

유사기구에 의한 경운작업기의 견인저항 예측을 위한 실험적 연구

Experimental Study for Draft Prediction of Tillage Implement by Analog Tool

이 규 승*	조 성 찬**	박 원 엽*
정회원	정회원	정회원
K. S. Lee	S. C. Cho	W. Y. Park

ABSTRACT

A series of soil bin experiment was carried out on sandy loam to investigate if it is possible to predict implement draft by some analog tool. Chisel configuration resembling a cone penetrometer section was used as an analog tool. The angle of cone was 30 degree. Three types of tillage implement, or oriental janggi, moldboard plow and chisel plow were chosen for this study. Experimental tillage speed was 0.22, 0.33, 0.49 m/s and tillage depth was 8, 12, 16 cm.

For the experimental tillage speed range, the increase of tillage speed did not affect the tillage draft for the three types of implement and analog tool, but as the tillage depth increased, tillage draft of the three types of implement and analog tool increased linearly.

The linear relationship was found between the tillage draft of analog tool and that of three types of tillage implement for the experimental tillage depth and speed range with high value of R^2 . Thus it was concluded from the above results that an analog tool can be used to predict the tillage draft of oriental janggi, moldboard plow and chisel plow. But more experiment for various soil types and theoretical verification are needed for more generalization.

주요용어 (Key Words): 유사기구(Analog Tool), 견인저항예측(Draft Prediction), 경운작업기(Tillage Implement), 인공토조시스템(Soil Bin System)

1. 서 론

경운이란 작물의 생육에 적합한 토양상태를 만들기 위해 쟁기, 씨레 등으로 토양을 파괴하는 작업을

말하며, 농작업중 에너지가 가장 많이 소요되는 작업중의 하나이다.

경운 작업기의 소요 견인력 및 에너지는 경운작업 체계를 선택하거나 작업기의 설계 개선을 위해 중요

* 성균관대학교 생명자원과학대학 생물기전공학과

** 충북대학교 농과대학 농업기계공학과

하게 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.

Bowers⁹⁾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 모우드보드 플라우, 치즐 플라우, 원판 플라우, 배토기, 심토 파쇄기에 대해 경운저항 실험을 수행하였다. 이¹⁰⁾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 결과로부터 알 수 있는 것은 특정 지역에서의 경운시스템의 경영 자료를 얻기 위한 경운 저항 값들은 대부분이 특정 토양을 대상으로 한 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.

본 연구의 목적은 플라우, 쟁기, 제초날, 치즐 플라우등 경운작업기들의 견인저항을 예측하기 위하여 보다 간편한 유사 기구의 사용 가능성을 실험적으로 구명하고, 유사 기구의 개념을 이용하여 경운작업기의 견인저항 예측을 위한 토양물리성 측정장치의 개발 가능성을 검토한다.

2. 재료 및 방법

가. 공시재료

(1) 실험작업기

실험작업기로는 동양쟁기, 모우드보드 플라우, 치즐플라우 및 유사 기구가 사용되었으며 그림 1은 실험에 사용된 작업기들을 보여주고 있다. 치즐플라우는 56마력 트랙터용을 인공토조시스템의 연결부위에 적합하도록 개조하였다. 한편, 일반적으로 차량의 견인 및 주행성능 예측에는 원추각도 30° 인 표준 원추관입저항기 (ASAE S313.2 DEC.94)가 사용되고 있다. 그러나 원추지수는 토양의 경도를 종합적으로 나타내는 지수이기는 하나 원추관입저항의 토양파괴 방법이 견인형 경운작업기의 토양파괴 방법과 달라 견인저항 예측에는 잘 사용 되어지고 있지 않다. 따라서 본 연구의 유사기구는 원추관입저항기를 여러 개 연결하여 경운작업기의 토양파괴 방향과 같은 방향으로 토양을 파괴하면서 전진하는 형태를 취하기 위해 정면의 각을 30° 인 썰기형으로 제작하였다. 표 1은 동양쟁기와 모우드보드 플라우의 규격 및 치수를 보여주고 있다. 실험 치즐플라우는 폭 7.6cm, 높이 26.5cm, 그리고 경기각(lift angle)이 20° 인 수직형 치즐플라우가 사용되었다.

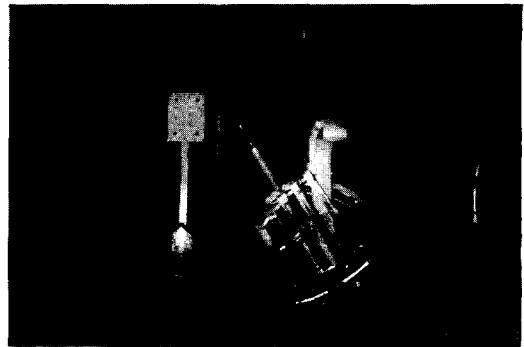


Fig. 1 Experimental implements.

동양쟁기는 8마력 동력경운기용을, 플라우는 소형경운기용 모우드보드 플라우를 사용하였다. 이들

작업기중 동양쟁기와 플라우는 좌우 비대칭이며 폭이 넓은 작업기에 속하며 치즐 플라우와 유사기구는 좌우 대칭이며 폭이 좁은 작업기에 속한다. 이와 같이 서로 다른 형태의 작업기를 택한 이유는 폭이 아주 좁고 좌우 대칭인 유사기구가 여러 형태 작업기의 견인저항을 어느 정도 예측 할 수 있는지 검토하기 위한 것이다.

(2) 실험토양

실험토양으로는 사양토가 사용되었으며, 표 2는 실험토양의 구성 성분과 실험직전에 측정된 토양의 물리적 특성을 보여 주고 있다. 원추지수는 토조내의 임의의 네 곳에서 측정한 평균값으로 나타내었다. 모든 측정은 0~20 cm 깊이의 토양층에서 측정되었다.

나. 실험장치

작업기-토양간의 상호작용을 정확히 이해하기 위해서는 측정장치로부터 정확하고 신뢰성있는 자

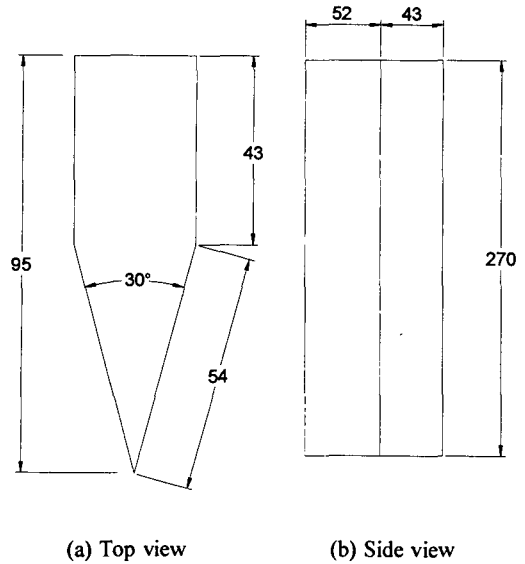


Fig. 2 View of analog tool.

료를 얻을 수 있어야 한다. 그러나 일반 포장에서의 실험은 토양상태의 불균일성과 조절의 불가능으로 같은 상태에서 동일실험의 재현이 불가능하며, 기상조건에 의한 수분함량 조절의 어려움과 실험시기

Table 1 Specification of the tillage implements tested

Implement	Max. shear lift angle (degree)	Setting angle		Width of shear (cm)	Weight (kg)	Moldboard type
		shear (degree)	wing (degree)			
Janggi	51.3	40.9	63.0	23.4	17.5	5-fork
Moldboard plow	21.3	42.2	55.3	15.5	7.5	Cylindrical

Table 2 Physical properties of test soil

Composition			Texture	Internal friction angle (degree)	Cohesion (kPa)	Adhesion (kPa)
Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)				
54.4	36.8	8.8	Sany loam	57.07	8.24	3.72
Soil-metal friction angle (degree)		Moisture content (% d. b.)		Cone index (MPa)	Bulk density (g/cm ³)	
41.715		11.719		0.107	1.351	

의 제한 및 기타 실험 외적인 요인에 의하여 영향을 받으므로 신뢰성 있는 자료를 얻기가 어렵다. 이러한 야외 포장실험의 문제점을 보완하고, 작업기-토양간의 상호관계로부터 신뢰성 있는 자료를 얻기 위해서는 인공토조시스템에서의 실험이 바람직하다고 판단되어 이 시스템을 이용하여 실험을 실시하였다.

인공토조시스템은 토양조 및 레일시스템, 대차구동시스템, 측정대차, 토양가공대차 및 자료모집시스템으로 구성되어 있다. 토양조는 길이 12m, 폭 1m, 높이 0.7m, 벽두께 0.2m의 철근 콘크리트 구조물로서 필요에 따라 토양의 수분 함량을 조절할 수 있도록 배수시설이 되어 있다. 측정대차는 유압장치에 의해 구동되는 3점탱크 히치(그림 3)와 기계적으로 상하 좌우 이동이 가능한 히치(그림 4)를 앞·뒤면에 장착하여 작업기의 연결부위 형태에 따라 선택하여 이용할 수 있게 제작하였다. 측정대차에는 수평 견인력을 측정할 수 있는 견인력계가 설치되어 있다. 이 수평견인력계는 4개의 축에 8개의 직선운동 베어링과 KYOWA사의 인장-압축 로드셀을 이용하여 제작하였다. 로드셀에서 출력되는 신호는 극히 미세하므로 스트레인 증폭기에 의하여 A/D 변환기를 통해 디지털 신호로 변환되어 마이크로 컴퓨터에 입력되도록 하였다.

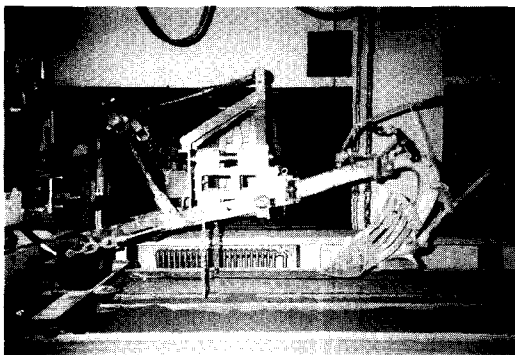


Fig. 3 Janggi with three point hitch and draft measuring system.

작업기의 작업깊이는 측정대차에 구성되어 있는 측정프레임과 작업기 부착프레임이 연결되는 직사

각형관에 수직방향으로 2개의 연마봉과 4개의 직선 운동 베어링이 부착되어 있어 측정프레임에 부착되어 있는 상하운동 조절렌들에 의해 작업깊이를 조절하였다.

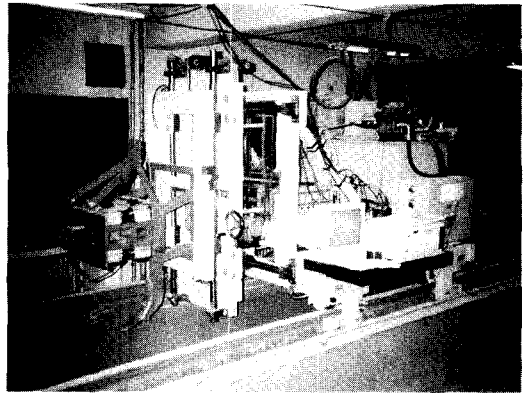


Fig. 4 Chisel with one point hitch and draft measuring system.

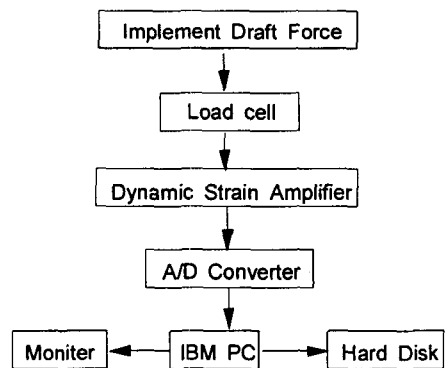


Fig. 5 Block diagram of data acquisition system.

그림 5에 인공토조시스템에서 작업기의 견인력 측정을 위한 자료 모집 시스템의 구성도를 나타내었다.

토양가공대차는 토양의 물리적 상태가 실험목적에 적합하도록 실험과 실험 사이에 토양을 가공하는 대차로서 케이블 견인식으로 제작되었다. 토양가공

대차는 토양가공에 필요한 로타리 킬러, 표면다짐롤러, 표층다짐롤러, 균평기, 살수장치 등을 포함하고 있다. 그림 6에 토양가공대차를 나타내었다.

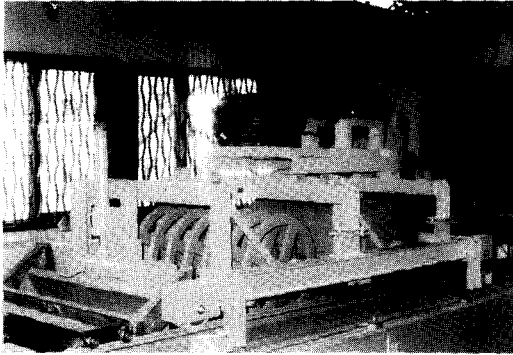


Fig. 6 Overall view of soil processing carriage.

다. 작업기의 견인저항 측정

각 작업기의 견인저항을 측정하기 위해 앞에서 언급한 인공토조시스템의 견인력 측정장치를 이용하였다. 이번 실험에서는 작업기의 견인저항에 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.

쟁기실험의 경우 인공토조시스템의 측정대차에 설치된 3점 히치는 좌우 이동이 불가능하여 시작할 이를 할 수 없어 측면 역구가 없는 같이 작업으로 하였다. 벧 반전 위치는 같이작업 위치로 고정하였으며, 바닥쇠의 영향을 배제하기 위하여 경심 조절장치는 바닥쇠가 역구 바닥에 닿지 않도록 조정하였다. 일반포장에서 경운기의 쟁기는 본체에 1점 히치에 의해 연결되어 작업하도록 되어 있어 바닥쇠가 역구 바닥에 닿지 않을 경우 경심이 증가하여 바닥쇠가 역구 바닥에 닿은 후 쟁기 자세가 안정되지만, 본 인공토조에서는 유압 3점 히치로 경심을 조정하므로 바닥쇠의 역구바닥 접촉에 관계없이 쟁기자세

와 경심 유지가 가능하였다. 또한 경운기용 소형 모울드보드 플라우의 견인저항 실험은 플라우의 지축판이 보습 및 모울드보드와 용접되어 있어 구조상 제거가 곤란하여 지축판의 측면은 역구에 접촉하고 밀면은 플라우의 경심 조절장치를 조정하여 역구 바닥에 닿지 않도록 하여 견인저항을 측정하였다. 쟁기와 플라우의 경심은 유압장치에 의해 조절하였다.

작업깊이는 견인저항에 큰 영향을 주는 인자이므로 정밀도를 기하기 위해 측정대차가 움직이지 않는 상태에서 토양의 가공면으로 부터 작업깊이 만큼 작업기를 토양 속으로 들어가게 한 다음에 측정대차가 이동하면서 측정하였다.

치즐 플라우와 30°의 절단각으로 제작된 쟁기형의 유사기구는 작업대차의 전방 프레임의 견인저항 측정장치에 부착하여 상하이동 핸들을 이용하여 경심을 조절하였다.

경운작업 구간은 6m로 하였고, 자료수집 주기는 작업대차의 속도에 비례하여 각 실험속도에 따라 각각 0.44초, 0.24초, 0.14초로 설정하였다.

라. 분석 방법

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

3. 결과 및 고찰

가. 경속에 따른 견인저항 변화

대부분 경운 작업기의 견인저항은 경운속도가 증가하면 이에 비례하여 증가하는 것으로 보고되고 있다.⁴⁾ 이들은 경속의 증가가 토양의 가속 정도를 크게 하여 작업기에 대한 토양의 수직하중을 증가시켜 마찰력과 토양에 전달되는 운동에너지를 증대시킴으로서 각 작업기별로 어떠한 형태로 영향을 미치는가를 분석하였다.

그림 7은 경심 8cm에서 경속의 변화에 따른 견인저항의 변화를 각 작업기별로 보여주고 있다.

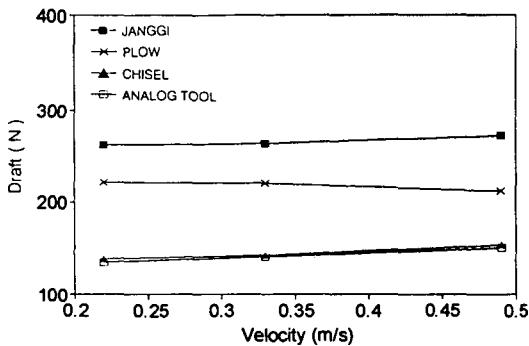


Fig. 7 Relationships between tillage speed and draft of implements at the tillage depth of 8cm.

그림에서 볼 수 있듯이 좌우대칭이며 폭이 좁은 작업기인 유사 기구와 치즐 플라우의 경우에도 경속이 증가함에 따라 견인저항이 약간씩 증가하는 경향을 보이고는 있으나 그 값은 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 폭이 넓고 좌우대칭이 아닌 쟁기와 모듈드보드 플라우의 경우에는 경속의 증가에 따라 견인저항의 변화가 거의 없거나 오히려 약간씩 줄어드는 경향을 보이고 있다. 위의 결과들은 일반적으로 보고되고 있는 경향과는 큰 차이를 보이고 있다. 일반적으로 견인저항은 전단저항이 높은 토양에서 1.3m/s 이상의 빠른 속도로 작업할 경우 경속의 자승에 비례하는 것으로 보고되고 있다.⁴⁾ 본인의 실험 결과는 상대적으로 전단저항이 낮은 토양과 낮은 경

속범위에서 실험이 행하여 졌기 때문이라 판단된다. 그러나 4가지 형태의 실험 작업기에서는 거의 유사한 경향을 볼 수 있었으며, 전단저항이 낮은 토양에서 저속으로 작업할 경우 경속은 견인저항에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 판단할 수 있다. 위의 결과는 박²⁾의 실험결과와 거의 일치하고 있다. 위와 같은 경향은 경심 16cm와 12cm로 작업을 했을 경우에도 비슷하게 나타났다.

따라서 실험의 범위에서 유사 기구를 포함한 각 작업기들의 경속에 따른 견인저항의 경향은 유사한 것으로 나타났다.

나. 경심에 따른 견인저항 변화

그림 8은 경속 0.33m/s에서 경심의 변화에 따른 견인저항의 변화를 각 작업기 별로 나타내고 있다. 실험된 모든 작업기에 있어서 기울기의 차이는 약간 있으나 모두 유사한 형태로 견인저항이 증가하는 것을 알 수 있다. 경심 8cm에 있어서 쟁기의 견인저항은 약 290N이고, 12cm에서는 440N로 약 50%의 증가율을, 그리고 16cm에서는 약 780N로서 약 70%의 증가율을 보였다. 이러한 경향은 유사 기구에서도 비슷하게 나타나고 있다. 경심 8cm에서 유사 기구의 견인저항은 약 120N, 12cm에서는 약 240N로 완만한 증가율을, 그리고 16cm에서는 약 540N로 약간 급한 증가율을 보여주고 있다. 반면 치즐 플라우와 모듈드보드 플라우의 견인저항은 기울기의 큰 변화 없이 거의 일정하게 완만한 증가를 보이고 있음을 알 수 있다. 경속 0.22m/s와 경속 0.49m/s에서 경심에 따른 각 작업기들의 견인저항의 변화형태는 경속 0.33m/s와 유사하나 약간의 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 이와 같이 경심의 변화에 따라 각 작업기들의 견인저항의 변화형태에 약간의 차이를 보이고 있는 것은 각 작업기들의 형태에 기인한 것인지 또는 토양파괴방법에 기인한 것인지는 좀 더 다양한 실험에 의해 검증되어야 한다고 판단된다.

그러나 그림 8, 9, 10을 종합적으로 검토하여 보면 실험경속 범위내에서 각 작업기들의 경심에 따른 견인저항의 증가는 그 기울기에 있어서 약간의 차이는

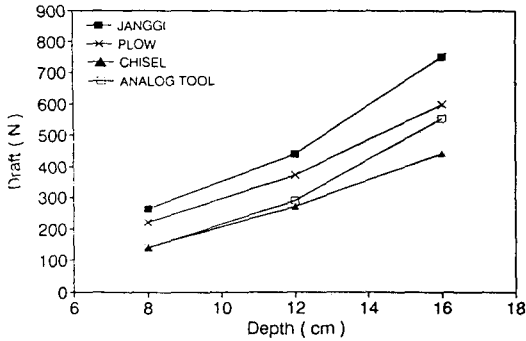


Fig. 8 Relationships between tillage depth and draft of implements at the tillage speed of 0.33m/s.

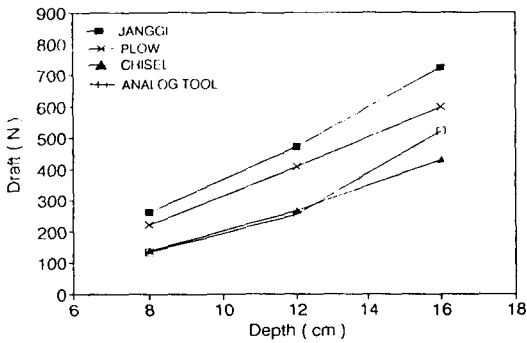


Fig. 9 Relationships between tillage depth and draft of implements at the tillage speed of 0.22m/s.

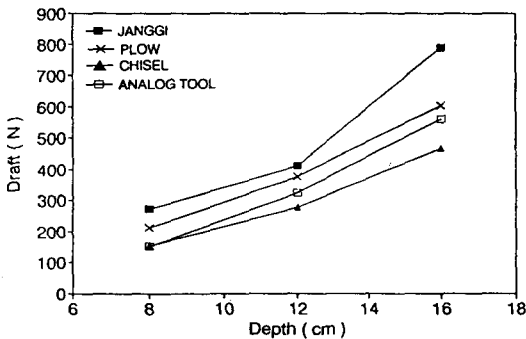


Fig. 10 Relationships between tillage depth and draft of implements at the tillage speed of 0.49m/s.

있으나 거의 유사한 형태로 나타나고 있음을 알 수 있다.

다. 시간에 따른 견인저항 변화

견인형 경운작업기가 토양을 파괴하면서 전진할 때 주기적인 토양파괴면과 견인저항의 피크가 존재한다는 보고는 상당히 많다.⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾ 작업기의 형태와 작업조건에 따라 토양파괴면의 전진방향 직선거리는 20~70mm 정도로 보고되고 있으며, 견인저항의 변화는 $\pm 30\sim 50\%$ 인 것으로 보고되고 있다.⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾ 따라서 본 연구에서도 각 작업기들의 견인저항의 피크주기 그리고 토양파괴면의 직선거리등이 유사기구의 주기특성과 유사한지 검토하기 위해 경심 12cm, 경속 0.22m/s, 0.33m/s, 0.49m/s에 대해 시간에 따른 견인저항 변화를 그래프로 나타내 보았다(그림 11, 12, 13).

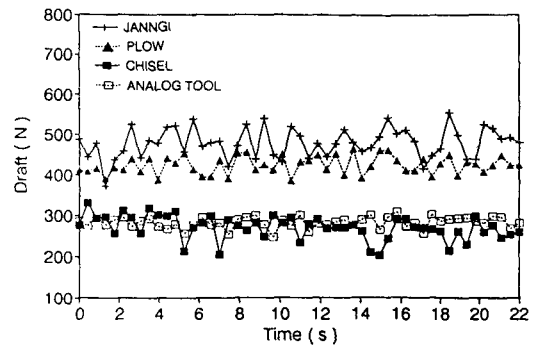


Fig. 11 Changes of draft in relation to time for 12cm tillage depth and 0.22m/s tillage speed.

그림 11에 나타난 경심 12cm, 경속 0.22m/s일 때의 그래프를 보면, 쟁기, 모울드보드 플라우 그리고 치즐플라우의 견인저항 피크는 비슷한 형태로 나타나고 있음을 알 수 있다. 그러나 유사 기구의 경우는 견인저항의 피크가 쟁기나 모울드보드 플라우 및 치즐플라우에 비해 현저히 적거나 견인저항 피크가 거의 없이 일정한 견인저항값을 지속적으로 보이고 있다. 그림 12, 13은 경심 12cm에서 경속 0.33m/s,

0.49m/s로 작업할 때 시간에 따른 견인저항 변화형태를 나타낸 그래프로써 그림 11의 경속 0.22m/s일 때와 비슷한 경향을 보이고 있다.

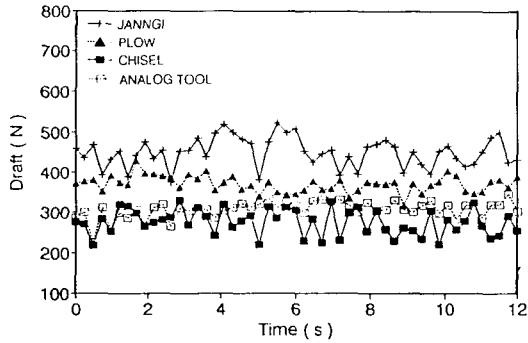


Fig. 12 Changes of draft in relation to time for 12cm tillage depth and 0.33m/s tillage speed.

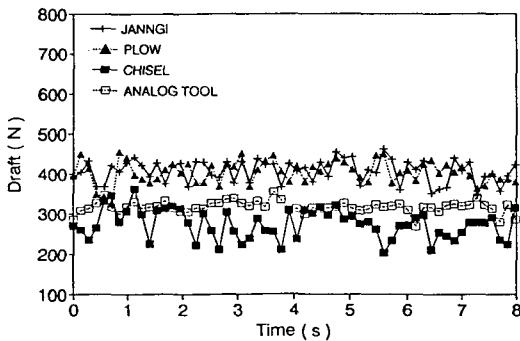


Fig. 13 Changes of draft in relation to time for 12cm tillage depth and 0.49m/s tillage speed.

위와 같이 시간에 따른 견인저항값의 변화형태가 유사기구와 다른 세 작업기간에 서로 다른 형태를 보이는 것은 작업기의 형태에 직접적으로 기인한다고 볼 수 있다.

세 작업속도 모두에서 유사 기구의 시간에 따른 견인저항 변화량이 비교적 비슷한 형태를 하고 있는 것은 유사 기구의 형태와 토양파괴 형식에서 기인되었다고 판단된다. 유사기구는 좌우 대칭이며 전면의 절삭부분이 30°의 각도로 날렵한 형태를 하고 있

어 토양파괴의 상당부분이 압축전단 파괴라기 보다는 절삭에 의한 파괴라고 판단된다. 반면 경운작업면적이 비교적 넓은 쟁기, 모우드보드 플라우, 치즐 플라우는 압축전단에 의한 토양파괴 형태를 가지며 이러한 압축전단 파괴는 경속에 따라 차이는 있으나 견인저항의 피크 변화가 큰 것으로 판단된다. 위의 결과를 종합하여 볼 때 유사 기구의 토양파괴 형태는 다른 작업기들의 파괴형태와 서로 다른 것으로 판단된다. 따라서 유사 기구에 의한 다른 작업기들의 견인저항의 피크 예측 가능성에 대해 약간의 의문을 갖게 한다. 그러나 이러한 결과는 한정된 토양 조건과 경심, 경속의 결과이므로 좀 더 다양한 조건에 대해 검토할 필요가 있다고 사료되며 유사기구를 설계할 때 토양을 압축전단에 의해 파괴하는 형태도 고려해 볼 필요가 있다고 판단된다.

라. 유사 기구에 의한 견인저항 예측

그림 14는 경속 0.22m/s에서 유사 기구의 견인저항과 쟁기, 모우드보드 플라우 그리고 치즐 플라우의 견인저항값들과의 관계를 보여주고 있다. 여기서 실선은 각 점으로부터 구한 회귀방정식을 그래프로 나타낸 것이다. 각 직선들의 회귀방정식은 표 3에 나타난 바와 같다. 위의 표와 그래프에서 알 수 있듯이 유사기구와 각 작업기들의 견인저항 사이에는 직선적인 관계가 있으며, 실험 경속의 범위에서

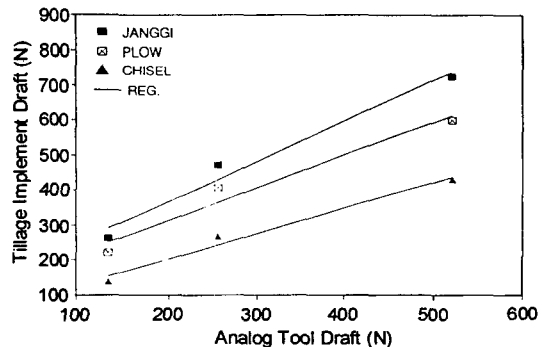


Fig. 14 Relationships between analog tool draft and implements draft at the tillage depth of 0.22m/s.

결정계수(R^2)의 값은 대부분의 경우 0.97 이상으로서 유사기구는 쟁기, 몰드보드 플라우, 치즐플라우의 견인저항을 예측할 수 있는 것으로 나타났다. 유사기구는 쟁기와 모울드보드 플라우의 견인저항값은 높게, 그리고 치즐 플라우의 견인저항값은 약간 낮게 예측하는 것을 그래프로부터 알 수 있다. 이와 같은 관계는 경속 0.33m/s와 0.49m/s의 경우에도 거의 유사하게 나타났다(그림 15, 16).

위의 결과로 부터 유사기구는 쟁기, 모울드보드 플라우, 치즐 플라우들의 견인형 작업기의 견인저항을 실험 경속과 경심의 범위에서 예측할 수 있는 것으로 판단된다. 그러나 위의 결과는 한가지 토양타입에 대해 비교적 저속의 경운속도에 대한 실험에 근거한 것이므로 좀 더 다양한 토양조건과 경속에 대해 구명할 필요가 있다고 사료된다. 또한 유사기구의 견인저항값을 좀 더 간편한 방법에 의해 측정하고 이 측정된 값들과 다른 작업기들의 견인저항 사이에 존재하는 이론적인 관계를 구명하여 이것을 근거로 하여 견인형 작업기의 견인저항을 예측할 수 있는 방법의 모색이 필요하다고 본다. 이러한 것들은 좀 더 많은 토양조건하에서 실험을 수행하여 이론에 적합한 수학적 모델을 구함으로써 가능하며, 이에 따라 견인형 작업기의 견인저항을 간편한 유사기구의 이론을 도입한 측정장치로부터 예측이 가능하리라 판단된다.

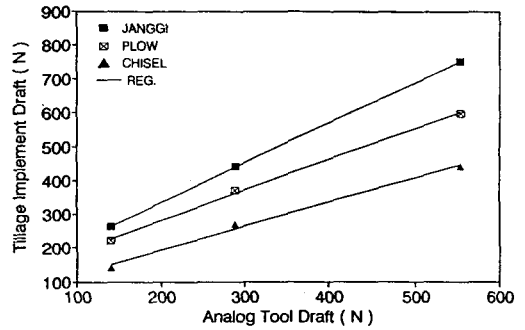


Fig. 15 Relationships between analog tool draft and implements draft at the tillage depth of 0.33m/s.

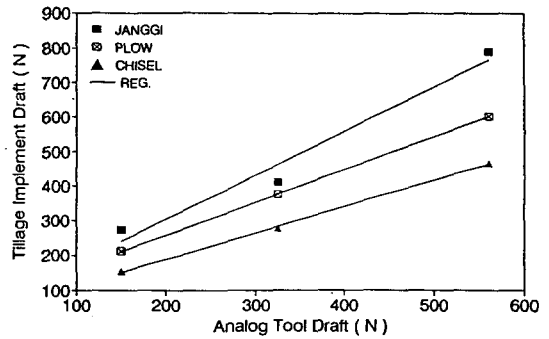


Fig. 16 Relationships between analog tool draft and implements draft at the tillage depth of 0.49m/s.

Table 3 Regression equation of each implement draft to analog tool draft

Speed	Regression equation	R^2
0.22 m/s	$N_{JA} = 1.152 \times X_m + 136.857$	0.9742
	$N_{PL} = 0.936 \times X_m + 125.734$	0.9598
	$N_{CH} = 0.728 \times X_m + 57.516$	0.9768
0.33 m/s	$N_{JA} = 1.179 \times X_m + 99.607$	0.9999
	$N_{PL} = 0.907 \times X_m + 99.803$	0.9981
	$N_{CH} = 0.716 \times X_m + 50.147$	0.9944
0.49 m/s	$N_{JA} = 1.276 \times X_m + 49.314$	0.9687
	$N_{PL} = 0.955 \times X_m + 67.208$	0.9999
	$N_{CH} = 0.766 \times X_m + 34.623$	0.9989

여기서, N_{JA} : 쟁기의 견인력(N), N_{PL} : 모울드보드 플라우의 견인력(N), N_{CH} : 치즐 플라우의 견인력(N), X_m : 유사 작업기의 견인력(N).

4. 결 론

유사 기구가 서로 다른 형태를 갖는 작업기들의 견인저항을 예측할 수 있는지 검토하기 위해 인공토 조 시스템에서 사양토를 사용하여 실험을 수행 하였다. 유사 기구는 전면의 각이 30° 인 췌기 형태로 제작하였으며, 실험 작업기로는 쟁기, 모듈드보드 플라우, 그리고 치즐 플라우를 이용하였다. 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 실험 경심의 범위(8cm, 12cm, 16cm)내에서 경속의 증가는 유사 기구를 비롯해 다른 세 작업기들의 견인저항 증가를 초래하지 않았다. 작업기의 형태에 따라 견인저항값의 차이는 있었으나 경속에 따른 견인저항의 변화 경향은 거의 비슷한 것으로 나타났다.

2) 실험 경속의 범위(0.22m/s, 0.33m/s, 0.49m/s)내에서 경심이 증가함에 따라 견인저항값은 작업기에 따라 약간의 기울기 차이는 있었으나 거의 비슷하게 증가하는 경향을 보였다.

3) 실험경심과 경속의 범위에서 유사기구의 시간에 따른 견인저항값은 거의 변화가 없거나, 아주 작은 피크를 보였다. 그러나 쟁기, 모듈드보드 플라우, 치즐 플라우의 시간에 따른 견인저항값은 큰 변화를 보였으며 작업기들 간에 변화형태의 차이는 약간 차이는 있으나 피크현상이 크게 나타났다.

4) 실험 경심과 경속의 범위내에서 유사 기구의 견인저항값과 쟁기, 모듈드보드 플라우, 그리고 치즐 플라우의 관계는 직선적으로 나타났다.

5) 위의 결과를 종합하여 볼 때 유사 기구에 의한 쟁기, 모듈드보드 플라우, 치즐 플라우의 견인저항

예측이 가능하리라 판단되며, 유사 기구의 개념을 이용한 경운작업기의 견인저항 예측을 위한 토양물리성 측정장치의 개발도 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.

참 고 문 헌

1. 이영렬. 1985. 논 경운방법별 소요에너지와 벼 수량에 관한 연구. 원광대학교 박사학위논문.
2. 박준길. 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.
6. Siemens, J. C., J. A. Weber and T. H. Thornburn. 1965. Mechanics of Soil as Influenced by Model Tillage Tools. Trans. of the ASAE 8(1):1-7.
7. Upadhyaya S. K., T. X. Ma, Y. M. Zhao, W. J. Chancellor. 1985. Dynamics of Soil-Tool Interaction., ASAE Paper No. 85-1035.