

## 스크래치 가공기술 개발에 따른 잉여 진동 성분 분석에 관한 연구

전찬대\*(경남대학교 대학원 기계공학과), 차진훈(경남대학교 대학원 기계공학과)  
윤신일(경남대학교 기계자동화공학부), 한상보(경남대학교 기계자동화공학부)

### A Study on the Redundant Vibration Analysis for the Development of Scratch Processing Technology

C. D. Jeon, J. H. Cha, Sh. I. Yun, S. B. Han

#### ABSTRACT

Unwanted vibrations are inevitably induced in other directions when pure unidirectional vibration motion is desired for the vertical scratching mechanism. Pure vertical vibration motion of the scratching machine can be obtained by driving identical two motors with symmetrically positioned eccentric unbalance masses. The desired optimal condition for driving pure vertical vibration for the scratching machine is assumed to be the resonance condition in that direction. Imposing the flexibility of the scratching machine in the horizontal direction, we can find out the amount of horizontal vibration component while maintaining the resonance in vertical direction. The desired stiffness in horizontal direction which produces the minimum vibration in horizontal direction are defined which can be used as a guide line to design the supporting structure of the scratching machine.

**Key Words :** Scratch Process(스크래치 가공), Scratching Machine(스크래치 가공기), Vertical Vibration(수직 진동), Eccentric mass(편심질량)

#### 1. 서론

금속 혹은 복합재료로 된 판재에 특정 형태의 무늬를 입히는 작업은 전통적으로 화공 약품을 사용한 기술을 이용하여 왔다. 친환경적 가공기술의 개발에 대한 요구에 의하여 고려되고 있는 공정의 하나로 판재의 표면에 높은 진동수로 진동하는 스크래치 부재를 접촉시켜 원하는 형태의 기하학적 무늬를 발생시키는 가공 기술이 도입되고 있다. 현재 국내 생산 현장에서 사용되어지는 스크래치 가공 기술은 스크래치 판의 진동을 적용한 방식이라는 원리를 구현하는 수준에 머물고 있다. 하지만 스크래치 가공기에 진동을 유발하여 무늬를 발생하기 위한 작업 과정에서 스크래치 가공기의 진동 성분이 순수 수직 진동 성분뿐만 아니라 과도한 수평 진동 성분 또한 발생하며 이로 인하여 생산품의 가공 면에 원하지 않는 결 무늬가 발생하며, 다양한 가공 문양의 생성에도 그 한계성이 나타나고 있는 실정이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 순수한 수직 방향의 진동만이 발생할 수 있도록 하는 스크래치 판의 개발이 절실히 요구되고 있다.

이러한 요구에 적합한 순수 수직 진동 성분만을 가지는 스크래치 가공기를 구현할 경우 수평 진동 성분에 의한 불량 문양을 사전에 방지 할 수 있고, 다양한 문양의 표현 방식을 얻을 수 있는 가공 방식을 개발할 수 있으므로 스크래치 문양의 균일성과 다양성, 그리고 생산성 향상을 꾀할 수 있다. 이처럼 순수 수직 진동 성분만을 가지는 가공기를 구현하기 위해서는 동일한 편심 질량을 가지는 두 모터가 회전방향이 반대이며, 완전 대칭이 구현될 경우 이론적으로 실현이 가능하다. 그러나 실제 수직 진동만을 예상한 기계에 있어서도 어느 정도의 원하지 않은 수평 방향 진동 성분이 불가피하게 나타나게 마련이며 생산 작업에 실제 투입되는 기계의 경우 이론적으로 가능한 순수 수직 운동만을 기대하기는 어려운 실정이다. 실제 기계의 작동 중 원하지 않은 수평 진동 성분이 발생할 수 있으므로 순수한 수직 성분만의 진동을 유발하기 위해서는 수평 방향의 구속 또는 진동 저감 방법이 강구되어야 한다. 본 논문에서는 의도되지 않은 수평 방향의 진동 성분을 최소화할 수 있는 전체 구조물의 진동 특성 값에 대한 정보를 찾아내고 이를 이용하여 실제 설계 시에 고

려되어야 할 문제점들을 짚어 보기로 한다.

## 2. 수직 운동 메커니즘

수직방향 진동발생 기구의 이상적인 구조에서는  $x$  방향에서의 힘은 서로 상쇄되어 순수한  $y$  방향 진동만 발생하게 되지만, 실제 구조물에서는 균등한 편심 질량의 구성이 어렵고  $\alpha$ 의 불평형 질량이 생기게 된다. Fig. 2.1은 불평형 질량  $\alpha$ 를 포함하고 있는 기계 구조물의 구성도이다.

Fig. 2.2와 같이 기계 구조물에서 생기는 전체 힘에 대한 자유물체도를 표현하여  $x$  방향 성분과  $y$  방향 성분으로 나누어 주면  $x$  방향에 관해서는

$$(m + \alpha)r\omega^2 \cos \omega t - \frac{k_x}{2}x - \frac{k_x}{2}x - mr\omega^2 \cos \omega t = M\ddot{x}$$

의 식이 성립되고 이로부터

$$M\ddot{x} + k_x x = \alpha r\omega^2 \cos \omega t \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

로 표현되는 수평방향에 대한 운동방정식을 구할 수 있다.

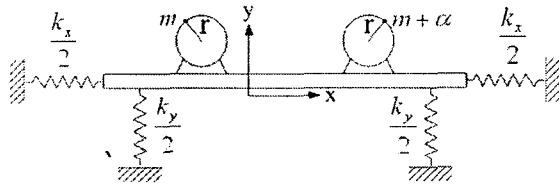


Fig. 2.1 Schematic diagram of scratching machine

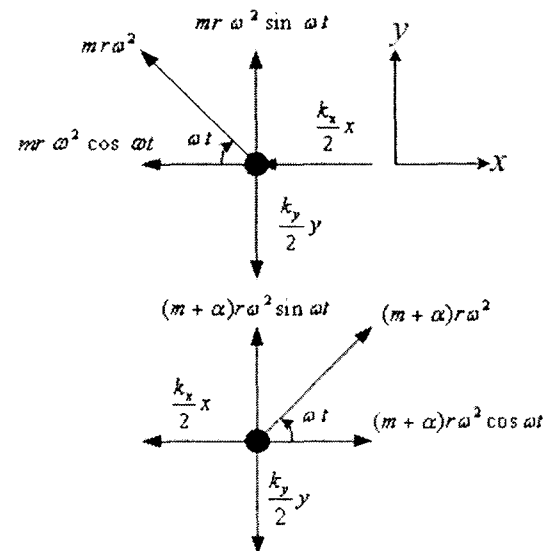


Fig. 2.2 Two DOF of vibration system

$y$  방향에 관해서는

$$mr\omega^2 \sin \omega t - \frac{k_y}{2}y - \frac{k_y}{2}y + (m + \alpha)r\omega^2 \sin \omega t = M\ddot{y}$$

의 식으로부터

$$M\ddot{y} + k_y y = (2m + \alpha)r\omega^2 \sin \omega t \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

의 결과가 나온다. 여기서  $m$ 과  $(m + \alpha)$ 는 각 모터의 편심질량,  $r$ 은 편심거리,  $k_x/2$ 와  $k_y/2$ 는 각 스프링의  $x$ 방향과  $y$ 방향의 스프링상수,  $\omega$ 는 모터의 회전속도,  $M$ 은 전체 계가 가지는 질량을 나타낸다.

초기조건  $x(0) = 0, \dot{x}(0) = 0$ 에 대한 식(2.1)과 식(2.2)의 정상상태 해는

$$x_p(t) = \left( \frac{\alpha r \omega^2}{k_x - M\omega^2} \right) \cos \omega t \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

$$y_p(t) = \left( \frac{(2m + \alpha)r\omega^2}{k_y - M\omega^2} \right) \sin \omega t \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

로 각각 표현된다.

## 3. 진동 성분의 분석

### 3.1 기계 구조물의 진동 특성

기계 구조물의 운동 방정식은 진동의 크기가 작다는 가정 하에서는 식(2.1)과 (2.2)에 주어진 것과 같이 수평 방향과 수직 방향의 운동이 연성되지 않는다는 것을 나타내고 있다. 실제 구조물의 경우 일반적으로 비연성 조건이 성립되지 않으나 설계 작업의 용이성을 위하여 연성이 매우 작다는 가정을 하여도 무방하며 필연적으로 고려되어야 할 감쇠 성분도 무시하도록 하자. 따라서 수직 방향과 수평 방향의 진동 특성을 결정짓는 인자는 불평형 질량( $\alpha$ )과 편심거리( $r$ ), 모터의 회전속도( $\omega$ ), 계의 전체질량( $M$ ), 그리고  $x$ 방향과  $y$ 방향의 스프링상수( $k_x, k_y$ ) 뿐이라는 것을 알 수 있다. 또한, 불평형 질량( $\alpha$ )은 전체 편심 질량에 비하여 그 크기가 미미하다고 생각할 수 있으며, 편심거리( $r$ )는 고정되어 있다고 가정하고  $k_x$ 와  $k_y$ 는 일정한 배수의 비를 가지는 것으로 가정한다.

### 3.2 $k_x$ 와 $k_y$ 에 의한 영향

Fig. 3.1은 식(2.3)과 식(2.4)로부터 모터의 회전속도  $\omega$ 의 변화에 따라 수직방향의 진동 크기에 대한 확대계수와  $k_x = 0.3k_y$ 의 경우에 대한 수평방향 진동 크기의 확대계수를 동시에 표현한 그래프이다. 이때 사용한 구조물의 진동 특성치들은  $M=11.05 \text{ kg}$ ,  $r=0.1 \text{ m}$ ,  $m=0.5 \text{ kg}$ ,  $\alpha=0.05 \text{ m}$ ,  $k_y=200000 \text{ N/m}$ 이다.

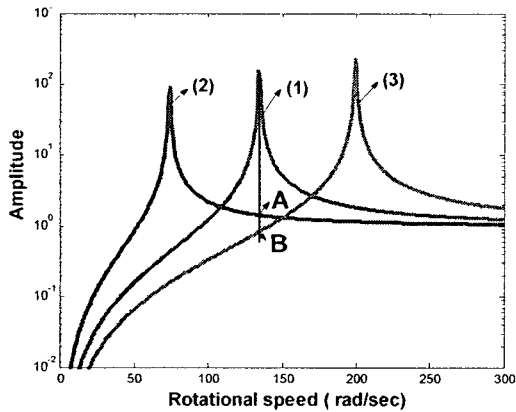


Fig. 3.1 Steady state vibration amplitude of scratching machine in  $x$  and  $y$  direction

- (1) Steady state vibration amplitude in  $y$  direction
- (2) Steady state vibration amplitude in  $x$  direction when  $k_x = 0.3 k_y$
- (3) Steady state vibration amplitude in  $x$  direction when  $k_x = 2.2 k_y$

Fig. 3.1의 세 가지 다른 곡선의 공통된 특징은 편심질량을 가진 모터의 회전에 의한 일자유도계 진동의 이론에서 잘 알려져 있듯이 영에서 시작하여 공진점을 거친 뒤 일정한 진폭의 값으로 접근한다는 것이다. 수직 진동 메커니즘을 이용한 스크래치 가공기의 작동 조건을 불평형 모터의 회전수가 수직 방향의 구조물과 공진이 되도록 한다면 이 회전수에서의 수평 방향 진동의 크기가 최소가 되는 설계 인자들을 결정하면 될 것이다. Fig. 3.1에서 점 A는 구조물에 부착된 수평 방향의 스프링 상수가 수직 방향의 스프링 상수보다 적은 경우의 수평 방향 진동의 진폭을 나타내는 것이며 점 B는 구조물에 부착된 수평 방향의 스프링 상수가 수직 방향의 스프링 상수보다 클 경우의 수평 방향 진동의 진폭을 나타낸다. 수평 방향의 진폭을 최소로 하기 위해서는 당연히 수평 방향의 스프링 상수가 수직 방향의 스프링 상수보다 큰 값을 갖도록 하여야 한다는 결론에 도달하게 된다. 그러나 수평 방향의 스프링 상수를 매우 큰 값으로 한다는 것은 실제 기계 구조물의 수평 방향 강성을 몹시 크게 해 주어야 한다는 것을 의미하며 이는 기계 구조물의 지지 구조물의 대형화를 요구할 뿐만 아니라 기계 구조물에 큰 힘의 가진력이 부가될 수 있다는 단점이 있다. 반면, 수평 방향의 강성을 수직 방향의 강성보다 적게 설치할 경우 일정한 크기의 수평 방향 진동이 불가피하게 발생할 수 있다는 것을 의미한다. 그러나 수평 방향 진동의 진폭은 수직 방향의 진동 성분에 비하여 상대적으로

적은 값을 가지기 때문에 스크래치 작업의 성능 결과를 판단하여 허용 여부를 판단할 수 있으며 그 허용치를 초과할 경우에는 적절한 형태의 감쇠를 첨가하여 수평 방향의 진동의 크기를 추가로 감소시켜 줄 수 있다. Fig. 2.1에 주어진 스크래치 가공기의 작동 평면은 수직 성분의 진동 크기와 수평 성분의 진동 크기에 따라 일반적으로 타원 운동을 하게 된다. 수평 성분의 진동 크기가 수직 성분의 진동 성분에 비해 상대적으로 클 경우에는 작동 평면의 운동이 Fig. 3.2에 주어진 것과 같은 큰 궤적의 타원운동이 될 것이며 수평 성분의 진동이 상대적으로 작을 경우에는 Fig. 3.3과 같이 단축운동으로 간주할 수 있다. 양쪽 대칭의 편심 모터의 불평형 질량의 크기가 편심 질량의 10%일 경우 수평 방향의 진폭은 수직 방향의 진폭의 1% 정도에 해당하므로 이 경우 타원의 궤적은 Fig. 3.3과 같이 단축 운동으로 간주할 수 있다.

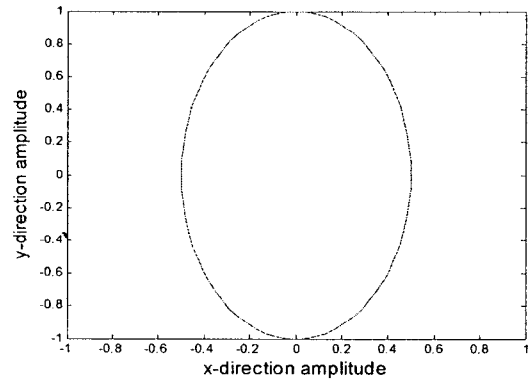


Fig. 3.2 Elliptical motion of scratch pad with significant amount of  $x$ -directional vibration

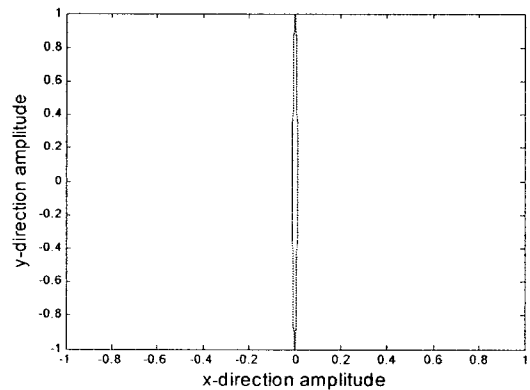


Fig. 3.3 Elliptical motion of scratch pad with small amount of  $x$ -directional vibration

#### 4. 결론

본 연구의 목적은 이론 상 수직 방향의 진동만이 가능하도록 설계된 기계 구조물에 원하지 않은 수평 방향의 진동이 발생할 경우 이를 최소화시킬 수 있는 구속 장치의 설계에 대한 정보를 얻고자 하는 것이다. 이론상으로는 두 회전모터에 편심질량을 달아서 반대방향으로 같은 위상을 가지도록 회전시킨다면 서로  $x$ 방향의 힘이 상쇄되어  $y$ 방향의 운동만 일어나지만, 실제 상황에서는 완벽하게 균형 잡힌 편심질량( $m$ )을 동일 축 상에 구현하는 것이 거의 불가능하다. 그렇기 때문에 불가피하게 발생하게 되는 수평방향의 진동 크기가 최초 설계 시 고려되어야 하는 수직 방향의 구조물 특성의 변화에 따라 어떻게 변화하는가를 알아야 할 필요가 있다. 간단한 진동 이론을 적용하여 실제 기계 구조물의 설계에 필요한 정보의 정량적 추이를 얻을 수 있으며 그로부터 실제 구조물의 설계에 반영시킬 수 있는 여러 가지 선택 사항의 채택 여부를 결정할 수 있다.

#### 5. 후기

본 연구는 지역특화기술개발사업의 연구비 지원을 받아 수행되었음.

#### 참고문헌

1. Singiresu S. Rao, "Mechanical Vibrations," PEARSON Prentice Hall, 4th ed., 2004, pp. 245 - 280.
2. Daniel J. Inman, "Engineering Vibration," PRENTICE HALL , pp. 79 - 83.
3. Cyril M. Harris "Shock and Vibration Handbook," McGraw-Hill, 4th ed.