

에너지 절감형 트랙터 로타리날 개발 (IV)

- 로타리 커버 흙 부착 방지장치의 개발 -

Development of Energy Saving Rotary Blade for Tractor(IV)

- Development of device of preventing soil adherence for rotary -

김성환* 김기대* 성현석** 이현동* 나건영* 김찬수***

정희원

정희원

정희원

S. H. Kim K. D. Kim H. S. Sung H. D. Lee G. Y. Na C. S. Kim

1. 서 론

우리나라 농용트랙터의 농가보급율은 2000년 현재 13.9%로 약 19만대 정도이며 연간 약 2만대 정도의 농용트랙터가 보급되고 있다. 농작업 중 동력이 가장 크게 소요되는 경운작업은 1차 쟁기작업과 2차 쇄토작업으로 크게 나눌 수 있는데, 근래에는 이것을 동시 작업화하여 작업시간과 에너지 및 경비를 절감할 수 있는 로타리 경운작업만 실시하는 경향으로 발전하고 있다.

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

로타리 경운작업시 작업부에 흙이 부착되면 작업성능에 큰 영향을 미친다. 흙이 부착된 모양을 보면 커버내측, 경운축, 경운날 등에 부착되는데 부착되는 정도가 심할 때에는 세 부분에 부착된 흙이 일체로 되어서 작업성능의 저하는 물론이고, 기체의 주행에까지도 영향을 미친다. 실험적인 관찰에 의하면 흙이 부착되는 부위는 커버내측에서 시작하여, 그 부분에 부착된 흙의 양이 증가에 따라서 다른 부위로 확장된다.

따라서, 본 연구에서는 로타리 경운작업시 흙 부착이 가장 많이 되고 소요동력에 영향을 제일 크게 미치는 로타리 커버내측(상부 및 후부 커버)의 흙 부착을 방지하는 장치를 개발하였으며 구체적인 연구목적은 다음과 같다.

- 1) 로타리 커버 흙 부착 방지장치를 설계·제작하여
- 2) 경운 소요동력 측정을 통한 개발장치의 성능을 시험하고
- 3) 향후 에너지 절감형 트랙터 로타리날 개발의 기초자료로 사용한다.

* 충남대학교 농과대학 농업기계공학과

** (주) 우성정밀공업

*** (주) 엔에스티

2. 재료 및 방법

가. 로타리 커버 흙 부착 방지장치

世良田和寛(1990) 등이 진행한 로타리 경운장치의 흙 부착 방지에 관한 연구에서는 경운장치의 커버에 흙이 부착되는 요인은 커버의 재질, 충돌각도, 충돌속도, 토성, 토양수분 등의 영향을 받는다고 보고되었다.

그리고 흙 분사장치를 설계 및 제작하여 다른 요인은 일정하게 하고 여러가지 재질(철, 테플론, 고밀도 폴리에틸렌, 저밀도 폴리에틸렌 및 수지)의 흙 부착 시험을 진행한 결과 고밀도 폴리에틸렌의 흙 부착율이 제일 적게 나왔다고 보고되었다. 따라서 본 연구에서는 世良田和寛(1990) 등의 연구결과를 이용하여 흙 부착에 인위적으로 영향을 미칠 수 있는 로타리 커버의 재질에 연구의 초점을 두었다.

본 연구에서는 현재 국내에서 가장 많이 보급되어 있는 중형트랙터(40~60PS)에 부착되는 로타리를 대상으로 로타리의 상부커버와 후부 커버 내측에 두께 3mm의 고밀도 폴리에틸렌(hard polyethylene)판을 부착하여 흙과의 접촉면을 철에서 고밀도 폴리에틸렌으로 변화시켰다. 그림 1과 그림 2는 로타리 상부 커버와 후부 커버에 고밀도 폴리에틸렌 판을 부착시킨 모습이다.

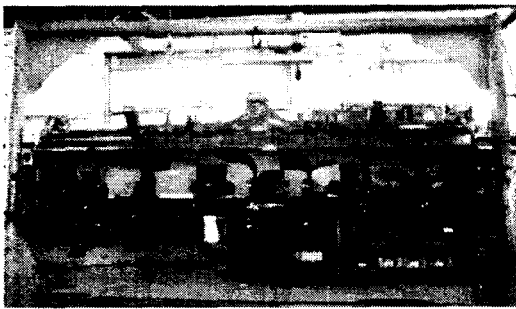


Fig. 1 The photo of rotary tiller for preventing soil adherence

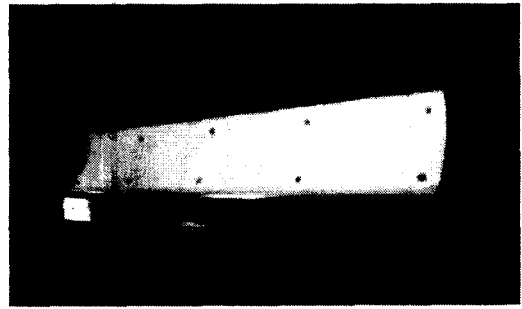


Fig. 2 The photo of device for preventing soil adherence

나. 소요동력 측정장치

개발된 로타리 커버 흙 부착 방지장치의 성능시험을 위하여 흙 부착 방지장치를 부착 설치한 로타리와 설치하지 않은 로타리가 동일한 포장에서 경운작업을 진행할 때 흙 부착이 작업성능에 주는 영향을 판단하기 위하여 소요동력을 측정하여 비교, 분석하여야 할 필요가 있다. 두 로타리의 소요동력을 측정함에 있어서 각각의 로타리 동력입력축에 스트레인 게이지를 부착하여 소요토크를 측정하는 방법이 있는데 이러한 방법은 두 로타리의 경운작업시 소요동력의 비교·분석결과에 오차를 가져온다.

따라서 본 연구에서는 로타리 소요동력을 측정하고 비교·분석할 수 있는 소요동력 측정장치를 개발하여 로타리 커버 흙 부착 방지장치의 성능시험을 실시하였다.

본 연구에서 개발한 로타리 소요동력 측정장치는 트랙터 PTO용 유니버설 조인트, 조인트 축 토크를 측정하기 위한 스트레인 게이지, 스트레인 게이지에서 전기적인 신호를 전달해주는 슬립링(slip ring) 및 조인트 축의 회전속도를 측정하기 위한 근접센서 등으로 구성되었다. 표 1에 로타리 소요동력 측정장치의 재원을 나타내었다.

로타리 경운작업시 소요되는 동력은 트랙터 엔진의 PTO 축에서 유니버설 조인트를 통하

Table 1 The specification of device measuring rotary power requirement

Item	Specification	Model	Manufacturer
Universal joint	Applied power : under 70ps	Single Type	Daechang
Strain gage	Gage factor : 2.15	KFG-2-120-C1-11	KYOWA
Slip ring	Capacity : 4poles	-	Yunghwa ENG
Proximity sensor	Response frequency : 400(Hz)	PR12-4DP	AUTONICS

여 로타리 동력입력축에 전달되는데 이때 경운부하의 작용으로 인하여 유니버설 조인트 축에 토크가 생성된다. 이 토크를 측정하기 위하여 조인트 축의 일부분을 다른 부분보다 가늘게 가공한 후 원주방향으로 90°간격으로 축 방향과 ±45°의 경사로 4개의 스트레인 게이지를 부착하여 휘스톤 브리지(wheatstone bridge) 회로를 구성함으로써 토크변환기를 구성하였다. 스트레인 게이지(strain gauge)에서 나오는 전기적인 신호는 브리지박스(bridge box)와 앰프(amplifier)를 거쳐 증폭시킨 후 데이터 레코더(data recorder)에 저장하였다.

조인트 축의 회전수는 근접센서를 이용하여 전기적인 신호로 바꾸는 방법을 사용하였으며, 센서의 부착위치는 슬립링에의 축과 같이 회전하지 않는 바깥 케이스에 고정시켰다. 그림 3과 4는 개발된 로타리 소요동력 측정장치와 로타리에 실제로 장착을 한 모습을 나타낸 것이다.

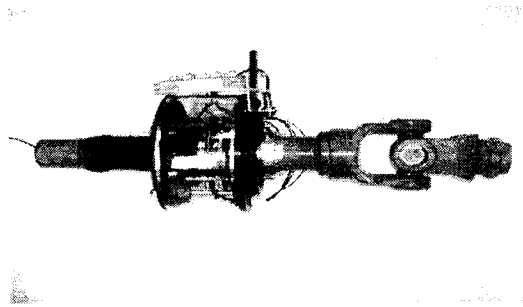


Fig. 3 The device for measuring rotary power requirement

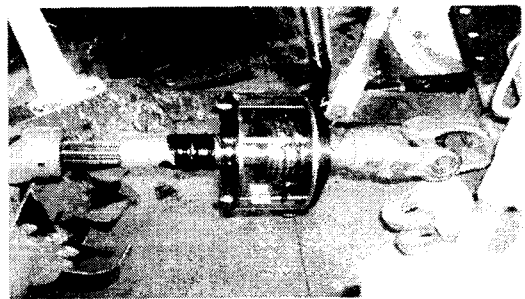


Fig. 4 The photo of device in the experiment

다. 로타리 커버 홈 부착 방지장치의 성능시험

① 공시재료

본 실험에 이용된 포장은 진주시 금산면 所在의 농가의 미경운 상태의 포장이며, 면적은 15,000㎡ (100m×50m)이었다. SR-2형 토양경도계를 이용하여 측정된 포장의 토양경도는 그림 5와 같으며 평균 함수율은 29.39%(d.b.)이었다

트랙터는 국내의 LG사에서 제작된 정격출력 43마력의 중형 트랙터이며, 트랙터에 부착된 로타리는 국내의 LG사에서 제작된 43~50마력의 트랙터에 적용 가능한 사이드 드라이브(side drive) 구동방식의 두 대의 동일한 모델의 로타리로, 로타리 I에는 홈 부착 방지장치가 부착되어 있지 않고 로타리 II에는 홈 부착 방지장치가 부착되

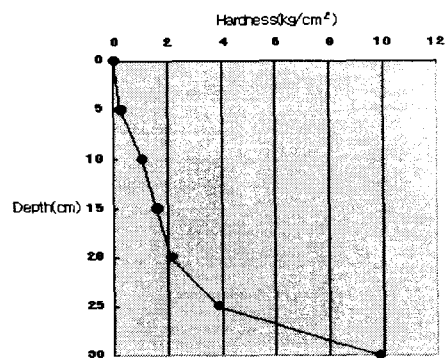


Fig. 5 Variation of cone indexes with the dept of soil

어 있다. 로타리 경운축에는 로타리날을 부착시키기 위한 7개의 플랜지가 달려있다. 하나의 플랜지에는 6개의 로타리날을 부착할 수 있도록 되어 있으며 근접한 플랜지간에 부착된 로타리 날은 15°간격을 이루고 있다. 로타리 플랜지에 부착된 로타리 날은 국내의 G사에서 제작된 C형 날이다.

본 연구에서는 흙 부착장치 성능시험시 토크변환기 및 센서에서 나오는 전기적인 신호를 저장하기 위하여 데이터 레코더를 사용하였고, 데이터 레코더에 저장된 자료를 PC를 통하여 분석하였다. 그림 6은 자료 수집 및 분석 장치의 구성을 나타낸 것이다.

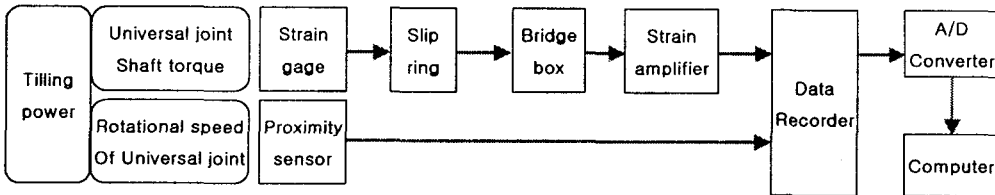


Fig. 6 Block diagram of the data acquisition and analysis system

② 실험방법

본 연구에서는 로타리 커버 흙 부착 방지장치를 설치하지 않은 로타리 I 과 설치한 로타리 II를 순서별로 트랙터에 장착하고 경심(10cm), 주행속도(0.83m/s) 등을 동일하게 유지하면서 포장에서 경운작업을 진행하였다. 경운작업 진행 경로는 그림 7에 나타낸 것과 같다. 흙 부착 방지장치의 효과를 확인하기 위하여 경운작업시의 소요동력을 측정하였고, 소요동력 측정은 로타리 커버에 흙이 부착되어 소요동력에 영향을 미치려면 부착된 흙의 양이 일정한 정도에 이르러야만 영향을 미치기 때문에 포장의 절반면적을 경운한 다음부터 시작하였다.

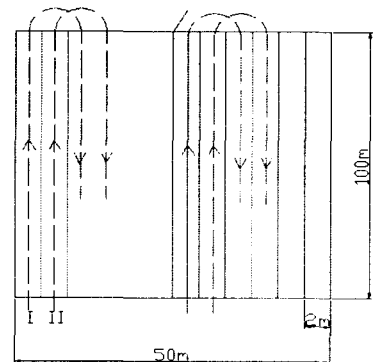


Fig. 7 The pass of tractor working



Fig. 8 The photo of system calibration

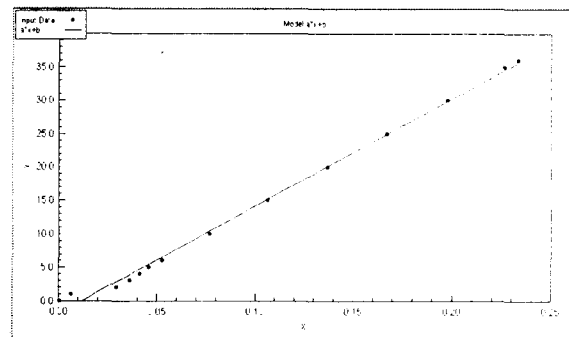


Fig. 9 Calibration curve of torque meter

Regression equation	R ²
Y = 160.65*X - 1.89	0.9955

3. 결과 및 고찰

가. 소요동력 측정장치 측도설정 결과

소요동력 측정장치의 측도설정은 유니버설 조인트를 수평으로 고정시킨 다음 토크암을 걸고 추를 증감시키는 형식으로 하였다. 그림 8은 측도설정 모습이며, 그림 9는 측도설정 결과를 나타낸 것이다.

나. 로타리 커버 홈 부착 방지장치의 성능시험 결과

포장에서 로타리 I 과 II로 경운작업을 실시하면서 소요동력을 측정할 때 데이터 레코더의 샘플링 주파수는 12kHz로 설정해 놓고 토크 변환기, 근접센서에서 나오는 신호를 저장하였다. 저장된 신호는 로타리 축 10바퀴(약 3.5초)에 해당하는 구간 7곳(약20m)의 데이터를 임의로 선정하여 이를 분석하였다. 그림 10은 본 시험에서 측정된 데이터를 그래프로 나타낸 것이며, 표 3과 그림 11은 로타리 I 과 II의 소요동력 측정 결과를 나타낸 것이다.

표 3에서 나타낸 것과 같이 전체포장에서 로타리 I의 최대 소요동력은 32.926(PS)이었으며, 최소 소요동력은 25.599(PS)이었으며, 평균 소요동력은 29.177(PS)이었다. 로타리 II의 최대 소요동력은 29.659(PS)이었으며, 최소 소요동력은 18.936(PS)이었으며, 평균 소요동력은 25.608(PS)이었다. 그림 3에서 나타난 것과 같이 로타리 I 과 II로 경운작업시 처음에는 소요동력 차이가 거의나지 않다가 점차적으로 그 차이가 커졌으며,포장 전체에서 로타리 II가 로타리 I에 비하여 평균 소요동력이 12.2% 적게 나타났다. 95% 신뢰도의 T-test 분석결과 t분포에서 $t_0=0.1441$ 로 나와 두 값이 상관관계가 없는 것으로 나타났다. 즉 홈 부착 방지장치의 효과가 있는 것으로 나타났다. 그림 12에서 나타낸 것과 같이 포장성능 시험 후 로타리 II의 커버에 흙이 거의 부착되지 않은 것을 볼 수 있다.

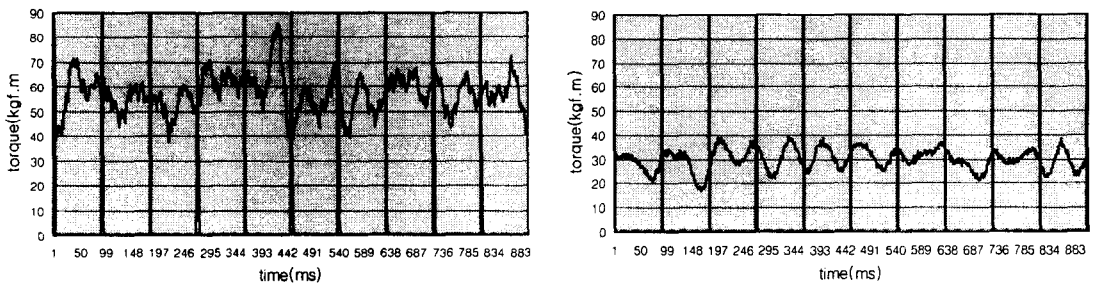


Fig. 10 Torque and revolution signal from torque meter and proximity sensor
(a) Rotary I, (b) Rotary II

Table 3 The result of rotary power requirement

(a) Rotary I				(b) Rotary II			
Sample No.	RPM	TORQUE(kgf.m)	PS	Sample No.	RPM	TORQUE(kgf.m)	PS
1	627.7	27.253	25.599	1	672.3	20.171	25.810
2	669.3	29.681	27.737	2	665.7	29.182	27.124
3	670.7	29.251	27.394	3	667.7	27.374	25.520
4	671.7	28.359	26.598	4	668.5	24.788	23.137
5	669.1	33.756	31.536	5	664.1	31.986	29.659
6	667.1	35.351	32.926	6	665.3	31.297	29.072
7	668.1	34.787	32.451	7	668.1	27.669	18.936
Maximum	672.7	35.351	32.926	Maximum	672.3	31.986	29.659
Minimum	667.1	27.253	25.599	Minimum	664.1	20.171	18.936
Average	669.8	31.227	29.177	Average	667.4	27.180	25.608
S.D.	2.014	3.326	3.029	S.D.	2.725	4.051	3.683

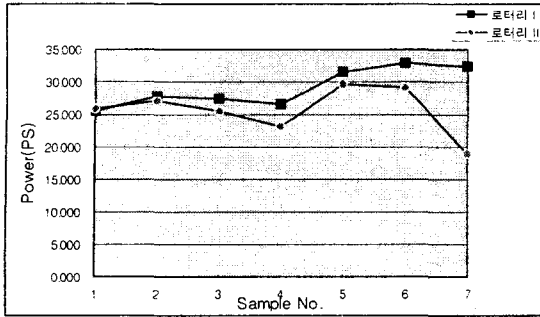


Fig. 11 The result of power requirement of rotary tilling



Fig. 12 The photo of rotary tiller after performance test

4. 요약 및 결론

트랙터 로타리 경운작업시 상부 및 후부 커버에 흙이 부착되어 경운 소요동력을 증가시키는 것을 방지하기 위하여 흙 부착 방지장치를 개발하였으며, 성능시험시 소요동력 측정을 위하여 로타리 소요동력 측정장치를 개발하였으며, 개발된 소요동력 측정장치를 이용하여 성능시험을 실시하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 로타리 경운작업시 상부 및 후부 커버에 흙이 부착되어 경운작업의 소요동력 증가를 방지하기 위하여 3mm 두께의 고밀도 폴리에틸렌 판을 부착시켰다.
- 2) 개발된 로타리 커버 흙 부착 방지장치의 성능시험을 실시하기 위하여 범용적인 로타리 소요동력 측정장치를 개발하였다.
- 3) 개발된 로타리 커버 흙 부착 방지장치 성능시험 결과 전체포장에서 경운작업을 실시할 때 평균 소요동력은 25.608(PS)이었으며, 흙 부착 방지장치를 설치하지 않은 로타리에 비해서 소요동력이 12.2% 적게 소요되었다.

위에서 나타난 결과에 의해 로타리 II가 전체포장에서 로타리 I보다 평균 소요동력이 적게 나타난 것은 상부 및 후부 커버에 흙이 매우 적게 부착되어 흙과 로타리 날의 마찰현상이 존재하지 않음으로 인해서 나타난 결과라고 사료되었으며, 개발된 흙 부착 방지장치의 효과가 있는 것으로 나타났다.

5. 참고문헌

1. 김성래, 김기대. 1988. 기계 이양답의 쇠퇴 정지용 로우터리 날의 개발. 과학재단 연구보고서
2. 서동현외 5인. 2001. 에너지 절감형 트랙터 로타리날 개발(I) -논의 2차 로타리 경운부하 특성-. 한국농업기계학회 하계학술대회 논문집6(2) : 79-84
3. 이현동외 5인. 2002. 에너지 절감형 트랙터 로타리날 개발(III) -로타리날의 운동분석-. 한국농업기계학회 동계학술대회 논문집7(1) : 3-8
4. 世良田和寛외 2인. 1986. 로타리耕うん装置への土壤附着に關する研究(第1報)*. 日本農業機械學會誌 47(4) : 493-498
5. 世良田和寛외 2인. 1990. 로타리耕うん装置への土壤附着に關する研究(第2報)*. 日本農業機械學會誌 52(5) : 35-41