

습답 로터리 작업에 대한 농용 트랙터의 변속기 부하 가혹도에 관한 연구

Severeness of Transmission Loads of Agricultural Tractor for Rotary Operations in Poorly Drained Paddy Field

한 경 훈*	김 경 옥*	오 영 근*
	정 회 원	
K. H. Han	K. U. Kim	Y. G. Wu

ABSTRACT

The objectives of this study were to analyze the load acting on the transmission when tractor performed rotary operations in the poorly drained paddy fields and to compare its severeness with those obtained under different operational conditions. The loads were measured at the input shaft of the transmission and the load spectrum was constructed using the rain-flow cycle counting method. The severeness of the loads was represented by the partial damage sum which was determined by using the modified Miner's rule. In the field with a shallow hardpan PTO speed affected severeness of the rotary operations greater than the forward speed did. In the field with deep hardpan, on the other hand, the effect of the forward speed was greater. The severeness in the well drained fields did not differ significantly from that in the field with a shallow hardpan. The severest load was recorded in the field with a deep hardpan.

주요용어(Key Words): 트랙터 변속기(Tractor transmission), 부하 스펙트럼(Load spectrum), 가혹도(Severeness) 로터리 작업(Rotary operation)

1. 서 론

적절한 트랙터 변속기를 설계하기 위해서는 변속기에 작용하는 부하의 특성을 구명하여야 한다. 트랙터의 변속기에 작용하는 부하는 주로 트랙터 자체의 특징, 작업의 종류, 토양 조건, 운전 방식, 작업자의 숙련도 등의 영향을 받는다. 이 중에서 운전 방식과 작업자의 숙련도는 그 영향을 정량화하기 어렵다. 따라서, 작업의 종류와 토양 조건에 따른 부하의 특징을 구명하고 이를 설계에 반영하기 위한 연구가 보다 강화되어야 한다.

현재 국내에는 변속기에 작용하는 각종 작업 부하

에 대한 기초 자료와 분석 결과가 부족한 실정이다. 최근 변속기의 입력축과 구동축에 작용하는 작업 부하를 측정하여 부하 스펙트럼을 개발하고(김, 1998), 주요 작업별 가혹도를 분석한 연구(김, 1998)가 수행된 바 있다. 그러나 이러한 연구는 모두 단단한 토양만을 대상으로 하였고 다양한 토양 조건을 다루지는 못하였다. 일반적으로 트랙터는 단단한 토양에서 사용되는 경우가 많으나, 배수 불량답, 습답 등 연약지에서 작업해야 할 경우도 있다. 이러한 연약지에서는 쟁기 작업보다는 주로 로터리 작업만이 수행된다. 이는 쟁기 작업에 의하여 경반이 파괴되기 쉽고, 경반이 파괴되면 이앙기 등 다른 기계는 침하가 심

* 서울대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부

하여 작업하기가 어렵기 때문이다. 변속기를 설계하고 시험하기 위해서는 단단한 토양에서 뿐만 아니라 습지 등 연약지에서도 작업 부하의 특징을 구명할 필요가 있다.

본 연구는 습지에서 로터리 작업을 수행할 때 트랙터 변속기의 입력축에 작용하는 작업 부하를 측정하여 각 작업 단수별 부하 스펙트럼을 작성하고, 가혹도를 비교하기 위하여 수행된 것이다.

2. 재료 및 방법

가. 포장 선정

차륜의 침하가 트랙터의 최저 지상고보다 크면 트랙터 작업은 불가능하다. 원추 지수를 측정하여 습도로 판단할 수 있고, 트랙터의 침하가 최저 지상고보다 작은 두 포장을 선정하여 실험을 수행하였다. 실험할 때 논의 상태는 벼를 수확한 후 15일이 경과하였으며, 배수가 되지 않아 토양 표면에 10 cm 정도의 물이 차 있었다. 장소 I은 경반이 얇은 곳으로서 로터리 작업을 할 때 트랙터의 침하는 10~15 cm 정도이었으며, 장소 II는 경반이 깊은 곳으로서 트랙터의 침하가 20~30 cm까지 일어났다. 경반에 이르기 전까지 토양 상태는 전형적인 습지의 상태로서 원추 지수는 100~300 kPa, 함수율 40~60% 범위 이었다. 표 1은 실험을 실시한 두 포장의 토양 조건을 나타낸 것이다. 토성은 미농무성(USDA)법을 이용하여 분류하였으며, 원추지수는 미국농공학회표준(ASAE Standard S313.2)에서 제시한 원추 관입 시험기를 이용하여 측정하였다. 연약한 토양에 대한 미국농공학회표준 원추 관입 시험기의 치수는 정각과 밀면적이 각각 30°, 323 mm² 이고, 로드의 직경은 15.88 mm이다. 함수율은 오븐 건조법으로 결정하였다.

Table 1 Soil conditions of test sites

Test site	Soil type	Cone index (kPa)				Average MC (%)
		10cm	15cm	20cm	25cm	
Site I	sand	280.0	738.1	1,112.6	-	44.64
Site II	sand	104.0	109.5	175.9	535.9	55.82

나. 부하 측정

계측용 트랙터(김, 1998)를 이용하여 로터리 작업을 수행하며 변속기 입력축 토크, 기관 속도, 차륜의 회전 속도, 주행 속도를 측정하였으며, 그림 1은 각 계측 장치에서 출력되는 신호와 데이터 수집 과정을 블록 선도로 나타낸 것이다.

작업 단수는 주행 속도 2수준과 PTO 속도 2수준을 조합하여 4가지 운전 조건에서 실험하였다. 엔진 속도는 정격 속도 2,600 rpm을 유지하였으며, 경심은 15~25 cm 범위로 하였다. 자료 수집 장치의 샘플링 속도는 기관의 영향을 고려하기 위하여 333.33 Hz로 설정하였으며, 1회의 부하 측정은 15초로 하였다. 표 2는 계측용 트랙터의 주요 명세를 나타낸 것이고, 표 3은 4가지 운전 조건에서 트랙터의 주행 속도와 PTO 속도를 나타낸 것이다.

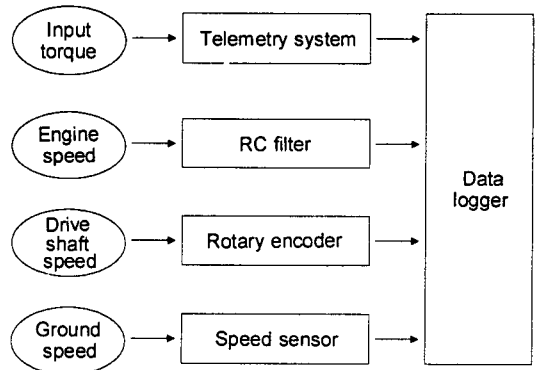


Fig. 1 Block diagram of data acquisition system.

Table 2 Specifications of used tractor

Model	TA 4140
Rated power / speed	41 ps / 2,600 rpm
Weight	17.10 kN
Wheel base	1,900 mm
Tire	8-18 4 PR (front) 13.6-28 6 PR (rear)
Gears (forward / backward)	16 / 16
PTO gears	4

Table 3 Forward and PTO speeds of used tractor at selected gears

Gear	Forward	Gear	PTO
M1	2.93 km/h	P1	588 rpm
M2	4.11 km/h	P2	704 rpm

다. 부하 분석

트랙터의 변속기 입력축에 작용하는 토크 부하는 그림 2에서와 같은 순서로 분석하였다. 토크 변환기로부터 입력된 스트레인 게이지의 신호를 측도 설정식을 이용하여 시간 함수의 토크 신호로 변환시켰다. D/A 컨버터를 이용하여 아날로그 신호를 디지털 데이터로 변환하고 레인플로우법(rainflow cycle counting method)을 적용하여 시간 함수의 부하를 부하의 크기와 빈도수의 관계로 전환하였다. 즉, 부하 스펙트럼을 작성하였다. 이 부하 스펙트럼에 선형 누적 손상법을 적용하여 작업 조건별 부하의 상대적 가혹도를 추정하였다.

1) 부하 스펙트럼

트랙터의 변속기 입력축에 작용하는 실제 하중은 지면 조건, 운전 방식, 작업 형태 등 다양한 요인에 의하여 변화되는 변동 하중으로서, 비결정적 신호이다. 이러한 변동 하중에 대한 부하의 크기별 빈도수를 결정하는 데는(cycle counting method) 여러 가지 방법이 적용되고 있으나 레인플로우법(rainflow counting method)이 가장 합리적인 것으로 알려져 있다(송지호, 1990).

부하 스펙트럼은 시간에 따라 변화되는 부하의 크기를 빈도수의 함수로써 나타낸 것이다. 본 연구에서는 시간 함수의 부하 신호를 레인플로우법을 적용하여 부하의 크기와 빈도수의 관계로 나타내었다. 이 때 부하가 완전 반복 하중이 아닌 경우에는 평균 하중의 영향(mean stress effect)을 고려하여야 한다. 본 연구에서는 스미스-왓슨-토퍼(Smith-Watson-Topper, 1970)식을 이용하여 평균 하중의 영향을 고려하였으며, 스미스-왓슨-토퍼 식은 다음과 같이 표현된다(Bannantine 등, 1990).

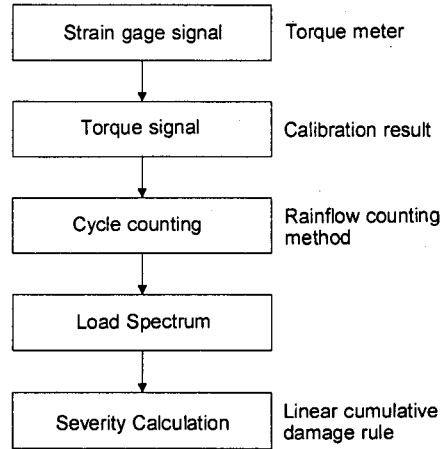


Fig. 2 Procedures for load analysis.

$$S_e = \sqrt{\sigma_a(\sigma_a + \sigma_m)} \dots\dots\dots (1)$$

여기서, S_e = equivalent stress
 σ_a = amplitude of stress
 σ_m = mean of stress

2) S-N 곡선

재료의 정확한 S-N 곡선을 구하기 위해서는 일반적으로 회전축 시험(rotating beam test)을 수행하여 회전축이 파괴될 때 완전 반복 응력의 크기와 반복 수를 측정하여야 한다. 그러나 많은 시험 결과에 의하면 재료의 극한 강도를 이용하여 비교적 정확한 S-N 곡선을 예측할 수 있다고 하였다(Shigley 등, 1989). 일반적으로 재료의 10^3 사이클 및 10^6 사이클에서의 허용 강도를 결정하면 로그 좌표계에서 선형화된 S-N 곡선을 구할 수 있다.

실험용 트랙터의 변속기 입력축은 열처리된 재료이기 때문에 재료의 로크웰 경도 지수 60을 이용하여 극한 강도를 결정하였다. 즉, 링가이어(Lingaiah, 1994)의 경도 지수와 극한 강도의 관계를 적용하여 입력축 재료의 극한 강도를 2,300 MPa로 결정하였다. 또한, 입력축 시편의 피로 강도는 재료의 극한 강도가 1,400 MPa 이상이므로 700 MPa로 결정하였다(Shigley 등, 1989). 10^3 과 10^6 사이클에서 재료의 허용 피로 강도는 식 (2)를 이용하여 계산하였으며, 각 계수의 값은 입력축의 치수와 부하 조건을 고려

Table 4 Fatigue strength of input shaft and values of modifying factors

Material	SCM420H
Hardness	HRC 58~63
Ultimate strength of test specimen	2,300 MPa
Fatigue strength of test specimen	700 MPa
Surface factor	0.580
Size factor	0.876
Load factor (10 ³ /10 ⁶ cycle)	0.72/0.577
Temperature factor	1.010
Miscellaneous-effects factor	0.840

하여 결정하였다. 표 4는 변속기 입력축의 시편 강도와 각 계수의 값을 나타낸 것이다.

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e S_e' \dots\dots\dots (2)$$

- 여기서, S_e = strength of input shaft
- S_e' = strength of test specimen
- k_a = surface factor
- k_b = size factor
- k_c = load factor
- k_d = temperature factor
- k_e = miscellaneous-effects factor

계산을 통하여 구한 S_{10^3} , S_{10^6} 은 각각 714 MPa, 174 MPa이었으며 선형화된 S-N 곡선은 식 (3)과 같이 표현된다.

$$N_i = 10^{\left[6 - 4.894 \log\left(\frac{S_i}{174}\right)\right]} \dots\dots\dots (3)$$

3) 가속도 계산

수정 마이너 식(modified Miner's rule)을 이용하여 손상 합계(damage sum)를 구하고, 그 비(ratio)로써 작업의 상대적 가속도를 결정하였다. 예를 들어 A 작업의 손상 합계가 D_A 이고 B 작업의 손상 합계가 D_B 라고 하면, A 작업의 가속도를 1로 하였을 때 B 작업의 가속도는 D_B/D_A 가 된다. 본 연구에서는 각 작업 조건별로 4회 반복하여 변속기 입력축의 부하 토크를 측정하였다. 따라서 각 작업 조건에 대한 부

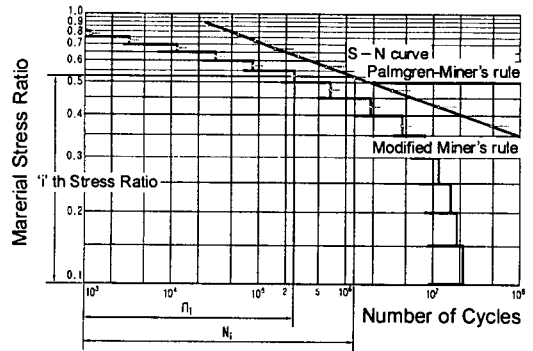


Fig. 3 Application of modified Miner's rule to estimate partial damage sum.

하 수준별 빈도수는 4회 측정 결과를 모두 합하여 결정하였다. 또한 작업 시간이 가속도에 미치는 영향을 배제하기 위하여 작업 시간은 모두 연간 300시간으로 하였다.

실험 기간 동안 포장 상태 등 작업 환경이 균일하지 못하였기 때문에 동일한 작업 조건에서도 손상 합계의 차이가 발생하였다. 따라서 이러한 차이의 유의성을 검정하기 위하여 각 작업 조건에서 구한 손상 합계의 평균간 유의성을 통계적으로 검정하였다. 본 연구에서는 최소 유의차 검정(Least Significant Difference test) 방법을 채택하였다(채영암 등, 1987). 통계적 처리는 SAS 통계 프로그램을 이용하여 수행하였으며, 유의(有意) 수준은 5%로 하였다. 작업 조건별 평균 손상 합계의 차이가 최소 유의차보다 크면 작업간 부하의 차이가 있는 것으로 판단하여 가속도 분석을 하였으며, 최소 유의차보다 작으면 작업 조건간 유의성이 없으므로 두 작업 조건간 부하 차이는 없는 것으로 판단하였다.

손상 합계를 구하기 위해서는 그림 3에서와 같이 부하 스펙트럼의 크기를 일정한 수준별로 나누어 각 수준별 빈도수를 구하여야 한다. 본 연구에서는 모든 작업 조건에서 측정된 토크 부하를 대상으로 최대값과 최소값을 결정하고 그 사이를 64 등분하여 각 부하의 수준과 그 빈도수를 구하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 부하의 평균과 크기

Table 5 Mean and amplitude of torque loads at shallow and deep hardpans

Gear	Mean (N-m)		Amplitude (N-m)	
	Shallow	Deep	Shallow	Deep
M1P1	88.84	59.04	17.50	63.77
M1P2	81.83	78.21	43.37	97.51
M2P1	106.79	83.71	20.70	85.95
M2P2	101.11	91.12	51.14	105.19

표 5는 경반이 얇은 곳과 깊은 곳에서 측정한 토크 부하의 평균과 크기를 나타낸 것이다. 평균 부하는 경반이 얇은 곳에서 크게 나타났으며, 부하의 크기는 경반이 깊은 곳에서 크게 나타났다. 또한 경반이 얇을 때는 크기보다는 평균 부하가 크게 나타났으며, 경반이 깊을 때는 평균보다는 부하의 크기가 크게 나타났다. 이러한 부하의 특성은 경반이 깊을 때 침하에 의한 것으로 판단되나, 이를 보다 구체적으로 확인하기 위해서는 보다 많은 부하 데이터가 필요할 것으로 판단된다. 그러나, 굿맨 라인(Shigley 등, 1989)을 적용하여 이를 등가 완전 반복 하중으로 변환하였을 때 입력축의 피로 파괴에 미치는 영향은 경반이 깊을 때가 더 큰 것으로 나타났다.

나. 습답에서의 가혹도 분석

실험을 실시한 경반이 얇은 곳(장소 I)과 경반이 깊은 곳(장소 II)의 부하 특성이 상이하게 나타났기 때문에 두 장소에서 각 작업 단수간 가혹도 분석을 분리하여 수행하였다. 먼저 장소 I과 장소 II에서 각각 작업 단수간 가혹도 분석을 수행한 후, 동일한 작업 단수에서 장소 I과 장소 II의 작업 가혹도를 비교하였다.

주행 속도와 PTO 속도의 영향을 고찰하기 위하여 동일한 주행 속도에서 PTO 속도를 다르게 하였을 경우와 동일한 PTO 속도에서 주행 속도를 다르게 하였을 경우로 나누어 각각 가혹도를 분석하였다. 표 6은 장소 I에서 각 운전 조건간 평균 손상 합계의 통계적 유의성 검정 결과를 나타낸 것이다. 작업 시간은 모두 300시간으로 가정하였으며, 작업 시간을 변화시켜도 손상 합계는 선형적으로 변화되므로 유

Table 6 Result of LSD test at shallow hardpan

Gear	Mean damage sum	LSD
M1P1	0.0170	0.0419
M1P2	0.0770	
M2P1	0.0495	
M2P2	0.1058	

Table 7 Result of LSD test at deep hardpan

Gear	Mean damage sum	LSD
M1P1	0.2260	0.3150
M1P2	0.5240	
M2P1	0.5763	
M2P2	0.6920	

의성에 대한 결과에는 차이가 없다. 이 결과에 의하면, 가혹도의 차이는 PTO 속도가 변화되었을 때만 나타났다. 즉, 주행 속도가 2.93 km/h (M1)일 때 고속 로터리 작업(P2, 704 rpm)의 가혹도는 저속 로터리 작업(P1, 588 rpm)의 4.53 배이었으며, 주행 속도가 4.11 km/h일 때는 고속 로터리 작업이 저속 로터리 작업보다 2.14배 가혹하였다. 그러나 동일한 PTO 속도에서 주행 속도를 변화시켰을 때는 작업 조건간 가혹도의 유의성은 나타나지 않았다.

경반이 깊은 곳(장소 II)에서는 각 작업 조건에서 변속기 입력축에 대한 손상 합계는 경반이 얇은 곳에 비하여 전반적으로 크게 나타났다. 운전 조건별 부하의 차이는 표 7의 유의성 검정 결과에서와 같이 PTO 속도를 1단으로 하여 주행 속도를 1단에서 2단으로 증속하였을 때와 주행 속도 1단 PTO 속도 1단인 상태에서 주행 속도 2단, PTO 속도 2단인 상태로 주행 속도와 PTO 속도를 모두 증속하였을 때 나타났다. 그러나, 같은 작업 속도에서 PTO 속도를 변화시켰을 경우와 같은 PTO 속도에서 작업 속도를 변화시켰을 경우에는 작업 부하의 차이는 나타나지 않았다. 작업 부하에서 로터리 속도의 영향이 나타나지 않는 것은, 장소 II의 토양 강도가 매우 약하기 때문인 것으로 판단된다.

동일한 운전 조건에서 경반이 얇은 곳(장소 I)과 경반이 깊은 곳(장소 II)의 작업 가혹도는 큰 차이가

있으며, 경반이 깊은 곳의 작업이 경반이 얇은 곳에 비하여 M1P1의 경우 13.29배, M1P2의 경우 6.81배, M2P1의 경우 11.62배, M2P2의 경우 6.54배 더 가혹한 것으로 나타났다.

다. 일반 농지와와의 비교

그림 4~그림 7은 각각 경반이 얇은 곳(장소 I)과 경반이 깊은 곳(장소 II) 및 표 8에서와 같은 단단한 일반 농지에서 운전 조건에 따라 로터리 작업을 수

행하였을 때 변속기 입력축에 작용하는 토크 부하의 스펙트럼을 나타낸 것이다. 부하 스펙트럼에서 부하의 크기는 기관의 정격 토크에 대한 부하 토크의 비(ratio)로써 나타내었으며, 기관의 정격 토크는 110.8 N-m로 하였다.

단단한 일반 농지와 경반이 얇은 곳(장소 I)의 부하 스펙트럼은 유사한 경향을 나타내었으며, 정격 토크보다 부하 토크가 큰 경우의 빈도수는 $10^4 \sim 10^5$ 사이를 이하이였다. 대체로 경반이 얇은 곳, 단단한 농지, 경반이 깊은 곳의 순으로 부하 토크가 컸으나, 주행 속도와 PTO 속도가 증가할수록 단단한 일반 농지와 경반이 얇은 곳에 대한 로터리 작업의 부하 스펙트럼은 일치하는 경향을 나타내었다.

경반이 깊은 곳에서는 대부분의 토크 부하가 기관의 정격 토크보다 컸다. 주행 속도와 PTO 속도가 증가할수록 부하의 크기와 사이클 수가 증가되었으나,

Table 8 Hard soil conditions (Kim, 1998)

Surface	Soil type	Mean Cone Index (kPa)			MC (%)
		0 cm	5 cm	10 cm	
Grass	sand	423.3	593.7	858.5	24.2

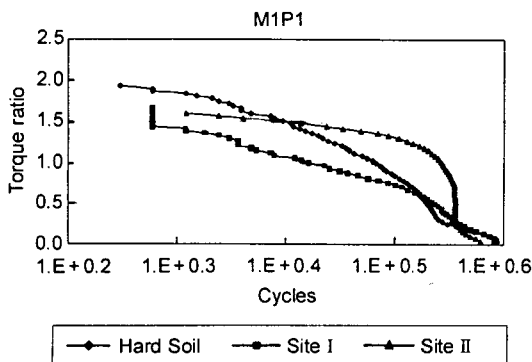


Fig. 4 Load spectra with gear M1P1 at different soil conditions.

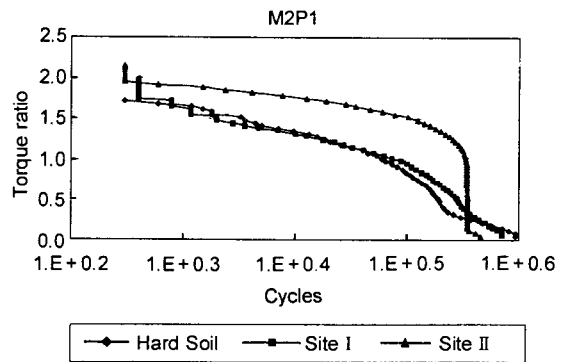


Fig. 6 Load spectra with gear M2P1 at different soil conditions.

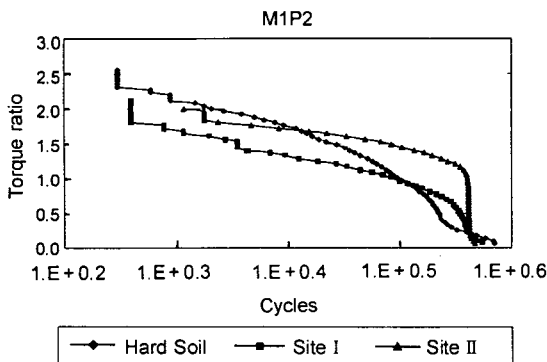


Fig. 5 Load spectra with gear M1P2 at different soil conditions.

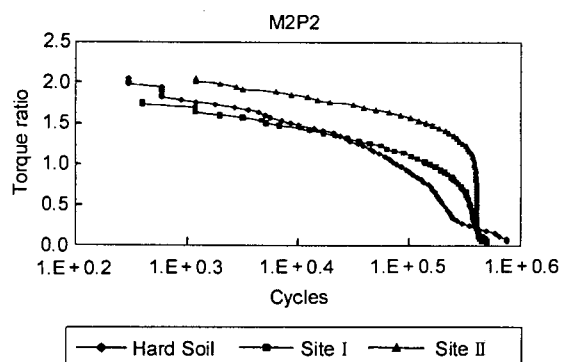


Fig. 7 Load spectra with gear M2P2 at different soil conditions.

Table 9 Result of LSD test at different soil conditions

Gear	Soil condition	Mean damage sum	LSD
M1P1	deep hard pan	0.2260	0.1230
	hard soil	0.0868	
	shallow hard pan	0.0170	
M1P2	deep hard pan	0.5240	0.1773
	hard soil	0.2263	
	shallow hard pan	0.0770	
M2P1	deep hard pan	0.5753	0.3443
	hard soil	0.0540	
	shallow hard pan	0.0495	
M2P2	deep hard pan	0.6920	0.1538
	hard soil	0.1135	
	shallow hard pan	0.1058	

스펙트럼의 형태는 크게 변화되지 않았다.

표 9은 동일한 운전 조건으로 경반이 깊은 곳, 경반이 얇은 곳, 일반 농지에서 수행한 로터리 작업의 가혹도 즉, 변속기 입력축에 대한 평균 손상 합계의 통계적 검정 결과를 나타낸 것이다. 운전 조건이 M1P1인 경우 경반이 깊은 곳에서의 로터리 작업은 일반 농지에서의 작업에 비하여 3.83배, M1P2인 경우 2.32배, M2P1인 경우 10.65배, M2P2인 경우는 7.06배 더 가혹한 것으로 나타났다. 경반이 얇은 곳과 일반 토양에서의 작업 부하를 비교하면, 일반 농지에서의 로터리 작업의 가혹도가 경반이 얇은 곳에서도 높은 것으로 조사되었으나, 그 차이는 통계적인 유의성이 없었다. 즉, 동일한 운전 조건으로 일반 농지와 경심이 얇은 곳에서 로터리 작업을 수행하였을 때 변속기 입력축에 작용하는 부하는 크게 차이가 나지 않는 것으로 판단된다.

4. 결론 및 요약

본 연구는 트랙터가 습담에서 로터리 작업을 수행할 때 변속기의 입력축에 작용하는 토크 부하를 측정하여 부하 스펙트럼을 작성하고, 일반 농지에서의 작업 부하와 비교하여 습담 작업의 가혹도를 구명하기 위하여 수행되었다. 주요 연구 결과는 다음과 같

다.

1. 로터리 작업의 부하 특성은 경반이 10~15 cm 정도의 얇은 습담과 20~30 cm 정도의 깊은 습담에서 다르게 나타났다. 경반이 얇은 곳에서는 PTO 속도의 영향이 컸으며, 동일한 작업 속도에서 PTO 속도를 588 rpm에서 704 rpm으로 증가시켰을 때 작업 가혹도는 2~4.5배 증가되었다. 그러나, 동일한 PTO 속도에서 주행 속도를 증가시켰을 때 작업 가혹도의 차이는 나타나지 않았다. 경반이 깊은 곳에서는 경반이 얇은 곳에 비하여 전반적으로 작업 가혹도가 증가되었으나, 로터리 속도의 영향은 크지 않았다. 오히려 주행 속도의 영향이 더 큰 것으로 나타났다.

2. 동일한 운전 조건에서 경반이 깊은 때의 로터리 작업 부하는 경반이 얇을 때에 비하여 6~13배, 일반 농지에 비하여 2~10배 가혹한 것으로 나타났다. 그러나, 경반이 얇을 때와 일반 농지에서의 작업 부하는 차이가 없는 것으로 나타났다.

3. 경반이 얇은 습담과 경반이 깊은 습담에 대한 로터리 작업의 부하 스펙트럼을 작성하였으며, 단단한 일반 농지에서의 부하 스펙트럼과 비교하였다. 경반이 얇은 경우의 부하 스펙트럼은 일반 농지의 경우와 유사하였으며, $10^4 \sim 10^5$ 이하의 사이클 영역에서는 부하의 크기가 기관의 정격 토크보다 컸다. 경반이 깊은 경우에는 대부분의 부하가 정격 토크보다 컸으며, 속도 변화에 의한 스펙트럼의 형상은 크게 변화되지 않았다.

본 연구에서 제시된 습담 로터리 작업에 대한 부하 스펙트럼은 국내 트랙터 작업에 대한 부하 스펙트럼을 개발하는 데 유용하게 사용될 수 있다. 즉, 트랙터 변속기 설계에 필요한 부하 스펙트럼은 모든 트랙터 작업에 대한 종합적인 부하 스펙트럼이기 때문에, 비록 전체 트랙터 작업 중에서 습담 로터리 작업이 차지하는 비중은 적지만, 종합적인 부하 스펙트럼을 개발하는 데는 반드시 이를 고려하여야 한다. 안전을 고려하여 습담 로터리 작업의 비중을 5% 내외로 할 수도 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. 김대철, 김경욱, 이주완. 1998. 트랙터 변속기의 부하 스펙트럼 개발. 한국농업기계학회지 23(6):

- 539-548.
2. 김중현, 김경옥, 최원철, 오영근. 1998. 농용 트랙터의 변속기 부하 가혹도에 관한 연구. 한국농업기계학회지 23(5):417-426.
 3. 송지호. 1990. 변동 하중 하의 피로 파괴. 대한기계학회지 30(2):115-130.
 4. 정원옥, 강성수. 1995. 피로 수명 예측법을 이용한 각 도로가 차량의 내구성에 미치는 가혹도 평가. 한국자동차공학회논문집 3(6):154-161.
 5. 채영암, 구자옥, 서학수, 이영만. 1987. 기초생물통계학. 향문사.
 6. Bannantine, J. A., J. J. Comer and J. L. Handrock. 1990. Fundamentals of metal fatigue analysis. Prentice Hall.
 7. Dowling, N. E. 1972. Fatigue failure predictions for complicated stress-strain histories. Journal of Materials 7(1):71-87.
 8. Gerlach, A. 1966. Field measurement of tractor transmission forces. Trans. of the ASAE 9(5):707-712.
 9. Lingaiah, K. 1994. Machine design data handbook. McGraw-Hill.
 10. Renius, K. Th. 1977. Application of cumulative damage theory to agricultural tractor design elements. KONSTRUKTION 29(3):85-93.
 11. Shigley, J. S. and C. R. Mischke. 1989. Mechanical engineering design. McGraw-Hill.