

포장작업에서 농용트랙터의 부하측정[†]

Load Measurement of Tractor on Field Performance

최창현*

남궁만준*

정회원

정회원

C. H. Choi

M. J. NahmGung

1. 서론

트랙터의 많은 보급으로 토양 및 작업조건에 맞는 한국실정에 적합한 한국형 트랙터 개발의 필요성이 대두되고 있다. 한국형 트랙터를 설계·개발하려면, 트랙터의 부하 특성을 분석할 수 있는 자료의 수집 및 분석이 필요하다. 포장작업시에 발생하는 트랙터의 부하특성을 측정하여 트랙터에 미치는 부하와 작업성능을 정확하게 평가하는 것이 중요하다.

국내에서는 실제 야외 작업에서 부하측정의 연구가 수행되었으나, 2륜 구동 상태에서 뒤차축의 토크만 측정하였으며, 4륜 구동상태에서 앞·뒤차축의 토크측정과 로타리 작업시의 PTO 토크를 측정한 연구는 보고된 바가 없다.

보다 정확한 부하분석을 이루려면 트랙터 작업(쟁기, 로타리 등)시에 모든 차축 및 PTO축에 걸리는 토크, 회전속도를 측정할 수 있는 트랙터 부하측정 시스템을 구성하여, 실제 야외 포장작업에서 측정하고 분석하는 것이 필요하다.

따라서 본 연구의 목적은 토양 상태가 다른 지역에서 트랙터에 발생하는 모든 부하를 정확하고 실시간으로 측정할 수 있는 부하계측 전용시스템을 구축하고 측정된 각 부분의 부하를 분석하여 설계에 필요한 기초자료를 제공하는데 있다.

2. 재료 및 방법

가. 부하측정 시스템

본 연구에 사용된 부하계측용 트랙터(LT470DC, LG)는 최대출력이 47마력이고, 4륜 구동 방식이다.

각종 신호를 측정·저장할 수 있는 자료수집장치(MGC, HBM사, 독일)는 마이크로 컴퓨터와 직렬포트(RS-232)로 데이터를 송수신 할 수 있다. 자료수집장치는 11ch의 아날로그 신호만을 측정할 수 있게 구성되어 있다. 차축토크(4ch) 및 회전수(4ch)

[†] 본 연구는 산업자원부 공업기반기술사업의 연구비지원으로 수행되었음

* 성균관대학교 생물기전공학과

PTO토크(1ch) 및 회전수(1ch), 엔진회전수(1ch) 등 총 11ch의 아날로그 신호를 동시에 저장하였고, 이 때의 샘플링 타임은 20Hz가 적당하였다.

차축 및 PTO의 토크를 측정하기 위하여 Four-element full-bridge형태의 스트레인 게이지(CEA-06-250US-350)를 사용하였다. Four-element full-bridge 형태의 스트레인 게이지는 토크 측정시에 2개의 스트레인게이지의 각도를 45°로 할 때 발생하는 오차를 줄일 수 있으며, 휨 모멘트(bending moment)의 영향도 적었다. 뒤차축의 토크 측정은 트랙터 본체에서 분리하여 차축 말단(末端)에 스트레인게이지를 부착하였다.

차축토크의 교정은 트랙터에서 차축에서 타이어를 빼낸 상태에서, 차축에 벤티레바(1m)를 연결하고 5kg의 무게추를 이용하여 벤티레바의 무게를 1kg부터 100kg까지 추를 5kg씩 증가·감소시키면서 출력되는 전압신호를 3회 반복하여 측정하였다. 앞·뒤 차축의 토크와 전압의 관계는 R^2 의 값이 0.99이상 이었고, 100kg·m이상의 토크는 선형으로 처리하였다. PTO축 토크의 교정은 프로펠러 샤프트축에 붙인 스트레인게이지의 전압과 PTO동력계(GS-130, chenck사, 독일)의 PTO축을 연결하여 실시하였다. 동력계의 측정결과 R^2 가 0.99정도로 나타났다.

엔진속도는 엔진의 회전축에 엔코더와 커플링으로 연결하여 회전수를 측정하였다. 본 연구에 사용된 자료수집장치는 아날로그 신호만이 입력되므로, 별도의 F/V 변환기(Frequency/Voltage converter, 선비기술)를 주문제작하여, 엔코더 신호를 측정하였다.

뒤차축의 속도는 뒤차축 동력전달부분 계통의 축을 가공하여 엔코더와 연결하였으며, 앞차축도 마찬가지로 엔코더를 부착하였으며 엔코더의 디지털 신호는 F/V 변환기를 이용하여 전압으로 변환하였다. 엔진속도의 교정은 회전수 측정기(multi-5000, Hydro Tech사, 독일)에 나타나는 회전수와 엔코더의 회전시 발생하는 디지털신호를 F/V 변환기에 연결하여 출력되는 전압값을 측정하여 비교하였으며 교정결과 결정계수 R^2 는 0.99이상으로 나타났다.

차축속도의 측정도 엔진속도와 동일한 엔코더를 사용하였다. 앞·뒤차축 속도의 교정은 트랙터를 크레인으로 매단 상태에서 엔진의 속도를 회전수 측정기(5000, Hydro-Tech사, 독일)을 4개의 차축의 엔코더 펄스신호를 F/V 변환기에 연결하여 발생하는 출력 전압을 측정하여 비교하였으며, R^2 가 0.99정도이상이었다. PTO 회전수는 엔진에서 축이 PTO까지 연결하는 형태이므로 엔진속도와 비례하여 계산하였다.

(2) 실험방법

트랙터 각 부위의 부하를 측정하기 위한 포장실험은 1998년 3월부터 1999년 1월까지 실시하였으며, 토양의 특성이 서로 다른 수원(논 3지역, 밭 5지역), 이천(논 8지역, 밭 6지역)등 총 22개 지역에서 포장실험을 실시하였다. 작업기는 로타리와 쟁기를 각각 사용하였으며 포장실험시 주행단수에서의 속도는 저속1단(1.9km/h), 저속2단(2.7km/h),

저속3단(3.7km/h), 저속4단(5.5km/h), 고속1단(8.2km/h), 고속2단(11.8km/h)으로 나타났다. 작업경심은 20cm로 유지하였다.

실험 전에 각 포장에서 4개의 지점에서 원추관입지수를 측정하였고, 각 포장당 4개씩 토양샘플을 채취하였다. 토양의 함수율은 공기오븐법으로 측정하였으며, 토성은 농촌진흥청이 토양물리과에 분석을 의뢰하였다.

포장실험에서 컴퓨터와 시스템의 전원을 공급하기 위하여 휴대용 인버터(inverter)를 트랙터의 전원에 연결하여 사용하였으며, 인버터는 직류의 전원을 교류로 바꿔주는 전력의 역변환 장치로서 출력은 110V AC이고, 정격용량은 700W이다.

3. 실험결과

가. 토양 물성

표 1과 표 2는 각 지역의 토양물성 데이터이다. 밭의 1~5지역은 수원지역이고, 6~11은 이천지역이며, 논 1~3지역은 수원지역이고, 4~11은 이천지역이다. 밭 토양의 함수율은 13~19%이며, 원추관입지수는 지역별로 다양한 분포를 이루었다. 논 토양의 함수율은 15~28%로 전반적으로 밭 토양에 비해 높았으며, 원추관입지수도 다양한 분포를 이루며, 밭토양에 비해 상당히 크게 나타났다. 토양조건과 트랙터 부하의 관계는 일정한 상관관계를 찾지 못하였다. 토양조건과 트랙터 부하의 상관관계에 관한 보다 정밀한 분석이 향후 필요한 것으로 판단된다.

Table 1 밭 토양의 토양물성 데이터

지역	함수율 (%)	원추 관입 지수 (kg/cm ²)						토성 (soil type)
		0cm	5cm	10cm	15cm	20cm	25cm	
밭 1	17.6	0.83	4.00	12.67	19.00	22.33	-	SL
밭 2	19.6	2.62	12.67	16.33	16.38	16.67	17.00	L
밭 3	18.8	9.67	16.33	17.67	20.33	23.66	-	L
밭 4	17.5	7.33	13.33	17.00	19.67	23.33	24.33	L
밭 5	13.6	6.33	8.33	18.00	17.00	17.00	18.67	L
밭 6	14.0	6.67	11.00	13.33	15.33	17.33	21.00	SL
밭 7	15.9	10.0	14.33	21.33	23.7	25.00	-	SL
밭 8	16.2	1.67	6.00	11.00	14.00	12.00	12.00	SL
밭 9	17.2	6.33	10.33	19.00	23.77	24.55	-	LS
밭10	17.3	1.67	12.67	10.67	12.67	12.67	13.67	L
밭11	17.9	2.00	2.33	10.67	13.67	17.23	-	L

Table 2 논 토양의 토양 물성 데이터

지역	함수율 (%)	원추 관입 지수 (kg/cm ²)						토성 (soil type)
		0cm	5cm	10cm	15cm	20cm	25cm	
논 1	15.7	8.67	9.67	19.33	15.00	12.33	12.33	SL
논 2	22.6	2.67	3.33	6.00	7.33	10.00	12.67	L
논 3	26.7	1.67	2.33	4.00	6.17	8.33	9.33	L
논 4	28.4	6.00	8.00	17.00	25.00	-	-	SL
논 5	24.5	10.00	11.22	23.21	24.88	-	-	L
논 6	21.3	18.33	21.67	23.32	24.95	25.00	-	L
논 7	26.5	7.33	7.67	8.67	20.33	-	-	L
논 8	17.7	1.67	4.00	20.33	20.33	-	-	L
논 9	27.3	6.00	8.33	12.33	20.67	-	-	L
논10	22.9	6.23	8.66	11.77	24.55	-	-	SL
논11	23.0	15.33	15.00	17.00	23.46	-	-	SL

나. 쟁기작업

그림 1은 쟁기작업시의 토크 그래프이며, 표 3과 표 4는 5.5km/h의 속도로 쟁기작업시 각축의 토크를 표시한 것이다. 각축의 토크값은 안정된 데이터의 10초간 측정된 구간을 선택하여, 이값을 평균한 값이다. 밧작업시 주행 토크는 차축의 토크를 모두 합했을 때, 700~1,129kg·m이다. 또한 트랙터 총 중량이 모두 뒷차축에 집중되었으며, 최대토크에 대하여 39.1~63.1%에 해당하는 값으로 나타났다. 쟁기 논작업시 주행토크는 751~1448kg·m으로 최대 토크에 대하여 41.9~80.9%에 해당하는 값으로 밧 작업에 비하여 20% 정도 높았다.

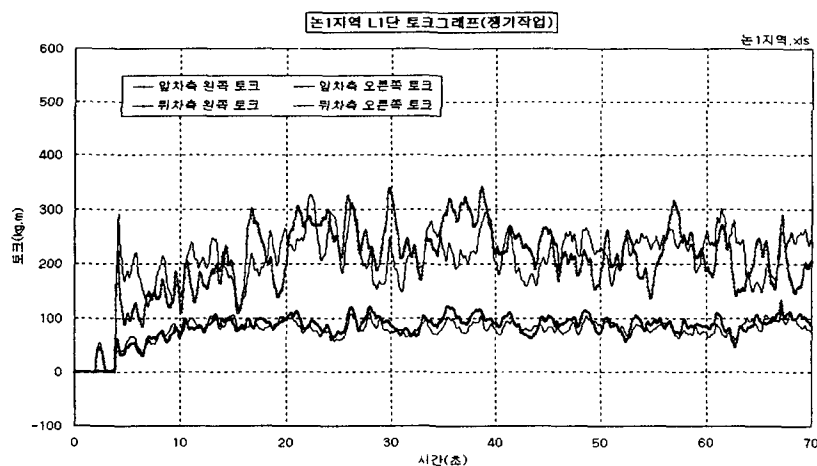


Fig. 1 논 쟁기 작업시 토크 데이터.

Table 3 각축의 토크

(밭, 쟁기작업)

NO	WHEEL TORQUE (kg.m)			
	F/LH	F/RH	R/LH	R/RH
밭 1	122	131	460	580
밭 2	134	147	278	398
밭 3	111	113	275	381
밭 4	155	129	422	423
밭 5	105	118	289	333
밭 6	115	113	299	305
밭 7	112	123	221	243
밭 8	133	137	327	393
밭 9	90	91	160	164
밭 10	113	113	238	311
밭 11	88	91	152	199

Table 4 각축의 토크

(논, 쟁기작업)

NO	WHEEL TORQUE (kg·m)			
	F/LH	F/RH	R/LH	R/RH
논 1	141	143	247	326
논 2	116	133	656	543
논 3	135	131	406	432
논 4	122	113	330	340
논 5	102	117	273	331
논 6	136	147	445	445
논 7	103	97	411	394
논 8	123	123	349	392
논 9	71	71	403	428
논 10	110	109	538	473
논 11	69	70	289	323

나. 로타리 작업

그림 2는 로타리 작업시 나타나는 토크 그래프이다. 쟁기작업보다는 차축의 토크가 매우 작으며, 초기 로타리 작업시에는 차축토크가 크게 증가함을 알 수 있다. 이러한

증가는 처음 로타리가 토양으로 들어 갈 때 매우 큰부하가 걸리는 것으로 판단된다.

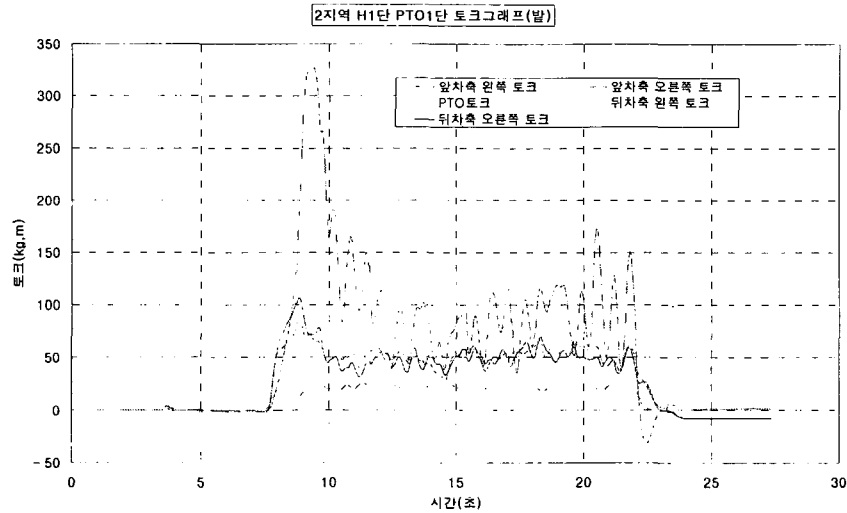


Fig. 2 밭 로타리 작업시 토크 데이터.

Table 5 각축의 토크

(밭, 로타리작업)

NO	WHEEL TORQUE (kg · m)				
	F/LH	F/RH	R/LH	R/RH	PTO
밭 1	30	30	40	40	40
밭 2	69	65	100	102	24
밭 3	32	36	36	37	30
밭 4	57	58	15	21	42
밭 5	58	70	33	52	29
밭 6	81	76	67	92	25
밭 7	48	51	85	60	29
밭 8	44	46	52	58	44
밭 9	73	75	92	108	24
밭 10	86	87	106	117	36
밭 11	28	31	114	122	47

Table 6 각축의 토크

(논, 로타리작업)

NO	WHEEL TORQUE (kg · m)				
	F/LH	F/RH	R/LH	R/RH	PTO
논 1	34	42	61	35	29
논 2	28	28	66	74	48
논 3	26	24	60	63	45
논 4	27	35	66	78	49
논 5	57	64	116	148	18
논 6	60	52	90	106	25
논 7	64	69	106	88	26
논 8	62	71	134	149	28
논 9	74	74	89	108	23
논 10	64	88	45	46	32
논 11	59	72	87	82	26

표 5과 표 6는 주행속도 5.5km/h로, PTO 2단의 회전속도로 회전시 논과 밭에서의 각축의 토크를 표시한 것이다. 로타리 밭 작업시 주행 부하는 8~16%이고, 나머지 동력은 PTO 토크로 소비되는 것으로 나타났다. 로타리 논 작업시 주행 부하는 지역에 따라 다소 편차가 있으나 15.2~20.0%로 밭 작업에 비하여 다소 크게 나타난다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 트랙터 작업시에 나타나는 각 부위에 미치는 부하특성을 검출하여

트랙터에 미치는 부하와 작업성능을 평가하는 위하여, 트랙터의 작업조건에 따른 각 부위에 작용하는 토크, 회전 속도 등을 측정할 수 있는 트랙터 부하 측정시스템을 구성하였다. 실제 야외포장 22지역에서 부하측정을 실시하였으며, 토양물성 조사도 실시하였다. .

토양과 부하와의 관계는 일정한 상관관계를 찾지 못하였다. 토양조건과 트랙터 부하의 상관관계에 관한 보다 정밀한 분석이 향후 필요한 것으로 판단되었다.

쟁기 발작업시 모든 축에 걸리는 주행토크는 700~1,129kg·m이며 최대토크에 대하여 39.1~63.1%에 해당하는 값으로 나타났다. 쟁기 논작업시 주행토크는 751~1448 kg·m으로 최대 토크에 대하여 41.9~80.9%에 해당하는 값으로 밭 작업에 비하여 20% 정도 높았다.

로타리 밭 작업시 주행부하는 8~16%이고, 나머지 동력은 PTO 토크로 소비되는 것으로 나타났다. 로타리 논 작업시 주행 부하는 지역에 따라 다소 편차가 있으나 15.2~20.0%로 밭 작업에 비하여 다소 크게 나타났다.

참고 문헌

1. 류관희. 1985. 트랙터의 포장성능평가를 위한 자료수집처리 시스템의 개발. 한국농업기계학회지 10(2):19-26.
2. 류관희. 1991. 엔진토크의 간접적인 측정 방법에 관한 연구. 한국농업기계학회지 16(1):1-8.
3. 김대철. 1998. 트랙터 구동장치의 부하스펙트럼 분석. 한국농업기계학회 동계학술대회논문집 10-15.
4. 김중현. 1998. 농용 트랙터의 변속기 부하 가혹도에 관한 연구. 한국농업기계학회지 23(5):417-425.
5. Colvin, T. S. and S. J. Marley. 1987. An instrumentation system for measuring tractor field performance. ASAE Paper No. 87-121.