

은 질소가 약 27만 M/t, 인산이 약 23만M/t, 그리고 칼리가 약 18만M/t으로 화학비료 대체율은 '99년 시비량기준인 질소 약 29만 M/t, 인산 약 14만 M/t, 그리고 칼리 약 18만 M/t에 비하여 대체율은 각각 93%, 164%, 그리고 100%이다. 이렇게 비료 함량이 풍부한 가축분뇨는 자원으로서 재활용하여야 한다. 가축분뇨를 자원화 한다면 환경오염문제를 해결하는 지름길이 될 수 있다. 또한, 경종농가에 이용하여 경종농가에서는 화학비료를 대체할 수 있고, 축산농가에서는 경영비 절감과 환경오염원을 경감할 수 있으며, 질 좋은 브랜드 쌀을 생산할 수 있다는 장점이 있다. 우리나라 농경지의 60%를 차지하는 논외 비재배에 슬러리를 이용할 수만 있다면, 이는 살포경지면적을 확대하는 의미가 되는 동시에 자원을 더욱 효율적으로 활용하게 되므로 논에 이용하는 방안을 강구하여야 한다.

살포작업을 생력화하기 위하여는 트랙터가 견인하는 액비살포기의 도입이 필요하다. 살

포기를 견인 및 살포하기 위하여 동력을 발생시키는 트랙터는 연약지에서 주행부의 침하에 따른 구름저항의 증가로 인해 주행 및 작업시 많은 동력이 소요되고, 또한 차량의 엔진 출력이 충분한 경우에도 바퀴와 토양의 접지면에서 발생하는 토양의 침하 및 파괴 현상 등에 의해 차량의 주행에 필요한 충분한 추진력을 발생시킬 수 없는 경우가 많다. 따라서 본 연구는 벼 수확한 논에서 트랙터 견인형 액비살포기에 대한 견인력을 분석하고자 한다. 그리고, 분석된 견인력으로 논에서 액비살포기 각각의 용량에 대한 적정 트랙터의 크기를 구명하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험 장비 및 제원

견인성능 측정을 위하여 두 대의 트랙터와 서로 다른 용량의 액비살포기를 준비하였고,

Table 1. Specification of measurement and data acquisition system

Item	Specification
Load cell	Capacity of 5,000kgf, HBM Co. Ltd.
Data logger	Spider8(A/D converter of 4 channel and 8 bit, digital amplifiers)
Micro-computer	Pentium II, Intel 166MHz, Samsung Co.

Table 2 Specification of tractors and conventional slurry spreader

Item	Specification		
Tractor			
Pulling tractor	40.5kW(55DW) LG Co.		
Dragged tractor	25.7kW(L3502-4WD-D) Daedong Co.		
Spreader			
Tank capacity(m ³)	2	3	4
Tire type	6.50-16LT, 10PR (Dual) Tube type	11.5/80-15.3, 10PR (Single) Tube type	12.5/80-15.3, 14PR (Single) Tubeless
Weight(kg)	1,000	1,200	1,350

Table 3. Physical properties of soil to be tested

	Moisture content(%) Average	Bulk density (kg/m ³)	Composition			Texture
			Sand(%)	Silt(%)	Clay(%)	
Soil depth (0~10cm)	28.45	1,719	15.895	46.762	37.343	SiCL
Soil depth (10~20cm)	23.47	1,802	19.35	50.41	30.24	SiCL

데이터의 수집을 위하여 load cell과 data logger(Spider8), 휴대용 PC가 사용되었다.

2 공시토양

액비살포기의 견인력 시험공시토양은 논토양으로 충주시 단월동 곤평마을 소재의 포장으로서 봄에 가뭄에 의해 토양이 약간 건조한 상태로 수확후 벧짚이 방치된 상태이었다. 토질은 미사질식양토(SiCL)이고, 0~10cm 깊이까지의 토양함수비는 평균 28.45% d.b.이었으며, 10~20cm 깊이까지의 토양함수비는 평균 23.47% d.b.이었다. 토양의 겉보기 밀도는 0~10cm 깊이에서는 1,719kg/m³이고, 10~20cm 깊이에서는 1,802kg/m³ 이었다. 원추관입저항측정기로 측정한 시험포장의 토양경도는 그림 3에 나타내었다. 0~5cm 깊이까지는 토양경도가 낮아 10cm이상 깊이에서 경도를 측정하였다. 토양의 깊이 10cm가 되면서 경도는 증가하기 시작하여 평균 14.5kPa(14.24kgf/cm²)이었고, 15cm 깊이까지는 서서히 증가하여 평균 16.2kPa(15.9kgf/cm²)이었으며, 깊이가 20cm 이상이 되면서 경도가 급격히 증가하여 토양경도는 25.55kPa(25.06kgf/

cm²)이 20cm 깊이에서 측정되었다. 또한, 20cm 깊이를 초과한 후에는 원추관입저항측정기의 측정허용범위를 초과하여 측정이 불가능하였다.

3. 시험방법

트랙터의 견인력을 측정하기 위하여 40.5 kW(55PS)의 견인트랙터의 견인고리에 와이어로 25.7kW(35PS)의 피견인 트랙터를 견인할 수 있도록 하였으며 트랙터와 트랙터의 사이에는 load cell을 수평이 되도록 설치하여 견인력을 측정하였다.

그림 1과 같이 데이터수집 시스템은 견인할 때 발생하는 힘의 변화정도를 5톤 용량의 Load cell에서 아날로그상태의 전기신호로 보내면 이 신호를 증폭하여 디지털 신호로 변환한 후에 마이크로 컴퓨터로 데이터가 송신된다. 이렇게 송신된 데이터를 프로그램을 사용하여 컴퓨터의 하드디스크에 저장하였다. 견인트랙터의 견인속도는 논에서 ha당 25톤의 분뇨 살포량, 살포소요시간(25~41분), 그리고, 견인할 때의 슬립을 고려하여 주행속도를 5km/h로 하였다. 액비살포기에

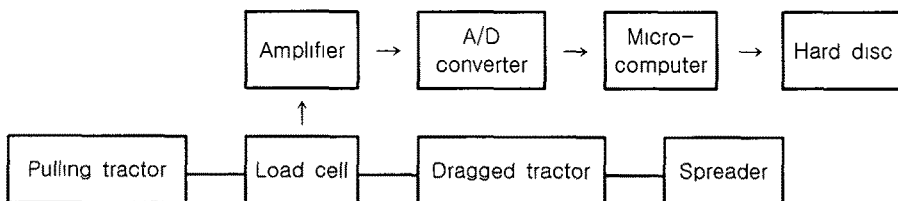


Fig. 1. System for pulling force measurement of tractor.

대한 트랙터의 견인력 측정은 1단계에서는 무부하상태의 피견인 트랙터만을 견인하여 견인력을 측정하였고, 2단계는 무부하상태의 피견인 트랙터뒤에 2톤 용량의 액비살포기에 물을 가득 채운 후 견인하여 데이터를 측정하였다. 3단계와 4단계는 2단계와 동일한 방법이나, 3톤과 4톤 용량의 액비살포기를 각각 견인하여 데이터를 수집하였다.

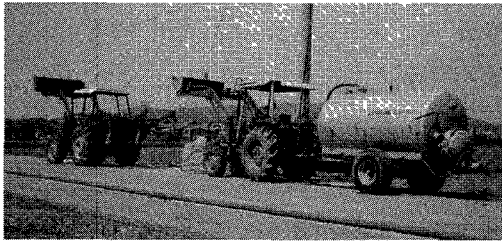


Fig. 2. Complete system of pulling force measurement of tractor

결과 및 고찰

1. 트랙터의 견인력 측정치 분석

가. 피견인 트랙터에 대한 견인력 측정

토양에는 피견인 트랙터의 차체하중만이 토양에 작용하여 견인시 견인트랙터 후륜의 침하량은 약 5cm 정도이었고 피견인 트랙터

는 견인트랙터보다 다소 침하량이 낮았다. 이와같은 결과는 피견인 트랙터의 하중이 견인트랙터 하중의 1/2정도로 토양에 작용하는 작용력이 낮았기 때문으로 사료된다.

피견인 트랙터에 대한 견인력을 측정한 데이터에 대한 실시간 그래프는 그림 3과 같다.

피견인 트랙터에 대한 무부하 상태에서 견인력의 평균값은 2.46kN이었다. 견인 동력은 견인력에 트랙터의 속도를 곱하여 구한다.

$$P = F_D \cdot V \dots\dots\dots (식 4-1)$$

여기서,

P : 견인동력 (kW), F_D : 견인력(kN),

V : 트랙터의 속도(m/sec)

따라서, 견인트랙터의 견인동력은 식 4-1에 측정된 견인력과 실험시 트랙터의 주행속도인 1.4m/sec(5km/h)를 곱한 3.44kW이었다.

나 2 ton 용량 액비살포기에 대한 견인력 측정

견인시 견인트랙터 후륜의 침하량은 약 7cm 정도이었고 액비살포기의 침하량은 5~7cm 정도로 비슷하게 나타났다. 이와같은 결과는 액비살포기의 하중이 Dual wheel에 의

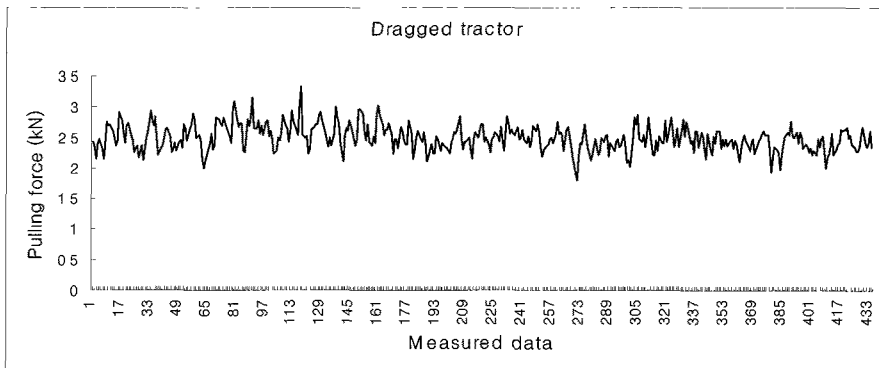


Fig. 3 Pulling force for a tractor without spreader

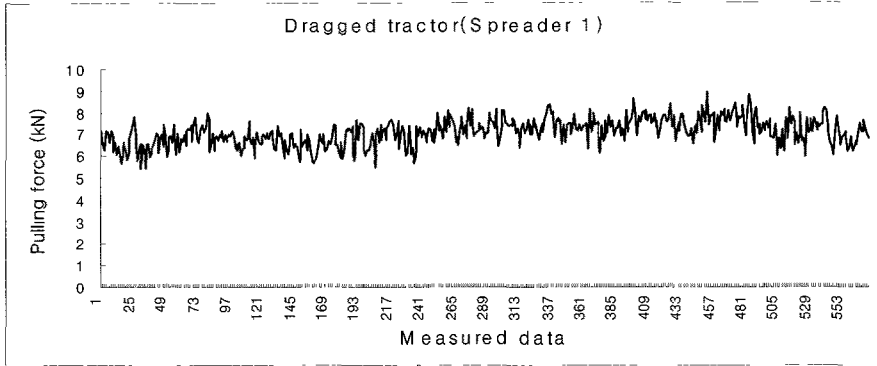


Fig. 4. Pulling force for a tractor with slurry spreader(2 ton).

하여 토양에 하중분포를 확산하였기 때문으로 사료된다.

2톤 용량의 관행액비살포기에 대하여 측정된 데이터를 그림 4에 실시간 그래프로 나타내었다.

2톤 용량 액비살포기에 대한 견인력은 피견인 트랙터의 견인력이 포함된 값으로 평균값인 7.08kN이었다.

따라서 피견인트랙터에 대한 견인력을 감한 2톤 용량 액비살포기의 견인력은 4.62kN으로 식 4-1로부터 견인동력을 구하면 6.47 kW가 된다.

다. 3 ton 용량 액비살포기에 대한 견인력 측정
견인시 견인트랙터 후륜의 침하량은 약

9cm 정도이었고 액비살포기의 침하량은 10cm 정도로 다소 높게 나타났다. 이와같은 결과는 관행액비살포기의 하중이 견인트랙터보다 크고 지면에 접하는 타이어의 공기압이 기준치보다 다소 낮아 면적이 Dual에 비하여 수직하중을 고루 확산시키지 못한 것으로 사료된다.

3톤 용량의 관행액비살포기에 대하여 측정된 데이터를 그림 5에 실시간 그래프로 나타내었다.

3톤 용량 액비살포기에 대한 견인력은 피견인 트랙터의 견인력이 포함된 값으로 평균값인 9.73kN이었다.

따라서, 피견인트랙터에 대한 3톤 용량 액비살포기의 실제 견인력은 7.27kN으로 식 4-1로부터 견인동력을 구하면 10.18kW가 된다.

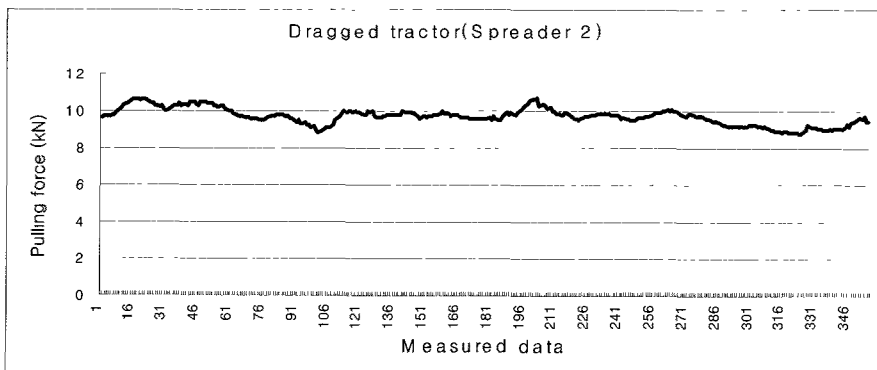


Fig. 5 Pulling force for a tractor with slurry spreader(3 ton).

라. 4 ton 용량 액비살포기에 대한 견인력 측정

견인시 견인트랙터 후륜의 침하량은 약 12cm 정도이었고 액비살포기의 침하량은 견인트랙터와 비슷하게 나타났다. 이와같은 결과는 액비살포기의 하중이 견인트랙터보다 크지만 원추관입저항 측정값으로부터 10cm 깊이를 초과하면서 토양의 경도가 증가하여 수직하중에 대한 침하가 발생되지 않기 때문으로 판단된다.

4톤 용량의 관행액비살포기에 대하여 측정된 데이터를 그림 6에 실시간 그래프로 나타내었다.

4톤 용량 액비살포기에 대한 견인력은 피견인 트랙터의 견인력이 포함된 값으로 평균값인 13.15kN이었다.

따라서 피견인트랙터에 대한 4톤 용량 액비살포기의 실제 견인력은 10.69kN으로 식 4-1로부터 견인동력을 구하면 14.97kW가 된다.

2 견인성능 분석과 트랙터 선정

액비살포기로 살포하기 위하여 PTO축을 구동하는데 소요되는 동력은 2~6kW이다(최등 2002). 시험 공시토양에서 현재 농가에 주요 공급되고 있는 탱크용량은 3톤과 4톤으로

시험 단계에 따른 침하량과 하중, 그리고 단계별로 측정된 견인 소요동력, 즉 살포를 위해 견인에 소요되는 동력과 PTO축 구동 소요동력을 합산한 값과 단계별 침하량을 표 4에 나타내었다. 표에서 살포기의 하중은 액비살포기 차체무게에 탱크내에 채운 물의 무게를 합한 것이다.

경사지가 아닌 평지에서 36.78kW미만의 트랙터도 4톤 용량의 액비살포기를 견인할 수 있었다. 그러나 공시토양에서는 바퀴의 토양침하가 커져 견인이 크게 어려웠다. 따라서 슬립-침하가 다른 토양에 비하여 큰 논토양에서는 보고된 견인계수 범위에서 낮은 효율을 나타낼 것으로 판단된다. 따라서 논토양에서 트랙터의 견인계수를 60% 정도라 하면 견인출력은 표 5와 같다. 따라서, 논토양에 액비살포기를 이용하기에 적합한 트랙터는 4륜구동방식의 트랙터로서 표 4 및 5를 비교하면, 2톤 용량 액비살포기의 경우에 25.74kW급 이상의 트랙터가 적절할 것으로 판단되며, 3톤 용량 액비살포기의 경우에 36.78kW급 이상의 트랙터가 적절할 것으로 판단된다. 그리고 4톤 용량 액비살포기의 경우에는 40.45kW이상의 트랙터가 적절할 것으로 판단된다.

2륜구동방식의 경우에는 4륜구동방식의 2/3정도의 견인계수를 고려하여 마력수를 선

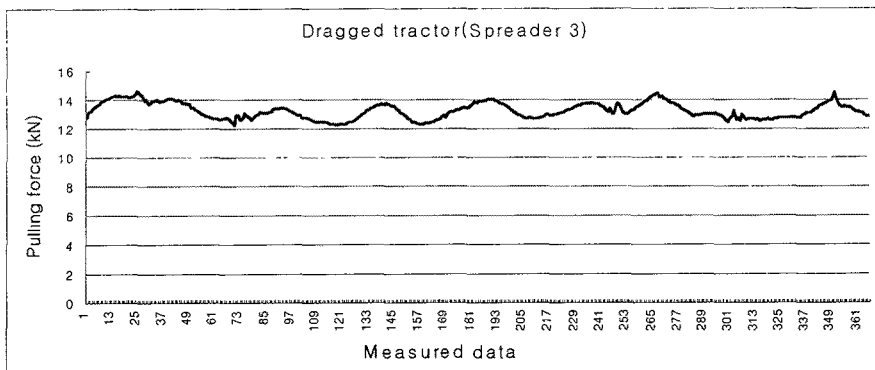


Fig. 6. Pulling force for a tractor with slurry spreader(4 ton).

Table 4 The measured pulling power by a different capacity of spreader

Item	Dragged tractor	Slurry spreader (2 ton)	Slurry spreader (3 ton)	Slurry spreader (4 ton)
Pulling power(kW)	3.44	6.47	10.18	14.97
Total power(kW)	-	8.47~12.47	12.18~16.18	16.97~20.97
Weight(kg)	1,550	3,000	4,200	5,350
Sinkage(cm)	3	7	10	12

Table 5. Pulling power of tractor in the paddy field

Engine power	25.74kW (35PS)	29.42kW (40PS)	36.78kW (50PS)	40.45kW (55PS)
Pulling power	15.44kW	17.65kW	22.07kW	24.27kW

정하는 것이 절절하다고 판단되나, 80년대 중반 이후에 생산이 중단되어 현재 보급되어 있는 2륜구동방식은 내구연한을 고려하면, 보다 더 견인효율이 떨어질 수 있으므로 슬립-침하가 크게 발생하는 논토양에서는 4륜구동방식을 사용하는 것이 적절하다고 판단된다. 본 실험에서는 논토양의 수분 함량이 비교적 낮은 토양에서 실험이 수행되었고, 수분 함량 30% 이상의 토양에 대한 실험은 수행되지 못하였다. 수분 함량이 높은 토양일수록 하중에 대한 슬립과 침하가 크게 일어나므로 이에 대한 연구가 앞으로 수행될 필요가 있다.

적 요

가축분뇨 슬러리 액비의 이용효율 증대에 기여하고 논에서 액비살포기를 이용에 적정 트랙터의 규격선정을 위하여 이 연구를 수행하였다.

논 토양에서 트랙터 견인형 액비살포기에 대한 견인력을 분석하기 위해 견인트랙터와 피견인트랙터 사이에 설치된 측정장비로 그 값을 측정하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1. 공시토양은 미사질식양토(SiCL)로 0~10cm 깊이까지의 토양함수비는 평균 28.45% d.b.이었으며, 10~20cm 깊이까지의 토양함수비는 평균 23.47% d.b.이었고, Cone Index는 토양의 깊이 10cm에서 평균 14.5kPa이었고, 15cm에서는 평균 16.2kPa이었다. 그리고 20cm 정도 되면서 경도가 급격히 증가하여 토양경도는 25.55kPa로 나타나 공시논의 경반층은 깊이 20cm 부근인 것으로 추정된다. 20cm를 넘어가면서 더 이상 측정이 불가능하였다. 따라서, 공시토양의 경반은 15~20cm 정도의 깊이에서 나타났다.

2 공시포장에서 견인트랙터의 견인동력은 피견인트랙터의 경우 3.44kW이었고, 액비살포기는 2톤, 3톤, 그리고 4톤 용량의 순으로 살포작업을 고려하면, 각 용량별 트랙터의 총 소요동력은 8.48~12.48kW, 12.19~16.19kW, 16.96~20.96kW 정도이다. 그리고 탱크 용량이 증가하면서 토양의 침하량은 2톤용량일 때 7cm에서 증가하여 3톤용량일 때는 10cm, 4톤일 때 12cm 정도이었다.

3. 논토양에서 트랙터의 견인계수가 60% 정도임을 고려하면, 논토양에서 견인과 동시에 살포작업을 하기에는 2톤 용량 액비살포

기의 경우에 25.74kW급 이상의 트랙터가 적절할 것으로 판단되며, 3톤 용량 액비살포기의 경우에 36.78kW급 이상의 트랙터가 적절할 것으로 판단된다. 그리고 4톤 용량 액비살포기의 경우에는 40.45kW 이상의 트랙터가 적절할 것으로 판단된다.

인 용 문 헌

1. Petersen, J. 1994. Equipment for Application of Animal Slurry in Field Experiments. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 59(2):97-109.
2. 김대철, 김경욱, 류일훈. 2002. 트랙터 전동라인의 전동효율 특성 분석. *한국농업기계학회지*. 27(1):19-24
3. 박원규. 1998. 농업기계의 효율적 이용. 농업기계화 심포지엄, 한국농업기계학회. 97-138.
4. 박원엽, 이규승. 2000. 휠형차량의 연약지 견인성능 예측. *한국농업기계학회지*. 25(5):359-368.
5. 오인환. 2000. 액비의 이용체계 및 살포기술 개발. *가축분뇨 자원화 및 이용기술 심포지움*.
6. 정광용. 1996. 가축분뇨 이용과 문제점. *한국축산시설환경학회 학술발표논문집*. 45- 70.
7. 정창주, 류관희, 김경욱. 1992. 농업동력학. 문운당. 서울.
8. 최광재, 이성현, 유병기, 오권영, 박환중, 김동현. 2002. 슬러리 가축분뇨 지중살포기 개발. *한국축산시설환경학회 학술논문발표회 발표논문집*. 83-98.