

국내 논 토양의 경운작업에 적합한 모울드보드의 형태

Moldboard Types suitable for Korean Paddy Field Conditions

이규승*
정희원
K.S.Lee

박원엽*
정희원
W.Y.Park

우상하**
정희원
S.H.Woo

1. 서 론

최근 우리나라에서는 농촌 노동력의 부족, 농민들의 대형 농기계 선호 현상등에 의해 트랙터의 크기가 점점 증가하고 있다. 이에 따라 소마력 트랙터에는 적합하지 않아 심경이 가능하고 반전성능이 좋음에도 불구하고 사용이 기피 되어오던 모울드보드 플라우에 대한 수요가 크게 증가하고 있는 추세이다. 그러나 모울드보드 플라우는 서양에서 전작 중심의 대규모 영농의 밭토양에 적합하도록 설계되어 발달되어 왔다. 밭토양의 물리적 특성과 논토양의 물리적 특성은 두 토양에 대한 경작방법이 많은 차이가 있듯이 큰 차이를 보이고 있다. 따라서 우리나라에서 모울드보드 플라우에 의한 논토양의 경기작업은 논토양의 물리적 특성 뿐아니라 모울드보드 플라우의 구조적 특성과 성능에 대한 깊이 있는 기술적 평가를 거쳐 개발된 한국형 모울드보드 플라우에 의한 것이 바람직하다.

따라서 본 연구의 목적은 우리나라의 논토양의 경기작업에 적합한 한국형 모울드보드 플라우의 개발을 위해 컴퓨터 시뮬레이션 모델을 이용하여 토양상태에 따른 적정 모울드보드의 형태를 선정 제시하는데 있다.

2. 견인저항 예측 모델

플라우, 쟁기 등의 경운작업기들은 경운날의 선단이 진행방향과 직각을 이루지 않고 일정한 각도를 가지고 경사져 있다. 따라서 플라우의 경운저항 예측 모델은 3차원 모델로 해석해야 한다. 그림 1은 3차원 모델에서의 경운날의 오리엔테이션을 보여주고 있다. 각 θ 는 경운날의 선단 \overline{OA} 와 X축 사이의 각으로서, Z축에 대한 경운날의 회전변위를 나타낸다.

각 δ 는 Z축과 평행한 \overline{DF} 와 \overline{OA} 에 직각인 경운날에 포함되는 \overline{DE} 사이의 각으로서, 경운날의 경사도를 나타낸다. 각 α 는 경운날과 XZ평면의 교선인 \overline{OG} 가 X축과 이루는 각이다.

그림 2는 3차원 공간에서 경운날을 측면에서 본 자유체선도로서 평판에 작용하는 법선방향의 힘 N_0 는 다음과 같이 구해진다.⁽¹⁾⁽²⁾⁽⁶⁾

$$N_0 = (B + cF_1) \cos(\delta - \beta) + G \sin \delta \dots\dots\dots (1)$$

여기서, F_1 : 경운날선단에서 형성되는 전단면의 면적 ; $F_1 = \frac{d}{\sin \beta} \frac{b}{\sin \theta}$
 c : 점착력, ϕ : 토양 내부마찰각, G : 토양의 무게 ; $G = \gamma F_0 \frac{d}{\sin \beta}$
 F_0 : 토양블럭과 경운날 사이의 접촉면적

* 성균관대학교 생명자원과학대학 생물기전공학과
 ** 현대 중장비 연구소

β : 토양전단면이 지면과 이루는 각 ; $\frac{1}{2}(90^\circ - \phi)$

B : 경운날 위에서의 힘 ; $m \frac{dv}{dt}$

식 (1)로부터 N_0 를 구할 수 있고, 각 힘을 X, Y, Z 성분으로 나누어 같은 성분끼리 더하면, 수평적인 저항, 횡방향전인저항 및 수직전인저항을 구할 수 있다.

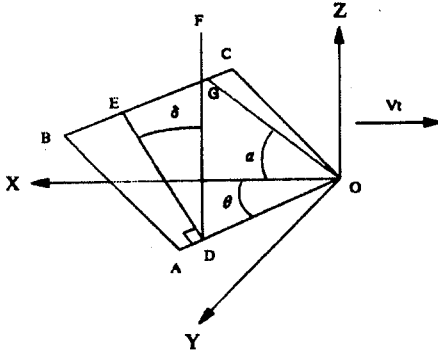


Fig.1 The orientation of an inclined tillage tool in the 3-D space.

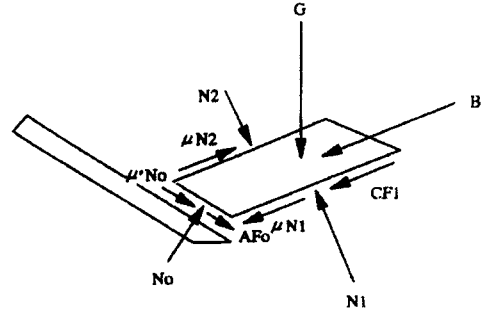


Fig.2 Free-body diagram of a soil block.

3. 재료 및 방법

가. 곡면측정장치

본 연구에서 플라우의 형상 표현을 위하여 사용한 곡면측정장치는 포텐쇼미터, 스타일러스, 태엽, 3 종류의 폴리로 구성된다. 이 장치에는 모두 3개의 포텐쇼미터(potentiometer)를 사용하였다. 스타일러스를 잡고 측정하고자 하는 임의의 점까지 이동을 하거나 놓으면, 태엽 주위에 감겨 있던 줄이 풀리거나 감기면서 포텐쇼미터를 회전시키게 된다. 한편, 포텐쇼미터는 각각 X축, Y축, 원점에 위치하도록 하여 포텐쇼미터의 회전변위에 따른 저항값의 변화가 직선적인 특성을 이용하여 측정하고자 하는 임의의 점까지의 거리를 측정한다. 측정된 세 거리로부터 임의의 점의 X, Y, Z 좌표가 구해진다. 형상측정장치의 구조는 그림 3과 같다.

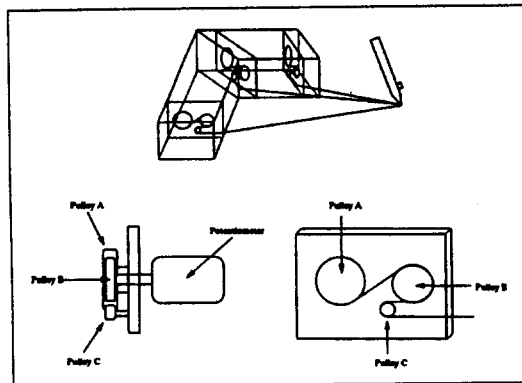


Fig.3 Structure of a device for measuring plow shape.

나. 전인저항 예측 컴퓨터 모델

형상측정을 위한 프로그램은 C-언어로 작성되었으며, 풀-다운메뉴(pull-down menu)를 구성하여 자료화일 관리에서부터, 형상측정시스템의 제어, 측정, 측정자료의 그래픽적 처리, 토양저항예측에 이르기까지의 모든 과정을 통합시키도록 하였다.

다. 실험작업기

실험작업기로는 서로 다른 세가지 형태의 소형 모울드보드 플라우와 8마력 동력경운기 부착용 농양쟁기가 사용되었다. 그림 4는 실험에 사용된 작업기들을 보여주고 있으며, 표 1은 실험작업기들의 규격 및 치수를 보여주고 있다.

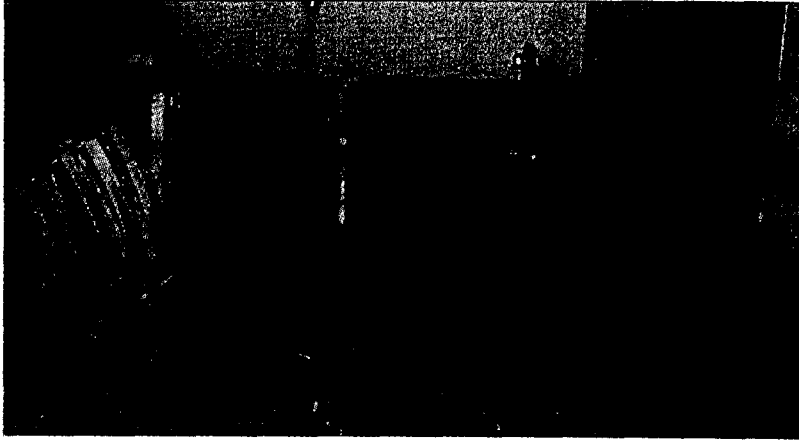


Fig.4 Experimental tillage implements .

Table 1 Specification of tillage tested implements

| Implement | Load angle (degree) | Setting angle | | Cutting angle (degree) | H (mm) | L (mm) | L/H | Shear length (t) (mm) | Moldboard Type |
|-----------|---------------------|----------------|---------------|------------------------|--------|--------|------|-----------------------|-------------------------|
| | | shear (degree) | wing (degree) | | | | | | |
| Plow I | 31.3 | 37.4 | 46.3 | 46.5 | 315 | 250 | 0.79 | 260 | cylindrical |
| Plow II | 24.0 | 42.0 | 53.8 | 28.0 | 252 | 246 | 0.98 | 190 | cylindroidal |
| Plow III | 20.4 | 46.5 | 56.0 | 33.7 | 263 | 277 | 1.05 | 230 | semihelical (shortened) |
| Janggi | 45.5 | 73.0 | 60.0 | 48.6 | - | - | - | 235 | 5-fork |

라. 전인저항 예측 모델의 검증

작업기-토양간의 상호작용을 정확히 측정하고 신뢰성 있는 자료수집을 위하여 12m, 폭 1m, 높이 0.7m의 인공토조시스템에서 모델의 검증실험을 수행하였다.

1) 토양가공

토양가공은 매회 실험사이에 필요한 토양상태를 만들기 위해 인공토조시스템의 토양가공대차를 이용하였다. 우선 깊이 20cm로 로타리 경운작업을 하여 토양에 대한 작업기 실험의 영향을 없앴으며,

그 다음에는 균평기에 의해 토양의 균평작업을 하였다. 마지막으로 표면다짐 롤러를 이용해 지표면의 다짐 작업을 2회 하였다. 토양가공의 순서와 회수는 모든 작업기의 실험에 대해 일정하게 하였다.

2) 토양의 물리성 측정

모델의 검증에 필요한 토양의 물리성은 토양채취관을 이용하여 토양가공이 끝난 직후에 표면의 토양을 걷어낸 후 약 8cm 와 16cm의 두 깊이에서 임의의 네 곳을 선정하여 토양의 겉보기밀도를 측정하였고, SR-2 모델의 토양전단측정장치를 이용하여 토조내에서 임의의 네곳을 선정하여 토양의 점착력, 내부마찰각, 부착력 및 외부마찰각을 측정하였다.

3) 검증실험

검증실험에 사용된 작업기로는 위에서 언급한 세 타입의 플라우중 첫번째 플라우(플라우1)와 8마력 동력경운기 부착용 동양장기가 사용되었다. 검증실험에서는 작업기의 견인력에 영향을 미치는 인자중 토양조건은 일정하게 유지한 상태에서 경속 0.49m/s, 경심 두 수준인 12cm, 16cm로 하여 각 처리별 3 반복으로 실험을 수행하였다.

마. 모의 실험을 위한 토양 물리성 측정

토양물리성은 우리나라 수도재배의 대표적지역이라 볼 수 있는 이리, 평택, 아산만지역, 여주, 수원, 남양만지역 등지에서 SR-2 측정장치를 사용하여 토양점착력, 내부마찰각, 부착력, 외부마찰각 등을 측정하였다. 한편, 토양의 밀도는 표면의 토양을 걷어낸 후 약 2-8cm, 10-16cm의 두 깊이에서 측정하였으며, 모든 측정은 3반복으로 하였다.

4. 결과 및 고찰

가. 플라우 곡면 형상 결과

그림 5는 형상 측정장치로 플라우를 측정하여 그래픽으로 구현한 예와 사진과를 비교한 것이다. 그림 5의 결과로부터 형상측정장치는 모듈드보드플라우의 형태를 비교적 잘 구현할 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 형상측정 장치로 부터 구현한 모듈드보드 플라우는 시뮬레이션 모델에 의한 경운저항 예측에 사용할 수 있다고 판단되었다.

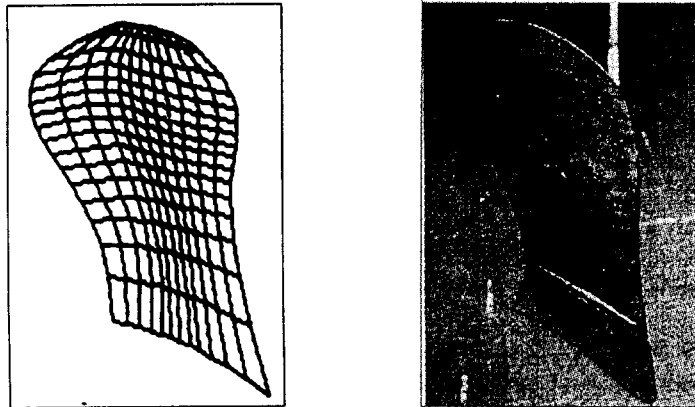


Fig.5 View of a moldboard plow.

나. 경운저항 예측 모델의 검증

표 2는 타원주형(cylindroidal) 모듈드보드 플라우의 모의실험 예측 결과를 인공토조시스템에서의 실

험 결과와 비교한 것이다. 경속과 경심에 따라 차이는 있으나 모의 실험 예측치는 실측치와 대략 1~32%의 오차율을 보이고 있으며 특히 세 경속(0.22, 0.33, 0.49 m/s) 모두에서 경심이 제일 적은 8 cm 일때 가장 큰 오차율을 보이고 있으며, 경속에 따라 약간의 차이는 있으나 50~70 N의 범위 내에 있었다. 예측치는 경심이 낮은 곳에서는 실험치보다 높게, 그리고 경심이 증가함에 따라 그 오차가 점점 감소하여 12cm 전후에서는 실험치와 거의 유사하게, 그리고 12cm 이후에서는 실험치보다 낮은 값을 갖는 것으로 나타났으며, 그 오차는 점점 커짐을 알 수 있다. 그러나 일반적으로 우리나라에서 행하여지고 있는 경운작업의 경심은 12~18cm의 범위이며, 경심 16cm에서의 예측 오차는 약 70N 정도로서 12% 전후의 오차율을 보이고 있다. 따라서 경심 12~16cm 범위에서는 컴퓨터 모의 실험에 의한 경운저항의 예측이 가능 하다고 판단되었다.

Table 2 Comparison between experimental and predicted depth of cylindroidal moldboard plow

| Plowing speed (m/s) | Plowing depth (m) | Experimental value (N) | Predicted value (N) | Error (%) |
|---------------------|-------------------|------------------------|---------------------|-----------|
| 0.22 | 0.08 | 222.01 | 278.70 | 25.53 |
| | 0.12 | 407.53 | 403.39 | 1.02 |
| | 0.16 | 600.52 | 528.08 | 12.06 |
| 0.33 | 0.08 | 220.62 | 279.32 | 26.61 |
| | 0.12 | 371.20 | 404.32 | 8.93 |
| | 0.16 | 598.59 | 529.32 | 11.57 |
| 0.49 | 0.08 | 212.25 | 280.67 | 32.24 |
| | 0.12 | 375.24 | 406.34 | 8.29 |
| | 0.16 | 604.16 | 532.01 | 11.94 |

다. 모의 실험에 의한 경운저항

1) 토양자료의 분석

표 3은 측정된 토양물리성을 지역별로 정리한 것이다. 조사지역의 토성은 미사질양토(SiL)가 9곳으로 제일 많았으며 그 다음은 사질양토(SL)가 5곳 양토(L)가 4곳, 미사질식양토(SiCL)가 두곳 있었다. 이 지역에서 경운정지 시기의 토양수분함량은 주로 30~40%의 범위이었으며, 드물게 20%범위의 지역과 50%가 넘는 지역이 한두 곳 있었다. 결보기밀도는 대부분 1500~1700 kg/m³의 범위이었다.

점착력은 대부분 지역에서 10~15 kPa이었으며, 아산 한지역에서만 약 5 kPa로서 큰차이를 보이고 있다. 내부마찰각은 지역과 토성에 따라 차이는 있으나 30~60도의 범위이었다. 토양-금속 마찰계수는 0.3에서 0.8까지 그 범위가 큰 편이었으며, 토양-금속 부착력은 0.6에서 3.0kPa의 범위이었다.

2) 경운저항의 분석

경운저항을 플라우타일별로 비교 분석하기 위해서는 동일 경심과 경폭으로부터 구하여진 값이어야 한다. 그러나 본실험에 사용된 플라우들은 모두 서로 다른 형태와 경폭을 갖고 있음으로서 경심의 조절은 가능하나 경폭의 조절은 불가능하였다. 따라서 본 분석에서는 경운저항값 대신 경운비저항값을 이용하기로 하였다. 위의 토양자료를 컴퓨터 시뮬레이션 모델에 입력하여 각 지역별, 경심별, 경속별, 플라우 타일별로 구한 경운저항값으로부터 구한 경운비저항값을 정리한 것이 표 4에 나타나 있다. 이 표에 의하면 원통형모우드보드 플라우의 경운비저항값은 토양타일과 경심, 경속에 따라 3~6 N/cm², 타원주형모우드보드 플라우에서는 2.5~5.0 N/cm², 동양쟁기에서는 2.0~4.3 N/cm², 반나선형모우드보드 플라우의 경우는 1.5~3.0 N/cm²의 범위 이었다. 동일조건하에서 플라우타일에 따른 경운비저항값의 차이는 뚜렷하게 나타났으며 그 크기는 원통형, 타원주형, 동양쟁기, 반나선형모우드보드 플라우의 순서로 나타났다. 각 플라우타일에 따른 경운 비저항값들은 경속별, 경심별, 토양타일별로 다음과 같이 분석키로 하였다.

Table 3 Soil physical properties measured for predicting tillage implement draft from computer simulation model.

| Region | Moisture Content (%) | Bulk Density (wet) (kg/m ³) | Cohesion (kPa) | Internal frictional angle (deg.) | Soil-metal frictional coeff. | Soil-metal adhesion (kPa) | Composition | | | Texture |
|--------------|----------------------|---|----------------|----------------------------------|------------------------------|---------------------------|-------------|----------|----------|---------|
| | | | | | | | Sand (%) | Silt (%) | Clay (%) | |
| Iri-1 | 34.940 | 1633.5 | 11.608 | 49.566 | 0.509 | 2.533 | 11.4 | 62.8 | 25.8 | SiL |
| Iri-2 | 51.480 | 1502.0 | 12.453 | 31.402 | 0.314 | 2.683 | 12.9 | 61.3 | 25.8 | SiL |
| Iri-3 | 44.297 | 1643.0 | 13.419 | 40.353 | 0.370 | 2.807 | 8.4 | 62.7 | 28.9 | SiCL |
| Namyang-1 | 27.165 | 1748.0 | 15.025 | 46.192 | 0.504 | 2.179 | 4.1 | 69.0 | 26.9 | SiL |
| Namyang-2 | 33.384 | 1762.0 | 13.525 | 37.686 | 0.449 | 2.701 | 10.1 | 69.6 | 20.3 | SiL |
| Namyang-3 | 23.037 | 1547.5 | 12.396 | 52.165 | 0.798 | 1.973 | 5.1 | 74.6 | 20.3 | SiL |
| Namyang-4 | 32.882 | 1698.5 | 14.138 | 41.267 | 0.485 | 3.246 | 3.9 | 69.8 | 26.3 | SiL |
| Yeosu-1 | 24.765 | 1528.0 | 10.275 | 46.870 | 0.607 | 1.589 | 57.4 | 28.4 | 14.2 | SL |
| Yeosu-2 | 21.035 | 1547.5 | 10.313 | 48.366 | 0.632 | 2.268 | 53.8 | 30.7 | 15.5 | SL |
| Yeosu-3 | 34.898 | 1574.5 | 10.425 | 46.329 | 0.504 | 2.526 | 40.8 | 34.7 | 24.5 | L |
| Yeosu-4 | 36.468 | 1493.5 | 11.313 | 46.397 | 0.541 | 2.616 | 12.7 | 49.6 | 37.7 | SiCL |
| Yeosu-5 | 32.672 | 1525.0 | 10.075 | 49.053 | 0.555 | 2.295 | 36.5 | 37.3 | 26.2 | L |
| Yeosu-6 | 37.972 | 1640.5 | 10.100 | 50.370 | 0.600 | 2.366 | 58.5 | 32.5 | 9.0 | SL |
| Pyeongtaek-1 | 32.168 | 1697.5 | 10.521 | 58.195 | 0.569 | 2.219 | 56.7 | 32.0 | 11.3 | SL |
| Pyeongtaek-2 | 36.030 | 1604.5 | 10.625 | 57.588 | 0.550 | 2.375 | 37.2 | 47.4 | 15.4 | L |
| Pyeongtaek-3 | 37.646 | 1588.0 | 12.063 | 58.588 | 0.478 | 2.442 | 19.0 | 58.3 | 22.7 | SiL |
| Pyeongtaek-4 | 37.187 | 1644.5 | 11.146 | 61.113 | 0.545 | 2.295 | 0.8 | 83.7 | 15.5 | SiL |
| Asan | 27.489 | 1525.0 | 4.713 | 56.832 | 0.537 | 2.183 | 2.2 | 80.0 | 17.8 | SiL |
| Suwon-1 | 36.828 | 1677.5 | 10.869 | 59.324 | 0.699 | 0.527 | | | | L |
| Suwon-2 | 30.133 | 1762.0 | 10.215 | 57.733 | 0.750 | 1.124 | | | | SL |

가) 경속에 따른 경운비저항

그림 6은 미사질양토에 있어서, 그리고 그림 7은 미사질 식양토에서 각각 경심이 12 cm일때 각 플라우 타입별로 경속과 경운비저항과의 관계를 나타낸 그래프이다.

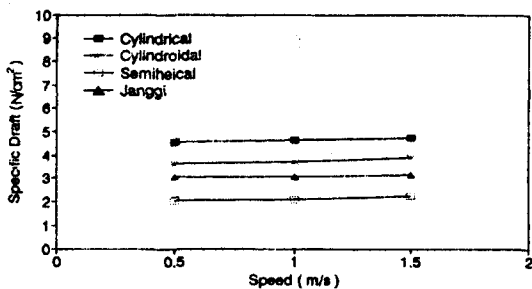


Fig.6 Relationships between plowing speed and specific draft of 4 different types of plows for silty loam at plowing speed of 1.5 m/s and plowing depth at 12cm.

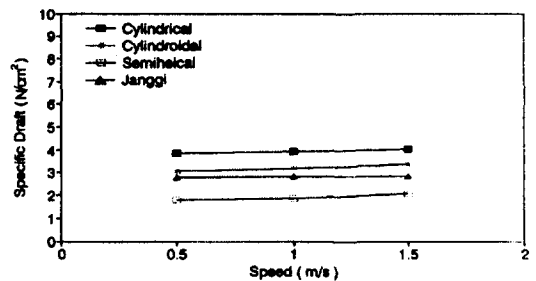


Fig.7 Relationships between plowing speed and specific draft of 4 different types of plows for silty clay at plowing speed of 1.5 m/s and plowing depth at 12cm.

Table 4 Predicted specific draft from simulation model at plowing depth of 8cm, 12cm and 16cm.

| Region | Implement type Plowing speed (m/s) | Cylindrical moldboard plow | | | Cylindroidal moldboard plow | | | Semihirical moldboard plow | | | Janggi | | |
|--------------|---------------------------------------|----------------------------|-------|-------|-----------------------------|-------|-------|----------------------------|-------|-------|--------|-------|-------|
| | | Plowing depth (cm) | | | | | | | | | 8 | 12 | 16 |
| | | 8 | 12 | 16 | 8 | 12 | 16 | 8 | 12 | 16 | 8 | 12 | 16 |
| Iri-1 | 0.49 | 4.686 | 4.550 | 4.482 | 3.796 | 3.613 | 3.521 | 2.147 | 2.048 | 1.999 | 3.495 | 3.051 | 2.830 |
| | 1.00 | 4.752 | 4.617 | 4.549 | 3.896 | 3.712 | 3.620 | 2.203 | 2.104 | 2.054 | 3.540 | 3.097 | 2.875 |
| | 1.50 | 4.866 | 4.731 | 4.663 | 4.071 | 3.887 | 3.796 | 2.343 | 2.244 | 2.195 | 3.608 | 3.165 | 2.943 |
| Iri-2 | 0.49 | 3.128 | 2.985 | 2.913 | 2.640 | 2.446 | 2.348 | 1.578 | 1.473 | 1.421 | 2.794 | 2.324 | 2.089 |
| | 1.00 | 3.192 | 3.049 | 2.977 | 2.749 | 2.554 | 2.457 | 1.687 | 1.582 | 1.529 | 2.802 | 2.332 | 2.097 |
| | 1.50 | 3.310 | 3.167 | 3.095 | 2.957 | 2.762 | 2.665 | 1.929 | 1.824 | 1.771 | 2.784 | 2.314 | 2.079 |
| Iri-3 | 0.49 | 4.016 | 3.866 | 2.791 | 3.283 | 3.079 | 2.978 | 1.915 | 1.805 | 1.750 | 3.288 | 2.797 | 2.551 |
| | 1.00 | 4.082 | 3.931 | 3.856 | 3.386 | 3.182 | 3.081 | 1.987 | 1.878 | 1.823 | 3.314 | 2.823 | 2.578 |
| | 1.50 | 4.199 | 4.049 | 3.974 | 3.582 | 3.378 | 3.302 | 2.188 | 2.078 | 2.023 | 3.339 | 2.848 | 2.602 |
| Yeouju-1 | 0.49 | 4.170 | 4.085 | 4.042 | 3.398 | 3.283 | 3.225 | 1.928 | 1.865 | 1.834 | 2.801 | 2.523 | 2.384 |
| | 1.00 | 4.237 | 4.152 | 4.109 | 3.500 | 3.385 | 3.327 | 1.983 | 1.921 | 1.890 | 2.853 | 2.575 | 2.435 |
| | 1.50 | 4.352 | 4.267 | 4.224 | 3.680 | 3.565 | 3.508 | 2.135 | 2.073 | 2.042 | 2.933 | 2.654 | 2.515 |
| Yeouju-2 | 0.49 | 4.503 | 4.381 | 4.321 | 3.718 | 3.554 | 3.472 | 2.092 | 2.004 | 1.959 | 3.276 | 2.879 | 2.681 |
| | 1.00 | 4.571 | 4.449 | 4.389 | 3.821 | 3.657 | 3.574 | 2.148 | 2.059 | 2.015 | 3.331 | 2.934 | 2.736 |
| | 1.50 | 4.687 | 4.566 | 4.505 | 4.002 | 3.837 | 3.755 | 2.292 | 2.203 | 2.159 | 3.417 | 3.020 | 2.822 |
| Yeouju-3 | 0.49 | 4.019 | 3.884 | 3.816 | 3.347 | 3.164 | 3.073 | 1.920 | 1.822 | 1.772 | 3.132 | 2.690 | 2.469 |
| | 1.00 | 4.084 | 3.949 | 3.881 | 3.447 | 3.264 | 3.172 | 1.976 | 1.878 | 1.828 | 3.174 | 2.732 | 2.511 |
| | 1.50 | 4.197 | 4.062 | 3.994 | 3.625 | 3.442 | 3.350 | 2.134 | 2.036 | 1.986 | 3.236 | 2.794 | 2.573 |
| Yeouju-4 | 0.49 | 4.398 | 4.258 | 4.188 | 3.598 | 3.408 | 3.313 | 2.033 | 1.931 | 1.880 | 3.700 | 2.934 | 2.705 |
| | 1.00 | 4.461 | 4.321 | 4.251 | 3.694 | 3.505 | 3.410 | 2.087 | 1.984 | 1.933 | 3.748 | 2.978 | 2.749 |
| | 1.50 | 4.570 | 4.430 | 4.360 | 3.866 | 3.676 | 3.581 | 2.237 | 2.135 | 2.084 | 3.820 | 3.044 | 2.815 |
| Yeouju-5 | 0.49 | 4.229 | 4.106 | 4.044 | 3.482 | 3.315 | 3.232 | 1.973 | 1.883 | 1.838 | 3.145 | 2.743 | 2.542 |
| | 1.00 | 4.293 | 4.170 | 4.108 | 3.578 | 3.411 | 3.328 | 2.026 | 1.936 | 1.892 | 3.192 | 2.790 | 2.589 |
| | 1.50 | 4.402 | 4.279 | 4.218 | 3.747 | 3.581 | 3.497 | 2.162 | 2.072 | 2.027 | 3.263 | 2.861 | 2.660 |
| Yeouju-6 | 0.49 | 4.556 | 4.429 | 4.366 | 3.781 | 3.609 | 3.524 | 2.137 | 2.045 | 1.999 | 3.334 | 2.920 | 2.713 |
| | 1.00 | 4.626 | 4.499 | 4.436 | 3.886 | 3.714 | 3.628 | 2.194 | 2.102 | 2.056 | 3.389 | 2.974 | 2.767 |
| | 1.50 | 4.745 | 4.619 | 4.555 | 4.068 | 3.897 | 3.811 | 2.333 | 2.240 | 2.194 | 3.474 | 3.060 | 2.853 |
| Pyeongtaek-1 | 0.49 | 5.505 | 5.386 | 5.326 | 4.399 | 4.239 | 4.158 | 2.441 | 2.354 | 2.311 | 3.778 | 3.390 | 3.196 |
| | 1.00 | 5.573 | 5.454 | 5.395 | 4.497 | 4.336 | 4.255 | 2.497 | 2.411 | 2.367 | 3.832 | 3.444 | 3.250 |
| | 1.50 | 5.688 | 5.569 | 5.510 | 4.665 | 4.504 | 4.423 | 2.599 | 2.512 | 2.469 | 3.917 | 3.529 | 3.335 |
| Pyeongtaek-2 | 0.49 | 5.363 | 5.236 | 5.172 | 4.263 | 4.090 | 4.004 | 2.358 | 2.265 | 2.219 | 3.788 | 3.372 | 3.164 |
| | 1.00 | 5.428 | 5.300 | 5.237 | 4.354 | 4.181 | 4.095 | 2.411 | 2.319 | 2.272 | 3.837 | 3.421 | 3.213 |
| | 1.50 | 5.535 | 5.408 | 5.344 | 4.512 | 4.339 | 4.253 | 2.509 | 2.416 | 2.369 | 3.914 | 3.498 | 3.290 |
| Pyeongtaek-3 | 0.49 | 5.754 | 5.623 | 5.557 | 4.423 | 4.246 | 4.158 | 2.431 | 2.335 | 2.287 | 4.035 | 3.608 | 3.394 |
| | 1.00 | 5.814 | 5.683 | 5.618 | 4.508 | 4.331 | 4.243 | 2.482 | 2.386 | 2.339 | 4.078 | 3.650 | 3.437 |
| | 1.50 | 5.916 | 5.785 | 5.720 | 4.656 | 4.479 | 4.390 | 2.573 | 2.478 | 2.430 | 4.143 | 3.716 | 3.502 |
| Pyeongtaek-4 | 0.49 | 6.117 | 5.994 | 5.933 | 4.754 | 4.588 | 4.505 | 2.596 | 2.507 | 2.462 | 4.160 | 3.758 | 3.557 |
| | 1.00 | 6.182 | 6.059 | 5.998 | 4.844 | 4.678 | 4.594 | 2.650 | 2.560 | 2.515 | 4.210 | 3.808 | 3.608 |
| | 1.50 | 6.290 | 6.167 | 6.106 | 4.999 | 4.833 | 4.749 | 2.743 | 2.653 | 2.608 | 4.290 | 3.888 | 3.687 |
| Namyang-1 | 0.49 | 5.366 | 5.249 | 5.191 | 4.210 | 4.052 | 3.973 | 2.374 | 2.289 | 2.246 | 3.717 | 3.336 | 3.145 |
| | 1.00 | 5.438 | 5.321 | 5.263 | 4.320 | 4.162 | 4.083 | 2.436 | 2.351 | 2.308 | 3.765 | 3.383 | 3.193 |
| | 1.50 | 5.564 | 5.341 | 5.389 | 4.518 | 4.360 | 4.281 | 2.613 | 2.527 | 2.485 | 3.833 | 3.452 | 3.261 |
| Namyang-2 | 0.49 | 4.168 | 4.023 | 3.951 | 3.471 | 3.275 | 3.177 | 2.027 | 1.921 | 1.869 | 3.297 | 2.824 | 2.588 |
| | 1.00 | 4.244 | 4.099 | 4.027 | 3.592 | 3.396 | 3.298 | 2.118 | 2.013 | 1.960 | 3.334 | 2.862 | 2.625 |
| | 1.50 | 4.379 | 4.235 | 4.163 | 3.820 | 3.624 | 3.527 | 2.354 | 2.248 | 2.196 | 3.376 | 2.903 | 2.667 |
| Namyang-3 | 0.49 | 6.283 | 6.177 | 6.124 | 4.964 | 4.821 | 4.750 | 2.673 | 2.596 | 2.558 | 4.158 | 3.813 | 3.640 |
| | 1.00 | 6.356 | 6.250 | 6.197 | 5.073 | 4.929 | 4.858 | 2.730 | 2.653 | 2.614 | 4.228 | 3.883 | 3.710 |
| | 1.50 | 6.479 | 6.373 | 6.320 | 5.258 | 5.115 | 5.044 | 2.855 | 2.778 | 2.739 | 4.342 | 3.997 | 3.824 |
| Namyang-4 | 0.49 | 4.767 | 4.593 | 4.506 | 3.926 | 3.691 | 3.573 | 2.247 | 2.120 | 2.057 | 3.862 | 3.294 | 3.010 |
| | 1.00 | 4.839 | 4.665 | 4.578 | 4.039 | 3.803 | 3.685 | 2.320 | 2.193 | 2.130 | 3.904 | 3.336 | 3.052 |
| | 1.50 | 4.967 | 4.793 | 4.706 | 4.248 | 4.012 | 3.895 | 2.525 | 2.398 | 2.334 | 3.961 | 3.393 | 3.108 |
| Asan | 0.49 | 2.859 | 2.742 | 2.684 | 2.680 | 2.522 | 2.443 | 1.606 | 1.521 | 1.478 | 2.277 | 1.895 | 1.704 |
| | 1.00 | 2.920 | 2.803 | 2.745 | 2.767 | 2.609 | 2.530 | 1.656 | 1.571 | 1.528 | 2.322 | 1.940 | 1.749 |
| | 1.50 | 3.022 | 2.905 | 2.847 | 2.917 | 2.759 | 2.680 | 1.751 | 1.665 | 1.623 | 2.393 | 2.011 | 1.820 |
| Suwon-1 | 0.49 | 6.120 | 6.091 | 6.077 | 4.710 | 4.672 | 4.653 | 2.550 | 2.530 | 2.520 | 3.411 | 3.319 | 3.273 |
| | 1.00 | 6.192 | 6.164 | 6.150 | 4.813 | 4.775 | 4.756 | 2.609 | 2.588 | 2.578 | 3.476 | 3.384 | 3.338 |
| | 1.50 | 6.314 | 6.286 | 6.272 | 4.991 | 4.953 | 4.933 | 2.711 | 2.691 | 2.681 | 3.581 | 3.489 | 3.443 |
| Suwon-2 | 0.49 | 5.905 | 5.845 | 5.815 | 4.728 | 4.646 | 4.605 | 2.592 | 2.548 | 2.526 | 3.523 | 3.326 | 3.228 |
| | 1.00 | 5.984 | 5.924 | 5.894 | 4.841 | 4.760 | 4.719 | 2.654 | 2.610 | 2.588 | 3.596 | 3.400 | 3.301 |
| | 1.50 | 6.116 | 6.056 | 6.026 | 5.036 | 4.955 | 4.914 | 2.768 | 2.724 | 2.702 | 3.716 | 3.519 | 3.421 |

두 토양타일 모두에서 경운 비저항값들은 경속에 따라 약간씩 증가하는 경향을 보이고 있으나 증가는 그리 크지 않음을 알 수 있다. 그러나 플라우타일별로는 경운비저항값의 뚜렷한 차이를 보이고 있다. 원통형 모울드보드 플라우의 경운비저항이 가장 크게 나타났으며, 그 다음으로 타원주형 모울드보드 플라우, 동양쟁기, 반나선형 모울드보드 플라우의 순서였으며, 대체적으로 타원주형모울드보드 플라우와 쟁기의 경운비저항값은 비슷한 것으로 나타났다. 이러한 현상은 토양타일과 경심에 따라 약간의 차이는 있으나 거의 모든 지역에서, 그리고 세 경심(8, 12, 16cm)의 범위 모두에서 비슷한 경향을 보이고 있다(표 4 참조). 위의 결과로부터 조사지역에서 현재 많이 사용되고 있는 동양쟁기의 경운비저항은 상당히 낮은 편으로 나타났으나 반나선형보다는 높게 나타났음을 알 수 있다. 따라서 우리나라에서 반나선형 모울드보드 플라우의 사용 가능성을 경운저항의 측면 뿐 아니라 토양반전, 토양 파괴의 측면에서 좀더 심도 있는 연구를 통해 검토 할 필요성이 있는 것으로 판단된다.

나)경심에 따른 경운비저항

그림 8은 미사질양토에 있어서, 그리고 그림 9는 양토에서 각각 경속이 1.5 m/s일때 플라우 타일별로 경심과 경운비저항과의 관계를 나타낸 그래프이다.

두 토양타일 모두에 있어서 경심에 따른 경운비저항의 변화는 거의 없는 것으로 나타났다. 미사질 양토에서의 경운비저항값은 원통형모울드보드 플라우에 있어서 5 N/cm² 전후, 타원주형 모울드보드 플라우의 경우 약 4 N/cm², 동양쟁기의 경우 약 3 N/cm², 반나선형 모울드보드 플라우의 경우 약 2 N/cm² 이었으며, 양토에 있어서는 각 플라우 타일별로 미사질양토에 비해 약 0.5 N/cm² 정도 높음을 알 수 있다. 경심에 따른 경운비저항값도 플라우 타일별로 뚜렷한 차이를 보이고 있음을 위의 두 그림으로 부터 알 수 있다. 경심에 따른 경운비저항값도 원통형 모울드보드 플라우에서 가장 크게 나타났으며, 그 다음으로 타원주형 모울드보드 플라우, 동양쟁기, 반나선형 모울드보드 플라우의 순서였다. 이러한 현상은 토양타일과 경속에 따라 약간의 차이는 있으나 거의 모든 지역에서, 그리고 세 경속(0.5, 1.0, 1.5m/s)의 범위 모두에서 비슷한 경향을 보이고 있다(표 4 참조).

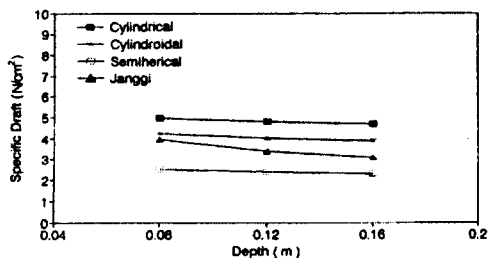


Fig.8 Relationships between plowing depth and specific draft of 4 different type of plows for silty loam at plowing seed of 1.5 m/s.

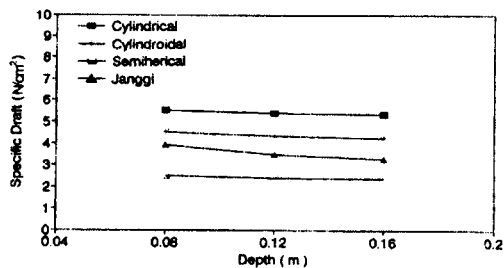


Fig.9 Relationships between plowing depth and specific draft of 4 different types of plows for loam at plowing seed of 1.5 m/s.

5. 요약 및 결론

본 연구는 국내 논토양의 경운작업에 적합한 한국형 모울드보드 플라우의 개발을 위해 컴퓨터 시뮬레이션 모델을 이용하여 플라우의 비저항을 중심으로 토양상태에 따른 적정 모울드보드의 형태를 제시하기 위해 수행되었다. 본 연구결과는 다음과 같다.

측정된 토양 물리성은 토양밀도, 점착력, 내부마찰각, 부착력, 외부마찰각 등이었으며, 이리, 남양, 여

주, 평택, 아산, 수원지역에서 측정되었다. 이외에 수분함량과 토성이 참고자료로 측정되었으며, 경운 정지작업이 주로 수행되는 10~11월과 3~5월에 걸쳐 수도포장을 대상으로 측정되었다. 조사지역의 토성은 미사질양토(SiL)가 9곳으로 제일 많았으며, 그 다음은 사질양토(SL)가 5곳, 양토(L)가 4곳, 미사질실양토(SiCL)가 두곳이었다. 이 지역에서 경운정지 시기의 토양수분함량은 주로 30~40%의 범위 이었다. 결보기밀도는 대부분 1500~1700 kg/m³의 범위이었으며 점착력은 대부분 지역에서 10~15 kPa 이었다.

컴퓨터 모델에 의한 모의 실험의 가능성을 검토하기 위해 타원주형 모울드보드 플라우를 이용하여 컴퓨터모델에 의한 예측결과와 인공토조 시스템에서의 실험결과를 비교하였다. 일반적으로 우리나라에서 수행되어지고 있는 경운작업의 주요 경심 범위인 12~16cm에서 예측치는 대략 1~12%의 오차 범위내에서 실험치를 예측할 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 모의 실험 결과를 플라우 비저항을 중심으로 적정 플라우 타임을 선정하는 데 이용할 수 있는것으로 판단되었다.

토양자료를 컴퓨터 시뮬레이션 모델에 입력하여 각 지역별, 경심별, 경속에 따라 3~6 N/cm², 타원주형 모울드보드 플라우에서는 2.5~5.0 N/cm², 동양쟁기에서는 2.0~4.3 N/cm², 반나선형모울드보드 플라우의 경우는 1.5~3.0 N/cm²의 범위이었다. 동일조건하에서 플라우타임에 따른 플라우비저항값의 차이는 뚜렷하게 나타났으며 그 크기는 원통형, 타원주형, 동양쟁기, 나선형 모울드보드 플라우의 순서로 나타났다. 경운작업시 우리나라 논토양의 토성, 토양수분함량, 경도 등 토양의 물리적 특성을 고려한다면 플라우 작업에 의해 반전과 동시에 파쇄를 시키는 것은 거의 불가능하여 플라우작업(1차경)의 주된 목적은 토양의 반전이라 할 수 있다. 따라서 플라우 비저항을 플라우 선택의 주요 변수로 간주하고 경운작업시 우리나라 논토양의 물리적특성을 고려한다면, 조사대상 지역에서의 경운작업을 위해서 가장 적합한 모울드보드의 형태는 반나선형 또는 나선형으로 판단되었다.

6. 참고문헌

1. 우상하, 1993, "몰드보드 플라우에 작용하는 토양저항 예측시스템 개발." 서울대학교 대학원석사학위논문.
2. 박준걸, 1992, "쟁기의 경운저항력 측정 및 예측에 관한 연구." 서울대학교 박사학위논문.
3. Emmett, W. T. Jr. 1983. Computer-Aided Performance Predictions of Coated Moldboard Plow. M. S. Thesis, Cornell Univ., Ithaca, NY.
4. Gill, W. R. and G. E. Vanden Berg. 1968. Soil Dynamics in Tillage and Traction. U.S.D.A.
5. Nichols, M. L. and I. F. Reed. 1934. Soil Dynamics: VI. Physical Reactions of Soils to Moldboard Surfaces. Agric. Engng. 15(6) : 187-190
6. Richey, S. B. 1987. The Computer-Aided Design og Moldboard Plow Surfaces Using Three Dimensional Graphic Techniques. M. S. Thesis, Michigan State Univ.