

로타리 경운날의 마모에 관한 연구⁺

A Study on the Wear of Rotary Blades

최상인*
S. I. Choi

김진현*
J. H. Kim

이양근*
Y. K. Lee

Summary

Wearness has been a major failure criterion in Korean-made rotary blade. However, few studies have been conducted to improve it.

In this study, the fundamental data obtained from the measurement of wearness and failure of rotary blade were analyzed to provide a guideline for the design of rotary blades.

For the straight part (about 20-23 cm from bolt hole) from the bolt hole to bending point of rotary blade, modifications were proposed for improvements, however, for the portion from bending point to tip was made no design recommendations because the failure behavior of that portion was difficult to analyze with the experimental data.

The results are summarized as follows.

1. The current V-shape section has to be moved about 5 cm toward the bending point of rotary blade.
2. The section modulus at the portion about 5-7 cm distant from bolt hole has to be increased about 15-20 %.
3. The V-shape section has to be changed into U-shape to reduce the on account of relieving initial stress in blades.
4. The radius of curvature of the neck (the portion about 5-7 cm apart from bolt hole) has to be made larger to decrease the stress concentration.

1. 서론

로타리 경운날의 마모와 파괴로 인한 잦은 교체는 경운작업의 시간적, 경제적으로 큰 장애와 손실을 주고 있다. 경운날의 마모는 마모속도에 직접적으로 관계가 있으며 마모의 속도에 관한

메카니즘은 불명확한 점이 많은 것으로 알려져 있다.

일반적인 메카니즘의 요인은 크게 보면 토양의 종류와 물리적인 특성, 작업의 조건, 날의 제작상 문제점으로 집약이 된다. 기술개선의 측면에서도 고려되어야 할 사항이 다양하지만 경운

⁺ 본 연구는 91년도 한국농업기계학회 산학협동연구비의 지원으로 수행되었음

* 상주산업대학교 산업기계공학과

날의 마모와 파괴 등의 내구성 문제에 대한 직접적인 연구는 거의 없는 실정이다. 경운날의 내구성에 영향을 미치는 토양의 물리적인 특성으로는 토성, 토양경도, 점착력, 함수비, 토양공극 등을 들 수 있으며 작업의 조건으로는 경운날의 회전속도, 경운깊이, 인접날의 영향, 주행속도 등을 들 수 있다. 그리고 날의 제작상 문제점으로는 규격, 무게, 강도, 날내부의 초기응력 관계 등이 경운날의 마모속도에 영향을 주고 있다. 대다수 경운날에 관한 연구는 경운부하특성, 경운토의 파괴상태, 흙의 반전 상태, 회전저항의 연구 등이 주종을 이루고 있다. 그러나 여기서도 토크 파괴형의 성립요소와 저항의 발생위치, 크기에 관해서는 아직도 연구가 명확하지 않다. 또한 역학적 특성, 동력특성에 관해서는 이론체계에 문제가 남아있다.

최근에 선진국에서는 이러한 이론체계 중심의 연구가 현장중심의 연구지향적인 형태로 전환되는 경향에 비하여 로타리 경운날의 연구는 동력과 이론중심에 치우치는 경향이 있어서 실제로 사용자에게는 사용상의 문제점에 대한 해결 방안을 제공하지 못한 입장이었다.

그러므로 본 연구는 현재 시판, 사용되고 있는

경운날의 마모와 파괴에 관한 문제점을 구명하여 보다 우수한 경운날을 제작하기 위한 보완점을 추정하는데 역점을 두었다. 본 연구의 수행조건은 다음과 같다.

- 가. 마모속도에 영향을 주는 토양의 조건을 현장상태에 기준하여 수행하였다.
- 나. 경운날의 제작상 결함으로 인한 무게, 강도, 규격 등의 오차는 무시하였다.

2. 실험방법

가. 공시포장 및 토양조건

로타리 경운날의 마모 실험을 수행하기 위하여 사용된 실험포장은 약 2,000m²의 대학내 실습포장을 이용하였다. 토양의 조건은 그림 1과 같이 입도 분포가 좋으며 압축성과 팽창성이 극히 작은 실트질의 모래인 SM으로 판명되었다.

토양의 비중은 2.73이며 토양내 10cm 깊이의 함수비(dry moisture ratio)는 평균 약 10% 이었다. 그리고 경운 깊이는 15cm로 비교적 건조한 상태에서 실험되었다.

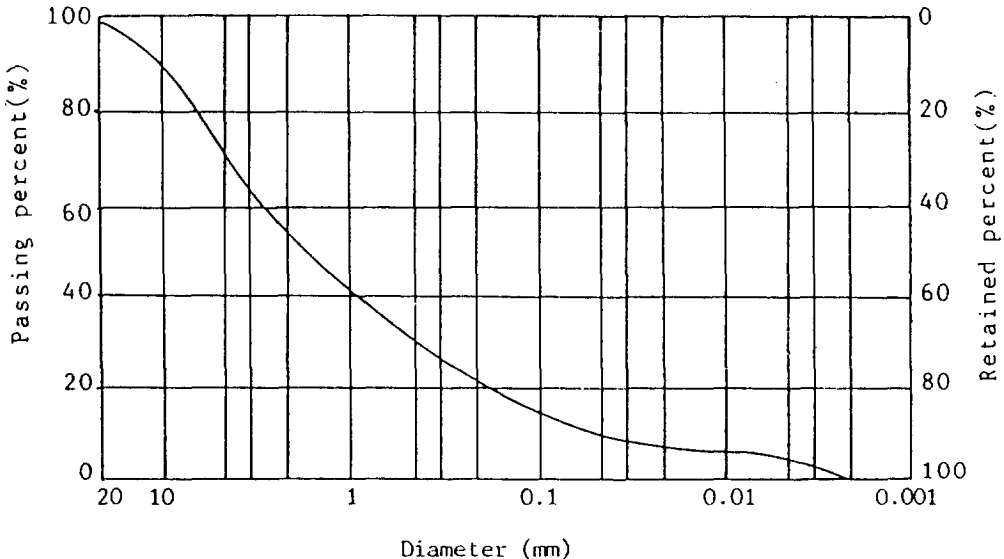


Fig. 1 The grain size of soil used for experiment.

나. 작업조건과 시편

실험에 사용한 트랙터는 대동 22 ps(2201)용 로타리 경운날이며 마모 시험을 위하여 평균주행속도 0.43m/sec, 로타리의 평균 회전 속도 200 rpm으로 작업 조건을 일정하게 하였다. 작업시간은 마모가 거의 끝나는 시간을 기준으로 약 7 시간 실시하였고 작업 시간별(약 30분 간격)마모된 날을 한 개씩 선택하였다.

마모 시험을 위한 작업은 4 반복을 하였으며 1회 작업시 소요 경운날의 수는 36개 이므로 모두 146 개의 날이 사용되었다.

3. 결과 및 고찰

가. Rotary Blade의 저항력

로타리 경운날의 마모는 날이 토양속으로 침투되어 토양을 절삭할 때 발생하는 마찰에 의하여 일어난다. 우리나라에서는 대부분 Down cut tilling 방식에 의하여 경운이 이루어 지므로 경운날이 받는 토양 저항력은 크게 직선부와 곡선부의 저항력으로 나누어 추정할 수 있다.

그림 2는 직선부의 토양 저항을 표시하였다.

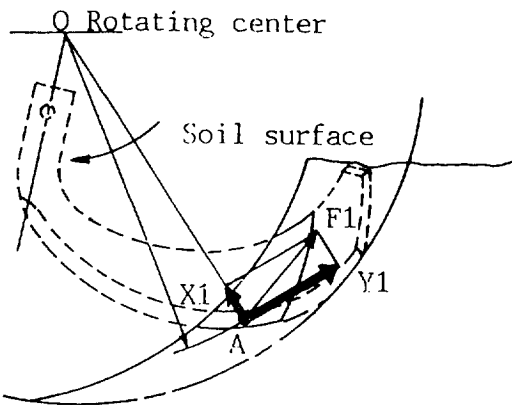


Fig. 2 Rotating resistance force Y1 and centripetal force x1 acting on a rotary blade(22 ps).

그림에서와 같이 직선부 A에서는 경운날의 회전 중심 O에 대한 회전 반경이 작고 토양으로부터의 단면에 대한 저항이 작기 때문에 직선부의 토크가 곡선부에 비하여 작게 나타난다. 직선부의 토크는 토양의 저항으로부터 회전중심에 작용되는 반경과 경운날의 저항면적에 비례하며, 토양 저항력은 F_1 의 방향으로 작용하므로 회전 중심으로 향하는 구심력 X_1 과 회전 저항 Y_1 으로 분력된다. 직선부 A에서는 토양의 저항력이 회전 중심을 향하므로 경운날의 외측에서부터 마모가 시작된다.

그리고 직선부 A에서 Bolt hole 쪽으로 갈수록 토양의 절삭량이 줄어들기 때문에 토양저항력은 작아지며 마모 또한 감소된다. 그러므로 직선부의 토양저항이 최대인 위치는 직선부에서 곡선부로 굽는 부분으로 판단되어 진다.

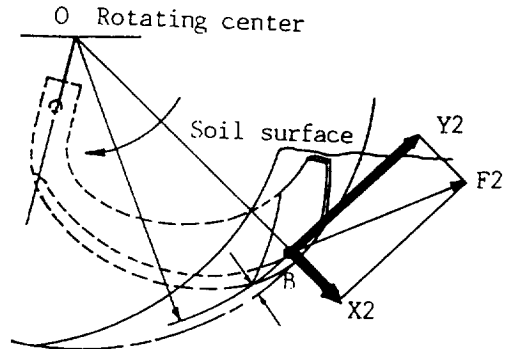


Fig. 3 Rotating resistance force Y2 and radial suction force X2 acting on a rotary blade (22 ps).

반면에 그림 3에서와 같이 곡선부 B에서는 절삭된 토양에 의하여 저항력은 F_2 의 방향으로 작용되므로 흡인력 X_2 과 회전 저항 Y_2 의 분력을 가지게 되며 토양 저항력도 대단히 증가된다. 따라서 곡선부에서는 경운날의 안쪽에서 바깥 쪽으로 마모가 진행됨을 알 수 있다. 회전저항은 토양에 침투되는 깊이에 따라 거의 비례하여 커지지만 최대 마모는 직선부와 곡선부의 변곡점

에서 발생될 것으로 보여진다.

그리고 경운날의 Bolt hole에서 약 5-7 cm 부근에 있는 날의 목 부분은 Bolt hole 부분보다 회전저항 모멘트를 크게 받으나 절삭으로 인한 토양 저항이 미세하므로 마모량이 대단히 작게 나타난다.

나. 로타리 경운날의 마모량

그림 4와 5에서는 경운날의 작업시간에 대한 마모를 표시하고 있다.



Fig. 4 The shape variation of rotary blade according to operating time.

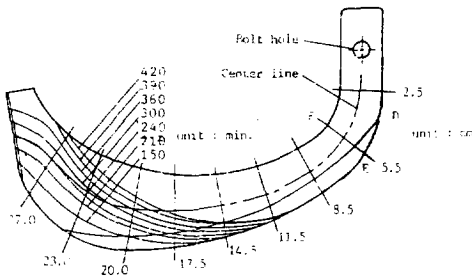


Fig. 5 Curves showing shape variation of a rotary blade according to operating

그림 5에서와 같이 경운날의 Bolt hole에서 중심선을 따라 약 7cm의 위치까지는 전 작업 시간 동안 마모가 거의 없었으나 토양의 조건과 경운 깊이의 조절로 인하여 마모가 다소 달라질 수 있다.

경운날의 마모는 직선부와 곡선부의 변곡 위치 즉 Bolt hole에서 약 25cm 떨어진 위치에서

최대 마모가 일어났다. 작업시간 150분 이후부터 변곡점은 흡인력에 의하여 안쪽에서 부터 외측으로 마모가 촉진되어 진다. 또한 변곡점 부근에서 심한 마모가 이루어지며 작업 후 5-6 시간 사이에 날의 끝 부분은 떨어져 나가게 된다.

연약한 토양일 경우에 심경으로 인한 마모가 이루어 진다 하더라도 Bolt hole에서 약 7-8cm 까지는 토양 저항이 대단히 작아진다. 그리고 이 부분은 경운날 중에 최대의 응력을 받는 부분이다. 따라서 토양 절삭의 효과보다 날의 회전 모멘트를 날 끝으로 전달하는 기능을 하기 때문에 토양 침입 저항을 줄이기 위한 V형 단면 형상은 초기에 충격 하중에 의해 파괴되지 않으면 날의 수명시간을 마칠 때까지 크게 마모되지 않는다. 그러므로 토양의 침입 저항을 줄이기 위하여 날의 중심선(Bolt hole)에서 약 3-3.5cm 떨어진 위치에서부터 시작되는 V형 단면의 압연은 큰 의미가 없음이 입증된다.

또한 V형의 단면 형상은 토양에 침입시 충격 저항을 줄이기 위한 목적으로 제작되어 있으나 날의 직선부와 곡선부의 변곡점으로부터 날 끝까지는 작업 30분 이내에 마모가 일어났다. 그러므로 날의 변곡점 주위에서 날의 끝 부분까지도 오히려 마모가 촉진되는 것으로 판단되어 진다.

뿐만 아니라 동결 팽창성법⁽²⁾에 의한 로타리 경운날의 응력 해석의 결과에 의하면 날집에서 약 3-5cm(즉, Bolt hole에서 5-7 cm)되는 부분의 단면 계수가 가장작고 충격 하중에 의하여 전체 파괴의 58%를 차지하는 위험 단면임이 입증되었다. 그러나 현재 제작된 날은 토양침입저항을 줄이기 위하여 날의 단면을 그림 5의 D점으로부터 V형으로 연마시킴으로써 단면 계수를 감소시키고, 연마로 인한 초기 내부 응력을 주거나, 날의 균열(Crack)을 남기는 등의 파괴 확율을 높이는 역할을 하는 것으로 추정된다. 따라서 현재 Bolt hole에서 3-4cm되는 곳의 단면에 있는 V형 압연의 위치를 약 5cm가량 날의 몸통 부분으로 이동되어야 할 것으로 사료된다. 또한 V형의 기계적 압연으로 인한 경운날의 내부 응력이나 표면 균열을 방지하기 위하여 U형의 가공이

바람직한 것으로 판단되었다. 뿐만아니라 Bolt hole 부근의 변곡점에 대한 설계는 현재 약 6.7 cm로 되어 있는 곡을 반경을 더 크게 하여 토양의 회전 저항을 분산시켜야 할 필요가 있다. 아울러 변곡점의 단면 계수를 크게 하여 날의 내부의 굽힘 응력을 감소시켜야 하므로 단면의 새로운 설계가 요망된다.

다. 로타리 경운날의 단면적 변화

그림 6은 작업 시간별 경운날의 중심선 위치에 대한 단면적의 변화를 표시하였다. 단면적의 변화를 보기 위하여 각각의 마모된 경운날과 동일한 경운날을 에폭시로 Molding하여 각각의 모형에폭시날을 절단한 단면을 디지털 플라니메타(Digital planimeter)에 의하여 구하였다.

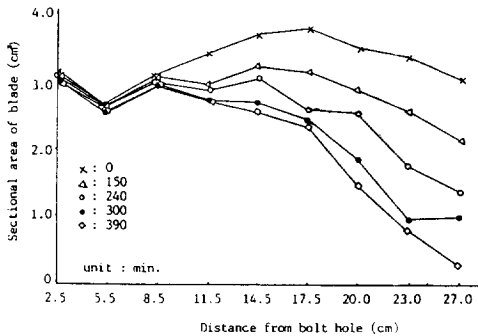


Fig. 6 Relation between sectional area of blade and distance from bolt hole at various elapsed time of operation.

그림에서와 같이 작업 시간은 연속으로 390분 까지 나타내었다. Bolt hole의 중심선에서 2.5cm, 5.5cm, 8.5cm까지는 단면적의 변화가 거의 없었다. 특히 Bolt hole에서 5.5cm의 위치에 있는 경운날의 단면적은 2.5~2.7cm²으로서 바로 주변보다 약 7~28% 정도 단면적이 작으므로 경운 작업 초기에 충격 하중에 의한 파괴 확률이 이 부분에서 가장 높게 나타나는 원인의 한 가지로 볼 수 있다. 그러므로 날의 목 부분 즉 Bolt hole에서 5.5cm 부근의 단면적을 현재보다 15~20% 증가시킨 3.2cm² 이상으로 제작하여야 할 것으로 판

단되었다.

그러나 Bolt hole의 중심선에서 11.5cm 이후에는 작업 시간에 대한 마모의 면적이 비례적으로 크게 나타나므로 상대적으로 잔류 단면적은 현저히 줄어들고 있다. 경운날의 마모 형상은 토양의 종류와 작업 조건에 따라 다소 차이가 있으나 변곡점 부분의 마모를 제외하고는 거의 비슷한 양상으로 마모가 이루어진다.

로타리 경운날의 최대 마모 부분은 토양 저항의 반력이 구심력에서 흡인력으로 전환되는 부분이며 이 부분은 작업시간 5~6 시간 사이에 경운날의 안쪽면까지 마모가 진행되어 날의 끝 부분은 떨어져 나가게 된다. 그러므로 작업 7시간 후에는 날의 몸통 즉 직선부만 남아 경운이 불가능해지게 된다. 날의 끝 부분에 대한 보완 및 개선은 경운날의 사용 시간에 직접적으로 영향을 미치게 됨으로 대단히 중요하다.

4. 결론

로타리 경운날의 마모와 파괴로 인하여 소모되는 날의 수는 대단히 많지만 날의 개선에 관한 직접적인 연구는 미비한 실정이다. 본 연구에서는 경운날의 마모와 파괴의 원인을 규명하여 이에 적합한 새로운 날을 설계하기 위한 기초 자료를 얻고자 하였다.

경운날의 Bolt hole에서 변곡점까지의 부분 즉 직선부(Bolt hole에서 약 20~23cm의 위치)에 대한 개선점은 다소 제시되었으나 변곡점 이후 끝 부분의 역학적 메카니즘이 복잡하여 명확한 규명에 어려움이 있었다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 경운날의 토양 저항을 줄이기 위하여 날을 V형으로 압연한 부분의 위치가 날의 몸통 부분으로 약 5cm 정도 이동되어야 한다.

나. 경운날의 Bolt hole에서 몸통 사이(Bolt hole에서 약 3~9cm의 위치) 부분의 곡률 반경을 크게 함으로서 응력의 집중이 분산될 것으로 사료된다.

다. Bolt hole에서 약 5~7cm 부분에는 단면적

수가 약 15~20 % 증가되어야 한다.
 라. V 형의 압연은 내부에 초기응력을 주므로 U 형으로 설계하는 것이 적합할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 최상인, 김진현, 김창수, 김재열. 1990. 光彈性法에 의한 로타리 경운날의 파괴요인에 대한 해석(정하중에 의한 응력집중). 한국농업기계학회지 15(3) : 177-185
2. 최상인, 김진현. 1991. 凍結 光彈性法에 의한 로타리 경운날의 應力解析. 한국농업기계학회지 16(3) : 211-218
3. 坂井 純, 램한hari, 岩崎浩一, 田安雄. 1984. 로타리 耕나 ための 耕うん 抵抗特性. 日本農業機械學會誌 46(1) : 593-598
4. 澁澤 榮, 片岡 崇, 近江谷和彦, 寺尾日出男. 1990. 로타리 耕うんに かけね 土塊의 形成過程(第1報). 日本農業機械學會誌 52(1) : 69-75
5. 澁澤 榮, 片岡 崇, 近江谷和彦, 寺尾日出男. 1990. 로타리 耕うんに かけね 土塊의 形成過程(第2報). 日本農業機械學會誌 52(2) : 3-9
6. 山田 通, 五藤星三, 山崎 稔. 1990. 로타리 耕うん 狐의 磨耗(I). 日本農業機械學會誌 52(6) : 81-86

7. 山田 通, 五藤星三, 山崎 稔. 1991. 로타리 耕うん 狐의 磨耗(II). 日本農業機械學會誌 53(1) : 97-102

* * 그림 설명

Passing percent(%) Diameter(mm)

0 20 40 60 80 100 20 10 1 0.1 0.01 0.001
 100 80 60 40 20 0 Passing percent(%)

O Rotating center Soil surface Y1 F1 A X1

A) 0 min B) 30 min C) 150 min
 D) 270 min E) 360 min F) 420 min

420 390 360 300 240 210 150 E D

Bolt hole Center line unit : min. unit : cm
 2.5 5.5 8.5 11.5 14.5 17.5 20.0 23.0 27.0

Sectional area of blade(cm²)

Distance from bolt hole(cm)

0 1.0 2.0 3.0 4.0 2.5 5.5 8.5 11.5 14.5 17.5 20.0 23.0
 27.0

x : 0

△ : 150

○ : 240

● : 300

◇ : 390

unit : min