

## 단면형 로터리경운날의 경운 특성

### Tillage Characteristics of the Single-Edged Rotary Blade

이승규\*  
정회원  
S. K. Lee

김성태\*  
정회원  
S. T. Kim

우종구\*\*  
정회원  
J. K. Woo

#### SUMMARY

The purpose of this study is to develop a high-efficient rotary tillage system for a power tiller by improving the rotary blade. A kind of the rotary blade with single-edged blade(DS) was developed that requires lower tillage energy than conventional double-edged blade(CD) on the design theory for Japanese rotary blade.

In order to find out the tillage characteristics between the single-edged blade and the double-edged blade for power tiller, experiments were performed in soil-bins which were filled up clay loam, loam and sandy loam, and then analyzed the effects of the factors such as soil texture, travelling speed, rotational speed, and tillage depth to each of the blades. And field tests were carried out to compare tillage performances of the two blades using rotary cultivator driven by conventional power tiller.

The results of this study were summarized as follows:

1) On the soil bin experiment, it was found that tillage torque of the single-edged blade was less than the ones of the double-edged blade. The decreasing ratios of maximum tillage torque of the single-edged blade to the ones of the double-edged blade were 1 to 8% at clay loam, 5 to 20% at loam and 9 to 31% at sandy loam, respectively.

2) By the field tests, that the tillage performances with the single-edged blade compared with the double-edged blade was improved about 19% in field capacity, about 34% in fuel consumption, and 12.5% in soil breaking ratio. Furthermore, the fluctuation of engine speed, the variation of exhaust gas temperature, and the amount of soil clogging on the blade and straw wound on the rotary shaft showed lower values with the developed blade than the conventional blade. So, it may be concluded that tillage performance by the developed single-edged blade was improved compared with the one by the conventional double-edged blade.

**주요용어(Key Words)** : 단면경운날(Single-edged rotary blade), 양면경운날(Double-edged rotary blade), 경운토크(Tillage torque), 경운성능(Tillage performance)

#### 1. 서 론

동력경운기를 이용한 경운작업은 경기작업과 쇄토작업으로 구분되는데, 근래에는 노동력과 경제적 이유에서 최소경운의 개념이 도입되어 로터리

를 이용한 경운작업만 실시하는 경향으로 발전하고 있다. 그런데 현재 국내에서 경운기용 로터리에 사용되고 있는 작두형 경운날은 경기작업 이후의 쇄토작업을 목적으로 개발된 일본의 작두형 경운날을 제작의 편의성에 의존하여 변형시킨 것이

This article was submitted for publication in September 2000 reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in October 2000.

Corresponding authors is Seung Kyu Lee, Professor, Major of Agricultural Machinery Engineering, Gyeongsang National University, 900 Gaja-dong, Jinju City, 660-701, Korea. E-mail: <leesngyu@nongae.gsn.ac.kr>.

\* Gyeongsang National University, \*\* Daedong Industrial Co., Ltd.

기 때문에, 우리 나라 실정에 적합하지 않고 경기 작업을 생략하는 경우 로터리작업에 동력소모가 과다해지는 등의 문제가 있다. 따라서 우리나라 실정에 적합한 경운날의 개발과 경기작업 없이 로터리작업을 수행하는 경우의 경운부하 특성 및 그 대책에 관한 연구가 필요하다. 그런데 국내에서는 경기작업을 전제로 한 동력경운기 로터리에 관한 연구는 상당수 있으나<sup>[5,7]</sup>, 경기작업을 생략하는 경우에 관한 연구는 그다지 많지 않다.

본 연구진은 미경기(未耕起)-로터리작업에 적합한 동력경운기용 로터리경운시스템의 개발을 목적으로 일련의 연구를 수행하여, 관행 작두형 경운날의 설계이론에 대한 해석을 통하여 미경기지에서도 고속경운과 경운부하 경감이 가능한 로터리경운날(이하 경운날)을 개발, 보고한 바 있다<sup>[6,11]</sup>. 본 연구에서는 개발한 경운날과 관행의 경운날을 이용하여 토양조에서의 제 특성을 구명하고, 포장 시험을 통하여 작업성능을 비교 분석하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 경운날

동력경운기용 경운날은 KS 단순화명령 부품으로 되어 있다. 따라서 개발한 작두형 경운날(이하 단면경운날)은 작업성능을 향상시키고 소요동력이 절감되도록 경운날의 단면형상, 직선날부의 도연곡선, 직선날부의 날끝형상 및 만곡부의 절곡형상 등의 형상요소를 충분히 고려하고, 한국공업표준 규격<sup>[8]</sup>에서의 경운날의 폭, 두께, 구멍치수 및 경운날의 경도 등의 규정에 맞도록 설계, 제작하였다. 그럼 1은 개발한 단면경운날과 관행 양면경운날(이하 양면경운날)의 외형을 나타낸 것이다. 위에서의 규격에 맞게 결정한 장착부는 폭 30 mm, 두께 9 mm, 볼트구멍 10.5 mm, 그리고 장착부의 직선부 부분은 55 mm이었다. 따라서 단면경운날의 최대 회전반경은 230 mm로 관행 양면경운날의 256 mm 보다 26 mm 만큼 작다. 또 절삭폭은 단면 경운날이 39.5 mm로 관행날의 36.5 mm 보다 3 mm 더 크게 하였다. 개발한 단면경운날의 주요 형상요소는 관행의 양면경운날에 비해 형상각, 배락각 및 배각은 각각 21.5°, 13.1~23.2°, 및 4.5° 더 크게 하였고, 회피각은 4.5° 더 작게 제작하였다. 단면경운날의 상세한 형상요소는 우(1999) 및 김 등(1997)의 연구에서 설명한 바와 같다.

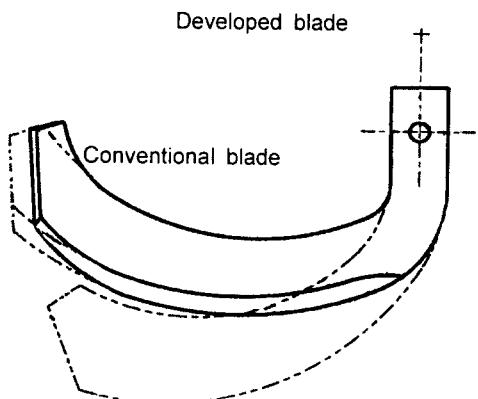


Fig. 1 Edge shape of the developed rotary blade.

### 나. 토양

#### (1) 토양조

단면경운날과 양면경운날의 경운부하 특성을 구명하기 위하여 토양조에서 시험을 실시하였다. 시험에 사용한 토양조는 경기도 수원시 소재의 농업 기계화연구소에 설치되어 있는 것으로, 길이 20 m, 폭 2 m, 깊이 1 m 크기의 콘크리트 구조물 3 조이었다. 각 토양조는 하부 50 cm에는 모래를 넣고, 상부 50 cm에는 필요한 토양을 채워서 사용도록 되어 있는 고정식으로, 벽의 상부에 측정차량 주행용 레일이 설치되어 있다.

시험은 상부에 채워진 토양의 수분 함량과 토양 경도를 일정하게 유지하면서 수행하였는데, 시험 기간 중 수분 함량이 초기조건인 30%(db)로 유지되도록 간이수분계(moisture meter)를 이용하여 수시로 토양상태를 점검하여 일정 범위 내에서 수분을 보충하였다. 또 토양의 경도는 다짐롤러의 왕복회수로 결정하였는데, 예비시험에서 원추형 관입저항기(cone penetrometer, 이하 관입저항기)를 사용하여 다짐회수에 따른 깊이 20 cm까지의 저항을 검출하여 표준상태로 하고, 이를 기준으로 롤러의 왕복회수를 결정하여 시험을 수행하였으며, 롤러다짐 후에는 관입저항을 측정하여 다짐 정도를 보완하였다. 표 1은 시험에 사용된 토양의 물성을 나타낸 것으로, 미농무성(USDA)의 토성(soil texture) 분류에 따르면 토양 I은 모래 7.2%, 실트 51.2% 및 점토 41.6%의 식양토(clay loam), 토양 II는 모래 27.6%, 실트 46.0% 및 점토 26.4%의 양토(loam)이었으며, 토양 III은 모래 56.5%, 실트

Table 1 Physical properties of the soil bin soils

Soil Bin	Specific Gravity	Grain Size (%)			Moisture Content (% d.b)	Symbol
		Sand	Silt	Clay		
I	2.60	7.2	51.2	41.6	30.2	Clay loam
II	2.62	27.6	46.0	26.4	30.3	Loam
III	2.58	56.5	27.5	16.0	30.2	Sandy loam

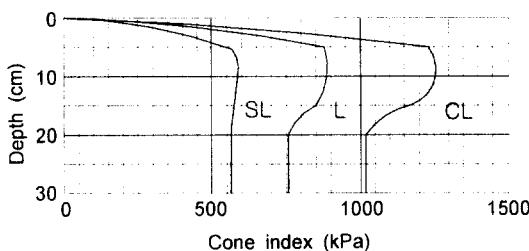


Fig. 2 Cone index of the soil bin soils.

27.5% 및 점토 16.0%의 사질양토(sandy loam)이었다.

토양의 경도측정에 사용된 관입저항기는 ASAE S313.1에서의 측정령 Lk-100-13254, 원추각 30°, 원추단면적 6.45 cm<sup>2</sup>인 다이얼케이지 판독형이었다. 그림 2는 토양조 공시토양의 경도분포를 나타낸 것으로, 경심 20 cm까지 5 cm마다 판독한 콘지수(cone index, 토양경도지수)는 식양토(CL)의 경우 각각 1,245.4 kPa, 1,255 kPa, 1,167 kPa 및 1,029 kPa이었으며, 양토(L)의 경우 각각 931.6 kPa, 931.6 kPa, 872.8 kPa 및 804.1 kPa이었다. 또 사양토(SL)의 경우는 각각 568.8 kPa, 578.6 kPa, 568.8 kPa 및 549.2 kPa로 나타났다. 시험 중 실시한 관입저항 측정결과 를 러다짐에 따른 구간별 토양경도의 재현성은 양호하였다.

## (2) 시험포장

포장시험은 경남 남해군 서면 서상리 농가의 경지정리된 9 m × 100 m의 장방형포장 두 곳에서 각각 실시하였는데, 포장은 균간에 매립된 간척지로 부분적으로 돌이 있었으며 벼와 보리 2모작을 하는 논이었다. 시험시에는 하곡수확을 마친 상태여서 포장에는 보리의 뿌리가 남아 있었으며, 보리짚이 약간 깔려 있었다. 포장 토양의 물성은 표

Table 2. Physical properties of the experimental field soils

Field	Specific Gravity	Grain Size (%)			Moisture Content (% db)	Symbol
		Sand	Silt	Clay		
I	2.63	58.8	35.3	5.9	30.7	Sandy loam
II	2.62	60.0	34.5	5.5	31.4	Sandy loam

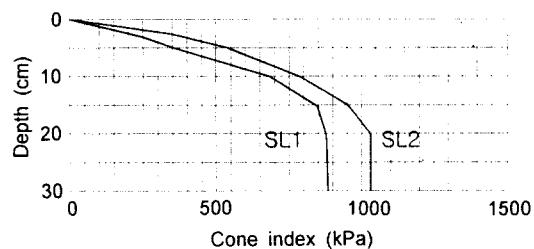


Fig. 3 Cone index of the experimental fields.

2와 같이, 모래 58.8~60.0%, 실트 34.5~35.3% 및 점토 5.5~5.9%인 사질양토이었고, 수분 함량은 30.7~31.4%(db)이었다.

또 관입저항기로 표토로부터 경반이 나타난 깊이 20 cm까지 매 5 cm마다 측정한 토양경도는 그림 3과 같다. 양면경운날 시험구간(SL1)의 콘지수는 각각 434.4 kPa, 662.9 kPa, 835.2 kPa 및 888.5 kPa이었는데 비해, 단면경운날 시험구간(SL2)의 콘지수는 각각 521.7 kPa, 747.3 kPa, 955.2 kPa 및 988.5 kPa로, 단면경운날 시험토양의 경도가 12~23% 더 높게 나타났다.

## 다. 실험방법

### (1) 토양조실험

토양조를 이용한 경운날 실험에 사용된 실험조건은 표 3과 같이, 식양토, 양토 및 사양토의 3가지 토양에서 개발한 단면경운날과 관행 양면경운날을 사용하여, 경운속도는 각각 0.36 %/s, 0.53 %/s, 로터리축의 회전수는 각각 233 rpm과 339 rpm으로 설정하였다. 또 경심은 15 cm를 기준으로 하고 경심 12 cm의 경우를 대비구간으로 하였다.

경운축에는 좌, 우 각각 9개씩 총 18개의 경운날을 조립하여, 표 3의 시험조건에 따라 시험구간

Table 3 Experimental conditions on the soil bin

Variables	Level
Type of rotary blade	Developed single-edge, DS Conventional double-edge, CD
Travelling speed (m/s)	V1 = 0.36 V2 = 0.53
Speed of rotary shaft (rpm)	N1 = 233 N2 = 339
Type of soil	Clay loam, CL Loam, L Sandy loam, SL
Tillage depth(cm)	H 15 = 15 H 12 = 12

Table 4 Tillage pitch of the soil bin test

Treatment	N1 = 233 rpm		N1 = 339 rpm	
	V1= 36cm/s	V2= 53cm/s	V1= 36cm/s	V2= 53cm/s
Pitch (cm)	9.27	13.65	6.37	9.38

2 m를 경폭 60 cm로 경운하면서 갈이구동축에 걸리는 경운토크를 측정하였다. 시험조건에 따라 계산한 경운피치는 표 4와 같다. 경운토크는 로터리 갈이구동축에 크로스케이지 2매를 부착한 토크 변환기를 통하여 측정한 신호를 슬립링을 거쳐 대이터 수집시스템으로 전송하여 동적스트레인증폭기와 저역필터로 증폭, 여파(瀧波)한 다음 컴퓨터에 저장하여 분석하였으며, 디지털오실로스코프로 출력하였다.

## (2) 포장실험

개발한 단면경운날의 작업성능을 조사하기 위해 포장에서 관행의 양면경운날과 비교 시험을 실시하였는데, 시험에 사용한 경운기 및 로터리의 제원은 표 5에 나타낸 것과 같다. 탑재기관은 연속 정격출력 10 PS, 최대출력 13 PS인 단기통 수냉식 4행정 디젤기관이었다. 또 경운기의 변속장치는 주변속이 전진 3단과 후진 1단, 부변속이 2단이었으며, 경운속도는 2단으로 변속 가능하나 로터리체인케이스 내의 스프로켓을 교환하면 4단 변속이 가능한 것이다. 경운축의 구동방식은 측면구동식(side drive)이며, 경운날은 좌, 우에 각각 9개씩 총 18개를 부착하게 되어 있다. 주행속도는 저속 2단 -0.53 %, 경운축 회전속도 275 rpm, 경폭 60 cm

Table 5. Specifications of the tested power tiller

Items	Specification
Rotary system	Side drive
Transmis- sion	Main 3-forward, 1-reverse Auxiliary 2-speed (high/low)
	Tilling 4
Engine	Water-cooled, 4-cycle, diesel
Bore × stroke (mm)	95 × 95
Displacement (cc)	673
Rated output (ps/rpm)	10 / 2200
Max. output (ps/rpm)	13 / 2400
Max. torque (Nm/rpm)	41.2 / 1900
Tillage width (mm)	600
Travelling speed (km/h)	1.9 (low 2nd speed)
Rotational speed of rotary shaft (rpm)	Standard : 187(coarse), 275(fine) Auxiliary : 254(coarse), 374(fine)
Number of blades	18 (9×2)

로 경운작업시 이론작업능률(tilling capacity)은 1.4 h/10a로 되어 있다.

동력경운기 기관의 회전속도 측정용 회전계는 ONO SOKKI사의 Model GE-571로, CP-044센서와 전원케이블로 구성되어 있는데, 회전계의 센서는 엔진의 연료분사관 단부에 부착하여 사용하였다. 이 센서는 연료분사시 발생하는 분사관 내의 압력 변화에 따른 고압의 맥동을 감지하고, 본체에서 감지된 맥동 신호를 증폭하여 회전속도로 변환 후 디지털로 회전수를 출력한다.

배기ガス온도 측정에 사용한 측정기는 TSURUGA 사의 휴대용 디지털온도계 Model 3527과 초세형 K-type 서모커플, 그리고 이 신호를 디지털로 나타낼 수 있는 본체 및 어댑터로 구성되어 있다.

온도센서의 측온부 센서봉의 직경은 1 mm, 측온 센서부는 직경 15 mm, 길이 30 cm이었으며, 사용한계온도는 300°C이었다. 또 측정에 사용한 어댑터는 4개의 온도센서를 접속시킬 수 있는 것으로, 본체는 오차 ±0.2%의 고정도, 0.1°C의 고분해능의 디지털 출력방식이었는데 측정범위는 -99.9 ~ 1299°C이었다.

Table 6 Experimental conditions of the field test

Item	Test Condition
Rotary blade	Developed single-edge, DS Conventional double-edge, CD
Travel speed (m/s)	0.53 (low 2nd speed)
Speed of rotary shaft (rpm)	275 (standard "fine")
Tillage depth (cm)	11
Tillage width (cm)	60
Tillage pitch (cm)	11.56
Working area (m <sup>2</sup> )	250 (5 m × 50 m)

연료소비량의 조사에는 만량재충법을 사용하였는데, 기관이 회전속도  $2450 \pm 5$  rpm, 배기ガ스온도  $200 \pm 2^\circ\text{C}$ 로 안정화되었을 때 연료탱크 내 연료의 양을 유면의 높이로써 검출하였고, 시험 후 메스실린더로 보충한 연료의 양으로써 연료소비량을 측정하였다.

포장시험조건은 표 6에 나타낸 바와 같이, 단면경운날과 양면경운날을 사용하여 주행속도는 저속 2단  $-0.53$  m/s, 경운축 회전속도는 275 rpm(잘게)으로 하였으며, 포장상태를 고려하여 경심은 11 cm, 경폭은 60 cm로 설정하였다.

경운기 로터리축에는 좌, 우 각 9개씩 총 18개를 조립하고, 인접왕복경운법으로 경운작업을 실시하였으며, 작업을 하면서 기관의 회전속도와 배기ガス의 온도를 측정하였다. 또 포장능률을 조사하기 위해 시험구간으로 설정한 250 m<sup>2</sup>의 작업면적을 경운하는 데 소요된 작업시간을 스톱워치로 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 토양조실험

##### (1) 평균토크

경운피치의 변화에 따른 평균토크의 변화를 경운날, 토양, 경심별로 나타낸 것은 그림 4와 같다. 경운피치가 증가함에 따라 경운축에 나타나는 평균토크는 거의 직선적( $R^2 = 0.61 \sim 0.97$ )으로 증가하였으며, 특히 사양토의 경우가 가장 급격히 증가하여 경운피치 13.65 cm일 때의 평균토크는 경

운피치 6.37 cm일 경우에 비하여 단면경운날은 67.3%, 양면경운날은 78.6%가 증가하였다.

경심 15 cm, 경운피치 6.37 cm에서 양면경운날의 평균토크는 단면경운날에 비하여 식양토에서는 2.1% 감소하였으나 양토와 사양토에서는 각각 19% 및 4%가 증가하였다. 또 경심 15 cm, 경운피치 13.65 cm인 경우에는 양면경운날의 평균토크가 단면경운날에 비하여 식양토, 양토, 사양토에서 각각 8%, 25%, 및 11%가 증가하였다. 이와 같이 대부분의 경우 단면경운날의 평균토크가 양면경운날에 비해 작게 나타났으며 양토에서 그 차이가 가장 크게 나타났다.

또 단면경운날의 경우 경심 12 cm에서의 평균토크는 경심 15 cm일 때에 비하여 양토에서 그 차이가 가장 크게 나타나 경운피치가 6.37 cm일 때에는 22.6%, 경운피치가 13.65 cm일 때에는 18.6%가 각각 감소하였다.

경운축의 회전속도를 일정하게 하고 주행속도를 빠르게 하여 경운피치를 증가시킨 시험결과로부터 단면경운날이 양면경운날에 비해 평균 경운토크가 작게 소요됨을 확인할 수 있었다. 따라서 경운작업 효율을 높이기 위해서는 주행속도의 증가와 함께 경운축의 회전속도를 높이는 것이 단면경운날의 효율향상에 유리할 것으로 판단된다.

#### (2) 최대토크

경운피치의 변화에 따른 최대토크의 변화를 경운날, 토양, 경심별로 나타낸 것은 그림 5와 같다. 경운피치가 증가함에 따라 경운축에 나타나는 최대토크는 평균토크의 경우와 마찬가지로 거의 직선적( $R^2 = 0.63 \sim 0.95$ )으로 증가하였다.

단면경운날을 사용하여 경심 15 cm로 경운하였을 때, 경운피치 13.65 cm에서의 최대토크는 경운피치 6.37 cm의 경우에 비하여 식양토, 양토, 사양토에서 각각 47.1%, 53.2%, 및 53.5%가 증가하였고, 양면경운날의 경우에는 각각 36.4%, 28.2%, 및 37.8%가 증가하여 단면경운날에 비하여 경운피치별 최대토크의 차이가 작은 것으로 나타났다.

식양토 경운시 측정된 경운피치별 최대토크를 100으로 하여 양토 및 사양토 경운시의 최대토크를 계산한 결과, 양토의 경우에는 약 92, 사양토에서는 약 79로 나타났다. 이것은 식양토가 점토질이 41.6%로 많이 포함되어 있고 다른 토양보다 경도가 높기 때문에 경운토크가 가장 크게 나타났던 것으로 판단된다.

각 토양에서 양면경운날에서의 최대토크에 비한

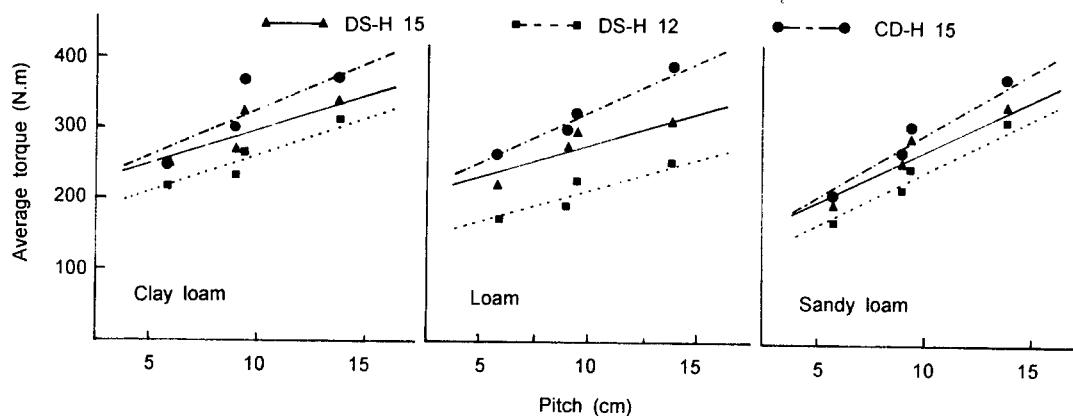


Fig. 4 Relationship between average torque and tillage pitch.

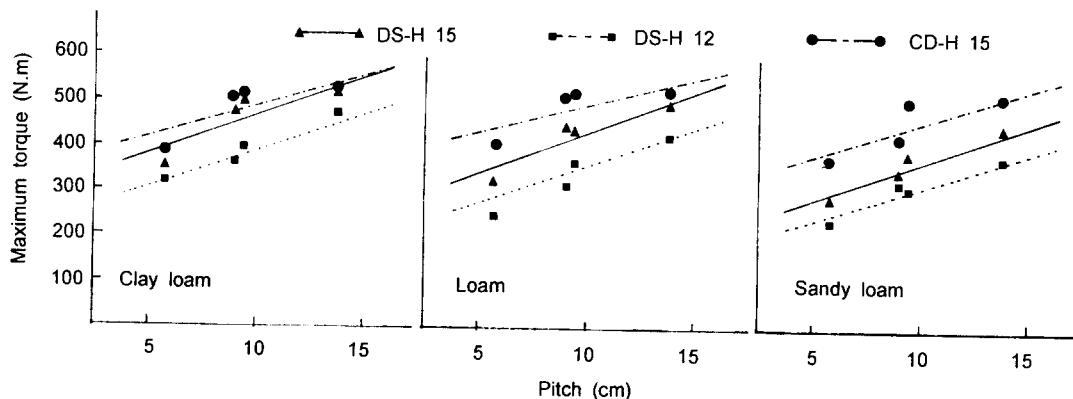


Fig. 5 Relationship between maximum torque and tillage pitch.

단면경운날에서의 최대토크의 감소율은 식양토 경운시에 1~8%, 양토 경운시 5~26%, 그리고 사양토 경운시 9~31%로 나타났으며, 경운파치가 작을수록 최대토크의 감소율이 크게 나타났다.

단면경운날의 경우에만 실시한 경심 12 cm의 경우, 경운파치가 13.65 cm일 때의 최대토크는 경운파치 6.37 cm일 때에 비하여 식양토에서 46.3%, 양토에서 72.2%, 또 사양토에서는 62.2% 만큼 각각 증가하였다. 또 경심 15 cm일 때의 최대토크에 비한 경심 12 cm인 경우의 토양별 최대토크의 감소율은 식양토에서 9~24%, 양토에서 15~29%, 사양토에서 15~20%이었다.

단면경운날의 최대토크 감소율은 토양의 종류에 관계없이 경심을 얇게 하면 최대토크도 감소하였다. 따라서 경기작업을 실시하지 않고 로터리에 의한 경운작업 만을 실시하는 경우 경심 15 cm 이

상 경운하던 관행의 로터리 경운작업은 경운부하의 축면을 고려하여 경심을 다소 얎게 할 필요가 있다고 생각된다. 경운축의 회전속도를 일정하게 하고 주행속도를 빠르게 하여 경운파치를 증가시킨 시험에서는 단면경운날이 양면경운날에 비해 최대토크가 작게 소요됨을 확인할 수 있었다. 따라서 평균토크의 분석에서와 같이 경운작업 효율을 높이기 위해서는 주행속도의 증가와 함께 경운축의 회전속도를 높이는 것이 효과적임을 알 수 있다.

### (3) 비토크

동력경운기의 주행속도와 경운축의 회전속도, 토양의 종류, 경심 및 경운날의 종류의 변화에 따라 나타나는 경운토크를 측정하고, 이것을 경폭 60 cm, 경심 15 cm 및 12 cm일 때의 비토크

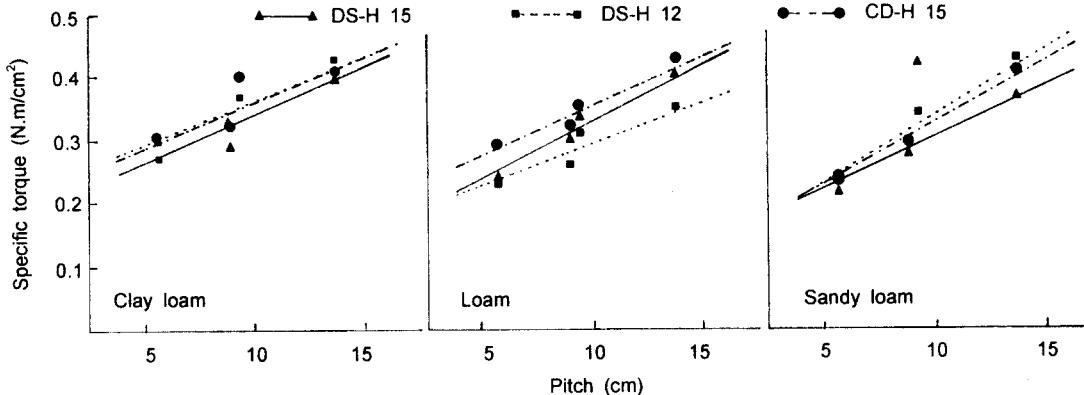


Fig. 6 Relationship between specific torque and tillage pitch.

(specific torque)로 환산하여 위의 조건들이 경운부 하에 미치는 영향을 분석하였다.

경운피치의 변화에 따른 비토크의 변화를 토양, 경운날, 경심 별로 나타낸 것은 그림 6과 같다. 경심 15 cm일 경우 단면경운날의 비토크는 0.226~0.412 N·m/cm<sup>2</sup>, 양면경운날은 0.235~0.431 N·m/cm<sup>2</sup>의 범위로 나타나. 양면경운날의 비토크가 단면경운날에 비하여 식양토에서 0~0.4%, 양토에서 4.9~20.0%, 사양토에서 4.0~10.5% 더 높은 값을 나타내었다.

비토크도 역시 평균토크나 최대토크와 마찬가지로 경운피치의 증가에 따라 거의 직선적( $R^2 = 0.71\sim0.95$ )으로 증가하여, 경운피치 13.65 cm에서의 비토크는 경운피치 6.37 cm일 때에 비하여 단면경운날은 토양에 따라 50.4~67.8%가 증가하였고, 양면경운날의 경우에는 46.6~75.3%가 증가하였다. 또 단면경운날의 경운피치의 변화에 따른 비토크는 경심 12 cm일 때가 경심 15 cm일 때에 비하여 양토에서는 4.1~14.1%가 감소하였으나, 식양토와 사양토에서에서는 반대로 4.6~10.5% 및 8.4~15.5%가 각각 증가하였다.

#### (4) 경운시 토양부착상태

경운시 토양의 부착정도와 토양과 날의 접촉상태를 확인하기 위해 점토질이 가장 많이 포함된 식양토 경운 후 경운날의 상태를 조사하였던 바, 단면경운날에는 앞면과 뒷면의 절곡부에 약간의 흙만이 부착되었다. 또 경운된 토양이 경운날 앞면의 만곡부를 지나가면서 남긴 흔적(scratch)도 케적곡선과 거의 일치하게 나타나, 토양과 경운날의

상호작용이 부드럽게 일어났던 것으로 판단된다. 그러나 양면경운날의 뒷면에는 토양의 부착이 많았고 앞면 일부에도 토양이 부착되었다. 또 경운된 토양이 만곡부에 남긴 흔적도 심하게 나타나 토양과 경운날의 상호작용이 부드럽지 않았음을 알 수 있었다.

작업 후 경운날을 떼어내고 만곡부의 토양 부착 상태를 조사한 결과, 양면경운날은 미경운 토양을 압축하였는데 비하여 단면경운날은 미경운 토양을 압축하지 않고 부드럽게 토양을 절삭하였으며 경운토양을 후방으로 배출하는 성능이 양면경운날보다 더 우수한 것으로 판단되었다.

#### 나. 포장실험

##### (1) 작업성능과 연료소비율

단면경운날과 양면경운날을 사용하여 포장에서 경운작업을 실시한 결과, 그 작업성능은 표 7과 같다.

시험포장 250 m<sup>2</sup>의 경운작업에 소요된 포장작업 시간은 단면경운날이 14.7분, 양면경운날이 17.4분으로 나타났다. 따라서 10a당 작업시간은 단면경운날 사용시에는 약 59분, 양면경운날 사용시에는 약 69분이 소요되어 단면경운날의 경운능률이 양면경운날의 경우보다 약 15% 더 높게 나타났다. 또 이것을 포장능률(field capacity)로 나타내면 단면경운날이 10.2 a/h, 양면경운날이 8.6 a/h가 되어, 단면경운날 사용시의 포장능률은 양면경운날 보다 약 19% 더 높게 나타났다. 더구나 단면경운날 시험포장의 경도가 양면경운날의 경우보다 12

Table 7 Comparison of the tillage performance

Item	Developed Blade, DS	Conventional Blade, CD
Field operating time (min)	14.7	17.4
Tilling capacity (min/10a)	58.9	69.4
Field capacity (a/h)	10.2	8.6
Fuel consumption	0.63 ℥	0.95 ℥
	0.253 ℥/a	0.382 ℥/a

~23% 더 컸던 점을 감안한다면, 단면경운날의 포장능률은 양면경운날보다 훨씬 더 높을 것으로 추정된다.

같은 면적을 로터리경운할 때 연료소비량은 단면경운날의 경우 0.63 ℥, 양면경운날의 경우 0.95 ℥ 이었다. 이것을 단위면적당의 연료소비량으로 환산하면 각각 0.253 ℥/a 및 0.382 ℥/a이 되어, 단면경운날에서의 연료소비율이 양면경운날에 비하여 약 34% 절감되는 것으로 나타났다. 이는 양면경운날의 경우에 비하여 단면경운날에서의 경운수요토크가 작았기 때문에 포장작업시간이 적게 걸렸고 따라서 포장능률은 향상되면서 연료소비율이 절감된 것으로 판단된다.

## (2) 쇄토율

경운작업 후 60 cm×30 cm 면적 내의 쇄토를 입경 2 cm 이하, 2~4 cm, 4 cm 이상으로 구분하여 수집하고, 다음 식으로 쇄토율을 계산하였다.

$$\text{쇄토율} = \frac{\text{입경 } 2\text{cm이하의 쇄토질량(kg)}}{\text{총 쇄토질량(kg)}} \times 100(%)$$

쇄토의 입경별 질량과 수집한 쇄토의 총질량, 그리고 총질량에 대한 입경별 질량의 비율은 표 8에 나타낸 바와 같다.

총질량에 대한 입경 2~4 cm와 입경 4 cm 이상인 쇄토의 질량비는 단면경운날의 경우 각각 5.7%와 1.7%이었고, 양면경운날의 경우에는 각각 14.2%와 5.7%로 단면경운날의 경우가 더 적었다. 그리고 쇄토의 입경이 2 cm 이하를 기준으로 계산한 쇄토율은 단면경운날의 경우 92.6%이었는데 비해 양면경운날의 경우 80.1%로 단면경운날에서의 쇄토율이 양면경운날보다 약 12.5% 더 높게 나타나, 단면경운날의 쇄토성능이 더 우수함을 확

Table 8 Soil breaking performance

Size	Developed Blade, DS		Conventional Blade, CD	
	Soil mass (kg)	Ratio (%)	Soil mass (kg)	Ratio (%)
Below 2 cm	22.9	92.6	19.8	80.1
2~4 cm	1.40	5.7	3.5	14.2
Above 4 cm	0.4	1.7	1.4	5.7
Total	24.7	100	24.7	100

인 할 수 있었다.

## (3) 기관의 회전속도

포장작업시 기관은 작업기에 걸리는 부하의 영향으로 인해 회전속도가 변동하므로 작업기에 걸리는 부하의 크기에 따라서 기관의 평균회전속도가 결정된다. 즉 부하가 크면 기관의 회전속도는 낮아지고 부하가 작으면 회전속도는 높아진다. 또 토양의 경도나 함수비 등과 같은 포장조건의 불균일이나, 작업시 이물질이 작업기에 걸림 등으로 인해서 순간적으로 큰 부하가 걸리면 기관의 회전속도는 저하되었다가 순간적으로 부하를 극복하거나 그 지점을 통과하면 정상적인 회전속도로 구동된다.

경운부하를 판단하기 위해서, 작업 전에 조속레버를 최대로 개방하여 무부하로 약 5분간 운전하였을 때 기관의 회전속도는  $2,450 \pm 5$  rpm에서 안정되었으므로 그 상태에서 본시험을 개시하였다. 그럼 7은 기관의 회전수 변화를 나타낸 한 예이다.

단면경운날을 사용하여 경운할 때 측정한 기관의 회전속도는 2,235~2,335 rpm 범위 내에 있었고 평균회전속도는  $2,285 \pm 50$  rpm이었으나, 순간적으로 큰 부하가 걸리는 곳에서는 평균보다 약 230 rpm 낮은 2,058 rpm까지 기관의 회전속도가 떨어지는 경우도 있었다. 한편 양면경운날의 경우 기관의 회전속도는 2,110~2,210 rpm 범위 내에 있었고, 평균회전속도는  $2,160 \pm 50$  rpm이었다. 이 경우에도 순간적으로 큰 경운부하가 걸리는 곳에서는 평균보다 약 580 rpm 낮은 1,583 rpm까지 기관의 회전속도가 크게 감소하는 경우도 있었다. 시험포장의 토양에 대한 분석에서 나타낸 바와 같이, 단면경운날과 양면경운날의 시험구간의 물리적 특성은 거의 같았지만, 단면경운날 시험구간의 토양경도가 양면경운날 시험구간의 경우보다 높았다. 토

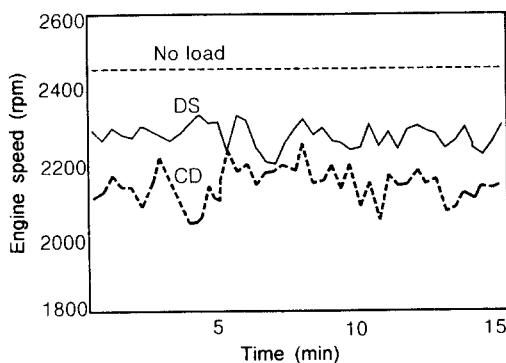


Fig. 7 A sample of engine speed variation.

양경도가 높을수록 경운동크기가 높아지므로 단면경운날의 경우의 경운부하가 양면경운날의 경우보다 크게 되어 기관의 회전속도의 변동이 커야 한다. 그러나 단면경운날 사용시 기관의 평균회전속도가 토양경도가 낮은 시험구간을 경운한 양면경운날의 경우보다 약 120 rpm 높았으며, 순간적으로 걸리는 큰 부하에 의한 기관회전속도의 저하폭도 작았다. 따라서 단면의 형상을 단면(單面)으로 하고, 도연곡선을 변경시킨 단면경운날은 기준의 양면경운날을 사용할 때보다 경운부하가 훨씬 작은 것으로 판단된다.

#### (4) 배기ガス의 온도

포장작업시 작업기에 걸리는 부하의 영향으로 배기ガ스의 온도가 변동한다. 즉 부하가 크면 배기ガ스의 온도는 높고 부하가 작으면 배기ガ스의 온도는 낮다.

두 경운날에서의 경운부하를 검사하기 위해 본 시험에 앞서 조속래버를 최대로 열고 무부하로 약 5분간 운전하였을 때, 배기ガ스의 온도가  $200 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 에서 안정되었으므로 그 상태를 기준으로 경운작업시의 배기ガ스의 온도를 각각 측정하였던 바, 그 한 예를 그림 8에 나타내었다.

단면경운날 사용시 측정한 배기ガ스의 온도는 경운초기  $250^{\circ}\text{C}$ 에서부터 서서히 증가하여 약 4분 후에는  $460 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 로 안정되었고, 이후 경운작업 시간에는 거의 일정하였다. 여기에서도 순간적으로 큰 경운부하가 걸리는 곳에서는 안정된 온도보다 약  $30^{\circ}\text{C}$  높은  $488^{\circ}\text{C}$ 까지 배기ガ스의 온도가 상승하는 경우도 있었다.

한편 양면경운날 사용시 측정한 배기ガ스의 온도는 경운초  $350^{\circ}\text{C}$ 에서부터 서서히 증가하여 약 4

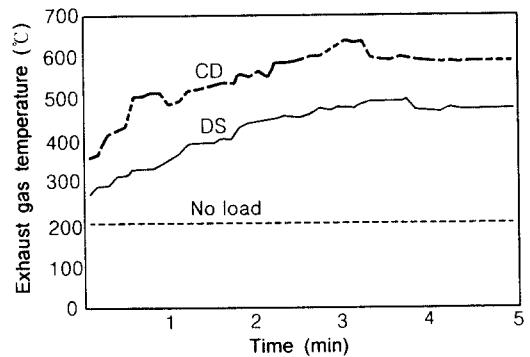


Fig. 8 A sample of exhaust gas temperature.

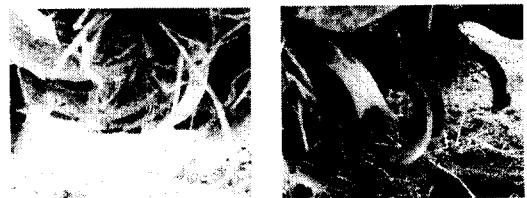


Fig. 9 Shape of soil and straw clogging on the blades.

분 후에는  $580 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 로 안정되었고, 이후 경운작업 시간에는 거의 일정하였다. 마찬가지로 순간적으로 큰 경운부하가 걸리는 곳에서는 안정된 온도보다 약  $45^{\circ}\text{C}$  높은  $625^{\circ}\text{C}$ 까지 배기ガ스의 온도가 상승하는 경우도 있었다.

위에서 두 경우를 비교하면, 토양경도가 높은 구간에서 실시한 단면경운날의 경우에서의 안정된 배기ガ스온도가 토양경도가 낮은 구간에서 실시한 양면경운날에 비해 약  $120^{\circ}\text{C}$  정도 낮았고, 순간적 이상부하에 의한 배기ガ스온도의 상승폭도 낮았다. 따라서 단면경운날을 사용했을 때가 양면경운날을 사용했을 때보다 경운부하가 훨씬 작았음을 확인할 수 있었다.

#### (5) 토양부착 및 짚의 감김상태

시험포장에서 경운작업을 실시한 후 경운날의 토양 부착정도와 경운축의 짚의 감김상태를 조사하였다. 그림 9는 두 종류의 경운날과 경운축의 토양과 짚의 감김상태를 나타낸 것이다. 단면경운날에는 양면경운날보다 흙의 부착이 적었으며, 경운축의 짚의 감김 또한 단면날을 조립한 것이 적

었다. 따라서 단면경운날이 양면경운날에 비하여 토양이나 짚풀이 잘 부착하지 않는 이점을 발견할 수 있었다.

#### 4. 요약 및 결론

작두형 로터리 경운날의 설계이론을 해석하여 개발한 단면형 경운날과 관행의 양면형 경운날을 이용하여 식양토, 양토 및 사양토로 채워진 토양 조에서 주행속도, 경운축 회전속도, 경심 등의 변화에 따른 경운특성을 분석하였다. 또 두 경운날의 작업성능을 비교하기 위하여 포장시험을 실시하여 포장능률, 연료소비율, 배기ガ스 온도, 짚풀감김정도 등을 조사하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 토양조실험 결과, 단면경운날의 평균토크, 최대토크 및 비토크는 대부분의 시험구간에서 양면경운날에 비하여 작았다. 양면경운날에 대한 단면경운날의 최대토크 감소율은 식양토에서 1~8%, 양토에서 5~20%, 그리고 사양토에서는 9~31%로 나타났다.

2) 주행속도를 일정하게 하였을 때의 경운토크는 경운피치의 감소에 따라 감소하였다. 따라서 주행속도가 일정할 경우에는 경운축의 회전속도를 높이는 것이 경운부하의 감소에 유리하였다.

3) 포장시험 결과, 단면경운날은 양면경운날보다 포장작업률이 19% 더 높았으며, 연료소비량은 34%가 절감되었다. 또 경운된 토양의 쇄토율은 단면경운날이 양면경운날보다 12.5% 더 높게 나타나. 단면경운날의 포장작업성능이 양면경운날에 비해 향상된 것으로 판단되었다.

4) 단면경운날은 양면경운날에 비하여 기관회전속도의 변동과 배기ガ스의 온도 변화가 작게 나타나 경운부하가 작게 걸리는 것으로 판단되었다.

5) 경운날에 대한 흙의 부착정도와 짚의 감김상태를 조사한 결과, 단면경운날이 양면날보다 흙의 부착이 적고 짚의 감김 정도도 적게 나타났다.

#### 참 고 문 현

1. Beeny, J. M. 1973. Rotary cultivation of wet rice land - Comparison of blade shape. *J. of the Agric. Engng Res.* 18(3):249-251.
2. Choi, K. H. and K. H. Ryu. 1984. Tilling load characteristics and power requirement for rotary tillers. *J. of the KSAM* 9(2):27-36. (In Korean)
3. Gupta, J. P. and K. P. Pandey. 1996. Performance of rotary tiller tynes under wet land condition. *Agricultural Mechanization in Asia* 27(1):16-20.
4. Hai, L. V. and J. Sakai. 1983. Studies on the tillage characteristics of single and double edged blades for Japanese rotary blades. (Part 1) - Laboratory fundamental tests. *J. of the JSAM* 45(1):49-54. (In Japanese)
5. Kim, S. R., D. I. Chang, S. G. Kwon and Y. H. Ahn. 1984. Effects of rotary tilling systems on power requirement. *J. of the KSAM* 9(2):37-47. (In Korean)
6. Kim, S. S., Y. S. Lee and J. K. Woo. 1997. Study on the improvement of rotary blades. *J. of the KSAM* 22(4):391-400. (In Korean)
7. Kim, S. T., S. K. Lee, W. J. La and E. S. Ju. 1982. Some tillage characteristics of the edge-curve angle and rotating direction of the rotary blades. *J. of the IARU., Gyeongsang Nat'l. Univ.* 16:107-115. (In Korean)
8. Korea Standard Association. 1985. KS B7142, B7143, Blade and blade case for power tiller. KSA. (In Korean)
9. Noguchi, R. and K. Nakano. 1996. Parameter identification for torque curve of rotary tillage. *J. of the JSAM* 58(6):79-88.
10. Sakai, J. and L. V. Hai. 1982. Design theories of single-edged blade for Japanese rotary blades. *J. of the JSAM* 44(3):411-416. (In Japanese)
11. Woo, J. K. 1999. Development of high-speed rotary tilling system for power tiller. Ph.D. Thesis, Gyeongsang Nat'l. Univ., Jinju, Korea. (In Korean)