

# 농용 트랙터의 미션 프로파일 개발에 관한 연구

## Analysis of Mission and Transmission Loads of Agricultural Tractors.

김중현\*

최원철\*

김경욱\*

정희원

J.H.Kim

W.C.Choi

K.U.Kim

### 1 서론

농용 트랙터에서 변속기는 전체 가격의 약 25~30%를 차지한다. 따라서 변속기 설계는 매우 중요하다. 부하 특성을 고려하여 변속기를 설계하기 위해서는 실제 작업에서 얻은 많은 양의 부하 데이터가 요구된다. 그러나 작업시의 부하 특성에 대한 데이터가 부족하여 변속기의 설계에는 많은 어려움이 있다.

농용 트랙터가 가장 많이 사용되는 작업은 1차 2차 경운 작업과 운반작업이다. 변속기 설계에 각 작업의 부하 특성을 반영하기 위해서는 작업별 사용 시간, 운전 속도, 사용되는 변속단수, 부하 정도 등에 대한 데이터가 요구된다.

특히, 변속기와 같이 파괴시 전체 작업이 중단될 수 있는 중요한 장치의 경우에는 예상되는 모든 작업 조건에서 부하 분석이 이루어져야 한다. 그러나 모든 작업 조건에서 부하를 측정하는 데는 많은 비용과 시간이 소요된다. 따라서 실제 작업 조건과 같은 모의 조건에서 부하 분석이 이루어지는 경우가 많다. 실제 작업 조건과 같은 모의조건을 설정하기 위해서는 실제 작업 조건과 각 작업별 상대적 가속도가 구명되어야 한다.

본 연구는 트랙터의 미션 프로파일을 구축하고 주요 작업별 상대적 가속도를 구명하기 위해서 수행되었다.

### 2. 실험 방법 및 재료

가. 부하 스펙트럼

변속기에 작용하는 부하의 크기는 불규칙적으로 변화한다. 불규칙적인 부하의 일반적인 분석방법은 어떤 크기의 부하가 몇 번 발생되는가를 측정하는 것이다. 어떤 특정한 크기의 부하가 발생하는 빈도를 결정하는 방법에는 레인 플로우 카운팅(rainflow counting), 피크 카운팅(pick counting), 레벨 크로스 카운팅(level cross counting) 등이 있다. 본 연구에서는 하중의 발생 순서를 고려할 수 있는 레인플로우 카운팅(rainflow counting)방법을 사용하였다. 카운팅(counting)의 결과는 누적 주파수 분포(cumulative frequency distribution)로서 특정한 크기의 부하가 얼마나 자주 발생하였는가를 나타낸다. 본 연구에서는 부하 분석시 평균 응력을 고려하기 위하여 Smith-Watson-Topper(1970)의 방법을 사용하였다

---

\* 서울대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부

## 나. 파괴 이론

피로 파괴에는 일반적으로 마이너 식(Miner's rule)이 사용되고 있으나 피로한계 아래의 하중과 응력의 상호작용에 의한 효과가 무시되는 단점이 있다. 이런 문제를 개선하고 피로한계 아래의 응력을 고려하기 위하여, 본 연구에서는 변형 마이너 식(Modified Miner's rule)을 사용하였다.

## 다. 재료 및 방법

구동륜의 각속도와 시험용 트랙터의 실제 속도를 측정하기 위하여 각각 로터리 엔코더(rotary encoder)와 지면 속도 측정기(ground speed sensor)를 사용하였으며, 변속기의 입력 토크를 측정하기 위하여 토크 측정기(torque meter)를 사용하였다. 토크 측정기(torque meter)는 클러치를 지난 엔진 출력축에 설치하였으며 슬립링의 사용이 불가능하였기 때문에 데이터 전송은 무선 방식을 채택하였다.

## 라. 포장 실험

포장 실험중 측정 장치(torque meter, rotary encoder, speed sensor)에서 얻어지는 각각의 신호는 동시에 데이터 저장장치(data logger)에 저장된다. 실험은 1·2차 경운과 운반의 3가지 작업을 대상으로 하였다. 이중 운반작업은 농로와 포장 도로운반 2가지 경우를 고려하였다. 1차 경운과 2차 경운에는 각각 몰드 보드 플라우와 로터리 경운기를 사용하였으며 운반 작업에는 트레일러를 사용하였다. 경운작업은 논과 초지에서 실시하였으며, 초지는 서로 다른 두곳을 대상으로 하였다.

경운 작업중 농용 트랙터의 변속기에 작용하는 부하는 경운 깊이, 경운날의 수, 토양 표면의 상태, 운전자의 숙련도 등 많은 요인의 영향을 받는다. 그러나 이 모든 요인을 고려하기는 어렵다. 본 연구에서는 토양 상태와 운전 속도만을 고려하여 실험을 수행하였다.

1·2차 경운은 농용 트랙터 사용자들이 일반적으로 사용하는 경운 속도에서 실시하였다. 운반작업은 모두 2-3°의 경사지에서 실시하였으며, 2ton을 적재한 트레일러를 경사 상향으로 견인하였다. 본 연구에서는 일정한 하중을 적재한 트레일러를 변속단수 H1(9.87km/h), H2(13.85km/h), H3(18.76km/h)의 3가지의 속도로 견인하였다. 표 1은 실험용 트랙터를 정격부하상태에서 변속단수에 따른 주행속도이다.

Table 1. Test tractor speed at rated engine speed.

Sub shift	M				H			
Main shift	1	2	3	4	1	2	3	4
Speed(km/h)	2.93	4.11	5.57	7.31	9.87	13.85	18.76	24.62

## 3. 결과 및 고찰

### 가. 밋션 프로파일

트랙터 사용자가 작업중 가장 많이 사용하는 변속 단수를 결정하기 위하여 1997년 4월, 30-50 마력 농용 트랙터 36대를 대상으로 작업에 사용되는 변속단수를 조사하였다. 그림 1은 경운과 운반작업에서 주로 사용되는 변속단수를 나타낸 것이다.

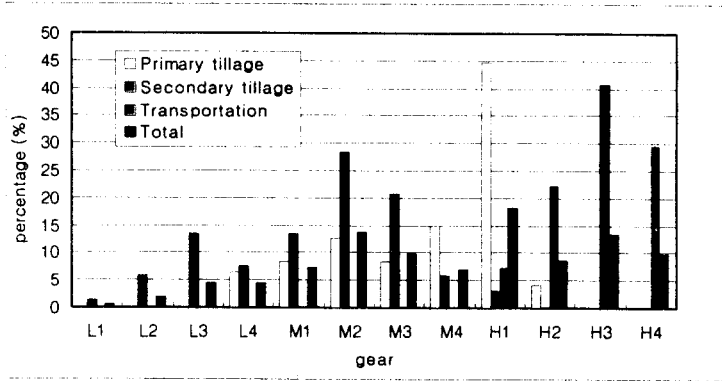


Fig. 1. Gears used in tillage and transportations

그림 1에서 1차 경운, 2차 경운, 운반 작업은 각각 H1(9.87km/h), M2(4.11km/h), H3(18.76 km/h)를 가장 많이 사용하는 것으로 나타났다. 1996년 1월, 30-50 마력 트랙터 46대를 대상으로 연간 사용시간을 조사하였다. 표 1은 연간 경운 작업과 운반작업에 사용되는 시간을 나타낸 것이다.

Table 1. Annual work hours for tillage and transportation.

	Primary tillage	Secondary tillage	Transportation
Annual use(hr/year)	130.8	161.8	152

작업 속도는 실제 작업 조건에서 측정하여야 하나, 모든 작업 조건에서 작업 속도를 측정하는 것은 어려운 일이므로 가장 많이 사용되는 변속단수에서의 속도분포를 구하였다. 그림 2는 작업 속도의 분포를 나타낸다.

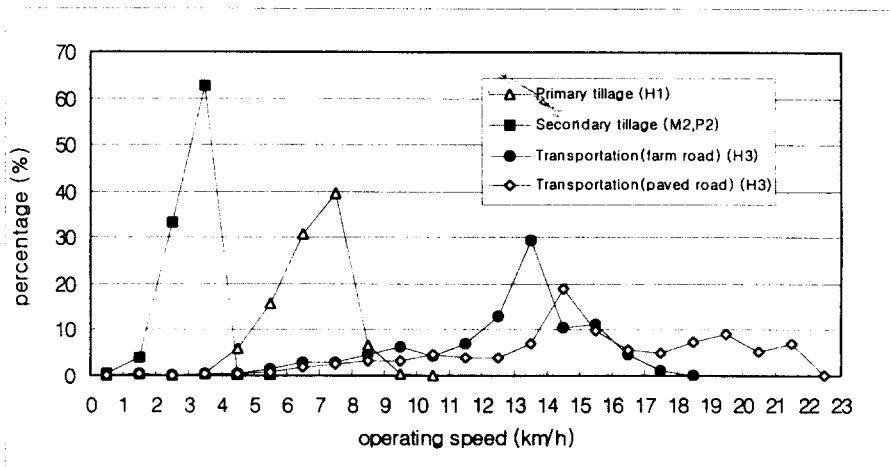


Fig. 2. Operating speeds for tillage and transportation.

작업별 사용 속도를 보면, 1차 경운은 7-8 km/h, 2차 경운은 3-4 km/h, 운반 작업은 농로에서는 13-14 km/h, 포장도로에서는 14-15 km/h의 범위인 것으로 나타났다.

나. 부하 특성

1) 1차 경운

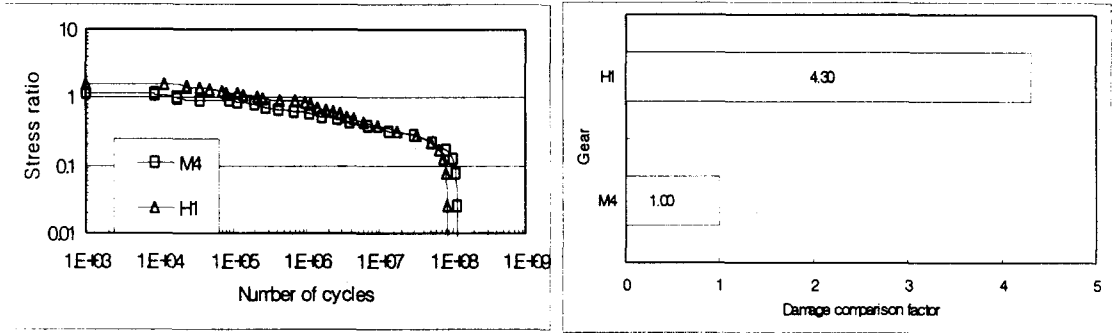


Fig. 3. Comparison of the load spectra and relative damages of primary tillage

그림 3은 1차 경운 작업의 부하 스펙트럼을 나타낸 것이다. 왼쪽 그래프의 세로축은 정격 부하에 대한 측정된 부하의 비로 표시하였다. 고속 작업이 저속 작업에서보다 부하 수준이 높은 것으로 나타났다. H1(9.87km/h)으로 작업할 때의 가속도는 M4로 작업할 때의 가속도에 비하여 약 4배정도이었다. 따라서 작업속도가 빠를수록 변속기에 작용하는 하중은 증가한다.

2) 2차 경운

2차 경운의 경우, 부하 하중의 변동은 트랙터의 운전 속도보다 PTO의 각속도에 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났다.

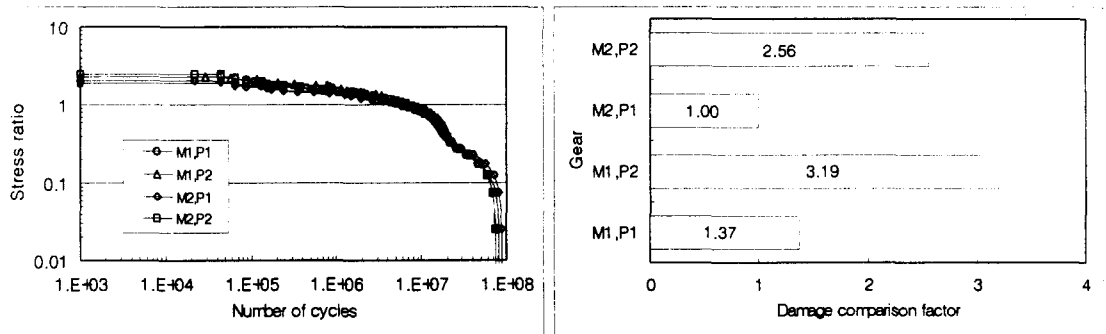


Fig. 4. Comparison of the load spectra and relative damages of secondary tillage

그림 4에서 가속도가 가장 낮은 경우는 M2(4.11km/h)와 P1으로 작업했을 때이다. 같은 단수에서 PTO기어를 P2로 변화시켰을 때 P1일때에 비하여 약 2.5배의 가속도를 나타냈다. 이와 반대로, 같은 PTO속도에서는 트랙터의 속도가 증가할수록 가속도가 감소하는 경향을 보였다. 이는 트랙터의 주행 속도에 대한 로터리 경운날의 상대속도에 따라 가속도가 변화된

다는 것을 나타낸다. 경운날의 주속도와 트랙터의 주행속도는 2차 경운 작업의 부하특성에 가장 큰 영향을 미친다. 경운날에 의한 전진작업은 트랙터의 변속기에 큰 진폭의 토크를 발생시킨다.

### 3) 운반 작업

그림 5와 6은 농로와 포장도로에서 운반작업을 수행할 때 변속기에 작용하는 하중 스펙트럼과 가속도를 나타낸 것이다. 전진 속도가 H1(9.87km/h)에서 H3(18.76km/h)으로 증가할수록 가속도는 H1(9.87km/h)을 기준으로 50배 가까이 증가한다. 운반 속도와 가속도의 관계에서, 운반속도의 증가에 따라 가속도는 5배정도 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 트랙터가 H4(24.62km/h)로 운전할 경우, 가속도는 H1(9.87km/h)에 비하여 약 80배가 될 것으로 예측된다.

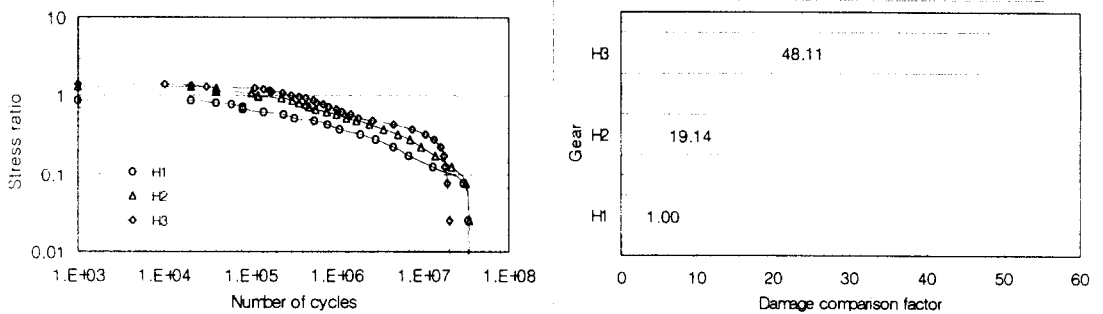


Fig. 5. Comparison of the load spectra and relative damages of transportation on farm road

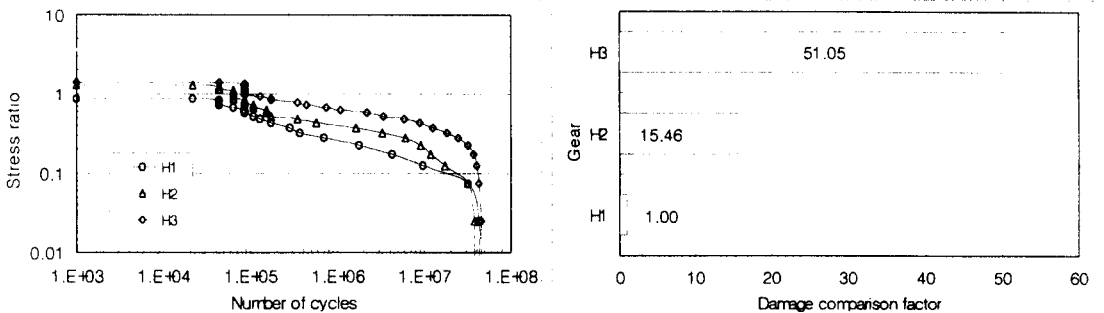


Fig. 6. Comparison of the load spectra and relative damages of transportation on paved road

그러나 이런 관계로부터 일반적인 경우의 가속도를 예측하기 위한 식을 유도하기는 다소 어려움이 있다. 명확한 관계를 구명하기 위해서는 더 많은 실험 결과가 요구된다.

각 작업에 대한 가속도 분석에서 1차 경운과 운반 작업시에는 트랙터의 속도가 증가할수록 가속도가 증가하였으나, 2차 경운시에는 운전 속도보다는 PTO의 각속도에 더 큰 영향을

받는 것으로 나타났다.

#### 4) 전체 가속도

그림 7은 위에서 분석한 4개 작업에 대한 부하 스펙트럼과 가속도를 동시에 나타낸 것이다. 2차 경우의 하중이 가장 크고, 1차 경우는 운반 작업에 비해 약간 큰 정도의 하중이었다. 가속도 분석에서는 각 작업의 차이가 명확히 구분된다. 2차 경우의 가속도는 다른 작업에 비하여 매우 크고 1차 경우의 가속도는 운반작업에 비하여 약간 큰 정도이다. 운반 작업은 농로에서의 운반작업이 포장도로에서의 운반작업보다 가속하였다.

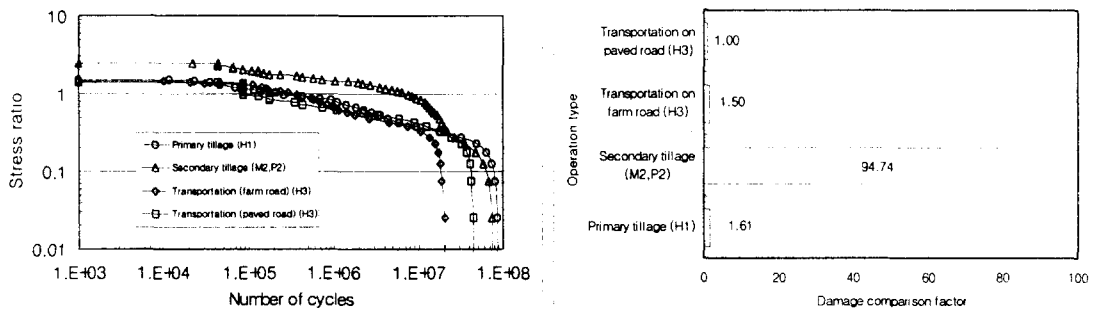


Fig. 7. Comparison of the load spectra and relative damages of four operations

이상의 결과로부터 2차 경우가 다른 작업에 비하여 가속도가 심하고 1차 경우의 가속도는 비교적 낮은 것으로 판단된다. 이러한 결과의 원인은 다음과 같이 설명할 수 있다.

첫째, 2차 경우에서 큰 토크가 작용하는 것은 로터리 경운날의 회전에 의한 것으로 생각된다. 둘째, 일반적으로 토양 의 표면 상태가 거칠 경우 2차 경우시 토크의 진폭이 증가한다. 셋째, 경심이 증가할수록 변속기에 작용하는 부하는 증가된다.

#### 4. 요약 및 결론

본 연구에서는 1·2차 경우, 농로와 포장도로에서의 운반작업에 대한 부하 스펙트럼과 가속도 분석을 실시하였다. 결과는 다음과 같다. 1차 경우의 경우 변속단수가 H1(9.87km/h)일 때 작업부하는 M4일 때에 비하여 4배정도 가속하였다. 2차 경우에서는 PTO 단수가 P2일 때 P1일 때에 비하여 2.5배정도 가속하였다. 반대로, 같은 PTO속도에서는 주행 속도에 따라 가속도가 크게 변화되지 않았다. 운반작업에서는 주행속도가 H1(9.87km/h)에서 H3(18.76km/h)으로 증가할수록 가속도는 H1(9.87km/h)보다 50배 정도까지 빠른 속도로 증가하였다. 모든 작업에서 2차 경우의 가속도는 다른 작업에 비하여 가장 높고, 1차 경우의 가속도는 운반 작업에 비하여 다소 높은 것으로 나타났다. 또한, 농로에서의 운반작업이 포장도로에서의 운반작업에 비하여 가속하였다.

## 5. 참고 문헌

1. 민병훈, 정원욱. 1994. 차량의 가속내구시험을 위한 TEST ROAD PROFILE 설계 방법. 한국 자동차 공학회 논문집 2(1): 128-141.
2. 정원욱, 강성숙. 1995. 피로수명 예측법을 이용한 각 도로가 차량의 내구성에 미치는 가속도 평가. 한국 자동차 공학회 논문집 3(6): 154-161.
3. Bannantine, J. A., J. J. Comer and J. L. Handrock. 1990. Fundamentals of metal fatigue analysis. Prentice Hall. P1-87.
4. Dowling, N. E. 1972. Fatigue failure predictions for complicated stress-strain histories. Journal of Materials 7(1): 71-87.
5. Gerlach, A. 1966. Field measurement of tractor transmission forces. Trans. of the ASAE 9(5): 707-712.
6. Grubisic, V. 1994. Determination of load spectra for design and testing. Int. J. of Vehicle Design 15(1): 8-26.
7. Rahama, O. A., J. C. William and T. Shaoqi. 1986. Peak and average loads on tractor structures. Paper presented at the meeting of American Society of Agricultural Engineers. No. 86-1064.
8. Renius, K. Th. 1977. Application of cumulative damage theory to agricultural tractor design elements. KONSTRUKTION 29(3): 85-93.
9. Renius, K. Th. 1992. Developments in tractor transmissions. The Agricultural Engineer 47(2): 44-48.
10. Shigley, J. E. and C. R. Mischke. 1989. Mechanical engineering design. McGraw-Hill. P185-322.