

경운기의 고속 로터리 경운시스템 개발에 관한 연구

Study on the Development of High-speed Rotary Tilling System for Power Tiller

이승규	김성태	우종구	김재영
정회원	정회원	정회원	정회원
S. K. Lee	S. T. Kim	J. K. Woo	J. Y. Kim

SUMMARY

The purpose of this study is to develop high-speed rotary tillage system for a power tiller by improving the rotary blade and the power train of transmission.

Mechanical structure of gear train of rotary drive of conventional power tiller was simplified so that power can be transmitted directly from second shaft to tilling speed change shaft by rotating freely the transfer gear which changes the direction of rotation of shafts using needle bearing installed into middle shaft. A new gear train suitable for the single-edged rotary blade and high-speed rotary drive was developed with the rotational speed of rotary shaft faster than 7.5% at 1st-speed and 1.4% at 2nd-speed the one of conventional system by changing the numbers of teeth of gears of middle shaft, tilling speed change shaft and PTO shaft.

Using the developed gear train for high-speed rotary drive, field tests were performed to compare tillage performances by the developed single-edged blade and by the conventional double-edged blade. The results showed that the performances by the single-edged blade compared with the one by the double-edged blade was improved about 18% in field capacity, about 34% in fuel consumption, and 9.4% in soil crushing ratio. Therefore, it may be concluded that tillage performance by the single-edged blade was improved compared to the one by the conventional blade.

Evaluation of the developed system consisting of single-edged blade and gear train for high-speed rotary drive in field revealed that tillage performance of the developed system was similar to the one of field test conducted using the system consisting of single-edged blade and gear train for rotary drive of conventional power tiller. However, considering the higher cone index of the upland field where evaluation was carried out compare to the one of the ordinary paddy field, it may be concluded that tillage performance of the developed rotary tilling system better than the one of conventional system.

Keywords : Single-edged rotary blade, Double-edged rotary blade, Gear train for rotary drive.

This study was supported by Daedong Industrial Co., Ltd and Non Directed Research Fund(1999), Suncheon National University. This article was submitted for publication in June 2001; reviewed and approved by the editorial board of KSAM in August 2001. The authors are Seung Kyu Lee, Sung Tae Kim, Professor, Dept of Agricultural Machinery Engineering, Gyeongsang National University, Jinju, 660-701, Korea, Jong Ku Woo, Chief of the Merchandise Planning Team, Daedong Industrial Co, Ltd., P.O. Box Seocho 27, Seoul, Korea, Jae Young Kim, Professor, Dept. of Agricultural Machinery Engineering, Suncheon National University, Suncheon, 540-742, Korea. Corresponding authors is Seung Kyu Lee, Professor, Major of Agricultural Machinery Engineering, Gyeongsang National University, 900 Gaja-dong, Jinju City, 660-701, Korea. E-mail: <leesngyu@nongae.gsnu.ac.kr>.

1. 서 론

우리나라의 경운기 및 로터리의 국산화 개발은 일본과 기술제휴를 하여 설계, 제작 및 생산 면에서는 용이하였으나, 보급이 증대하면서 제공된 도면을 기초로 하여 우리나라 토양 및 농작업에 적합하도록 부분적인 개선, 엄격히 말해 사용상 문제가 발생하지 않도록 취약부분을 보강하는 수준의 개량이 이루어져 왔다. 따라서 경운기 기어傳動係는 연구와 개선의 필요성이 있음에도 불구하고(Woo, 1999), 관련 부분에 대한 구조적 분석을 통한 설계 및 제조 측면의 개선에 관한 기술적, 실용적인 연구는 전무한 실정이다.

본 연구진은 관행의 양면형 경운날(이하 양면날)에 비해 未耕起地에서도 고속 경운과 경운부하 경감이 가능한 단면형 경운날(이하 단면날)을 개발하여 토양조 및 포장에서의 실험을 통해 성능을 검증, 보고하였다(Kim et al. 1997과 Lee et al., 2000).

본 연구의 목적은 개발한 단면날에 적합한 로터리구동 전동계를 설계, 제작하여 경운기의 고속 로터리 경운시스템을 개발함에 있다. 이를 위하여 관행의 로터리구동 기어전동계의 설계 및 제조상 불합리한 부분을 개선한, 새로운 고속형 로터리구동 기어전동계를 개발하고, 개발한 로터리구동 기어전동계를 조립한 경운기와 단면날로 고속 로터리 경운시스템을 구성하여, 개발 시스템에 대한 포장에서의 실증시험을 통해 그 작업성능을 검증하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 로터리구동 기어전동계

시험에 사용한 공시 경운기는 현재 우리나라에 가장 많이 보급되어 있는 디젤 10마력 기관을 탑재한 ND130E/DT95A(E) 모델이었다. 공시기의 관행 로터리구동 전동계는 그림 1(A)와 같다.

관행 로터리구동 기어전동계에서 중간축(middle

shaft) 및 2개의 전동기어(transfer gear)는 경운축의 회전방향을 맞추기 위해서 설치한 것으로, 전동기어인 27T 기어와 24T 기어는 간격유지를 위해 조립된 간격통(spacer)에 의하여 중간축 상에서 기어의 위치를 유지하고 있다. 또 27T 기어와 24T 기어는 중간축과 내외경 스플라인 구성에 의하여 일체로서 회전하고, 중간축은 트랜스미션케이스 양측면에서 볼베어링에 의하여 축 지지되어 회전하는 구조로 구성되어 있다.

여기에서 단지 회전방향을 바꿔주는 중간축 및 기어의 기능은 기계적인 구조를 단순화하여 개선이 가능하다고 판단되었다. 즉 회전방향만을 바꿔주는 것은 한 쌍의 기어만으로도 가능하고, 또 축은 고정되어 있고 기어만 회전하는 구조이어서도 무방하다고 판단하였다. 따라서 단면날에 적합한 로터리구동 전동계의 설계목표는 다음과 같이 설정하였다.

(1) 단면날은 양면날에 비하여 경운부하가 작았고, 또 주행속도가 일정할 때 경운축 회전속도를 빠르게 함으로써 경운부하가 감소하였던 연구결과(Lee et al, 2000)로부터, 경운작업의 고속화를 위해 우선 로터리구동 전동계를 고속화한다.

(2) 동력전달을 위해 트랜스미션 내에 설치된 기존 축과 기어의 기능적인 측면을 검토하여 부적절한 기계적 구조를 변경하고 불필요하게 설치된 부재를 제거하여 전동계의 기계적 구조를 개선한다.

나. 고속 로터리구동 기어전동계

단면형 경운날에 적합한 로터리구동 전동계는 목표에 따라 다음과 같이 설계하였다. 개발 전동계의 구조는 기본적으로 중간축은 트랜스미션케이스 커버에 녹코핀으로 고착한 고정축 구조로 하고, 전동기어는 중간축 상에 니들베어링을 개재하여 자유 회전하게 함으로써 부축(2nd shaft)으로부터 같이변속축(tilling speed change shaft)으로 직접 동력을 전달하도록 하였다.

여러 가지 구조에 대한 설계와 분석 끝에 트랜스미션케이스 등 관련 부품의 변경을 최소화하도록 그림 1(B)의 구조로 확정하여 제작하였다. 따

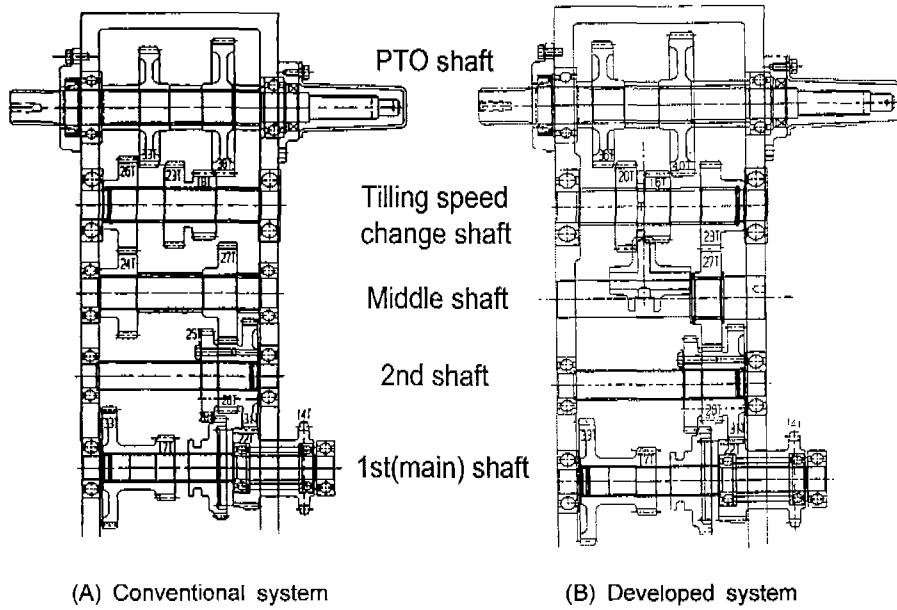


Fig. 1 Structure of conventional and developed rotary transmission.

라서 중간축, 같이변속축 및 같이구동축(PTO shaft)의 중심위치는 관행 전동계의 것과 같이 유지하면서 중간축의 전동기어와 쌍을 이루는 같이 변속축 기어 및 변속기어와 같이구동축의 기어 잇 수를 결정하였다.

설계 제작한 로터리구동 기어전동계(Woo, 1999, KIPO, 2000)는 트랜스미션으로 입력된 동력이 주 축의 22T 기어와 부축의 31T 기어의 맞물림으로 부축이 구동되고, 부축의 20T 기어와 중간축의 27T 기어가 맞물림되고, 중간축 27T 기어와 같이 변속축의 23T 기어가 맞물림 전동된다. 그리고 같이 변속축 16T 기어와 같이구동축의 40T 기어를 맞물림시키면 같이구동축 1단, 로터리 “쿨계”가 되고, 같이 변속축의 20T 기어와 같이구동축의 36T 기어의 맞물림으로 같이구동축 2단, 로터리 “갈계”가 되도록 설계하였다.

다. 포장시험

관행 로터리 경운시스템과 고속 로터리 경운시

스템의 성능을 비교 검토하기 위하여 고속형 로터리구동 전동계를 조립한 경운기에 단면날과 양면날을 각각 장착하여 포장시험을 실시하였다. 시험포장은 경남 창녕군에 소재한 대동공업 연구소의 폭 40m, 길이 80m인 장방형 밭이었다. 시험포장 토양의 土性은 모래 53.0~57.0%, 실트 33.2~37.7% 및 점토 9.2~9.8%로 미농무성 분류법의 사질양토(sandy loam)로 분류되었고, 수분 함량은 15.2 ~15.7%(%, db)이었다. 또 관입저항기로 표토로부터 깊이 15cm까지 매 5cm마다 측정된 토양경도는 단면날 시험구간에서 각각 0.90 MPa, 1.00MPa, 1.07MPa, 양면날 시험구간에서 각각 0.88MPa, 1.01 MPa, 1.06MPa로, 일반 밭 토양보다 높았으나 두 시험구간의 토양경도에는 큰 차이가 없었다.

본 시험을 시작하기 전에 기관 회전속도와 배기 가스 온도가 안정화되도록 조속레버를 최대로 개방한 상태로 약 5분 정도 무부하운전을 실시하였다. 기관의 부하성능 평가를 위하여 타코미터와 온도계를 기관의 관련부분에 설치하였으며, 연료

소비량은 満量再充法을 이용하여 연료탱크내 연료의 양을 유면의 높이로써 측정하였고, 시험 후 메스실린더로 보충한 연료의 양을 측정하여 산출하였다.

본 시험은 단면날과 양면날을 경운축 좌, 우에 9개씩 총 18개를 조립하였고, 주행속도는 저속 2단(0.53m/s), 경운축 회전속도는 “잘게”(279 rpm), 그리고 경심 11cm, 경폭은 60cm로 하여 인접왕복 경운법으로 경운작업을 실시하였다. 경운작업을 실시하면서 기관 회전속도와 배기가스 온도를 측정하였고, 포장능률을 조사하기 위해 시험구간으로 설정한 250 m²의 작업면적을 경운하는 데 소요된 작업시간을 스톱워치로 측정하였다. 또 단면날과 양면날의 쇠퇴율(Lee, 2000)을 조사하기 위해 경운작업 후 경폭 60 cm, 길이 30 cm의 면적 내의

경운된 토양 25 kg 정도를 수집하여 토괴의 직경 2 cm이하, 2~4 cm 및 4 cm 이상으로 구분하고 그 질량백분율을 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 고속 로터리 구동전동계

개발한 전동계는 주축(main shaft, 1st shaft), 부축 및 중간축의 회전속도는 관행의 것과 같게 하고, 중간축과 같이변속축의 맞물림기어, 같이변속축과 같이구동축의 맞물림기어의 잇수를 변경하였을 때의 부품별 회전속도를 정리한 것은 표 1과 같다.

끝, 기관의 연속정격출력인 10 PS/2,200 rpm일

Table 1 Comparison between rotational speeds of the conventional and the developed systems

Power train		Rotational speed (rpm)	
Engine ϕ 83 pulley → Main clutch shaft ϕ 179 pulley		$2200 \cdot 83/179 = 1020$	
Main clutch shaft 13T sprocket → 1st shaft 14T sprocket		$1020 \cdot 13/14 = 947$	
1st shaft 22T gear → 2nd shaft 31T gear		$947 \cdot 22/31 = 672$	
2nd shaft 20T gear → Middle shaft 27T gear		$672 \cdot 20/27 = 498$	
Middle shaft → Tilling speed change shaft	Conventional	$498 \cdot 24/26 = 460$	Developed
			$498 \cdot 27/23 = 585$
Tilling speed change shaft → PTO shaft → Rotary shaft			
Coarse	Rotary input shaft 12T sprocket → Rotary shaft 14T sprocket	$460 \cdot 18/38 \cdot 12/14 = 187$	$585 \cdot 16/40 \cdot 12/14 = 201$
	Rotary input shaft 14T sprocket → Rotary shaft 12T sprocket	$460 \cdot 18/38 \cdot 14/12 = 254$	$585 \cdot 16/40 \cdot 14/12 = 273$
Fine	Rotary input shaft 12T sprocket → Rotary shaft 14T sprocket	$460 \cdot 23/33 \cdot 12/14 = 275$	$585 \cdot 20/36 \cdot 12/14 = 279$
	Rotary input shaft 14T sprocket → Rotary shaft 12T sprocket	$460 \cdot 23/33 \cdot 14/12 = 374$	$585 \cdot 20/36 \cdot 14/12 = 379$

때, 같이변속축 회전속도는 관행 전동계의 460 rpm 보다 27.2% 증가된 585 rpm로 나타났다. 관행 전동계와 개발 전동계(고속 로터리구동 전동계)의 최종 경운축의 회전속도를 비교하면, 로터리 1단 “굵게”일 때, 관행 전동계에서는 187~254 rpm, 또 개발 전동계에서는 201~273 rpm으로 약 7.5% 빨라졌다. 또 로터리 2단 “잘게”일 때는 관행 전동계에서는 275~374 rpm, 개발 전동계에서는 279~379 rpm으로 약 1.4% 빨라져 로터리 경운작업의 고속화가 가능하게 되었다.

개발 전동계의 중간축에 대한 강도를 검토한 결과(Woo, 1999), 재질에 대한 허용응력면에서 사용상 문제가 없는 것으로 나타났으며, 중간축의 처짐량은 관행의 약 26%에 불과하였다.

개발 전동계는 관행 전동계에 비하여, 중간축의

24T 전동기어 1개, 양단지지 볼베어링 2개 등 4종의 부품을 제거하였다. 이에 따라 중간축과 그 전동기어, 변속기어 및 체인케이스 등 9종의 치수를 변경하였고, 관행 전동계에는 없던 스냅링을 비롯하여 4종의 부품을 추가하였다. 이로 인해 발생하는 제조원가의 차이를 분석한 결과는 표 2와 같은데, 개발 전동계는 관행 전동계에 비하여 약 14%의 원가절감이 가능한 것으로 나타났다.

나. 포장시험

(1) 포장능률과 연료소비량

고속형 로터리구동 전동계를 조립한 경운기를 이용하여 단면날과 양면날로 포장시험을 실시한 결과, 10a당 경운작업에 소요된 포장 작업시간은

Table 2 Comparison among manufacturing costs

Treatment	Parts	Conventional (A)	Developed (B)	B-A
Deleted parts	24T gear	1,900	None	↓ 1,900
	Collar	280	None	↓ 280
	Ball bearing, 2	2,000	None	↓ 2,000
	Collar	200	None	↓ 200
Modified parts	Middle shaft	1,850	1,276	↓ 574
	27T gear	2,130	2,013	↓ 117
	26T gear	2,000	1,901	↓ 99
	Change gear	4,000	3,669	↓ 331
	1st-speed gear	2,700	2,808	↑ 108
	2nd-speed gear	3,580	3,641	↑ 61
	Collar	250	281	↑ 31
	Collar	260	229	↓ 31
Added parts	Chain case	6,100	6,176	↑ 76
	Snap ring	None	37	↑ 37
	Needle bearing	None	1,081	↑ 1,081
	Spacer, 2unit	None	300	↑ 300
	Pin, straight	None	60	↑ 60
Total		27,250	23,472	↓ 3,778

단면날의 경우 58.1 분, 양면날의 경우 68.7 분이 소요되어 단면날이 양면날보다 15.4% 적게 소요 되는 것으로 나타났다. 따라서 포장능률은 단면날 사용시 10.3 a/h로, 양면날 사용시의 8.7 a/h보다 18.4% 향상되었다. 또 시험구간의 경운작업에 소비된 연료의 양으로부터 단위 면적당의 연료소비를 계산한 결과 단면날 사용시 0.261 l/a로, 양면날 사용시의 0.394 l/a에 비하여 연료소비가 33.8% 절감되었다.

고속 로터리구동 전동계를 이용한 이러한 작업 성능시험 결과는 토양이 단단한 토양(5 cm 깊이에서의 콘지수 0.87~0.89, 8.9~9.1 MPa)에서 시험하였기 때문에 관행 로터리구동 전동계를 이용하여 무른 토양(5 cm 깊이에서의 콘지수 0.42~0.52 MPa)에서 시험한 결과(Lee et al., 2000)와 직접 비교하기는 어렵다. 그러나 고속 로터리구동 전동계의 경우가 관행 전동계의 경우에 비하여 포장능률이 1% 정도 더 높고 연료소비율은 3% 정도의 증가에 그친 것으로 나타났다. 따라서 토양경도가 높을수록 경운부하가 크게 증가한 토양조 시험결과(Lee et al., 2000)도 감안하면 개발한 로터리 경운시스템은 관행 로터리 경운시스템에 비하여 훨씬 높은 작업성능을 나타낼 것으로 판단된다.

(2) 쇠토율

단면날과 양면날의 쇠토성능을 비교하기 위하여 경운한 토양의 토피의 직경별 질량과 수집한 쇠토의 총 질량, 그리고 총 질량에 대한 토피의 직경별 질량비는 표 3과 같다.

토피의 직경이 2 cm 이하인 쇠토율은 단면날의

경우 88.4%, 양면날의 경우 80.8%로 단면날에서의 쇠토율이 양면날 사용시에 비해 9.4% 더 높게 나타났다, 직경 4 cm 이상의 것은 단면날에서 3.4%, 양면날에서는 6.3%로 나타나 양면날에 비해 단면날의 쇠토성이 우수한 것으로 판단되었다. 또 동일 주행속도에서는 고속형 로터리구동 전동계가 관행 전동계에 비하여 경운피치가 감소하여 쇠토율이 향상될 것이므로 단면날을 장착한 고속 로터리 경운시스템의 쇠토성능은 관행시스템에 비하여 우수할 것으로 추정된다. 이상의 결과로부터 고속 로터리구동 전동계는 단면날 뿐만 아니라 관행 양면날에 대해서도 포장능률, 연료소비량, 쇠토율 등 작업성능을 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

(3) 기관회전속도

경운시스템의 경운부하를 판단하기 위해서, 본 시험전에 조속레버를 최대로 개방하여 무부하로 약 5분간 운전하였을 때, 기관의 회전속도는 2,450 ± 5 rpm에서 안정되었다. 이 상태에서 작업성능 시험을 실시하면서 기관회전속도의 변동을 측정하였는데, 그림 2는 그 한 예이다.

단면날로 시험포장을 경운작업하면서 측정된 기관의 평균 회전속도는 2,270 ± 50 rpm이었고, 시험구간에서 순간적으로 큰 경운부하가 걸리는 곳에서는 평균보다 약 240 rpm 낮은 2,032 rpm까지 기관의 회전속도가 저하되는 경우도 있었다.

한편 양면날로 경운작업을 했을 때, 기관의 평균 회전속도는 2,140 ± 50 rpm이었고, 순간적으로 큰 경운부하가 걸리는 곳에서는 평균보다 약 400 rpm 낮은 1,737 rpm까지 기관의 회전속도가 크게

Table 3 Soil crushing performance of the developed and the conventional blades

Size	Developed blade		Conventional blade	
	Mass (kg)	Ratio (%)	Mass (kg)	Ratio (%)
Below 2 cm	22.41	88.4	20.47	80.8
2 ~ 4 cm	2.08	8.2	3.26	12.9
Above 4 cm	0.85	3.4	1.59	6.3
Total	25.34	100	25.32	100

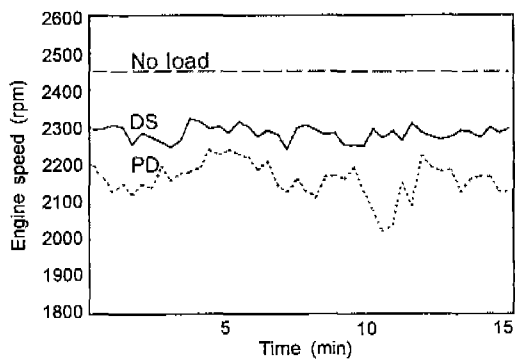


Fig. 2 A sample of engine speed variation of the developed(DS) and the conventional blade(PD).

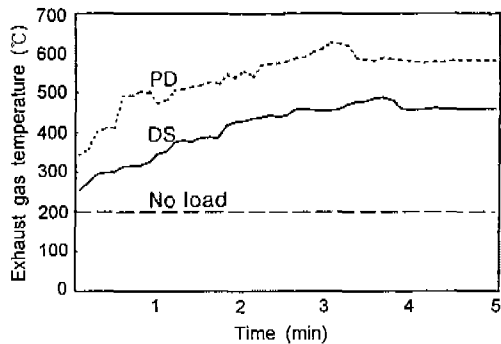


Fig. 3 A sample of exhaust gas temperature of the developed(DS) and the conventional blade(PD).

떨어지는 경우도 있었다.

단면날 사용시의 평균 기관회전속도는 양면날 사용시에 비해 약 130 rpm 높았고, 순간적인 큰 부하에 의한 기관 회전속도의 저하도 훨씬 작게 나타났다. 따라서 단면날이 양면날보다 경운부하가 작게 걸리는 것으로 판단된다.

(4) 배기가스의 온도

단면날과 양면날의 경운부하를 비교하기 위해서, 본시험 전에 무부하로 운전하여 기관을 안정화시킨 후 작업성능 시험을 실시하면서 배기가스 온도의 변화를 측정하였는데, 그림 3은 그 한 예

이다. 이때 무부하로 안정된 기관의 배기가스 온도는 $200 \pm 2^\circ\text{C}$ 이었다.

단면날로 시험포장을 경운작업하면서 측정된 배기가스의 온도는 시험을 개시하였을 때 260°C 에서 서서히 증가하여 약 4분이 지난 이후부터는 $475 \pm 5^\circ\text{C}$ 로 안정되었고, 양면날의 경우에는 시험을 개시하였을 때 350°C 에서 서서히 증가하여 약 4분 후 $590 \pm 5^\circ\text{C}$ 로 안정되어 이후 시험구간을 경운작업하는 동안 거의 일정하였다. 따라서 단면날로 경운시 안정된 배기가스 온도가 양면날의 경우보다 약 115°C 더 낮게 나타난 시험결과로부터, 개발 단면날의 경운부하가 관행 양면날에 비해 훨씬 작은 것으로 판단된다.

4. 요약 및 결론

경운기의 단면형 경운날에 적합한 로터리구동 전동계를 설계 제작하고, 이를 조립한 경운기와 개발한 단면날로 구성된 경운기의 고속 로터리 경운시스템을 개발하여 포장시험을 통하여 작업성능을 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 경운기의 관행 로터리구동 전동계를 분석하고, 회전방향을 바꿔주는 전동기어를 중간축 상에 니들베어링을 개재시켜 자유 회전하게 함으로써 부축으로부터 같이변속축으로 직접 동력을 전달하도록 하여 14% 정도의 원가 절감이 가능한 로터리구동 전동계를 설계 제작하였다. 또 이 전동계가 개발한 단면날에 적합하도록 하기 위하여 경운축의 회전속도를 관행 전동계보다 1단에서 7.5%, 2단에서 1.4% 더 빠르게 설계하였다.

2) 개발한 로터리구동 전동계를 조립한 경운기에 단면날과 양면날을 장착하여 밭에서 경운성능을 비교 분석한 결과, 단면날은 양면날의 경우에 비하여 포장능률은 약 18% 향상되었고, 연료소비량은 약 34% 절감되었다. 또 쇠퇴성능을 분석한 결과 토끼지름 2 cm 이하의 질량백분율이 단면날의 경우가 양면날보다 9.4% 더 높게 나타나, 쇠퇴성능이 향상되었다. 로터리 경운작업시 기관의 회전속도 변동과 배기가스 온도변화를 측정 분석한 결과 단면날이 양면날에 비하여 경운부하가 작게

결리는 것으로 판단되었다.

3) 고속 로터리구동 전동계를 이용한 단면날과 양면날의 밭에서의 포장능률과 연료소비량은 관행 로터리구동 전동계를 이용한 논에서의 작업성과 거의 비슷하게 나타났다. 따라서 토양경도가 높을 수록 경운부하가 크게 나타났던 토양조 시험결과를 감안하면 개발한 고속 로터리 경운시스템은 관행 시스템에 비하여 경운작업성능이 우수할 것으로 판단되었다.

참 고 문 헌

1. Kim, S. S., Y. S. Lee and J. K. Woo. 1997. Study on the improvement of rotary blades. J. of the KSAM 22(4):391-400. (In Korean)
2. KIPO(Korean Intellectual Property Office). 2000. Utility Model Registered No.0208532.
3. Lee, S. K., S. T. Kim and J. K. Woo. 2000. Tillage characteristics of the singleedged rotary blade. J. of the KSAM 25(5):369-378. (In Korean)
4. Woo, J. K. 1999. Development of high-speed rotary tilling system for power tiller. Ph. D. dissertation, Gyeongsang Nat'l. Univ., Jinju, Korea. (In Korean)