

ENGINEERING

Harvesting performance of an experimental pick-up type pulse crop harvester for green kernel black bean

Yeong Soo Choi¹, Byung Hee Han², Soo Nam Yoo^{1*}

¹Department of Rural and Biosystems Engineering, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea

²Ofe Corporation Ltd, Kyoungnam 52007, Korea

*Corresponding author: snyoo@chonnam.ac.kr

Abstract

An experimental pick-up type pulse crop harvester was built and its harvesting performance for green kernel black bean was evaluated. Field bean loss and harvested bean quality of the harvester were analyzed according to engine speeds of 2,000; 2,400; 2,800; 3,000; and 3,200 rpm, and travel speeds of 0.6; 1.0; and 1.4 m/s. Operating conditions and field capacity of the harvester for proper harvesting were estimated. The harvester had an optimum performance at a grain moisture content of 13.4%, an engine speed of 3,000 rpm, and a travel speed of 1.2 - 1.3 m/s. Subsequently, the picking-up, discharging, and total bean loss ratios were found to be 1.6, 1.3, and 2.9%, respectively. The whole bean, damaged bean, unthreshed bean, and foreign material ratios were determined to be 96.2, 1.0, 0.1, and 0.3%, respectively. Results showed that the harvester had lower bean loss and higher harvested bean quality than those of imported bean combines. The harvester could harvest 2 rows with a crop spacing of an approximately 1.4 m. Its optimum travel speed was estimated to be approximately 1.2 m/s when harvesting performance was taken into account using such variables as field bean loss and harvested bean quality for green kernel black bean. Effective field capacity of the harvester was estimated at approximately 40 a/h.

Keywords: green kernel black bean, harvesting performance, pick-up type pulse crop harvester

Introduction

서리태 콩은 부식과 건강식품으로 많이 이용되고 있다. 국내의 현행 서리태 콩의 관행 수확 작업은 인력으로 예취작업을 한 후 약 3 - 4일 정도 포장에서 건조시킨 다음 인력 중심의 탈곡기, 선별·정선기로 탈곡, 선별·정선작업을 수행하고 있는데 노동력이 많이 소요되고, 노동부하가 높으며, 작업능률과 작업 정도도 매우 낮아서 두류 작물 전용의 고 능률, 저 손실의 수집형 자주식 콤바인 개발이 매우 시급한 실정이다. 잡곡, 두류 등을 수확할 수 있는 범용 보통형 콤바인은 전량 수입 중이며, 현재 국산화 개발을 수행 중에 있지만 범용 보통형 콤바인은 예취 손실률과 곡물 손상률이 크고, 수확 곡물의 품질도 크게 떨어지는 것으로 알려져 있다.



OPEN ACCESS

Citation: Choi YS, Han BH, Yoo SN. 2017. Harvesting performance of an experimental pick-up type pulse crop harvester for green kernel black bean. Korean Journal of Agricultural Science 44:114-122.

DOI: <https://doi.org/10.7744/kjoas.20170013>

Editor: Chung Sun-Ok, Chungnam National University, Korea

Received: November 17, 2016

Revised: February 20, 2017

Accepted: March 8, 2017

Copyright: © 2017 Korean Journal of Agricultural Science.



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

국내에서는 장류 콩을 대상으로 콩 콤바인의 수확적기, 수확손실, 수확물 조성, 작업능률, 경제성 분석 등의 연구가 일부 수행되었으나(Yoo et al., 1990; Hong et al., 2003), 서리태 콩의 기계수확을 위한 기초연구와 수확기의 시험연구가 거의 전무한 실정이다. 또한 국외의 경우도 장류 콩을 중심으로 한 콩 콤바인의 개량 개발 및 수확성능에 대한 연구는 많이 수행되었으나(Mowitz, 2001; Costa et al., 2002; Beasley, 2002; Shay et al., 2002; Grisso, 2004; Herbek and Bitzer, 2004; Mesquita et al., 2006) 서리태 콩을 대상으로 한 기계수확 관련 연구는 찾아보기 힘든 실정이다.

따라서 본 연구는 예취·건조된 두류 작물을 수집하면서 탈곡할 수 있는 저 손실, 고 품질 수확이 가능한 수집형 자주식 두류 콤바인의 개발을 위하여 시험용 시작기를 설계·제작하고 서리태 콩을 대상으로 수확작업을 실시하여 작업 성능을 분석하였다.

Materials and Methods

시험용 수집형 두류 수확기

시험용 수집형 두류 수확기의 주요부는 최대 출력 약 52 kW 엔진, 크롤러형 주행부, 유압식 무단변속장치(HST) 등을 갖춘 차대, 시험기 주요부에 동력전달을 위한 체인 및 V벨트 전동방식의 동력전달부, HST 구동, 기체의 수평제어, 곡물탱크의 배출구 높이 조절 등을 위한 콤바인의 유압장치부, 운전조작부, 작물수집부, 작물반송부, 2단 복동형 강선 급치식의 탈곡부, 송풍 + 요동방식의 선별·정선부, 수평 오거와 버킷 엘리베이터의 재처리부, 경사판과 버킷 엘리베이터의 곡립이송부, 유압리프트 기능을 갖춘 낙하식 곡물탱크와 접이식 곡물배출부 등으로 구성되어있다.

시험용 수집형 두류 수확기는 중복 개발과 연구개발비 저감을 위해 크롤러형 주행부, 최대 출력 약 52 kW의 수냉식 디젤엔진, HST 방식 동력전달장치 등을 갖춘 현재 생산 판매 중인 국제종합기계 4조식 자탈형 콤바인 DKC-685C 차대를 활용하여 수확기 주요부 동력전달을 위한 동력전달부, 차체 수평제어장치, 작물수집부와 곡립탱크의 높이 제어를 위한 유압장치를 설계하였으며, 자탈형 콤바인 운전조작부를 수집형 두류 콤바인 조작에 적합하도록 개조하였다. 작물수집부는 평지와 두둑재배, 노지와 멀칭재배 조건에서 작물 수집이 가능하며, 수확작물 수집 시 수집 손실률을 줄이기 위하여 수집 돌기의 작물 타격력을 최소화 하도록 7조의 수집돌기 부착 체인과 수집 높이 조절바퀴를 갖도록 설계·제작하였다. 작물반송부는 작물반송 시 손상을 줄일 수 있도록 오거와 돌기판 부착 체인 반송장치를 이용하였다. 탈곡부는 선진국에서 두류 작물 탈곡에 효율적임이 검증된 2단 복동형 직류방식의 급동을 적용하고, 국내 두류 작물의 탈곡에 적합하며 효율적인 고 탈곡률, 저 손실률의 강선 급치 및 절단 날, 수망 등으로 구성·설계하였으며, 진동 흡수력이 우수하고 내구성이 검증된 목재 프레임을 적용하였다. 선별·정선부는 탈곡된 두류 작물 특성에 적합한 요동형 깊처리체, 곡물판 및 선별체, 곡립체, 송풍기를 채용하였으며, 각종 체의 진동 흡수력이 우수하고 내구성이 검증된 목재 프레임을 적용하였다. 재처리부는 재탈곡물의 막힘과 곡물의 손상을 최소화할 수 있는 수평이송 오거, 수직이송 버킷 엘리베이터 방식으로 설계·제작하였으며, 곡립이송부는 곡물의 손상을 최소화할 수 있는 경사판식 수평이송장치, 버킷 엘리베이터 방식의 수직이송 장치를 갖추도록 설계·제작하였다. 곡립탱크 및 곡물배출부는 곡립 손상을 최소화할 수 있는 흡통형의 접이식 곡립 배출장치를 설계하였으며, 곡립 배출구의 배출높이 조절을 위하여 유압리프트를 적용하였다(Yoo et al., 2015).

Fig. 1은 시험용 두류 수확기 주요부의 구조와 엔진으로부터의 동력흐름을 나타낸 것이며, Fig. 2는 설계·제작된 시험기의 외관을, 그리고 Table 1은 시험기의 주요 규격을 나타낸 것이다.

포장 성능시험

운전조건에 따른 시험용 수집형 두류 수확기의 작물수집부, 탈곡부, 선별·정선부 등 주요부 작업 성능과 적정 운전조건을 파악하기 위하여 서리태 콩(청자)을 대상으로 엔진 회전속도, 작업속도를 요인으로 하여 포장 성능시

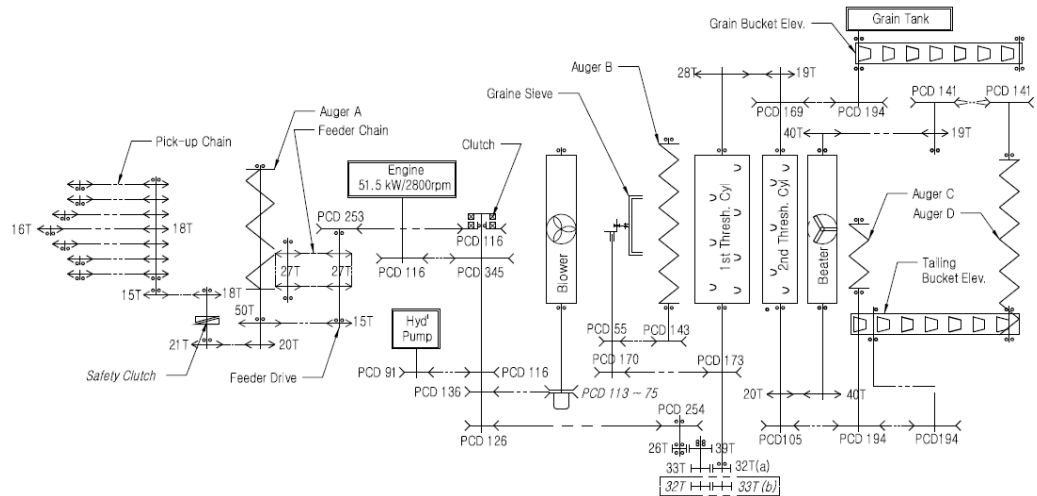


Fig. 1. Schematic of the experimental pick-up type pulse crop harvester and its power flow.

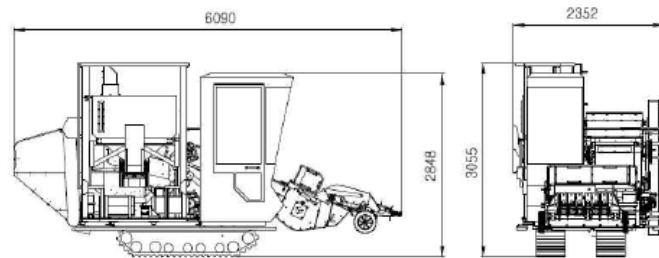


Fig. 2. Views of the experimental pick-up type pulse crop harvester (Unit: mm).

Table 1. Specifications of the experimental pick-up type pulse crop harvester.

Item	Specifications
Engine type & power	Diesel, 52 kW/2,800 rpm
Type of travel device	Crawler, HST transmission
Travel speed	Field: forward 0 - 1.5 m/s, reverse 0 - 1.5 m/s Road: forward 0 - 2.5 m/s, reverse 0 - 2.5 m/s
Gathering device	Pick-up type, Pick-up width of 100 cm
Type of feeder	Auger & chain conveyors
Threshing device	2 threshing drums, dia. of 420, 320 mm
Separating, & cleaning device	Air blow fan, vibrating straw walker, chaffer sieve, grain pan & grain sieve
Tailings & grain discharge devices	Horizontal: auger Vertical: bucket elevator
Grain tank & discharging devices	Capacity: 600 L, Hydraulic discharge height control

Table 2. Testing characteristics of green kernel black bean.

Test area	Attaching height of first pod (cm)	Number of pods in a crop (ea.)	Weight of 1,000 grains (g)	Length of grain (mm)		Moisture content of grain (%)
				short	Long	
Muan	17.04	45.40	418.08	0.89	1.09	10.78
	(5.68) ^z	(5.59)	(9.70)	(0.07)	(0.13)	(0.63)
Gochang	19.9	62.4	386.68	0.86	1.03	13.37
	(5.06)	(16.91)	(9.65)	(0.05)	(0.090)	(0.91)

^zValue in parenthesis means standard deviation.

험을 2014. 11. 19일 무안과 20일 고창의 시험포장에서 수행하였다.

Table 2는 공시재료인 서리태 콩의 지면으로부터의 첫 꼬투리 부착위치, 작물 당 꼬투리 수, 곡립의 천립중, 곡립 함수율 등을 나타낸 것으로 곡립 함수율은 곡물 수분측정기(GMK-303F, G-Won Hightech Co., Korea)를 이용하여 측정하였다. 무안 시험포장의 콩은 예년에 비해 작황 부진으로 인하여 미숙립의 비율이 높게 나타났으며, 또한 예취 후 건조 기간 중 강우 다발로 수확시험 시기가 지연되어 곡립 함수율이 약 10.8%로 매우 낮고, 꼬투리가 떨어진 비율이 높은 상태에서 시험을 수행하였다. 고창 시험포장의 콩은 작황은 부진하였지만 곡립 함수율이 약 13.4%로 비교적 적절한 상태의 콩을 시험하였다.

Table 3은 시험기의 포장시험 내용을 나타낸 것으로 시험기는 작물수집부, 작물반송부, 탈곡부, 선별·정선부 등 주요부의 운전속도가 엔진 회전속도에 비례하여 작동되도록 설계·제작되어서 표에서와 같이 엔진 회전속도와 작업속도를 시험요인으로 하여 각각 3 수준 시험을 수행하였다. 처리 당 시험 작업구간은 20 m였으며, 3 반복 시험하였다. 고창 시험포장에서의 시험은 무안 시험포장 결과 서리태 콩이 과 건조되어 완전립 비율이 너무 낮고, 미숙립 등 불완전 곡립 비율이 너무 높게 나타나 작업 성능이 매우 불량하게 나타났기 때문에 상대적으로 작황이 덜 부진하고 곡립 함수율이 상대적으로 적절한 것으로 판단되는 고창 포장에서 서리태 콩을 대상으로 보완시험을 실시하였다. 무안에서의 시험결과 2,800 rpm의 엔진 회전속도에서 작업 성능이 상대적으로 좋게 나타나 이를 바탕으로 상용 엔진 회전속도라고 생각되는 2,800, 3,000, 3,200 rpm의 회전속도로 변경하여 시험을 실시하였다.

분석항목은 시험기의 포장 곡물손실로서 수확 곡물 전체 중량(수집부의 수집손실 곡립 중량 + 짚 처리제, 선별·정선체 출구의 배진손실 곡립 중량 + 곡립탱크의 수확 곡립 중량)에 대한 수집부의 수집손실 곡립 중량의 비율을 나타내는 수집 손실비율, 수확 곡물 전체 중량에 대한 짚 처리제, 선별·정선체 출구의 배진손실 곡립 중량의 비율을 나타내는 배진 손실비율, 이들 합인 총 곡립 손실비율을 구하였다. 여기서 수집손실 곡립 중량과 배진손실 곡립 중량은 시험 작업구간 20 m 중 각각 2, 5 m 구간에서 샘플을 수집·조사하여 20 m의 손실 곡립 중량으로 환산하였으며, 곡립탱크의 수확 곡물 중량은 20 m 시험 작업구간 곡립탱크 수확물 전체 중량을 조사하고, 이 중 약 1 kg을 샘플을 채취하여 이물질(완전립, 손상립, 미탈곡립 등) 곡립 비율을 구하여 곡립탱크 수확물 전체 중량을 고려 곡립탱크의 수확 곡물 중량을 구하였다. 시험기의 수확 곡물 품질로서는 곡립탱크 수확물 중 약 1 kg의 샘플을 채취하여 전체 샘플 중량에 대한 완전립, 손상립, 미탈곡립, 검불 등 이물질 중량의 비율로 각각 완전립 비율, 손상

Table 3. Details of experimental design.

Factor		Analysis item	Test method
Engine _w speed(rpm)	Travel ^x speed (m/s)		
2,000 ^y	0.6	- Field bean loss <ul style="list-style-type: none"> • Picking-up loss ratio • Discharging loss ratio - Bean quality in grain tank <ul style="list-style-type: none"> • Whole bean ratio • Damaged bean ratio • Unthreshed bean ratio • Foreign material ratio - Field capacity of the harvester	- Testing distance: 20 m/treatment (tr.) <ul style="list-style-type: none"> - Sampling distance for field bean loss <ul style="list-style-type: none"> • Picking-up loss: 2 m/tr. • Discharging loss: 5 m/tr. - Sampling in grain tank: about 1 kg/tr. - Field test replication: 3 times
2,400	1.0		
2,800	1.4		
2,800 ^z	0.6		
3,000	1.0		
3,200	1.4		

^wSpeeds of threshing tooth ends on first and second threshing drums, oscillating frequency of separating device and cleaning shoe such as straw walker, grain pan, chaffer sieve, and grain sieve, and speed of air blower are proportional to engine speed for the harvester. Those are 9.2, 11.0 m/s, 5.7 Hz, and 1,380 rpm at the engine speed of 2,800 rpm, respectively.

^xAs travel speeds of the harvester were set by speed control lever as 0.6, 1.0, and 1.4 m/s under no load condition, actual speeds in field tests reduced by 0.1 - 0.3 m/s due to difference of ground conditions and harvesting loads.

^yTest in Muan field.

^zTest in Gochang field.

립 비율, 미탈곡립 비율, 이물질 비율을 구하였다(FACT, 2016). 시험기의 작업능률은 수확 작물의 재배 폭과 스톱 위치로 측정된 작업속도를 곱하여 이론작업능률(theoretical field capacity)을 구하고 여기에 콩 콤바인의 대표적인 포장효율(field efficiency)을 다시 곱하여 유효작업능률(effective field capacity)을 구하였다(Jung and Kim, 1997). 또한 시험기의 포장 곡물손실, 수확 곡물의 품질, 작업능률을 전반적으로 고려하여 시험기의 적정 운전조건을 추정·분석하였으며, 그 외 시험기 주요부의 이상 작동 여부를 파악하였다. 포장 곡물손실과 수확 곡물 품질의 각 분석항목 자료는 분산분석(ANOVA)을 시행하였으며, 5% 유의수준에서 Duncan의 다중비교를 하였다.

Results and Discussion

곡물손실

Table 4는 무안 포장에서의 시험 요인별 수집 및 배진 손실비율을 나타낸 것이다. 시험결과 평균 곡립 손실비율은 수집 손실비율 2.60 - 5.00%, 배진 손실비율 0.35 - 1.50%, 총 손실비율 3.60 - 5.35%의 범위로 나타났다. 수집 손실비율은 엔진 회전속도와 작업속도가 증가함에 따라 커지는 것으로 나타났으나, 배진 손실비율, 총 손실비율은 엔진 회전속도, 작업속도에 따라 차이가 없었다. 전반적으로 총 손실비율이 크게 나타난 것으로 보이며, 이 중 수집 손실비율이 높았는데 이는 서리태 콩 시료의 특성과 함께 예취 후 건조 기간 중 강우 다발로 수확시험 시기가 지연되어 곡립 함수율이 약 10.8%로 낮고, 꼬투리가 떨어진 비율이 높은 상태에서 시험을 수행하였기 때문으로 판단된다.

곡립 함수율이 약 13.4%로 상대적으로 높은 고창 포장에서의 시험결과는 Table 5와 같다. 평균 곡립 손실비율은 수집 손실비율 0.95 - 3.50%, 배진 손실비율 0.40 - 1.60%, 총 손실비율 1.95 - 4.50%의 범위로 나타나 곡립 손실비율이 무안 시험결과에 비하여 크게 낮아진 것으로 나타났다. 수집 손실비율은 엔진 회전속도가 증가함에 따라 높아지는 것으로 나타났으며, 배진 손실비율은 엔진 회전속도, 작업속도에 따라 차이가 없었으나 총 손실비율은 엔진 회전속도와 작업속도가 증가됨에 따라 높게 나타났다.

무안시험과 고창시험 결과를 비교해 보면 곡립 손실비율을 줄이기 위해서는 적정 곡립 함수율에서 수확하는 것이 매우 중요함을 알 수 있었으며, 2곳에서의 시험결과 모두 국외 보통형 두류 콤바인의 허용 성능수준인 포장손실률 약 6% 이하를 만족하는 것으로 나타났다(Mesquita et al., 2006).

Table 4. Field bean loss in Muan field.

Engine speed (ES), (rpm)	Travel speed (TS), (m/s)	Picking-up loss ratio (%)	Discharging loss ratio (%)	Total loss ratio (%)	ANOVA Pr > F
2,000	0.6	2.60d (± 0.42) ^z	1.10ab (± 0.00)	3.70ab (± 0.42)	- Picking-up grain loss ratio ES 0.005 TS 0.027 ES*TS 0.105
	1.0	3.10cd (± 0.14)	0.50b (± 0.14)	3.60b (± 0.00)	
	1.4	5.00a (± 0.28)	0.75ab (± 0.64)	5.75a (± 0.92)	
2,400	0.6	3.35cd (± 1.48)	0.55b (± 0.35)	3.90ab (± 1.84)	- Discharging grain loss ratio ES 0.077 TS 0.718 ES*TS 0.100
	1.0	2.85cd (± 0.64)	1.50a (± 0.71)	4.35ab (± 1.34)	
	1.4	3.50bcd (± 0.00)	0.65ab (± 0.21)	4.15ab (± 0.21)	
2,800	0.6	4.90ab (± 0.28)	0.35b (± 0.21)	5.25ab (± 0.07)	- Total grain loss ratio ES 0.190 TS 0.185 ES*TS 0.325
	1.0	4.25abc (± 0.21)	0.35b (± 0.07)	4.60ab (± 0.14)	
	1.4	4.90ab (± 0.28)	0.45b (± 0.07)	5.35ab (± 0.35)	

a, b, c, d: Means in a row with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

^zValue in parenthesis means standard deviation.

Table 5. Field bean loss in Gochang field.

Engine speed (ES), (rpm)	Travel speed (TS), (m/s)	Picking-up loss ratio (%)	Discharging loss ratio (%)	Total loss ratio (%)	ANOVA Pr > F
2,800	0.6	1.35bc (± 0.07) ^z	0.75a (± 0.07)	2.10b (± 0.00)	- Picking-up grain loss ratio ES 0.002 TS 0.118 ES*TS 0.121
	1.0	1.95bc (± 1.06)	1.10a (± 0.85)	3.05b (± 0.21)	
	1.4	1.80bc (± 0.28)	1.20a (± 0.99)	2.95b (± 0.78)	
3,000	0.6	1.20bc (± 0.28)	1.60a (± 0.28)	2.80b (± 0.00)	- Discharging grain loss ratio ES 0.219 TS 0.691 ES*TS 0.805
	1.0	0.95c (± 0.35)	1.00a (± 0.14)	1.95b (± 0.21)	
	1.4	1.55bc (± 0.21)	1.30a (± 1.13)	2.90b (± 0.85)	
3,200	0.6	3.50a (± 0.14)	0.65a (± 0.21)	4.10a (± 0.00)	- Total grain loss ratio ES 0.003 TS 0.023 ES*TS 0.033
	1.0	2.20b (± 0.28)	0.40a (± 0.14)	2.60b (± 0.14)	
	1.4	3.60a (± 0.57)	0.90a (± 0.14)	4.50a (± 0.71)	

a, b, c: Means in a row with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

^zValue in parenthesis means standard deviation.

곡립구 수확물 조성

무안 포장에서 곡립구의 수확물 조성은 Table 6에서와 같이 완전립 비율 81.15 - 87.55%, 손상립 비율 1.50 - 2.65%, 미탈곡립 비율 0.10 - 0.55%, 이물질 비율 0.70 - 3.45%의 범위로 나타났다. 엔진 회전속도가 커질수록 완전립 비율, 미탈곡립 비율, 이물질 비율은 감소하였으나, 손상립 비율은 증가하는 것으로 나타났으며, 작업속도에 따른 차이는 없었다. 전반적으로 완전립 비율이 낮고, 미숙립이나 얼룩진 곡립 등 불완전한 곡립 비율이 매우 높게 나타나 곡립구의 서리태 콩 품질이 불량하였다. 이는 서리태 콩의 기상애 따른 작황부진에 기인하는 것으로 판단된다.

Table 6. Bean quality in Muan field.

Engine speed (ES), (rpm)	Travel speed (TS), (m/s)	Whole bean ratio (%)	Damaged bean ratio (%)	Unthreshed bean ratio (%)	Foreign material ratio (%)	ANOVA Pr > F
2,000	0.6	81.15c (± 2.47) ^z	1.50a (± 0.28)	1.55a (± 0.21)	3.05a (± 1.77)	- Whole bean ratio ES 0.033 TS 0.083 ES*TS 0.975
	1.0	82.00bc (± 0.28)	1.70a (± 0.57)	0.90ab (± 0.28)	3.45a (± 0.92)	
	1.4	83.65abc (± 0.49)	1.50a (± 0.71)	0.25b (± 0.35)	3.40a (± 0.14)	
2,400	0.6	83.85abc (± 1.77)	2.15a (± 1.20)	0.75ab (± 0.49)	1.70ab (± 0.57)	- Damaged bean ratio ES 0.156 TS 0.379 ES*TS 0.880
	1.0	84.55abc (± 3.18)	2.65a (± 0.21)	0.65b (± 0.78)	2.40ab (± 0.71)	
	1.4	86.65ab (± 2.62)	1.55a (± 0.64)	0.60b (± 0.00)	1.50ab (± 0.71)	
2,800	0.6	83.80abc (± 2.40)	2.30a (± 0.14)	0.10b (± 0.14)	1.55ab (± 0.92)	- Unthreshed bean ratio ES 0.010 TS 0.116 ES*TS 0.179
	1.0	86.15abc (± 2.19)	2.55a (± 0.07)	0.10b (± 0.14)	0.70b (± 0.14)	
	1.4	87.55a (± 0.07)	2.20a (± 0.99)	0.10b (± 0.00)	0.85b (± 0.35)	
						- Foreign material ratio ES 0.004 TS 0.855 ES*TS 0.671

a, b, c: Means in a row with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

^zValue in parenthesis means standard deviation.

Remaining ratio except the ratios in the table is immature bean ratio.

Table 7. Bean quality in Gochang field.

Engine speed (ES), (rpm)	Travel speed (TS), (m/s)	Whole bean ratio (%)	Damaged bean ratio (%)	Unthreshed bean ratio (%)	Foreign material ratio (%)	ANOVA Pr > F
2,800	0.6	91.85c (± 0.64) ^z	1.65a (± 0.35)	0.15bc (± 0.07)	1.15a (± 0.49)	- Whole bean ratio ES < 0.001 TS 0.069 ES*TS 0.246
	1.0	93.35b (± 0.78)	1.15a (± 0.07)	0.25ab (± 0.07)	0.85a (± 0.07)	
	1.4	93.55b (± 0.78)	1.05a (± 0.07)	0.30a (± 0.14)	0.95a (± 0.07)	- Damaged bean ratio ES 0.772 TS 0.145 ES*TS 0.800
3,000	0.6	95.95a (± 0.49)	1.20a (± 0.42)	0.00c (± 0.00)	0.25b (± 0.07)	- Unthreshed bean ratio ES 0.002 TS 0.234 ES*TS 0.525
	1.0	95.25a (± 0.21)	1.30a (± 0.14)	0.00c (± 0.00)	0.35b (± 0.07)	
	1.4	96.15a (± 0.92)	0.95a (± 0.07)	0.05c (± 0.07)	0.25b (± 0.07)	- Foreign material ratio ES < 0.001 TS 0.882 ES*TS 0.507
3,200	0.6	95.50a (± 0.28)	1.45a (± 0.64)	0.00c (± 0.00)	0.20b (± 0.00)	
	1.0	96.00a (± 0.57)	1.35a (± 0.49)	0.00c (± 0.00)	0.30b (± 0.00)	
	1.4	96.50a (± 0.57)	1.00a (± 0.28)	0.00c (± 0.00)	0.25b (± 0.07)	

a, b, c: Means in a row with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

^zValue in parenthesis means standard deviation.

Remaining ratio except the ratios in the table is immature bean ratio.

고창 포장에서 곡립구 수확물 조성은 Table 7에서와 같이 완전립 비율 91.85 - 96.50%, 손상립 비율 0.95 - 1.65%, 미탈곡립 비율 0.00 - 0.30%, 이물질 비율 0.20 - 1.15%의 범위로 나타났다. 무안 포장에 비하여 완전립 비율이 크게 증가하였고, 손상립 비율, 미탈곡립 비율, 이물질 비율도 감소하여 수확물의 품질도 크게 향상되었다. 완전립 비율은 엔진 회전속도가 커질수록 증가하는 것으로 나타났으며, 손상립 비율은 엔진 회전속도, 작업속도에 차이가 없었고, 미탈곡립 비율, 이물질 비율은 엔진 회전속도가 증가할수록 작게 나타났다. 따라서 서리태 콩의 곡립 함수율 등 작물의 건조 상태가 양호하면 작업 성능을 크게 높일 수 있음을 알 수 있었다.

적정 운전조건, 작업 성능

Fig. 3과 Fig. 4는 각각 무안과 고창 시험포장에서의 시험용 수집형 두류 수확기의 수확시험 광경을 나타낸 것이다.

시험작물인 서리태 콩은 무안 시험포장의 경우 예년에 비하여 작황 부진으로 인하여 미숙립 등 불완전 곡립 비율이 매우 높게 나타났으며, 또한 예취·건조 후 강우 다발로 수확시험 시기가 지연되어 곡립 함수율이 낮고, 곡립 꼬투리가 떨어진 비율이 높은 상태에서 시험을 수행함으로써 수집 손실비율, 손상립 비율이 높게 나타난 것으로 보인다. 이에 비하여 고창 시험포장은 예년에 비해 작황은 부진하였지만 상대적으로 무안 시험포장 보다는 좋았으며, 적절한 건조 상태에서 수확시험을 할 수 있어서 시험용 수집형 두류 수확기의 작업 성능이 향상된 것으로 판단된다. 두 시험포장 모두 수확작업 중 시험기의 작물수집부, 작물반송부, 탈곡부, 선별·정선부, 재처리부, 곡립이송부 등 주요부의 막힘이나 이상 현상은 나타나지 않았다.

시험기는 곡물 함수율이 약 13.4%인 서리태 콩을 엔진 회전속도 3,000 rpm, 실제 작업속도 1.2 - 1.3 m/s일 때 가장 좋은 작업 성능을 보인 것으로 판단되며, 이 때 수집 손실비율 약 1.6%, 배진 손실비율 약 1.3%, 총 손실비율 약 2.9%, 완전립 비율 약 96.2%, 손상립 비율 약 1.0%, 미탈곡립 비율 약 0.1%, 이물질 비율 약 0.3%의 작업 성능을 보였다. 이와 같은 작업 성능은 본 연구의 목표성능인 총 손실비율 5% 미만, 손상립 비율 5% 미만, 이물질 비율 1% 미만을 만족하였으며, 국외 보통형 두류 콤바인의 성능 수준인 포장손실률 약 6%, 손상립 비율 약 3%, 이물질 비율



Fig. 3. Views of the Muan field test.



Fig. 4. Views of the Gochang field test.

1% 이하의 성능기준 보다 우수한 작업 성능을 보인 것으로 나타났다(Mesquita et al., 2006). 또한 시험기는 재배 폭이 약 1.4 m인 2조 예취·건조 서리태 콩을 약 1.2 m/s의 작업속도로 수집·탈곡할 수 있어서 이론 작업능률은 약 60 a/h 정도일 것으로 판단되며, 콩 콤바인의 전형적인 포장효율인 약 70%를 가정할 때(Ajit et al., 1993) 유효 작업능률은 약 40 a/h를 나타낼 것으로 예상되었다.

시험용 수집형 두류 수확기의 수집부, 탈곡부, 선별·정선부 등 주요부는 엔진과 V벨트, 체인 전동장치로 직결 구동됨으로 인하여 엔진 회전속도에 비례하여 주요부의 속도가 설정된다. 서리태 콩의 함수율 등 작물 상태, 부하 조건 등 작업여건에 따라 엔진 출력의 효율적 이용과 수집형 두류 수확기의 작업 성능 향상을 위해서 적정 작업속도 설정을 위한 탈곡부, 선별·정선부 변속장치가 추가로 필요한 것으로 판단되었다. 또한 수집형 두류 수확기의 효율적인 이용을 위해서는 현재 인력이나 성능이 미흡한 보행형 예취기에 의존하고 있는 예취작업을 고능률의 승용 예취기로 대체할 필요가 있다. 현재 다목적 채소 예취기(Park et al., 2016)나 승용형 두류 전용 예취기(Pang et al., 2016) 등 발작물 전용 예취기가 활발히 개발 중에 있어 이를 서리태 콩 수확작업에 적용하는 경우 수집형 두류 수확기는 기존 보통형 콩 콤바인 보다 예취 손실이 적은 작물 상태에서 예취하여 수확할 수 있기 때문에 그 효율성은 더 커질 것으로 예상되었다.

Conclusion

수집형 자주식 두류 콤바인 개발을 위하여 시험용 수확기를 설계·제작하여 예취·건조된 서리태 콩을 대상으로 수확작업 성능을 분석한 결과 곡립 함수율 약 13.4%인 서리태 콩을 엔진 회전속도 3,000 rpm, 작업속도 1.2 - 1.3 m/s일 때 가장 좋은 작업 성능을 보인 것으로 판단되며, 이 때 수집 손실비율 약 1.6%, 배진 손실비율 약 1.3%, 총 손실비율 약 2.9%, 완전립 비율 약 96.2%, 손상립 비율 약 1.0%, 미탈곡립 비율 약 0.1%, 이물질 비율 약 0.3%의 성능

을 보여 국외 보통형 콤바인 보다 곡물 손실이 적고, 수확 곡물의 품질도 높아 우수한 작업 성능을 보인 것으로 나타났다. 또한 시험기는 재배 폭이 약 1.4 m인 2조 예취·건조 서리태 콩을 약 1.2 m/s의 작업속도로 수집·탈곡할 수 있어서 포장효율을 약 70%를 가정할 때 유효 작업능률은 약 40 a/h를 나타낼 것으로 예상되었다.

Acknowledgements

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(과제명: 수집형 자주식 두류 콤바인 개발. 과제번호: PJ00998101)의 지원에 의해 이루어진 것입니다.

References

- Ajit KS, Carroll EG, Roger PR. 1993. Engineering principles of agricultural machines. ASAE textbook number 6:550.
- Beasley EO. 2002. Reduce soybean harvest losses. North Carolina Cooperative Extension Service. Raleigh, N.C. Accessed in http://ipm.ncsu.edu/soybean/agronomy/soybean_loss.html.
- Costa NP, Mesquita CM, Maurina AC, Franca-Neto JB, Pereira JE, Krzyzanowski FC, Henning AA. 2002. Evaluation of grain and seed quality of mechanically harvested soybeans in Brazil. *Agricultural Engineering* 22:211-219.
- Grisso RD. 2004. Harvesting, drying, handling, and storage. Extension Engineer. Blacksburg, VA. Accessed in http://filebox.vt.edu/users/rgrisso/Grisso/papers/CH9_Harvest.pdf.
- Herbek JH, Bitzer MJ. 2004. Soybean production in Kentucky: Part V- Harvesting, drying, storage, and marketing. Lexington, Ky.: Cooperative extension service, UKY. Cooperative Extension Service Bulletin AGR 132.
- Hong JT, Jeon HJ, Choi Y, Kim YK, Cho YM, Kim YD, Song MY, Song BW. 2003. Development of a bean combine harvester. *Agricultural engineering annual report of the Agricultural Engineering Research Center in Rural Development Administration*: 254- 265. [in Korean]
- Jung CJ, Kim KU. 1997. Principle of farm machinery. Seoul National University Press:11-14. [In Korean].
- Mesquita CM, Hanna MA, Costa NP. 2006. Crop and harvesting operation characteristics affecting field losses and physical qualities of soybeans- Part 1. *Applied Engineering in Agriculture* 22:325-333.
- Mowitz D. 2001. Cranking up combine capacity. *Successful Farming* 99:36-38.
- Pang YG, Kim KD, Kim JH, Kim SA, Kim SH. 2016. Research on the cutter & wheel width control for the pulse crops harvester. *Proceedings of the KSAM & KSPA 2016 Autumn Conference*:89. [in Korean]
- Park JG, Jung HM, Kang BS, Mun SK, Lee SH, Lee SH. 2016. Analysis of mechanical properties of agricultural products for development of a multipurpose vegetable cutting machine. *Korean Journal of Agricultural Science* 43:432-440. [in Korean]
- Shay CW, Ellis L, Hires W. 2002. Measuring and reducing soybean harvesting losses. Department of Agricultural Engineering. Columbia, Mo.: University of Missouri. Accessed in <http://muextension.missouri.edu/xplor/agguides/agengin/g01280.htm>.
- The Foundation of Agriculture Techniques Commercialization and Transfer (FACT). 2016. Agricultural machinery testing methods-combine:62-78. [in Korean]
- Yoo SN, Han BH, Choi IS. 2015. Development of a pick-up type self-propelled combine harvester for pulse crop. Research report for Cooperative Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No.: PJ009981), the Rural Development Administration, Jeonbuk. [in Korean]
- Yoo YH, Choi KJ, Hong EH. 1990. A research on improving safe cultivating technology for pulse crops - Establishment of cultivating technology for mechanized cultivating operations. *Annual research report of the Rural Development Administration*:124-135. [in Korean]