

기존 트랙터 로터리날의 운동분석

이현동¹ · 김기대² · 김찬수¹ · 김성환³

Motion Analysis of Conventional Rotary Blades

Lee, Hyun-Dong¹ · Kim, Ki-Dae² · Kim, Chan-Soo¹ · Kim, Sung-Hwan³

ABSTRACT

In this study, motion characteristics and power requirement of rotary tilling according to shape of conventional rotary blade were measured. This study was performed to establish factors which needed to develop energy saving rotary blade. Starting point of edged curve of imported rotary blade was faster than that of domestic rotary blade after measuring and analyzing edged curve of rotary blade. So domestic rotary blade tills much soil than imported rotary blade. In analyzing motion of rotary blade, Rotary blade of A, D type was begun to contact at part 3. Analyzing back surface of rotary blade which contact to soil at critical λ results in contacting at e-f part. In measuring power requirement of rotary blade, specific torque and specific work of rotary blade are 160~170 kgf · m/m², 3,700 kgf · m/m³. It shows power requirement of rotary blade according to shape of rotary blade are very different.

Keywords : motion characteristics, power requirement, critical λ , rotary blade, rotary tilling

¹ 충남대학교 농업과학연구소(Institute of Agricultural Science & Technology, Chungnam Nat'l Univ., Daejeon 305-764, Korea)

² 충남대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부(Division of Bio Resources Engineering, College of Agriculture and Life Sciences, Chungnam Nat'l Univ., Daejeon 305-764, Korea)

³ 충남대학교 대학원 생물자원공학부(Division of Bio Resources Engineering, Graduate School, Chungnam Nat'l Univ., Daejeon 305-764, Korea)

교신저자 : 김기대(E-mail : kdkim@cnu.ac.kr, Tel : 042-821-6716)

I. 서 론

'00년도 기준 경운정지작업의 기계화율은 평균 98.5%에 이르고 있고 그중 트랙터의 이용비율이 약 73%에 이르는 것으로 조사되고 있다. 트랙터를 이용한 농작업 중 동력이 가장 크게 소요되는 작업이 노지 경운작업이다. 노지 경운작업은 1차 쟁기작업과 2차 쇄토작업으로 나눌 수 있다. 근래에는 생력화를 기하기 위하여 작업시간과 에너지 및 경비를 절감하고자 로터리 경운작업만 실시하는 경향으로 발전하고 있다.

경운작업시 경운 소요동력에 영향을 미치는 인자중의 하나가 토양에 작용하는 로터리날의 형상이며 그 형상에 따라 토양에 작용하는 로터리날의 운동 특성이 다르게 나타난다(김, 1988). 즉, 토양에 작용하는 운동특성에 따라 경운 소요에너지의 크고 작음이 나타나게 된다. 로터리날의 형상에 따른 로터리날이 토양에 닿는 순서와 로터리날 배면이 토양에 닿는 임계 λ 값, 그리고 로터리날 선단면과 토양과의 접촉여부가 로터리 경운 작업시 소요동력을 결정하게 된다(Hendrick, 1971).

따라서, 본 연구는 트랙터용 로터리날의 운동 특성을 분석하는 연구로서, 로터리날 운동특성 분석장치를 이용하여 현재 국내에서 사용되고 있는 로터리날의 경운작업시 분석할 수 있는 로터리날의 운동 및 형상, 구조에 따른 운동특성을 정밀 분석하고자 하였으며, 각 로터리날의 형상에 따른 경운 소요동력을 측정하여 에너지절감형 트랙터 로터리날의 개발에 필요한 인자를 설정하고자 본 연구를 수행하였다.

II. 재료 및 방법

2.1 공시재료

본 시험에 사용한 로터리날은 우리나라의 대표적인 로터리날 제조사 4개사의 제품 중 50~60마력급 트랙터에 사용되는 C형 로터리날 중 취구부 구멍 간격이 51mm인 로터리날을 무작위로 선정하여 시험에 사용하였다. 또한 로터리날 운동분석 시험용 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 시험에 사용하였다(김 등, 1978).

2.2 로터리날의 형태분석

본 시험에서는 우리나라의 대표적인 로터리날 회사 4곳과 외국기업 1개사의 로터리날을 기하학적으로 분석하였으며, 로터리날 각부의 치수를 측정·분석하였고, 기하학적 형태를 분석하였다. 치수 측정은 1/100 정밀도의 디지털 버니어캘리퍼스 및 하이트 게이지(height gauge)를 이용하였으며 각 로터리날 도연선의 좌표를 실측하여 비교 분석하였다.

2.3 로터리날의 운동분석

① 하드웨어 설계

본 연구에서 개발한 트랙터 로터리날 운동특성 분석장치는 미세 제어를 하기 위하여 트랙터 진행방향으로의 진행과 로터리날 회전을 할 수 있도록 각각의 축에 서보모터를 장착하여 로터리

작업과 같은 형태로 미세하게 구동할 수 있게 하였다. Fig. 1은 로터리날 운동특성 분석 시스템의 구성도, 그림 2는 운동특성 분석을 하는 모습, 그리고 Table 1에는 시스템의 제원을 나타내었다.

로터리날 운동특성 분석 시스템의 한 구동부인 트랙터 진행방향의 구동은 (주)인컴기술社의 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 설계되었으

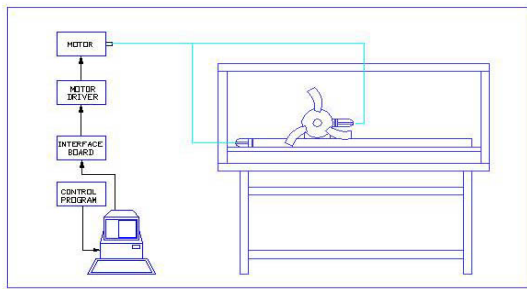


Fig. 1. Schematic diagram of system for analyzing revolution motion characteristics of rotary blade.



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

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

Item	Specification
Servo Motor	200W, 400W, 100V
Motor Driver	200W, 400W, 100V, 50/60Hz
Motor Interface Board	2 axes control, I/O 8 channels
Actuator	1,300 stroke
Speed reducer	reducing ratio : 1/15, 0.4KW
PC	Pentium II

며 구동 모터로는 Panasonic社의 200W AC servo motor를 사용하였다.

로터리날 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 제품인 400W 워밍감속기를 사용하였다. 워밍감속기 구동용 모터는 Panasonic社의 400W AC servo motor를 사용하였다. 플랜지는 국내에서 시판하고 있는 플랜지형 로터리의 플랜지와 동일하게 가공하여 로터리를 장착한 후 워밍감속기 축에 장착될 수 있도록 설계, 제작하였다.

② 소프트웨어 설계

본 연구에서 개발한 로터리날 운동특성 분석 시스템의 구동용 프로그램에는 Visual Basic 6.0 프로그래밍 언어를 사용하였다. 로터리날의 회전속도에 대한 트랙터 전진속도의 비인 λ 값(eq.(1))을 변화시키면서 인공토양을 절단하며 운동특성을 분석할 수 있도록 하였다. 미리 측정한 최대 회전 반경과 로터리날의 회전속도, 트랙터 전진속도 등을 설정하여 λ 값에 따른 각 로터리날의 운동특성을 분석할 수 있게 하였다.

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

where, R = rotor radius

ω = rotational velocity of rotor

V = machine forward velocity

③ 실험방법

로터리날의 운동특성 분석은 로터리날의 회전 속도에 대한 트랙터 전진속도의 비인 λ 값에 따라, 각 로터리날이 인공토양과 접촉하면서 일어나는 현상을 분석하였다. 미리 설정한 각 경심에서 토양과 로터리날 도연선과의 접촉점을 분석하였으며, λ 값에 따른 로터리날의 배면이 토양과 접촉하는지의 여부와 접촉시 접촉부를 분석하여 로터리날의 설계시 고려하여야 할 사항을 설정하였다.

2.4 로터리날 경운 소요동력 측정

① 하드웨어 설계

트랙터 로터리날의 경운부하 특성을 구명하기

Table 2. The physical characteristics of soil in man-made soil bin

Grain size (%)			Moisture content (% d.b.)	Texture
Sand	Silt	Clay		
79.0	16.9	4.1	20.2	Loam Sand (LS)

Table 3. The specifications of measurement car

Max. traction (kgf)	Traveling speed (m/s)	Distance of acceleration (m)	Distance of brake (m)	Fixed method
2000	0.015~1.5	5	1	3 points link (II)

위하여 인공 토양조를 이용하였다. 시험에 사용한 토양조는 경기도 수원시 소재의 농업공학연구소에 설치되어 있는 것으로 구조는 길이가 20m, 폭이 2m, 깊이가 1.64m이다. Table 2는 인공토양조의 토양의 물리적 특성을 나타내었다. Table 3은 본 시험에 사용된 측정대차의 제원을 나타낸 것이며, Fig. 3은 실제모습을 나타냈다.

그림에서 보듯이, 토양조에 레일을 설치하였으며, 레일 위를 측정대차가 이동하면서 경운 위치 및 경심, 로터리 회전속도 그리고 전진속도 등을 조절할 수 있도록 설계, 제작하였다. 계측은 측정대차의 전진속도, 로터리의 회전속도, 소요토크 등을 측정할 수 있도록 하였다.



Fig. 3. The measurement car.



Fig. 4. The experimental rotary.

측정대차에 부착된 로터리는 토양조의 폭에 맞추어서 주문·제작한 것으로 구동방식은 사이드 드라이브 방식이며, 경폭은 0.7m이며, 경운축에는 트랙터 로터리 경운날을 부착하기 위한 플랜지가 3개 달려있다. Fig. 4는 측정대차에 연결하여 로터리 경운날 소요토크 및 rpm 측정시험을 하는데 사용되는 로터리의 실제모습을 나타낸 것이다.

② 토양조건

본 시험에 앞서 측정의 객관성을 위해 토양경도를 조절하였다. 조절방법으로는 토조 폭을 2등분하여 한쪽 토양을 경운 깊이 이상(약 15cm) 견어 낸 후 토양을 조금씩 채워가며 인공토조 폭의 1/2되는 로울러로 다짐 작업을 실시하였다. 흙은 약 5cm씩 3번에 걸쳐 채웠으며 그때마다 로울러 작업을 두 번씩 실시하였다. 한쪽편의 경도 조절이 끝나면 역시 다른 편도 전과 동일 방법으로 다져 토양경도를 조절하였다. 두 쪽 모두 경도 조절을 마친 후 인공토조 폭과 동일한 폭의 로터리로 토조의 표면만을 얇게 로터리작업을 하여 토양의 높이를 맞춘 다음 인공토조 폭과 동일한 로울러로 2번 다짐 작업을 실시하였다. 경도조절 결과 평균 토양 경도는 $9.18\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 나타났다.



Fig. 5. The Photo of device in the experiment.

③ 실험방법

본 시험에서는 로터리날 제조회사별 로터리 경운 소요동력을 측정하였다. 우리나라의 대표적인 로터리날 제조사 4곳의 제품 중 트랙터 50~60마력용 C형 로터리를 선정하여 시험에 사용하였다. 로터리축 회전속도는 195rpm으로 고정하여 시험하였고 경심은 포장에서의 트랙터 로터리 작업과 동일한 조건으로 시험을 하기 위해서 0.08 m로 설정하였으며, 주행속도 역시 포장에서의 속도인 0.7 m/s로 설정하여 3회 반복 시험을 실시하였다. 로터리는 중앙 플랜지에 좌우방향으로 각각 3개씩의 로터리를 지그재그로 장착하여 시험하였다. Fig. 5는 로터리 소요동력 측정 시험을 하고 있는 모습이다.

III. 결과 및 고찰

3.1 로터리의 형태분석 결과

Fig. 6 및 Table 4에 각 로터리의 설계인자를 나타내었다. 설계인자를 살펴보면 먼저, θ_1 은 플랜지 중앙과 토양면사이의 거리가 13cm 이고 로터리날 도연선이 토양표면에 접촉하는 순간 수직축과 첫 번째 로터리날 고정볼트 구멍중앙과 플랜지 중앙을 연결한 선분 사이에 이루는 각을 나타낸 것이고, θ_2 는 수직축과 단면이 이루는 각, l_1 은 로터리날 회전반경, h_1 는 최선단 높이, h_2 는 로터리를 세웠을 때 지면에서부터 도연선 끝점까지의 수직거리, t_1 은 로터리의 두께, w_1 는 로터리날 폭, w_2 는 로터리날 중간 폭, w_3 는 로터리날 단면 폭을 나타낸 것이다. 측정 결과를 살펴보면, 대체적으로 비슷한 측정값을 가지고 있으나 θ_2 및 h_2 의 값의 차이가 많은 것으로 측정되었으며, 이로 인한 경운 소요동력의 차이가

발생할 것이라 사료된다.

Fig. 7은 각 로터리날의 도연선을 로터리날 회전 중심에서의 좌표로 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이, C type 로터리날이 로터리 경운시 가장 많은 토양을 경운하며 경운 소요동력도 가장 클 것으로 사료된다. D type 로터리의 경우 도연선 끝이 처지지 않고 서있어 로터리날이 회전하면서 토양이 옆으로 흐르거나 튀겨져 나가는 현상이 타 로터리날보다 적어 경운시 토양을 머금은 채

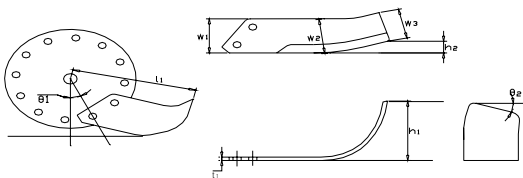


Fig. 6. Schematic diagram of design parameter of rotary blade.

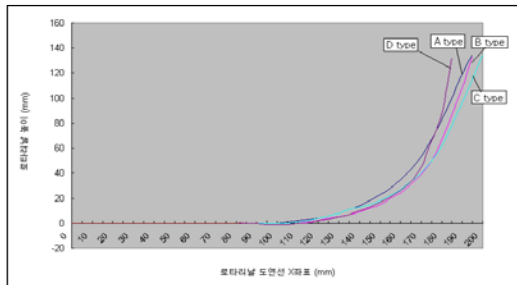


Fig. 7. The graph of edged-curve of rotary blade in each type.

Table 4. The design parameter of rotary blade

	θ_1 (°)	θ_2 (°)	l_1 (mm)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	t_1 (mm)	w_1 (mm)	w_2 (mm)	w_3 (mm)
A type	21.7	7.76	255	136.8	28.3	8	70	72.3	66.7
B type	21.9	3.8	255	138	11.5	8	70	72.1	68.6
C type	21.5	2.88	255	138.2	12.1	8	70	73.2	73.5
D type	21.2	9.04	250	135	23.3	8	70	73.9	66.6

회전할 수 있는 가능성이 있어 토양에 의한 경운 소요동력이 클 것으로 사료된다.

3.2 로터리날 운동분석 결과

Fig. 8과 Table 5에서 살펴보면, 플렌지 센터와 토양 표면과의 거리가 130~180mm일때 B, C, E type의 제품은 ②부분에서 토양에 닿기 시작하였으며, A, D type의 제품은 ③부분에서 토양과 접촉하기 시작했다. Table 6에서와 같이 로터리날의 회전속도에 대한 트랙터 전진속도의 비인 λ 값(eq.(1))을 변화시키면서 토양을 절단하는 분석을 실시한 결과로 로터리 배면이 토양에 닿는 임계 λ 값을 찾아내었으며, 이는 로터리 경운 작업시 고려되어야 할 중요한 사항이라 사료된다. λ 값이 크다는 것은 로터리의 회전속도가 같을 때 트랙터 전진속도가 작다는 의미이기 때문에 경운 피치가 작아진다는 뜻이 된다. 임계 λ 값에서 배면이 토양에 닿는 부위를 찾아낸 결과, e와 f 부분에서 토양과의 접촉이 많은 것으로 나타났다. 또한, 로터리 경운 작업시 단면(end line)과 토양과의 접촉여부를 관찰한 결과 대부분의 제품이 토양과 접촉이 없었다.

3.3 로터리날 경운 소요동력 측정결과

① 측정대차 캘리브레이션 결과

측정대차에 사용된 로터리의 토크미터 캘리브레이션 결과가 Fig. 9에 나타나 있다.

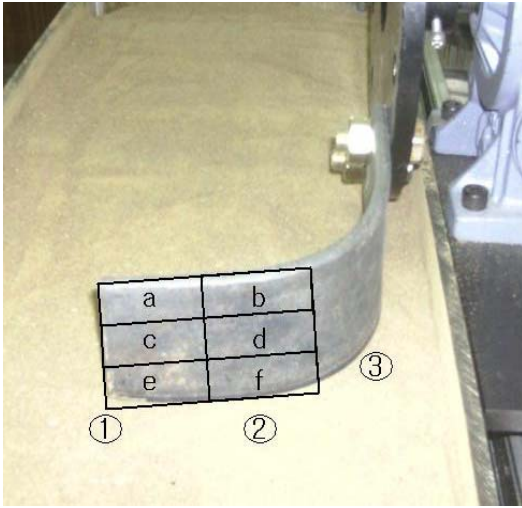
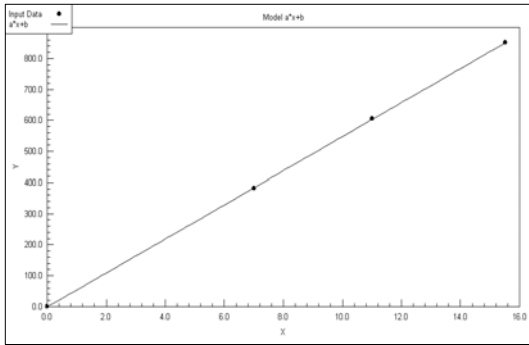


Fig. 8. Schematic diagram of C type rotary blade.

Table 5. The position of rotary blade contacted with soil according to tilling depth

DFS (mm)	A type	B type	C type	D type
130	③	②	②	③
140	②	②	②	②-③
150	②	②	②	②
160	②	②	②	②
170	①-②	②	②	①-②
180	①	②	②	①

※ DFS = distance from flange center to soil surface (cf. Fig. 6)



(a) result of calibration



(b) photo of calibration

Fig. 9. The result of calibration of torque meter (where $Y = 54.835 \cdot X - 0.949$

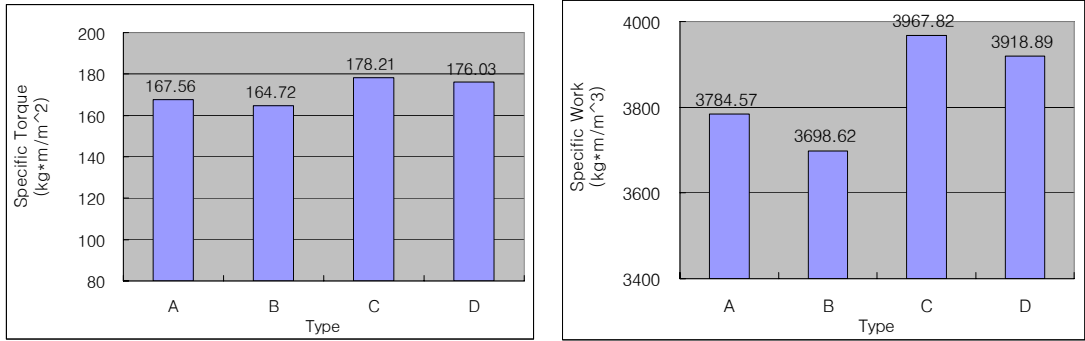
$$R^2 = 0.9999, Y = \text{weight, kgf}, X = \text{torque, kg} \cdot \text{m}.$$

② 로터리날 경운 소요동력 측정결과 동일한 토양조건과 경심, 회전속도, 전진속도 등의 동일한 시험조건을 만족시키며 시험을 실시하였고 시험결과가 Fig. 10에 나타나 있다.

Fig. 10에서 보듯이 비토크(specific torque)는 A, B, C, D type이 각각 167.50, 164.72, 178.21,

176.03 $\text{kgf} \cdot \text{m}/\text{m}^2$ 의 값이 측정되었다. 또한 비일 (specific work)은 A, B, C, D type이 각각 3784.57, 3698.62, 3967.82, 3918.89 $\text{kgf} \cdot \text{m}/\text{m}^3$ 의 값이 측정되었다. 결과를 살펴보면, D type의 경우 Fig. 7에서 형태분석으로 나타낸 것처럼 타 타입의 로터리날에 비해 도연선의 끝이 서있어

기존 트랙터 로터리날의 운동분석



(a) specific torque

(b) specific work

Fig. 10. The result of measuring tillage power in each type.

Table 6. The result of analyzing revolution motion characteristics of rotary blade

item	A type	B type	C type	D type
Position contacted with soil	c-e	e-f	e	e-f
End Line contacted with soil	false	false	false	false
Critical λ	3.29	3.36	3.86	3.12

※ distance form center to soil surface = 13 cm
(cf. Fig. 6)

경운시 토양이 옆으로 흐르거나 튀겨져 나가는 현상이 적어 경운 소요동력이 많은 것으로 사료된다. C type의 경우 경운시 타 타입의 로터리날보다 많은 양의 토양을 경운하여 경운 소요동력이 크게 나온 것으로 사료된다. 전체적으로 A, B type의 로터리날이 경운 소요동력이 작은 것으로 확인되었으며, C, D type의 로터리날이 경운 소요동력이 큰 것으로 확인되었다.

IV. 요약 및 결론

본 연구는 기존의 트랙터용 로터리날의 형상에 따른 운동특성 및 경운 소요동력을 측정, 분석하는 연구로서, 로터리날의 형상을 측정하고, 로터리날 운동특성 분석장치를 이용하여 현재 국내에서 사용되는 로터리날로 경운 작업을 실시할 경우, 로터리날의 형상 및 구조에 따른 운동특성을 정밀 분석하고자 하였으며, 각 로터리날의 형상에 따른 소요동력을 측정하여 에너지절감형 트랙터 로터리날의 개발에 필요한 인자를 설정하고자 본 연구를 수행하였으며, 그 구체적인 연구 결과는 다음과 같다.

- (1) 우리나라의 대표적인 로터리날 제조사 4개사의 제품 중 50~60마력급 트랙터에 사용하는 C형 로터리날을 선정하여 시험에 사용하였다.
- (2) 로터리날 운동분석 결과 A, D type의 로터리날이 ③부분에서 토양과 접촉하기 시작하였고, B, C type의 로터리날은 ②부분에서 토양과 접촉하기 시작하였다.
- (3) 임계 λ 값에서 로터리날 배면이 토양과의 접

축하는 부분을 분석한 결과 대부분 e-f 부분에서 토양과의 접촉이 이루어졌으며, 이는 로터리 경운 작업시 토양과의 마찰을 적게 하여 소요동력을 감소시키는 원인이라 사료된다.

- (4) 로터리 경운 소요동력을 측정된 결과, A, B, type 로터리날의 소요동력이 비토크(specific torque)의 경우 $160\sim 170 \text{ kgf} \cdot \text{m}/\text{m}^2$, 비일(specific work)의 경우 $3,700\sim 3,900 \text{ kgf} \cdot \text{m}/\text{m}^3$ 정도로 측정되어 로터리날의 형상에 따른 소요동력의 차가 크게 나타나는 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 김기대. 1986. 트랙터 로터리 경운부의 설계 이론 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 이앙답의 쇄토 정지용 로우터리 날의 개발. 과학재단 연구보고서
4. 최규홍, 류관희. 1984. 로우터리 경운의 부하 특성 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. Bull. of the Yamagata Univ. Agri.Sci. Vol.4(3)