

콤바인 포장계측 및 부하 분석

Field Test and Analysis of Load For Combine

김대철*	한중수*	강영선*
정희원		정희원
D.C.Kim	J.S.Han	Y.S.Kang

1. 서론

국내에 70년대 트랙터가 보급되면서 농업 기계화가 본격적으로 진행되었다. 보급 초기에는 외국 제품을 그대로 도입하였으나 점차 국산화 하면서 국내 자체 설계 능력도 향상되었다. 콤바인의 경우는 80년대 일본으로부터 콤바인이 도입되면서 자탈형을 중심으로 보급이 본격화 되었다. 이러한 자탈형 콤바인은 일본 및 동남아, 중국 등 일부 지역에서 국산화되어 사용되고 있다. 트랙터의 경우 80년대 90년대를 지나면서 자체 설계 및 개발 능력을 배양하여 수출 경쟁력 있는 제품을 개발하였고, 2001년을 기점으로 미국 및 유럽 등지를 중심으로 수출이 급성장하고 있다. 콤바인의 경우 90년대 일본과 기술제휴를 통하여 2조~5조 콤바인을 생산해 왔으며 국내 실정에 맞게 일부 개조한 수준으로, 중요 장치에 대한 설계 및 개발에 대한 원천 기술 개발이 미흡한 실정이다. 콤바인은 토양과 작물, 기후조건 등 환경 조건과 사용 조건에 큰 영향을 받기 때문에 사용 실태에 적합한 설계가 필요하다. 즉, 일본과 한국의 사용 실태가 다르고 중국의 사용 실태 또한 큰 차이가 있다. 따라서, 각 사용 조건에서 콤바인 구동장치에 걸리는 부하를 측정하고 분석하는 것이 필요하다.

본 연구에서는 콤바인에 걸리는 부하를 측정할 수 있는 계측장치를 구성하고 국내 필드 시험을 통하여 각 부위에 가해지는 부하를 측정하였다. 특히, 차축에 걸리는 토크에 대한 부하 스펙트럼을 작성하였으며, 이는 한국 실정에 맞는 콤바인 설계를 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

2. 재료 및 방법

계측 시스템 - 콤바인의 운행 및 작업시 각 장치에 걸리는 부하를 측정하기 위하여 그림 1에서와 같이 계측 시스템을 구성하였다. 콤바인의 엔진 출력축, 차축 등 회전수 (6 ch), 엔진 출력축, 차축 등 토오크(7 ch)를 측정하기 위하여 센서, 자료 수집 장치, 계측용 컴퓨터로 구성하였다. 차축 및 엔진 출력 축 등의 토크를 측정하기 위하여 Full-Bridge 형태의 스트레인 게이지를 사용하였고, 회전 속도 측정 및 회전 중에 토크 신호의 전달을 위하여 슬립링(Slip Ring)을 사용하였으며, 계측 장비로는 13ch 이상을 동시에 측정할 수 있는 HBM사의 MGC Plus 모델을 사용하였다.

* 동양물산기업(주) 중앙기술연구소

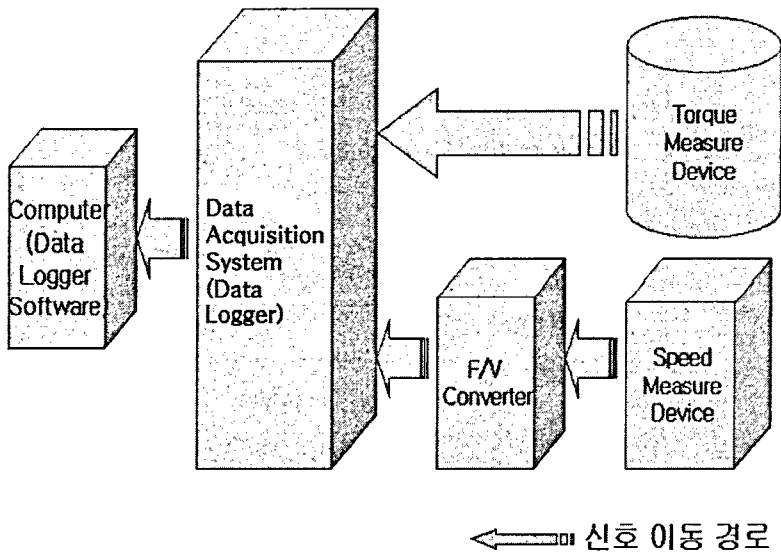


Fig. 3. Block diagram of measurement system.

콤바인 제원 - 본 연구의 대상 콤바인은 T사의 그레인 탱크식 5조 콤바인으로서 주요 제원은 표 1과 같고 외형은 그림 2에 나타내었다.

Table 2. Specifications of combine

Driving type		Crawler
Engine	Power	68 ps
	Rated speed	2600 rpm
Total weight		3428 kg
Distance of crawler		1000 mm
Speed	Working	1.4 m/sec
	Driving	0~2.47 m/sec

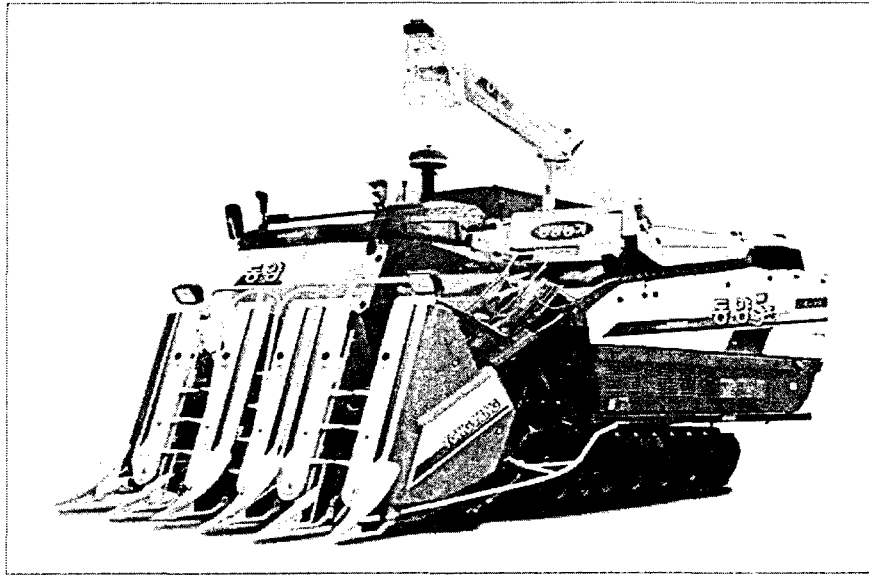


Fig. 4. The combine for field measurement.

토크 및 회전수 측정 부위 - 측정 부위는 콤바인의 부하가 대부분 소비되는 주행부 (2ch), 탈곡부(1ch), 예취부(1ch), 엔진 출력축(1ch), 엔진 분기축(1ch) 및 변속기 입력축 (1ch)으로 선정하였다. 토크를 측정하기 위하여 Full Bridge형태의 스트레인 게이지를 부착 하고, 접촉식 슬립링을 이용하여 신호를 검출하였다. 회전 속도는 슬립링에 내장된 로터리 엔코더를 이용하였다. 그림 3에서는 동력전달에 의한 동력 분배 및 콤바인의 작업 중요도에 따라 선정된 측정부위 7개소를 나타내었다.

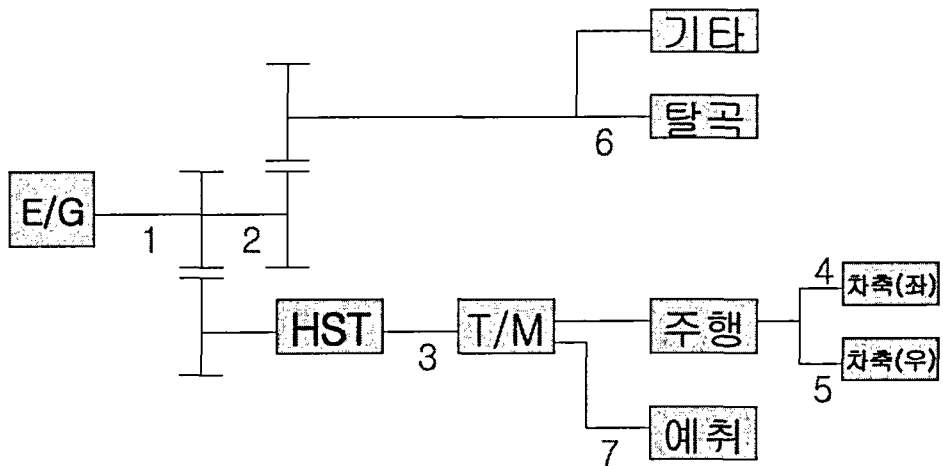


Fig. 5. Measurement position of torque and rotation speed.

토크미터 제작 - 각 축에 걸리는 부하를 측정하기 위해서는 토크 및 회전속도를 측정해야 한다. 토크 미터는 전문 회사에서 제공하는 제품을 사용하는 경우도 있지만 콤팩트의 경우 장착 공간이 부족하기 때문에 그림 4에서와 같이 기존의 동력전달축을 가공한 후 스트레인 게이지를 부착하여 제작하였다.

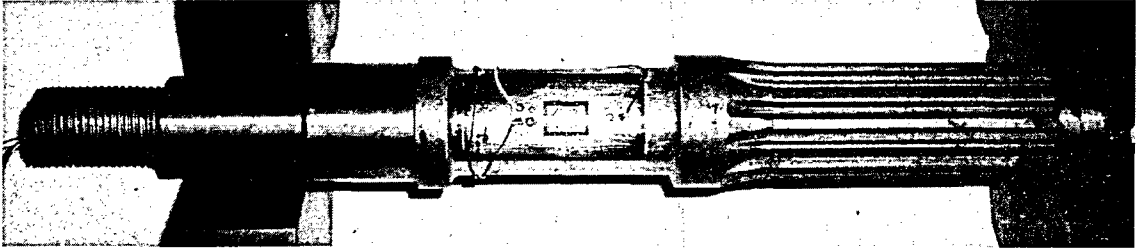


Fig. 6. The torque meter.

토크암과 추를 이용하여 측도설정을 하였으며 엔진 토크를 측정하기 위한 토크미터의 측도 설정 결과는 그림 5에서와 같이 양호하다.

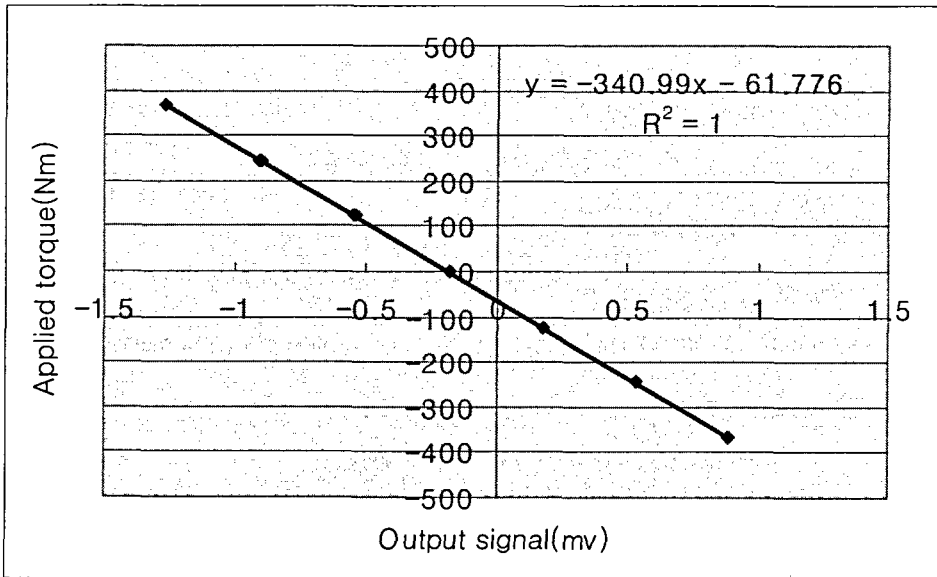


Fig. 7. Calibration curve of engine torque meter.

축에 장착된 토크미터는 회전시 선이 꼬이는 문제가 있기 때문에 회전축에서의 신호를 전달하기 위해서는 슬립링을 사용하였다. 본 연구에서 사용된 슬립링은 크기도 작을 뿐 아니라 로터리 엔코더를 내장하고 있기 때문에 회전속도를 동시에 측정할 수 있는 장점이 있었다. 그림 6에서는 토크미터 축의 끝에 장착된 슬립링의 모습을 나타내었다.

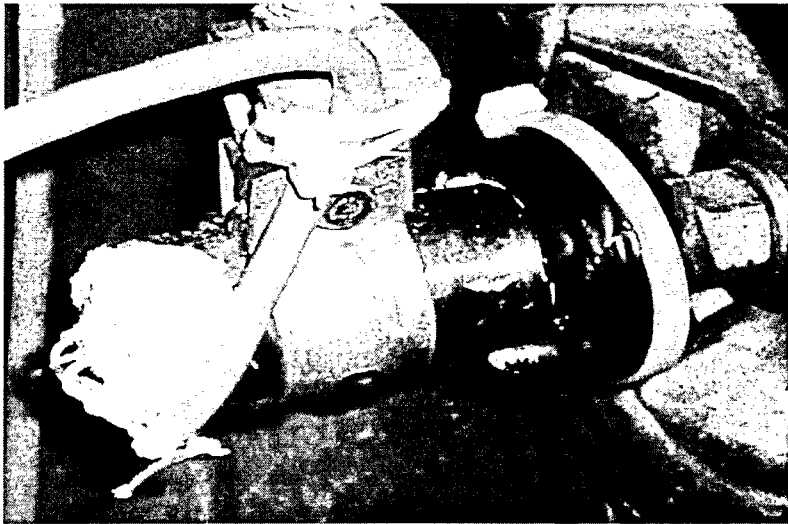


Fig. 8. Slip ring installed on the end of shaft.

포장시험 - 시험 지역 및 품종은 전국에서 콤바인에 부하가 크게 걸리는 전라북도 부안군 평야지역의 주남벼를 선정하였다. 표 2에서는 시험을 위한 포장 상태 및 벼의 상태를 나타내었다.

Table 3. Field condition of test

지역	전북 부안군 평야
시기	10월
포장 상태	건조
전장(간장+수장)(mm)	977
지상고(mm)	830
포기당 줄기 수(본)	19
벼알 수(개)	112
탈립성(g)	251
날씨(온도)	맑음(23.4℃)
포장 규모(평)	1200

그림 7에서는 계측용 콤바인을 이용하여 수확 작업 중 부하를 계측하는 모습을 나타내었다. 작업은 논 밖에서 안으로 진행하였고 곡물 탱크가 가득차면 자루에 담고 작업을 계속 진행하였다.

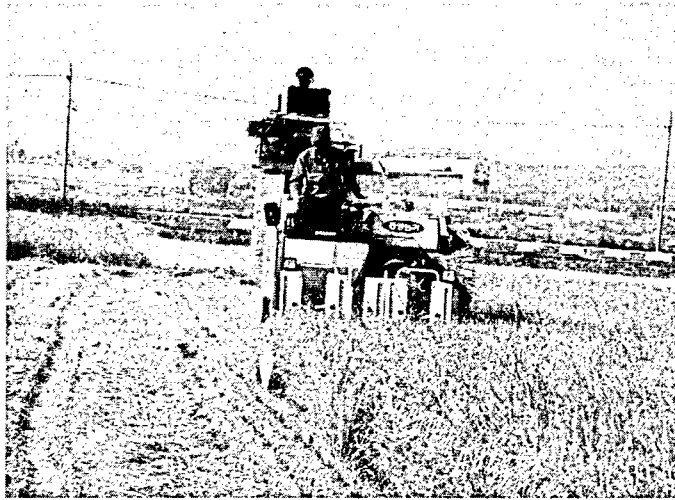


Fig. 9. Field test of combine.

3. 결과 및 고찰

토크 분석 - 콤바인 작업 중 각 시스템별 토크를 측정하였으며, 탈곡 및 예취 장치에 걸리는 토크는 그림 8에서와 같다. 탈곡 입력축의 경우 최대 220N.m의 토크가 걸리고 예취 입력축은 25N.m의 토크가 걸리는 것을 알 수 있다. 또한 예취부 토크와 탈곡부 토크의 변동의 시차는 있으나 변동 경향은 비슷한 것을 알 수 있었다.

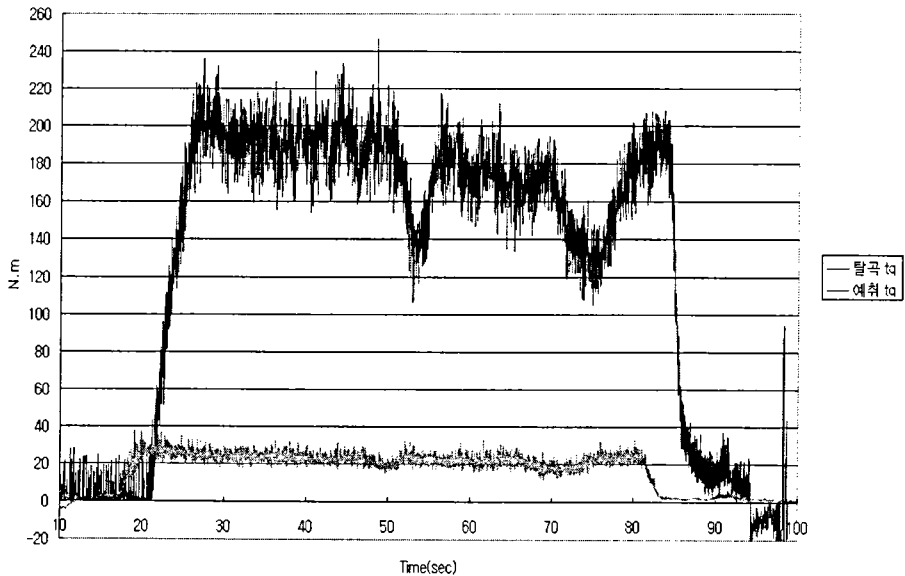


Fig. 10. Measured torque of field test.

부하 스펙트럼 분석 - 실험데이터를 설계 자료에 바로 활용하는데는 한계가 있다. 이들을 설계 및 해석에 반영하기 위해서는 데이터 처리를 하여야 한다. 본 연구에서는 이러한 처리를 위하여 Cycle Counting 방법 중 대표적인 RainFlow Counting 방법을 사용하였다. 이 방법을 이용하여 각 실험에 대한 하중 이력을 분석하였다. Rainflow counting의 결과는 amplitude와 mean, 그 값에 해당하는 counting 횟수로 표현이 된다. 본 연구에서는 작업 진행 과정에 대한 좌측 차축에 대해서 Counting를 실시하였다. Counting 결과에 의해 구해진 발생 횟수를 해당 파일의 시험 시간으로 나누어 단위 시간당의 데이터로 바꾸었고 모든 파일에 대하여 수행한 후 평균값을 구하였다.

이렇게 구한 amplitude 와 mean의 값은 재료의 S-N 곡선과 비교하기 위해서는 평균응력이 '0'인 상태로 변환시켜줘야 한다. 본 연구에서는 S.W.T(Smith-Watson-Topper)식을 이용하여 변환하였다.

그림 9에서는 포장시험에서 좌측 차축에 대한 부하 스펙트럼을 나타내었다. 부하가 큰 쪽에서 낮은 사이클은 선회시 큰 부하 조건에 해당하고, 부하가 낮은 쪽에서 높은 사이클은 직진 작업시 낮은 부하 조건을 나타낸다. 이것은 트랙터 쟁기 작업시 부하가 중간 정도가 높은 사이클을 나타내는 것과 대조적이다.

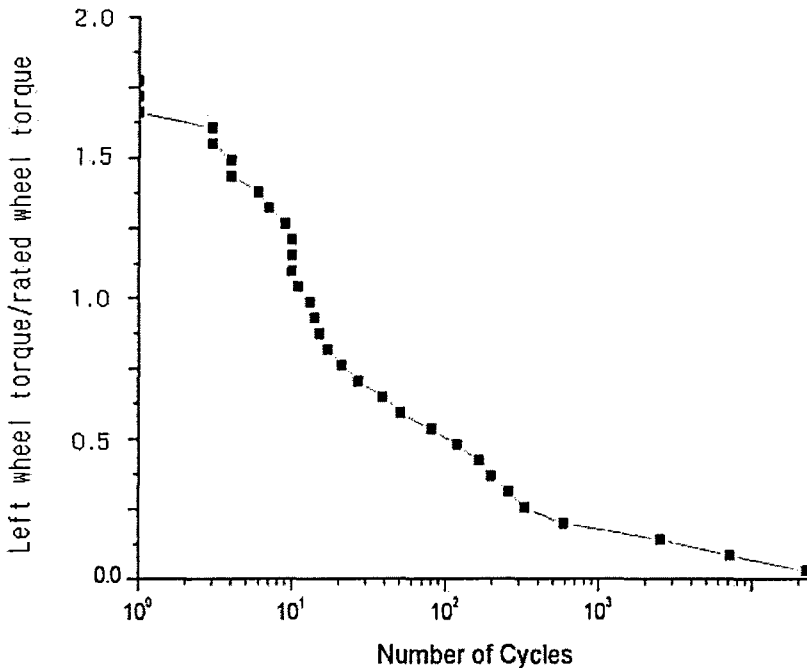


Fig. 11. Load spectrum of Left wheel shaft torque.

4. 요약 및 결론

본 연구는 콤파인에 걸리는 부하를 측정할 수 있는 계측장치를 구성하고 국내 사용 조건에서 각 장치에 걸리는 부하를 측정하고 분석하기 위해서 시도되었다.

콤파인의 주요 시스템인 주행부, 탈곡부, 예취부, 엔진 출력 및 분기부 등에 대한 토크와 회전속도를 측정할 수 있는 계측 장치를 구성하였으며 자료 수집장치를 통하여 데이터를 연속적으로 기록할 수 있게 하였다.

포장 시험은 제작된 계측용 5조 콤파인을 이용하여 부하가 비교적 큰 전라북도 부안군의 주남벼를 대상으로 실제 작업 조건과 동일한 조건으로 실시하였다.

실험 결과 작업시 각 장치에 걸리는 토크 및 회전속도를 분석하였다. 또한, 설계 및 해석에 반영하기 위한 데이터를 확보하기 위하여 Rainflow Counting 방법과 Smith-Watson-Topper 방법을 이용하여 차축에 걸리는 부하 스펙트럼을 작성하였다. 이것은 콤파인 주행 시스템 설계를 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

5. 참고문헌

1. 김대철. 1998. 트랙터 구동장치의 부하 스펙트럼 분석. 석사학위 논문. 서울대학교 대학원
2. 김대철. 1998. 트랙터 변속기의 부하 스펙트럼 개발. 한국농업기계학회지 23(6):539-548
3. 김 중현, 김 형욱, 최 원철, 오 영근. 1998. 농용트랙터 변속기 부하 가속도에 관한 연구. 한국농업기계학회지 23(5):417-426
4. 남관 만준. 2001. 트랙터 구동축의 부하분석 및 PTO 구동 기어의 수명평가. 석사학위논문, 성균관대학교 대학원
5. 계측 및 마이크로컴퓨터 활용 기술. 한국농업기계학회
6. Bannantine. J. A., J. J. Comer and J. L. Handrock. 1990. Fundamentals of metal fatigue analysis. Prentice Hall. Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
7. Gerlach, A. 1966. Field measurement of tractor transmission forces. Transactions of the ASAE 9(5):707-712
8. Glinka, G. and J. C. P. Kam. 1987. Rainflow counting algorithm for very long stress histories. International Journal of Fatigue 9(3):223-228
9. Grubisic, V. 1994. Determination of load spectra for design and test. International Journal of Vehicle Design 15(1/2):8-25.
10. Renius, K Th. 1977. Application of cumulative damage theory to agricultural tractor design elements. KONSTRUKION 29(3):85-93.