

제자리 반전 모울드보드 플라우 개발

Development of 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

1. 서론

우리나라의 총 경지면적은 약 200만 ha로서 이중 논이 약 130만 ha이고 밭이 75만 ha이다. 작물을 재배하기 위해서는 위의 전 경지면적이 1년에 1번 이상씩 경운작업의 대상이 된다. 경운작업을 위해 투입되는 유류 소비량을 약 4 ~ 6 l/10a로 하였을 때, 1년에 80만~120만 m³의 유류가 경운작업에 소모되고 있음을 알 수 있다. 이는 1년에 단 1번만의 경운작업을 행하였을 경우에 해당하는 유류소모량으로, 토지 이용율등을 고려하였을때는 이보다 훨씬 많은 유류가 소모되고 있음을 추정할 수 있다. 따라서 경운작업기의 설계 개선은 작업기의 소요 견인력 및 에너지의 측면에서 뿐아니라 효과적인 토양의 반전 및 파괴 측면에서도 중요하게 고려 되어져야 한다.

현재 사용되고 있는 플라우 또는 쟁기에 의한 경기작업은 경운된 토양을 좌측 또는 우측으로 반전시킴으로써 경운작업후 고랑(ditch)이 남게 된다. 그러나 수도작이 주인 우리나라에서는 수자원의 효율적인 이용측면 뿐 아니라 원활한 후속작업을 위해서도 수도포장의 균평작업은 매우 중요하다. 따라서 균평작업을 위해 토양의 재이동에 총 유류소비량의 20~30%의 에너지가 추가로 소요되고 있다.

또한 기존의 다련플라우(쟁기)는 플라우들이 전진방향과 수직방향으로 일직선상에 있지 않고 전진방향과 대각선으로 설계제작 되어 사용되고 있는 것은 반전된 경도가 제자리에서 반전되지 않고 옆으로 이동하여 반전됨으로써 반전되고 있는 경도들간의 간섭현상을 막기위한 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, 제자리 반전플라우에 비해 2~3배의 회전공간과 4~5배회전주행을 하는 것으로 보고되고 있다.⁽¹⁾

* 성균관대학교 생명자원과학대학 생물기전공학과

위의 문제점들을 고려할 때, 새로운 개념의 제자리 반전플라우의 개발은 매우 중요하다. 또한 현재 선진국에서 대두되고 있는 gantry system 을 도입할 경우 경작지의 경운작업을 위해서는 제자리 반전플라우의 사용이 필수적이다.

따라서 본연구의 목적은 논외 경운작업시 경운된 토양을 좌측 또는 우측으로 이동시켜 반전시키지 않고 그대로 제자리에 완전히 반전시킬 수 있는 제자리 반전플라우의 개발과 이의 성능 실험 및 분석을 하는데 있다.

2. 설계방침

제자리 반전 플라우의 경운작업부는 다음사항을 고려하여 설계하였다.

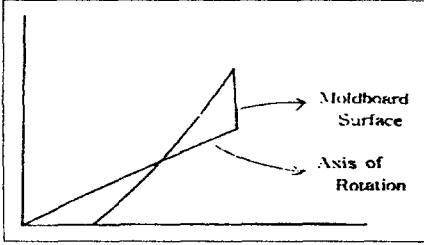
- ① 우리나라의 논토양의 물리적 특성에 적합해야 한다.
- ② 경운된 토양을 옆으로의 이동없이 제자리에서 완전히 반전시킬 수 있는 구조를 가져야 한다.
- ③ 경운속도 증가시의 견인력을 줄이기 위해 반전 모멘트를 최소화 할 수 있는 구조를 가져야 한다.
- ④ 경운작업부의 전후 방향의 동요(흔들림)현상을 최소화 하기위해 모듈드보드의 길이를 최소화 한다.
- ⑤ 경운작업시 한쪽방향 반전에 의한 트랙터의 쓸림현상을 없애기 위해 이체를 좌우대칭의 한쌍의 구조로 설계한다.

3. 설계이론

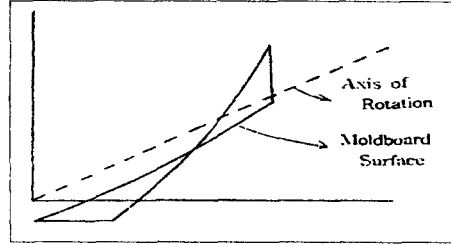
가. 토양절단 및 초기반전

위의 설계방침에 적합하여 토양의 초기 절단과 절단된 토양을 반전시킬 수 있는 모듈드보드면의 형태는 다음의 두 형태중 한 형태이어야 한다.(그림 1,2)

나선형 모듈드보드(helical moldboard)는 기존의 플라우에도 많이 적용되고 있는 형태로서 토양의 반전이 주목적인 경우에 사용되고 있다. 이형태는 토양의 반전축이 낮아 토양이 반전과정에서 옆으로 이동할 가능성이 있는 것으로 판단되나, 플라우를 실제로 제작하여 토양의 반전 과정을 검토 분석 해야될 것 같다. heriocodial moldboard surface는 나선형 모듈드보드에 비해 토양의 측면 이동이 적을것으로 판단되나, 이것도 실제 제작후 검토 분석되어 져야 한다.



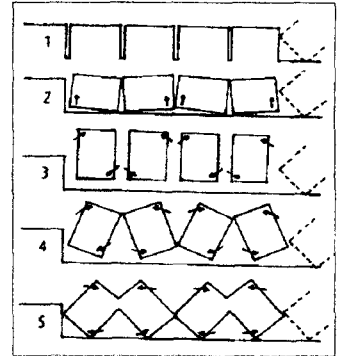
【Fig. 1】 Herical moldboard surface



【Fig. 2】 Heliocoidal moldboard surface

나. 토양의 후기반전

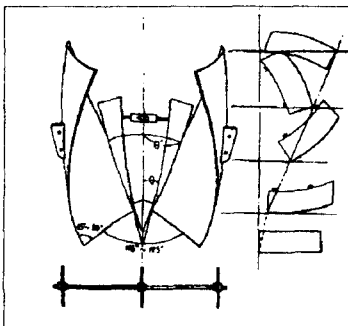
위에서 제시한 한 개의 모울드보드 만으로는 토양의 완전한 제자리 반전 가능성이 적을 것 같아 토양의 후기 반전을 위해 제2의 모울드보드를 구성하기로 했다. 제1의 모울드보드와 제2의 모울드보드는 토양의 반전과정에서 토괴에 우력을 줄수 있는 구조로 구성 되어야 한다. 그림 3은 토양의 제자리 반전을 위해 토양에 주어져야 할 우력의 방향과 토양의 반전과정을 보여주고 있다.



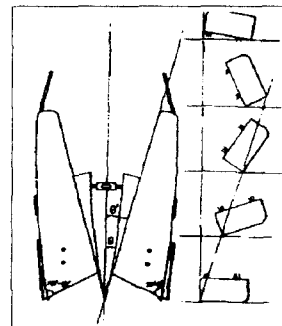
【Fig. 3】 Inversion step of furrow slice for new concept plow

4. 설계결과

위의 설계방침과 설계이론으로부터 4종류의 제자리 반전 플라우가 설계되었으나 실험결과 2종류 만이 역토를 제자리에 반전시킬 수 있었다. 그림 4, 5는 이 2종류의 개략적인 설계도면과 역토가 모울드보드 표면을 통과 할 때의 토양의 반전과정을 보여주고 있다.



【Fig. 4】 View of first prototype



【Fig. 5】 View of second prototype

5. 시작기 제작

위의 설계에 의해 제작된 제자리 반전플라우의 경운작업부는 그림 6, 7과 같다.



【Fig. 6】 View of first prototype with two types of modified first moldboards



【Fig. 7】 View of second prototype

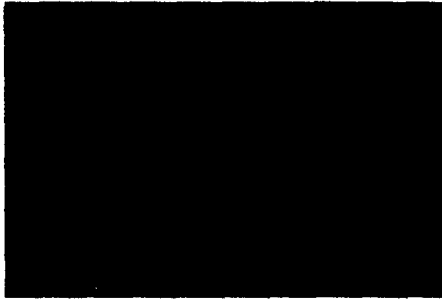
6. 시작기의 성능실험

시작기에 대한 성능 실험은 인공토조시스템에서와 야외포장에서 실시되었으며, 주로 2차 시작기를 중심으로 이루어 졌다.

가. 인공토조시스템에서의 성능실험

예비 실험의 결과 시작기의 경운성능은 토양의 수분함량과 경도에 의해 크게 영향을 받을 수 있었다. 따라서 2차 실험은 예비 실험에서 보다 토양수분함량과 토양경도를 토양가공대차를 이용하여 증가시켜서 수행하였다. 2차실험에서의 토양가공은 로타리작업 2회, 균평작업 1회, 토양다짐롤러 작업 6회이었다. 토양가공 결과 토양 수분함량은 17.0%(d.b)이였으며, 습윤밀도는 1778.3 kg/m³, 원추지수는 4.8kg/cm 이었다. 위의 토양자료는 실험직전에 시작기의 경운작업 범위인 0~10cm의 깊이에서 토양채취실린더와 SR-2 모델의 토양경도 측정기를 이용하여 측정하였다. 2차 실험에서도 경심은 6cm 와 8cm 의 두 수준이였으며, 경폭은 16cm 이었다. 실험 경속은 0.22m/s이였다.

그림 8은 여러 실험 결과중 경심 6cm 에서의 실험 결과를 보여 주고 있다.



【Table 1】 Specification of tested plow

Implement	Load angle (degree)	Setting angle (degree)		Cutting angle (degree)	H (mm)	L (mm)	L/H	Shear length (mm)	Moldboard type
		shear	wing						
Plow	24	42	53.8	28	252	246	0.98	190	Cylindrical
NC Plow	20	75	5	10	250	480	1.92	170	

【Fig. 8】 View of plowing operation with second proto-type

2차 실험에서 2차시작기의 토양의 반전정도 등 전반적인 경운성능은 예비 실험에 비하여 많이 향상되었다. 반전되어 있음을 알 수 있다. 그러나 역토는 완전히 반전되지 않고 두 개의 모울드보드사이에 그대로 90° 로 서 있음을 알 수 있다. 이러한 경향은 다른 실험에서도 나타났으며, 이러한 결과는 경속이 낮았기 때문이라고 판단되었다. 따라서 실험조건을 변경하여 3차실험을 실시하였다.

3차실험은 2차 시작기를 그대로 사용하여 수행하였으며, 3차실험의 목적은 경속을 좀더 빠르게하여 토양의 반전상태를 검토하고, 경운저항을 기존의 플라우와 비교·분석하는 것이었다. 표 1은 시작기와 기존플라우의 설계변수를 보여주고 있다.

3차 실험의 토양가공은 토양 수분함량을 제외하고 2차 실험과 같게 하였다. 3차 실험에서의 토양수분 함량은 21%(db) 이었다. 3차 실험에서의 습윤밀도는 0~10cm 깊이에서 1871.3 kg/m³ 이었으며, 원추지수는 0~10cm 사이의 평균값으로 3.8 kg/cm³ 이었다.

3차 실험에서는 경심을 6cm 와 8cm의 두 수준으로 하였으며, 경속도 0.22%와 0.49%의 두 수준으로 하였다. 3차 실험에서 경속을 0.49 %로 증가시켜 실험을 수행한 것은 2차 실험에서 경속이 빠를수록 반전이 더 잘될 수 있을 것이라고 판단했기 때문이다. 그러나 결과는 2차 실험과 거의 비슷하였다 이것은 인공토조시스템의 토성과 물리적특성이 제자리 반전에 적합하지 않았기 때문이라 판단되어 실제 포장에서의 성능 실험을 실시하였다.

2차시작기와 일반 플라우와의 견인 비저항을 비교하여 본 결과 시작기의 견인비저항은 경속과 경심에 따라 0.76kg/cm² 에서 0.86kg/cm² 사이의 값을 보이고 있으며, 일반 플라우는 0.62kg/cm²에서 0.81kg/cm² 의 값을 보였다. 따라서 일반플라우의 경운비저항이 0.05~0.1kg/cm² 정도 낮음을 알 수 있다. 이러한 결과는 시작기의 토양 파괴특성이 토양을 밀면서 파괴하기 때문인 것으로 판단된다.

나. 포장실험

포장실험은 11월 말경에 수원시 천천동 소재 논에서 실시되었으며, 포장실험은 주로 시작

기의 제자리 반전성능, 역저의 균평성 그리고 반전된 역토의 균평성을 실제 포장 상태에서 검토하기 위해 수행되었다. 표 2는 실험직전에 측정된 실험 포장의 토양 물리성을 보여주고 있다. 모든 자료는 0~20cm 까지의 평균값을 나타낸다.

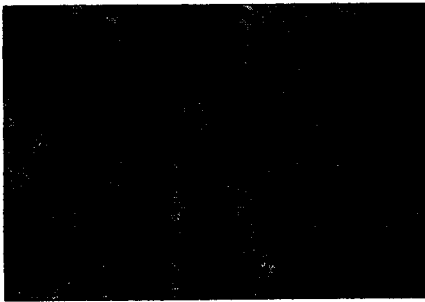
【Table 2】 Soil physical properties of experimental field.

cone index (kg/cm ²)	internal friction angle(°)	cohesion (kPa)	soil-metal friction coef.	soil-metal adhesion (kPa)	composition(%)			texture
					sand	silt	clay	
8.922	52.462	12.848	0.346	2.823	51.3	24.3	24.4	sand clay loam

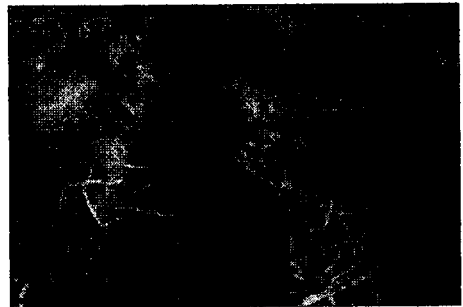
그림 9는 수도포장 상태에서 트랙터에 부착된 시작기에 의해 제자리에 반전되고 있는 역토를 보여주고 있다.

위의 그림에서 알 수 있듯이 시작기의 제자리 반전 성능은 인공토조시스템에서의 실험시와 비교하여 우수한 것으로 나타났으며, 역토의 균평성도 우수하였다. 위의 결과는 실제 포장의 토양 수분 함량, 토양 다짐 정도등의 토양조건이 인공토조시스템에서의 작업조건에 비하여 시작기의 작업에 좀더 적합하였기 때문이며, 작업속도 역시 제자리 반전에 적합한 경속으로 작업이 가능하였기 때문이라 판단된다.

그림 10은 역토를 제거한 역저의 상태를 보여주고 있으며, 역저의 균평성이 아주 우수함을 알 수 있다.



【Fig. 9】 Inversion process of second prototype



【Fig. 10】 View of furrow bottom after removing the furrow slice

7. 결론

1. 설계이론에 의하면 토양의 절단과 초기반전을 위해서는 제자리반전플라우의 모올드 보드의 형태는 Herical 또는 Helicoidal 이어야 한다. 토양의 후기반전 또는 정렬을 위해서는 제2의 모올드보드가 필요하며, 이의 형태는 실험을 통하여 결정될 수 있다.

위의 이론에 의하여 4타일의 1차 시작기가 제작되었으며, 예비실험 결과 2타일을 제외한 2타일은 토양의 제자리반전 가능성이 없는 것으로 판명되었다.

2. 2차 시작기의 좌우 두 개의 모듈드보드에 의해 반전된 토양은 두 개의 모듈드보드 사이에 그대로 반전되었다. 시작기의 경운작업후 역저의 균일성을 조사한 결과 역저는 평면과 같이 균일성이 좋은 것으로 나타났으며, 경심의 안정성도 시작기의 좌우대칭인 구조 특성으로 부터 아주 양호하였다. 경심의 변위는 5m 의 실험구간에서 1cm 이내인 것으로 조사되었다. 또한 반전된 역토의 균평성은 좌우 대칭으로 비교적 균평한 것으로 나타났다.
3. 2차 시작기의 실제 포장에서의 제자리 반전성능은 인공토조시스템에서의 반전 성능보다 우수하였다. 이것은 실제 포장의 토양수분함량, 토양다짐정도등의 토양조건이 시작기의 작업에 인공토조시스템에서의 작업조건에 비해 좀더 적합하였기 때문이며, 작업속도 역시 제자리 반전에 적합한 경속으로 작업이 가능하였기 때문이라 판단된다.

8. 참고문헌

1. V. A. Sakun., Ya. P. Lobachevskii, O. A. Sizov, V. V. Sharov. 1991. 「New Technology and Equipment for Level Ploughing」. Silsoe Research. Institute. Wrest Park, Silsoe, Bedford MK45 4HS, UK.
2. Kaufman, L. C., D. S. Totten. 1972. 「Development of an Inverting Moldboard Plow」. Transactions of the ASAE.
3. Noboru Kawamura, Koh Takakita, Tanya Niyamapa. 「New Concept Plow to Invert Furrow Slice at the Same Position」. Proceedings of Annual Meeting of Japanese Society of Agricultural Machinery.
4. Koichi SHOJI, Kiyosi NAMIKAWA, Mikio UMEDA. 1993. 「Evaluation and Modification on the New Concept Plow」. Proceedings of the International Conference for Agricultural Machinery & Process Engineering. Seoul, Korea