

농용 트랙터의 변속기 부하 가혹도에 관한 연구

Severeness of Transmission Loads of Agricultural Tractors

김 중 현*	김 경 욱**	최 원 철**	오 영 근**
	정희원		
J. H. Kim	K. U. Kim	C. W. Choi	Y. G. Wu

ABSTRACT

This study was intended to investigate the characteristics of loads acting on the transmission of agricultural tractors during plowing, rotavating and transporting operations. A survey was conducted to determine working speeds and transmission gears most frequently used for each operations. The transmission loads were measured at the input shaft of the transmission gear box during each operations. Time histories of the measured torque loads were converted into a load spectrum and analyzed with respect to the S-N curve of the shaft material to estimate the partial damages on the transmission. Finally, comparison of the relative damages and severeness of each operation was presented and discussed.

주요용어(Key Words): 미션 프로파일(Mission profile), 상대적 가혹도(Relative damage sum), 부하 스펙트럼 (Load spectrum), 가혹도(Severeness)

1. 서 론

트랙터 변속기는 트랙터 전체 가격의 약 25~30%를 차지하는 중요한 장치이다. 따라서, 트랙터의 가격 경쟁력을 높이기 위해서는 용도에 따라 적절한 기능과 가격의 변속기를 설계하여야 한다.

트랙터의 용도에 따라 적절한 기능의 변속기를 설계하기 위해서는 각종 트랙터 작업의 형태, 작업 조건, 작업 속도, 작업 방식, 변속 단수, 변속 횟수 등 미션 프로파일(mission profile)의 내용과 변속기에 작용하는 부하의 특성을 구명하여야 한다. 이러한

특성은 토양 조건, 사용 지역, 운전자의 운전 습관 등에 따라서 다양하게 변화된다.

트랙터 작업은 최근, 프론트 로더, 베일러 등을 이용한 로더 작업과 목초 수확 작업 등이 증가되고 있으나, 가장 일반적인 작업은 경운, 췌토, 운반 작업이다. 변속기 설계에 이러한 트랙터 작업의 특성을 반영하기 위해서는 작업별 연간 사용 시간, 작업 속도와 변속 단수의 분포, 변속기에 작용하는 부하의 크기와 빈도 등에 대한 데이터가 요구된다. 실제 트랙터가 수행하는 모든 작업 조건에서 부하 측정과 분석이 이루어져야 하며, 또한, 변속기에 미치는 각

* 대우자동차 중앙기술연구소

** 서울대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부

작업의 가혹도를 구명하여야 한다.

본 연구는 국내에서 사용되고 있는 농용 트랙터의 밧션 프로파일을 분석하고, 주요 작업의 가혹도를 구명하기 위하여 수행되었다.

밧션 프로파일을 분석하기 위해서는 트랙터의 이용 실태를 조사하여야 한다. 국내에서도 트랙터의 이용 실태에 대해서는 다수의 조사 연구가 수행되었으나(박, 1990, 신, 1996), 변속기 설계의 관점에서 수행된 것이 아니기 때문에 그 결과를 직접 밧션 프로파일 분석에 이용하기는 어렵다.

변속기의 작업 부하에 대해서는 Gerlach(1966)이 그 특성을 분석한 바 있다. 그의 측정에 의하면 변속기에 작용하는 순간 최대 부하 토크는 일반적으로 정격 토크의 250%를 넘지 않는 것으로 나타났다. 변속기의 부하 스펙트럼에 대한 연구로서는 Grubisic(1994)의 연구가 있으며, 그는 부하 스펙트럼을 이용한 피로 수명의 예측 방법을 제시하였다. 국내에서는 정과 강(1995)이 두 가지 형태의 도로 조건에서 승용 자동차에 작용하는 총부하 수준 즉, 상대적인 가혹도를 평가할 수 있는 방법을 제시한 바 있다.

2. 트랙터 이용 실태

가. 연간 이용 시간

트랙터의 주요 작업별 연간 사용 시간을 결정하기 위하여, 1996년 1월, 30~50 마력급 트랙터 46대를 대상으로 이용 실태를 조사하였다(김, 1996). 조사 대상 트랙터는 전국을 대상으로 농촌지도소에서 추

천한 트랙터를 임의로 선정하여 결정하였으며, 트랙터 소유자를 직접 방문하여 청문 형식으로 조사하였다. 조사 결과에 의하면 30~50 마력급 트랙터의 연간 총사용 시간은 평균 408.2시간이었으며, 쟁기 작업이 평균 130.8시간, 로터리 작업이 평균 161.8시간, 운반 작업이 평균 152시간, 방제 작업이 평균 27시간, 파종 작업이 평균 14.8시간이었다. 따라서 트랙터는 표 1에서와 같이 주로 쟁기, 로터리, 운반 작업에 사용되고 있으며, 변속기에 작용하는 부하가 큰 작업도 로터리, 쟁기, 운반 작업인 것으로 알려지고 있다. 가혹도 분석은 이 세 작업에 대하여 실시하였다.

나. 변속 단수

쟁기, 로터리, 운반 작업에서 가장 많이 사용되고 있는 변속 단수를 결정하기 위하여 1997년 4월, 국내 T사에서 생산된 30~50 마력급 트랙터 36대를 대상으로 운전 실태를 조사하였다(김, 1998). 조사 지역은 각 도별로 1~4지역씩, 경운 부하가 비교적 큰 지역으로서, 농기계 대리점이 추천한 19개 지역을 대상으로 하였다. 조사 방법은 운전자를 직접 방문하여, 각 작업에서 주로 사용하는 변속 단수를 질문하는 형식으로 하였다. 경운 작업에서는 주로 이랑 쟁기와 반전 쟁기가 사용되고 있으며, 경폭은 트랙터의 출력에 따라 다르나 80~230cm이고, 경심은 10~30cm의 범위에서 평균 17.3cm이었다. 로터리와 운반 작업에서는 트랙터를 구입할 때 함께 구입한 로터리와 트레일러를 사용하였다. 그림 1은 쟁기, 로터리, 운반 작업에서 주로 사용되고 있는 변속 단수의 분포를 나타낸 것이다.

그림 1에서와 같이 쟁기 작업에서는 주로 고속 1단(H1)과 중속 4단(M4)이 사용되고 있으며, 사용율은 각각 45%와 15%이었다. 따라서, 경운 작업은 대부분 H1단으로 수행되고 있으며, 부하가 큰 경우에는 M4단이 사용되는 것으로 판단된다. 기관의 정격

Table 1 Annual work hours of tractor for tillage and transporting operations

Operation	Annual use (hr/year)
Plowing	130.8
Rotavating	161.8
Transportation	152

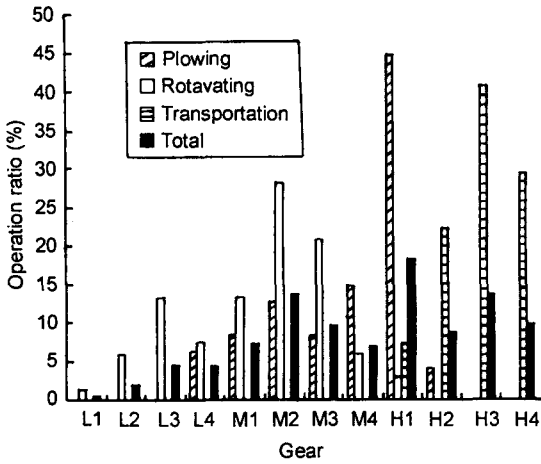


Fig. 1 Gears used in tillage and transporting operations.

속도에서 H1단과 M4단의 작업 속도는 각각 9.9 km/h, 7.3 km/h이었다. 로터리 작업에서는 중속 2단(M2)과 중속 3단(M3), 운반 작업에서는 고속 3단(H3)과 고속 4단(H4)의 사용율이 높은 것으로 나타났다. 변속 단수가 M2, M3, H3, H4 일 때 각각의 작업 속도는 4.1 km/h, 5.6 km/h, 18.8 km/h, 24.6 km/h이었다.

3. 가혹도 시험

쟁기, 로터리, 운반 작업이 변속기에 미치는 가혹도를 구명하기 위하여, 각각의 작업을 수행하여 작업별 속도 분포와 부하 스펙트럼을 작성하였다. 쟁기와 로터리 작업에서 트랙터의 변속기에 작용하는 부하는 경심, 경폭, 경운날의 수, 토양 상태, 운전자의 숙련도 등 많은 요인의 영향을 받는다. 그러나 본 연구에서는 경심, 경폭, 경운날의 수, 운전자의 숙련도는 동일한 조건으로 하였으며, 토양 상태만을 변화시켜 가혹도 시험을 실시하였다.

본 연구에서 가혹도는 트랙터의 작업 부하가 변속기의 피로 수명에 미치는 영향을 나타내기 위한 것으로서, 각 작업별로 작업 부하에 의하여 변속기 입

Table 2 Soil conditions for plowing operation

Surface Type	Soil Type	Cone Index kPa			MC %
		0cm	5cm	10cm	
Paddy field	Loamy Sand	407.4	584.5	599.8	30.5
Grass land (I)	Sand	423.3	593.7	858.5	24.2
Grass land (II)	Sand	45.7	599.9	846.2	25.3

력축이 받는 부분 손상의 합(partial damage sum)을 구하여 이를 상대적으로 나타낸 것이다.

가. 작업 조건

1) 쟁기 작업

쟁기 작업은 양용 3륜 몰드보드 플라우를 사용하여 한 지역의 논과 두 지역의 초지에서 실시하였다. 쟁기의 경폭은 741mm이고 경심은 203mm이었다. 논은 그루터기가 있는 사양토로서, 함수비가 30.5%이고 지면에서의 콘지수가 407.4인 비교적 단단한 토양이었다. 초지는 약간 건조한 상태의 사질토로서 지면이 단단한 경우와 아주 연약한 경우를 대상으로 하였다. 작업 속도와 방법은 트랙터 운전자의 경험에 따라 결정하도록 하였다. 표 2는 쟁기 작업을 실시한 토양 조건을 나타낸 것이다. 원추지수는 지면적이 645 mm²이고 정각이 30°인 원추로써 측정하였으며, 함수율은 오븐 건조법으로써 결정하였다.

2) 로터리 작업

로터리 작업은 경폭이 1,650mm인 로터리를 사용하였으며, 경심은 150mm로 하였다. 로터리 날은 C형이고, 날 수는 36개 이었다. 토양 조건은 쟁기 작

업에서와 같은 조건으로 하였다.

쟁기 작업과 로터리 작업에서 사용한 변속 단수는 운전 실태 조사에서 사용을 가장 높은 변속 단수로 하였다. 즉, 쟁기 작업에서는 주로 고속 1단으로 작업하고, 과부하가 작용하는 경우에는 중속 4단으로 감속하였다. 로터리 작업에서는 주로 중속 2단으로 작업하고, 과부하가 작용하는 경우에는 중속 1단으로 감속하였다. 로터리를 구동하기 위한 PTO 단수는 중속 2단인 경우에는 2단, 중속 1단인 경우에는 1단으로 하였다.

표 3은 기관의 정격 속도에서 각 변속 단수의 속도를 나타낸 것이다. PTO 1단과 2단의 속도는 각각 588 rpm, 704 rpm이었다.

Table 3 Working speeds of tractor at a rated engine speed

Sub shift	M				H			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Main shift								
Speed (km/h)	2.9	4.1	5.6	7.3	9.9	13.9	18.8	24.6

Table 4 Specifications of tractor used for load severity tests

Rated power	41 ps/2,600 rpm
Wheel base	1,900 mm
Weight dist.	Front : 7.0 kN Rear : 10.0 kN
Tires	Front : 8~18 4 PR Rear : 13.6~28 6PR
Gears (forward/backward)	16/16
Transmission	Constant - mesh
PTO speed, rpm	588, 704, 1,057, 1,321

3) 운반 작업

운반 작업은 적재 용량이 2톤이고, 자중이 1314 N인 트레일러를 부착하여, 농로와 포장 도로, 2가지 조건에서 실시하였다. 작업 조건은 2~3°의 경사지에서 2 ton의 화물을 적재한 상태에서 상향으로 주행하도록 하였으며, 주행 속도는 9.5~19.0 km/h의 범위로 하였다.

나. 부하 측정

변속기에 작용하는 부하는 변속기 입력축 토크로써 나타내었다. 변속기 입력축 토크는 클러치를 통과한 기관 출력축에 스트레인 게이지를 부착하고, 스트레인 신호를 무선으로 데이터 로거에 입력하여 측정하였다. 또한, 기관 속도, 구동륜의 각 속도, 트랙터의 주행 속도는 로터리 엔코더와 속도 센서를 이용하여 실측하였다. 계측된 신호는 모두 데이터 로거에 저장하여 분석하였다. 사용된 계측 장비의 명세와 자세한 계측 방법은 김(1998)의 논문에 수록되어 있다.

작업에 사용된 트랙터는 41마력이며, 변속 단수는 전진 16, 후진 16단으로서 동기물림식이었다. 표 4는 가혹도 시험에 사용된 트랙터의 명세를 나타낸 것이다.

4. 가혹도 분석

가. 작업 속도 분포

작업 속도는 가장 많이 사용되고 있는 변속 단수, 즉 쟁기 작업에서는 고속 1단, 로터리 작업에서는 중속 2단, 운반 작업에서는 고속 3단에서 실측한 속도를 기준으로 분석하였다. 각 작업에서 실측한 작업 속도의 분포는 그림 2에서와 같다. 작업 속도를 작업별로 보면, 쟁기 작업의 경우 40%는 7~8 km/h의 속도로써, 로터리 작업의 경우 60% 이상은 3~4

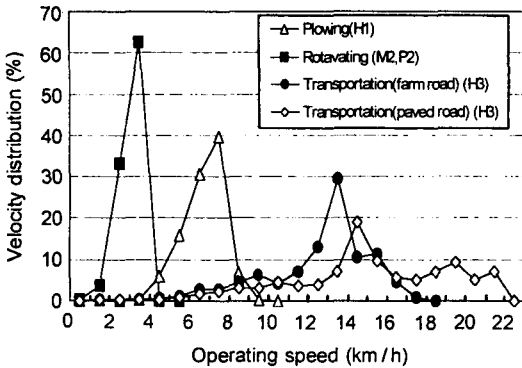


Fig. 2 Distribution of working speeds for plowing, rotavating and transportations.

km/h의 속도로써, 농로 운반 작업의 경우 30% 정도는 13~14 km/h의 속도로써, 포장 도로 운반 작업의 경우 20% 정도는 14~15 km/h의 속도로써 작업한 것으로 나타났다. 그러나, 사용율이 가장 높은 작업 속도를 기준으로 할 때, 속도 범위는 쟁기 작업에서는 1.1 km/h, 로터리 작업에서는 0.4 km/h로서 비교적 적었으나, 운반 작업에서는 농로 운반이 2.8 km/h, 포장 도로 운반이 4.1 km/h로서 대단히 넓었다.

나. 부하 스펙트럼

부하 스펙트럼을 작성하는 데 사용된 쟁기 및 로터리 작업의 부하는 각각 세 지역에서 측정한 부하를 평균하여 사용하였다.

변속기 입력축에서 측정한 토크-시간 선도의 데이터를, 레인 플로우 카운팅(rain flow counting) 방법으로써, 토크의 크기와 빈도수의 관계로 변환하였다. 즉, 주 변속 단수에서 각 작업을 수행할 때, 토크의 크기와 빈도수의 관계, 즉 부하 스펙트럼을 작성하였다. 실제 측정한 토크-시간 선도는 제한된 시간에서 측정된 것이기 때문에 토크 사이클도 실제 측정된 시간 범위에서 카운팅된 것이다. 따라서, 트랙터의 일생 동안에 나타날 것으로 예상되는 총 토크 사이클은 다음 식으로 추정하였다.

$$N_e = 3600Nw_iT$$

여기서 N_e = 일생 동안의 총 토크 사이클, cycle/sec
 N = 단위 측정 시간당 토크 사이클, cycle/sec
 w_i = 일생 중 각 작업이 차지하는 시간비, 소수
 T = 트랙터의 수명, 시간

트랙터의 일생에 대한 각 작업의 시간비, w_i 는 트랙터 이용 실태 조사의 결과를 이용하여,

$$\text{쟁기 작업} : \frac{130.8}{408.2} = 0.32$$

$$\text{로터리 작업} : \frac{161.8}{408.2} = 0.40$$

$$\text{농로 운반} : \frac{76}{408.2} = 0.19$$

$$\text{도로 운반} : \frac{76}{408.2} = 0.19$$

와 같이 가정하였으며, 트랙터의 수명은 3,000시간으로 가정하였다. 부하 스펙트럼에서 부하 토크의 크기는 기관의 정격 토크에 대한 부하 토크의 비로써 나타내었으며, 정격 토크는 112.3 N-m로 하였다.

부하 토크가 변속기 입력축에 미치는 가속도는 각 부하 토크로 인한 입력축의 부분 손상으로써 나타내었다. 부분 손상은 마이너(Miner)의 부분 손상 이론(partial damage theory)을 적용하여 구하였으며, 부분 손상을 구하기 위한 입력축의 S-N 선도는 피로 한계 이하의 부하 토크를 고려하기 위하여 그림 3에서와 같이 대수-대수 좌표계에서 직선으로 선형화된 식을 사용하였다.

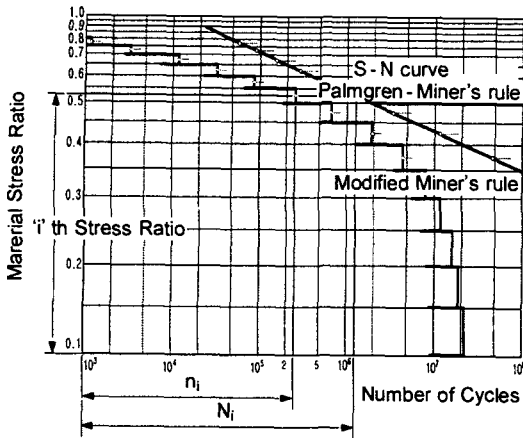


Fig. 3 S-N curve for evaluating the partial damages on the input shaft of the transmission.

입력축의 피로 강도는 다음과 같이 계산하였으며, 이 때 각 계수의 값은 실제 작동 조건을 고려하여 연구자가 임의로 결정하였다.

$$S_e = k_b k_c k_d k_e S'_e$$

여기서, S_e = 입력축의 피로 강도

S'_e = 입력축 시편의 피로 강도

k_b = 표면 계수

k_c = 크기 계수

k_d = 부하 계수

k_e = 온도 계수

k_f = 피로 응력 집중 계수

표 5는 변속기 입력축의 시편 강도와 각 계수의 값을 나타낸 것이다. 시편의 극한강도는 열처리 되었기 때문에 로크웰 경도로부터 추정하였으며, 피로 강도는 극한강도가 1,400MPa 이상이므로 700MPa로 결정하였다(Shigley and Mischke, 1989).

시편 강도와 각 계수의 값을 이용하여 구한 입력축의 허용 피로강도는 223MPa이었으며, 선형화된 S-N 선도는 다음과 같이 표현되었다.

Table 5 Fatigue strength of input shaft and values of modifying factors

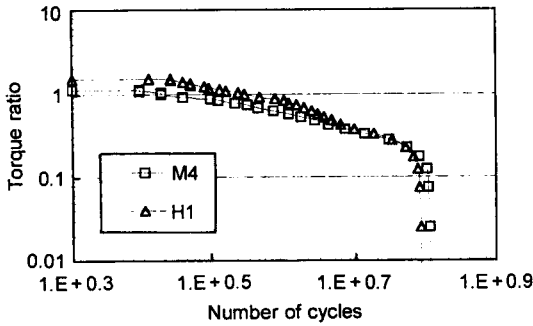
Material	SCM420H, HRC 58-63
Ultimate strength	1,817 MPa
Fatigue strength	700 MPa
Surface factor	0.624
Size factor	0.876
Load factor	0.577
Temperature factor	1.010
Fatigue stress concentration factor	1.0

$$N = 10^{\frac{[\log 10^6 - 6.097 \log \frac{S}{223}]}{2.23}}$$

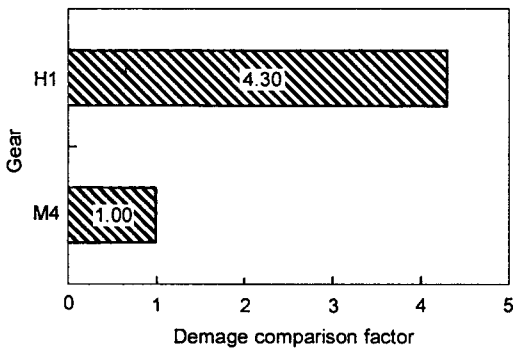
변속기 입력축의 부분 손상을 구하기 위하여 S-N 선도와 부하 스펙트럼의 부하 수준을 일정 수로 등분하고, 각 부하 수준에서 S-N 선도의 빈도수에 대한 스펙트럼의 빈도수의 비를 구하였다. 모든 부하 수준에서 구한 이 빈도수의 비를 더하면 입력축에 대한 총손상이 된다. 가속도는 이 총손상으로써 나타낼 수 있다. 본 연구에서는 부하 수준을 64등분 하였으며, 각 작업 조건의 가속도는 총손상이 가장 작은 작업 조건을 기준으로 한 상대 가속도로써 나타내었다.

(1) 쟁기 작업

그림 4는 쟁기 작업의 부하 스펙트럼과 가속도를 나타낸 것이다. 고속 작업일 때의 부하가 저속 작업일 때보다 큰 것으로 나타났으며, H1로 작업할 때의 가속도는 M4로 작업할 때에 비하여 약 4.3배 정도인 것으로 나타났다. H1과 M4의 작업 속도가 각각 7.3 km/h, 9.9 km/h이므로 작업 속도가 35.6% 증가하였을 때 가속도는 430% 증가한 것이다.



[a] Load spectra

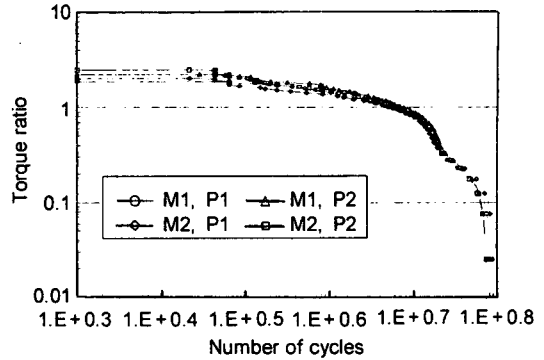


[b] Relative severeness

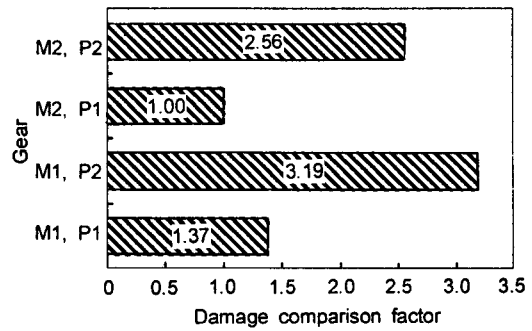
Fig. 4 Load spectra and relative severeness of tillage operation.

(2) 로터리 작업

로터리 작업의 경우, 부하 토크의 변동은 작업 속도보다는 PTO 속도에 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 그림 5에서와 같이 가혹도가 가장 낮은 경우는 변속 단수 M2와 PTO 단수 P1으로 작업한 경우이다. 같은 단수에서 PTO 단수를 P2로 증속하였을 때 가혹도는 약 2.6배 증가하였다. 즉, PTO 속도를 20% 증가시켰을 때 가혹도는 260% 증가하였다. 그러나, 같은 PTO 속도에서는 작업 속도가 증가할수록 가혹도는 감소되는 경향을 나타내었다. 즉, PTO 1단 및 2단 속도에서 주행 속도를 40% 증가시켰을 때 가혹도는 20~27% 정도 감소하였다. 이는 주행 속도에 대한 로터리 경운날의 상대 속도에 따라 가혹도가 변화된다는 것을 나타낸다. 즉, 경운날의 주



[a] Load spectra



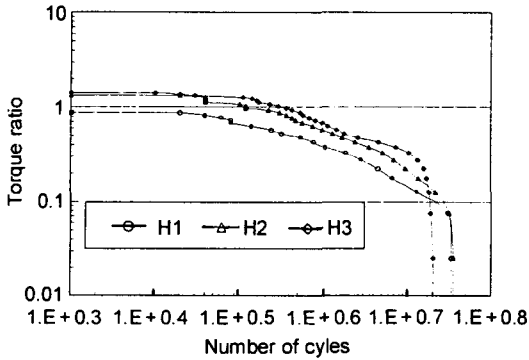
[b] Relative severeness

Fig. 5 Load spectra and relative severeness of rotavating operation.

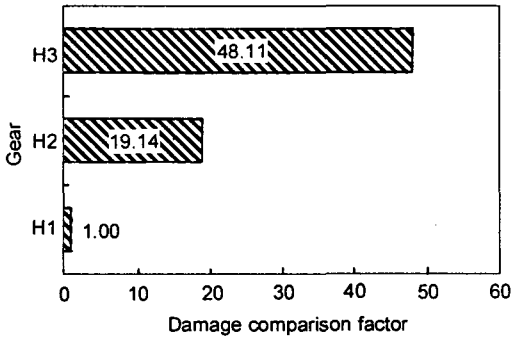
속도와 트랙터의 주행 속도는 로터리 작업의 부하 특성에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다. 경운날의 주속도가 트랙터의 주행 속도보다 빠른 경우, 경운날에 의한 도보(walking) 현상은 변속기에 작용하는 부하를 크게 증가시키는 것으로 판단된다.

(3) 운반 작업

그림 6과 7은 각각 농로와 포장로 운반 작업에서 변속기에 작용하는 부하 스펙트럼과 가혹도를 나타낸 것이다. 주행 속도가 H1에서 H3으로 증가되었을 때, 즉 9.9 km/h에서 18.8 km/h로 증가되었을 때 가혹도는 농로 운반과 포장 도로 운반에서 모두 H1에 비하여 약 48~50배 증가하였으며, H2로 증가되었을



[a] Load spectra



[b] Relative severeness

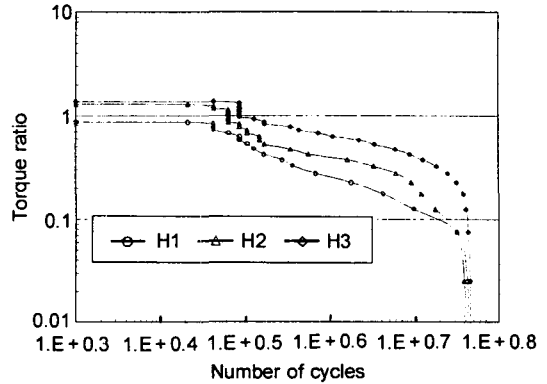
Fig. 6 Road spectra and relative severeness of transportation on farm road.

때는 15~19배 증가하였다. 속도 증가로 인한 가혹도의 증가는 농로보다는 포장 도로에서 더욱 크게 나타났다.

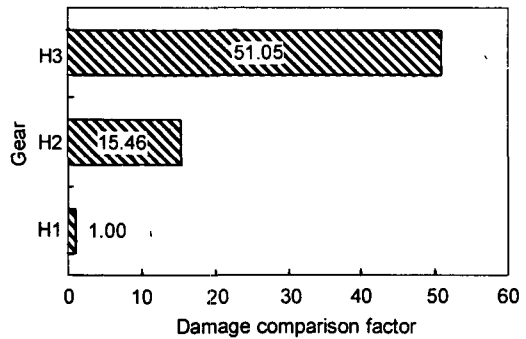
가혹도 분석 결과에 의하면, 운반 속도가 증가되었을 때 가혹도는 증가된 속도의 4.5~5.5배 수준으로 증가되는 경향을 나타내었다. 이러한 경향을 적용한다면, 운반 속도가 H4로 증가되었을 때 가혹도는 H1의 가혹도에 비하여 65~80배 증가할 것으로 예상된다.

(4) 종합 가혹도

그림 8은 이상에서 분석한 쟁기, 로터리, 농로 및 도로 운반 작업에서 부하가 큰 경우의 부하 스펙트럼과 가혹도를 동시에 나타낸 것이다. 4작업 중 로



[a] Load spectra

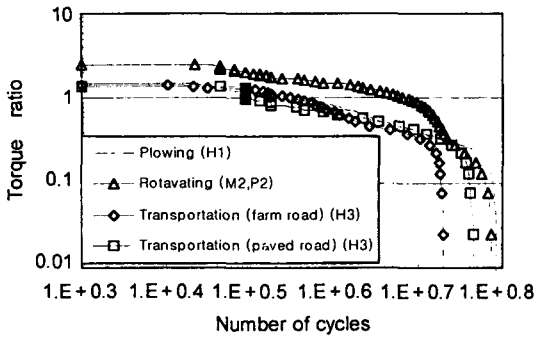


[b] Relative severeness

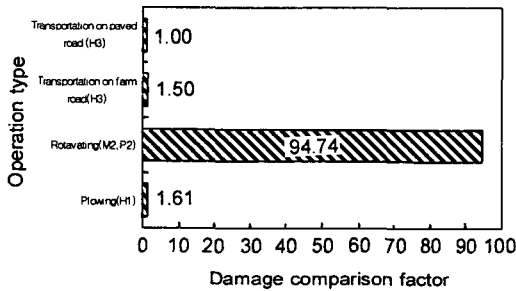
Fig. 7 Load spectra and relative severeness of transportation on paved road.

터리 작업의 가혹도가 가장 컸다. 도로 운반 작업의 가혹도를 1이라고 하면, 농로 운반 작업의 가혹도는 1.5, 쟁기 작업은 1.6, 로터리 작업은 94.7이었다. 경운 작업과 운반 작업에서는 트랙터의 속도가 증가할수록 가혹도가 증가되었으나, 로터리 작업의 가혹도는 주행 속도보다는 PTO 속도에 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났다.

로터리 작업이 다른 작업에 비하여 가혹도가 높고, 쟁기 작업의 가혹도가 비교적 낮은 이유는 쟁기 작업에서는 부하 변동이 적은 반면에, 로터리 날이 토양과 충돌할 때는 큰 부하가 발생되며 또한, 부하의 변동이 심하기 때문인 것으로 판단된다.



[a] Load spectra



[b] Relative severeness

Fig. 8 Load spectra and relative damages of major farm operations.

5. 결론 및 요약

본 연구는 트랙터 작업으로서, 쟁기, 로터리, 농로 운반, 도로 운반 작업을 수행할 때 변속기 입력축에 작용하는 부하의 특성과 가속도를 구명하기 위하여 수행되었으며, 주요 연구 결과는 다음과 같다.

1. 쟁기 작업의 경우, 작업 속도가 증가할수록 작업 부하는 증가하였으며, 가장 널리 사용되는 변속단수 H1으로 작업하였을 때의 가속도는 M4로 작업하였을 때에 비하여 약 4.3배 정도 가속하였다.

2. 로터리 작업의 경우, 부하 토크의 변동은 트랙터의 주행 속도에 대한 로터리 경운날의 상대 속도에 따라 변화되었다. 주행 속도가 일정할 때 로터리의 속도가 증가할수록 작업 부하는 증가하였으며, 로터리의 속도가 일정할 때는 주행 속도가 증가할수

록 작업 부하는 감소하였다.

3. 속도 증가로 인한 가속도의 증가는 농로 운반에서보다는 포장 도로 운반에서 더 크게 나타났다. 운반 속도가 증가되었을 때 가속도의 증가는 증가된 속도의 4.5~5.5배 수준인 것으로 나타났다.

4. 도로 운반 작업의 가속도를 1이라고 하면, 농로 운반 작업의 가속도는 1.5 쟁기 작업은 1.6 로터리 작업은 94.7이었다. 트랙터 작업중 로터리 작업의 가속도가 다른 작업에 비하여 가장 가속한 것으로 나타났다.

참고 문헌

1. 김경욱. 1996. 농업용 트랙터 트랜스미션의 부하 특성 해석 기술 및 설계 기술 개발. 동양물산기업(주) 중앙기술연구소.
2. 김대철. 1998. 트랙터 구동장치의 부하 스펙트럼 분석. 서울대학교, 공학석사 학위논문.
3. 민병훈, 정원옥. 1994. 차량의 가속 내구시험을 위한 TEST ROAD PROFILE 설계 방법. 한국자동차공학회 논문집 2(1):128-141.
4. 박원규. 1990. 농업기계의 이용 실태와 농작업의 기계화율에 관한 조사연구. 한국농업기계학회지 15(1):52-60.
5. 신승엽. 1996. 농기계 비용자료 기준 설정에 관한 연구. 농업기계화시험연구보고서. pp. 15-21.
6. 정원옥, 강성숙. 1995. 피로수명 예측법을 이용한 각종 도로가 차량의 내구성에 미치는 가속도 평가. 한국자동차공학회 논문집 3(6):154-161.
7. Gerlach, A. 1966. Field measurement of tractor transmission forces. Trans. of the ASAE 9(5):707-712.
8. Grubisic, V. 1994. Determination of load spectra for design and testing. Int. J. of Vehicle Design 15 (1):8-26.
9. Kim, J. H. 1998. Analysis of mission and trans-

- mission loads of agricultural tractors. Unpublished MS Thesis, Seoul National University.
10. 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.
11. Renius, K. Th. 1977. Application of cumulative damage theory to agricultural tractor design elements. KONSTRUKTION 29(3):85-93.
12. Shigley, J. E. and C. R. Mischke. 1989. Mechanical engineering design. McGraw-Hill. pp. 185-322.