93 ±9.41	35.07 ±3.14	200.36 ±13.15	6.96 ±0.60	17.77 ±1.39	26.80 ±1.73	62.36
Super sweet corn	37.45 ±6.08	31.95 ±4.09	169.30 ±15.52	7.62 ±0.82	19.47 ±1.17	20.38 ±1.54	80.40

3.2 가변 제어형 풋옥수수 수확기 요인시험

3.2.1 품종에 따른 수확 성능 분석

Table 5는 작업속도 0.17 m/s 조건에서 풋옥수수의 품종에 따른 탈과율(Detached corns ratio), 수집률(Collected corns ratio), 손상률(Damaged corns ratio)을 나타낸 것이다. 시험결과 찰옥수수인 일미찰의 경우, 탈과율 97.93%, 수집률 90.02%, 손상률은 찌힘형태로 2.07%로 조사되었다. 초당옥수수는 탈과율 99.49%, 수집률 94.95%, 찌힘 손상 0.36%로 측정되어 일미찰 대비 수확성능이 양호하게 나타났으며, 특히 수집률은 4.93%로 가장 큰 차이를 보였다. 이는 찰옥수수가 초당옥수수보다 초장이 길어 더 높은 위치에서 탈과되기 때문에 노지로 유실될 확률이 증가되어 나타난 것으로 판단된다.

품종에 따른 유의성 검정을 위해 신뢰수준 95%에서 독립표본 t검정을 수행하였다. 품종과 탈과율 및 손상률은 유의성을 나타내지 않았지만, 수집률에서 유의성이 나타났다.

Table 5 Results of performance evaluation of variable control type fresh corn harvester according to cultivar

Cultivar	Detach ment ratio (%)	Collected corns ratio (%)	Damage ratio (%)		
			Normal	Scratches	Bruise
Ilmichal	97.93	90.02	97.93	2.07	0.0
Super sweet corn	98.37	95.34	98.18	1.82	0.0
p	0.570	0.002	0.273		

* p<0.05

3.2.2 작업 속도에 따른 성능시험

Table 6은 일미찰 찧옥수수 대비 수확성능이 양호하게 나타난 초당옥수수를 대상으로 작업속도에 따른 탈과율(Detachment ratio), 수집률(Collected corns ratio), 손상률(Damage ratio)을 나타낸 것이다. 시험결과 수확성능은 작업속도가 0.12 m/s일 때 탈과율이 99.07%, 수집률 95.36% 및 손상률 0.0%로 가장 양호하였으며, 최고 작업속도인 0.22 m/s는 탈과율 98.35%, 수집률 95.97% 및 손상률 1.65%로 나타났다. 본 시험에서 수행한 작업속도에서 나타난 손상률은 농업기계 검정기준 동력수확기의 수확물 손실률 5% 이하를 충족하는 것으로 나타났다.¹⁵⁾ 따라서 인력대비 단위 재배면적의 생산성이 중요한 농업기계의 특성을 고려하여 작업속도는 0.22 m/s가 적합할 것으로 판단된다.

Duncan 다중검정 신뢰수준 95%에서 유의성 검정결과 작업속도와 탈과율, 수집률 및 손상률은 유의성을 나타내지 않았다.

Table 6 Results of performance evaluation of variable control type fresh corn harvester according to working speed

Working speed (m/s)	Detachment ratio (%)	Collected corns ratio (%)	Damage ratio (%)		
			Normal	Scratches	Bruise
0.12	99.07	95.36	100.0	0.0	0.0
0.17	98.37	95.34	98.18	1.82	0.0
0.22	98.35	95.97	98.35	0.0	1.65
Pr>F	0.723	0.858	0.116		

* Duncan's multi range test, Mean in a row with different letters are significantly different(p<0.05).

3.2.3 작업능률

수확기의 10 a당 초당옥수수 수확작업 소요시간을 도출하기 위해 수확기 회행시간, 톤백 교체 소요시간 및 10 a 수확작업 시 필요한 톤백 교체 횟수를 조사한 결과는 Table 7과 같다. 수확기의 회행시간은 27.66초, 톤백 교체 소요시간은 37초로 조사되었으며, 10 a 수확작업에 필요한 톤백 교체 횟수는 3회로 조사되었다. 초당옥수수 수확작업 시 수확기의 최적 작업속도인 0.22 m/s에서 작업능률은 2.0 h/10a로 나타나, 인력 수확작업 소요시간인 16.8 h/10a에 비해 8.4배의 노동력 절감 효과가 있는 것으로 분석되었다.

Table 7 Working capacity of a fresh corn harvester

Working speed (m/s)	Turning time (s)	Replacement time of bulk bag (s)	Number of bulk bag replacements (times)	Working capacity (h/10a)
0.22	27.66	36.75	3	2.00

4. 결론

본 연구에서는 가변 제어형 식용 풋옥수수 수확기를 설계 및 제작하여 풋옥수수 재배 품종, 작업속도에 따른 요인시험을 수행하였다. 풋옥수수 수확기는 줄기 하단을 예취하여 헵지벨트를 통해 이송시키며, 회전하는 한 쌍의 원형롤러로 줄기로부터 풋옥수수 이삭을 분리한 다음 톤백에 수집하는 메커니즘으로 설계하였다. 수확기는 트랙터 PTO로부터 동력을 전달받아 작동하며 줄기 예취부, 줄기 이송부, 풋옥수수 이삭 탈과부, 풋옥수수 이삭 이송부 및 수집부로 구성되어있다. 요인시험 시 재배품종은 국내에서 주로 재배하는 일미찰옥수수와 초당옥수수로 선정하였으며, 작업속도는 0.12 m/s, 0.17, 0.22를 요인으로 설정하였다. 요인시험은 10 m 구간을 3반복하여 탈과율, 수집률, 손상률을 분석하였다. 작업능률은 수확기 요인시험 및 수확성능 평가 후 도출된 적정 작업속도를 적용하여 계산하였다. 요인시험 결과 일미찰옥수수 대비 초당옥수수 수확 시 수확성능이 양호한 것으로 분석되었다. 재배품종에 따른 t검정 결과 수확기 수집성능은 품종과 유의성이 있는 것으로 나타났다. 초당옥수수 품종 대상으로 작업속도 0.12 m/s에서 가장 양호한 수확성능이 나타났으나, 단위 재배면적당 생산성을 고려하여 0.22 m/s가 적정 작업속도로 판단되었다. Duncan 분석결과 요인으로 설정한 작업속도와 수확성능은 유의성이 없는 것으로 분석되었다. 수확기의 작업능률의 경우, 0.22 m/s 작업속도에서 2시간에 10 a 면적을 작업할 수 있는 것으로 나타났다. 향후 품종에 따른 수확성능 편차를 저감하기 위해 수확기 보완설계 및 추가 요인시험이 필요한 것으로 판단되었다.

후 기

본 연구는 농림식품기술기획평가원 첨단농기계 산업화기술개발사업(과제번호 : 321063-2)의 지원으로 수행되었음.

이해관계(CONFLICT OF INTEREST)

저자는 이 논문과 관련하여 이해관계 충돌의 여지가 없음을 명시합니다.

References

- 1) S. K. Kim et al., "Effect of Nursery Stage and Plug Cell Size on Growth and Yield of Waxy Corn", Korean Journal of Crop Science, Vol.55, No.1, pp.24-30, 2010.
- 2) The Bare Ground Food Crop Cultivation Area, Statistics Korea, 2022.
- 3) Agricultural Population by Age and Gender, Statistics Korea, 2022.
- 4) D. K. Noh, et. al., "Analysis of Surplus Flow in a Hydraulic System Applied to a Self-propelled Spinach Harvester", Journal of Drive and Control, Vol.19, No.1 pp26-33, 2022.
- 5) J. H. Won, et. al., "Study on Traveling Characteristics of Straight Automatic Steering Devices for Drivable Agricultural Machinery", Journal of Drive and Control, Vol.19, No.4 pp19-28, 2022.
- 6) Agricultural products Income Base Book, Statistics Rural Development Administration, 2021.
- 7) G. H. Jung et al., "Effects of Seeding Dates on Harvesting Time of Double Cropped Waxy Corn", Korean Journal of Crop Science, Vol.57, No.2, pp.195-201, 2012.
- 8) S. K. Kim et al., "Effect of Nursery stage and Plug Cell Size on Seedling Growth of Waxy Corn", Korean Journal of Crop Science, Vol.54, No.4, pp.407-415, 2009.
- 9) N. R. Kang et al., "Performance Evaluation and Design of an Edible Fresh Corn Harvesting Machine", Journal of Drive and Control, Vol.16, No.4, pp.74-79, 2019.
- 10) J. T. Kim et al., "Determination of Design Loads of Maize Harvester Using Actual Working Load", Journal of Agriculture & Life Science, Vol.56, No.1, pp.77-85, 2022.
- 11) Xiaoyu Li et al., "Research on the constitutive model of low-damage corn threshing based on DEM", Journal of Computers and Electronics in Agriculture, Vol.194, Article 106722, 2022.
- 12) ASAE Standards, Moisture content measurement, In ASAE Standard S358.2, 2003.
- 13) J. H. Jun et al., "Development of a Harvester for Crawled Spinach", Journal of Biosystem Engineering, Vol.30, No.4, pp.210-219, 2005.
- 14) Rural Development Administration, Research analysis criteria about agricultural science and technology, 2012.
- 15) Agricultural machinery qualification standards, 2022.