바이오시스템공학 (*J. of Biosystems Eng.*)
Vol. 34, No. 6, pp.411~419 (2009. 12)

화본과 녹비작물 시용을 위한 파쇄·매몰 장치 개발

홍종태 유병기 오권영 이충근 임종국 노진상

Development of a Shredding and Burying Machine for the Application of Gramineae Green Manure Crops

J. T. Hong B. K. Yu K. Y. Oh C. K. Lee J. G. Lim J. S. Noh

Abstract

This study was carried out to develop a shredding-burying machine for application of gramineae green manure crops that were tall and had high biomass yield such as sudan grass and rye. We made a prototype to operate both shredding and burying concurrently to attach at middle-sized tractors.

Field tests were performed with the prototype to treat rye and sudan grass. The test results showed that the average cutting length became shorter and the quantity of entwined stem became obviously decreased when the PTO shaft speed was fast and running speed was slow. Also, We found, when the cut stem length became shorter, the burying ratio became more increasing and the PTO power requirement became more decreasing. Working efficiency of the prototype was better than conventional Rotary. The test results for treating rye/sudan grass with prototype showed that average cutting length was 21.2/22.5 cm and burying ratio was 98.4/98.1% when the PTO shaft speed was 1,000/1,000 rpm and running speed was 0.25/0.17 m/s. Also, the working performance of the prototype was 0.79 and 1.14 h/10 a for rye and sudan grass, respectively. Finally, we found that the prototype of shredding-burying machine was better for labor than conventional method that required at least 3 times bigger tractor.

Keywords : Green manure crops, Sudan grass, Rye, Application, Shredding and burying machine

1. 서 론

녹비작물은 소비자들의 유기농산물에 대한 요구도 증대와 2013년까지 화학비료 40% 절감목표에 따른 정책추진에 힘입어 재배면적이 '07년 140천 ha까지 증가 되었다(Yun, 2008). 주요 녹비작물(綠肥作物)로는 수단그라스, 호밀과 같은 화본과(禾本科, Gramineae) 녹비작물과 헤어리베치, 자운영과 같은 두과(豆科, Leguminosae) 녹비작물 등이 재배되고 있다. 이러한 녹비작물을 농경지에 환원함으로써 공중질소를 고정하고 양분유실 경감으로 화학비료를 대체 할 수 있으며, 토양 건전성 회복과 친환경 농산물을 생산하는 효과가 있다. 특히 인삼재배 예정지에서는 섬유질이 많은 수단그라스, 호밀 등을 재배하여 토양에 시용하면 토양물리성개선과 무기염류 제거에 탁월한 효과가 있으며(Im, 2007), 녹비작물의 토양환원을 위한 효과적인 시용은 녹비작물을 잘게 절단 파쇄하여 15 cm 이내의 표토 층에 혼입시키는 것이 최적의 예정지관리라고 하고 있다(Mok, 2009). 현재 농가에서 하고 있는 녹비작물 시용방법은 크게 두가지 형태로 첫 번째 방식은 대형 트랙터 부착 로터리를 이용하는 방법이다. 작업 시기는 녹비작물이 로터리 날에 감기지 않는 상태인 목질화 되기 이전의 출수기에 3회 이상 로터리 경운작업을 실시하고 있다. 따라서 시용 노력 및 비용이 많이 소요되며, 시기가 늦어지면

This study was conducted by the research fund supported by Rural Development Administration of Korea. The article was submitted for publication on 2009-09-08, reviewed on 2009-10-08, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2009-11-10. The authors are Jong-Tae Hong, Byeong-Kee Yu, Kwan-Young Oh, Choung-Keun Lee, Jong-guk Lim, Agricultural Researcher, National Academy of Agricultural Science, RDA, and Jin-Sang Noh, KSAM member, Seoul City Officer, Corresponding author: J. T. Hong, Agricultural Researcher, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon, 441-100, Korea; Tel: +82-31-290-1864; Fax: +82-31-290-1860; E-mail: <hongjt@rda.go.kr>.

녹비작물이 목질화 되어 로터리 날에 감기는 문제가 있다. 두 번째 방식은 녹비작물이 목질화 되어 로터리 날에 감김이 심할 경우에도 이용하는 방법으로 트랙터부착용 쟁기를 이용하여 갈아엎은 후 일정기간 경과 후에 다시 쟁기로 반전하여 부숙 시킨 후 로터리를 이용하여 잘게 파쇄, 매몰하는 방법으로 녹비작물의 시용시기에는 영향을 적게 받으나, 역시 노력이 많이 들고 녹비작물이 부숙 되는 기간이 길다. 또한 쟁기로 깊게 매몰하여 심토 층에 부숙이 덜된 유기물이 많이 남아 있을 경우에는 유기산 등 유기가스 발생에 의한 황하현상, 모잘록병 등 생리장해 현상이 발생한다고 하였다(Mok, 2009). Choe 등(2007)은 트랙터부착용 경운작업기 및 예취작업기 종류별 녹비작물 절단, 매몰적응성을 검토한 결과 쟁기는 몰드보드 플라우가 디스크 플라우에 비해 연맥줄기가 걸려 수시로 제거해야하나 반전성이 좋아서 매몰상태는 양호한 것으로 나타났다. 또한 로터리 날 종류별 절단, 매몰적응성 검토 결과 작두형 심경날, L자형 날, 작두형 날 순으로 나타났으며, 초장이 크며 질긴 화본과 녹비작물의 경우 날 회전축에 감김현상이 심하여 자주 제거해야 작업이 가능하다고 하였다. 제초용 초퍼를 이용하여 수단그라스 절단시험결과 적정 작업조건은 37 kW의 중형 트랙터 이용시 주행속도 0.7 m/s, PTO축 회전수 800 rpm에서 평균 파쇄길이는 12 cm 수준인 것으로 보고하였다. Yi와 Kim(1986)은 동력경운기용 로타리를 이용하여 논 포장 표면에 450 kg/10 a의 볏짚을 살포한 상태에서 경운작업을 할 때 로터리 경운 날 축에 볏짚이 감기는 것을 방지하기 위해 토양함수비와 볏짚의 절단 길이(30, 45, 90 cm), 경운날 패적진입각, 로타리의 전진속도에 변화를 주어 볏짚 감김 정도를 조사한 결과 토양함수비는 30%(d.b.)로 낮고, 볏짚의 절단길이 30 cm, 경운날의 패적진입각은 55°, 주행단수는 저속1단에서 작업하는 것이 좋은 것으로 나타났으며, 특히 볏짚 절단길이 30 cm 보다 길면 날축에 감겨 경운작업에 지장을 준다고 보고하였다. Park과 Kim(1983)은 논의 볏짚 시용이 춘계 이경작업성능에 미치는 영향 구명을 위해 볏짚 절단 길이별로 시험결과 역시 볏짚 절단 길이 30 cm인 경우 견인력과 연료소모량이 최소로 나타났다.

본 연구에서는 아래 정리한 여러 여건을 고려하여 화본과 녹비작물의 파쇄·매몰하는 장치를 개발하는데 목표를 두었다. 개발에 필요한 여러 조건들은 현재 농가에서 녹비작물 시용에 가장 애로가 많은 초장이 크고 질기며 생초중량이 많은 호밀, 수단그라스 등 화본과 녹비작물을 대상으로 하고, 녹비작물이 잘 부숙 되어 농작물 생육 중 생리장해를 받지 않도록 잘게 절단 파쇄하여 표토 층 15 cm 이내에 골고루 매몰해야 하는 점, 농가에서 쟁기, 로터리를 이용하여 여러 번에 걸쳐 작업해야하는 번거로움을 줄이고 작업정밀도 향상은 물론 소요 노동력 및 기계이용비용 절감을 위하여 단 한번에 파쇄와 동시에 매몰해야 하는 점, 농가에서 많이 보유하고 있는 37 kW급 중형 트랙터에도 부착할 수 있는 점 등을 고려하여 화본과 녹비작물을 한번에 파쇄와 동시에 매몰할 수 있는 트랙터 부착형 녹비작물 파쇄·매몰 장치를 개발하고자 연구를 수행하였다.

2. 재료 및 방법

가. 시작기 설계제작

수단그라스, 호밀 등과 같이 초장이 크고 질기며 생체중량이 많은 화본과 녹비작물을 파쇄와 동시에 매몰 할 수 있는 트랙터 후방부착용 녹비작물 파쇄·매몰 장치시작기의 구조 및 작동원리는 그림1, 2와 같다. 그림에서와 같이 녹비작물을 잘게 파쇄하는 프레일 날을 구비한 파쇄부와 파쇄시 프레일 날이 일정한 높이를 유지하기 위한 미륜, 파쇄된 녹비작물을 땅속에 매몰하기 위해 로터리 날을 구비한 매몰부, 동력전달부로 구성하였다. 파쇄부에 적용한 프레일 날은 제초 및 목초 수확에 많이 적용하고 있는 회전직경 390 mm, 날폭 95 mm의 Y형 프레일 날을 사용하였고, 날 회전 방향은 좀더 잘게 절단하기 위해 역회전(up-cut) 방식이며, 프레일 회전 날 의

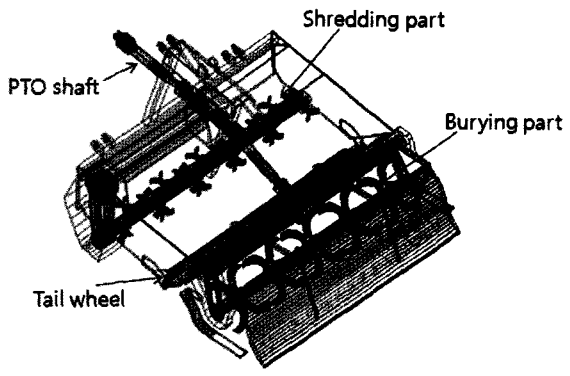


Fig. 1 Schematic Diagram of the Prototype.

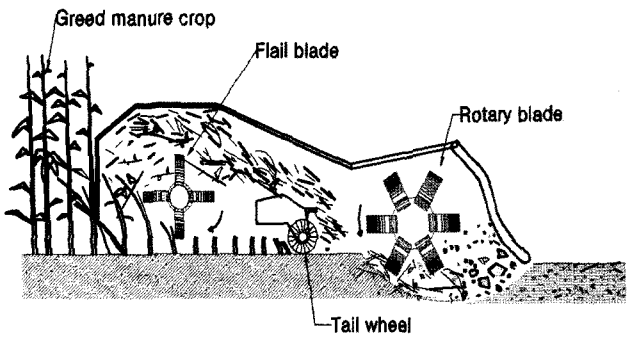


Fig. 2 Process of shredding-burying operation for green manure crops.

Table 1 Physical characteristics of green manure crops and soil of green manure crops cultivation field

Crops	Green manure crops			Soil of cultivation field			
	Moisture content (%, w.b.)	Plant height (cm)	Plants weight (g/m^2)	Soil texture	Moisture content (%, d.b.)	Soil hardness (kPa)	Location
Rye	70.5	172.0	1,268	SiCl	25.6	584	Suwon
Sudan grass	74.4	258.5	8,810	SiCl	27.6	476	Suwon

선단 주속도는 일반 사료작물수확기에 사용하는 프레일 날의 선단주속도 범위가 46~56 m/s(Korean Society for Agricultural Machinery, 1998) 정도임을 고려하여 시작기도 트랙터 PTO에서 취출한 동력을 기어박스와 벨트풀리의 증속에 의해 날의 선단주속도는 각각 37~67 m/s(PTO 회전수 540~1,000 rpm)가 되도록 하였고, 프레일 날이 지면에 닫아 회전수의 감속 및 파손을 막기 위해 지면으로부터 5~10 cm 위치를 유지하며 절단하도록 미륜을 부착하였다. 잘게 절단·파쇄 된 녹비작물은 상부 유도판을 따라서 뒤쪽으로 배출되어 정회전(down-cut) 방식 로터리 날의 회전(1단 165, 2단 185, 3단 208 rpm)에 의해 15 cm 깊이 이내의 표층에 매몰되도록 하였으며, 동력은 트랙터 PTO에서 취출하는 구조로 설계하였다. 시작기의 기체 크기 1,300 × 1,630 × 1,030 mm, 중량 583 kg, 작업폭150 cm으로 중형 트랙터에 부착하여 이용가능토록 파쇄부와 매몰부가 일체형 하우징 구조로 제작 하였다. 본 시험에 사용한 트랙터는 중형트랙터에 부착하여 적용가능성을 알아보기 위해 보유하고 있는 37 kW급 중형트랙터(T500)에 부착하여 시험하였다.

나. PTO축 소요동력 측정시스템

본 시험에서는 녹비작물 파쇄·매몰장치의 포장에서 실시간 PTO 축 소요동력을 측정하기 위하여 트랙터의 PTO 축과 파쇄·매몰장치 작업기 구동축에 정격토크가 500 Nm인 비접촉 회전식 토크미터(독일 Lorenz사, Model : RCL-2112R-500)를 사용하여 작업기가 유동상태에서도 안정성을 확보할 수 있는 floating Type을 적용하였고, 소요동력측정시스템은 데이터를 저장 및 분석하는 터치패널, 상용토크가 내장된 PTO동력전달 축, 시험의 시작/정지 기능을 위한 트리거 버튼, 데이터 획득 및 처리장치 등으로 구성하였다. 소요동력측정 프로그램은 Lab VIEW 8.1을 사용하였고, 소요동력 측정장치로 획득한 토크(T_p) 및 회전속도(N_p) 데이터는 아래의 식 1과 같이 소요동력 계산공식(P)을 이용하여 자동으로 산출되도록 하였다.

$$P = \frac{2\pi T_p N_p}{60{,}000} \quad (1)$$

Where, P : Power Requirement of tractor PTO (kW)
T_p : Toque of PTO shaft (Nm)
N_p : Number of PTO shaft rotation (rpm)

다. 공시포장 및 작물조건

호밀 파쇄·매몰시험을 실시한 시험포장은 국립식량과학원 시험포장으로서 토양함수율 25.6%, d.b, 토양경도 584 kPa의 식양토였으며, 호밀의 경우는 우천으로 포장 진입이 곤란하여 출수기가 지나 황숙기에 접어드는 평균 초장 172 cm, 수분함량 70.5%, w.b, 생초중량 1,268 g/m^2 인 공시작물을 대상으로 시험하였다. 또한 수단그라스 파쇄·매몰시험을 실시한 시험포장은 국립농업과학원 농업공학부 시험포장으로서 토양함수율 27.6%, d.b, 토양경도 476 kPa의 식양토였으며, 수단그라스의 평균 초장은 258.5 cm, 수분함량 74.4%, w.b, 생초중량 8,810 g/m^2 인 공시작물을 대상으로 시험하였으며 공시포장의 토양 물리성과 작물특성은 표 1과 같다.

라. 시험내용 및 방법

작물별 파쇄·매몰 적정작업조건을 구명하기 위하여 시작기를 37 kW급 트랙터(T500)에 부착하여 호밀의 경우는 무부하 엔진회전수는 2,500 rpm, 프레일 날 절단높이는 5 cm 위를 절단하게 하고, 로터리 날 깊이는 15 cm정도로 맞춘 상태에서 주행속도 3수준(부변속(L)-주변속(1단, 2단, 3단))으로 주행1단 0.25~0.26 m/s, 주행2단 0.30~0.32 m/s, 주행3단 0.41~0.46 m/s, PTO 회전수는 3수준(1단 540 rpm, 2단 750 rpm, 3단 1,000 rpm)으로 이때 PTO회전수의 변화에 따른 프레일 날 주속도와 로터리 날 회전수는 PTO 1단(37 m/s, 165 rpm), PTO 2단(51 m/s, 185 rpm), PTO 3단(67 m/s, 208 rpm)으로 하여 슬립율, 파쇄정도, 줄기감긴량, 매몰률, 토오크, 소요동력 등을 조사하였다. 수단그라스도 호밀과 동일하게 시작기의 각부를 세팅하였으나, 호밀에 비하여 생초중량이 많아 주행 1단 이상 작업은 곤란하여 주행1단 0.16~0.18 m/s로 고정하고, PTO 회전수는 3수준(1단 540 rpm, 2단 750 rpm, 3단 1,000 rpm)으로 하여 슬립율, 파쇄정도, 줄기감긴량, 매몰률 등을 조사하였다. 파쇄정도는 프레일 날의 고속회전에 의해 잘려진 녹비작물의 파쇄 길이를 1 m^2 샘플영역에서 측정하여 평균하였고, 날 축에 감긴 정도를 알아보기 위하여 시작기를 20 m 주행한 후 날 축에 감긴 생초중량을 측정하였다. 매몰률(B)은 시험전 1m^2 당 생초중량을 측정하고, 시험 후 각 구간별 1m^2 샘플영역에서 표면에 노출된 생초중량을 측정하여 빼낸 매몰된 생초중량을 유도 계산하여 아래의 식 2에서와 같이 백분율로 환산하였으며, 이때 매몰상태

의 기준은 매몰률 90% 이상을 양호, 80~90% 보통, 80% 미만을 불량으로 판정하였다.

$$B = \frac{(WB - E_wA)}{WB} \times 100 = \frac{B_wA}{WB} \times 100 \quad (2)$$

Where, B : burying ratio(%)
WB : Plants weight before field test (kg/m^2)
E_wA : Exposed plants weight on the ground after field test (kg/m^2)
B_wA : Buried plants weight in the ground after field test (kg/m^2)

슬립율(S)은 트랙터가 작업기 구동에 의한 견인부하를 받으며 주행할 때 차륜과 토양사이에 전단변형에 의하여 슬립이 발생하는 것으로 진행저하율(travel reduction)을 나타내는 척도로 쓰고 있다(koh et al., 1986). 슬립율 계산은 트랙터가 견인부하가 없는 상태에서 구동륜 5회전 진행거리와 포장시험시의 견인부하를 받는 상태에서 구동륜 5회전 진행거리를 측정하여 아래 식 3과 같이 백분율로 나타냈다.

$$S = \frac{(Dn - D_l)}{Dn} \times 100 \quad (3)$$

Where, S : Slippage (%)
Dn : Traveling distance by no loading state (m/5re)
D_l : Traveling distance by loading state (m/5re)

또한 시작기의 작업효과 비교분석을 위하여 일반 로터리를 대비기종으로 호밀, 수단그라스를 공시하여 주행 1단 작업으로 하고 PTO 속도별(540, 750, 1,000 rpm) 파쇄·매몰정도, 날 축에 녹비작물 감김 정도를 비교 시험하였다.

한편 조사된 데이터를 이용하여 파쇄·매몰 작업정도 및 소요동력과 주행속도, PTO 회전속도 등 작업조건 들과의 상관관계를 구명하기 위해 상관계수를 산출하였으며, 분석도구로는 SYSTAT 8.0 통계해석 프로그램을 이용하였다.

시작기의 작업성능은 구명된 호밀과 수단그라스의 적정작업조건을 기준으로 하여 10 a당 작업능률 및 파쇄·매몰 작업정도를 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 호밀 파쇄·매몰 작업조건 구명 및 효과비교 시험

1) 호밀 파쇄·매몰 작업조건 구명

호밀 파쇄, 매몰정도를 분석하기 위하여 트랙터 주행속도별, PTO 회전수별 평균 파쇄 길이, 로터리 날 축에 줄기 감긴량과 매몰률을 조사한 결과는 그림 3, 4, 5와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 PTO 회전수를 540 rpm으로 고정하고, 주행단수를 1단, 2단, 3단으로 달리한 경우 각각 평균 파쇄길이는 24.4, 32.2, 37.9 cm, 줄기 감긴량은 615, 1,390, 2,468 g, 매몰률은 97.2, 94.7, 94.2%로 나타났으며, 주행단수를 1단으로 고정하고 PTO 회전수를 540, 750, 1,000 rpm으로 달리한 경우 각각 평균 파쇄 길이는 24.4, 22.8, 21.2 cm, 줄기 감긴량은 615, 610, 243 g, 매몰률은 97.2, 97.5, 98.4%으로 주행속도는 낮을수록, PTO 회전수 즉 프레일 날의 선단주속도가 빠를수록 파쇄 길이는 짧아지며, 이에 따른 날 축에 줄기 감긴량도 줄어들고 매몰률은 높아지는 경향을 보였다. 주행1단, PTO 3단인 회전수 1,000 rpm(선단주속도 67 m/s)에서 파쇄 길이가 21.2 cm로 가장 짧고, 줄기 감긴량도 243 g/20 m으로 적으며, 매몰률은 98.4%로 가장 높은 것으로 나타났다. 여기에서 줄기 감긴 정도는 Yi와 Kim(1986)이 동력경운기용 로타리를 이용하여 볏짚을 토양표면에 살포한 논 포장에서 경운작업을 할 때 로타리 경운 날 축에 볏짚이 감기는 것을 방지하기 위해 토양함수비와 볏짚의 절단 길이(30, 45, 90 cm), 로터리의 전진속도에 변화 등을 주어 볏짚 감김 정도를 조사한 결과 토양함수비는 30%(d.b.)로 낮고, 볏짚의 절단 길이는 30 cm로 짧고, 주행단수는 저속1단에서 작업하는 것이 좋다는 결과와 비슷한 결과를 보였다.

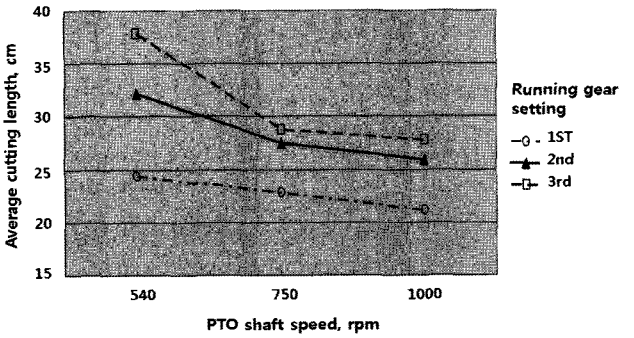


Fig. 3 Average cutting length by different PTO shaft speeds and various running gear setting.

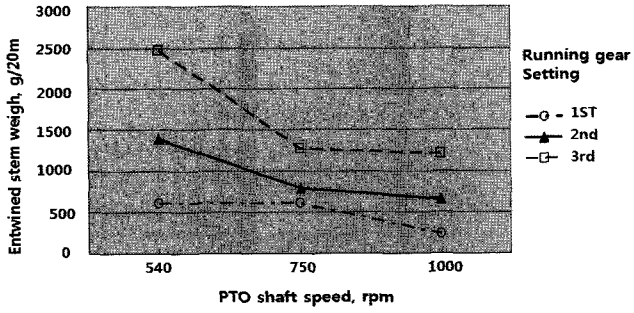


Fig. 4 Entwined stem weight by different PTO shaft speeds and various running gear setting.

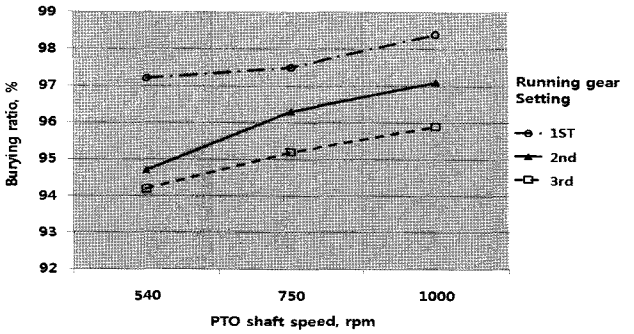


Fig. 5 Burying ratio by different PTO shaft speeds and various running gear setting.

또한 파쇄·매몰 작업조건에 따라 견인부하에 의한 트랙터 차륜의 슬립률을 조사한 결과 그림 6과 같이 PTO 단수 1단으로 고정하고, 주행단수를 1단, 2단, 3단으로 달리한 경우 각각 슬립율은 7.0, 10.4, 6.3%로 일정한 경향을 보이지 않았으나, 주행단수를 1단으로 고정하고 PTO 회전수를 540, 750, 1,000 rpm으로 달리한 경우 슬립율은 7.0, 4.4, 3.9%로 일정한 경향을 나타냈다. 이는 PTO 회전수가 증가할수록 파쇄날 회전수가 증가하여 잘게 전단되어 날 축에 줄기 감김 현상이 적고, Down-cut식 매몰부의 로터리 날이 토양을 절삭할 때 생기는 반력에 의하여 기체의 추진력이 증가하므로 슬립이 줄어드는 것으로 판단되었다.

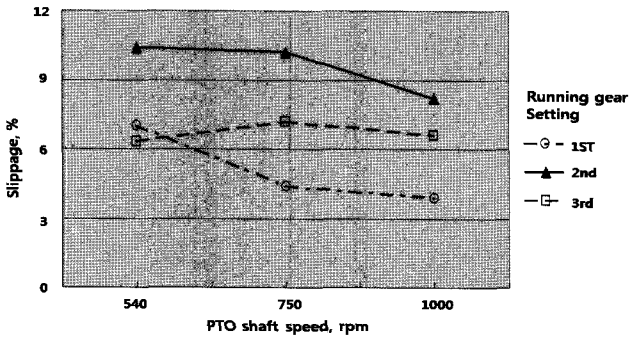


Fig. 6 Slippage by different PTO shaft speeds and various running gear setting.

한편, PT0축 소요토크 및 동력은 그림 7, 8에서와 같이 PTO 단수 1단으로 고정하고, 주행단수를 1단, 2단, 3단으로 달리한 경우 각각 PTO축 토오크는 350, 391, 580 Nm, 소요동력은 19.3, 20.8, 25.5 kW로 나타났으며, 주행단수를 1단으로 고정하고 PTO 단수를 540, 750, 1,000 rpm으로 달리한 경우 PTO축 토오크는 350, 255, 202 Nm, 소요동력은 19.3, 18.8, 19.5 kW로 주행속도는 낮을수록, PTO회전수는 빠를수록 토오크는 증가하는 경향을 보였다. 그러나 PTO 소요동력은 주행속도에는 영향을 받고 PTO축 회전수에는 영향을 받지 않는 것으로 나타났는데 이는 주행속도가 빠를수록 로터리 날의 경운 피치(로타리 날 1회전 시 진행거리)의 증가에 따른 토오크가 증가와 더불어 소요동력이 증가하는 경향을 보이지만, 주행속도는 일정하고 PTO회전수를 달리하는 경우에는 회전수가 빠른 경우 Up-cut 식 파쇄 날의 회전에 의한 부하가 있는 반면, 날에 줄기 감김이 적고 Down-cut식 매몰부의 로터리 날이 토양을 절삭할 때 생기는 반력에 의하여 기체의 추진력이 증가하여 소요동력이 감소하는 면이 있고, 회전수가 느린 경우에는 날 축에 줄기 감김 현상이 심하여 부하를 받게 되는 면, 포장 내 구간별 토양상태 등 여러 원인에 의해 일정한 경향을 보이지 않는 것으로 판단된다.

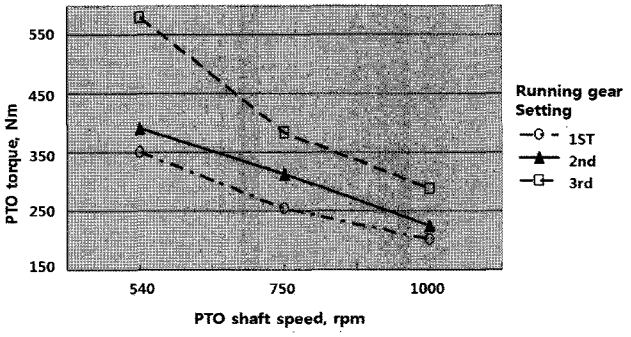


Fig. 7 PTO torque by different PTO shaft speeds and various running gear setting.

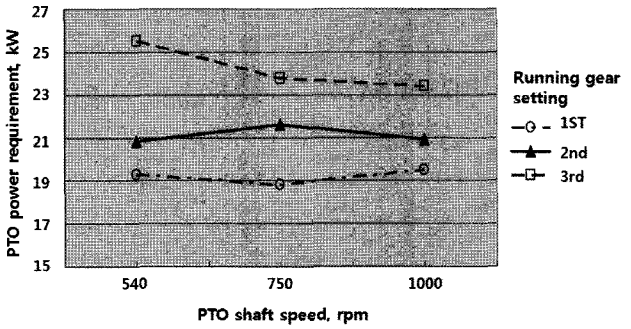


Fig. 8 PTO power requirement by different PTO shaft speeds and various running gear setting.

이상의 결과에서 파쇄·매몰장치 시작기를 이용한 호밀 적정작업조건은 PTO축 회전수 1000 rpm, 주행속도 0.25 m/s (주행단수 1단)에서 평균파쇄길이 21.2 cm로 가장 짧아지는 경향을 보였고, 이에 따른 일반 로터리 작업시 나타나는 경운날에 줄기 감김 현상도 줄었고, 매몰률 98.4%로 작업정도가 가장 양호하였으며, 이때 PTO축 소요동력은 19.5 kW로 나타나 37 kW(50PS)급 중형트랙터에 부착하여 이용 가능한 것으로 판단되었다.

2) 시작기와 로터리의 호밀 파쇄·매몰 비교시험

적정작업조건이 구명된 파쇄·매몰장치 시작기의 녹비작물

처리 효과를 보고자 일반 트랙터부착용 로터리와 작업정도를 비교분석하기 위하여 표 2에서와 같이 주행단수는 1단으로 고정하고 PTO단수를 달리하여 시험한 결과 주행1단, PTO 1단에서 시작기는 작업이 가능하였으나 일반 트랙터부착 로터리는 작물이 로터리 날 축에 감겨 작업이 불가능하였다.

따라서 2기종 공히 작업정도가 비교적 양호한 작업조건인 주행1단, PTO 3단으로 작업한 경우 일반 로터리는 줄기가 파쇄 되지 않고 로터리 날 축에 감김량이 2,675 g/20 m로 많아 일정 구간을 주행한 후 줄기를 제거 해야만 작업이 가능하였으며, 파쇄한 줄기가 길어 표면노출이 많아 매몰률도 78.9% 수준인 것으로 나타났다. 그러나 시작기는 작물을 프레일 날에 의해 잘게 파쇄한 후 로터리로 매몰이 가능하여 로터리 날 축에 줄기 감김량이 243 g/20 m로 현저히 적었으며, 매몰률도 98.4%로 양호한 것으로 나타났다.

나. 수단그라스 파쇄·매몰 작업조건 구명 및 효과비교 시험

1) 수단그라스 파쇄·매몰 작업조건 구명

수단그라스 파쇄·매몰 적정작업조건을 구명하기 위하여 주행속도는 초장이 크고 생초중량이 많아 1단으로 고정하고, PTO 회전속도별로 평균 파쇄길이, 날에 줄기 감긴량, 매몰률을 조사한 결과는 표 3과 같다. 표에서와 같이 PTO 단수를 1단, 2단, 3단으로 달리한 경우 각각 평균 파쇄길이는 26.9, 26.2, 22.5 cm, 줄기 감긴량은 4,800, 2,156, 987 g, 매몰률은 91.1, 96.95, 98.1%으로 PTO 회전수 즉 프레일 날의 선단주속도가 빠를수록 파쇄 길이는 짧아지며, 이에 따른 날 축에 줄기 감긴량도 줄어들고 매몰률은 높아지는 것으로 나타나 호밀 작업조건과 비슷한 경향을 보였다. 수단그라스의 적정 작업조건은 호밀에서와 같이 주행1단, PTO 3단인 회전수 1,000 rpm에서 1회 작업으로 파쇄 길이가 22.5 cm로 가장 짧고, 줄기 감긴량도 987 g/20 m으로 비교적 적으며, 매몰률은 98.1%로 가장 양호한 것으로 나타났다.

Table 2 Comparison of working status by rotary and prototype for rye

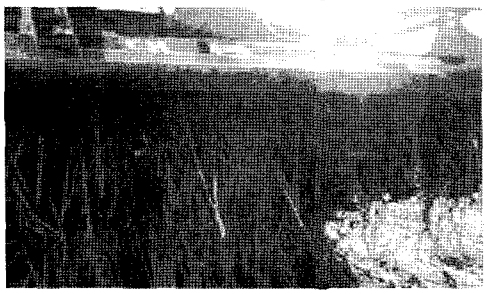
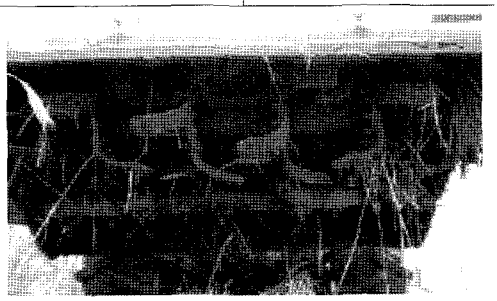
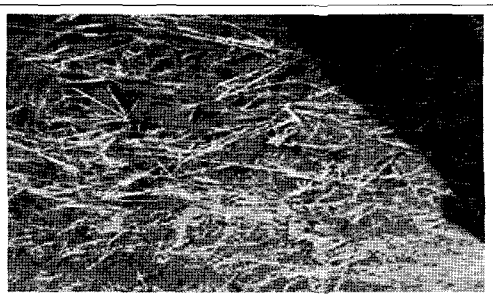
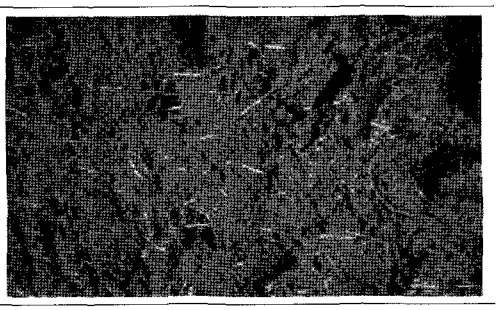
Items		Rotary		Prototype	
PTO shaft gear setting	Running gear setting	Entwined stem weight (g/20 m)	Burying ratio (%)	Entwined stem weight (g/20 m)	Burying ratio (%)
1st (540rpm)	1st	Fail to work	Fail to work	615	97.2
2nd (750 〃)	1st	6,141	50.1	610	97.5
3rd (1,000 〃)	1st	2,675	78.9	243	98.4
Entwined posture of stem					
Exposed posture of stem					

Table 3 The variations of shredding and burying posture by the different PTO shaft for sudan grass

PTO shaft Gear setting	Slippage (%)	Average cutting length (cm)	Entwined stem weight (g/20 m)	Burying ratio (%)
1st (540 rpm)	9.1	26.9	4,800	91.1
2nd (750 〃)	7.5	26.2	2,156	96.9
3rd (1,000 〃)	4.7	22.5	987	98.1

2) 시작기와 로터리의 수단그라스 파쇄·매몰 비교시험

녹비작물 파쇄매몰 장치의 수단그라스 적용효과를 알아보기 위해 시작기와 일반 트랙터용 로터리를 공시하여 주행단수는 1단, PTO 회전속도별로 하였으며, 시작기는 1회작업만 하고, 일반 로터리는 작업횟수별(1회, 2회)로 평균 파쇄길이, 20 m 주행 후 줄기 감긴량, 매몰률을 조사한 결과는 그림 9, 10, 11과 같다. 작업정도는 PTO회전수가 빠를수록 양호한 것으로 나타나, 작업정도가 양호한 PTO 회전수1,000 rpm에서 시작기는 1회 작업으로 프레일 날 회전에 의해 줄기가 잘게 파쇄 되므로 평균 파쇄 길이가 22.5 cm로 로터리 작업에 비해 짧았고, 줄기 감긴량은 987 g/20 m, 매몰률은 98.1%로 나타났으며, 일반 로터리는 1회 작업시 평균 파쇄길이 101 cm, 경운날 줄기감김량 3,219 g/20 m, 매몰률 86.8%였으며, 2회 작업시는 평균파쇄길이 73.3 cm, 경운날 줄기감김량 969 g/20 m, 매몰률 92.7%로 1회보다 2회 작업시 파쇄, 매몰상태가 나아지는 경향을 보였으나, 시작기에 비해 평균 파쇄 길이가 크게 줄어들지 않아 줄기 감김이 있고, 매몰 상태도 다소 미흡하였다. 이러한 이유로 현재 농가에서는 대형트랙터부착 로터리를 이용하여 처리작업 시기를 녹비작물이 로터리 날에 감기지 않는 상태인 목질화 되기 이전의 출수기에 3회 이상 로터리 경운작업을 실시하고 있어는 것으로 판단된다.

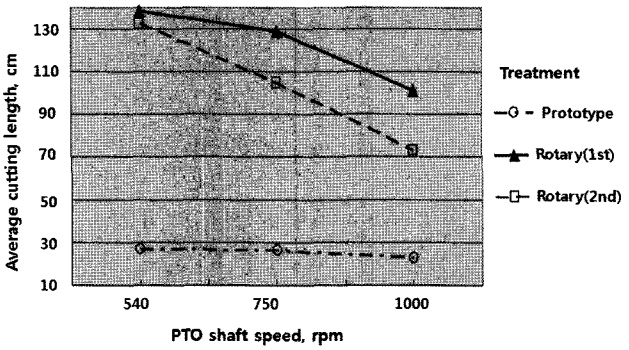


Fig. 9 Average cutting length by different PTO shaft speeds and treatments for sudan grass.

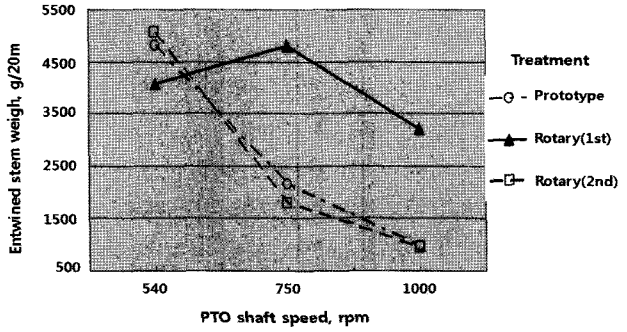


Fig. 10 Entwined stem weight by different PTO shaft speeds and treatments for sudan grass.

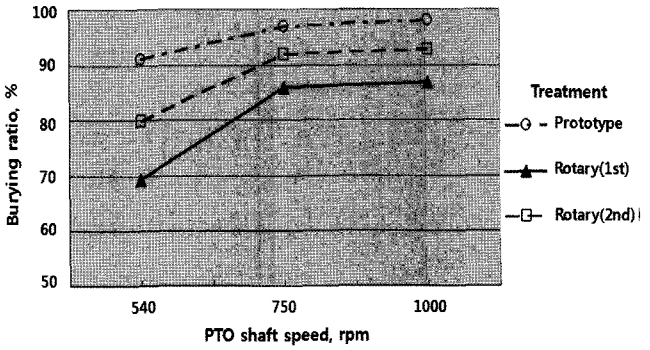


Fig. 11 Burying ratio by different PTO shaft speeds and treatments for sudan grass.

다. 작업요인별 상관관계 분석

표 4는 호밀을 대상으로 녹비처리장치를 이용해 요인 시험한 시험결과의 요인별 상관관계를 나타낸 표이다. 즉, PTO 회전수와 평균 파쇄길이, 줄기 감긴량은 1% 유의수준에서 부의 상관관계를 보였으며, 매몰율과는 1% 유의수준에서 양의 상관관계를 보였다. 따라서, PTO 회전수가 증가할수록 평균파쇄길이는 짧아지고, 줄기감긴량은 감소하며, 매몰률은 증가함을 보였다. 그러나 소요동력과는 유의성을 보이지 않았다. 이것은 주행속도가 빠를수록 로터리 날의 경운 피치의 증가에 따른 토오크 증가와 더불어 소요동력이 증가하는 경향을 보이지만, 주행속도는 일정하고 PTO회전수를 달리하는 경우에는 회전수가 빠른 경우 Up-cut 식 파쇄 날의 회전에 의한 부하가 있는 반면, 날에 줄기 감김이 적고 Down-cut식 매몰부의 로터리 날이 토양을 절삭할 때 생기는 반력에 의하여 기체의 추진력이 증가하여 소요동력이 감소하는 면이 있고, 회전수가 느린 경우에는 날 축에 줄기 감김 현상이 심하여 부하를 받게 되는 면 등 여러 원인에 의해 일정한 경향을 보이지 않는 것으로 판단된다. 주행속도와 평균파쇄길이, 줄기감긴량 및 소요동력과는 1% 유의수준에서 높은 상관관계를 보였으며, 매몰률과는 1% 유의수준에서 부의 상관관계를 보였다. 즉, 주행속도가 증가할수록 평균 파쇄길이가 증가하고, 줄기 감긴량이 증가하며, 동시에 매몰률은 악화되고 소요동력은 증가하는 것으로 나타났다.

Table 4 Correlation coefficient between PTO shaft speeds, running speeds, Average cutting length, entwined stem weight, Burying ratio and PTO power requirement of shredding-burying operation for rye (** : Significant level 1%, number of samples : 36)

	Cutting length	Entwined stem	Burying ratio	PTO power
PTO shaft speeds	-0.535**	-0.509**	0.494**	-0.122
Running speeds	0.734**	0.815**	-0.733**	0.969**

표 5는 수단그라스를 대상으로 녹비처리장치를 이용하여 요인 시험한 시험결과의 요인별 상관관계를 나타낸 표이다. 즉, PTO 회전수와 평균 파쇄길이, 줄기 감긴량은 1% 유의수준에서 부의 상관관계를 보였으며, 매몰률과는 1% 유의수준에서 양의 상관관계를 보였다. 주행속도와 평균파쇄길이, 줄기감긴량은 1% 유의수준에서 높은 상관관계를 보였으며, 매몰률과는 1% 유의수준에서 부의 상관관계를 보였다. 즉, 주행속도가 증가할수록 평균 파쇄길이가 증가하고, 줄기 감긴량이 증가하며, 동시에 매몰률은 악화되는 것으로 나타났다.

Table 5 Correlation coefficient between PTO shaft speeds, running speeds, Average cutting length, entwined stem weigh and Burying ratio of shredding-burying operation for sudan grass (** : Significant level 1%, * : Significant level 5%, number of samples : 12)

	Cutting length	Entwined stem	Burying ratio
PTO shaft speeds	-0.943**	-0.963**	0.913**
Running speeds	0.728**	0.811**	-0.805**

이상과 같이 PTO 회전수가 증가할수록 평균 파쇄길이는 짧아지고, 줄기 감긴량은 감소하며, 매몰률은 증가함을 보였으며, 주행속도가 증가할수록 평균 파쇄길이가 와 줄기 감긴량이 증가하며, 동시에 매몰률은 악화되고 소요동력은 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 적절한 PTO 회전수와 작업속도를 설정하여 작업할 필요가 있을 것으로 판단되었다.

라. 시작기 파쇄·매몰 작업성능

시작기를 이용하여 호밀, 수단그라스의 파쇄·매몰 작업성능은 표 6과 같이 앞에서 구명된 적정작업조건인 PTO 3단(회전수 1000 rpm), 주행1단(0.25 m/s)로 하고 시험한 결과 호밀 작업능률은 10 a당 0.79 시간, 작업정도로 평균 파쇄길이 21.2 cm, 매몰률 98.4%로 나타났으며, 수단그라스의 경우 구명된 적정작업조건인 PTO 3단(회전수 1000 rpm), 주행1단(0.17 m/s)로 하고 시험한 결과 작업능률은 10a당 1.14 시간이 소요되는 것으로 나타났다. 따라서 일반 대형트랙터 부착용 로터리를 이용하여 인삼 예정지 관리하는 경우 3회 이상 작업하고 있는 실정에 비추어 성능이 우수한 것으로 나타났다.

Table 6 working performance and accuracy of the prototype

Items	PTO shaft speeds (rpm)	Running speeds (m/s)	Accuracy		Working performance (h/10 a)
			Average cutting length(cm)	Burying ratio(%)	
Rye	1,000	0.25	21.2	98.4	0.79
Sudan grass	1,000	0.17	22.5	98.1	1.14

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 호밀, 수단그라스와 같이 초장이 크고 생초중량이 많은 화본과 녹비작물을 파쇄와 동시에 매몰할 수 있는 트랙터부착용 녹비작물 파쇄·매몰 장치를 설계제작하고 적정작업조건 구명과 작업요인별 상관관계를 분석하고 작업성능 시험한 연구결과는 다음과 같다.

(1) 초장이 크며 생초중량이 많은 녹비작물 파쇄·매몰 기계화를 위하여 트랙터 부착용으로 프레일식 파쇄부와 로터리식 매몰부, 동력전달부로 구성하였다. 파쇄부의 프레일 날은 Y형 프레일 날을 사용하였고, 날 회전 방향은 역회전(up-cut) 방식을 채택하였으며, 프레일 날이 지면으로부터 5~10 cm 위치에서 절단하도록 미륜을 부착하였다. 잘게 절단·파쇄 된 녹비작물은 뒤쪽으로 배출되어 매몰부인 정회전(down-cut) 방식의 로타리 날 회전에 의해 표층에 매몰할 수 있도록 시작기를 설계·제작하였다.

(2) 적정작업조건 구명을 위하여 PTO 회전수별, 주행속도별 시험결과 PTO 회전수가 증가할수록 평균 파쇄 길이는 짧아지고, 줄기 감긴량은 감소하며, 매몰률은 증가함을 보였으며, 주행속도가 증가할수록 평균 파쇄길이가 증가하고, 줄기 감긴량이 증가하며, 동시에 매몰률은 악화되고 PTO 소요동력은 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 적절한 PTO 회전수와 작업속도를 설정하여 작업할 필요가 있을 것으로 판단되었다.

(3) 호밀 시험결과 PTO 회전수는 빠르고, 주행속도는 느릴수록 평균 파쇄 길이는 짧아지고, 줄기 감긴량은 현저히 줄어들며 짧아진 줄기는 매몰이 잘되어, 매몰률도 증가함을 보여 적정작업조건은 PTO축 회전수 1000 rpm, 주행속도 0.25 m/s(주행 1단)에서 평균 파쇄길이 21.2 cm, 매몰율 98.4%로 동일 조건에서 일반 로터리를 이용하여 작업한 것에 비해 파쇄, 매몰정도가 양호하였으며, 작업능률도 0.79시간/10a으로 나타났다. 한이때 PTO 소요동력은 19.5 kW인 것으로 나타나 37.5 kW급 중형트랙터에도 부착하여 이용 가능한 것으로 판단되었다.

(4) 수단그라스 시험결과 호밀과 같은 경향을 보여 적정작업조건은 PTO축 회전수 1000 rpm, 주행속도 0.17 m/s(주행 1단)에서 평균 파쇄길이 22.5 cm, 매몰률 98.1%로 작업정도가 양호했으며, 작업능률은 1.14시간/10a 으로 나타났다. 따라서 일반 트랙터 로터리를 이용하여 3회 이상 작업하는 관행작업에 비해 능률적인 것으로 판단되었다.

참고문헌

1. Choe, K. J., J. S. Noh, B. G. Ryu and K. Y. Oh. 2007. Chopping performance of forage crop harvester for the application of green manure crop. Proceedings of the KSAM 2007 Winter Conference 12(1):216-221. (In Korean)
2. Im, S. J. 2007. Korean Ginseng. pp.68-76. Rural Development Administration, Suwon, Korea.
3. Koh, H. K., S. H. Noh, G. H. Yu and C. J. Chung. 1986. Agricultural machinery. pp. 94-95. Korea National Open University, Seoul, Korea.
4. Korean Society for Agricultural Machinery. 1998. Agricultural machinery handbook. pp. 842-843. Moonwoondang CO., LTD, Seoul, Korea.
5. Mok, S. K. 2009. Pictorial Book for Ginseng Cultivation (ginseng root of six years old). pp. 18-33. Korea Ginseng Corp, Daejeon, Korea.
6. Park, W. P. and S. R. Kim. 1983. Plowing performance in the paddy field spread with rice straw in spring. Journal of the KSAM 8(1):10-15. (In Korean)
7. Yi, Y. Y. and S. R. Kim. 1986. Effects of edged curve angle of rotary blade on entwining spread rice straw in paddy. Research Reports of Institute of Agricultural Science and Technology, Chungnam National University 13(1):103-112. (In Korean)
8. Yun, B. K. 2008. Effect of chemical fertilizer substitution using green manure crops. A Debate for chemical fertilizer reduction a plan. pp. 15-33. Rural Development Administration, Suwon, Korea.