

초정밀급 가공기를 위한 방진 시스템 설계

Design of Vibration Isolation System for the Vibration-sensitive equipment

고등기술연구원 제품기술연구센터 장한기, 홍석인
로봇/생산기술센터 김호상, 이대희

I. 서론

정밀 장비의 기본 성능은 광학계의 정밀도, 베어링이나 구동 시스템의 성능, 혹은 제어 시스템에 의해서 결정되지만, 최종적으로 발휘되는 정밀도는 환경에 의해서 제한되는 경우가 많다. 장비의 정밀도를 저해하는 환경 요인 중에서도 진동은 장비의 구동 속도(혹은 주파수)가 증가할 때 문제의 심각성이 증가하는 요인이다. 이와 같은 이유로 인해, 장비의 유형에 따라 또는 장비가 달성하려는 정밀도 수준에 따라 만족해야 하는 진동 환경의 수준이 제시되어 있다. 이 기준들은 모든 장비에 대해 제공되어 있는 것이 아니라 장비 개발과 관련된 회사별로 다르게 적용되고 있다⁽¹⁾

본 연구의 목적은 레이저 가공기용 테이블에 대한 방진 설계를 수행하여 요구되는 진동 환경 기준(BBN 사의 Vibration criterion VC-D)을 충족하도록 하는 것이다⁽¹⁾. 이를 위해 먼저 장비를 설치할 환경에 대한 진동을 측정하였으며, 해당 환경에서 필요한 진동 절연율을 산정하였다. 방진 시스템의 공진 주파수를 결정하고 이에 해당하는 Isolator를 선정하였다. 선정된 Isolator를 이용하여 구현한 방진 시스템에 유정압 가이드를 설치하여 기동시 테이블의 거동을 측정 검토하였다. 본 연구에서는 당초 진동 증폭 구간인 저주파수에서의 거동은 절연 설계의 목표치로 고려하지 않았으나 테이블 위에서의 이동 질량으로 인해 테이블 자체가 Roll 및 Pitch 거동과 같은 회전 거동이 크게 발생함에 따라 이에 대한 개선 방안으로 Cradle 시스템을 도입하여 진동 절연 시스템을 재 설계하고, 적용 효과를 확인하였다.

II. 진동 절연 설계 기준 및 요구 사항

1. 대상 시스템 개요

본 연구에서 대상으로 삼은 장비는 레이저 가공기로서 요구되는 사양은 다음과 같다. 수평면 상에서 가로 세로 각각 150 mm의 이송 범위 내에서 운동 정밀도 0.5 μm 를 충족시켜야 한다. 그림 1과 같이 정반 위에는 1축 이송용 유정압 가이드가 90도 각도로 각각 설치되어 2축 거동을 구현한다. 정반의 사이즈는 가로, 세로가 각각 1200 mm와 900 mm이다. 진동 절연 설계를 수행함에 있어서 다른 시스템과 차별되는 특성은 유정압 가이드 위에서 이송되는 질량, 즉 Moving mass가 Isolator위의 고정 질량과 비교하여 무시할 수 있는 수준이 아니라는 것이다. 유정압 가이드 자체의 Moving mass가 75 kg 정도로 추정되고, 가이드 위에 설치되는 질량이 50 kg정도이므로, Isolator로 지지되는 전체 시스템의 질량이 약 1200 kg임을 가정할 때 120 kg의 Moving mass는 무시할 만한 값이 아닐 뿐 아니라 동적 거동 설계에 불리한 요인으로 작용할 것이 예상된다.

2. 절연 설계상의 요구 사항

본 연구에서 대상으로 삼고 있는 시스템에 대한 Vibration criterion이 별도로 존재하는 것은 아니지만 유사한 장비를 고려하여, BBN Criterion의 VC-D를 진동 환경 기준 값으로 정하였다.

VC-D는 8 Hz 이상에서 진동의 수준이 $6 \mu\text{m/s}$ 이하의 값을 가져야 한다 따라서 가공기 테이블 위에서의 진동 수준이 VC-D를 만족하면 절연 설계가 바람직하게 된 것으로 판단한다 본 연구에서는 진동 분석 및 설계 대상 주파수 범위를 1~100 Hz로 잡았다

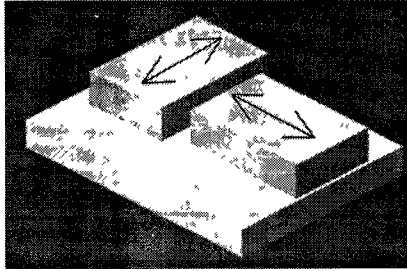


그림 1 가공기 이송 시스템을 구성하는 정반과 2개의 유정압 가이드

설계 요구 사항에서는 수직 방향의 진동 절연 특성만을 고려하였다 그러나 충격성 진동이 지반을 통해 전달되는 경우, 예를 들어, 인근에 프레스 장비가 있는 경우, 지면과 평행한 방향으로의 진동 전달을 무시하기 어려운 경우도 있다 따라서 본 연구에서는 수직 방향뿐만 아니라 수평 방향의 진동 절연까지 고려하고자 한다

3. 가공기 설치 장소의 지반 진동 현황

진동 절연 설계를 위해서는 가공기 설치 장소에서의 진동 발생 현황, 진동의 크기와 문제가 되는 주파수를 알아야 한다 그림 2는 가공기 설치 장소 바닥에서 측정한 진동 스펙트럼을 보여 주고 있다 두 가지 진동 신호를 관찰해 보면 10 Hz 이상부터 진동이 VC-D 기준을 초과하고 있음을 알 수 있고, 30 Hz 부근에서는 기준치의 3배에 이르는 진동 수준을 보이고 있다 30 Hz의 진동 성분은 건물의 공조 시스템에서 기인하는 것으로 판단된다 이 결과로부터, 해당 장소에서는 적어도 10 Hz 부근부터 진동 저감 특성이 나오는 절연 시스템이 요구됨을 알 수 있다 10 Hz부터 진동 저감이 이루어지려면 공진 주파수는 7 Hz 미만이어야 하고, 공진 주파수가 낮으면 낮을수록 해당 주파수 영역에서의 진동 저감을 또한 높아진다⁽²⁾

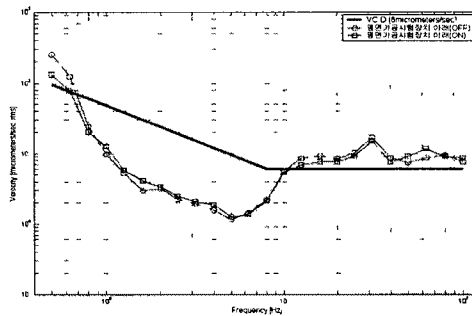


그림 2 가공기 설치 장소의 지반진동 현황

III. 진동 절연 설계

1. 1차 진동 절연 설계

1) 기본 개념 및 진동 절연 설계

본 연구에서는 10 Hz에서의 진동 절연율이 90% 이상이 되도록 절연 시스템을 설계하고자 하였다. 이를 만족하기 위해서는, Isolator에 의해 지지되는 전체 시스템의 공진 주파수는 3 Hz 또는 그 이하여야 한다. 따라서 목표값을 3 Hz로 선정하였다. 공진 주파수가 지나치게 낮을 경우 외력에 의해 시스템 전체의 저주파수 거동이 크게 발생할 우려가 있고, 반대로 높은 경우 목표가 되는 주파수 영역에서의 진동 절연 효과를 기대할 수 없기 때문이다. 시스템은 4개의 Isolator로 지지되도록 하였으며, 테이블 위에서의 질량 이동을 고려하여 자동으로 레벨링이 되는 시스템을 선정하였다. 위에서 언급한 바와 같이 수직 및 수평 방향으로의 진동 절연 기능이 있는 Isolator를 선정하였으며, 수직 방향에 대한 시스템 공진 주파수는 별도로 요구 사항을 설정하지 않았다. 다만 수직 방향을 기준으로 하여 유사한 값을 갖는 Isolator를 선정하였다.

2) 결과 및 문제점

본 연구에서는 10 Hz의 진동 절연 효율이 94 %인 Newport 사의 I 800 B 시리즈의 공압 Isolator 4개로 시스템을 구성하였는데, 제공된 설계치로는 수직 방향 공진 주파수가 3 Hz, 수평 방향의 공진 주파수가 15 Hz로서, 당초 설정한 조건을 충족함을 알 수 있다⁽³⁾. 실측 결과상으로도 10 Hz 이상에서의 수직 방향의 진동 절연 성능이 쉽게 충족됨을 알 수 있었다. 그러나, 대상 시스템의 경우 그림 3(a)와 같이 질량의 위치가 변화할 때마다 x축 방향으로의 병진운동과 y축을 기준으로 한 회전 운동이 동시에 일어나게 된다⁽²⁾. 이와 같은 거동은 진동 절연에 직접적인 영향이 없을지라도 Isolator의 레벨링을 위한 공압 회로의 지속적인 작동과 이에 따른 컨프레서의 작동 등을 유발하는 불필요한 거동임에 틀림이 없다. 이와 같은 문제점은 병진운동과 회전운동의 Coupling을 제거하기 위한 그림 3(b)의 방식을 도입함으로써 해결할 수 있다.

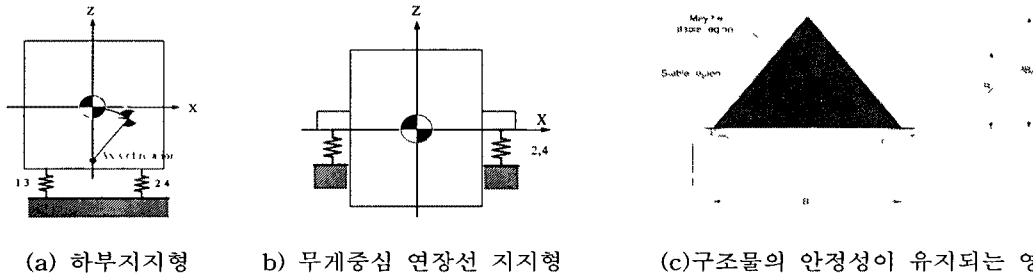


그림 3 Isolator 지지점과 지지구조물의 안정성과의 상관관계

2. 2차 진동 절연 설계

1) 기본 개념

1차 진동 절연 설계에서 구조물 전체가 과도하게 회전 거동을 보이는 문제가 발생하여, 이를 해결하기 위한 방안으로 그림 3(b)와 같은 지지 방식을 도입하였으며, 이를 위해 Cradle을 설계하였다. Cradle과 정반 사이의 지지 방법으로는 Redundancy를 제거하기 위하여 3점 지지 방식을 택하였다.

2) 결과 및 문제점

Cradle 도입을 통해 무게 중심에 가까운 높이에서 구조물을 지지함으로써 회전 운동을 1/2 수준으로 낮출 수 있었으며, 수평 방향 거동과의 Coupling을 대폭 줄어들었을 뿐 아니라 공압 공급에 의해 발생하는 불필요한 소음과 미세 진동을 저감할 수 있었다 그림 4는 바닥과 테이블 위, 그리고 유정압 가이드 위에서 각각 측정된 진동 스펙트럼을 도시한 것이다 10 Hz이상에서 가장 큰 값을 보이는 곡선은 바닥의 진동을 나타내고, 바로 아래 곡선은 유정압 가이드 위에서의 진동을, 가장 아래의 곡선은 테이블 위에서의 진동을 나타낸다 당초 개발 목표였던 테이블 위에서의 진동 값은 VC-D뿐만 아니라 VC-E 기준까지도 여유있게 충족하고 있음을 알 수 있다 그러나, 실질적으로 의미있는 유정압가이드 위에서의 진동은 10 Hz이하의 저주파수에서는 VC-D는 만족하지만 VC-E는 충족시키고 있지 못하다 가이드 위에서의 진동이 증가한 이유는 오일의 유동 등내부적인 요인에 의해서 발생한 것으로 판단된다

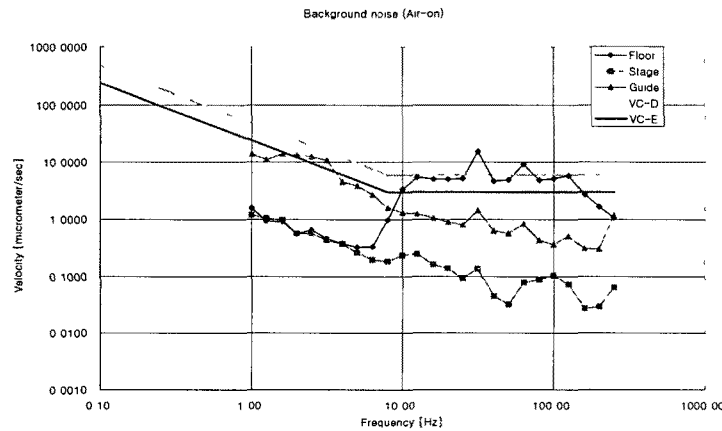


그림 4 진동 절연 시스템의 성능 확인 결과

IV. 결론

본 연구에서는 정밀 장비의 환경 요구 조건인 진동 수준을 충족시키기 위한 진동 절연 시스템을 설계하였으며, 해당 시스템을 적용한 결과 1~100 Hz범위에서 VC-D를 만족하는 결과를 얻을 수 있었다 그러나 당초 예상과 달리 유정압 가이드 위에서의 진동이 테이블에서보다 크게 발생하고 있으며, 발생 진동량이 무시할 만한 수준이 아닌 것으로 판단되므로, 이에 대한 고찰과 개선 방안의 도출이 필요한 것으로 판단된다

V. 참고문헌

- 1 C G Gordon, "Generic Criteria for Vibration-Sensitive Equipment," Proceedings of International Society for Optical Engineering (SPIE), Vol 1619, San Jose, CA, November 4-6, pp 71-85 (1991)
- 2 C M Harris, Shock and Vibration Handbook, 3rd ed, McGraw-Hill, (1988)
- 3 Newport Corporation, The Newport Resource 2004 (2004)