

경운날의 형상요소에 따른 경운부하특성 분석

Tilling Load Characteristic Analysis According to the Shape Factors of Rotary Blade

김수성*, 이여성*, 우종구*

정회원

정회원

S. S. Kim, Y. S. Lee, J. K. Woo

1. 緒 論

경운작업은 쟁기작업과 로타리작업으로 大別되고, 점차 경운과 동시에 췌토정도가 우수하여 작업시간을 절감할수 있는 로타리 경운작업만 실시하는 경향으로 발전하고 있다. 그러나 로타리 경운작업의 특성상 소요동력이 큰 문제와 더불어, 현재 국내에서 사용중인 작두형 경운날(Japanese Rotary Blade)은 日本에서 약 25년전에 설계된 형상에서 국산 개발당시 제작상 어려움때문에 변형시킨 것으로 동력소모가 큰 것이 문제점으로 지적되어 왔다.

이에 본 연구에서는 경운날의 형상요소에 대해 고찰하여 에너지 절감과 수명연장이 가능한 새로운 경운날을 개발하고자 한다. 이를 위하여 새 경운날을 설계하여 양산품과 형상요소에 대한 분석을 행하고, 試作品을 제작하여 개발 경운날과 양산품을 공시 경운날로 인공토양조(Soil Bin)에서 경운시험을 실시하여 경운 토크를 측정, 비교하므로서 첫째 경운날의 형상요소에 따른 경운부하특성을 究明하고, 둘째 현재 경운기와 트랙터 로타리용으로 작두형 경운날 2종이 공급되고 있으나 개발 경운날을 공통으로 사용가능한지 가능성을 조사하여 개발 경운날의 실용화 여부를 판단할 목적으로 본 연구를 수행하였다.

2. 材料 및 方法

가. 공시 경운날

시험에 사용된 경운날은 3종으로, 경운기와 트랙터 로타리용 양산품과 성능에 영향을 미치는 형상요소를 고려하여 새로 설계 제작한 개발품 등이다. 공시 경운날 3종의 비교형상은 그림 1과 같고, 그림 2의 경운날의 주요 형상요소에 대한 분석 결과는 표 1과 같다.

나. 시험장치

경운날의 경운토크를 측정하기 위하여 농업기계화연구소에 설치되어 있는 인공토양조 및 관련 장치를 이용하였다. 시험토양조는 3조이며, 1토양조는 길이 20m, 폭 2m, 깊이 1m 크기의 콘크리트 토양조로써 하부 50cm는 모래, 상부 50cm는 우리나라의 대표적인 3종의 토양이 채워진 고정식이며, 벽의 상부에는 측정대차가 주행가능하도록 레일이 설치되어 있다.

인공토양조에 채워진 공시 토양은 식양토(Clay Loam), 양토(Loam) 그리고 사양토(Sandy Loam) 이며, 공시토양의 조성은 표 2와 같다.

* 대동공업(주) 기술연구소

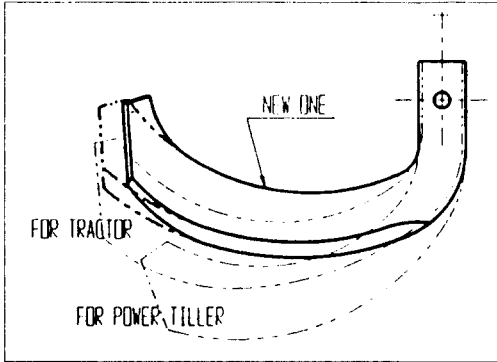


Fig. 1. Shape comparison of the tested blades

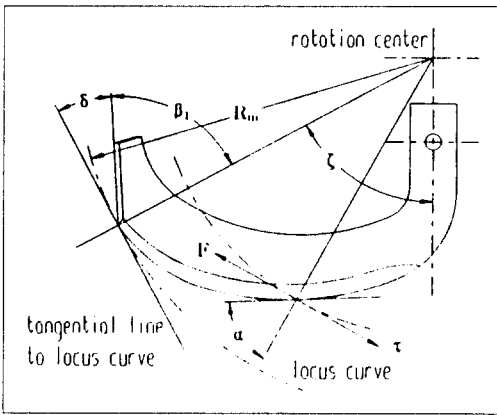


Fig. 2. Shape factors of rotary blade.

Table 1. Analysis data of shape factors

Factors	New One	for Power tiller	for Tractor
Scoop angle, β_1 (deg)	65.09	60.64	65.14
Clearance angle, δ (deg)	24.91	29.36	24.76
Shape angle, ζ (deg)	61.85	40.31	55.24
Edge-curve at $r=210$	60.86	47.72	50.67
angle, at $r=180$	58.84	41.30	47.72
α (deg) at $r=150$	59.05	35.86	46.29
Cutting width, w (mm)	39.5	36.5	40
Max. rotation radius, R_m (mm)	230	256	245
Bending angle, ε (deg)	$60 \pm 30'$	$54 \pm 30'$	60
Bending radius, r (mm)	40	38	40
Section of the blade	Single-edged	Double-edged	Double-edged

측정대차는 40PS 모터에 의한 유압구동방식으로 주행속도 0.1~2.5 m/s 범위에서 전진 4단, 후진 4단으로 변속가능하며, 동력취출장치의 동력원은 30PS 모터로 회전속도 200~1000 rpm 범위에서 5단 변속이 가능하고, 시계방향 및 반시계방향으로 회전한다.

경운토크는 측정대차에 장착된 경운기용 로타리의 같이구동축에 스트레인게이지(4매)를 부착한 토크변환기를 통하여 측정하였으며, 경운토크 측정시스템의 구성도는 그림 3과 같다. 최종적으로 측정된 데이터는 컴퓨터에 저장시키면서 디지털 오실로스코프로 출력하였다.

다. 시험방법

본 시험에서는 경운기용 로타리에 1set 18개(좌, 우 각 9개)의 공시 경운날을 조립하고, 측정대차 주행속도를 3수준으로 변화시켰고, 경운축의 회전속도를 2수준으로 설정하였다. 경심은 15cm를 기본으로 하였고, 경심의 영향을 분석하기 위해 개발품 시험시 경심 12cm인 경우에 대해서도 시험하였다. 일정한 토양조건을 맞추기 위해 1토양조에서 시험이 완료된후 토양다지기를 실시하여 토양의 경도를 일정하게 하였으며, 측정한 토양경도는 S I 토양이 11~14 kg/cm², S II 토양이 8~11 kg/cm², S III 토양이 5~8kg/cm² 으로 큰 차이가 없었다. 표 3의 시험설계에 따라 각 시험은 2m 구간을 경운하여 같이구동축에 걸리는 경운토크를 측정 분석하였다.

Table 2. Physical properties of soils

Soil bin	Sieve analysis (%)			USDA soil textural classification
	Sand	Silt	Clay	
I	7.2	51.2	41.6	Clay Loam
II	27.6	46.0	26.4	Loam
III	56.5	27.5	16.0	Sandy Loam

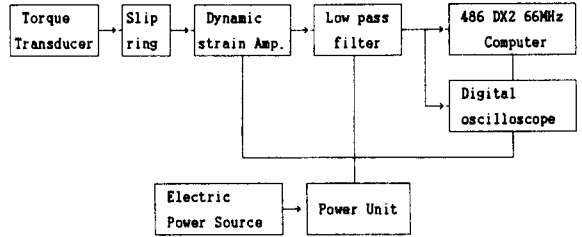


Fig. 3. Block diagram of measuring instruments arrangement.

3. 結果 및 考察

가. 경운피치(Tillage pitch)

경운피치는 다음 식과 같이 계산되며, 시험조건별 경운피치를 계산한 결과는 표 4와 같다.

$$P = \frac{60 v}{z n}$$

여기서 z = number of blades on the drum ; 칼집형은 $z=1$ 임.

v = forward velocity of machine (cm/sec)

n = number of revolutions of working set (rpm)

나. 경운피치에 따른 경운토크 특성

공시 토양 3종에서 공시 경운날 3종에 대해 주행속도와 로타리축회전수를 변경하여 측정 한 경운피치에 따른 경운소요 평균 토크와 최대토크는 그림 4와 같다. 그림 4(a),(b)는 식양 토(S I) 경운시, 그림 4(c),(d)는 양토(S II) 경운시, 그리고 그림 4(e),(f)는 사양토(S III) 경운 시에 측정된 평균 토크와 최대 토크를 나타낸 것이다.

경운피치에 따른 경운토크를 조사한 결과, 경운피치가 증가함에 따라 경운토크도 증가하 였다. 모든 토양조건에서 경운기용 및 트랙터용 양산품에 비해 각각의 동일조건으로 시험한

Table 3. Experimental design.

Variable	Level
Type of rotary blade	For power tiller(K1), New ONE(K2), For tractor(K3)
Tilling speed (cm/sec)	V1=36, V2=53, V3=58
Number of revolution of rotary shaft (rpm)	N1=233, N2=339
Type of soil	S I, S II, S III
Tilling depth (cm)	D1=15, D2=12

Table 4. Tillage pitch varied with V & N.

\	1	2	3
V (cm/s)	36	53	58
N (rpm)	233	339	-
P (cm)	v1n1 ; 9.27	v2n1 ; 13.65	v3n1 ; 14.94
	v1n2 ; 6.37	v2n2 ; 9.38	v3n2 ; 10.27

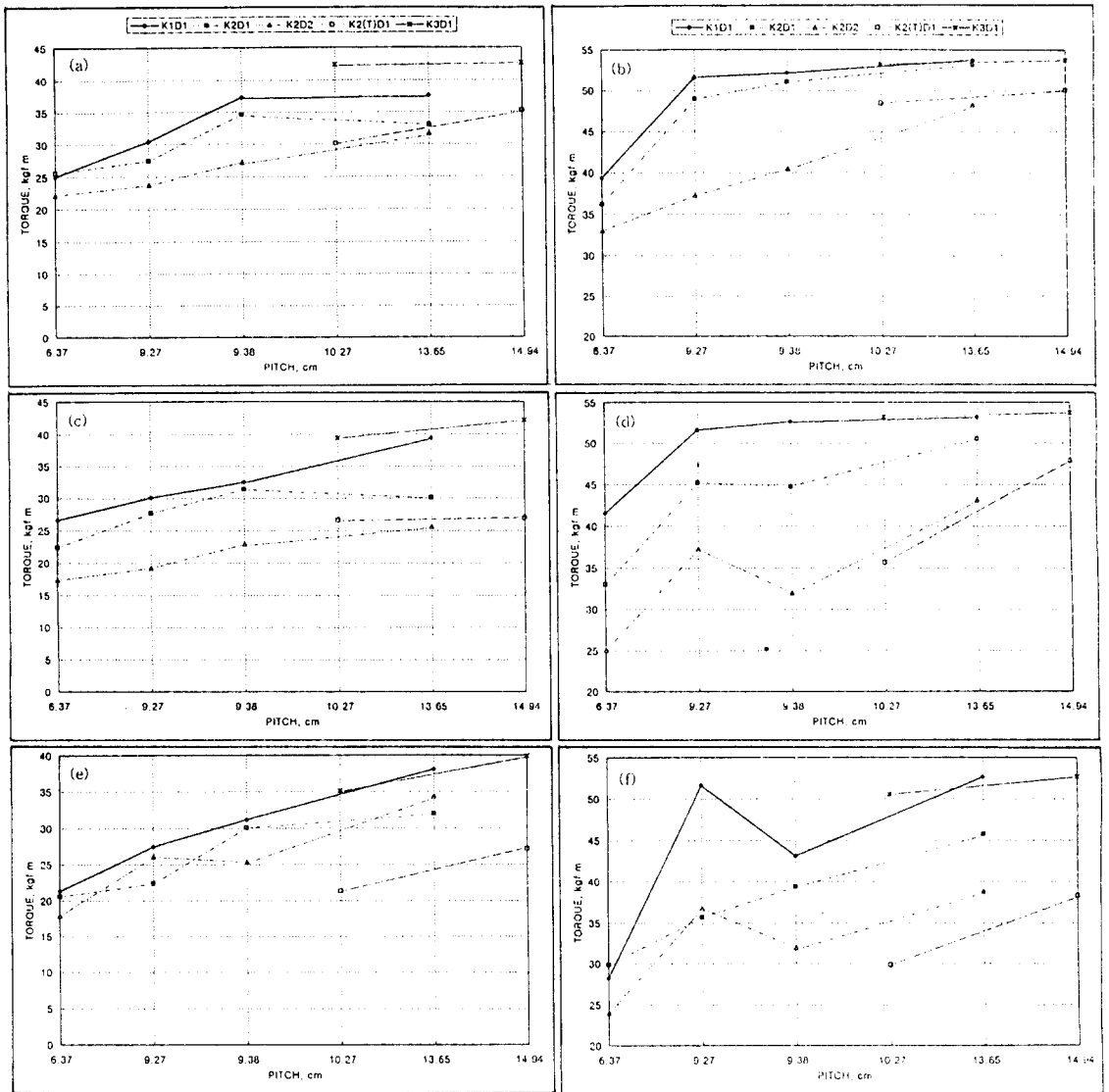


Fig. 4. Tilling torque varied with tillage pitch. (a) SI, T_{avg} (b) SI, T_{max}
(c) SII, T_{avg} (d) SII, T_{max} (e) SIII, T_{avg} (f) SIII, T_{max} .

Table 5. Max. tilling torque decreasing ratio at each soil.

Pitch (cm)	SI			SII			SIII		
	K1D1-K2D1	K2D1-K2D2	K3D1-K2(T)D1	K1D1-K2D1	K2D1-K2D2	K3D1-K2(T)D1	K1D1-K2D1	K2D1-K2D2	K3D1-K2(T)D1
	K1D1 x 100 (%)	K2D1 x 100 (%)	K3D1 x 100 (%)	K1D1 x 100 (%)	K2D1 x 100 (%)	K3D1 x 100 (%)	K1D1 x 100 (%)	K2D1 x 100 (%)	K3D1 x 100 (%)
6.37	▼ 8	▼ 9	-	▼ 20	▼ 24	-	▲ 5	▼ 20	-
9.27	▼ 5	▼ 24	-	▼ 12	▼ 29	-	▼ 31	▲ 3	-
9.38	▼ 2	▼ 21	-	▼ 15	▼ 17	-	▼ 9	▼ 19	-
13.65	▼ 1	▼ 9	-	▼ 5	▼ 15	-	▼ 13	▼ 15	-
10.27	-	-	▼ 9	-	-	▼ 33	-	-	▼ 41
14.94	-	-	▼ 7	-	-	▼ 11	-	-	▼ 27
Remark	For power tiller vs New ONE	Effect of tilling depth change (New ONE)	For tractor vs New ONE	For power tiller vs New ONE	Effect of tilling depth change (New ONE)	For tractor vs New ONE	For power tiller vs New ONE	Effect of tilling depth change (New ONE)	For tractor vs New ONE

개발 경운날의 경운토크(평균 토크 및 최대 토크)가 작았다. 평균 토크는 경운피치가 증가함에 따라 서서히 증가하는 경향이었으나, 최대 토크는 경운피치가 6.37cm에서 9.27cm로 증가함에 따라 급격히 커졌다가 이후 경운피치 증가에 따라 서서히 증가하였다.

경운피치에 따른 최대 토크의 감소율(표 5)을 살펴보면, 식양토에서 경운기용 조건시험의 결과 1~8%, 트랙터용 조건시험의 결과 7~9%로 나타났고, 양토에서는 각각 5~20%와 11~33%, 사양토에서는 각각 9~31% 와 27~41%로 나타났다.

한편 개발 경운날로 기타 조건은 동일하게 하고 경심만 변경(15cm→12cm)하여 시험한 결과, 경심이 작을수록 경운토크가 작게 나타났고, 최대토크는 식양토에서 9~24%, 양토에서 15~29%, 사양토에서 15~20%의 감소율을 나타냈다.

다. 회전반경 및 형상각에 따른 경운토크 특성

공시 경운날 3종은 회전반경과 형상각이 상이하어 회전반경의 경우 개발품이 230, 트랙터용 양산품이 245, 경운기용 양산품이 256mm이고, 형상각은 각각 62°, 55°, 40° 이다.

토양별로 최대 경운 피치일 때, 회전반경에 따른 평균 토크와 최대 토크의 차이를 조사한 결과(그림5), 회전반경이 R230mm로부터 커짐에 따라 평균 토크는 증가하다가 약간 감소하였으나, 최대토크는 R230mm(개발품)일때 최소이고, 회전반경이 커짐에 따라 증가하였으나 R245mm(트랙터용)일때와 R256mm(경운기용)일때 큰 차이는 없었다. 한편 형상각이 커짐에 따라 평균 토크와 최대 토크는 감소하여, 개발품의 평균 토크와 최대 토크가 가장 작았다.

회전반경과 형상각의 영향을 고찰해본 결과, 양산품대비 개발품의 최대 토크 감소율(표 6)은 식양토일 때 7%, 양토일 때 10~11% 그리고 사양토일 때 27% 로 나타났다.

라. 경운시 토양부착 및 접촉 상태

경운기용 양산품(사진 1,2)은 날의 뒷면에 흙의 부착이 가장 심했고, 트랙터용 양산품(사진 3,4)은 뒷면 날부에 얇게 퍼져서 부착되었고 전면 굴곡부에 일부 부착되었으나, 개발품

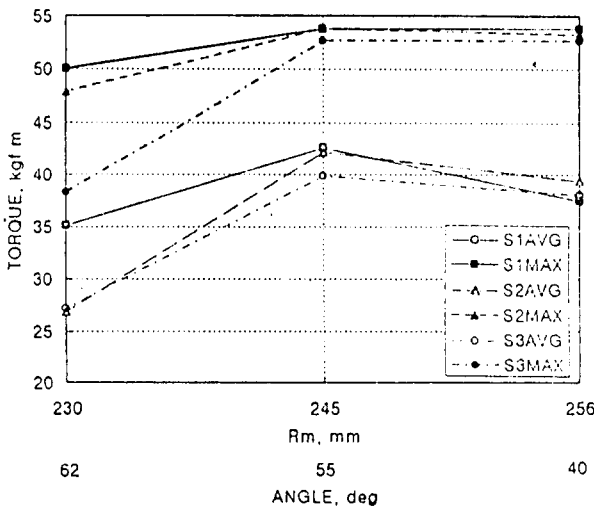


Fig. 5. Effects of rotation radius(R_m) and shape angle(ζ) on avg. & max. tilling torque.

Table 6. T_{max} decreasing ratio

Soil	R245/R230	R256/R230
	55° / 62°	40° / 62°
SI	▼ 7 %	▼ 7 %
SII	▼ 11 %	▼ 10 %
SIII	▼ 27 %	▼ 27 %
Remark	For tractor vs New ONE	For Power tiller vs New ONE

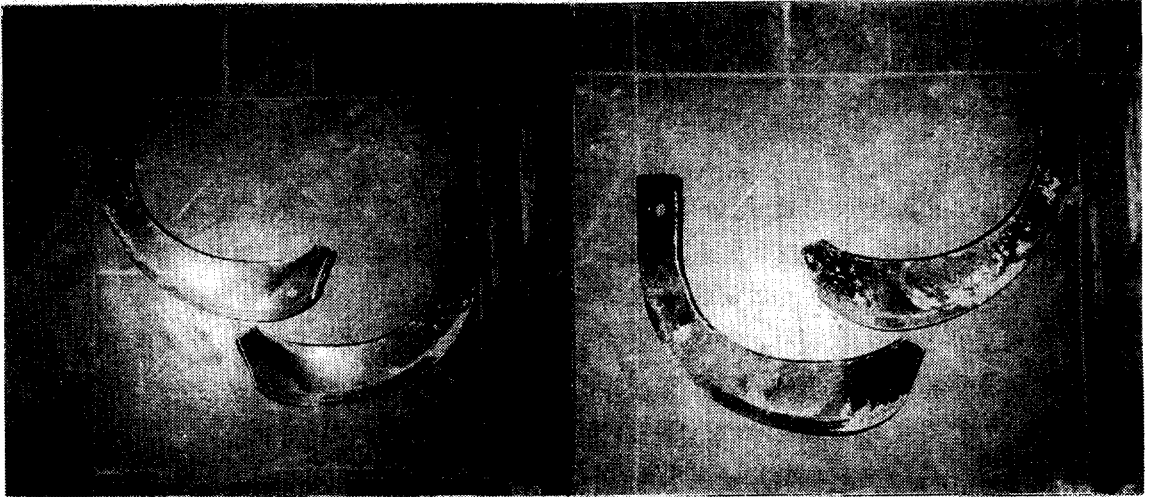


Photo 1. Front face of blade for power tiller. Photo 2. Rear face of blade for power tiller.

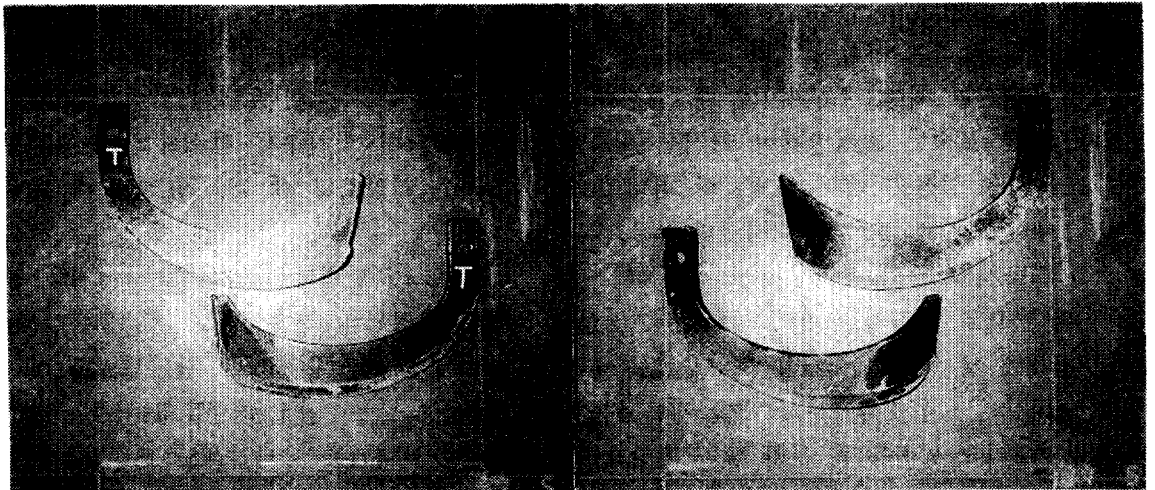


Photo 3. Front face of blade for tractor.

Photo 4. Rear face of blade for tractor.

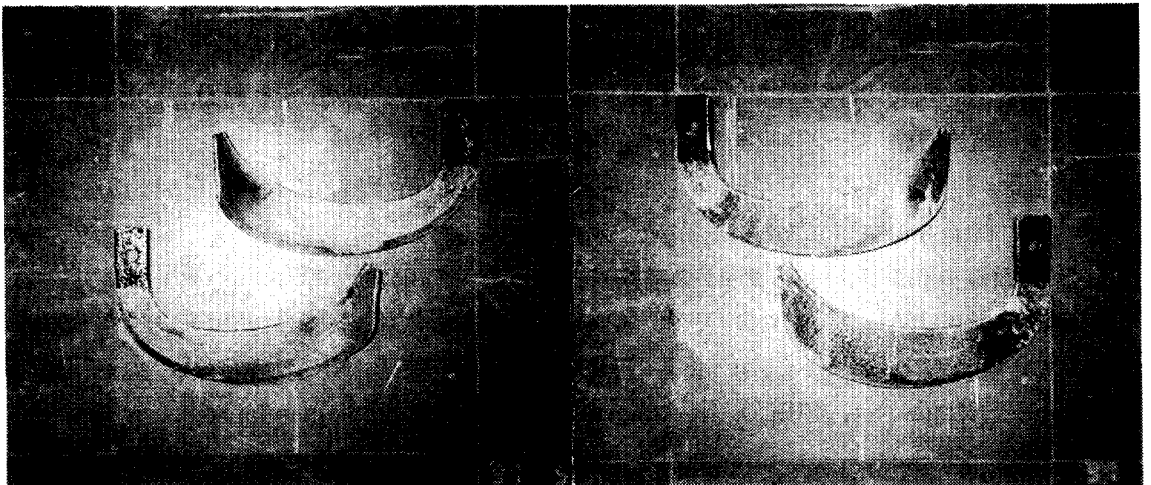


Photo 5. Front face of new blade.

Photo 6. Rear face of new blade.

(사진 5,6)에는 약간의 흙만이 부착되었다. 토양부착 상태와 경운날 뒷면과 토양과의 접촉 상태를 볼때 개발품이 가장 스무스하게 날 뒷면이 미경운 토양을 압축하지 않고 토양을 절삭한 것으로 판단된다.

4. 結 論

경운날의 형상요소에 따른 경운부하특성을 구명하고, 개발한 경운날의 경운부하 성능을 분석하여 경운기용과 트랙터용으로 공용화 가능성을 조사하기 위해 인공토양조에서 경운 토크를 측정된 시험결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 공시토양 3종에서 공시 경운날 3종의 경운피치에 따른 경운토크를 측정한 결과 경운 피치가 증가함에 따라 경운토크도 증가하였다. 모든 토양조건에서 경운기용 및 트랙터용 양산품에 비해 각각의 조건으로 시험한 개발 경운날의 경운토크가 작았다.

(2) 평균 토크는 경운피치가 증가함에 따라 서서히 증가하는 경향이었으나, 최대 토크는 경운피치가 6.37cm에서 9.27cm로 증가함에 따라 급격히 커졌다가 이후 경운피치 증가에 따라 서서히 증가하였다. 경심이 작을수록 경운토크도 작았으며, 개발 경운날로 경심만 변경 (15cm→12cm)하여 시험한 결과 9~29%의 최대토크 감소율을 나타냈다.

(3) 토양별로 최대 경운피치일 때, 회전반경과 형상각에 따른 최대 토크의 차이를 조사한 결과, 최대 토크는 회전반경이 커질수록 증가하고, 형상각이 커질수록 감소하여, 경운기용 및 트랙터용 양산품 대비 개발품의 최대 토크 감소율은 식양토일 때 7%, 양토일 때 10~11%, 사양토일 때 27% 로 나타났다.

(4) 경운시 토양의 부착상태는 개발품이 가장 양호하였고, 트랙터용 양산품, 경운기용 양산품의 순으로 토양의 부착이 심하였다. 경운날 뒷면과 토양과의 접촉상태도 개발품이 가장 스무스하게 날 뒷면이 미경운 토양을 압축하지 않고 토양을 절삭한 것으로 판단되었다.

(5) 이상의 시험결과로부터 개발 경운날은 경운부하성능이 우수하고(최대토크 감소), 경운시 토양과의 상호작용(흙 부착 및 접촉상태)도 양호하며, 트랙터용 로타리에도 사용가능하다고 판단된다.

참고문헌

1. 金鑿來, 張東日, 權純球, 安英鎬. 1984. 로우터리 耕耘시스템이 所要動力에 미치는 影響. 韓國農業機械學會誌 제9권 제2호. P37~47.
2. 崔圭烘, 柳寬熙. 1984. 로우터리 耕耘의 負荷特性 및 所要動力에 관한 研究. 韓國農業機械學會誌 제9권 제2호. P27~36.
3. 日本 農業機械學會. 1984. 新版 農業機械ハンドブック. P425~437.
4. LAM VAN HAI. 1983. 로타리 耕うん特性および設計理論. 日本 九州大學 博士學位論文.
5. LAM VAN HAI. 1984. DESIGN-THEORIES OF JAPANESE ROTARY TILLAGE BLADES FOR PADDY FIELD. JICA Lecture Text No.2. Tsukuba, Japan.