

에너지 절감형 트랙터 로타리날 개발

- 논의 2차 로타리 경운 부하 특성 분석 -

Development of Energy Saving Rotary Blade for Tractor

- Rotary Power Requirement for the Second Tillage at Paddy Field -

서동현*	박우풍**	김찬수***	추창환*	김성환*	김기대*
정회원	정회원	정회원	정회원		정회원
D. H. Seo	W. P. Park	C. S. Kim	C. H. Choo	S. H. Kim	K. D. Kim

1. 서론

우리나라의 농용트랙터의 농가보급률은 1999년 현재 12.7%로 약 18만대 정도이며 연간 약 2만대 정도의 트랙터가 보급되고 있다. 농작업 중 동력이 가장 크게 소요되는 경운작업은 플라우(Plow)경운과 로타리(Rotary)경운으로 나눌 수 있는데, 최근에는 로타리를 이용한 경운으로 대체되고 있는 실정이다.

로타리를 이용한 경운작업은 경운과 쇄토의 정도가 높아 그 이용이 증대되고 있으나 소요 동력이 큰 것이 결점이다. 따라서, 소요동력의 감소를 위하여 외국에서는 로타리 경운장치에 대한 연구가 꾸준히 계속되고 있으나, 우리나라에서는 이에 대한 연구가 미흡한 실정이다.

로타리 경운작업에서 로타리의 기어 또는 체인 전동계와 로타리날의 형상은 소요동력에 크게 영향을 미치는 부분이며, 특히 로타리날의 형상에 의한 영향이 크다. 그러나, 우리나라에서 생산되고 있는 트랙터용 플랜지(flange) 부착형 로타리날의 대부분은 이론적인 근거나 형상에 대한 연구 없이 외국산 로타리날을 기본으로 하여 생산되고 있어 우리나라의 토양이나 작업형태에 알맞도록 개선하여 로타리 경운에 소요되는 에너지를 절감할 필요가 있다. 우리나라에서는 80년대 초반에 로타리날에 대한 몇 가지 연구실적이 발표된 이래 플랜지 부착형 로타리날의 경운부하 특성분석과 부하감소를 위한 연구실적이 많지 않다.

본 연구는 우리나라 토양이나 작업형태에 맞는 에너지 절감형 트랙터 로타리날을 개발하기 위한 전단계 연구로서 기존 로타리의 소요동력을 측정하기 위하여 측정 장치를 구성하고 경운 부하를 측정하여 측정자료를 앞으로 개발할 에너지 절감형 트랙터 로타리날 개발 연구의 기초자료로 사용하고자 한다. 또한, 앞으로 개발할 로타리날과의 성능을 비교하기 위한 자료를 제공하고자 하며 그 구체적인 연구 목적은 다음과 같다.

- 1) 트랙터용 로타리의 소요동력, 측정장치를 설계 및 제작하여
- 2) 기존 로타리 경운작업의 소요동력 측정 및 경운 부하 특성을 분석한다.

* 충남대학교 농과대학 농업기계공학과

** 농업기계화연구소

*** 중앙공업(주)

2. 재료 및 방법

가. 공시 재료

시험에 사용된 트랙터는 국내의 D사에서 제작된 정격출력 55마력의 트랙터이며, 트랙터에 부착된 로타리는 국내의 J사에서 제작된 52~60마력의 트랙터에 적용 가능한 기어전동방식 로타리로 로타리날을 부착시키기 위한 7개의 플랜지가 달려있다. 하나의 플랜지에는 6개의 로타리날을 부착할 수 있도록 되어 있으며 근접한 플랜지간에 부착된 로타리날은 15° 간격을 이루고 있다. 로타리 플랜지에 부착된 로타리날은 국내의 J사에서 제작된 것으로 날의 구멍간격은 52 mm, 구멍의 지름은 15 mm, 날의 폭은 70 mm로 한국산업규격에 의해 제작되었다.

시험에 사용된 토양은 충남대학교 농과대학 부속농장에 있는 논으로서 쟁기로 1차 경운을 한 후 2주일이 경과된 토양으로 미사질 식양토였고, 함수율(d.b.)은 평균 22.9 % 였다. 토양은 쟁기로 이미 1차 경운된 상태였기 때문에 토양 경도가 부분적으로 큰 차이가 났다.

나. 실험장치

본 연구에서는 현재 우리나라에 가장 많이 보급되어 있는 중형트랙터(40-60ps)에 부착되는 로타리를 대상으로 하였으며, 로타리의 소요동력을 측정하기위한 로타리 입력축의 토크 변환기, 로타리 입력축의 회전수 측정장치 외에 경심 측정 장치가 설계·제작되었고, 그 외에 트랙터의 주행 속도를 측정하기 위한 속도 센서가 트랙터에 부착되었다. 그림 1은 트랙터에 부착된 각각의 실험장치 및 센서를 나타낸 것이다.

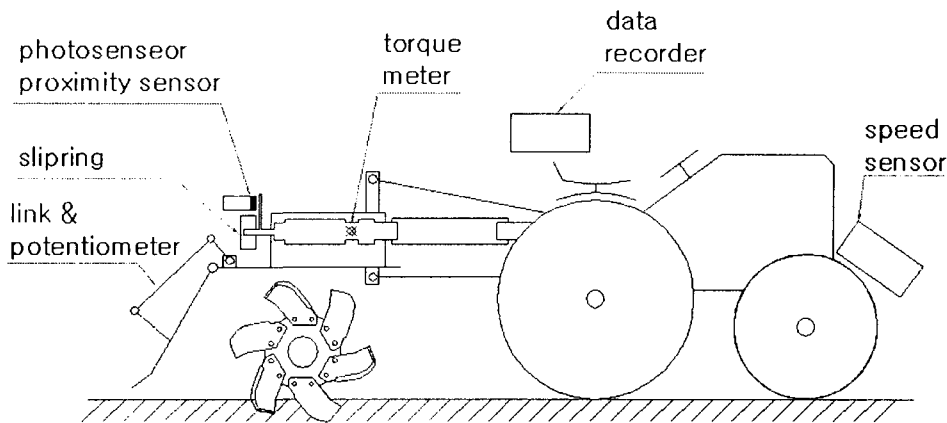


FIG. 1 Measuring instruments and sensors installed on experimental tractor and rotary

로타리 입력축의 토크변환기는 트랙터의 PTO축과 연결되는 로타리의 입력축의 일부분을 가늘게 가공한 후 축 방향과 45°의 경사로 4개의 스트레인 게이지를 부착하여 휘스톤 브리지 회로를 구성하였다. 토크 변환기의 출력신호는 축의 가공된 구멍에 삽입되어있는 연결과이프 내의 전선과 기어박스 밖의 어답터에 부착시킨 슬립링, 그리고 브리지박스(bridge

box)를 거쳐 데이터 레코더에 저장된다. 토크 변환기의 측도설정은 로타리의 입력축에 유니버설조인트를 활용하여 130cm의 토크암을 걸고 추를 증감시키는 형식으로 하였다.

로타리 입력축의 회전수는 입력축의 회전을 근접센서와 광센서를 사용하여 전기적인 신호로 바꾸는 방법을 사용하였으며, 이 센서들은 로타리 입력축에 연결된 봉에 부착되어 있는 철판에 의해 작동되도록 하였다.

로타리 작업의 경심 측정은 로타리 후부커버에 부착한 링크기구에 포텐시오메터(potentiometer)를 연결하여 로타리 후부커버의 승강을 링크의 각운동으로 변환한 후 링크의 각변화를 포텐시오메터에 의해 전기적인 신호로 바꾸는 방법을 사용하였다. 포텐시오메터에는 트랙터 배터리(battery)의 전압변동에 관계없이 일정한 전원을 공급하기 위해 정전압변환기를 사용하였다.

본 연구에서는 변환기 및 센서들에서 나오는 신호를 저장하기 위해 데이터 레코더를 사용하였고, 데이터 레코더에 저장된 자료는 PC에 연결된 A/D 변환 장치와 오실로스코프를 통하여 분석할 수 있도록 하였다. 그림 2는 자료 수집 및 분석 장치의 구성을 나타낸 것이다.

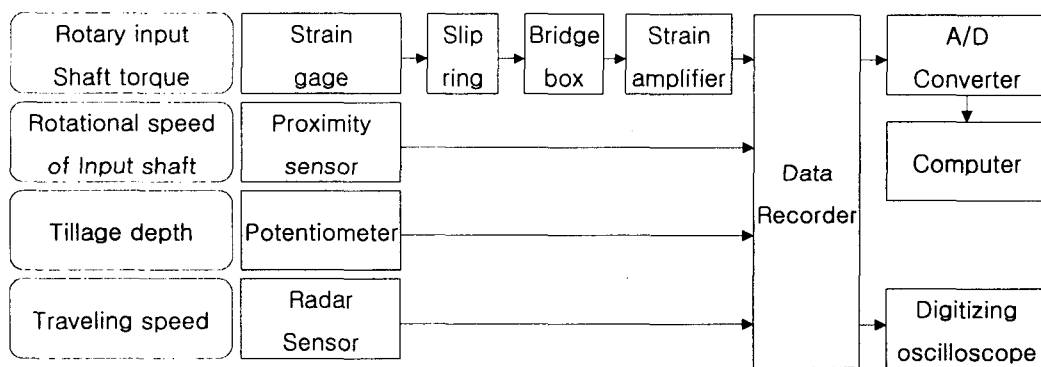


FIG. 2 Block diagram of the data acquisition and analysis system

다. 실험방법

본 연구에서는 트랙터에 로타리를 장착하고 논을 경운하면서 각 장치 및 센서들에서 나오는 신호를 데이터 레코더에 저장하였다. 트랙터의 PTO 회전수는 540rpm과 750rpm의 2수준으로 조절이 가능하였으나 540rpm으로 고정시킨 상태에서 실험하였고, 주행속도는 2수준, 경심은 로타리의 좌우측 하단부에 있는 스키드를 조절하면서 4수준으로 작업하였다. 실험에 사용된 포장은 작업한 포장 전체에 걸쳐 유사한 함수율과 경도를 지닌 것으로 가정하였다.

Table 1. Experimental design

Variable		Level
Rotational speed of rotary shaft(rpm)		194.48
Traveling speed(cm/sec)		V1 = 82, V2 = 98
depth of tillage(cm)	V1	16.8, 18.4, 19.6, 20.8
	V2	16.6, 18.4, 19.8, 21.1

데이터 레코더의 샘플링(sampling) 주파수는 12kHz로 설정하여 8채널(channel)을 동시에

사용할 수 있도록 설정해 놓고 토크 변환기, 근접센서, 광센서, 포텐시오미터, 속도 센서 등에서 출력되는 5가지 신호를 저장할 수 있도록 하였다. 저장된 신호는 각각의 조건별로 임의로 약 2 초에 해당되는 구간 8곳(약16m)이 추출되었고, A/D 변환을 통하여 분석에 이용하였다. 표 1은 실험 조건들을 나타낸 것이다.

3. 결과 및 고찰

가. 경운 피치

경운피치는 다음 식과 같이 계산된다.

$$P = \frac{60V}{ZN}$$

여기서, Z는 플랜지의 한 면에 부착된 경운날의 개수(Z=3)이며, V는

기체의 주행속도(cm/sec), N은 경운축 회전수(rpm)이다. 경운피치는 주행속도 82cm/sec, 98cm/sec에서 각각 8.4cm, 10cm 였다.

나. 로타리의 기구학적 분석

본 연구에 사용된 로타리는 하나의 플랜지에 부착되어 있는 로타리날들이 서로 60°의 간격을 이루고 있고, 플랜지간의 로타리날 부착각도가 15°씩 차이가 난다. 따라서, 로타리축이 1회전할 때 로타리날이 토양 표면과 접촉하는 회수는 24회가 된다. 로타리에는 7개의 플랜지가 있으므로 2개의 플랜지에 부착된 로타리날이 동시에 토양 표면과 3회 접촉한 후 1회는 로타리 중앙의 플랜지에 부착되어 있는 하나의 로타리날이 토양 표면과 접촉한다.

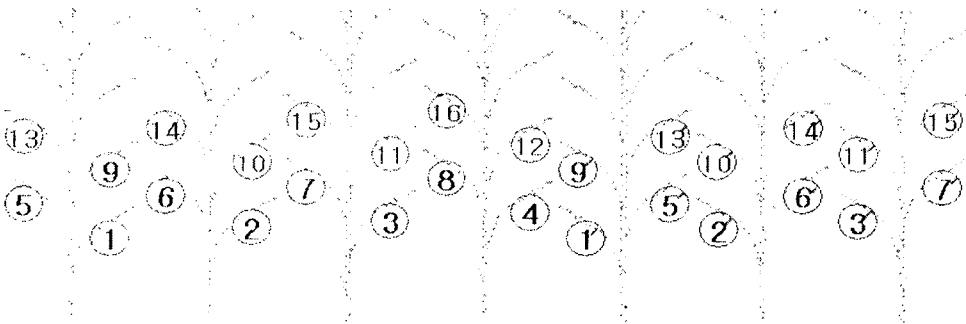


FIG. 3 The pattern and order of rotary blades of cutting soil-surface

그림 3은 로타리날이 토양 표면과 접촉하는 면과 순서를 나타낸 것이다. 로타리날은 처음에 1과1', 2와2', 3과3'의 순서로 각각 두 개의 로타리날들이 동시에 토양 표면과 접촉한 후 중앙의 플랜지에 부착되어 있는 4번 로타리날 하나가 토양 표면과 접촉한다. 이러한 2개의 로타리날이 토양 표면과 3회 접촉한 후 1개의 로타리날이 토양표면과 접촉하는 과정은 5-5', 6-6', 7-7', 8로 계속 반복되고 로타리축의 1회전당 6회가 발생한다.

PTO 축의 회전수가 540 rpm일 때 로타리축의 회전수는 기어의 잇수비에 의해 194rpm이 되고, 로타리축은 1초당 3.2회전을 하게 된다. 따라서, PTO 축의 회전속도를 540rpm이라고 하면 앞의 과정은 1초 동안에는 19회 발생한다.

다. 로타리 경운토크 특성

그림 4는 토크 변환기와 PTO 축에 연결된 근접센서에서 나오는 신호를 그래프로 나타낸 것으로 (a)는 PTO축의 3회전, 로타리축 약 1회전에 해당되는 구간이고, (b)는 1초에 해당되는 구간을 나타낸 것이다. 그림 4(a)에는 6개의 상하점이 나타나 있는데 이것은 로타리의 기구학적 분석에 나타난 로타리축 1회전당 로타리날이 토양표면과 반복하여 접촉하는 회수(6회)와 일치함을 알 수 있다.

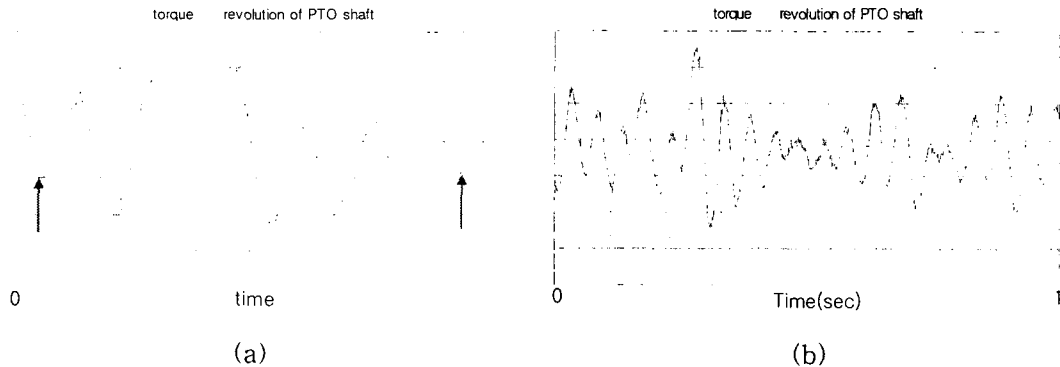


FIG. 4 Torque and revolution signal from torque-meter and proximity sensor

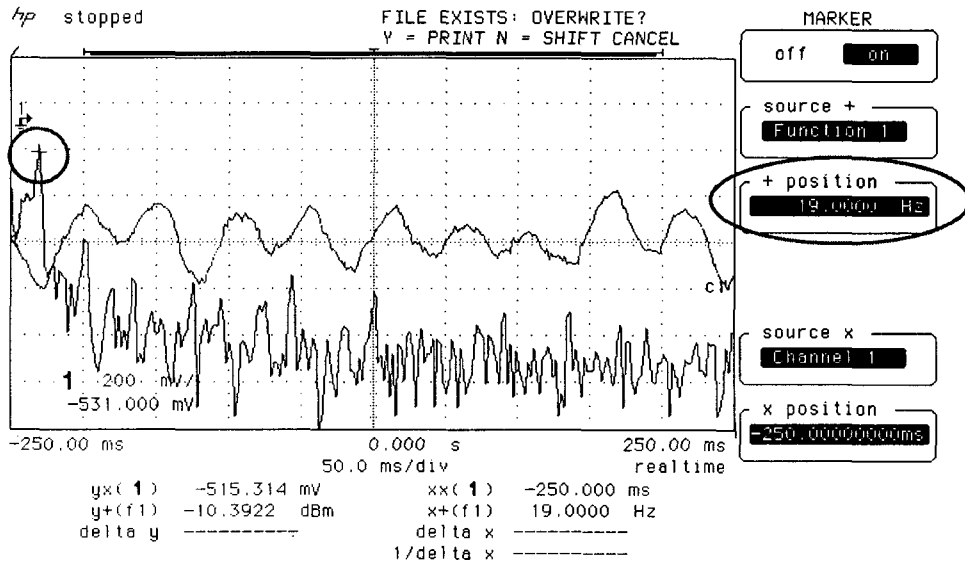


FIG. 5 Torque curve from the torque-meter and the FFT graph

그림 5는 PTO축 회전 속도가 540rpm일 때 토크 출력과 그 FFT 변환 그래프이다. 토크 출력의 FFT 변환 그래프는 19Hz에서 최고점을 나타내고 있는데 이 값은 1초당 로타리날이 토양 표면과 반복하여 접촉하는 회수(19회)와 일치한다.

라. 경심에 따른 경운 토크

로타리의 좌우측면에 있는 스킨드(skid)의 높이를 조절함으로써 경심을 4단계로 변화시킬 수 있다. 트랙터 하중과 로타리 하중에 의해 스킨드 밑면으로부터 로타리날 끝까지의 거리

보다는 더 깊은 경심이 나왔으며, 경심은 토양의 종류 및 경도에 의해서도 크게 좌우되는 것으로 사료되었다. 표 2와 그림 6은 실험결과를 나타낸 것으로 경심이 증가함에 따라 토크도 증가함을 알 수 있다. 또한 주행 속도가 빨라지면 피치가 증가하여 토크도 같이 증가함을 알 수 있다.

Table 2. Torque requirements by depth of tillage

V1		V2	
depth of tillage	power (ps)	depth of tillage	power (ps)
16.8	29.16	16.6	35.65
18.4	32.67	18.4	42.96
19.6	34.68	19.8	44.69
20.8	37.11	21.1	45.33

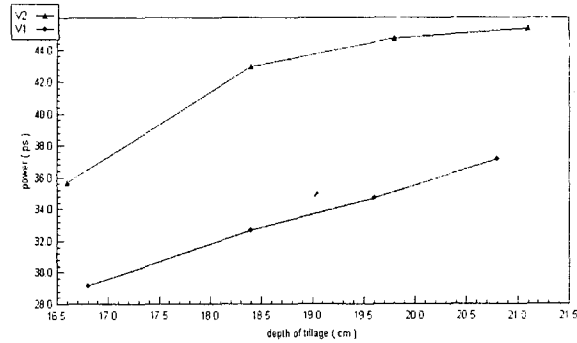


FIG. 6 tilling power varied with depth of tillage

4. 요약 및 결론

기존 로타리의 경운 부하 특성을 분석하기 위한 실험장치를 설계 및 제작하여 포장실험을 하였다. 로타리 경운축의 회전수는 194rpm으로 고정시킨 상태에서 경심은 4수준, 트랙터의 주행속도는 2수준으로 변화시키면서 실험하였고, 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 플랜지에 7개에 부착된 로타리날은 로타리 경운축이 회전함에 따라서 3회는 2개의 로타리날이 동시에 토양 표면과 접촉하고, 1회는 중앙의 플랜지에 있는 로타리날이 토양과 접촉하는 과정이 로타리축의 1회전당 6회, PTO축 회전속도가 540rpm일 때 1초당 19회 발생하였다. 이는 토크 출력 곡선이 로타리축 1회전당 6개의 상하점을 나타내는 것과 토크 출력의 FFT 변환 곡선의 최고점 19Hz와 일치하는 값이다.

2. 경심을 깊게 할수록 소요동력도 증가하였으며, 경운 피치를 키우기 위해 주행속도를 증가시키면 로타리의 소요동력이 증가하였다.

5. 참고문헌

1. I. W. Grevis-James, D. R. DeVoe, P. D. Bloome, D. G. Bachelder, B. W. Lambert. 1983. Microcomputer-Based Data Acquisition for Tractors. TRANSACTIONS of the ASAE 26(3):692-695
2. 金基大. 1986. 트랙터로타리 耕うん部の設計理論研究とCADへの応用, 博士学位論文, 九州大学, 福岡
3. 坂井 純. 2000. 아시아 水田農業の二輪トラクタ工学. (株)新農林社
4. 우종구. 1999. 동력경운기의 고속 로타리 경운시스템 개발에 관한 연구. 박사학위논문, 경상대