

모델 기구에 의한 경운작업기의 견인저항 예측⁺

Draft Prediction of Tillage Implement by Model Tool

이규승^{*} 조성진^{**} 박원엽^{*} 권병기^{*}
정회원 정회원 정회원 정회원
K.S.Lee S.C.Cho W.Y.Park B.G.Kwon

1. 서론

경운 작업기의 소요 견인력 및 에너지는 경운작업 체계를 선택하거나 작업기의 설계 개선을 위해 중요하게 고려되어야 할 사항들이다. 따라서 토양-작업기의 상호 작용에 대한 이론적인 연구와 실험적인 연구가 많이 수행되어져 왔다. 이와 같이 토양-작업기 시스템에 대한 연구가 많이 수행되어지고 있는 이유 중의 하나는 토양-작업기의 상호작용이 매우 복잡하다는 데 있다. 이러한 복잡성은 토양이 작업기에 의해 파괴되는 현상이 복잡할 뿐 아니라 토양 자체의 불균일성에도 기인 한다고 볼 수 있다. 따라서 특정 지역에서의 경운 시스템의 개선을 위한 경운저항값들은 대부분이 특정지역의 토양을 대상으로 실측된 실험치들이다.

Bowers⁽³⁾는 North Carolina 주에서 채택되고 있는 경운시스템을 대상으로 소요 견인력 및 에너지에 대한 연구를 8년간에 걸쳐 수행하였으며, 이들은 이 기간 동안 12종류의 서로 다른 토양타입에 대해 모울드보드 플라우, 치즐 플라우, 원판 플라우, 배토기, 심토 파쇄기에 대해 견인저항 실험을 수행하였다. 이⁽¹⁾는 경운방법별 투하에너지를 구명하고, 경운방법이 수확량등에 미치는 영향을 조사하여 작물 수확량의 감소를 초래치 않고 경운에너지를 감소시킬 수 있는 경운 방법을 모색하기 위해 미사질 식양토에서 4년간에 걸친 경운실험을 실시하였다. 이 외에도 이와 유사한 실험들은 세계 도처에 걸쳐 각 나라별 지역별로 많이 수행되었다.

위의 결과로 부터 알 수 있는 것은 특정 지역에서의 경운시스템의 경영 자료를 얻기 위한 경운저항값들은 대부분이 특정 토양을 대상으로한 실측치라는 것이다. 그러나 경운시스템의 경영자료를 얻기 위해 또는 작업기의 설계 개선을 위해 작업기를 일일이 여러 특정 지역의 각 토양타입에 대해 실험을 수행한다는 것은 엄청난 양의 실험을 의미하며 보다 간편한 방법에 의해 이들의 견인저항을 예측할 수 있는 방법의 모색이 필요하다.

따라서, 본 연구의 목적은 플라우, 쟁기, 제조날, 치즐 플라우등 경운작업기들의 견인저항을 예측하는데 있어 보다 간편한 모델 작업기의 사용 가능성을 실험적으로 구명하고, 모델 작업기의 개념을 이용하여 견인작업기의 경운저항 예측을 위한 토양물리성 측정장치의 개발 가능성을 검토한다.

2. 재료 및 방법

가. 공시재료

1) 실험작업기

⁺ 이 연구는 한국농업기계학회 산학협동연구사업비로 수행되었음.

* 성균관대학교 생물기전공학과 ** 충북대학교 농업기계공학과

실험작업기로는 동양쟁기, 모울드보드 플라우, 치즐플라우 및 모델작업기가 사용되었으며 그림 1은 실험에 사용된 작업기들을 보여주고 있다. 치즐플라우는 56마력 트랙터용을 인공토조시스템의 연결부위에 적합하도록 개조하였으며, 모델작업기는 정면의 각이 30° 인 썰기형으로 제작하였다.



Fig. 1. Experimental tools

동양쟁기는 8마력 동력경운기용을, 플라우는 소형경운기용 모울드보드 플라우를 사용하였다. 이들 작업기중 동양쟁기와 플라우는 좌우 비대칭이며 폭이 넓은 작업기에 속하며 치즐 플라우와 model tool은 좌우 대칭이며 폭이 좁은 작업기에 속한다.

2) 실험토양

실험토양으로는 사양토가 사용되었으며, 수분함량은 11.7 %, 실험직전에 측정된 원추지수는 $1.10\text{kg}_t/\text{cm}^2$ 이었다.

나. 실험장치

작업기-토양간의 상호작용을 정확히 이해하기 위해서는 측정장치로부터 정확하고 신뢰성있는 자료를 얻을 수 있어야 한다. 야외 포장실험의 문제점을 보완하고, 작업기-토양간의 상호관계로부터 신뢰성 있는 자료를 얻기 위해서는 인공토조시스템에서의 실험이 바람직하다고 판단되어 이 시스템을 이용하여 실험을 실시하였다.

다. 작업기의 견인력 측정 방법

각 작업기의 견인력을 측정하기 위해 앞에서 언급한 인공토조시스템의 견인력 측정장치를 이용하였다.

이번 실험에서는 작업기의 견인력에 영향을 미치는 인자중 토양조건은 일정하게 유지한 상태에서 경속 세 수준 (0.22m/s, 0.33m/s, 0.49m/s), 경심 세 수준 (8cm, 12cm, 16cm)으로 하여 각 처리별 3 반복으로 실험을 수행하였다. 작업깊이는 견인력에 큰 영향을 주는 인자이므로 정밀도를 기하기 위해 측정대차가 움직이지 않는 상태에서 토양의 가공면으로부터 작업깊이 만큼 작업

기를 토양 속으로 들어가게 한 다음에 측정대차가 이동하면서 측정하였다. 치즐 플라우와 30°의 절단각으로 제작된 췌기형의 모델작업기는 작업대차의 전방 프레임의 견인저항 측정장치에 부착하여 상하이동 핸들을 이용하여 경심을 조절하였다. 경운작업 구간은 6m로 하였고, 자료수집 주기는 작업대차의 속도에 비례하여 각 실험속도 (0.22m/s, 0.33m/s, 0.49m/s)에 따라 각각 0.44초, 0.24초, 0.14초로 설정하였다.

라. 분석 방법

모델 작업기가 췌기, 모울드보드 플라우, 그리고 치즐 플라우의 경운저항을 예측할 수 있는지 알아보기 위하여는 우선 작업기들의 경운저항에 영향을 미치는 중요 인자들이 각 작업기별로 어떠한 형태로 경운저항에 영향을 미치는지 검토할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 작업기의 경운저항에 영향을 미치는 중요 인자들중 토양조건을 일정하게 유지한 상태에서 경심과 경속의 영향을 각 작업기들에 대해 비교분석기로 하였다. 또한 각 작업기별로 전단파괴가 일어나는 형태의 차이로 부터 경운저항의 변화형태가 틀릴 것으로 사료되어 이 부분의 비교분석도 필요할 것으로 판단되어 시간에 따른 각 작업기들의 경운저항 변화도 비교·분석기로 하였다. 마지막으로 각 작업속도별로 경심변화에 따른 각 작업기들의 경운저항 변화량을 회귀분석법에 의해 직접 비교 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 경속에 따른 경운저항 변화

대부분 경운 작업기의 견인저항은 경운속도가 증가하면 이에 비례하여 증가하는 것으로 보고되고 있다.⁽⁴⁾ 이는 경속의 증가가 토양의 가속정도를 크게하여 작업기에 대한 토양의 수직하중을 증가시켜 마찰력과 토양에 전달되는 운동에너지가 증대시킴으로서 각 작업기별로 어떠한 형태로 영향을 미치는가를 분석하였다. 그림 2는 경심 8cm에서 경속의 변화에 따른 경운저항의 변화를 각 작업기별로 보여주고 있다.

그림에서 볼 수 있듯이 좌우대칭이며 폭이 좁은 작업기인 모델 작업기와 치즐 플라우의 경우에도 경속이 증가함에 따라 경운 저항이 약간씩 증가하는 경향을 보이고는 있으나 그 값은 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 폭이 넓고 좌우대칭이 아닌 췌기와 모울드보드 플라우의 경우에는 경속의 증가에 따라 경운저항의 변화가 거의 없거나 오히려 약간씩 줄어드는 경향을 보이고 있다. 위의 결과들은 일반적으로 보고되고 있는 경향과는 큰 차이를 보이고 있다. 일반적으로 경운저항은 전단저항이 높은 토양에서 1.3m/s 이상의 빠른 속도로 작업할 경우 경속의 상승에 비례하는 것으로 보고되고 있다. 본인의 실험결과는 상대적으로 전단저항이 낮은 토양과 낮은 경속 범위에서 실험이 행하여 졌기 때문이라 판단된다. 그러나 4가지 형태의 실험 작업기에서는 거의 유사한 경향을 볼 수 있었으며, 전단저항이 낮은 토양에서 저속으로 작업할 경우 경속은 경운저항에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 판단할 수 있다. 위의 결과는 박⁽²⁾의 실험결과와 거의 일치하고 있다. 위와 같은 경향은 경심 16cm와 12cm로 작업을 했을 경우에도 비슷하게 나타났다.

따라서, 실험의 범위에서 모델 작업기를 포함한 각 작업기들의 경향이 유사한 것으로 나타나 모델 작업기에 의한 다른 경운 작업기들의 경운저항 예측가능성을 보여주고 있다.

나. 경심에 따른 경운저항 변화

그림 3은 경속 0.33m/s에서 경심의 변화에 따른 경운저항의 변화를 각 작업기 별로 나타내고 있다. 실험된 모든 작업기에 있어서 기울기의 차이는 약간 있으나 모두 유사한 형태로 경운저항이 증가하는 것을 알 수 있다. 경심 8cm에 있어서 쟁기의 경운저항은 약 30kgf이고, 12cm에서는 45kgf로 약 50%의 증가율을, 그리고 16cm에서는 약 80kgf로서 약 70%의 증가율을 보였다. 이러한 경향은 모델 작업기에서도 비슷하게 나타나고 있다. 경심 8cm에서 모델 작업기의 경운저항은 약 12kgf, 12cm에서는 약 25kgf로 완만한 증가율을, 그리고 16cm에서는 약 55kgf로 약간 급한 증가율을 보여주고 있다. 반면 치즐 플라우와 모울드보드 플라우의 경운저항은 기울기의 큰 변화없이 거의 일정하게 완만한 증가를 보이고 있음을 알 수 있다. 이러한 경향은 경속 0.22m/s와 0.49m/s에서도 거의 유사하게 나타났다.

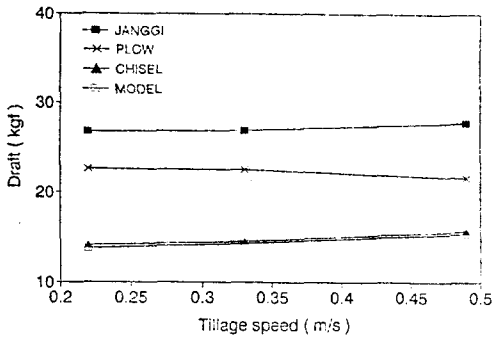


Fig. 2. Relationships between tillage speed and draft of implements at the depth 8cm .

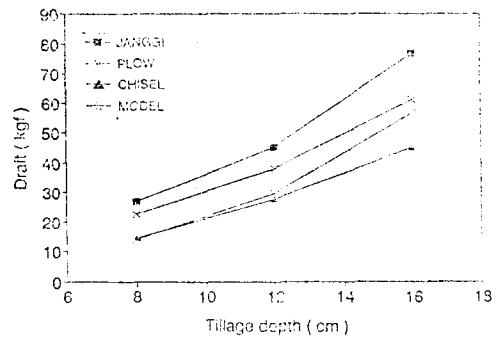


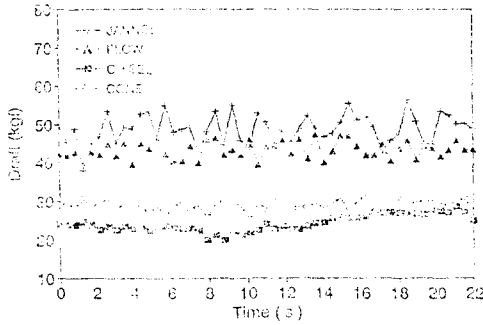
Fig. 3. Relationships between tillage depth and draft of implements at the tillage speed of 0.33m/s .

위의 결과를 종합적으로 검토하여 보면 실험경속 범위내에서 각 작업기들의 경심에 따른 경운저항의 증가는 그 기울기에 있어서 약간의 차이는 있으나 거의 유사한 형태가 나타나고 있음을 알 수 있다. 위의 결과를 미루어 모델작업기에 의한 각 작업기들의 경운저항 예측가능성이 있다고 판단된다.

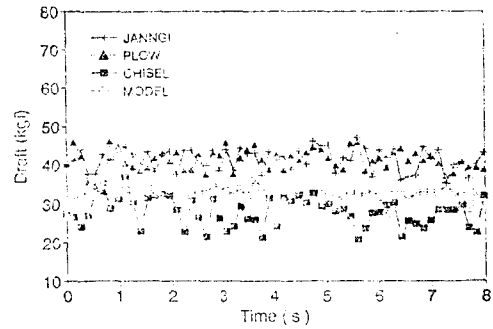
다. 시간에 따른 경운저항 변화

건인형 경운작업기가 토양을 파괴하면서 전진할때 주기적인 토양파괴면과 건인저항의 피크가 존재한다는 보고는 상당히 많다.^{(4) (5)} 작업기의 형태와 작업조건에 따라 토양파괴면의 전진방향 직선거리는 20 ~ 70mm 정도로 보고되고 있으며, 건인저항의 변화는 $\pm 30 \sim 50\%$ 인 것으로 보고되고 있다.⁽⁶⁾ 따라서 본 연구에서도 각 작업기들의 건인저항의 피크주기 그리고 토양파괴면의 직선거리등이 모델작업기의 주기특성과 유사한지 검토하기 위해 경심 12cm, 경속 0.22m/s 와 0.49m/s에 대해 시간에 따른 경운저항의 변화를 그래프로 나타내 보았다.(그림 4)

우선 경심 12cm, 경속 0.22m/s 일때의 그래프를 보면, 쟁기와 모울드보드 플라우의 건인저항의 피크가 비슷한 형태로 존재하고 있음을 알 수 있다. 그러나 치즐 플라우와 모델 작업기의 경우는 경운저항의 피크가 쟁기나 모울드보드 플라우에 비해 현저히 적거나 경운저항 피크가 거의 없이 일정한 경운저항값을 지속적으로 보이고 있다. 위와 같이 시간에 따른 경운저항값의 변화형태가 작업기에 따라 서로 다른 형태를 보이는 것은 작업기의 형태에 직접적으로 기인한다고 볼 수 있다.



(a) tillage speed 0.22m/s



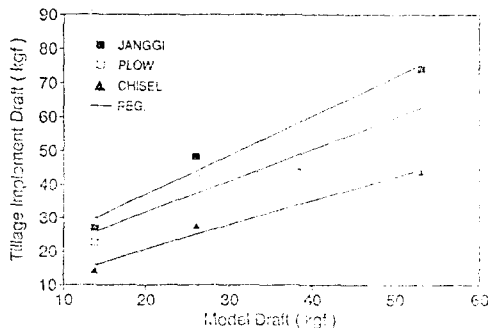
(b) tillage speed 0.49m/s

Fig. 4. Changes of draft in relation to time for 12cm tillage depth and 0.22m/s tillage speed.

위의 실험 작업기들중 쟁기와 모울드보드 플라우는 좌우 비대칭이고 경운작업 면적이 넓은 반면, 치즐 플라우와 모델 작업기는 좌우 대칭이며 경운면적이 작다. 이러한 작업기들의 서로 다른 형태는 토양의 압축 전단파괴의 형태와 경운저항값에 직접적인 영향을 미친것으로 판단된다. 그림 (b)는 경속 0.49m/s로 작업할 때 나타난 경운저항 변화형태를 보여주고 있다. 이러한 경향은 0.33m/s로 작업할 때도 유사하게 나타났다. 치즐 플라우의 경우, 고속으로 건인작업을 할 때 경운저항의 변화가 급격히 커지는 것을 알 수 있다. 이것은 치즐 플라우의 형태와 허치 시스템의 형태에서 기인한 것이 아닌가 사료된다. 세 가지 작업속도 모두에서 모델 작업기의 시간에 따른 경운저항 변화량이 비교적 비슷한 형태를 하고 있는 것은 모델 작업기의 형태와 토양파괴 형식에서 기인되었다고 판단된다. 모델 작업기는 좌우 대칭이며 전면의 절삭부분이 30°의 각도로 날렵한 형태를 하고 있어 토양파괴의 상당부분이 압축전단 파괴라기 보다는 절삭에 의한 파괴라고 판단된다. 반면 경운작업면적이 비교적 넓은 쟁기, 모울드보드 플라우, 치즐 플라우는 압축전단에 의한 토양파괴 형태를 가지며 이러한 압축전단 파괴는 경속에 따라 차이는 있으나 경운저항의 변화가 큰 것으로 나타났다. 위의 결과를 종합하여 볼때 모델 작업기의 토양파괴 형태는 다른 작업기들의 파괴형태와 서로 다른 것으로 판단된다.

라. 모델 작업기에 의한 견인력 예측

그림 5는 모델 작업기의 경운저항과 쟁기, 모울드보드 플라우 그리고 치즐 플라우의 경운저항 값들과의 관계를 보여주고 있다.



Regression equation	R ²
$Y_{JA} = 1.152 \times X_M + 13.965$	$R^2 = 0.9742$
$Y_{PL} = 0.936 \times X_M + 12.830$	$R^2 = 0.9598$
$Y_{CH} = 0.728 \times X_M + 5.869$	$R^2 = 0.9768$

Y_{JA} : 쟁기의 견인력

Y_{PL} : 모울드보드 플라우의 견인력

Y_{CH} : 치즐플라우의 견인력

X_M : 모델작업기의 견인력

Fig. 5. Relationships between model tool draft and implements draft at the tillage depth of 0.22m/s.

여기서 실선은 각 점으로부터 구한 회귀방정식을 그래프로 나타낸 것이다. 위의 그래프에서 알 수 있듯이 모델 작업기와 각 작업기들의 견인저항 사이에는 직선적인 관계가 있으며 이들은 높은 상관 관계를 보여주고 있음을 알 수 있다. 모델 작업기는 쟁기와 모울드보드 플라워의 경운저항값은 높게, 그리고 치즐 플라워의 경운저항값은 약간 낮게 예측하는 것을 그래프로 부터 알 수 있다. 이와 같은 관계는 경속 0.22m/s와 0.41m/s의 경우에도 거의 유사하게 나타났다.

6. 결론

모델 작업기가 서로 다른 형태를 갖는 작업기들의 견인저항을 예측할 수 있는지 검토하기위해 인공토조 시스템에서 사양토를 사용하여 실험을 수행 하였다. 모델 작업기는 전면의 각이 30° 인 쐐기 형태로 제작하였으며, 실험 작업기로는 쟁기, 모울드보드 플라워, 그리고 치즐 플라워를 이용하였다. 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 실험 경심의 범위(8cm, 12cm, 16cm)내에서 경속의 증가는 모델 작업기를 비롯해 다른 세 작업기들의 경운저항 증가를 초래하지 않았다. 작업기의 형태에 따라 경운저항값의 차이는 있었으나 경속에 따른 경운저항의 변화 경향은 거의 비슷한 것으로 나타났다.
- 2) 실험 경속의 범위(0.22m/s, 0.33m/s, 0.49m/s)내에서 경심이 증가함에 따라 경운저항값은 작업기에 따라 약간의 기울기 차이는 있었으나 거의 비슷하게 증가하는 경향을 보였다.
- 3) 시간에 따른 경운저항값의 변화 경향은 경속에 따라 약간의 차이를 보였다. 경심 12cm, 경속 0.22m/s의 작업조건에서는 쟁기와 모울드보드 플라워의 경운저항 피크가 크게 나타났으며 시간에 따른 경운저항의 변화 형태도 비슷하였다. 그러나 모델 작업기와 치즐 플라워의 경우는 경운저항의 피크가 아주 작거나 거의 없이 일정한 경운저항값을 지속적으로 보였다. 경심 12cm에서 경속 0.33m/s 와 0.49m/s는 쟁기, 모울드보드 플라워, 치즐 플라워의 경운저항 피크가 크게 나타났으며 경운저항의 변화형태도 비슷한 경향을 보인 반면, 모델 작업기는 작업속도에 관계없이 거의 일정한 형태를 유지하였다.
- 4) 실험 경심과 경속의 범위내에서 모델 작업기의 경운저항값과 쟁기, 모울드보드 플라워, 그리고 치즐 플라워의 관계는 직선적으로 나타났다.
- 5) 위의 결과를 종합하여 볼 때 모델 작업기에 의한 쟁기, 모울드보드 플라워, 치즐 플라워의 경운저항 예측이 가능하리라 판단된다. 그러나 본 실험은 한가지 토양타입에 대해 비교적 저속의 경운속도에 대해서만 수행되었으므로 좀 더 다양한 토양조건과 경속에 대해 연구되어야 하며 이론적인 보완이 뒤따라야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 이영렬, 1985, 논 경운방법별 소요에너지와 비 수량에 관한 연구, 원광대학교 박사학위논문
2. 박준걸, 1992, 쟁기의 경운저항력 측정 및 예측에 관한 연구, 서울대학교 박사학위논문
3. Bowers. C. G., 1989, Tillage Draft and Energy Measurement for Twelve Southeastern Soil Series., Trans. of the ASAE. 32(5) : 1492-1502
4. Kepner, R. A., R. Bainer., E. L. Barger., 1972. Principles of farm machinery, the AVI Publishing Co. INC.
5. Osman, M. S., 1964, The Mechanics of Soil Cutting Blades., J. of Agricultural Engineering Research 9(4):313-328