

경운기의 고속 로터리 경운시스템 개발에 관한 연구

Study on the development of high-speed rotary tilling system for power tiller

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

1. 서 론

일본과의 기술제휴를 통한 경운기의 국산화 개발은 설계, 제작 및 생산 면에서는 용이하였으나, 보급이 증대하면서 제공된 도면을 기초로 하여 우리 나라 토양 및 농작업에 적합하도록 부분적인 개선, 엄격히 말해 사용상 문제가 발생하지 않도록 취약부분을 보강하는 수준의 개량이 이루어졌기 때문에 경운기 트랜스미션 기어傳動係는 연구와 개선의 필요성이 있음에도 불구하고, 관련 부분에 대한 구조적 분석을 통한 설계 및 제조 측면의 개선에 관한 기술적, 실용적인 연구는 전무한 실정이다.

본 연구진은 관행의 작두형 경운날에 비해 未耕起地에서도 고속 경운과 경운부하 경감이 가능한 단면형 경운날을 개발하여 토양조 및 포장에서의 실험을 통해 성능을 검증, 보고하였다.³⁾

본 연구에서는 경운기 로터리구동 기어전동계의 설계 및 제조상 불합리한 부분을 개선하면서, 고속형 로터리구동 기어전동계를 개발하고, 개발한 고속형 로터리구동 기어전동계를 조립한 경운기와 개발 단면형 경운날로 경운기용 고속 로터리 경운시스템을 구성하여, 개발 시스템에 대한 포장에서의 실증시험을 통해 작업성능을 검증하고자 한다.

2. 재료 및 방법

가. 기어전동계

로터리구동 기어전동계를 개선하고, 고속형 전동계 개발에 사용한 경운기는 현재 우리나라에 가장 많이 보급되고 있는 디젤 10마력 기관을 탑재한 ND130E/DT95A(E) 모델로 공시기의 로터리구동 전동계는 그림 1과 같다. 새로운 전동계는 동력전달을 위해 트랜스미션 내에 설치된 기존 축과 기어의 기능적인 측면을 검토하여 부적절한 기계적 구조의 변경과 불필요하게 설치된 부재를 삭제하여 전동계의 기계적 구조를 개선하고자 하였다. 또 주행속도가 일정할 때, 경운축 회전속도를 빠르게 함으로써 경운부하가 감소하였던 연구결과³⁾로부터, 경운작업의 고속화를 위한 고속형 로터리구동 기어전동계의 설계에 착안점을 두었다.

* 경상대학교 농업기계공학과

** 대동공업(주)

기존의 로터리구동 기어전동계 중 중간축 및 2개의 트랜스퍼 기어는 경운축의 회전방향을 맞추기 위해서 설치한 것으로, 트랜스퍼 기어인 27T 기어와 24T 기어는 간격유지를 위해 조립된 간격통에 의하여 중간축 상에서 기어의 위치를 유지하고 있다. 또 27T 기어와 24T 기어는 중간축과 내외경 스플라인 구성에 의하여 일체로서 회전하고, 중간축은 트랜스미션 케이스 양측면에서 볼베어링에 의하여 축지지되어 회전하는 구조로써 구성되어 있다.

여기에서 단지 회전방향을 바꿔주는 중간축 및 기어의 기능으로부터 기계적인 구조를 단순화하여 개선이 가능하다고 판단되었다.

즉 회전방향만을 바꿔주는 것은 한쌍의 기어만으로도 가능하고, 또 축은 고정되어 있고 기어만 회전하는 구조이어도 무방하다고 판단하였고, 위와같은 착안으로부터 개발 전동계의 구조는 기본적으로 중간축은 트랜스미션 케이스 커버에 녹크핀으로 고착된 고정축 구조이며, 트랜스퍼 기어는 중간축상에 니들베어링을 개재하여 자유 회전하게 하므로써 부축으로부터 같이변속축으로 직접 동력을 전달하도록 하였다.

나. 포장실험

경남 창녕군에 소재한 대동공업 연구소의 폭 40m, 길이 80m인 장방형 시험포장을 2구간으로 나누어 개발 단면날과 기존 양면날의 경운작업을 실시하였다. 시험포장 토양의 토성은 모래 53.0~57.0%, 실트 33.2~37.7% 및 점토 9.2~9.8%로 미농무성 분류법의 사질양토(sandy loam)로 분류되고, 수분함량은 건량기준으로 15.2~15.7%이었다. 또 관입저항기로 표토로부터 깊이 15cm까지 매 5cm마다 측정된 토양경도는 개발 단면날 시험구간이 각각 896.1, 1004.4, 1073.4 kPa, 기존 경운기용 양면날 시험구간이 각각 876.4, 1014.3, 1063.5 kPa로 시험구간의 토양경도는 거의 같았고, 깊이에 따라 토양경도가 높게 나타났다.

본시험을 시작하기 전에 기관의 부하성능 평가를 위한 시험장치로 타코미터와 휴대용 온도계를 기관의 관련부에 설치하고, 滿量再充法으로 연료소비량을 조사하기 위해 기관 회전속도와 배기가스 온도가 안정화되도록 조속레버를 최대로 개방한 상태로 약 5분정도 무부하운전을 실시한 후 연료탱크내 연료의 양을 유면의 높이로써 체크하였고, 시험후 매스실린더로 보충한 연료의 양으로써 연료소비량을 측정하였다.

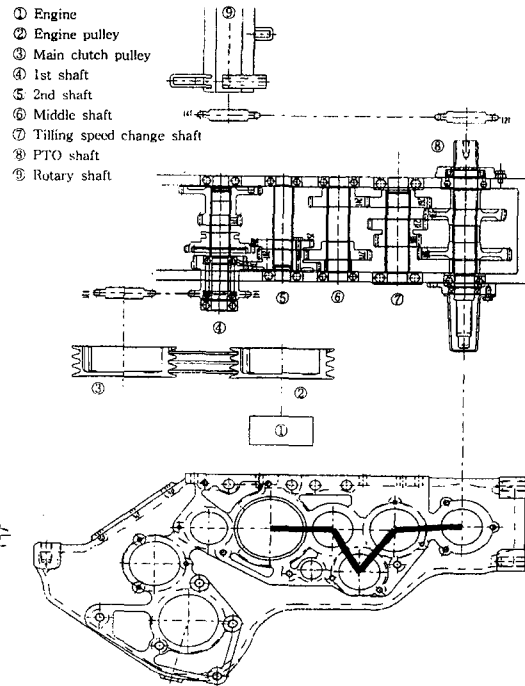


Fig. 1 Structure of conventional rotary transmission.

본시험은 개발 경운날과 기존 경운기용 양면날 좌, 우 각 9개씩 총 18개 1셋트를 각각 조립하여, 주행속도는 저속 2단, 0.53 m/sec, 경운축 회전속도는 “잘게”, 279 rpm, 그리고 경심 11 cm, 경폭은 60 cm로 하여 隣接往復耕耘法으로 경운작업을 실시하였다. 경운작업을 실시하면서 기관 회전속도와 배기가스 온도를 측정하였고, 포장능률을 조사하기 위해 시험구간으로 설정한 250 m²의 작업면적을 경운하는데 소요된 작업시간을 스톱워치로 측정하였다. 또 개발 단면날과 기존 양면날의 쇠토율을 조사하기 위해 경운작업후 경폭 60 cm, 길이 30 cm 면적 내의 경운된 토양을 직경을 기준으로 수집하여 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 고속형 전동계의 개발

여러 가지 구조에 대한 분석 끝에 최종 안은 트랜스미션 케이스 등 관련 부품의 변경을 최소화하도록 그림 2의 구조로 확정하였다. 따라서 중간축, 같이변속축 및 같이구동축의 중심위치는 기존의 것과 같이 유지하면서 중간축의 트랜스퍼 기어와 쌍을 이루는 같이변속축 기어 및 변속기어와 같이구동축의 기어 잇수를 결정하였다.

개발한 로터리구동 기어전동계는 트랜스미션으로 입력된 동력이 주축의 22T 기어와 부축의 31T 기어의 맞물림으로 부축이 구동되고, 부축의 20T 기어와 중간축의 27T 기어가 맞물림되고, 중간축 27T 기어와 같이변속축의 23T 기어가 맞물림 전동된다. 그리고 같이변속축 16T 기어와 같이구동축의 40T 기어를 맞물림시키면 같이구동축 1단, 로터리 “굵게”가 되고, 같이 변속축의 20T 기어와 같이구동축의 36T 기어의 맞물림으로 같이구동축 2단, 로터리 “잘게”가 되도록 설계하였다.

기존 전동계와 개발 전동계에 대해 기관의 연속 정격출력인 10 PS/2200 rpm일 때, 최종 경운축의 회전속도를 비교하면, 주축, 부축 및 중간축의 회전속도는 같고, 개발 전동계의 중간축과 같이변속축의 맞물림기어, 같이변속축과 같이구동축의 맞물림기어의 잇수가 변경되어 최종 경운축의 회전속도는 로터리 1단, “굵게”일 때 187 rpm에서 201 rpm으로, 254 rpm에서 273 rpm으로 약 7.5% 빨라졌다. 또 로터리 2단, “잘게”일 때 275 rpm에서 279 rpm으로, 374 rpm에서 379 rpm으로 약 1.4% 빨라져 로터리 경운작업의 고속화가 가능하게 되었다.

개발 고속형 로터리구동 기어전동계는 '97년 9월에 특허청에 실용신안등록 출원하여 2000년 10월 등록되었다.(등록번호 제0208532호)

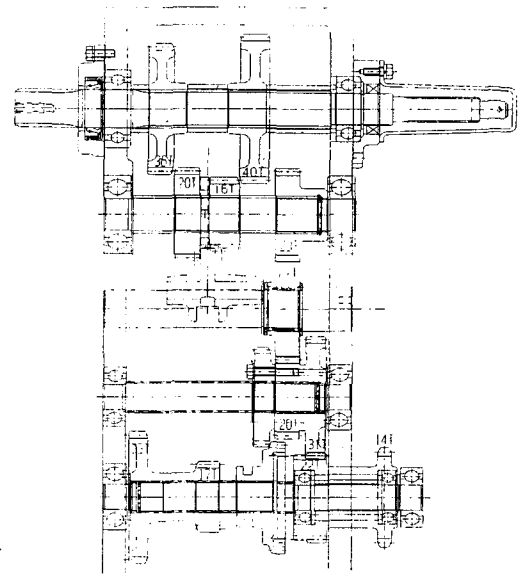


Fig 2. Structure of the developed, high-speed rotary transmission.

나. 포장실험

(1) 작업성과 연료소비율

고속형 로터리구동 전동계를 조립한 경운기를 이용하여 개발 단면날과 기존 양면날로 포장실험을 실시한 결과, 경운작업에 소요된 포장 작업시간은 단면날이 14.5분, 양면날이 17.2분으로 단면날이 적게 소요되었고, 연료는 각각 0.65 l, 0.98 l가 소비되어 개발 단면날의 연료소비가 적었다.

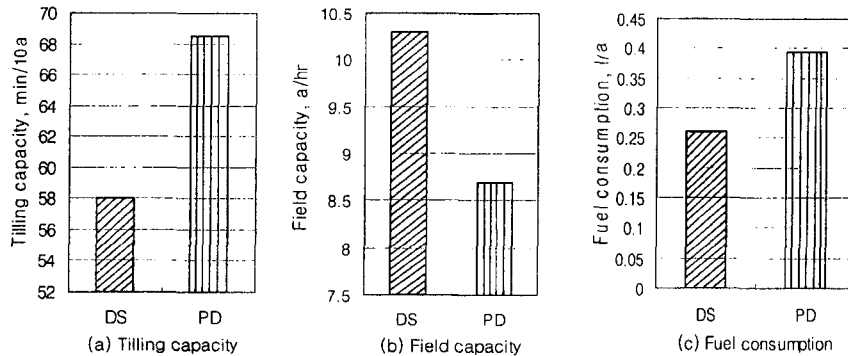


Fig. 3 Comparison among performances of the developed blade(DS) and the conventional one(PD).

시험구간에 대한 경운작업에 소요된 포장 작업시간으로부터 경운능률을 계산하면 그림 3(a)와 같이 단면날은 약 58분, 양면날은 약 69분이 소요되어 단면날이 양면날보다 약 15% 정도 경운능률이 높게 나타났다. 이것을 포장능률로 나타내면 그림 3(b)와 같이 단면날이 10.3 a/h, 양면날이 8.7 a/h이 되어, 포장능률은 약 18% 정도 향상되었다. 또 시험구간 경운작업에 소비된 연료의 양으로부터 단위 면적당의 연료소비량을 계산하면 그림 3(c)와 같이 각각 0.261 l/a, 0.394 l/a이 되어 개발 단면날의 연료소비가 약 33% 절감되었다.

(2) 쇄토율

경운 토양의 쇄토성을 조사하기 위해, 개발 단면날과 기존 양면날로 경운한 토양을 쇄토의 입경에 따라 2 cm 이하, 2~4 cm, 4 cm 이상으로 구분하여 수집하였다. 쇄토의 크기별 중량과 수집한 쇄토의 총 중량, 그리고 총 중량에 대한 입경 크기별 비율은 표 1과 같다.

수집된 쇄토의 총 중량은 거의 같았고, 쇄토의 입경이 2 cm 이하인 쇄토율은 단면날이 88.4%, 양면날이 80.8%로 단면날의 쇄토율이 양면날에 비해 약 8% 높게 나타났고, 기존 경운날에 비해 개발 경운날의 쇄토성이 우수한 것으로 판단된다.

Table 1 Breaking performance of the developed and the conventional blades

Size	Developed blade		Conventional blade	
	Weight (kg _f)	Ratio (%)	Weight (kg _f)	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

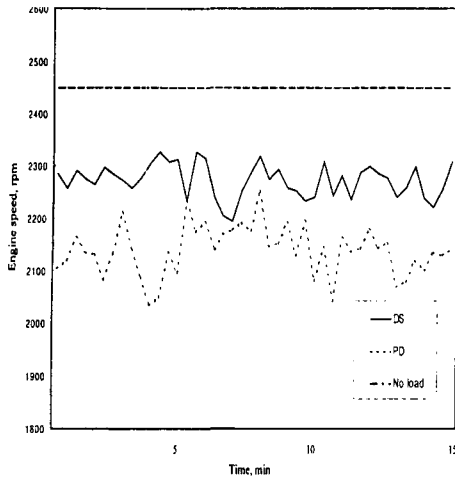


Fig. 4 A sample of engine speed variation in the case of the developed blade(DS) and the conventional one(PD).

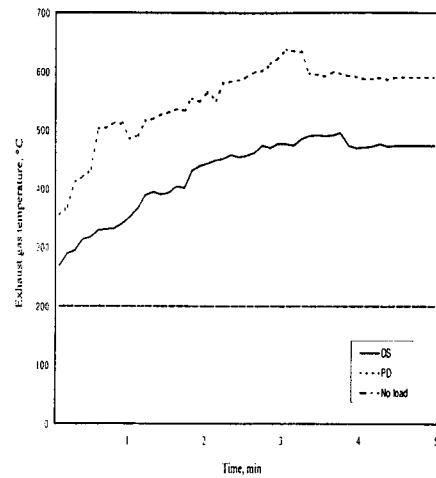


Fig. 5 A sample of exhaust gas temperature in the case of the developed blade(DS) and the conventional one(PD).

(3) 기관 회전속도

개발 경운 시스템의 경운부하를 판단하기 위해서, 본시험전에 조속레버를 최대로 개방하여 무부하로 약 5분간 운전하였을 때, 기관의 회전속도는 2450 ± 5 rpm에서 안정적으로 측정되었고, 그 상태에서 작업성능 시험을 실시하면서 기관 회전속도의 변동을 측정한 그림 4에 나타낸 바와 같다.

개발 단면날로 시험포장을 경운작업하면서 측정한 기관의 평균 회전속도는 2270 ± 50 rpm 이었고, 시험 구간에서 순간적으로 큰 경운부하가 걸리는 곳에서는 평균보다 약 240 rpm 낮은 2032 rpm까지 기관의 회전속도가 저하되는 경우도 있었다.

한편 기존 양면날로 경운작업을 했을 때, 기관의 평균 회전속도는 2140 ± 50 rpm이었고, 순간적으로 큰 경운부하가 걸리는 곳에서는 평균보다 약 400 rpm 낮은 1737 rpm까지 기관의 회전속도가 크게 떨어지는 경우도 있었다.

개발 단면날로 경운시 측정한 평균 기관 회전속도가 기존 양면날 경운시에 비해 약 130 rpm 높았고, 순간적인 큰 부하에 의한 기관 회전속도의 저하도 크지 않았다. 따라서 개발 단면날이 기존 양면날보다는 경운부하가 적게 걸리는 것으로 판단된다.

(4) 배기가스의 온도

개발 단면날과 기존 양면날의 경운부하를 판단하기 위해서, 본시험 전에 무부하로 운전하여 기관을 안정화시킨 후 작업성능 시험을 실시하면서 배기가스 온도의 변화를 측정하였고, 그 결과는 그림 5에 나타낸 바와 같다. 무부하 안정된 기관의 배기가스 온도는 200 ± 2 °C로 측정되었다.

개발 단면날로 시험포장을 경운작업하면서 측정한 배기가스의 온도는 시험을 개시하였을 때 260 °C에서 서서히 증가하여 약 4분 후 475 ± 5 °C로 안정되었고, 기존 양면날은 시험을 개

시하였을 때 350℃에서 서서히 증가하여 590±5℃로 안정되었고, 이후 나머지 시험구간을 경운작업하는 동안 거의 일정하였다.

개발 단면날로 경운시 안정된 배기가스 온도가 기존 양면날 경운시보다 약 115℃ 낮게 나타난 시험결과로부터, 개발 단면날의 경운부하가 훨씬 작은 것으로 판단된다.

4. 요약 및 결론

경운기의 고속형 로터리구동 기어전동계를 개발하고, 이를 조립한 경운기와 개발 단면형 경운날로 구성된 개발 경운기 고속 로터리 경운시스템의 작업성능을 검증하기 위해 실시한 포장실험의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 단지 회전방향을 바꿔주는 기존 전동계의 중간축 및 트랜스퍼 기어의 기능으로부터 기계적 구조를 단순화하여 새로운 전동계를 개발하였고, 기존에 비하여 개발 전동계는 기관 정격출력을 기준으로 로터리 1단의 경우 경운축 회전속도는 약 7.5% 빨라졌고, 로터리 2단의 경우에는 약 1.4% 빨라져 로터리 경운작업의 고속화가 가능하였다.

(2) 개발 고속형 경운시스템의 포장 작업능률은 단면날이 양면날보다 18% 향상되었고, 연료소비량 측정결과, 단면날의 경우 양면날보다 33%의 연료가 절감되었다. 쇄토율은 단면날이 88.4%로 양면날의 80.8%보다 약 8% 높아 개발한 단면날의 쇄토성이 우수하였다. 또 경운작업시 측정된 기관 회전속도 변동과 배기가스 온도 변화로부터, 개발 단면날이 기존 양면날에 비해 경운부하가 적게 걸리는 것으로 판단되었다.

(3) 개발한 경운 시스템의 포장시험 결과는 기존 경운기를 이용하여 개발 단면날과 기존 양면날의 작업성능을 비교한 시험 결과와 거의 비슷하였다. 그러나, 일반 농가의 포장에 비하여 검증시험을 실시한 포장의 토양경도가 높았기 때문에, 토양경도가 높을 때 경운부하가 크게 나타났던 토양조시험 결과를 고려한다면, 개발 경운 시스템이 기존 시스템보다 경운작업 성능이 우수한 것으로 판단된다.

5. 참고문헌

- (1) Browning, E. P. 1978. Design of agricultural tractor transmission elements. ASAE Distinguished Lecture Series No. 4. ASAE, St. Joseph, MI.
- (2) Ghosh, B. N. 1967. The power requirement of a rotary cultivator. J. agric. Engng Res. 12(1):5-12.
- (3) Lee, S. K., S. T. Kim, J. K. Woo. 2000. Tillage characteristics of the single-edged 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. Thesis, Gyeongsang Nat'l. Univ., Jinju, Korea.. (In Korea)