

토양의 제자리 반전을 위한 몰드보드 플라우의 개발

Development of a Moldboard Plow to Invert Furrow Slice at the Same Position

이규승 박원엽 권병기
정회원 정회원 정회원
K. S. Lee W. Y. Park B. G. Kwon

ABSTRACT

On the basis of design theory of soil inversion, two types of moldboard plow with secondary soil mover was designed and constructed to invert furrow slice at same position with furrow bottom. A series of soil bin experiment was carried to investigate the performance of prototypes.

First prototype of new concept plow showed two kinds of problems during the preliminary experiment. For the plowing depth of 6cm, the prototype did not invert the furrow slice, instead it just cut furrow bottom and the furrow slice returned to the original position. For the plowing depth of 8cm, there was soil clogging problem at the rear part of plow. From the above results it was concluded that the first prototype can not be used for the inversion of furrow slice at same position with furrow bottom.

Second prototype could invert furrow slice at the same position with furrow bottom, but the performance was affected by soil moisture content, soil hardness and plowing speed very much. For the higher soil moisture content, for the higher soil hardness and higher plowing speed, the prototype showed higher soil inversion performance. For the second prototype the inversion ratio was almost 100%, inversion angle was in the range of 90 to 100 degree and side displacement was less than 4 cm. But the furrow slice was not continuous, it was cut in the length of 30 to 40 cm. The reason why the furrow slice was cut in that length is blamed for the design of moldboard surface. The specific draft of prototype was in the range of 37.24 kN/m² to 42.14 kN/m², this value is a little higher than that of the conventional plow, or from 30.38 kN/m² to 33.32 kN/m². But the difference was not so big.

The inversion performance of the second prototype for the field experiment was much better than that of soil bin experiment due to the better soil and operational conditions. Sticky and compacted soil conditions, and higher plowing speed was suitable for the plowing operation of the second prototype

Keywords : New concept plow, Soil inversion, Inversion performance, Specific draft.

1. 서 론

이 약 130만 ha이고 밭이 75만 ha이다. 작물을 재배하기 위해서는 위의 전 경지면적이 1년에 1번 이상씩 경운작업의 대상이 된다. 경운작업을 위해 투입되는 유류 우리나라의 총 경지면적은 약 200만 ha로서 이중 논

This study was carried out during the sabbatical year of the corresponding author from 1999 to 2000. This article was submitted for publication in January 2004, reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in February 2004. The authors are Kyou Seung Lee, Professor, Dept. of Bio-mechatronic Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, Korea., Won Yeop Park, Assistant Professor, Dept. of Bioresources Machinery, Hankyong National University and Byeong Gi Kwon, Korea Institute of Patent Information. The corresponding author is Kyou Seung Lee, Professor, Dept. of Bio-mechatronics Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, 440-746, Korea. Fax:+82-31-290-7830. E-mail : <seung@skku.ac.kr>.

소비량을 약 40~60 l/ha로 하였을 때, 1년에 8만~12만 m³의 유류가 경운작업에 소모되고 있음을 알 수 있다. 이는 1년에 단 한 번만의 경운작업을 행하였을 경우에 해당하는 유류소모량으로, 토지 이용을 등을 고려하였을 때는 이보다 훨씬 많은 유류가 소모되고 있음을 추정할 수 있다. 따라서 경운작업기의 설계 개선은 작업기의 소요 견인력 및 에너지의 측면에서 뿐만 아니라 효과적인 토양의 반전 및 파괴 측면에서도 중요하게 고려되어야 한다.

현재 사용되고 있는 플라우 또는 쟁기에 의한 경운작업은 경운된 토양을 좌측 또는 우측으로 반전시킴으로써 경운작업 후 고랑(ditch)이 남게 된다. 그러나 수도작이 주인 우리나라에서는 수자원의 효율적인 이용 측면 뿐만 아니라 원활한 후속작업을 위해서도 수도포장의 균형작업은 매우 중요하다. 따라서 균형작업을 위해 토양의 재 이동에 총 유류소비량의 20~30%의 에너지가 추가로 소요되고 있다.

또한 기존의 다련플라우(쟁기)는 플라우들이 전진방향과 수직방향으로 일직선상에 있지 않고 전진방향과 대각선으로 설계 제작되어 사용되고 있는 것은 반전된 경토가 제자리에서 반전되지 않고 옆으로 이동하여 반전됨으로써 반전되고 있는 경토들 간의 간섭현상을 막기 위한 것이다. 이러한 플라우들의 대각선 배열은 견인에너지의 증가와 회전시 많은 공간과 시간을 소모하게 되는 문제점을 갖게 된다. 일반적으로 다련플라우의 경우 플라우들의 대각선 배열에 따라 그 크기가 증가하여 재료비와 제작비가 20~30% 증가하며, 제자리반전 플라우에 비해 2~3배의 회전공간과 4~5배의 회전주행은 하는 것으로 보고되고 있다 (Sakun, 1991).

위의 문제점들을 고려할 때, 새로운 개념의 제자리반전 플라우의 개발은 매우 중요하다. 또한 현재 선진국에서 대두되고 있는 갠트리 시스템(Gantry system)을 도입할 경우 경작지의 경운작업을 위해서는 제자리반전 플라우의 사용이 필수적이다.

따라서 본 연구의 목적은 논의 경운작업시 경운된 토양을 좌측 또는 우측으로 이동시켜 반전시키지 않고 그대로 제자리에 완전히 반전시킬 수 있는 제자리반전

플라우를 개발하는데 있다.

2. 설계 방침

제자리반전 플라우의 경운작업부는 다음 사항을 고려하여 설계한다.

- 1) 우리나라의 논토양의 물리적 특성에 적합해야 한다.
- 2) 경운된 토양을 옆으로의 이동없이 제자리에서 완전히 반전시킬 수 있는 구조를 가져야 한다.
- 3) 경운속도 증가시의 견인력을 줄이기 위해 반전 모멘트를 최소화할 수 있는 구조를 가져야 한다.
- 4) 경운작업시 한쪽방향 반전에 의한 트랙터의 쓸림 현상을 없애기 위해 이체를 좌우 대칭의 한쌍의 구조로 설계한다.

3. 설계 이론

가. 토양절단 및 초기반전

위의 설계방침에 적합하여 토양의 초기 절단과 절단된 토양을 반전시킬 수 있는 몰드보드면의 형태는 다음의 두 형태 중 한 형태로 판단된다(그림 1, 2).

나선형 몰드보드(helical moldboard)는 기존의 플라우에도 많이 적용되고 있는 형태로서 토양의 반전이 주목적인 경우에 사용되고 있다. 그러나 이 형태는 토양의 반전축이 낮아 토양이 반전과정에서 옆으로 이동할 가능성이 있으나 나선곡면 몰드보드(Helicoideal moldboard)는 토양의 반전축이 높아 나선형 몰드보드에 비해 토양의 측면 이동이 적은 것으로 보고되고 있다(Kaufman, 1972).

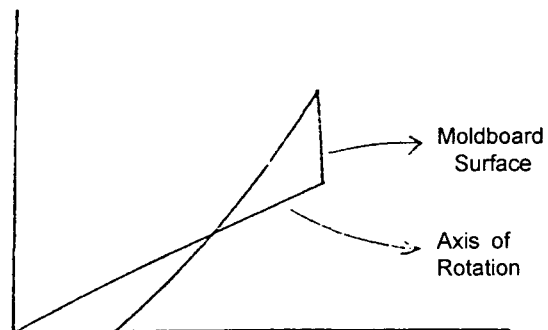


Fig. 1 Helical moldboard surface.

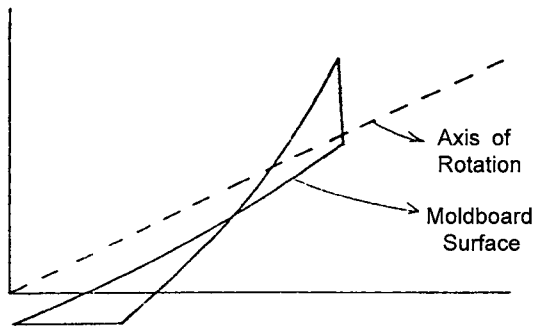


Fig. 2 Helicoidal moldboard surface.

나. 토양의 후기반전

위에서 제시한 토양의 절단과 초기 반전을 위한 한 개의 몰드보드만으로는 토양의 완전한 제자리반전 가능성이 적을 것 같아 토양의 후기 반전을 위해 제 2의 몰드보드를 구성하기로 했다. 제 1의 몰드보드와 제 2의 몰드보드는 토양의 반전과정에서 토괴에 우력을 줄 수 있는 구조로 구성 되어야 한다. 그림 3은 토양의 제자리 반전을 위해 토양에 주어져야 할 우력의 방향과 토양의 반전과정을 보여주고 있다.

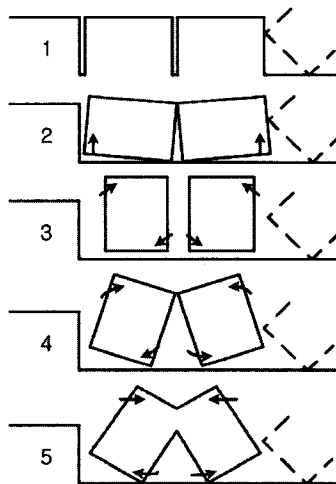


Fig. 3 Inversion step of furrow slice for new concept plow.

4. 시작기의 설계 및 제작

위의 설계방침과 설계이론으로부터 2 종류의 제자리 반전 플라우가 설계되었다. 그림 4, 5는 2 종류 플라우

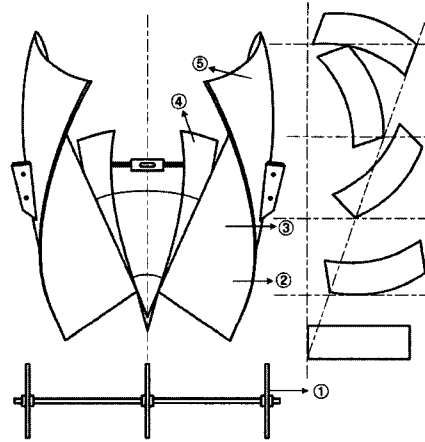


Fig. 4 View of first prototype.

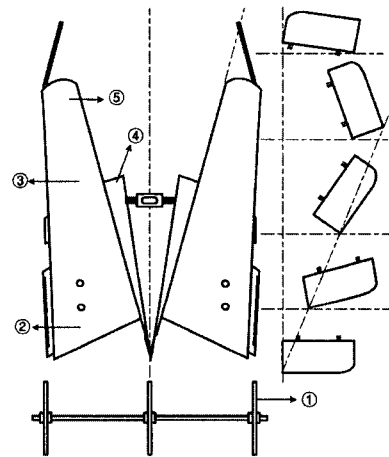


Fig. 5 View of second prototype.

의 개략적인 설계도면과 역도가 몰드보드 표면을 통과 할 때의 토양의 가상적인 반전과정을 보여주고 있다.

제자리반전 플라우는 다음과 같은 단계에 의해 토양을 제자리에 반전 시킨다.(그림 4, 5)

- 1) 콜터 ①에 의해 토양을 수직 절단하는 단계
- 2) 콜터에 의해 수직 절단된 토양을 몰드보드의 전반부 ②에 의해 토양의 밑면을 수평 절단하는 단계
- 3) 콜터 ①과 몰드보드의 전반부 ②에 의해 수직 수평으로 절단된 토양을 전진 방향과 평행하게 후방으로 이동시키면서 토양을 몰드보드 평면 위에서 상승시켜 토양의 반전축이 높은 몰드보드의 후반부 ③과 제2의 몰드보드 ④에 의해 20~50°로 회전시키는 단계
- 4) 몰드보드 날개인 반전낙하부 ⑤에 의해 80~100°

로 토양을 세우면서 제자리에 떨어뜨려 반전시키는 단계로 구성되어 있다.

표 1은 새로운 개념의 제자리반전 플라우(New concept plow, NC plow)들의 설계변수를 보여 주고 있다.

위의 설계에 의해 제작된 제자리반전 플라우의 경운 작업부는 그림 6, 7과 같다.



Fig. 6 View of first prototype.

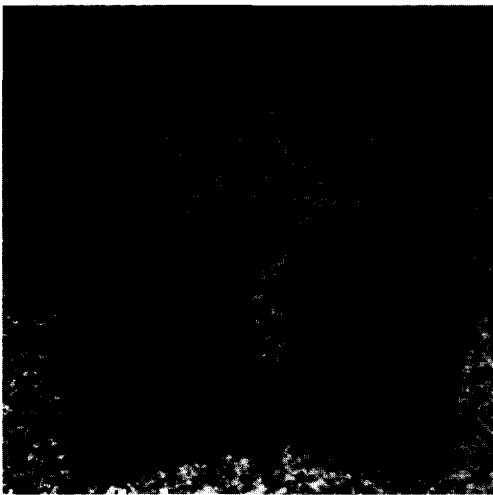


Fig. 7 View of second prototype.

5. 시작기의 성능실험

시작기에 대한 성능 실험은 인공토조 시스템에서의 실내 실험과 포장에서의 야외실험으로 실시되었다. 실내 실험에서는 토양의 수분 함량과 경도 그리고 경운 작업속도가 플라우의 제자리반전 성능에 미치는 영향을 검토하기 위하여 수행되었다. 또한 제자리반전 플라우의 견인성능을 검토하기 위해 제자리반전 상태가 좋은 토양상태와 경운 작업속도에 대하여는 기존 플라우와 견인력 비교 시험을 수행하였다. 야외실험은 실제 포장상태에서의 토양의 제자리반전 성능을 검토하기 위해 수행되었다.

가. 실내실험

1) 실험장치

실험의 정확성과 신뢰성 있는 자료 수집을 위하여 인공토조 시스템에서 실험을 수행하였다.

인공토조 시스템은 토양조 및 레일시스템, 대차구동 시스템, 측정대차, 토양가공대차 및 자료수집 시스템으로 구성되어 있으며, 토양조의 규격은 $12 \times 1 \times 0.7$ m 이고 수분 함량을 조절할 수 있도록 배수 시설을 갖추고 있다.

측정대차는 자료수집장치, 견인동력계 그리고 시험 시작기를 장착하여 성능실험을 수행할 수 있도록 구성되어 있다. 토양가공대차는 토양의 물리적 상태가 실험목적에 적합하도록 실험과 실험사이에 토양을 가공하는 대차로써 케이블 견인식으로 제작되었으며, 토양 가공에 필요한 로타리 킬러, 표면다짐롤러, 표층다짐롤러, 균평기, 살수장치 등을 포함하고 있다.

그림 8은 인공토조 시스템의 측정대차와 이에 장착되어 있는 2차 시작기를 보여주고 있다.

표 2는 실험에 사용된 인공토조 시스템 내 토양의 조성 및 분류를 나타내고 있다.

Table 1 Specification of prototype plow

Implement	Load angle (degree)	Setting angle (degree)		Cutting angle (degree)	H (mm)	L (mm)	L/H	Shear length (mm)
		shear	wing					
NC Plow I	13	108	40	11	105	480	4.57	195
NC Plow II	5	110	6	6	80	490	6.12	170

Table 2 Test soil properties by USDA classification

Composition			Texture
Sand(%)	Silt(%)	Clay(%)	
53.5	37.1	9.4	Sandy loam

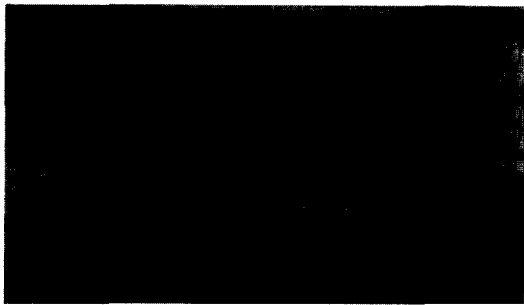


Fig. 8 Test carriage with second prototype.

2) 측정장치

제자리반전 플라워의 견인력 측정을 위한 동력계는 제자리반전 플라워의 좌우 대칭인 구조 및 형태 특성을 고려하여, 기존의 6분력계의 구조 중 견인력만을 측정할 수 있도록 프레임, 선형베어링 등을 재구성하였다. 또한 제자리반전 플라워 프레임, 3점링크 히치시스템, 견인동력계가 측정대차에 효과적으로 부착되어 플라워의 성능을 충분히 측정할 수 있도록 측정 시스템을 구성하였다. 수평견인력계는 4개의 축에 8개의 직선 운동 베어링과 KYOWA사의 인장-압축 로드셀을 이용하여 제작하였다. 로드셀에서 출력되는 신호는 극히 미세하므로 스트레인 증폭기와 A/D 변환기를 통해 디지털

신호로 변환되어 마이크로 컴퓨터에 입력되도록 하였다. 그림 9는 견인동력계를 보여주고 있다.

그림 10은 인공토조 시스템에서 작업기의 견인저항 측정을 위한 데이터 수집 시스템의 구성도를 보여주고 있다. 한편 이 시스템에 사용된 센서 및 기기의 사양은 표 3과 같다.



Fig. 9 View of draft measuring dynamometer.

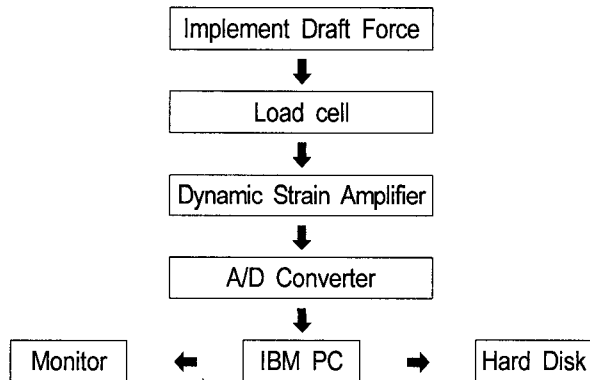


Fig. 10 Block diagram of data acquisition system.

Table 3 Specification of Instruments

Item	Manufacturer / Model	Specification
Microcomputer	IBM PC	CPU : Intel 80386 Clock : 33MHZ
Strain amplifier	KYOWA / DPM-311A	Channel : 6 Gain : 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100 × 100με Output-V : ±5V (5kΩ load)
Load cell	Tension x compression	Maximum : 4,900 N
A/D converter	Yoi Auto System / AX-5412	Resolution : 12 bit Input channel : 16 SE or 8 DI Input range Unipolar : 1.25, 2.5, 5, 10 V Bipolar : ± 1.25, 2.5, 5, 10 V A/D Conversion time : 9μs

3) 실험방법

토양관리 작업기의 성능은 일반적으로 토양의 상태에 의해 크게 영향을 받는다. 따라서 본 연구에서도 토양상태에 따른 시작기의 반전성능을 분석하기 위해 토양가공대차에 의해 토양의 상태를 조절하여 실험을 수행하였다. 토양수분 함량은 살수장치에 의해 수분을 충분히 살수한 후 자연 건조에 의해 토양의 수분 함량이 약 21%, 17% 그리고 13%가 되었을 때 실험을 실시하였다. 토양의 경도는 토양가공대차의 토양다짐롤러 왕복회수를 변화시킴으로써 조절하였다.

토양의 제자리반전 성능은 두 가지 관점에서 분석되었다. 하나는 경도가 원래 위치에서 좌우로 어느 정도 이동하였는가를 자료 측정하였으며, 또 하나는 반전된 경도의 반전각을 자와 각도기를 이용하여 측정하였다.

토양자료는 실험직전에 시작기의 경운 작업범위인 0~12cm의 깊이에서 측정하였다. 겉보기밀도는 100cc 용량의 토양채취 실린더에 의해 그리고 토양경도는 SR-2 모델의 토양경도 측정기를 이용하여 측정하였다. 상기자료는 토양조의 5개소를 임의 선정하여 측정하였으며, 토양경도는 4cm 깊이 간격으로 측정하였다. 경심은 6cm와 8cm 두 수준으로 하였으며, 경폭은 16cm 이었다. 시작기의 경심과 경폭을 실제 농민들의 관행 경심과 경폭보다 낮게 설정한 것은 인공토조 시스템의 작업 폭을 고려하여 시작기를 실제 사용되고 있는 플라우보다 작게 설계 제작되었기 때문이다.

나. 포장실험

1) 실험토양

야외 포장실험은 수원시 천천동 소재 논에서 실시되었다. 토양의 측정변수는 원추지수, 내부마찰각, 점착력, 토양-금속마찰계수 그리고 토양-금속 부착력이었으며 토성은 사질식 양토이었다. 표 4는 실험직전에 측정된 실험 포장의 토양 물리성을 보여주고 있다. 모든

자료는 0~20cm 토양층의 평균값을 나타내며 토양수분 함량은 31.2 %d.b. 로서 실내실험에 비해 훨씬 높은 편이나 우리나라 논토양의 경우 작업시기인 4~5월의 평균 수분 함량보다는 다소 낮은 편이다(이규승, 1997).

2) 시험트랙터

시험트랙터로는 TS2810 모델의 동양 트랙터가 이용되었다. 차량중량은 11.72kN이며 최대 마력은 2600rpm에서 28ps이다.

3) 시험방법

야외 포장시험의 경심은 8cm 경폭은 16cm 이었으며 그리고 경운 작업속도는 1.18 m/s로서 실내실험시의 경운 작업속도 보다 훨씬 큰 편이었다. 이는 실내 실험에서 실험장치의 제한된 속도 때문에 충분히 속도의 효과를 검증하지 못했기 때문에 선택된 속도이다.

6. 결과 및 고찰

시작기에 대한 성능 분석은 주로 토양의 제자리 반전 및 견인 성능에 대해 이루어졌다. 시작기의 제자리 반전 성능에 중요하게 영향을 미치는 요인으로는 토양 수분 함량 및 경도 그리고 경운 작업속도라고 판단되어 각 요인별로 시작기의 성능이 분석되었다.

가. 실내실험

실내실험은 1차 시작기와 2차 시작기 모두에 대해 수행되었으며 주 목적은 시작기들의 제자리반전 가능성을 요인별로 검토하고 적정 작업조건에서의 견인성능을 기존 플라우와 비교 분석하는 것이었다.

1) 토양수분 함량의 영향

시작기의 반전성능에 가장 크게 영향을 미칠 것으로

Table 4 Soil physical properties of experimental field

Cone index (kPa)	Internal friction angle(°)	Cohesion (kPa)	Soil-metal friction coef.	Soil-metal adhesion (kPa)	Composition(%)			Texture
					Sand	Silt	Clay	
874	52.4	12.8	0.35	2.82	51.3	24.3	24.4	Sand clay loam

판단되는 요인은 토양수분 함량이었다. 따라서 경운 작업속도를 0.22 m/s, 경심을 6cm와 8cm 그리고 토양 경도는 토양다짐 롤러 2회 왕복으로 고정한 후 토양수분 함량을 약 13%, 17% 그리고 21%의 세 수준에 대해 시작기의 제자리반전 성능을 검증하였다. 이 경우 토양경도는 0에서 12 cm 깊이에서 245~343 kPa로서 토양수분함량에 따라 큰 차이는 없었다.

가) 1차 시작기

1차 시작기의 경우 토양수분 함량 13%와 17% 그리고 경심 6cm에서는 토양이 반전되지 않고 약간 파쇄되어 그대로 플라우의 곡면 위를 통과하여 원래의 위치로 돌아가는 현상을 보였다. 같은 조건에서 토양수분 함량 21%의 경우에는 토양의 점착성 때문에 토양의 파쇄는 상기의 경우보다 적었으나 시작기는 단지 토양의 저면을 자르고 역토의 반전 없이 원위치 시켰다. 위의 결과는 토양의 반전축을 높이기 위해 시작기의 몰드보드 전반부에서는 단지 토양을 들어주어 후면으로 경도를 안내하게끔 곡면을 설계하고 후반부에서 제 2의 몰드보드의 도움을 받아 경도를 반전시키려 했으나 후반부의 곡면 설계가 토양의 반전에 적합하지 못했고 제 2의 몰드보드도 제 기능을 충분히 발휘하지 못했기 때문이라 판단되었다. 그러나 경심이 8cm로 커진 경우에는 세 수분 함량 모두에서 몰드보드의 전반부에서 수평 절단된 토양이 후반부로 이동하는 과정에서 변형 파쇄되어 토양의 양이 증가하면서 플라우의 후반부에서 막힘 현상이 나타났다. 그림 11은 토양수분 함량 13%에서의 토양막힘 현상을 보여주고 있다.

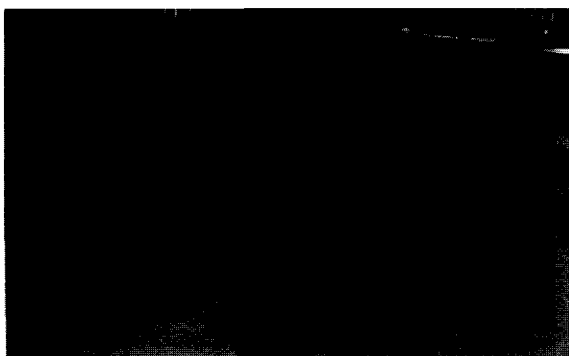


Fig. 11 Soil clogging during inversion process of first prototype.

이러한 이유는 토양을 제자리 반전시키기 위해 몰드보드의 후반부의 반전축을 높이고 역벽의 안쪽으로 나선을 유도함으로써 토양이 반전되면서 몰드보드의 후반부를 빠져나가는데 필요한 공간의 확보가 안 되었기 때문이라고 판단되었다.

따라서 1차 시작기는 토양의 반전가능성이 없는 것으로 판단되어 차후의 실험대상에서 제외키로 하였으며, 1차 시작기의 토양 막힘 현상을 개선할 수 있게끔 개선된 2차 시작기에 한해 모든 요인 실험이 수행되었다.

나) 2차 시작기

2차 시작기의 경우(이하 시작기)에도 수분 함량 13%, 17% 그리고 21% 모두에서 경심에 관계없이 1차 시작기와 마찬가지로 역토가 반전되지 못하고 약간 파쇄되면서 그대로 플라우의 곡면 위를 통과하여 원래의 위치로 돌아가는 현상을 보였다. 그림 12는 경심 6 cm 그리고 토양 수분 함량 17%에서의 시작기에 의한 경운 작업 결과를 보여주고 있으며 이러한 현상은 토양수분 함량에 따라 약간의 차이는 있었으나 거의 비슷하였다. 그러나 토양수분 함량 21%에서는 역토의 변형이 토양수분 함량 13%, 17% 경우보다 적어 토양의 제자리반전의 가능성을 보여 주었다.

1차 시작기와의 차이점은 경심 8cm에서도 몰드보드의 후반부에서의 막힘 현상이 없어진 점이다. 이러한 현상은 2차 시작기는 1차 시작기에 비해 몰드보드의

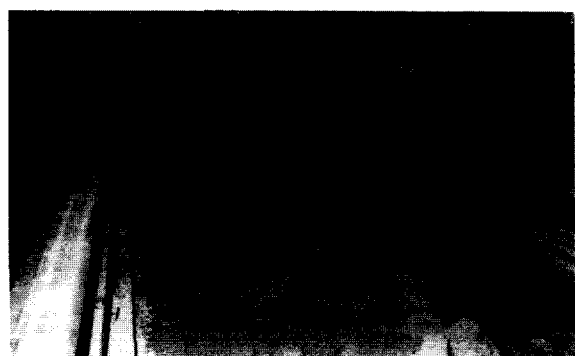


Fig. 12 View of plowing operation with 6 cm plowing depth and 17% soil moisture content.

토양의 제자리 반전을 위한 몰드보드 플라우의 개발

후반부의 토양이동 공간을 확보하기 위해 곡면설정을 좀더 완곡하게 설정하고 반전축만 높일 수 있게 설계 제작되었기 때문이라고 판단되었다. 그러나 그림 11에서 알 수 있듯이 반전된 역토는 연결되어 있지 않고 30~40cm의 길이로 끊어져 있었다. 이러한 현상은 토양의 제자리반전을 위해 플라우의 전반부에서는 단지 토양을 수평 절삭하여 플라우의 후반부로 이동만 하게끔 하였고, 토양의 반전은 플라우의 후반부에서 제 2의 몰드보드의 도움으로 우력을 형성하여 이루어지게끔 시작기를 설계 제작하여 토양이 몰드보드 곡면의 전반부에서 후반부로 이동하는 과정에서 과도한 비틀림에 기인한 것을 판단되었다.

위의 결과로부터 사양토의 경우 토양수분 함량이 낮은 경우에는 토양의 제자리반전 가능성이 없는 것으로 판단되었다. 따라서 차후의 실험에서는 토양의 점착성을 높이기 위해 토양수분 함량을 약 21%로 고정시키기로 하였다.

2) 토양 경도의 영향

토양의 경도도 시작기의 제자리 반전 성능에 중요하게 작용할 것이라고 판단되어 본 분석에서는 앞의 실험결과를 토대로 토양의 수분 함량을 약 21%로 고정된 상태에서 토양가공대차를 이용하여 토양의 경도를 세 수준으로 변화 시켜가면서 실험을 수행하였다. 표 5는

토양상태에 따른 토양가공 회수 및 토양가공 후의 원추지수를 보여주고 있다.

본 분석에서는 경운 작업속도를 0.22 m/s 그리고 경심은 6cm와 8cm의 두 수준으로 설정하였다.

토양조건 I에서는 토양의 반전과정에서 역토가 일부 파쇄되어 경심에 상관없이 토양의 반전상태가 좋지 않았으며 토양의 반전율(전체 역토 중 90° 이상 반전된 역토의 비율)이 70% 이하였다. 토양조건 II와 III에서는 토양이 180°로 완전히 반전되지는 않았으나 역토가 좌우로 크게 이동하지 않은 상태에서 좌우 역토 사이에 90° 이상 반전되었다. 그림 13은 토양상태 III에서 경심 8cm로 작업하였을 때 토양의 반전 상황을 보여주고 있다.



Fig. 13 View of plowing operation with 8cm plowing depth for soil condition III.

Table 5 Number of soil processing carriage and cone index for different soil conditions

Soil condition \ Operation	Rotary tilling	Levelling	Surface roller	Average cone Index(kPa)
I	2	1	2	316
II	2	1	4	379
III	2	1	6	427

Table 6 Side displacement, inversion angle and inversion ratio of furrow slice for different soil condition.

Soil condition \ Operation	Average side displacement (cm)	Inversion angle (degree)	Inversion ratio (%)
I	4.56	90 ~ 95	74
II	4.92	90 ~ 100	100
III	4.45	90 ~ 100	100

이 그림에서 알 수 있듯이 반전된 역토는 앞의 실험에서와 마찬가지로 30~40cm의 길이로 끊어져 있음을 알 수 있다. 이러한 현상은 앞에서 설명했듯이 시작기의 구조적인 문제에서 기인한 것으로 판단되었다. 표 6은 토양조건에 따른 역토의 평균 측면이동거리, 반전각 그리고 반전율을 보여주고 있다.

위의 결과로부터 토양조건 I을 제외하고는 시작기에 의한 토양의 제자리반전 가능성을 알 수 있었다. 그러나 역토가 180°로 완전히 반전되지 않고 대부분 90° 전후의 반전상태를 보이며 서 있는 것은 제 2의 몰드보드가 충분히 제 역할을 못하고 경운속도가 반전되고 있는 역토에 충분한 가속도를 주기에는 부족했던 것으로 판단된다. 따라서 경운 속도를 좀더 높이고 제 2의 몰드보드가 제 역할을 다하여 반전되는 역토에 충분한 우력을 줄 수 있도록 개선할 필요성이 있는 것으로 판단되었다. 평균측면이동거리는 5cm 전후로서 토양상태에 따라 큰 차이가 없었다. 그러나 이와 같이 측면이동 거리가 생긴 것은 제 2의 몰드보드에 의한 우력이 충분치 않아 완전 반전되지 않으면서 생겨난 것으로 판단되며 경운 속도의 증가와 제 2의 몰드보드가 토양에 충분한 압력과 우력을 줄 수 있는 형태로 개선되면 해결될 수 있다고 판단되었다.

3) 경운 작업속도의 영향

상기 실험에서 경운 작업속도가 토양의 제자리 반전에 중요한 요인임을 알 수 있었다. 따라서 본 분석에서는 실험속도를 실험장치가 허용하는 최대 범위까지 높여서 3 수준으로 경운 작업속도의 영향을 분석하기로 하였다. 경운 작업속도는 기존의 실험속도인 0.22 m/s를 포함해 0.33 m/s 그리고 0.49 m/s로 하기로 하였다. 토양수분은 약 21%, 토양경도는 상기실험의 토양조건 III 즉, 표면다짐롤러 6회 왕복다짐상태 그리고 경심은 6cm와 8cm의 두 수준으로 설정하였다.

실험결과 경심과 경운 작업속도에 관계없이 시작기의

제자리반전 성능은 거의 비슷한 수준이었다. 그림 14는 경심 8cm 그리고 경운 작업속도 0.49 m/s에서의 실험결과를 보여주고 있으며 대부분의 실험결과가 이와 비슷하였다.



Fig. 14 View of plowing operation with 8 cm plowing depth and 0.49 m/s plowing speed.

경운 작업속도가 0.22 m/s에서 0.49 m/s로 증가하였음에도 불구하고 비슷한 결과가 나왔다는 것은 세 가지로 분석 될 수 있다. 하나는 시작기의 구조가 경운 작업속도에 관계없이 토양의 반전을 90~100°의 범위 내에서만 가능하게 하거나, 두 번째는 인공토조 시스템의 실험가능 최고속도가 너무 낮았기 때문이거나, 세 번째는 인공토조 시스템의 토양조건이 야외 포장과 다른데서 기인한 것으로 판단된다. 상기 문제를 좀 더 검토해 보기 위해 야외 포장실험을 할 필요가 있다고 판단되었다.

4) 견인성능 분석

시작기에 대한 견인성능 실험은 토양수분 함량 21%, 습윤밀도 1,757 kgf/m³ 그리고 토양다짐롤러 6회 왕복의 토양가공을 하여 원추지수가 421 kPa인 토양에 대하여 수행되었다. 원추지수는 0~12cm 토양깊이에 대해 4cm 간격으로 측정된 평균값이다. 경심은 6cm와 8cm의 두 수준으로 설정하였으며, 경운 작업속도는 0.22 m/s, 0.33 m/s

Table 7 Specification of tested conventional plow

Implement	Load angle (degree)	Setting angle (degree)		Cutting angle (degree)	H (mm)	L (mm)	L/H	Shear length (mm)	Moldboard type
		shear	wing						
conventional Plow	24	42	53.8	28	252	246	0.98	190	Cylindroidal

토양의 제자리 반전을 위한 몰드보드 플라우의 개발

그리고 0.49 m/s의 세 수준의 속도에 대해 실험이 수행되었다. 성능 분석은 기존 몰드보드 플라우와 견인비저항을 중심으로 비교 실험으로 실시하였다. 표 7은 기존 몰드보드 플라우의 설계 변수를 보여주고 있다.

그림 15는 경심 6 cm에서 시작기와 기존 플라우의 경운 작업속도에 따른 경운 비저항을 보여주고 있다.

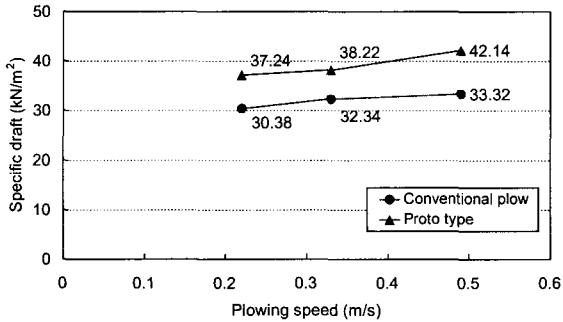


Fig. 15 Relationships between plowing speed and specific draft for plowing depth of 6 cm.

시작기의 비저항은 경운 작업속도에 따라 37.24 kN/m²에서 42.14 kN/m² 까지 약간씩 증가하였으나 큰 차이를 보이고 있지는 않았다. 기존 플라우의 경운 비저항은 경운 작업속도에 따라 30.38 kN/m²에서 33.32 kN/m²까지 시작기에 비해 약 18~21% 적은 것으로 나타났다. 이러한 경향은 시작기의 구조가 토양을 반전시키면서 바로 좌우측으로 보내지 않고 시작기의 전반부에서 절삭된 토양을 후반부로 보내어 토양을 제자리에서 반전시키는 과정에서 토양을 밀어내는데 소요되는 저항이 추가로 소요되었기 때문인 것으로 판단되었다. 이러한 경향은 경심이 8 cm인 경우에도 유사하게 나타났다(그림16).

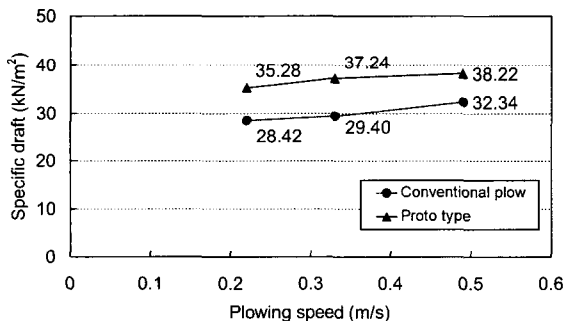


Fig. 16 Relationships between plowing speed and specific draft for plowing depth of 8 cm.

위의 결과로부터 제자리반전 플라우의 경운 저항은 기존 플라우에 비해 다소 높은 것을 알 수 있었으며 경운 저항의 개선을 위해서는 시작기의 구조 및 반전 방법을 개량할 필요가 있다고 판단되었다.

나. 포장실험

포장실험은 주로 시작기의 제자리반전 성능, 역저의 균평성 그리고 반전된 역토의 균일성 등을 실제 포장 상태에서 검토하기 위해 수행되었다.

야외 포장실험의 경심은 8 cm 이었으며, 경운 작업속도는 1.18 m/s 로서 실내실험시의 경운 작업속도보다 훨씬 큰 편이었다. 이는 실내실험에서 실험장치의 제한된 속도 때문에 충분히 속도의 효과를 검증하지 못했기 때문에 선택된 속도이다.

그림 17은 야외포장 상태에서 트랙터에 부착된 시작기에 의해 제자리에 반전되고 있는 역토를 보여주고 있다.



Fig. 17 Inversion process of soil furrow by prototype on field conditions.

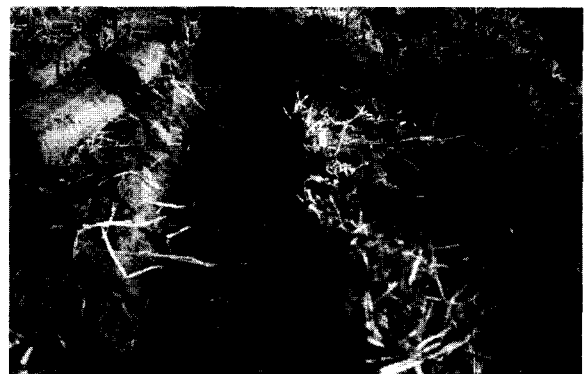


Fig. 18 View of furrow bottom after removing the furrow slice.

위의 그림에서 알 수 있듯이 시작기의 제자리 반전 성능은 인공토조 시스템에서의 실험시와 비교하여 우수한 것으로 나타났으며, 반전된 역토의 좌우 균일성 및 균평성도 실내 실험에 비하여 양호하였다. 토양의 제자리 반전율은 거의 100%이었으며 반전각은 100°~120°로서 반전정도도 실내실험에 비해 좋은 편이었다. 위의 결과는 실제 포장의 토양수분 함량, 토양다짐 정도 등의 토양조건이 인공토조 시스템에서의 작업조건에 비하여 시작기의 작업에 좀더 적합하였기 때문이며, 작업속도 역시 제자리반전에 적합한 경우 작업속도로 작업이 가능하였기 때문이라 판단된다.

그림 18은 역토를 제거한 역저의 상태를 보여주고 있으며, 역저의 균평성이 아주 우수함을 알 수 있다.

7. 요약 및 결론

본 연구는 논의 경우 작업시 경운된 토양을 좌측 또는 우측으로 이동시켜 반전시키지 않고 그대로 제자리에 완전히 반전시킬 수 있는 제자리반전 플라우를 개발하기 위해 수행되었다. 역토의 제자리 반전을 위한 설계 이론에 의하여 두 타입의 1, 2차 시작기가 제작되었으며, 시작기의 성능 분석을 위해 실내 및 야외 포장 실험이 수행되었다. 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 실내실험 결과 1차 시작기는 경심이 6cm 이하의 작은 경우에는 역토가 반전되지 않고 역토가 몰드보드위를 그대로 통과하여 원위치 되었다. 그러나 경심 8cm로 실내 실험을 한 경우, 실험 토양수분 함량의 모든 범위에서 몰드보드의 후면에서 역토의 막힘 현상이 발생하였다. 이는 토양을 제자리 반전시키기 위해 몰드보드의 후반부 반전축을 높이고 역벽의 안쪽으로 나선을 유도함으로써 토양이 반전되면서 몰드보드의 후반부를 빠져나가는데 필요한 공간의 확보가 안 되었기 때문이라고 판단되었다. 따라서 1차 시작기는 토양의 제자리반전 가능성이 없는 것으로 판명되었다.

2) 2차 시작기는 1차 시작기와 달리 토양수분 함량과 경도 그리고 경운 작업속도에 관계없이 몰드보드의 후면에서 역토의 막힘 현상이 발생하지 않았으며 대부분의 실험조건에서 토양의 제자리반전 가능성을 보여주

었다. 그러나 제자리반전 정도는 토양수분 함량, 경도 그리고 경운 작업속도에 비교적 예민하게 영향을 받았다.

3) 2차 시작기의 경우 토양수분 함량이 약 21% 이상이고 토양경도가 441 kPa 이상인 토양상태에서의 실내 실험 결과 반전율은 거의 100%, 좌우 측면이동거리는 3~5cm 범위 이내 그리고 반전각도는 90~100° 사이로서 비교적 양호한 반전 성능임을 알 수 있었다. 그러나 반전각도가 100° 이하인 것은 실험장치의 최대 경운 작업속도가 0.5 m/s 이하로서 역토에 충분한 반전 가속도를 줄 수 없었기 때문으로 판단되었다.

4) 2차 시작기의 경우 반전된 역토가 연결되어 반전되지 않고 30~40cm의 길이로 끊어져 반전되었다. 이러한 현상은 토양의 제자리반전을 위해 플라우의 전반부에서는 단지 토양을 수평 절삭하여 플라우의 후반부로 이동만 하게끔 하였고, 토양의 반전은 플라우의 후반부에서 제 2의 몰드보드의 도움으로 우력을 형성하여 이루어지게끔 시작기를 설계 제작하여 토양이 몰드보드 곡면의 전반부에서 후반부로 이동하는 과정에서 과도한 비틀림에 기인한 것을 판단되었다.

5) 2차 시작기의 비저항은 경운 작업속도에 따라 37.24 kN/m²에서 42.14 kN/m²까지 약간씩 증가하였으나 큰 차이를 보이지는 않았다. 기존 플라우의 경우 비저항은 경운 작업속도에 따라 30.38 kN/m²에서 33.32 kN/m² 까지였으며 시작기에 비해 약 18~21% 적은 것으로 나타났다. 이러한 경향은 시작기의 구조가 토양을 반전시키면서 바로 좌우측으로 보내지 않고 시작기의 전반부에서 절삭된 토양을 후반부로 보내어 토양을 제자리에서 반전시키는 과정에서 토양을 밀어내는데 소요되는 저항이 추가로 소요되었기 때문인 것으로 판단되었다.

6) 야외 포장실험에서의 2차 시작기의 제자리반전 성능은 인공토조 시스템에서의 실험시와 비교하여 우수한 것으로 나타났다. 반전된 역토의 좌우 균일성도 실내실험에 비하여 양호하였으며, 반전각은 100°~120°로서 반전정도도 실내실험에 비해 좋은 편이었다. 위의 결과는 실제 포장의 토양수분 함량, 토양다짐 정도 등의 토양조건이 인공토조 시스템에서의 작업조건에 비

토양의 제자리 반전을 위한 몰드보드 플라우의 개발

하여 시작기의 작업에 좀더 적합하였기 때문이며, 작업 속도 역시 제자리반전에 적합한 경우 작업속도로 작업이 가능하였기 때문이라 판단되었다.

참 고 문 헌

1. Kaufman, L. C. and D. S. Totten. 1972. Development of an inverting moldboard plow. Transactions of the ASAE. 15(1):55-60.

2. Sakun, V. A., Ya. P. Lobachevskii, O. A. Sizov. and V. V. Sharov. 1991. New technology and equipment for level ploughing. Silsoe Research. Institute. Wrest Park, Silsoe, Bedford MK45 4HS, UK.

3. 이규승, 1997. 제자리반전 플라우 및 작업기술 개발. 농림수산부 최종연구보고서.