

6절 링크를 이용한 진동굴취기의 설계요인

Design Parameters of A Six-bar Linkage Vibrating Digger

문학수 강화석
정희원 정희원
X. Z. Wen W. S. Kang

ABSTRACT

An oscillating digger mechanism was designed, constructed, and tested. The mechanism is consisted of a six-bar linkage, one four-bar linkage was for the digger blade and the other one for variable soil-crop separation. Experimental variables were amplitude(3, 6, 9 mm), frequency(11.2, 14.9, 17.0 Hz), and forward speed of tractor(0.91, 1.13, 1.56 km/h). Each combination of these variables was replicated three times to measure the draft and torque for power requirement evaluation, and the broken-up soil height on the soil separation sieve mechanism.

Four parameters λ (the ratio of vibration speed to forward velocity), ρ (the ratio of vibration acceleration to forward velocity), K (the ratio of vibration acceleration to gravitational acceleration), and T (the product of λ and K) were induced from three experimental variables: amplitude, frequency, and tractor speed. And the power requirement and soil separation ability were analyzed by regression. Though λ and K were known to be the representative parameters, T was the most moderate one to explain draft, torque, and soil separation in this study.

It was estimated that the T equal to or greater than 2.4 was the minimum recommended value. Figure 18 would be useful for the selection of amplitude, frequency, or operating tractor speed, once any two variables are known.

Keywords : Oscillating digger blade, Draft, Torque, Power requirement, Soil separation.

1. 서 론

뿌리작물재배에서 수확작업은 노동 강도가 크고 비교적 많은 노동력을 필요로 하고 있다. 수확작업에 필요한 노동력 부족현상을 해소하고 생산비용을 절감시키기 위해 개발된 뿌리작물수확기로는 감자 굴취기, 당근 굴취기, 마늘수확기, 일반 약초 수확기 등이 있다. 감자는 중요한 식량자원으로 사용되고 기타 뿌리작물에 비해 재배면적이 크기 때문에 뿌리작물 굴취기 중에서 주로 감자 굴취기에 관한

연구가 국내외에서 진행되었다.

감자를 수확용 진동 굴취날은 감자의 손상과 손실을 줄이고, 수확기를 끄는데 요구되는 견인동력을 줄이며, 토양으로부터 감자를 분리하는 능력의 개선 등을 목적으로 여러 연구자들(AI-Jubori et al., 1980; Johnson, 1974; 강화석 등, 1989; 강화석 등, 1993)에 의해 제안되었다. 강화석 등(1989), 강화석 등(1993)은 감자굴취기의 주요변수인 진폭, 진동수, 작업속도가 굴취성능에 미치는 영향에 관한 연구를 수행하였다. 강화석 등(1991)은 굴취날의 최대 가속

This study was funded by the Agricultural Research Promotion Center(ARPC), 2001.

The article was submitted for publication in August 2002, reviewed and approved for publication by editorial board of KSAM in February 2003. The authors are Whoa Seug Kang, Department of Agricultural Machinery, Kangwon National University, Chunchon, Korea. Wenxue Zhu Wen, Mechanical Engineering Dept., Yenben University, Yenben, China. The corresponding author is W. S. Kang, professor, Dept. of Agricultural Machinery, Kangwon National University, Chunchon, 200-701, Korea. E-mail: <kangws@kangwon.ac.kr>

도와 트랙터의 전진속도의 비를 ρ 로 정의하고 $\rho = \omega^2 A/V_i$ 표시하였으며, 강화석 등(1996)은 진동가속도와 중력가속도의 비를, K 로 정의하고 $K = A\omega^2/g$ 로 표시하였으며, 강화석(2000)은 $T = \lambda K$ 를 체공시간 비로 정의하고 ρ, K, T 파라미터를 굴취성능을 평가하는데 사용하였다.

뿌리작물의 수확작업에 주로 전용수확기가 사용되고 있는데 전용수확기는 어떤 특정한 작물에만 사용되기 때문에 이용률이 비교적 낮다. 이런 이용률이 낮은 기계를 구입하는 농민의 입장에서 보나 이런 기계를 공급하는 기업의 입장에서 볼 때 어떤 특정한 작물의 수확에만 국한되지 않고 물성이 서로 다른 뿌리작물의 수확에도 이용할 수 있는 굴취기의 개발이 필요한 실정이다.

본 연구는 물성이 서로 다른 뿌리작물을 굴취할 때 선별부의 진동방향을 조정할 수 있는 진동굴취기를 설계·제작하고 토양절삭 실험을 통하여 진폭, 진동수, 작업속도의 변화에 따른 견인력과 토크 및 굴취판과 선별판 위에 잔류하는 토양의 평균 높이를 측정하고 진폭, 진동수, 작업속도 등의 요인을 기초로 하여 유도되는 설계요인인 속도비 λ , 가속도와 속도비 ρ , 가속도비 K 및 체공시간비 T 가 견인력, 토크, 소요동력 및 토양의 체류상태에 미치는 영향을 분석하여 진동굴취기의 설계에 있어서 바람직할 것으로 판단되는 설계기준을 제공하고자 수행되었다.

2. 재료 및 방법

가. 시작기의 설계 및 제작

물성이 서로 다른 뿌리작물을 굴취할 때 작물마다 진동량과 진동방향을 조절할 필요가 있는데 기존의 4절 링크를 이용한 굴취기는 진동방향을 조절이 불가능하여 특정작물에만 사용이 가능하였다. 본 연구에서는 기존의 4절 링크를 이용한 진동굴취기가 가지고 있는 단점을 보완하기 위하여 6절 링크로 구성된 기구를 이용하여 토양절삭을 주로 하는 굴취판과 진동방향을 조정할 수 있는 선별판으로 구성하였다. 구동 크랭크는 진동을 발생시키기 위하여 편심 캠으로 제작하였다. 물성이 서로 다른 뿌리작물을 굴취할 때 진동방향조정장치(S_{41})의 위치를 변경시킴으로써 선별판의 운동을 상하, 좌우, 또는 중간형태의 것으로 조정할 수 있도록 설계, 제작하였다(그림 1).

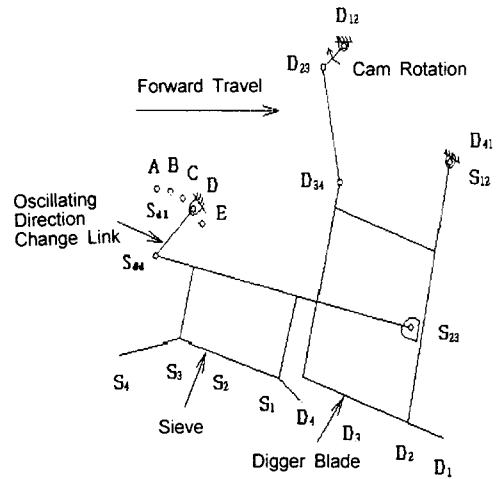


Fig. 1 Kinematic model of the vibrating digger.

나. 실험방법

(1) 진폭, 진동수 및 작업속도

시작기에는 직경이 74 mm이고, 편심량이 3, 6, 9 mm로 제작된 3쌍의 편심 캠이 사용되었고 필요한 경우에 한 쌍의 캠을 교환하여 원하는 진폭으로 실험을 하였다. 진동수는 고정된 엔진 회전수에서 트랙터에 설치되어 있는 동력취출장치 변속기를 2단, 3단, 4단으로 조작하여 변화시켰고 작업속도는 트랙터의 변속기를 1단, 2단, 3단으로 조작하여 변화시켰다.

굴취기의 토양절삭실험은 선별부를 구성하는 4절 링크장치의 출력링크를 상하진동이 가장 큰 위치(E 점)에 연결시킨 상태에서 진폭, 진동수, 작업속도를 각각 변화시키면서 3 반복으로 진행하였고 실험에 이용된 진폭, 진동수 및 시작기의 작업속도는 표 1에 나타낸 바와 같다.

Table 1 Amplitudes, frequencies, and travel speeds of the experimental digger blade

Variables	Levels		
	3	6	9
Amplitude(mm)	3	6	9
Frequency(Hz)	11.2	14.9	17.0
Travel speed(km/h)	0.91	1.13	1.56

(2) 굴취성능에 영향을 미치는 파라미터

본 연구에서는 견인력, 토크, 소요동력 및 토양의 체류상태에 미치는 영향을 분석하기 위하여 진폭, 진동수, 작업속도 등에 의해 유도되는 파라미터 λ , ρ , K , T 를 다음과 같이 정의하고 사용하였다. 굴취날의 최대 작업속도와 트랙터의 전진속도의 비를 $\lambda = \omega A/V_t$, 굴취날의 최대 가속도와 트랙터의 전진속도의 비(s^{-1})를 $\rho = \omega^2 A/V_t$, 굴취날의 최대 가속도와 중력가속도의 비를 $K = \omega^2 A/g$, 체공시간비를 $T = \lambda K$ 로 정의하였다. 여기서, A 는 0에서부터 피크에 도달하는 진폭(m), ω 는 캠축의 각속도(rad/s), V_t 는 트랙터의 전진속도(m/s), g 는 중력가속도(m/s^2)이다.

(3) 굴취성능에 미치는 파라미터의 영향

진폭, 진동수, 작업속도를 변화시키면서 각 조합에서 진폭, 진동수, 작업속도의 변화에 따른 견인력과 토크(Kang 등, 2001) 및 굴취판과 선별판을 통과하는 토양의 평균 높이를 측정하고 진폭, 진동수, 작업속도 등의 요인을 기초로 하여 유도되는 설계요인인 속도비 λ , 속도과 가속도비 ρ , 가속도비 K 및 체공시간비 T 가 견인력, 토크, 소요동력 및 토양의 체류상태에 미치는 영향을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

진폭이 3 mm인 처리조합에서는 대부분의 경우 심한 체류현상이 발생되었기 때문에 실제 굴취작업에서는 사용할 수 없을 것으로 판단되어 파라미터가 굴취판과 선별판을 통과하는 토양표면의 평균높이에 미치는 영향을 분석할 때에만 고려하고 견인력, 토크 및 소요동력 분석에서는 제외하였다. 견인력, 토크 및 소요동력을 분석할 때에는 총 54개의

실험데이터 중에서 outlier로 판단된 9개의 데이터를 제외한 45개의 데이터가 이용되었다.

파라미터 λ , ρ , K , T 가 굴취성능에 미치는 영향을 구명하기 위하여 파라미터 값을 이용하여 견인력, 토크, 소요동력 및 굴취판과 선별판을 통과하는 토양표면 평균높이에 대한 회귀방정식을 구하고 회귀모형을 변화시키면서 회귀모형에 따른 결정계수를 구하여 비교하였으며 회귀정도를 가장 잘 반영하는 경우의 결정계수를 표 2에 나타내었다.

가. 평균 견인력에 미치는 파라미터의 영향

평균 견인력을 가장 잘 반영하는 것은 λ 로 표현된 회귀모형이고, λ 다음으로 T 로 표현된 회귀모형이 평균 견인력에 대한 회귀정도를 잘 반영한다(표 2). λ 가 0.975에서 3.785로 증가함에 따라 평균 견인력은 6569.7 N에서 4048.4 N으로 감소하는 것으로 나타났고(그림 2), T 가 2.95에서 39.62로 증가함에

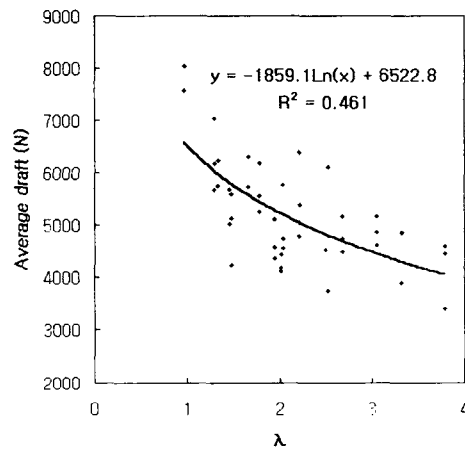


Fig. 2 Average draft by parameter λ .

Table 2 Best coefficients of determination, R^2 , for draft, torque, total power, and broken-up soil height, by parameters

Parameter	Draft		Torque		Total Power	Broken-up soil height on digger blade	Broken-up soil height on sieve
	Average	Maximum	Average	Maximum			
λ	0.461	0.325	0.299	0.012	0.114	0.804	0.729
ρ	0.408	0.225	0.439	0.108	0.168	0.729	0.661
K	0.328	0.153	0.511	0.210	0.375	0.600	0.517
T	0.444	0.259	0.442	0.077	0.198	0.742	0.655

따라 평균 견인력은 6542.3 N에서 4123.1 N으로 감소하는 것으로 나타났다(그림 3).

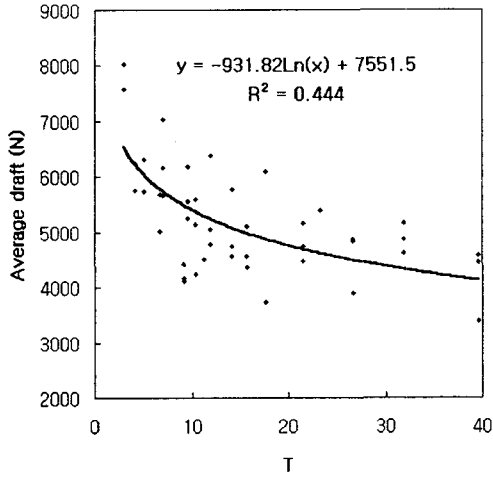


Fig. 3 Average draft by parameter T.

따라 최대 견인력은 7697.6 N에서 6002.1 N으로 감소하는 것으로 나타났다(그림 5).

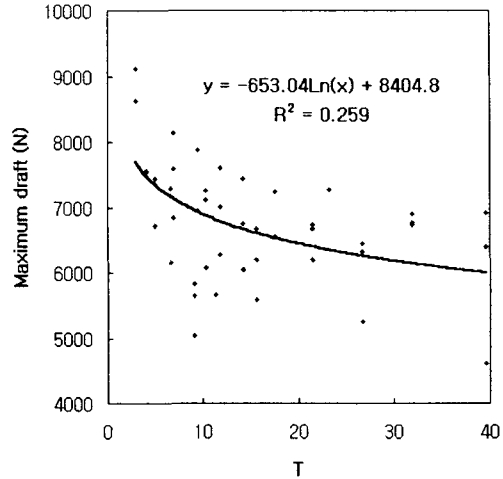


Fig. 5 Maximum draft by parameter T.

나. 최대 견인력에 미치는 파라미터의 영향

최대 견인력을 가장 잘 반영하는 것은 λ 로 표현된 회귀모형이고, λ 다음으로 T로 표현된 회귀모형이 최대 견인력에 대한 회귀정도를 잘 반영한다(표 2). λ 가 0.975에서 3.785로 증가함에 따라 최대 견인력은 7811.1 N에서 5870.5 N으로 감소하는 것으로 나타났고(그림 4), T가 2.95에서 39.62로 증가함에

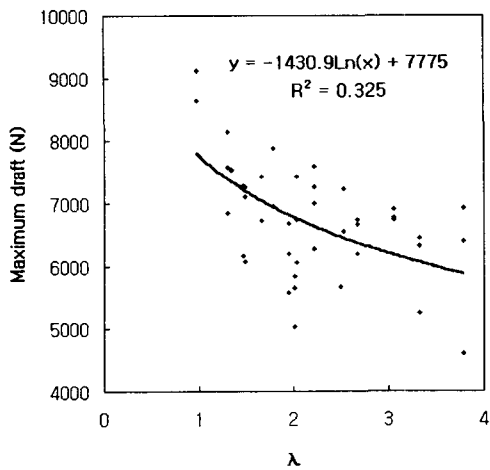


Fig. 4 Maximum draft by parameter λ .

다. 평균 토크에 미치는 파라미터의 영향

평균 토크를 가장 잘 반영하는 것은 K로 표현된 회귀모형이고, K 다음으로 T로 표현된 회귀모형이 평균 토크에 대한 회귀정도를 잘 반영한다(표 2). K가 3.03에서 10.47로 증가함에 따라 평균 토크는 19.4 N-m에서 40.9 N-m로 급속히 증가하고(그림 6), T가 2.95에서 39.62로 증가함에 따라 평균 토크는

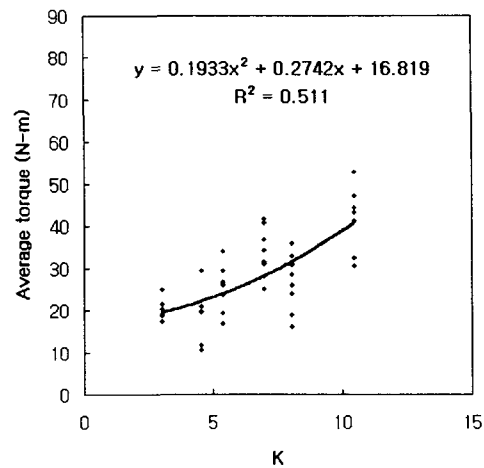


Fig. 6 Average torque by parameter K.

20.5 N-m에서 43.4 N-m로 급속히 증가하는 것으로 나타났다(그림 7).

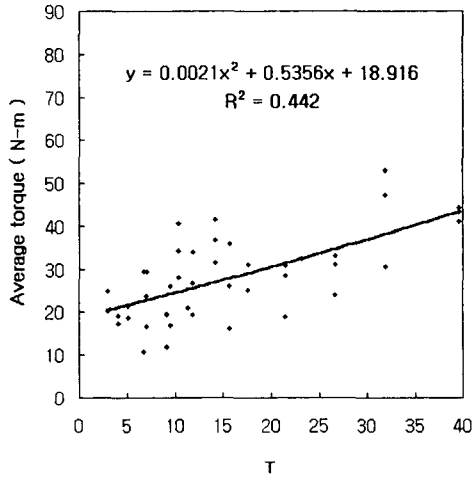


Fig. 7 Average torque by parameter T.

라. 최대 토크에 미치는 파라미터의 영향

최대 토크를 가장 잘 반영하는 것은 K로 표현된 회귀모형이고, K 다음으로 ρ 로 표현된 회귀모형이 최대 토크에 대한 회귀정도를 잘 반영한다(표 2). K가 3.03에서 7.37로 증가함에 따라 최대 토크는 90.3 N-m에서 63.1 N-m로 감소하는 것으로 나타났고, K가 7.37에서 다시 10.47로 증가함에 따라 최대 토크는 오히려 63.1 N-m에서 77.0 N-m로 증가하는 것으로 나타났다(그림 8). ρ 가 68.6에서 245.3으로

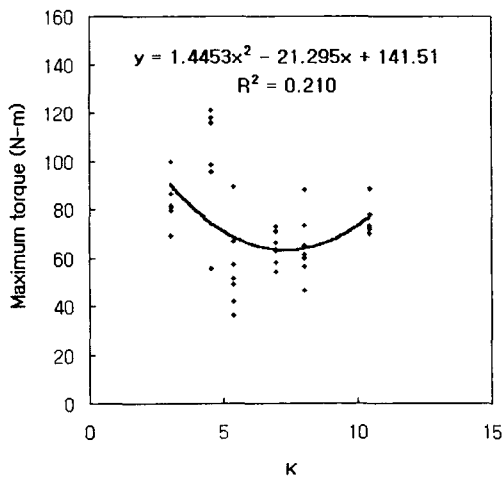


Fig. 8 Maximum torque by parameter K.

증가함에 따라 최대 토크는 87.0 N-m에서 65.1 N-m로 감소하고, ρ 가 245.3에서 404.3으로 증가할 때 최대 토크는 오히려 65.1 N-m에서 82.8 N-m로 증가하였다(그림 9). 이로부터 최대 토크의 감소에는 한계가 있음을 알 수 있다.

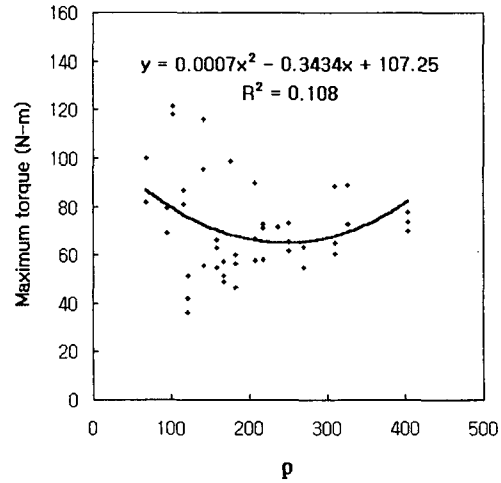


Fig. 9 Maximum torque by parameter ρ .

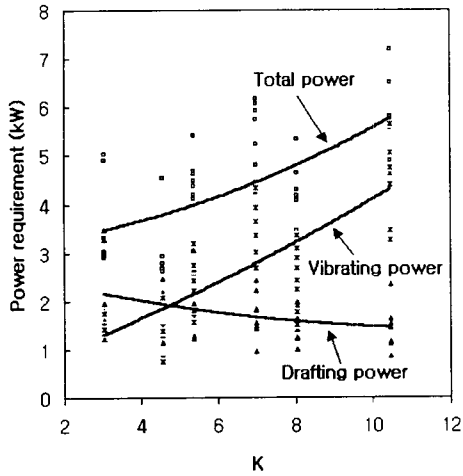
마. 총 동력에 미치는 파라미터의 영향

결인동력과 회전동력의 합인 총 동력을 가장 잘 반영하는 것은 K로 표현된 회귀모형이고(표 2), K가 3.03에서 10.47로 증가함에 따라 총 동력은 3.47 kW에서 5.76 kW로 급속히 증가하는 것으로 나타났다(그림 10).

K 다음으로 T로 표현된 회귀모형이 총 동력에 대한 회귀정도를 잘 반영하고(표 2), T가 2.95에서 39.62로 증가함에 따라 총 동력은 3.90 kW에서 5.74 kW로 급속히 증가하는 것으로 나타났다(그림 11).

바. 굴취판을 통과하는 토양의 높이에 미치는 파라미터의 영향

굴취판을 통과하는 토양의 높이를 가장 잘 반영하는 것은 λ 로 표현된 회귀모형이고, λ 다음으로는 T로 표현된 회귀모형이 토양의 평균높이에 대한 회귀정도를 잘 반영한다(표 2). λ 가 0.488에서 3.785로 증가함에 따라 굴취판을 통과하는 토양의 평균높이는 339.4 mm에서 95.0 mm로 급속히 감소하는 것으로 나타났고(그림 12), T가 0.74에서 39.62로 증



Total power: $y = 0.0177x^2 + 0.0678x + 3.109$
 $R^2 = 0.375$

Fig. 10 Total power by parameter K.

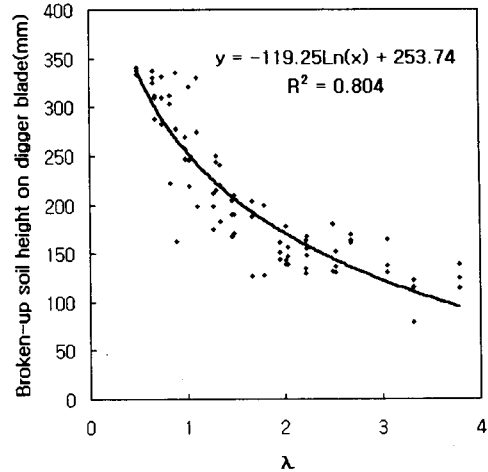
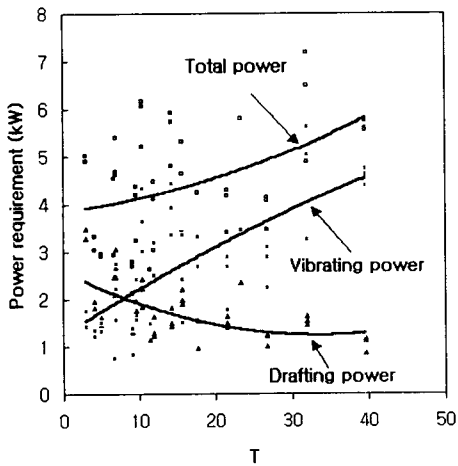


Fig. 12 Broken-up soil height of digger blade by parameter λ .



Total power: $y = 0.0007x^2 + 0.0203x + 3.838$
 $R^2 = 0.198$

Fig. 11 Total power by parameter T.

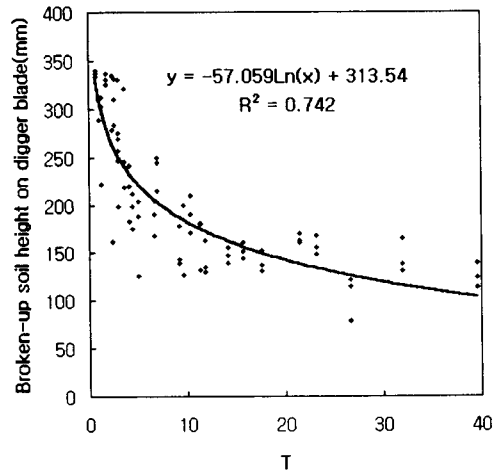


Fig. 13 Broken-up soil height of digger blade by parameter T.

가함에 따라 굴취판을 통과하는 토양표면 평균높이는 330.8 mm에서 103.6 mm로 급속히 감소하는 것으로 나타났다(그림 13).

사. 선별판을 통과하는 토양표면 높이에 미치는 파라미터의 영향

선별판을 통과하는 지면으로 부터의 토양표면 평균높이를 가장 잘 반영하는 것은 λ 로 표현된 회귀 모형이고, λ 다음으로 ρ 로 표현된 회귀모형이 선별판을 통과하는 토양표면 평균높이에 대한 회귀정도를 잘 반영하고 T로 표현된 회귀모형은 3위로 선별판을 통과하는 토양표면 평균높이를 잘 반영한다(표 2). λ 가 0.488 에서 3.785로 증가함에 따라 선별판을 통과하는 토양표면 평균높이는 249.3 mm에서

32.7 mm로 급속히 감소하고(그림 14), p 가 34.3에서 404.3으로 증가함에 따라 선별판을 통과하는 토양 표면 평균높이는 270.5 mm에서 32.3 mm로 급속히 감소하였으며(그림 15), T 가 0.74에서 39.62로 증가함에 따라 굴취판을 통과하는 토양표면 평균높이는 260.2 mm에서 40.9 mm로 급속히 감소하였다(그림 16).

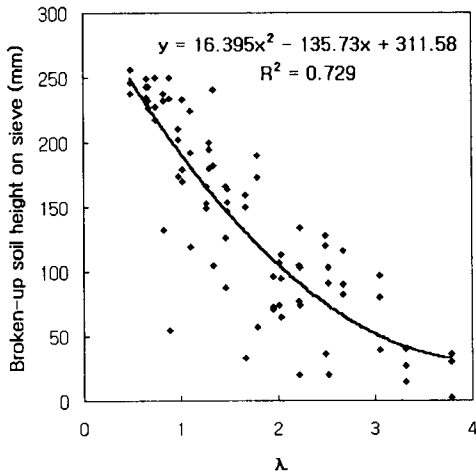


Fig. 14 Broken-up soil height of sieve by parameter λ .

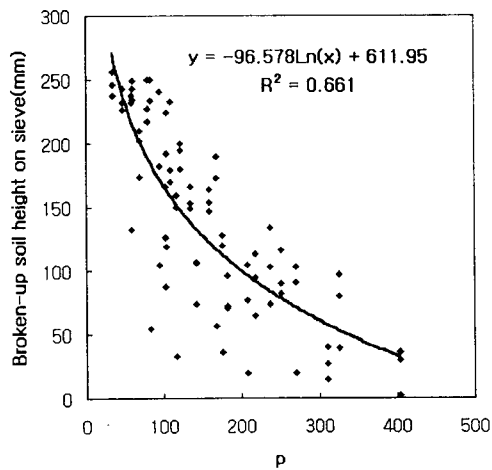


Fig. 15 Broken-up soil height of sieve by parameter p .

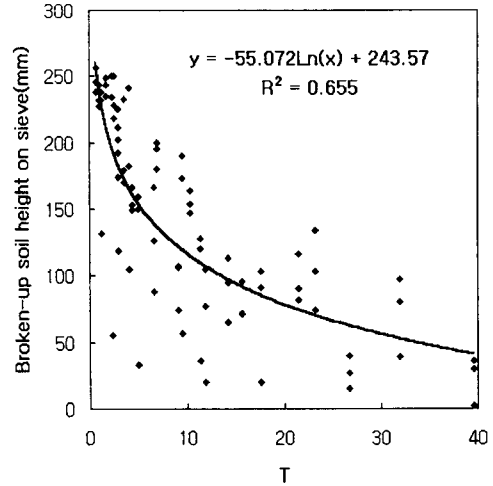


Fig. 16 Broken-up soil height of sieve by parameter T .

이상의 고찰에서 견인력, 토크, 소요동력 및 토양의 체류상태에 주로 영향을 미치는 파라미터는 λ 와 K 이었으나, λ 로 표현된 회귀모형은 견인력에 대한 회귀정도와 굴취판 및 선별판을 통과하는 토양표면의 평균높이에 대한 회귀정도를 가장 잘 반영하고, K 로 표현된 회귀모형은 토크와 총 동력에 대한 회귀정도를 가장 잘 반영하지만, 거의 모든 경우에 T 로 표현된 회귀모형이 무리없이 견인력, 굴취판과 선별판을 통과하는 토양표면의 평균높이, 토크 및 총 동력에 대한 회귀정도를 잘 반영하는 것으로 나타났다.

따라서, 견인력, 토크, 소요동력 및 토양의 체류상태를 평가하는 지표로서는 진동굴취기에 관한 모든 변수의 영향을 포함하는 T 가 적당할 것으로 판단되고, 토양의 흐름상태를 고려할 때 $T > 2.4$ 인 값을 취하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 강화석(2000)은 토양의 흐름상태를 관찰하고 $T > 2.0$ 값을 추천하였는데 본 연구에서 사용한 변수조합에서 $T = 2.39$ 는 $T > 2.0$ 을 만족시키는 최소의 값이다. 본 연구에서의 관찰결과를 T 값으로 고찰하여 진동형 굴취기의 설계와 작업성능을 평가할 때 이용할 수 있는 T 값을 추천하면 그림 17, 그림 18에 나타낸 바와 같다.

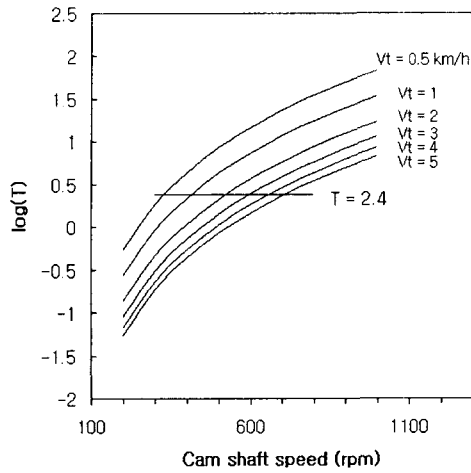


Fig. 17 Vibrating digger parameter T values by cam shaft speed, N, in rpm and forward velocity, Vt, in km/h at a vibration amplitude of 9 mm.

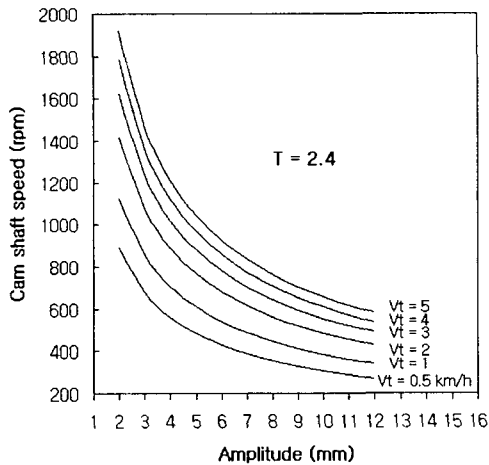


Fig. 18 Cam shaft speed selection chart for various amplitudes and operating forward speed when the vibratory digger parameter is T = 2.4.

4. 요약 및 결론

본 연구는 선별부의 진동방향을 조정할 수 있는 진동굴취기를 설계·제작하고, 토양절삭 실험을 통하여 진동굴취기의 설계에 있어서 바람직할 것으로

판단되는 설계기준을 제공하고자 수행되었으며 그 결과는 다음과 같다.

견인력, 토크, 소요동력 및 토양의 체류상태를 평가하는 지표로서는 진동굴취기에 관한 모든 변수의 영향을 포함하는 T가 적당할 것으로 판단되고, 토양의 흐름상태를 고려할 때 $T > 2.4$ 인 값을 취하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

T 값의 증가에 따라 견인력과 굴취판 및 선별판을 통과하는 토양표면의 평균높이는 감소하는 추세로 나타났고, 토크와 총 동력은 증가하는 추세로 나타났다.

본 연구의 결과에서 T 값을 기준으로 제공한 그림 17는 진폭이 9 mm인 경우에 캠축의 회전속도가 결정되면 트랙터의 최대 작업속도를 선택할 때, 또는 트랙터의 작업속도가 결정되면 캠축의 최소 회전속도를 선택할 때 유용한 자료로 사용될 수 있고, 그림 18은 진폭, 진동수, 작업속도 중에서 2가지 변수가 결정되면 나머지 변수의 최대 또는 최소 값을 선택할 때 유용한 자료로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. Al-Jubouri, K. and P. B. McNulty. 1980. Vibratory potato digging. In Proc. 5th International Congress on the Mechanization of Field Energy(ICMFE), 264-268. Wageningen, Netherlands.
2. Johnson, L. F. 1974. A vibrating blade for the potato harvester. Trans. of the ASAE, 17(5):867-870, 873.
3. Kang, W. S., S. H. Kim and Y. C. Hahm. 1989. Development of an oscillating potato harvester. Jour. of KSAM, 14(1):16-23.
4. Kang, W. S., Y. B. Shin, S. H. Kim and Y. C. Hahm. 1993. Jour. of KSAM, 18(1):21-29.
5. Kang, W. S. and J. L. Halderson. 1991a. Development of a vibratory potato digger for small farms. American Potato Jour. 68:557-568.
6. Kang, W. S. and M. E. Wright. 1996. Design and performance parameters of vibrating potato diggers. SAE Paper No. 961777.
7. Kang, W. S., L. A. Lodriguez and L. D. Crow. 2001. Developing a small commercial potato digger I I. - Effects of design parameters on draft, torque, and power. Trans. of the ASAE. 44(6): 1391-1396.