

## 보행형 관리기 핸들의 진동 최적화

박서범 박영준 김경욱

### Optimization of Handle Vibration of Walking-type Cultivator

S. B. Park Y. J. Park K. U. Kim

#### Abstract

A previous study showed that the handle vibration of a walking type cultivator can be reduced by adding a mass to the handle. This study was conducted to determine the optimum magnitude and location of the mass to be added for the same cultivator. The possible locations of added mass were determined by investigating nodal points of the handle vibration by an ODS (operational deflection shapes) test at an engine frequency of 52 Hz. The optimum location was then determined as one that moved the nodal points to the hand grip of the handle bar. To determine the optimum magnitude of the mass, the possible locations were added by a mass from 0.2 to 2.0 kg in an increment of 0.2 kg. The optimum magnitude was then determined as a mass which minimized the vibration level at the hand grip. For the case of this study, the z-axis vibration at the hand grip was reduced from 2.67 m/s<sup>2</sup> to 0.88 m/s<sup>2</sup> resulting in a reduction of 67% and the total vibration from 4.09 m/s<sup>2</sup> to 3.27 m/s<sup>2</sup> resulting in a 20% reduction by adding an optimum mass to the optimum location.

**Keywords :** Cultivator handle, Operational deflection shapes (ODS), Optimization of the handle vibration

#### 1. 서론

보행형 관리기는 작업 특성상 다른 농업 기계에 비하여 손으로 전달되는 진동이 심한 기계이다. 관리기 작업에서 핸들을 통하여 손으로 전달되는 진동은 운전자에게 불쾌감을 줄 뿐만 아니라 각종 기능 장애의 원인이 된다. 또한 손이 장시간 진동에 노출되면 혈관계, 신경계, 근골격계 질환이 나타날 수도 있다(ISO, 2001). 대표적인 혈관계 질환으로서 손의 백지 현상(white finger syndrome)은 혈액 순환이 원활하지 못할 때 일어나는 현상으로서, 백지 현상이 심할 때는 신체 조직이 괴사하는 단계까지 이를 수 있다. 특히, 보행형 관리기로써 구굴 작업을 수행할 때, 손진동 수준은 11.5 m/s<sup>2</sup>으로서, 이는 1일 작업 시간을 3시간으로 가정하면, 4년 후에는 작업자의 10%에서 백지 현상이 일어날 수 있는 수준이다(박 등, 2002). 그러나 이러한 손진동의 문제점에도 불구하고 농업 기

계를 사용할 때 노출되는 손진동에 대한 관심과 연구는 아직까지 많지 않다.

농업 기계와 관련된 손진동 연구는 주로 진동 전달 매질의 특성을 변화시켜 진동을 감소시키고자 한 연구이었다(Yibin, 1998). 최근에는 엔진 마운트의 최적화를 통하여 엔진 가진에 의한 관리기의 진동을 줄이고자 한 연구(박 등, 2004)와, 모드 해석을 통하여 관리기 핸들의 동특성과 진동 원인 구명하고, 핸들의 동특성을 변화시켜 진동을 줄이고자 한 연구가 수행되었다(박 등, 2004). 동특성 변화를 이용하여 핸들의 진동을 줄이고자 한 연구에서는 핸들에 질량을 추가함으로써 진동 수준을 줄일 수 있다고 하였다. 그러나 진동 최소화를 위한 추가 질량의 위치와 크기는 제시하지 못하였다.

본 연구에서는 박 등(2004)의 연구를 계속하여 보행형 관리기의 핸들 진동을 최적화하기 위한 추가 질량의 위치와 크기를 결정하였다.

This article was submitted for publication in May 2006, reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in June 2006. The authors are S. B. Park, Graduate Student, Y. J. Park, KSAM member, Post-Doctoral Researcher and K. U. Kim, KSAM member, Professor, Seoul National University. The corresponding author is K. U. Kim, Department of Biosystems and Biomaterial Science and Engineering, Seoul National University, Seoul, 151-921, Korea; Fax : +82-2-873-2049; E-mail : <kukim@snu.ac.kr>

## 2. 재료 및 방법

### 가. 관리기 핸들

본 연구에서 핸들 진동의 최적화 대상으로 사용한 보행형 관리기는 국내 D사에서 제작한 4.2 kW급 관리기이었다(박 등, 2004). 연구 대상 관리기의 핸들은 그림 1에서와 같고, 핸들의 물성치에 대한 제원은 다음과 같다.

- 탄성 계수:  $E=195 \text{ GPa}$ ,
- 강성 계수:  $G=83 \text{ GPa}$ ,
- 포아송비:  $\nu=0.28$ ,
- 밀도:  $\rho=7700 \text{ kg/m}^3$ .

### 나. 진동 측정점

핸들 진동을 측정하기 위한 측정점은 유한 요소 해석의 결과(이, 2004)를 이용하여, 핸들의 모드 형상을 4차까지 표현할 수 있고, 노드점(nodal point)의 영향을 최소화 할 수 있는 지점으로서, 그림 2에서와 같이 20개 지점으로 결정하였다.

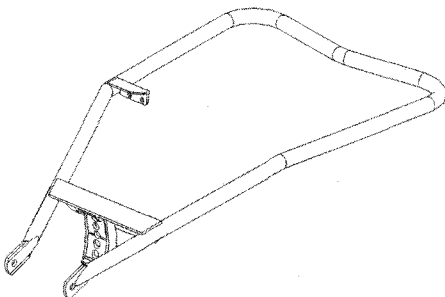


Fig. 1 Handle of the walking-type cultivator used for hand vibration study.

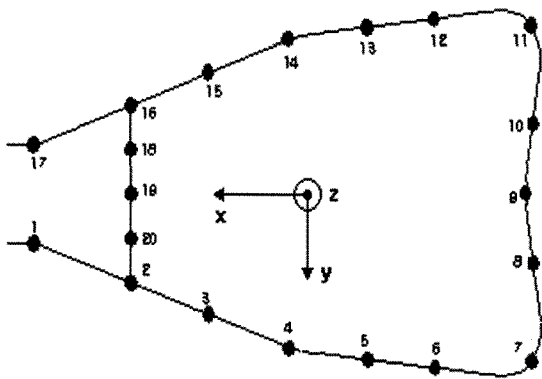


Fig. 2 20 points on the handle at which vibrations were measured for ODS analysis.

운전중 핸들의 변형 형상을 구명하기 위한 기준점은 7번으로 하였으며, 6번은 핸들의 손잡이 위치로서, 운전자의 손으로 전달되는 진동을 측정하기 위한 지점으로 하였다. 핸들의 기준 좌표계는 그림 2에서와 같이 4와 14점을 연결한 연직면과 8과 19점을 연결한 연직면의 교차점을 원점으로 하고, 관리기의 전진 방향을 +x축, +x축의 왼쪽 직각 방향을 +y축, +x축과 +y축으로 구성되는 xy 평면의 연직 상향을 +z축으로 하였다.

### 다. 운전중 변형 형상

운전중 변형 형상(operational deflection shape: ODS)은 특정 운전 조건(specific stationary operating condition)에서 특정 주파수에 의한 구조물의 변형 형상을 말한다. 운전중 변형 형상은 가진 조건의 영향을 받지 않는 모드 형상(mode shape)과는 달리 가진 조건에 따라 형상이 변화되는 특징이 있다. 본 연구에서는 특정 운전 상태에서 실험으로 구한 운전중 변형 형상의 주파수 응답 함수(frequency response function: FRF)를 이용하여 핸들의 운전중 변형 형상을 구하였으며 이 결과를 이용하여 추가 질량의 위치를 결정하였다.

#### 1) 운전중 변형 형상의 주파수 응답 함수

운전중 변형 형상의 주파수 응답 함수(ODS FRF)는 식 (1)에서와 같이 한 지점에서 측정한 자기 스펙트럼(auto-spectrum)의 크기와, 기준점과 이 지점 사이의 상호 스펙트럼(cross-spectrum)으로써 나타낼 수 있다.

$$\text{ODS FRF} = |G_{xx}| \cdot e^{-j\phi_{xy}} \quad (1)$$

여기서  $G_{xx}$ 는 한 지점에서 측정한 자기 스펙트럼의 크기이고,  $\phi_{xy}$ 는 기준점과 이 지점 사이의 상호 스펙트럼 위상을 나타낸다. ODS FRF를 이용하여 구조물의 운전중 변형 형상과 임의의 지점에서 실제 가속도 수준을 구명할 수 있다.

본 연구에서는 20개 지점에 대한 ODS FRF를 이용하여 핸들의 운전중 변형 형상을 구하였다.

#### 2) 주파수 응답 함수의 크기 보정

ODS FRF를 이용하여 핸들의 운전중 변형 형상을 구하기 위해서는 핸들에 지정한 20개 지점과 동일한 수의 ODS FRF가 요구된다. 그러나, 다수의 ODS FRF를 구하는 과정에서 기준점의 자기 스펙트럼은 실험 조건에 따라 항상 크기가 다르기 때문에 각 지점에서 측정한 ODS FRF의 크기를 식 (2)에서와 같이 보정하여야 한다.

$$\text{Scale Factor}(i) = \frac{\sum_{i=1}^{20} \text{ARM}(i)}{20 \times \text{ARM}(i)} \quad (2)$$

여기서 ARM(i)는 기준점에서 측정된 평균 자기 스펙트럼의 크기를 나타낸다.

### 3) 운전중 변형 형상 실험

20개 지점에 대한 ODS FRF를 구하기 위한 실험 장치는 그림 3에서와 같이 기준 응답 신호 측정용 가속도계, 이동 응답 신호 측정용 가속도계, 신호 증폭기, 테이프 레코더, 신호 분석기로 구성하였다. 각 지점에서 ODS FRF를 구하기 위한 가속도 신호는, 관리를 평탄한 지면상에 정차시킨 후, 엔진을 실제 작업할 때의 속도와 같은 3120 rpm으로 공회전시킨 상태에서 측정하였다. 이때 엔진의 가진 주파수는 52 Hz이었다.

기준점의 가속도는 기준점 7번에 고정된 기준 응답 신호 측정용 가속도계를 이용하여 측정하고, 다른 측정점, 즉 1번

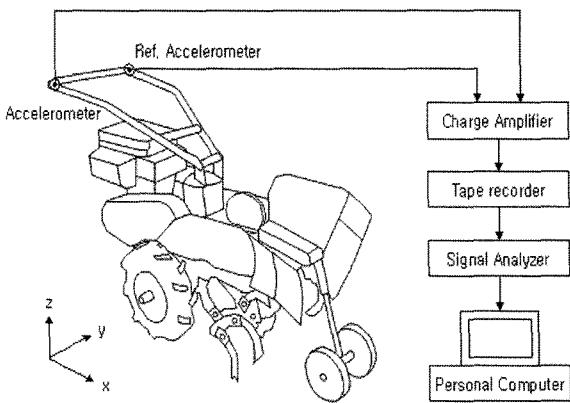


Fig. 3 Instrumentation for the ODS test.

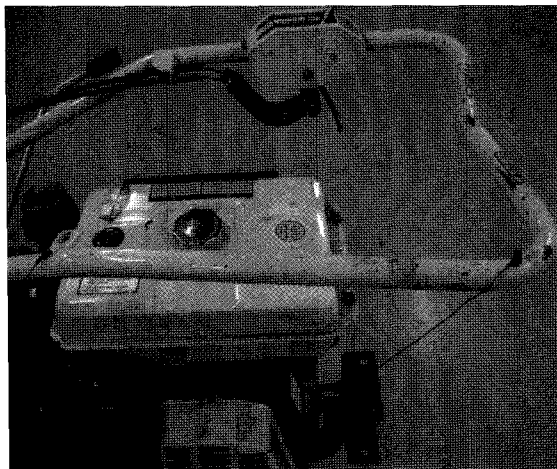


Fig. 4 A view of the ODS test with accelerometers installed at points 3 and 7.

부터 20번까지의 가속도는 가속도계를 차례로 이동하며 각 지점에서 측정하였다. 측정된 가속도 신호는 증폭기를 통하여 테이프 레코더에 저장하였으며, 신호 분석기를 이용하여 필터링, A/D 변환, 주파수 분석을 실시하고 20개 지점의 자기 스펙트럼과, 기준점과 각 지점 사이의 19개 상호 스펙트럼을 구하였다. 가속도계는 측정 직전에 모두 보정하여 사용하였다. 실험에 사용한 장비의 제원은 표 1에서와 같고, 그림 4는 ODS FRF를 구하기 위한 실험 모습을 나타낸 것이다.

실험으로 구한 20개의 ODS FRF와 상용 프로그램인 ME'scope (2003)를 이용하여 엔진의 가진 주파수인 52 Hz에서 핸들의 운전중 변형 형상을 구하였다.

### 라. 핸들의 진동 측정

운전중 변형 형상을 이용하여 결정된 최적의 질량 추가 위치에 질량을 추가한 후, 핸들에서 손으로 전달되는 진동을 측정하였으며, 다른 지점에서 측정된 진동 수준과 비교하여 최적의 위치를 확인하였다. 또한, 질량을 추가하였을 때와 추가하지 않았을 때의 진동 수준을 비교하여 질량 추가로 인한 진동 감소 효과를 구명하였다.

#### 1) 진동 측정

진동은 관리를 평탄한 지면상에 정차시킨 후 엔진이 3120 rpm으로 공회전하는 상태에서 측정하였다. 측정 장치는 가속도계를 고정하기 위한 고정대, 가속도계, 신호 증폭기, 테이프 레코더, 신호 분석기로 구성하였으며, 측정은 다음과 같은 순서로 실시하였다.

- ① 6번 지점에 가속도계 고정대를 부착하고, 3축(x, y, z축)

Table 1 Specifications of equipments used for the ODS test

Equipment	Specifications
Signal analyzer	4 ch. signal analyzer 50 to 25,600 line FFT 25 kHz input module Generator and sampling module 25 kHz zoom processor
Accelerometers	Sensitivity.: 0.3±2% pC/m/sec <sup>2</sup> Freq. range: 0.1~16,500 Hz
Tape recorder	Freq. range: 0~10 kHz in 8ch. 16 bit quantization
Charge amplifier	Freq. range: 0.3~40,000 Hz Max input: 7 V (rms)
Calibration exciter	Frequency: 159.15 Hz Acceleration: 10 m/sec <sup>2</sup> (rms) Velocity: 10 mm/sec (rms) Displacement: 10 μm (rms)

방향의 진동을 측정하기 위한 3개의 가속도계를 고정대에 부착한다.

② 질량 추가 위치에 질량 고정대를 부착하고 질량을 추가한다. 고정대의 질량은 0.4 kg이고, 추가 질량은 2.0 kg까지 0.2 kg 간격으로 증가시킨다. 최대 추가 질량을 2.0 kg로 한 것은 예비 실험의 결과를 고려한 것이다.

### 2) 진동 분석

진동 분석은 ISO 5349-1(2001) ‘손으로 전달된 진동에 대한 측정과 평가 지침에 따라 수행하였다. 측정된 가속도 신호를 6.3~1250 Hz 주파수 범위에서 1/3 옥타브 중심 주파수에 대한 가속도로 변환한 후, 손으로 전달되는 진동에 대한 주파수 보정값을 곱하여 x, y, z축 방향의 진동 수준을 구하였다. 즉, 식 (3)을 이용하여 x, y, z축 방향의 주파수-보정 가속도  $a_{hw}$ 를 구하였다.

$$a_{hw} = \sqrt{\sum_i (W_{hi} a_{hi})^2} \quad (3)$$

여기서,  $W_{hi}$  = i번째 1/3 옥타브 중심 주파수에 대한 보정 계수,  $a_{hi}$  = i번째 1/3 옥타브 중심 주파수 대한 가속도,  $m/s^2$  총진동 수준,  $a_{hw}$ 는 3축 방향 주파수-보정 가속도의 벡터 합으로서 식 (4)에서와 같이 구하였다.

$$a_{hw} = \sqrt{a_{hwx}^2 + a_{hwy}^2 + a_{hwz}^2} \quad (4)$$

여기서,  $a_{hwx}$ ,  $a_{hwy}$ ,  $a_{hwz}$ 는 각각 x, y, z방향의 주파수-보정 가속도이다.

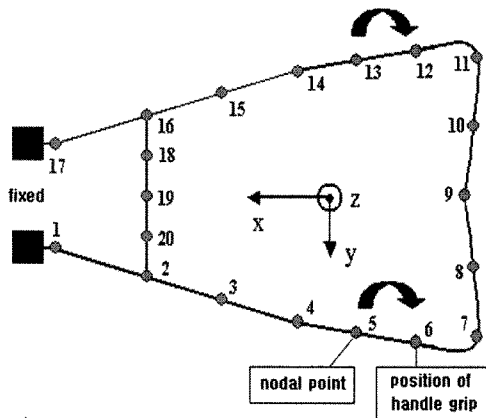


Fig. 5 Location of added mass.

### 마. 질량 추가 위치의 결정

질량 추가 위치는 관리기 운전자가 손으로 핸들을 잡는 위치인 6번과 12번 지점의 진동을 최소화시킬 수 있는 곳으로서 다음과 같은 조건을 만족하여야 한다.

① 핸들이 좌우 대칭이므로 질량 추가 위치도 좌우 대칭으로 1 지점씩 2 지점으로 한다.

② 질량 추가 위치는 핸들의 노드점 위치를 5번과 13번에서 손잡이 지점인 6번과 12번으로 이동시킬 수 있어야 한다.

그림 5에서와 같이 1번과 17번 지점은 관리기 본체에 고정되어 있기 때문에 노드점을 6번과 12번으로 이동시키기 위해서는, 질량을 7번과 11번 사이에 추가하여야 한다. 따라서, 질량 추가가 가능한 위치는 7번과 11번, 8번과 10번, 9번으로서, 이 중에서 6번과 12번 지점의 진동을 최소화할 수 있는 곳에 질량을 추가하여야 한다.

질량 추가가 가능한 위치 7번과 11번, 8번과 10번, 9번을 각각 질량 추가 위치 1, 2, 3이라 하고, 각 위치에서 추가 질량을 0.4 kg에서 2.0 kg까지 0.2 kg씩 증가시키며 핸들의 변형 형상을 구하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 가. 핸들의 운전중 변형 형상

핸들의 20개 지점에서 측정된 가속도 신호를 이용하여 기준점에 대한 20개의 ODS FRF를 구하고, 20개의 ODS FRF를 이용하여 ME scope(2003)로 구한 핸들의 운전중 변형 형상은 그림 6에서와 같이 나타났다. 엔진의 가진 주파수 52 Hz에서 핸들의 운전중 변형 형상은 그림 5에서와 같이 5번과 13번 지점을 노드점으로 하는 2차 벤딩 모드인 것으로 나타났다.

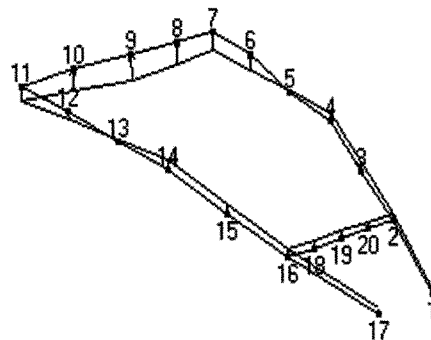


Fig. 6 ODS of handle at an engine frequency of 52 Hz.

나. 질량 추가 위치

질량 추가 위치 1에 2.0 kg의 질량을 추가하였을 때 노드점은 7번과 12번 쪽으로 이동하였으며, 질량 추가 위치 2에 2.0 kg의 질량을 추가하였을 때는 8번과 12번 쪽으로 이동하였다.

또한, 질량 추가 위치 3에 2.0 kg의 질량을 추가하였을 때는 7번과 12번 쪽으로 이동하였다. 좌우의 노드점이 다르게 이동한 것은 12번과 13번 사이에 클러치 조작부가 부착되어 있기 때문인 것으로 판단한다. 즉, 판리기 핸들이 완전한 좌우 대칭이 아니기 때문인 것으로 판단된다. 그림 7은 질량 추가 위치 3에서 추가 질량을 1.0 kg에서 2.0 kg로 증가시켰을 때 노드점이 5와 6 사이와 12와 13 사이에서 7과 12번으로 이동한 상태를 나타낸 것이다.

그림 8은 질량 추가 위치 1, 2, 3에 추가한 질량의 크기에 따라 ODS FRF를 이용하여 구한 손잡이 부분 즉, 6번 지점의 z 방향 가속도 수준을 나타낸 것이다. 추가 질량이 증가함에 따라 초기에는 가속도 수준이 감소하였으나 추가 질량이 1 kg 이상일 때는 다시 증가하는 경향을 나타내었다. 이러한 경향은 질량 추가 위치에 관계없이 모두 동일하였다. 또한, 추가

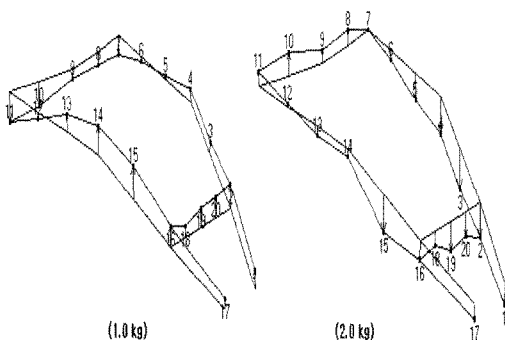


Fig. 7 ODS of the handle when masses of 1.0 kg and 2.0 kg were added at the location 3, respectively.

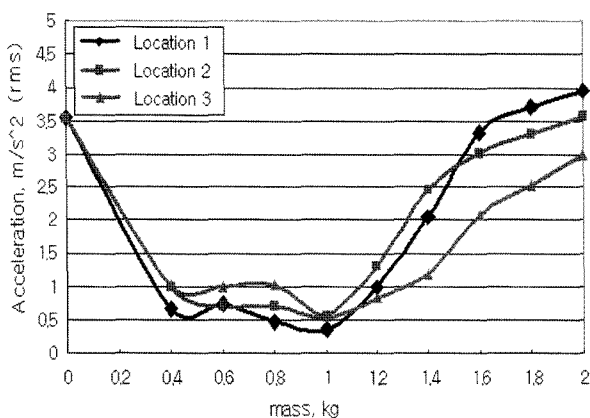


Fig. 8 Z-axis acceleration at the point 6 when mass is added at the three different locations.

질량이 1.0 kg보다 적을 때는 추가 위치 1에서 가속도 수준이 가장 낮았으며, 추가 질량이 1.0 kg보다 클 때는 추가 위치 3에서 가속도 수준이 가장 낮았다. 그러나 추가 질량이 1.0 kg 일 때는 모든 질량 추가 위치에서 가속도 수준이 가장 낮았다.

질량 추가 위치 1에 질량 1.0 kg를 추가하였을 때 6번 지점의 z축 방향 가속도 수준은 0.35 m/s<sup>2</sup>이었으며, 질량 추가 위치가 2일 때는 0.54 m/s<sup>2</sup>, 질량 추가 위치가 3일 때는 0.56 m/s<sup>2</sup>이었다. 그러나, 2.0 kg의 질량을 추가하였을 때의 가속도 수준은 2.98~3.94 m/s<sup>2</sup> 범위로 증가하였다. 따라서, 손잡이 부분의 진동을 최소화하기 위해서는 1.0 kg의 질량을 질량 추가 위치 1, 즉 7번과 11번에 추가하는 것이 가장 합리적인 것으로 나타났다.

다. 핸들의 진동 측정

1) 3축 방향 진동 분석

그림 9, 10, 11은 각각 질량 추가 위치 1, 2, 3에 질량을 추가하며 핸들의 손잡이에서 측정된 x, y, z축 방향의 진동 수준을 나타낸 것이다. x축 방향의 진동 수준은 질량 추가 위치가 1일 때 가장 낮게 나타났으며, 3.00~3.60 m/s<sup>2</sup> 범위이었다. 추가 질량의 차이에 따른 진동 수준의 변화는 크게 나타나지 않았다. y축 방향의 진동 수준도 질량 추가 위치가 1일 때 가장 낮게 나타났으며, 0.76~1.49 m/s<sup>2</sup> 범위이었다. x축에서와 같이 y축에서도 추가 질량의 차이에 따른 진동 수준의 변화는 크지 않았다. x, y축 방향의 진동 수준의 변화가 크지 않은 것은 질량을 z축 방향으로 추가하였기 때문인 것으로 판단된다. z축 방향의 진동 수준은 추가 질량이 1.0 kg가 될 때까지 3 위치에서 모두 질량이 추가됨에 따라 감소하였으나, 추가 질량이 1.0 kg 이상일 때는 다시 증가하는 경향을 나타내었다. 추가 질량의 크기가 같을 때는 질량 추가 위치가 1일 때 진동 수준이 가장 낮았다.

추가 질량이 1.0 kg일 때, 진동 수준은 추가 질량이 없을 때와 비교하여 질량 추가 위치가 1일 때는 2.67 m/s<sup>2</sup>에서 0.88 m/s<sup>2</sup>로, 2일 때는 2.67 m/s<sup>2</sup>에서 1.47 m/s<sup>2</sup>로, 3일 때는 2.67 m/s<sup>2</sup>에서 2.03 m/s<sup>2</sup>로 각각 감소하였다. 위치 1, 2, 3에서 1 kg의 추가 질량에 의한 진동 감소율은 각각 67.0%, 44.9%, 24.0%로 나타났다. 이러한 결과에 의하면 1.0 kg의 질량을 질량 추가 위치 1에 추가함으로써 z축 방향의 진동 수준을 최소화할 수 있을 것으로 판단된다.

2) 총진동 수준

그림 12는 질량 추가에 따른 손잡이 지점의 총진동 수준을 나타낸 것이다. 총진동 수준은 추가 질량이 1.0 kg일 때 1, 2, 3

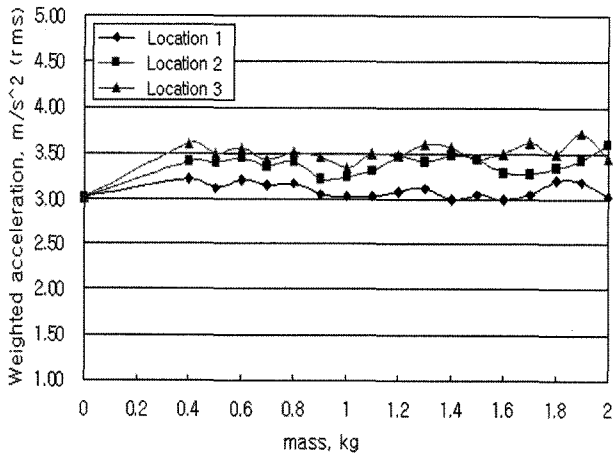


Fig. 9 X-axis vibration measured at handle grip when mass was added at locations 1, 2 and 3.

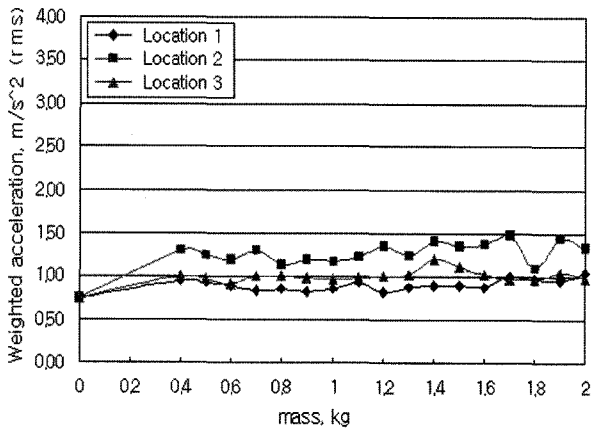


Fig. 10 Y-axis vibration measured at handle grip when mass was added at locations 1, 2 and 3.

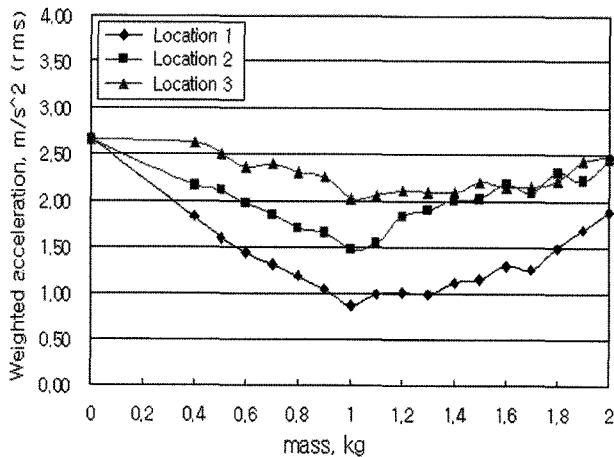


Fig. 11 Z-axis vibration measured at handle grip when mass was added at locations 1, 2 and 3.

위치에서 모두 가장 낮았다. 추가 질량이 없을 때와 비교하면 1.0 kg의 질량이 추가되었을 때 질량 추가 위치 1에서 총진동 수준은  $4.09 \text{ m/s}^2$ 에서  $3.27 \text{ m/s}^2$ 로, 위치 2에서는  $4.09 \text{ m/s}^2$ 에서  $3.74 \text{ m/s}^2$ 로, 위치가 3에서는  $4.09 \text{ m/s}^2$ 에서  $3.95 \text{ m/s}^2$ 로 감소하였다. 질량 추가 위치 1, 2, 3에서 1.0 kg의 질량 추가로 인한 진동 감소율은 표 2에서와 같이 각각 20.0%, 8.6%, 3.4%인 것으로 나타났다. 즉, 질량 추가 위치 1에 1.0 kg의 질량을 추가함으로써 손잡이 부분의 총진동 수준은 원래 상태에서보다 20% 감소되었다.

#### 4. 요약 및 결론

본 연구는 핸들에 질량을 추가하는 방법으로 보행형 관리기의 핸들 진동을 최적화할 수 있는 방법을 제시하였으며, 추가 질량의 최적 위치와 크기를 제시하였다. 운전중 변형 형상 기법을 적용하여 엔진의 가진 주파수인 52 Hz에서 핸들의 동적 거동을 구명하고 핸들 좌우에 존재하는 노드점을 확인하였다. 이 노드점을 핸들의 손잡이 부분으로 이동시키기 위한 질량 추가 가능 위치를 선정하고 추가 질량의 크기를 변화시키며, 최적 위치와 크기를 실험적으로 결정하였다.

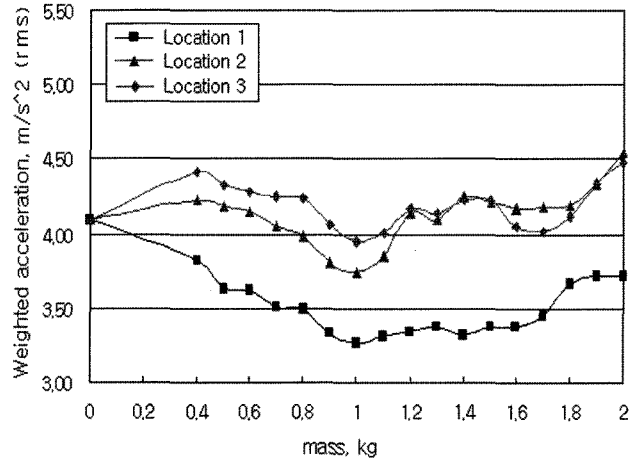


Fig. 12 Total vibration measured at handle grip when mass was added at locations 1, 2, and 3.

Table 2 Total vibration measured at handle grip when a mass of 1.0 kg was added at locations 1, 2 and 3

Location	Total vibration, $\text{m/s}^2$		Reduction, %
	No mass added	Added mass of 1.0 kg	
Location 1	4.09	3.27	20.0
Location 2	4.09	3.74	8.6
Location 3	4.09	3.95	3.4

## 참고문헌

추가 질량의 최적 위치와 크기는 각각 손잡이 뒷부분의 핸들 모서리와 1.0 kg인 것으로 나타났다. 최적 위치에 1.0 kg의 질량을 추가하였을 때 손잡이 부분의 총진동 수준은  $4.09 \text{ m/s}^2$ 에서  $3.27 \text{ m/s}^2$ 으로 20% 감소되었다. 이러한 질량 추가의 원리를 적용하면, 국내에서 생산되고 있는 관리기의 핸들 진동을 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

주요 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 추가 질량의 최적 위치는 운전중 변형 형상 기법을 적용하여 핸들의 노드점을 손잡이 부분으로 이동시킬 수 있는 점으로서, 본 연구에서 사용한 핸들의 경우에는 손잡이 뒷부분에 위치한 모서리인 것으로 나타났다.
- (2) 최적 질량은 최적 위치에서 추가 질량의 크기를 변화시키며 손잡이 부분의 진동이 최소가 되는 질량으로서, 본 연구에서 사용한 핸들의 경우에는 1.0 kg인 것으로 나타났다.

1. International Organization for Standardization. 2001. ISO 5349-1: 2001(E). Mechanical vibration - measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration - Part 1: General requirements.
2. ME'scope VES 4.0 - Reference. 2003. Vibrant Technology, Inc. USA.
3. Yibin, Y. L., Zhang, F. Xu and M. Dong. 1998. Vibratory characteristics and hand-transmitted vibration reduction of walking tractor. Transactions of the ASAE 41(4):917-922.
4. 박영준, 김경욱. 2002. 손으로 전달된 관리기 진동의 분석과 방진 대책. 한국농업기계학회지 27(4):273-282.
5. 박영준, 이운세, 김경욱. 2004. 보행형 관리기의 엔진 마운트로써 방진 고무의 효과와 최적화 설계. 바이오시스템공학회지 29(5): 385-394.
6. 박영준, 이운세, 김경욱. 2004. 모드 해석과 운전중 변형 형상 기법을 이용한 보행형 관리기의 핸들 진동 감소 방안. 바이오시스템공학회지 29(2):101-108.
7. 이장무. 2000. 모드 해석의 이론과 응용. 서울대학교.