

에너지 절감형 트랙터 로타리날 개발 (Ⅲ)

- 로타리날의 운동분석 -

Development of energy saving rotary blade for tractor (Ⅲ)

- Motion analysis of rotary blade -

이현동*	김기대*	박우풍**	김찬수***	서일환*	오종진*
정회원	정회원	정회원	정회원	정회원	
H. D. Lee	K. D. Kim	W. P. Park	C. S. Kim	I. H. Seo	J. J. Oh

1. 서론

우리나라의 농용트랙터의 농가 보급율은 1999년 현재 12.7%로 약 18만대 정도이며, 연간 약 2만대 정도의 트랙터가 보급되고 있다. 농작업중 노동력이 가장 크게 소요되는 경운작업은 플라우(plow)경운과 로타리(rotary)경운으로 나눌 수 있는데, 최근에는 로타리를 이용한 경운으로 대체되고 있는 실정이다.

그러나 우리나라에서 현재 시판되거나 개발된 로타리날은 1970년대 외국에서 들여온 모델을 조금씩 변형해서 사용하고 있어 우리나라 토양 조건 및 농업형태와 상당한 거리를 두고 있는 실정이다. 트랙터 로타리 경운 작업시 작업형태 및 토양조건에 따라 소요되는 소요동력의 차가 다소 있겠지만, 근본적으로 우리 토양, 특히 수답에 적합한 트랙터용 로타리날이 아직까지 개발되어 있지 못하는 상태이다.

로타리날의 경우, 가장 중요하다고 판단되는 것이 토양에 작용하는 로타리날의 운동 특성이라 사료된다. 즉, 토양에 작용하는 운동특성에 따라 소요 에너지의 크고 작음이 나타나게된다. 로타리날의 형상에 따른 로타리날이 토양에 닿는 순서와 로타리날 배면이 토양에 닿는 임계 각 값, 그리고 로타리날 선단면과 토양과의 접촉여부가 로타리 경운 작업시 소요동력을 결정하게 된다.

본 연구는 트랙터용 로타리날의 운동특성을 분석하는 연구로서, 로타리날 운동특성 분석장치를 이용하여 기존에 국내에서 사용되는 로타리날로 경운 작업을 할 경우, 로타리날의 운동 및 형상, 구조에 따른 운동특성을 정밀 분석하는데 목적이 있다. 본 연구를 통하여 분석된 문제점 및 보완점을 앞으로 개발될 에너지 절감형 트랙터 로타리날 개발에 필요한 주요 인자를 결정하기 위한 수단으로 사용하는 데 목적이 있으며, 그 구체적인 연구 목적은 다음과 같다.

- 1) 로타리날의 운동특성을 분석할 수 있는 로타리날 운동특성 분석 시스템을 설계, 제작한다.
- 2) 분석 시스템 제어용 프로그램을 개발한다.
- 3) 국내 로타리날 제조회사 4곳 및 외국 1개사 제품의 로타리날의 운동특성을 분석한다.
- 4) 분석된 문제점 및 보완점을 참고하여 앞으로 개발될 에너지 절감형 트랙터 로타리날 개발에 필요한 주요 인자를 결정한다.

* 충남대학교 농업생명과학대학 농업기계공학과

** 농촌진흥청 농업기계화연구소

*** (주) 엔에스티

2. 재료 및 방법

가. 공시재료

본 실험에 사용한 로타리날은 우리나라의 대표적인 로타리날 회사 4곳과 외국기업 1개사의 제품 중 트랙터 50~60마력용 C형 로타리날을 무작위로 선정하여 실험에 사용하였다. 또한 실험용 인공 토조는 800mm×300mm×200mm의 간이 토조를 제작하여 사용하였으며, 인공 토양은 중량비 42.31%의 벤토나이트, 44.19%의 모래 및 13.50%의 SAE 10W 윤활유로 제조하여 실험에 사용하였다.³⁾

나. 하드웨어 설계

본 연구에서 개발한 트랙터 로타리날 운동특성 분석장치는 미세 제어를 하기 위하여 트랙터 진행방향으로의 진행과 로타리날 회전을 할 수 있도록 각각의 축에 서보모터를 장착하여 로타리 작업과 같은 형태로 미세하게 구동할 수 있게 하였다. 그림 1은 로타리날 운동특성 분석 시스템의 구성도를 나타낸 것이고, 그림 2는 운동특성 분석을 하는 모습을 나타낸 것이다. 표 1에는 시스템의 제원을 나타내었다.

① 트랙터 진행방향 구동부

본 연구에서 연구·개발된 로타리날 운동특성 분석 시스템의 한 구동부인 트랙터 진행방향의 구동은 (주)인컴기술사의 고하중용 액츄에이터를 사용하였다. 이 액츄에이터는 전체 스트로크가 1,300mm이며, 모터의 회전운동을 직선왕복운동으로 변환시키는 볼 스크류의 피치는 5mm이다. 상하좌우의 큰 하중 및 모멘트에 견딜 수 있도록 직선왕복부가 설계되었으며 구동 모터로는 PATASONIC社의 200W AC servo motor를 사용하였다. 그림 3은 실험에 사용된 고하중용 액츄에이터를 나타낸 것이다.

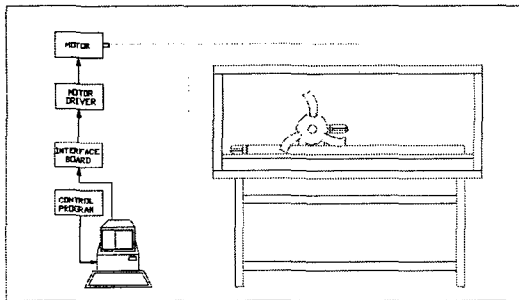


Fig. 1. Schematic diagram of system for analyzing revolution motion characteristics of rotary blade

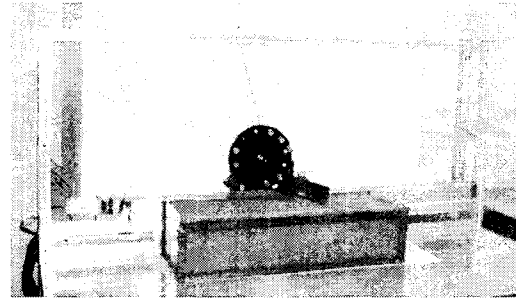


Fig. 2. Photo of system for analyzing revolution motion characteristics of rotary blade

Table 1. Specification of the system for analyzing revolution motion characteristics of rotary blade

Item	Specification	Maker	Model
Servo Motor	200W, 100V, 400W, 100V,	PANASONIC	MSMO21A1A MSMO41A1E
Motor Driver	200W, 100V, 50/60Hz 400W, 100V, 50/60Hz	PANASONIC	MSDO21A1X MSDO41A1X
Motor Interface Board	2 axes control I/O 8 channels	CONTEC	STP-2M(PC)
Actuator	1,300 stroke	INCOM	SJK051300
Speed reducer.	reducing ratio : 1/15 0.4KW	PYUNGGJUNG	2SCA
PC	Pentium II	IBM	-

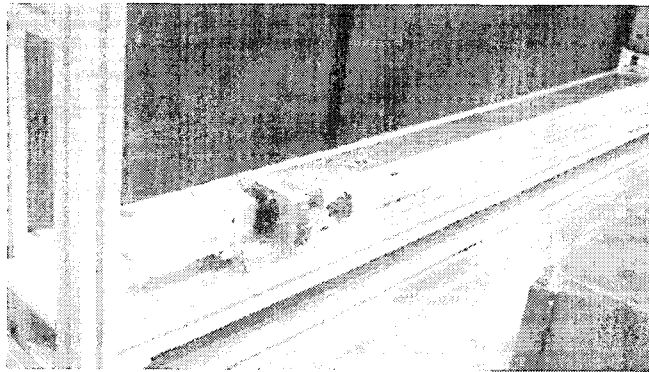


Fig. 3. Photo of actuator used by tractor forward direction axis

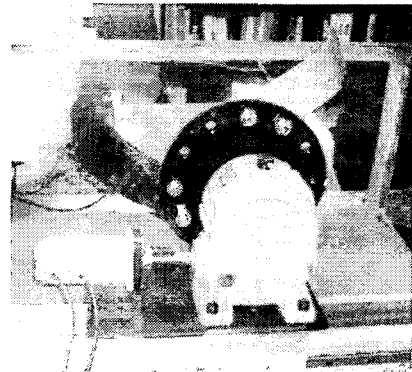


Fig. 4. Photo of revolution motion part of rotary blades

② 로타리날 회전구동부

로타리날 회전구동부로는 모터의 회전축을 90°로 변환할 수 있고, 모터의 회전속도를 1/15의 감속비로 감속할 수 있는 일본 平井減速機製作所 제품의 400W 워엄감속기를 사용하였는데, 이는 모터의 힘으로 인공토양을 절단하고 플랜지와 로타리날을 구동하기엔 무리가 있다고 사료되었기에 워엄감속기를 사용하였다. 워엄감속기 구동용 모터는 PATASONIC社의 400W AC servo motor를 사용하였다. 플랜지는 국내 J社에서 시판하고 있는 플랜지형 로타리의 플랜지와 동일하게 가공하여 워엄감속기 축에 장착될 수 있도록 하였고, 로타리날을 장착할 수 있도록 역시 J社의 플랜지와 동일하게 제작하여 실험에 사용하였다. 그림 4는 로타리날 회전구동부를 나타낸 것이다.

다. 소프트웨어 설계

본 연구에서 개발된 로타리날 운동특성 분석 시스템의 구동용 프로그램은 Visual Basic 6.0 프로그래밍 언어가 사용되었다. 로타리날의 회전속도에 대한 트랙터 전진속도의 비인 λ 값 (Eq.(1))을 변화시키면서 인공토양을 절단하며 운동특성을 분석할 수 있도록 하였다. 미리 계측한 최대 회전 반경과 로타리날의 회전속도, 트랙터 전진속도 등을 설정하여 λ 값에 따른 각 로타리날의 운동특성을 분석할 수 있게 하였다. 그림 5는 로타리날 운동특성 분석시스템 구동 프로그램을 나타낸 것이다.

$$\lambda = \frac{U}{V} = \frac{R\omega}{V} \dots \text{Eq.(1)}$$

where, R = rotor radius
 ω = rotational velocity of rotor
 V = machine forward velocity

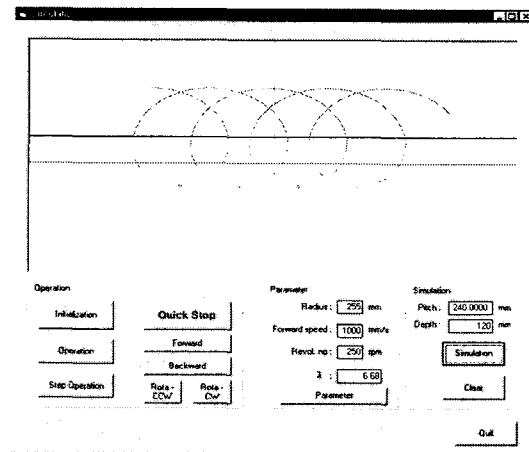


Fig. 5. The main window of control program of system for analyzing revolution motion characteristics of rotary blade

라. 시스템 성능실험

본 연구에서 개발된 로타리날 운동특성 분석시스템은 컴퓨터의 제어에 의해 모든 동작과 계측이 이루어진다. 따라서 컴퓨터 제어 프로그램에 의해 시스템이 정확히 작동되는지를 주안점으로 삼아 시스템 성능실험을 실시하였다.

마. 로타리날 운동특성 분석

로타리날의 운동특성 분석은 로타리날의 회전속도에 대한 트랙터 전진속도의 비인 λ 값에 따라, 각 제조회사별 로타리날이 인공토양과 접촉하면서 일어나는 현상을 분석하였다. 각 제조회사별 로타리날의 3차원 배면(flank) 좌표를 얻어, 운동특성 분석 결과와의 비교 분석을 통하여 로타리날 설계 인자의 문제점 및 보완점을 찾았으며, 그에 따른 트랙터용 로타리날 개발 방향을 설정하였다. 그림 6에서 운동특성 분석을 하고 있는 모습을 보여주고 있다.

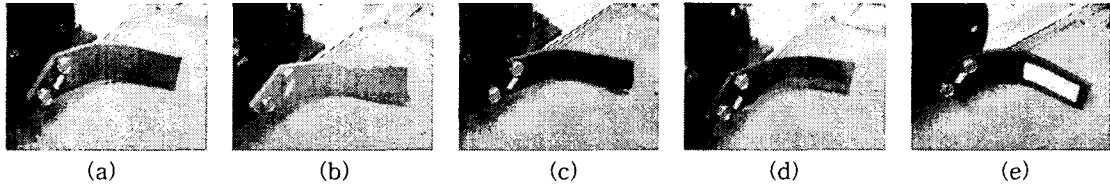


Fig. 6. Photo of testing for analyzing motion characteristics
(a) A maker, (b) B maker, (c) C maker, (d) D maker
(e) E maker(other country)

3. 결과 및 고찰

가. 시스템 성능실험 결과

본 연구에서 개발된 로타리날 운동특성 분석시스템의 성능시험은 로타리날의 회전속도에 대한 트랙터 전진속도의 비인 λ 값의 변화에 따른 시스템의 동작시험을 회전속도를 측정할 수 있는 타코메타를 사용하여 시스템의 정확도를 측정하였다. 본 실험에 사용된 타코메타는 일본 YEW社의 pocket tachometer를 사용하였으며, 이 계측기의 측정오차는 측정범위의 0.01%이었다. 구동 프로그램에 의해 구동되는 모터의 회전속도를 측정하여 전진속도로 환산하여 분석하였다. 또한 로타리날 회전부의 모터 또한 동일한 방법으로 회전수를 측정하여 실험하였다. 실험결과 측정범위 내에서는 오차가 없었으며, 회전속도 및 이동거리가 제어상 거리와 일치하였다.

나. 로타리날 운동특성 분석 결과

본 연구에서는 각 로타리날 제작회사의 로타리날 배면의 3차원 입체좌표를 획득하여 로타리날에 의한 토양 경운시 로타리날의 도선(cutting edge) 부분이 토양에 접할 때의 투영 형상 및 위치를 판단하였으며, 실질 실험과의 차이점을 분석하였다. 그림 7 및 표 2에 각 로타리날의 설계인자를 나타내었다. 그림 8은 로타리날 회전시의 형상을 3차원 이미지 투영 프로그램으로 확인하고 있는 모습의 예이며, 그림 9은 로타리날의 회전시 날이 토양에 접하는 형상을 분석하는 모습의 예이다. 그림 9에 의해 입력된 도선 좌표의 예를 그림 10에 나타내었다. 시뮬레이션의 결과 및 로타리날 운동특성 분석의 결과를 표 3, 4에 나타내었다.

먼저, 그림 11과 표 3에서 살펴보면, 플렌지 센터와 토양 표면과의 거리가 120~150mm일때 A, D maker의 제품은 ① 및 ②부분에서 토양에 닿기 시작하였으며, B, C maker와 국외 제작회사의 E maker의 제품은 ② 및 ③ 부분에서 토양과 접촉하기 시작했다. 또한, 표 4에서와 같이 로타리날의 회전속도에 대한 트랙터 전진속도의 비인 λ 값(Eq.(1))을 변화시키면서 토양을 절단하는 분석을 실시한 결과로 로타리날 배면이 토양에 닿는 임계 λ 값을 찾아내었으며, 이는 로타리날 경운 작업시 고려되어야 할 중요한 사항이라 사료된다.

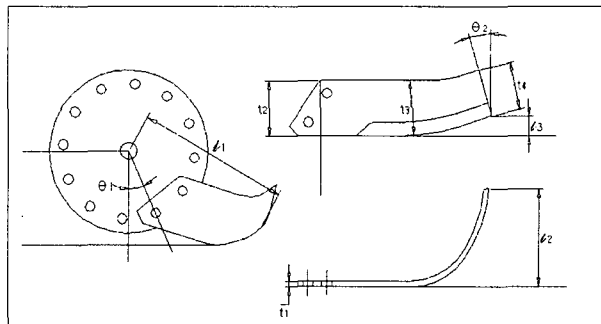


Fig. 7. Schematic diagram of design parameter of rotary blade

Table 2. The design parameter of rotary blade

	$\theta 1$ ($^{\circ}$)	$\theta 2$ ($^{\circ}$)	$\iota 1$ (mm)	$\iota 2$ (mm)	$\iota 3$ (mm)	t1 (mm)	t2 (mm)	t3 (mm)	t4 (mm)
A maker	21.5	1.06	250	135	20	8.2	69.5	73.5	66.6
B maker	21.2	18.05	245	161	43	8.3	69.5	71	71
C maker	21.4	6.52	255	136	42	8	69.5	71	66.5
D maker	21.3	-0.95	260	133	27	8.2	69.5	71	71.5
E maker	21.4	1.41	245	134	46	7	69.5	68	68

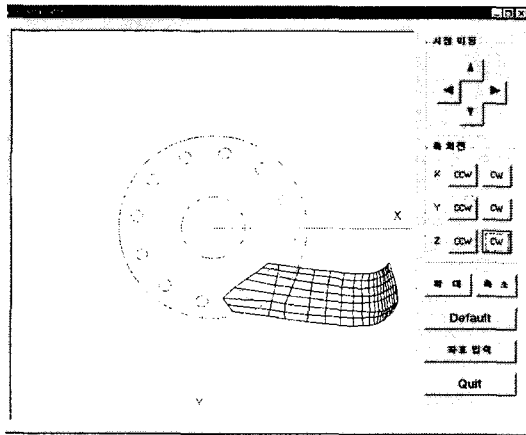


Fig. 8. 3D simulation of revolution of rotary blade

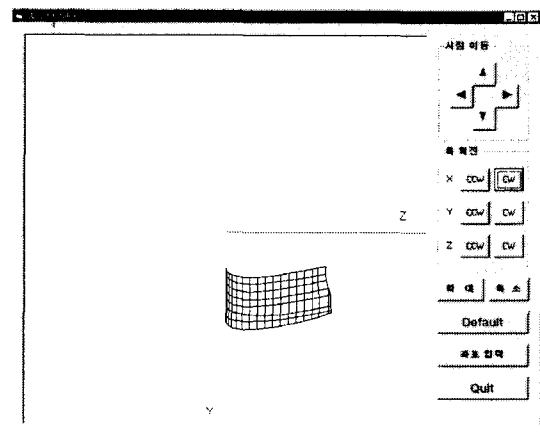


Fig. 9. Analyzing of rotary blade coordinates according to revolution angle

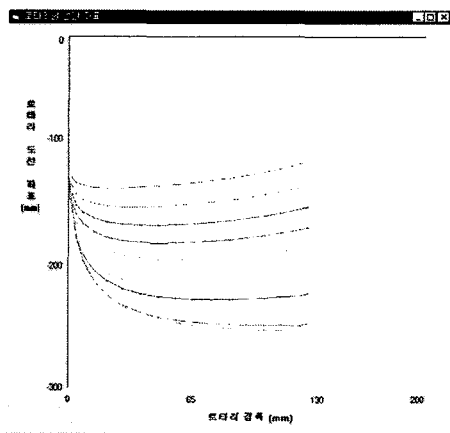


Fig. 10. The result of rotary blade coordinates according to revolution angle

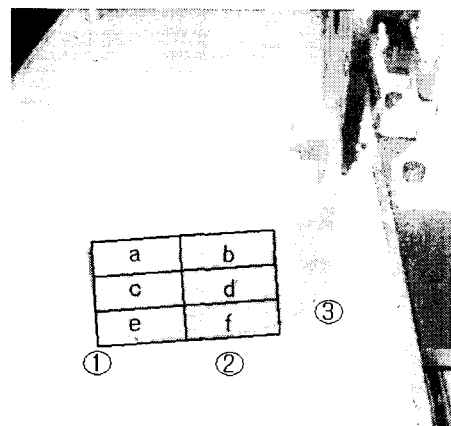


Fig. 11. Schematic diagram of C type rotary blade

Table 3. The position of rotary blade contacted with soil according to tilling depth

D.F.S (mm)	A maker	B maker	C maker	D maker	E maker
120	②	③	③	②	③
130	②	③	③	②	③
140	①-②	②-③	②-③	①-②	②-③
150	①-②	②	②	①-②	②

※ D.F.S = distance from flange center to soil surface
cf. Fig. 11

Table 4. The result of analyzing revolution motion characteristics of rotary blade

Item	A maker	B maker	C maker	D maker	E maker
critical λ	3.32	5.24	3.84	3.14	3.32
position contacted with soil	c-e	e	e	e-f	e
End Line contacted with soil	false	false	false	true	false

※ distance from flange center to soil surface = 13.5mm
cf. Fig. 11

또한 임계 λ 값 이하에서 배면이 토양에 닿는 부위를 찾아내었고, 로타리 경운 작업시 단면(end line)과 토양과의 접촉여부를 관찰한 결과 대부분의 제품이 토양과 접촉이 없었으나, D maker 제품이 토양과 접촉하는 것으로 관찰되었다. 이는 또한 설계인자 자료에서 $\theta 2$ 값이 (-)값이 나온 것과 일치한다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 트랙터용 로타리날의 운동특성을 분석하는 연구로서, 로타리날의 운동특성 분석장치를 이용하여 기존에 국내에서 사용되는 로타리날로 경운 작업을 할 경우, 로타리날 운동 및 형상, 구조에 따른 운동특성을 정밀 분석하였다. 본 연구에서 분석된 문제점 및 보완점을 앞으로 개발될 에너지 절감형 트랙터 로타리날 개발에 필요한 주요 인자를 결정하기 위한 수단으로 사용하는 데 목적이 있으며, 그 구체적인 연구 결과는 다음과 같다.

- (1) 로타리날의 운동특성을 분석할 수 있는 로타리날 운동특성 분석 시스템을 설계, 제작하였다.
- (2) 분석 시스템 제어용 프로그램 Visual Basic 6.0 프로그래밍 언어를 사용하여 개발하였다.
- (3) 국내 로타리날 제조회사 4곳 및 외국 1개사 제품의 운동특성을 분석한 결과, B, C, E maker 제품이 로타리 경운 작업에 적합한 것으로 분석되었다.
- (4) B, C, E maker 제품에서 살펴보면, 토양을 절단할 때의 경심별 위치를 ③부분이 되도록 해야하며, 단면이 확실하게 닿지 않도록 단면의 경우 B maker 형상을 따라야 한다. 또한 배면이 토양에 닿는 부위가 적어야 한다.

5. 참고문헌

1. 김기대. 1986. 트랙터 로타리 경운부의 설계이론 연구와 그 CAD에의 응용. 일본구주대학 박사학위논문
2. 김기대, 허윤근, 김만수, 김성래. 1978. 경운실험을 위한 인공토양의 물리적 특성에 관한 연구. 충남대학교 농업과학연구지 Vol.5(2) : 127-135
3. 김성래. 1988. 기계 이양담의 쇠퇴 정지용 로우터리 날의 개발. 과학재단 연구보고서
4. 최규홍, 류관희. 1984. 로우터리 경운의 부하특성 및 소요동력에 관한 연구. 한국농업기계학회지. Vol.9(2) : 27-36
5. Hendrick, J. G. and W. R. Gill. 1971. Rotary tiller design parameters part III - Ratio of peripheral and forward velocities. Transaction of the ASAE : 679-683
6. Hendrick, J. G. and W. R. Gill. 1974. Rotary tiller design parameters part IV - Blade clearance angle. Transaction of the ASAE : 4-7
7. Hendrick, J. G. and W. R. Gill. 1978. Rotary tiller design parameters part V - Kinematics. Transaction of the ASAE : 658-660
8. Masaki M. 1961. Fundamental studies on the rotary cultivation. Bul. of the Yamagata Univ. Agri.Sci. Vol.(3)4