한국소음진동공학회논문집 제 15 권 제 4 호, pp. 404~411, 2005.

수전달 진동평가량의 랜덤오차 저감을 위한 공구 핸들에서의 진동과 작용력의 동시 측정

Simultaneous Measurement of Vibration and Applied Forces at a Power Tool Handle for the Reduction of Random Error When Evaluating Hand-transmitted Vibration

최 석 현† · 장 한 기* · 박 태 원**

Seok-Hyun Choi, Han-Kee Jang and Tae-Won Park

(2004년 12월 8일 접수 ; 2005년 3월 26일 심사완료)

Key Words : Hand-arm System(수완계), Hand-transmitted Vibration(수전달 진동), Grip Force(악력), Feed Force(이송력), Frequency-weighting(주파수 가중), Vibration Total Value(진동 총 값)

ABSTRACT

To increase accurateness and reliability of the evaluation of power tool vibration transmitted to an operator, it is necessary to measure the grip and feed forces during the measurement of hand-transmitted vibration. In the study a system was invented to measure the vibration and the grip and/or feed force, which consists of a measurement handle and a PC with a data acquisition system and the corresponding software. Strain gauges and an accelerometer were mounted on the handle surface for the simultaneous measurement of the forces and the vibration. The program in the system makes it possible to monitor the grip and feed force during the tool operation so that the operator keeps the applying forces within the pre-determined range. Investigating the vibration total values, frequency-weighted root-mean-square accelerations at the handle, obtained in repetition for each power tool with control of the grip and feed force showed more consistency than those measured without force control. By using the system the experimenter can reduce random error of the measured vibration.

1. 서 론

수완계(hand-arm system) 진동은 주로 동력공구(power tool)를 사용하는 작업자들이 공구를 쥐고 있을 때, 손을 통하여 신체로 전달되는 충격 및 진동을 의미하며, 경우에 따라 수전달(hand-transmitted) 진동이란 용어로 사용되기도 한다. 수완계 진동은 작업 효율을 저감시키고, 장기간 피폭될 경우 혈관계, 신경계 그리고 근골격계 장애등과 같은 수완계 진동 증후군(HAVS, hand-arm vibration induced syndrome)[1]을 유발할 수 있다. 이러한 장애들은 대부분의 선진국에서 산재 목록에 포함되어 보상이 이뤄지고 있으며, 또한 이미 수 십년 전부터 동력공구를 사용하는 작업자들의 1일 진동 피폭량을 제한하는 규정을 시행해오고 있다.

수전달 진동 평가의 목적은 작업자의 보건을 위해 동력공구에서 발생하는 진동이 작업자에게 미치는 유

† 책임저자 : 정회원, 고등기술연구원 제품기술연구센터
아주대학교 대학원 기계공학과
E-mail : oaat8@iae.re.kr
Tel : (031) 330-7411, Fax : (031) 330-7116
* 정회원, 고등기술연구원 제품기술연구센터
** 정회원, 아주대학교 기계공학과

해성의 수준을 추정하여 수완계 진동 증후군의 발병을 예방하는 것이다. 수완계 진동의 측정량은 가속도이며, 평가는 주파수 가중된 가속도의 실효치 진동총 값(vibration total value of frequency weighted r.m.s. acceleration)이 사용된다.[2,3] 평가량의 결정을 위해서, 최소 3인의 작업자를 선정하여 각 작업자가 동력공구를 쥐고 작업하는 동안 공구와 손바닥 사이에서 가속도를 측정한다. 이 때, 작업자에 의해 가해지는 작용력 즉, 쥐는 힘(악력)과 밀거나 당기는 힘(이송력)이 개인별로 달라지면 평가량 산출시 측정 불확도가 증가하는 주요한 원인이 된다. 이와 같이 개인차에 따른 측정 불확도는 20 %가 넘는 것으로 보고된 바 있다.[1]

이렇게 측정 불확도가 증가하게 되면, 수완계 진동 평가량을 기준으로 1일 허용 작업시간을 결정해야 하는 사업주나 작업자들에게 상당한 혼란을 줄 수 있다. 영국의 산업안전 기준에 따르면[5], 진동 총 값이 2.8 m/s^{2}일 경우 1일 8시간 작업을 허용하게 되지만, 이 진동 값이 10 %만 증가해도, 허용 작업 시간은 6.8시간으로 줄어들어 그 파급효과가 매우 크기 때문이다. 수완계 진동 측정 방법을 규정하는 ISO 규격[2,3]에서는 이와 같은 문제점을 인정하여 진동 측정 시 작용력을 함께 측정하여 데이터 보고 시 첨부할 것을 권장하고는 있지만, 구체적인 측정 방법을 제시하지 못하고 있는 것이 현실이다.

이 연구에서는 이 문제점에 대한 해결방안으로서 공구 작업 중에 진동의 크기와 더불어, 악력과 이송력으로 구분된 작용력을 동시에 측정하는 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 스트레인게이지를 이용한 힘 측정용 핸들과 초소형 3축 가속도계를 이용한 가속도 측정장치로 구성되며, 측정되는 신호를 제어하기 위한 PC 기반 데이터 처리 장치와 LabVIEW 프로그램을 포함한다. 프로그램에서는 주파수 가중치 적용과 실시간 데이터 분석 및 처리가 가능하도록 하였다.

이 시스템을 이용하면 작업자가 작업 중의 자신의 힘을 모니터링하여 일정 범위내로 유지한 상태에서 진동 크기를 추정할 수 있다. 이 시스템을 활용함으로써 수완계 진동 평가자는, 작업자 간 혹은 작업도중에 나타나는 작용력의 편차를 감소시켜서 수완계 진동 피폭량의 측정 신뢰성을 높일 수 있다.

2. 작용력 측정

2.1 작용력 측정원리

작업자가 진동하는 동력공구를 쥐고 있을 때의 작용력에는 일정 수준의 DC 성분과 Random 성분을 포함된다. 작용력을 측정함에 있어서 DC 성분을 정확하게 측정하는 것이 중요하므로, 이 연구에서는 동적 성분뿐만 아니라 DC 성분 측정이 가능한 스트레인게이지를 측정용 핸들에 부착하여 힘 변환기로 사용하였다. 작용력 측정을 위해 제작한 핸들은 Fig. 1과 같이 단면이 반원을 이루는 두 개의 외팔보 형태로 구성되며, 작용력이 가해짐에 따라 아래 위의 외팔보에 개별적으로 변형이 발생한다. 변형률이 상대적으로 큰 뿌리단 근처에 스트레인게이지를 부착하였고, 휫스톤 브리지 회로와 전용 증폭기를 구성함으로써 작용력이 핸들에 가해지면 전압 변화가 측정된다. 가해진 힘과 출력전압의 관계는 교정 실험을 통해 유도될 수 있다.

Fig. 2는 작업자가 핸들을 쥐고, 아래로 밀 때의 악

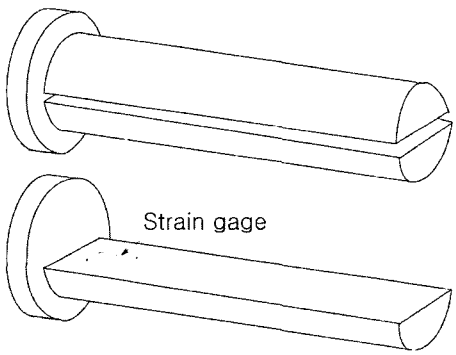


Fig. 1 Handle for the force measurement

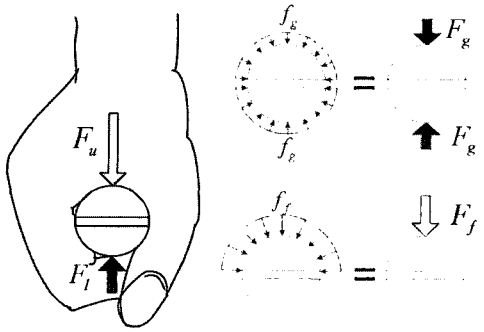


Fig. 2 Grip and feed forces at the handl

력과 이송력 측정의 개념도이다. 악력은 쥐는 힘이므로 아래 위에 모두 작용하고, 이송력은 밀거나 당길 때 추가적으로 위나 아래에 발생한다. 악력과 이송력은 핸들 표면에 분포하중을 발생시 키고, 분포하중이 표면에 수직한 방향에 대해 균일하게 작용하는 것으로 가정하면 분포하중의 수평 방향의 성분은 벡터합으로 상쇄되어 수직성분만 남게 되므로, Fig. 2의 오른쪽과 같이 악력과 이송력을 분리하여 표현할 수 있다. 위와 아래에서 각각 측정되는 힘(F_u, F_l)과 악력(F_g)과 이송력(F_f)의 관계식은 식 (1)과 (2)로 나타낼 수 있다.

$$F_u = F_g + F_f \tag{1}$$

$$F_l = F_g \tag{2}$$

F_u와 F_l은 핸들의 교정 실험의 결과로 얻어지며, 식 (1)과 식 (2)를 조합하면 식 (3)과 식 (4)에서 이송력과 악력을 계산할 수 있다. 핸들을 쥐고 위로 당길 때 이송력은 음(-)의 값으로 표현된다.

$$F_f = F_u - F_l \tag{3}$$

$$F_g = F_l \tag{4}$$

2.2 작용력 측정용 핸들의 교정(Calibration)

동력공구 작동시 작업자의 정적 작용력을 모니터링하기 위해서 먼저 정적 상태에서 작용력과 출력 전압 사이의 관계식을 유도하여야 하므로, Fig. 3과 같은 방식으로 교정 실험을 수행하였다. 공구 작업시 작업자가 가하는 작용력은 접촉면 전체에 작용하므로 유연한 재질의 인조가죽을 사용하여 접촉면에 완전히 밀착할 수 있도록 하였고, 이때 접촉면의 폭은 손의 크기에 대한 규정을 담고 있는 BS규격[7]의 사이즈 7에 해당하도록 하였다. 교정 실험의 결과로서 하중-출력전압 사이의 관계식을 얻을 수 있고, 이 관계식을 역으로 하면 식 (5)의 출력전압-하중의 관계식이 된다.

$$W = \alpha V \tag{5}$$

여기서 W는 Fig. 3에 도시한 하중, V는 출력 전압이며, α는 하중-출력전압의 관계를 나타내는 상수로서 선형성을 유지하는 범위 내에서 기울기가 된다.

식 (5)의 출력전압 - 하중의 관계식을 하중 W대신 상,하면에 작용하는 힘 F_u와 F_l에 대해 다시 정리하면 식 (6)과 (7)으로 표현되며, 이를 다시 식 (3)과 (4)에 각각 대입하면 악력과 이송력을 구할 수 있다.

$$F_u = \alpha_u V_u \tag{6}$$

$$F_l = \alpha_l V_l \tag{7}$$

2.3 작용력 측정용 핸들의 적용

보조핸들을 사용하는 동력공구에 적용할 수 있는 작용력 측적용 핸들을 제작하였다. Fig. 4(a)와 (b)는 각각 결합 전의 부품 상태와 결합 후의 조립도이다.

Fig. 4(a)에서 부품 C와 D는 작업자가 손으로 쥐는 부분으로 작용력이 가해짐에 따라 변형이 발생하는데 부품 C와 D에 각각 발생하는 변형이 서로 영향을 미치는 것을 최소화 하기 위해서 Fig. 1과는 달리 부품 B의 끝단에서 결합하였고, 변형이 상대적으로 큰 뿌리단 근처의 안쪽에 스트레인게이지를 부착하였다. 부품 A는 동력공구 및 부품 B와 결합하기 위해 양쪽에 볼트로 탭 가공된 것으로서, 여러 종류의 동

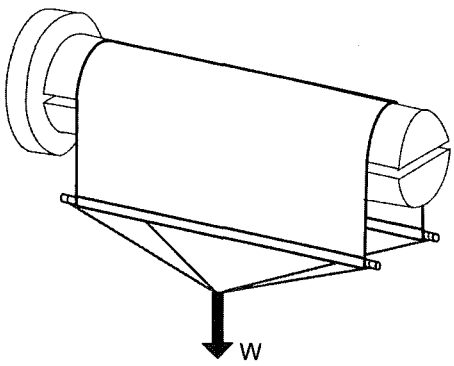
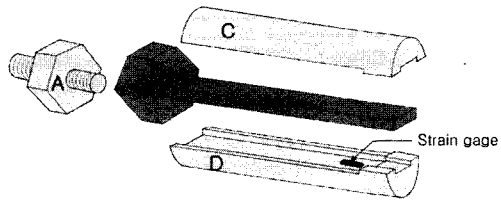
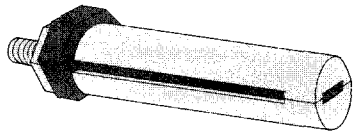


Fig. 3 Determination of voltage sensitivity



(a) In parts



(b) Assembled

Fig. 4 Handle for the force measurement

력 공구에 적용할 때 핸들을 조립하는 부분의 나사 피치가 다를 경우에는 부품 A만 교환하면 적용할 수 있다. 스틸로 제작한 부품 B는 부품 A, C, D를 결합하기 위한 중심재 역할을 한다.

핸들 공진 주파수를 극대화하기 위하여 부품 A, C, D는 질량에 비해 강성이 큰 알루미늄 합금을 사용하였다. 이때 부품 C, D에 스트레인게이지를 접착한 후 중심재 B에 부착시킬 때 이종 금속간의 견고한 결합을 위하여 상온 경화되는 고강도 에폭시 수지 접착제(3M,EP460)를 사용하였다.

이 연구에서는 환경 조건을 유지하면서 일자를 다르게 하여 4차례 교정실험을 통해 스트레인게이지 민감도의 평균값을 구하였다. 구한 출력전압-힘의 관계식은 상면과 하면에 대해서 각각 식 (8)과 (9)로 표현된다. 음(-)의 기호는 가한 하중에 대해 스트레인게이지가 압축되어 음의 출력전압이 발생하기 때문이며, 악력과 이송력은 식 (10)과 (11)로 표현될 수 있다.

$$F_u[N] = -105.78 V_u[mV] \tag{8}$$

$$F_l[N] = -98.19 V_l[mV] \tag{9}$$

$$F_f[N] = -105.78 V_u[mV] + 98.19 V_l[mV] \tag{10}$$

$$F_g[N] = -98.19 V_l[mV] \tag{11}$$

2.4 작용력의 실시간 모니터링 방법

작업자가 작동하는 동력공구를 쥐고 있는 상태에서 자신이 가하는 힘을 모니터링하려고 할 때 악력과 이송력의 값을 실시간으로 표시하면 변화가 너무 빨라서 작업자가 인지 할 수 없다. 따라서 0.25 초의 시간 간격을 두고 값을 표시하도록 하였다. 0.25 초의 시간 간격동안 악력과 이송력을 선형 적분하여 평균하는 방식을 취하였다.

3. 3축 진동과 작용력의 동시 측정 시스템 개발

3.1 3축 진동의 측정

진동하는 표면의 거동을 알기 위해 가속도계를 사용하며, 동력공구에 대해서 측정 축은 Fig. 5와 같은 접촉점 기준 좌표계(basicentric coordi-nates)를 사용한다.

몇몇 동력공구의 진동은 특정 단축 또는 2축에서 지배적이다. 이러한 경우에 진동 피폭 평가량인 주파수 가중된 가속도의 실효치(root-mean-squares) 진동 총 값을 구하기 위해 우세한 단축 또는 2축에서의 가속도만을 측정한 후에 보정계수(multiplying factor)를 사용하는 방법을 사용하기도 한다.[2] 이 방법은 비록 보정 작업을 한다고 하기는 하지만 실제 가속도와 다른 값을 얻게 되는 문제점이 상존한다. 따라서 비록 단축 또는 2축의 진동이 우세하더라도 3축에서의 진동을 모두 측정하는 것이 바람직하다.

수전달 진동을 가장 정확하게 평가하기 위한 방법은 손바닥과 핸들 표면 사이에서 3축으로의 가속도를 측정하는 것이다. 가속도계를 손바닥 안에 위치시키고, 작업시 간섭이 일어나지 않도록 하기 위해 가속도계를 Fig. 6과 같이 유연한 재질의 보조용구(Adapter)에 삽입하였다. 유연한 재질의 보조용구 사용으로 인해 가속도 신호가 왜곡되는지의 여부를 검증하기 위해서 Fig. 7과 같이 실린더 형태의 핸들을 가진기에 부착한 후, 작업자가 악력 20 N, 이송력 70 N의 작용력으로 핸들을 파지한 상태에서 두 가속도 신호사이의 전달률을 측정하였다. 전달률은 핸들 내부에서 부착된 가속도계에 대한 보조용구에 삽입한 가속도계의 가속도의 비로 구하였다. Fig. 8과 같이

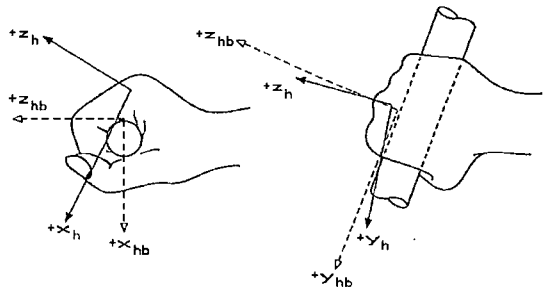


Fig. 5 Basicentric coordinate system (dashed line) and anthropometric coordinate system (solid line)

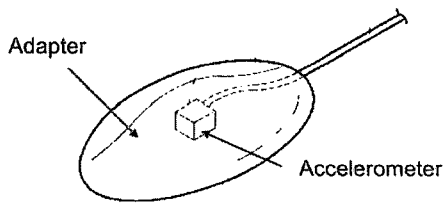


Fig. 6 Adapter for the placement of a 3-axis accelerometer on the handle surface

공진이 발생하지 않고 전달률이 1로 유지됨을 확인할 수 있었다. 또한 작용력의 변화에 대해서도 동일한 결과를 보였다.[6]

보조용구에 결합된 가속도 측정계의 두께가 파지 자세에 따른 거부감이 없기 위해서 10 mm를 초과하지 말아야 한다. 과거에는 이 두께를 만족하는 가속도계는 단축에 국한되었으나, 최근에는 이 조건을 만족하는 3축 가속도계가 출시되고 있다. 상용화 된 초소형 3축 가속도계는 단축 가속도계에 비해 고가인 단점이 있지만, 정확한 진동 평가량 산출이 가능하다.

이 연구에서는 Kistler사에서 개발한 초소형 3축 가속도계(8764A500)를 이용하여 3방향의 가속도를 측정한 뒤 각 성분에 주파수 가중치를 적용하여 실효치를 구한 뒤 식 (12)와 같이 벡터합을 구하는 방식(root-sum-of-squares)으로 진동 총 값을 결정하였다.

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hwx}^2 + a_{hwy}^2 + a_{hwz}^2} \tag{12}$$

3.2 진동과 작용력의 동시 측정 시스템

진동 크기(가속도)와 작용력(악력과 이송력)을 동시에 측정한다는 것은 작업자가 작용력을 주어진 범위로 유지한 상태에서 가속도를 측정하는 것을 의미한다.

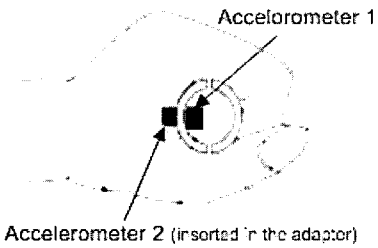


Fig. 7 Placement of accelerometers for the Measurement of transmissibility

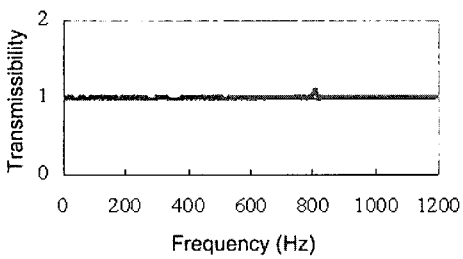


Fig. 8 Transmissibility of the flexible adapter

Fig. 9는 작동하는 동력 공구의 가속도와 작용력을 동시 측정하는 시스템의 구성도이고, Fig. 10은 작용력 측정용 핸들을 보조 핸들 대신 9″ 그라인더에 장착한 모습이다.

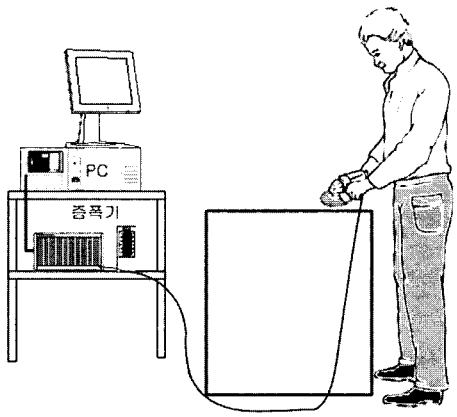


Fig. 9 Experimental setup for the measurement of the forces and the accelerations

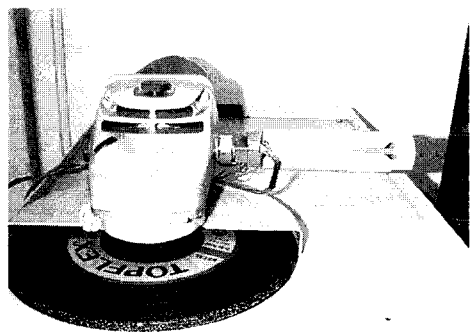


Fig. 10 9″ Grinder equipped with the force measurement handle

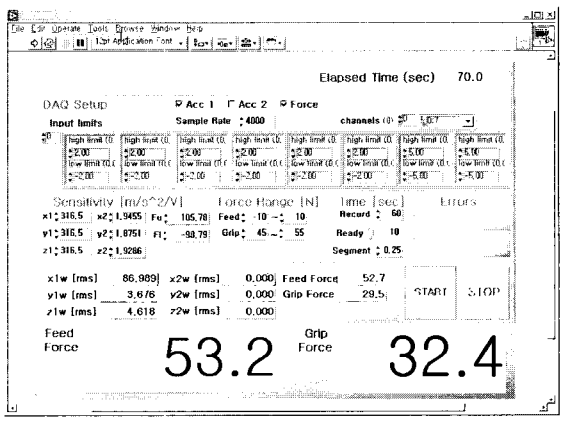


Fig. 11 Program for monitoring the forces and for the evaluation of the vibration exposure

Fig. 11은 작용력 모니터링과 진동 피폭 평가량 산출을 위해 LabVIEW로 작성한 프로그램이며, 측정된 가속도에 주파수 가중치를 주어 각 축별로 주파수 가중된 실효치로 결과를 표시한다. 이때 측정 주파수는 옥타브 밴드로 커버되는 8~1000 Hz까지의 범위로 제한된다.[2] 비록 작용력을 측정하는 위치는 핸들로 제한되지만, 가속도는 양쪽에서 동시 또는 선택적으로 측정할 수 있도록 하였다.

이 시스템에서 가속도와 작용력은 증폭기를 통해서 데이터 수집보드(NI-DAQ 6062E)를 내장한 PC에 입력된다. PC에 설치된 측정 프로그램에서는 작용력을 악력과 이송력으로 연산해서 0.25초마다 수치로 나타냄으로써 작업자가 자신의 작용력을 모니터링하여 작용력을 주어진 범위로 조절할 수 있게 하였다.

Table 1 Test results of measurement of the hand-transmitted vibration for the selected power tools with and without force control

Tools	Cases and ID		F_t (N)	F_g (N)	$a_{hw,x}$ (m/s^2)	$a_{hw,y}$ (m/s^2)	$a_{hw,z}$ (m/s^2)	a_{hv} (m/s^2)	Mean	S. D.
Drll	Case-1	1	57.4	24.9	1.4	1.2	1.0	2.1	2.5	0.38
		2	24.6	41.1	2.0	1.6	1.1	2.8		
		3	35.5	42.3	1.9	1.4	1.3	2.7		
	Case-2	1	39.8	33.8	1.1	0.7	0.7	1.5	1.7	0.16
		2	39.4	35.0	1.2	1.0	1.0	1.8		
		3	37.6	34.7	1.1	1.0	1.0	1.8		
Impact drill	Case-1	1	76.4	68.2	1.5	1.7	1.1	2.5	3.2	0.68
		2	49.7	42.5	1.9	2.1	1.4	3.2		
		3	17.3	30.0	2.2	2.9	1.6	3.9		
	Case-2	1	50.2	51.4	1.6	1.9	1.6	2.9	3.3	0.32
		2	51.3	55.5	2.0	2.2	1.8	3.5		
		3	45.9	53.7	1.8	2.5	1.5	3.5		
Disk sander	Case-1	1	5.9	40.9	4.6	6.4	7.5	10.8	8.0	3.02
		2	-5.6	63.3	3.2	6.9	3.2	8.2		
		3	-22.8	53.4	2.4	3.8	1.8	4.8		
	Case-2	1	2.4	46.6	3.2	6.4	3.5	7.9	6.9	1.57
		2	-3.4	47.9	2.5	4.0	2.1	5.1		
		3	2.9	47.0	2.4	5.2	5.2	7.7		
Polisher	Case-1	1	9.1	65.9	1.4	2.2	2.1	3.3	3.1	0.36
		2	0.8	71.9	1.3	1.9	2.2	3.2		
		3	-15.2	72.0	0.8	1.8	1.8	2.7		
	Case-2	1	4.9	68.6	1.1	2.1	2.0	3.1	3.7	0.86
		2	-1.3	68.9	1.7	1.9	2.0	3.2		
		3	5.5	69.5	0.9	2.6	3.8	4.7		
4" Grinder	Case-1	1	21.2	61.0	9.7	31.8	11.3	35.1	34.2	5.09
		2	17.6	42.1	6.3	25.8	10.9	28.7		
		3	35.6	57.9	5.3	34.2	17.4	38.8		
	Case-2	1	24.1	49.9	4.3	36.9	12.3	39.2	40.0	0.76
		2	24.8	49.2	5.3	38.5	11.9	40.7		
		3	23.1	47.6	4.2	36.6	15.8	40.1		
9" Grinder	Case-1	1	-16.1	60.4	6.6	4.5	7.6	11.1	10.1	1.22
		2	-8.6	46.9	7.2	4.2	6.5	10.6		
		3	-1.8	41.2	6.4	3.8	4.5	8.8		
	Case-2	1	-10.1	47.7	7.6	4.2	7.5	11.5	10.6	0.85
		2	13.7	43.4	7.9	3.1	5.0	9.9		
		3	-7.0	50.0	7.5	4.1	5.7	10.3		

4. 수완계 진동 측정 및 결과 분석

4.1 수완계 진동 측정 조건

Fig. 10의 예와 같이 작용력 측정용 핸들을 동력공구의 보조핸들 대신 부착하여 공구 작업 중에 작용력을 측정함과 동시에 초소형 3축 가속도계를 이용하여 진동 크기를 측정한다. 대표값 결정 방법은 ISO 5349-1에 규정되어 있듯이, 하나의 공구에 대해 3인이 각각 공구를 쥐고 작업 중 측정한 뒤 산술 평균값을 취한다.

수완계 진동 피폭 및 동력공구의 진동 피폭량을 산출[2,3]하기 위한 실험은 예비 시험과 본 시험으로 나누어서 진행하였다. 예비 시험의 목적은 작업자가 일상적인 작업을 할 때 공구에 가하는 힘을 측정하기 위한 것으로서, 작업자들의 개별적인 작용력을 수차례 측정하여 산술 평균된 크기를 구하여 본 시험에서 사용할 작용력의 범위를 결정하였다. 이와 같이 구해진 힘의 범위는 Fig. 9와 같이 모니터에 표시되어 작업자가 그 범위를 유지할 수 있도록 하기 위해 사용된다.

공구 진동의 평가량을 산출하기 위한 연산은 작용력이 주어진 범위내에 존재하는 60초간 진행되도록 하였다. 초기에 동력 공구가 동작할 때, 대부분의 작업자는 작용력을 주어진 범위 내에 유지 할 수 없으므로 작업자가 작용력을 주어진 범위내로 도달할 때까지 대기시간을 10초간 주었고, 이시간 내에 작용력이 주어진 범위에 들어오지 못하거나, 진동 크기를 측정하는 시험 중에 3초 이상 작용력이 제한 범위를 벗어나게 되면 처음부터 재측정하였다. 재측정에 앞서 작업자가 충분한 휴식을 취하도록 하였다.

4.2 진동 측정 결과 분석

작업자가 작업 중에 모니터링하면서 작용력을 유지한 경우와 그렇지 않은 경우에 각각 산출된 수완계 진동 피폭량에 어떠한 차이가 있는지를 분석하기 위한 실험을 수행하여 결과를 얻었다. 두 가지 경우에 대해 작업자 3인이 6종류의 공구로 각각 작업하면서 측정한 작용력과 가속도의 실험 결과를 Table 1에 정리하였다.

a_{hwx}, a_{hwy}, a_{hwz}는 각각 측정용 핸들에서 측정된 각 축의 주파수 가중된 가속도의 실효치이고, a_{hv}는 주파수 가중된 가속도의 실효치를 합산한 진동 총 값이다. 조건-1은 작업자가 임의로 작용력을 가한 상태에서 측정한 예비시험의 결과이고, 조건-2는 예비시험에서 결정된 범위로 작용력을 유지하면서 측정한 경우이다. 작용력은 평균치를 기준으로 이송력의 경우는 ±10 N, 악력의 경우는 ±5 N 범위를 부여하였다. 이송력이 더 큰 이유는 악력보다 이송력을 조절하기가 쉽지 않기 때문이다.

작용력을 일정하게 유지하지 않은 시험(조건-1)에서는 작업자 간의 진동 총 값의 변화가 매우 커서 경우에 따라 2배가 넘기도 하였다. 그러나 작용력을 모니터링하면서 제어한 경우에는 3회 측정에 대한 표준편차가 7배까지 줄어들기도 하였다. 폴리셔의 경우는 예외적으로 표준편차가 0.36에서 0.86으로 증가하였는데, 이는 실험 진행자가 작업자에게 작용력 유지를 요구하였을 때 작업 자세가 변경되었기 때문이다. 초기의 자세로는 작용력 유지가 힘들어 피 시험자가 작세를 변경하였는데, Table 1에서 볼 수 있듯이 조건-1에서는 보조 핸들의 이송력이 작업면에 대해 반대방향이었으나, 조건-2에서는 방향이 바뀌었으며, 이로 인해 수직 방향의 가속도가 큰 폭으로 증가하였기 때문이었다.

Table 1의 결과가 의미하는 것은 결국 작용력이 유지되지 않으면 진동 측정량에 미치는 영향이 크다는 것이며, 작업자 별로 다르게 부가된 작용력 조건에서 측정된 동력 공구의 진동량을 수완계 진동 평가량으로 취급하기에는 무리가 있다는 것이다. 따라서, 측정 진동량의 대표성과 신뢰도를 높이기 위해서는 작용력의 범위를 제한하여 수완계 진동을 측정하는 것이 바람직하다.

5. 결 론

동력공구에서 발생하는 진동이 작업자의 손을 통해 전달되는 정도를 측정하고 평가하려는 실용적인 목적은 크게 두 가지로 나뉜다.

하나는 공구 제조업체의 입장에서 인체 유해성이 적은 저진동 공구를 개발하기 위한 것이고, 다른 하나는 현장의 안전관리 책임자가 수완계 진동에 노출되는 시간을 적절히 조절하도록 하여 작업자에게서 발생할 수 있는 수완계 진동 증후군을 예방하고자 하

는 것이다. 어떠한 목적에서든지 공구에서 발생하여 손으로 전달되는 진동을 정확하고 신뢰성있게 측정하는 것이 매우 중요하다. 기존의 측정 규격대로 측정할 경우 작용력에 기인한 불확도를 그대로 감수할 수 밖에 없는데, 이 값은 경우에 따라 20 %가 초과하는 것으로 알려져 있다.

이 연구에서는 수완계 진동 평가량인 주파수 가중된 가속도의 실효치 진동 총 값에 영향을 미치는 불확도의 원인 중 작용력의 변화를 최소화하기 위한 하나의 방안으로서 작용력 측정용 핸들을 고안하였다.

예비 시험을 통해 해당 작업에 적합한 작용력의 평균치와 작용력의 적용 범위를 적절히 선정하고, 힘을 유지한 상태에서 작업하면서 진동을 측정하게 되면, 수완계 진동 피폭량의 측정 불확도를 상당량 저감시킬 수 있다. 작용력의 범위를 제한한 결과 측정된 주파수 가중된 가속도의 실효치 진동 총 값의 표준 편차가 대부분의 공구에 대해서 50% 이상 감소하였다. 작용력 측정용 핸들은 보조핸들을 사용하는 동력 공구로 적용범위가 제한되기는 하지만, 동력 공구의 진동 특성을 대표하는 신뢰성 있는 평가량을 산출하기 위해서는 진동 크기와 더불어 작용력의 측정이 수반되어야 한다는 결론을 얻었다.

더 나아가서 특정 공구의 수완계 진동 피폭량을 측정하고 이 정보를 제공할 때는, 진동 측정량과 함께 측정기간 동안의 작용력에 대한 정보를 함께 제공함으로써 측정 결과에 대한 대표성과 신뢰도를 높여야 한다.

후 기

이 연구는 표준화기술개발사업(수완계 진동 측정 평가기술)과 국가지정연구실사업(인체진동 정량화 평가시스템 개발)의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

(1) Griffin, M. J., 1990, Handbook of Human Vibration, Academic Press, London.

(2) International Organization for Standardization, 2001, ISO 5349-1: Mechanical Vibration-measurement and Evaluation of Human Exposure to Hand-transmitted Vibration - Part 1: General Requirements.

(3) International Organization for Standardization, 2001, ISO 5349-2: Mechanical Vibration-measurement and Evaluation of Human Exposure to Hand-transmitted Vibration - Part 2: Practical Guidance for Measurement at the Workplace.

(4) 장한기외 4인, 2003, 신체질환을 위한 공구진동 및 작업유해성 관리 프로그램 개발(고등기술연구원 내부보고서), P2251-01-MQ-03.01.

(5) British Standards Institution, 1987, BS 6842: Guide to Measurement and Evaluation of Human Exposure ot Vibration Transmitted to the Hand.

(6) Jang, H. K., Song, C. M., Chai, J. B., 2004, "Comparision of Dynamic Properties of Tranducer Adapterfor the Measurement of Vibration to the Hand", 11th ICSV.

(7) 기술표준원, 2000, KS B 2041: 진동 및 충격-용어.

(8) British Standards Institution, 1994, BS EN 420: General Requirements for Gloves.

(9) 최석현 외2인, 2003, "수완계 진동 평가에 영향을 미치는 작용력의 측정," 한국소음진동공학회 추계학술대회논문집, pp. 1038~1042.

(10) 조성진 외 1인, 2004, "진동 핸드그라인더의 진동 저감," 한국소음진동공학회논문집, 제 14 권, 제 10 호, pp. 1035~1040.