

환경친화적 금속 소성가공을 위한 소음 및 진동 대책



이 정 환

(KIMM 재료공정연구부)

- '80 한양대학교 정밀기계공학과(학사)
- '82 연세대학교 대학원 기계공학과(석사)
- '95 홍익대학교 대학원 기계공학과(박사)
- '82 - 현재 한국기계연구원 책임연구원



이 영 선

(KIMM 재료공정연구부)

- '91 충남대학교 기계공학과(학사)
- '93 충남대학교 대학원 기계공학과(석사)
- '93 - 현재 한국기계연구원 선임연구원



최 종 응

(KIMM 재료기술연구부)

- '92 부산대학교 기계설계공학과(학사)
- '95 부산대학교 대학원 기계설계공학과(석사)
- '98 부산대학교 대학원 기계설계공학과(박사)
- '98 - 현재 한국기계연구원 인턴연구원

1. 서 론

최근 환경에 대한 요구가 엄격해지면서 단조 산업에 대해서도 소음과 진동의 규제가 날로 강화되고 있는 것은 세계적인 추세이다. 소음은 인간의 심신에 여러 가지의 영향을 미치지만 특히 정신적 심리적인 것이 많고 그것이 강해지면 신체적인 영향도 나타나게 된다. 이러한 금속 소성가공 분야의 소음 및 진동에 관한 연구는 국내에서는 거의 전무한 상태라 볼 수 있으며, 외국에서도 시작단계에 있다고 할 수 있다. 더구나, 일반적으로 그 정도를 정하기 어려운 단조기계와 같은 충격소음은 그 규제치 조차도 명확하게 정하여지지 않은 상태이다.

단조는 산업의 급성장과 같이 성장하여야는 분야로 앞으로 계속적인 발전이 기대되는 분야이다. 단조는 그 특성상 고속으로 큰 부하를 낼 수 있는 장비를 사용하므로 당연히 소음과 진동이 발생된다. 단조 등과 같은 소성가공시 발생하는 소음 및 진동에 대하여 연구함으로써 선진 외국의 소음 대책기술에 대한 예측화 탈피와 첨단기술 분야에 대한 선점을 할 수 있다고 생각된다.

따라서, 본고에서는 단조, 압출 등과 같은 소성가공시 프레스에 의해 발생하는 소음 및 진동에 대하여 논하고자 한다.

2. 소음 대책

음이라는 것은 음파현상에 의해 사람의 청각

(귀)에 자극을 일으키는 현상으로 일반적으로 정의되고 있다. 음파는 공기와 고체, 액체 등의 매질을 통하여 전달되는 탄성파로서 소음 및 음성, 음악 등 사람과 관계 있는 음을 주로 공기를 통해 전달하는 것이다.

가공에 의해 발생한 음은 일반적으로 사람에게 대해 좋지 않은 음이며 소음이라 부른다. 단순한 음의 크기만이 아닌 정서의 안정성, 생리에 미치는 영향 등도 함께 생각해 좋지 않다고 판단할 경우 소음이라 한다. 따라서 같은 음이라도 어떤 사람에게 있어서는 소음이고 다른 사람에게 있어서는 쾌음도 될 수 있으며, 같은 사람이라도 조건에 따라 동일한 음이 소음도 되고 쾌음도 된다.

프레스 소음은 공장소음에 포함되고 이 공장소음은 소위 7공해의 일종인 소음·진동공해에 포함된다. 그 특징은 소음의 발생원인이 움직이지 않는 특정장소 이고 직접적으로는 작업자와 주위 주민에게 해를 주는 것이다.

2.1 프레스 본체의 대책

프레스 소음 발생원인 중에서 가공과 직접 관계하는 것으로는 다음과 같은 것을 들 수 있다.

- 1) 크랭크축과 베어링사이 및 커넥팅 로드에서 상형에 이르는 부재간의 틀 및 공구와 재료의 충돌시 부재간에 충격적 진동이 발생하는 것(클러치가 작동하는 프레스 시동과 정지할 때의 음도 여기에 포함된다.)
 - 2) 타발 등과 같은 재료의 파괴에 따른 가공에 있어서 소위 brake block에 의한 프레스 진동
 - 3) 프레스의 운전에 관계되는 음(기어음, 플라이휠의 회전음 등)
 - 4) 피가공재와 제품의 공급(feed)과 취출에 관계되는 물체의 진동, 펀치와 판의 분리시의 음(스트리핑음), 슈트에 의해 제품을 취출할 때 발생하는 음.
- 1)번의 음이 발생하는 것을 방지하기 위해서

는 슬라이드와 크랭크샤프트에 브레이크를 작용시키는 방법이 유효하다. 실제, 크랭크축에 브레이크를 거는 방법에 따라 가공음을 17-19dB정도 감소시킨 예가 있다. 또 1)번의 음은 주로 물체의 충돌이 원인이기 때문에 프레스의 스트로크수가 같다면 슬라이드를 급속접근-급속귀환(quick approach ; quick return) 방식으로 하면 소음을 감소시킬 수 있다.

2)번의 소음이 생기는 것을 방지하기 위해서는 슬라이드에 피가공재의 파단과 동시에 아래에서 힘을 가해 프레스 하중을 완만하게 강하시켜 진동을 막는 방식이 효과적이다. 이러한 것의 예는 매우 많다. 그림 1은 유압감쇠를 이용한 방식의 한 예이다. 이같이 하중을 완만하게 변화시키면 15dB정도 내려간다고 보고되었다. 이 방법에서 완벽을 꾀한다면 고도의 전기식 제어계, 기름 탱크 및 배관계 등이 필요하다. 더구나 진동을 완전히 제거하기는 극히 어렵고 거기에 필요한 비용과 공간, 작업성의 검토, 유지비 등 많은 부분에 대하여 생각하여야 한다. 방음 방진 다이블록은 전기계통과 배관계통을 생각하고 유압감쇠 효과만을 이용한 간편형이다. 이것으로 희망하는 정도의 소음저감이 실현되면 일반적으로 널리 보급될 수도 있을 것이다. 그림 2는 펀치상부에 접시형 스프링을 내장시킨 경우를 나타낸다. 이것을 사용하면 타발 등의 경우에 하사점 부근에서 가공속도가 거의 재료에 가까운 상태에서 가공되고 스프링이 탄성회복함에 따라 재료를 완전하게 취출할 수 있다.

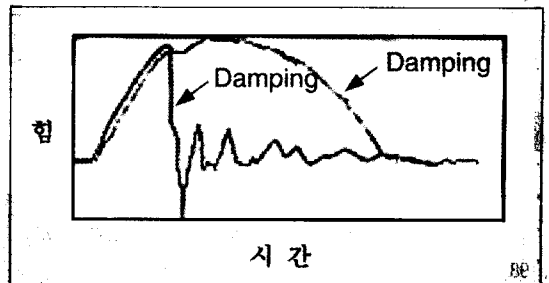


그림 1. 유압감쇠의 유무에 따른 하중변화

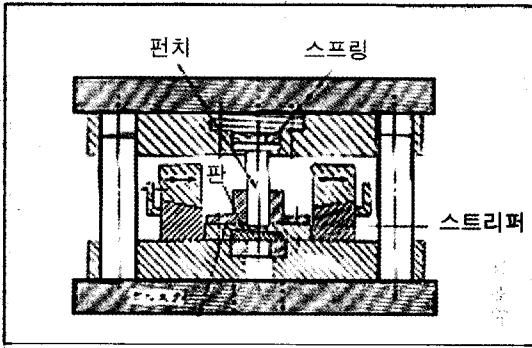


그림 2. 절단 펀치상부에 스프링을 내장한 시스템

이상에서 언급한 방법은 하중부하를 완만하게 해서 음을 작게 하려는 것이다. 또, 다음과 같은 방법도 있다. 즉, 프레스와 금형이 충분히 강하면 1)과 2)의 두가지 음을 상당히 저하시킬 수 있다. 따라서, 장비의 가공과 유지비용이 충분히 작다면 초기투자로 가능한 한 강한 프레스를 만드는 게 좋다.

3)의 음은 프레스의 무부하운전시 들을 수 있는 음이다. 이때의 음이 작으면 부하운전 음도 일반적으로 작다고 생각되지만 이것이 정확하다고는 할 수 없다. 단지, 현재 이 음보다도 가공음이 지나치게 큰 경우가 많기 때문에 그다지 문제가 되고 있지 않다.

4)의 음을 막는 데는 ① 원인이 되는 부재주위만을 둘러싸고 ② 공기음에 대해 머플러를 준비하고 ③ 슈트에는 감쇠재를 적절하게 사용하는 방법이 효과적이다. 그러나 현실점에서는 1)~4)의 모든 음을 저비용으로 효과적으로 방지할 수 있는 것은 주위를 둘러싸는 방법 밖에 없다(머플러와 감쇠재, 흡음재도 같이 이용한다). 실제, 틈이 없도록 충분히 둘러싸면 20dB은 쉽게 감소시킬 수 있다.

2.2 프레스 본체 이외의 대책

기계자체에 대해서 소음 및 진동문제를 해결하면 가장 바람직하지만 그 경우 비용이 문제가 된다. 만약, 그렇지 않으면 소음을 저감시키더라도

실용화에 장애가 되는 경우가 많다. 따라서, 다음과 같은 것이 실행되어 왔다.

- a) 공장의 단지화
- b) 공장과 주택지의 경계에 방음벽 설치(콘크리트 벽과 식수벽)
- c) 건물의 방음화(음을 외부로 흘러나가지 않게 한다.)
- d) 기계를 부분적 또는 전면적으로 둘러싼다. 또는 기계와 기초 사이에 흡진 마운트의 설치(2차 방사음의 방지)
- e) 자동화에 따른 무인화(동시에 건물의 방음화로써 주위의 주택지에서도 음과 진동이 전달되지 않도록 한다.)
- f) 역위상음과의 상쇄에 의한 음의 저감

a)~c)는 소위 소음 공해를 순화하는 수단이지만 작업자가 대상에서 제외되었다. d)~f)에 의해 주위 주민과 작업자 모두에 대한 소음이 해결될 수 있다. 그러나 d) 및 e)에서는 작업성, 비용 및 공간 등의 점에서 문제가 있다. f)는 덕트(duct) 같이 특정장소와 음의 방향이 정해져 있는 경우에 있어 비교적 저주파음에 대해 유효하다. 이 방법은 현재 기술적인 흥미가 있는 대상으로서 연구되고 있는 단계이다. 하지만, 위상, 진폭, 이동 방향, 음원의 위치조차 끊임없이 변화하는 일반적으로 복잡한 음에 대해서는 시험적으로는 저감 가능하지만, 생산성, 비용, 에너지 자원, 사용의 간편함 등에서 본다면 실용화에 문제점이 많다. 그러나 계속적으로 개선해 간다면 제한된 분야에는 적용될 수 있을지도 모른다.

이상에서와 같이 소음 대책으로서는 결국 ① 기계에 대한 대책의 추구 ② 공장무인화, 자동화의 노력(최근의 다품종 소량 생산화 방향과 대응을 생각한다.) ③ 역위상법 등의 새로운 기술 개발 ④ 크랭크식등 기존의 기계 프레스와는 다른 고음이 작은 가공 기계의 개발이라는 것이 된다.

공장 주변에서의 소음공해라는 것은 하루시간 대와 상업구, 공업구 및 주택 지역별로 정해져

있다. 그러나 이것은 공장 내에 있어서의 프레스 소음에 대한 규제치는 아니다. 왜냐하면 프레스 소음 같은 충격성의 음에 관해서는 아직 정의도 확실하게 정해져 있지 않고, 또 그 정의가 매우 어렵다. 소음의 레벨 측정도 현장에서는 음의 특성에 대한 몇 차례의 평균치로써 나타내거나 90% 범위를 이용하고, FAST동특성과 주파수 특성 A를 이용하여 dB(A)로써 나타내고 있다. 변동이 적은 일반음과는 다른 프레스 소음과 같은 충격음의 경우 동일한 dB(A) 또는 일정시간에서의 에너지 평균치인 $Leq(A)$ 값에 대한 그 음의 최대치 및 여러 가지 값을 얻기 위해 충격음을 빠르게 평가하는 것은 어렵다. 사람들의 귀가 어떤 음에 대해서도 평균적인 Leq 값에 응답한다면 문제는 간단하지만 실제 충격적인 음압의 최대치에도 어느 정도는 영향을 받는다. 이와 같은 이유로 공장내의 충격성음에 대한 규제치는 명쾌히 결정 될 것 같지 않다.

3. 단조기의 저진동화

3.1 진동 방지 대책

사람이 진동을 감지했을 때 심리적으로 불쾌하다든지 하는 여러 가지 응답이 생긴다. 진동의 경우도 소음과 같이 주파수에 의해 사람이 느끼는 정도가 달라진다. 그림 3은 유명한 마이스터의 진동대를 사용한 실험 결과이다.

진동 공해 대책을 분류하면 기본적으로는 운반대책, 수진부대책 및 발생원 대책의 3종류로 크게 분류된다.

운반대책으로는 진동원과 주택 등 진동을 꺼리는 장소간에 적당한 대책을 강구함으로써 진동 에너지의 운반을 감소시키는 것이다. 그 대표적인 예가 거리 감쇠를 이용한 것으로 대책이라고 하기는 힘들지만 진동원을 주택 등 진동을 꺼리는 장소로부터 되도록 멀리하는 것이다. 지반을 통한 파동에는 종파, 횡파, 표면파의 3종류

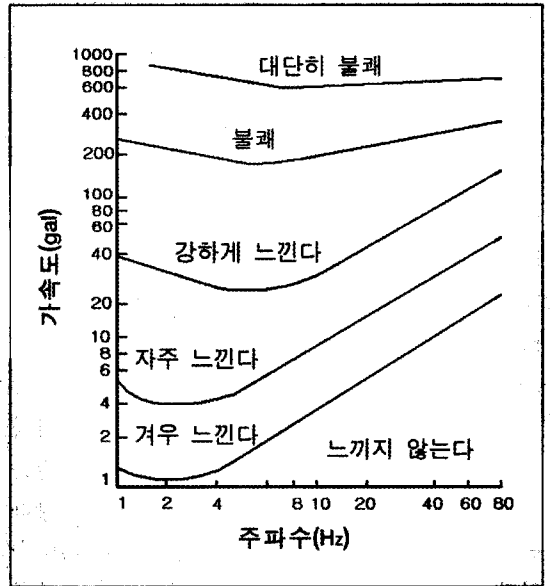


그림 3. 진동감각곡선(Reiher, Meister)

가 있으며 종파와 횡파는 $1/r^2$ 에, 표면파는 $1/r$ (r 은 거리를 표시)에 비례하여 감쇠한다. 운반 대책의 다른 또 하나의 방법으로서는 파동의 운반 경로에 어떠한 대책을 마련한다거나 강판을 매설함으로써 파동의 운반을 방지 할 수 있지만 구조물의 깊이와 폭을 잘 설계하지 않으면 효과가 없다.

수진부 대책이라는 것은 진동을 받는 건물에 대한 방법이다. 예를 들어 목조 건물에 있어서는 1층과 2층사이에 5dB정도 진동 레벨의 차이가 보인다고 한다. 진동 공해 대책의 중심은 발생원 대책이므로 진동이 발생하지 않는 기계를 개발하는 것에 힘을 써야 한다. 단조기계와 주형 조형기계와 같이 타격해서 가공하는 성질을 가지고 있는 기계에 대한 대책으로서는 종래와 같이 탄성지지법을 사용하는 것이 일반적이다. 원리는 아주 단순하며 스프링과 방진 고무 등 부드러운 탄성체로 진동기계를 지지하면 그림 4에 나타난 진동 전달률을 얻을 수 있다. 이 그림에서 진동 전달률이 1이하인 주파수 영역을 사용함으로써 진동절연을 이룰 수 있다.

탄성지지법은 단순한 기구로써 가능하기 때문

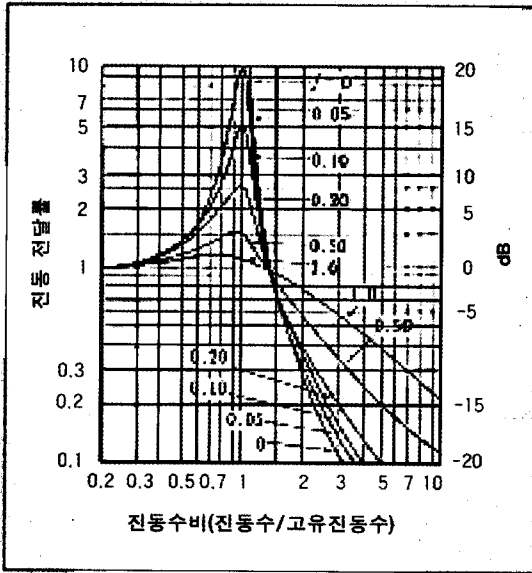


그림 4. 진동전달율

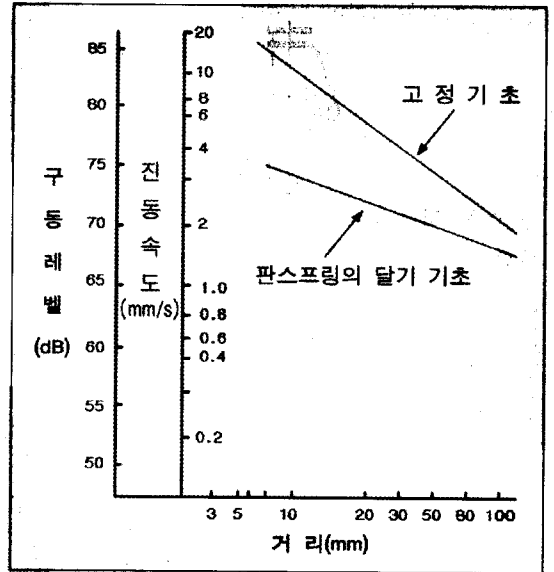


그림 5. 6-Ton 에어드럼 햄머에 대한 비교

에 그 예는 많다. 이 방식을 적용하는 주된 목적은 그림 4에 나타난 방진 영역을 어떤 방법으로 확대시킬 것인가 하는 것이다. 공진 진동수를 저하시키기 위해서는 질량을 늘이거나 지지강성을 저하시켜야 한다. 질량을 늘리는 방법도 있지만, 질량을 늘이는 데에도 한계가 있기 때문에 통상은 지지강성을 낮추는 방법을 택한다. 즉, 대상 기계를 가능한 한 부드러운 스프링으로 지지하면 되지만 이로 인하여 기계의 요동을 초래하기도 쉽다.

3.1.1 지반에 대한 검토

진동방지 대책으로서 공장부지의 지반검토가 중요하다. 지반의 지질을 조사하여 여기에 적합한 진동원 대책을 실시해야 한다. 지반에 대한 검토부족으로 인한 진동방지에 실패한 예를 그림 5에 나타내었다. 지반에 대한 충분한 검토가 이루어지지 않으면 기계에 대한 기초의 변경이 아무런 효과가 없다는 것을 알 수 있다. 단조공장으로서의 입지조건은 첫째로 지반이 단단하다는 것이 진동공해를 방지하기 쉬운 조건이다.

3.1.2 기계의 기초

진동레벨이 높은 드럼햄머에 사용되는 기초에서는 콘크리트 블록의 크기와 지반관계를 고려하는 것은 물론이고 연약한 지반에서는 심층이 단단한 지질에 기초 말뚝이 닿도록 하여 타격해도 진동이 거의 진행되지 않게 할 필요가 있다.

기계를 지지하는 기초에는 종래의 방법인 고정 기초와 방진기초 등의 2종류가 있고, 후자를 분류하면 직접기초, 매달기 기초, 부력 기초의 3종류가 있다. 방진기초의 기본은 앞에서 말한 탄성지지법이지만 특별한 방진기초로써 그림 6의 부력기초가 있다. 이 부력기초의 특징은 물의 부력과 공기의 탄성을 이용해서 기계를 지지하고 있는 것이다. 따라서 공동 내외의 수두차에 의해 수압은 공동내의 공기층을 매개로 수조내 가대의 기초면위에 공급되며 가대에는 그 배수량에 동일한 부력이 작용한다. 가대는 관성체를 형성하고 가진력이 작용하는 경우 자유롭게 상하 운동이 가능하다. 이 부력기초를 설치하려면 큰 공사가 필요하지만 부력기초를 채용함에 따라 보

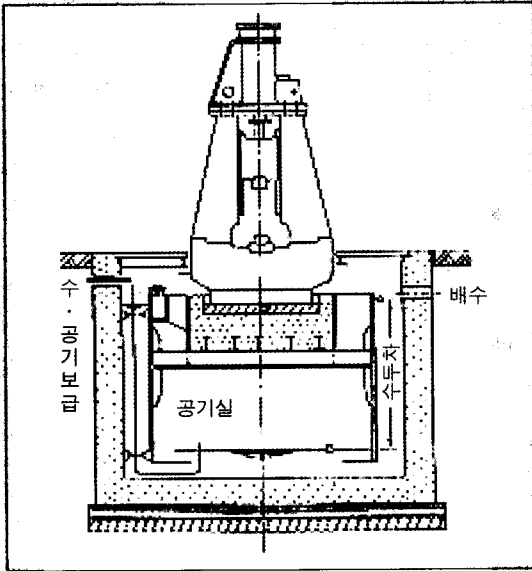


그림 6. 부력기초

통기초에 비해 약 1/20, 매달기 기초와 비교해서 약 1/40에 까지 지반에 대한 충격력을 감소시키는 것이 가능하다고 되어 있다.

3.1.3 단조기 저진동화의 시도

진동 발생원 대책중 진동공해의 원인이 되는 가진력을 어떠한 방법으로든지 억제가능하다면 그것보다 좋은 것은 없다. 방진대책의 입장에서 보면 흥미로운 단조기체로서 대형의 단조품 제조에 이용되는 카운터 블로 해머가 있다. 그림 7은 벨트 커플링형의 카운터 블로 해머를 나타내고 있다.

해머는 상형의 하강과 동시에 하형이 상승하고 중간 지점에서 단조가공을 행하는 방식을 가지고 있다. 이 때문에 에어드럼 해머에서 볼 수 있는 앤빌이 필요 없게 되고, 전체 중량도 일반 해머의 1/3정도 밖에 되지 않는 특징을 가지고 있다. 하형의 상승에 따른 작업성의 악화, 정도 저하, 유지보수의 복잡화 등을 무시한다면 카운터 블로 방식은 상하형의 충격시 동적 밸런스만 유지된다면 상하방향의 충격력이 상쇄되기 때문에 진동이 상당히 감소 할 것이다. 그러나 상승

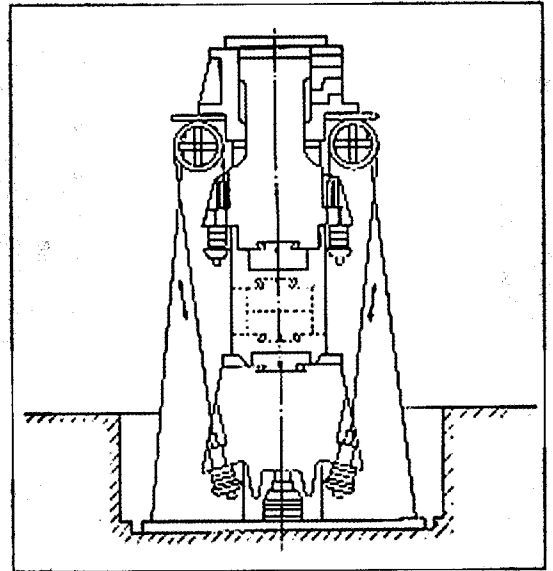


그림 7. 카운터 블로해머

력을 얻기 위해서는 당연히 반작용력으로서 하부방향의 힘을 발생시키고 이 경우 기계 구조물을 매개로 반작용으로 기초를 때리기 때문에 진동공해억제의 관점에서 본다면 문제가 있다. 카운터 블로해머는 하형의 스트로크가 상형과 동일하기 때문에 작업성이 나쁘다는 점을 가지고 있지만, 약 20년 전에 하형의 움직임이 상형에 비해 몹시 작은 카운터블로 해머(counter-blow hammer)가 개발되었다. 그림 8에 개량형 카운터

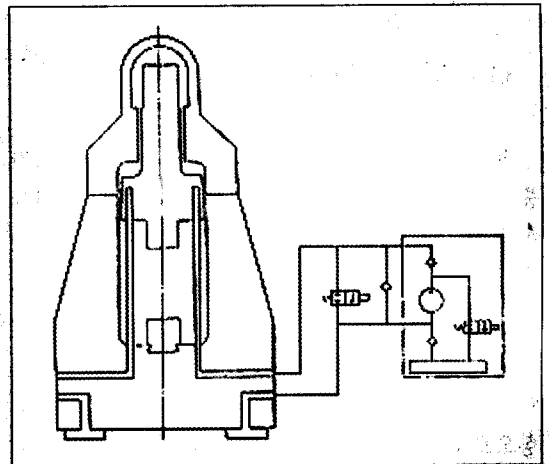


그림 8. 개량형 카운터 블로해머

블로 해머의 원리도를 나타내었다. 대부분의 해머가 동력원으로써 압축공기를 이용하고 있지만 이 경우 유압을 이용하는 것이 특징이다. 즉, 체크 밸브에 따른 작동유는 램을 상승시킴과 동시에 상부의 어큐물레이터에서 압축공기를 만든다. 그런 다음 체크 밸브가 열리면 위쪽으로 밀어 올려진 램은 압축공기에 의해 하강하고 그때에 작동유가 하부실린더로 유입되면서 프레임 전체가 밀어 올려져 램에 의해 충격을 받는다. 앞에서 설명한 카운터 블로해머와 같이 램의 운동량과 하형을 포함한 프레임의 운동량을 조화시킴으로써 램이 닿게되는 부분에서 상하방향의 힘을 감소시킬 수도 있지만, 이 경우도 프레임을 위쪽으로 밀어 올릴 때에 그 반작용력이 기계기초에 전달되기 때문에 카운터 블로해머와 동일한 문제점을 갖고 있다. 종래의 해머에서는 램이 앤빌을 타격하고 거기에서 발생하는 충격을 스프링으로써 흡수하는 소극적인 자세였던 것에 반해 위에 서술한 바와 같이 카운터 블로 방식은 극소적으로 본다면 충격력을 상쇄하는 동작을 통해 적극적인 가진력 억제방식을 사용하고 있다고 말할 수 있다. 그러나, 충격력을 발생하는 기구가 기계구조물과 기계기초 등을 지지하는데 사용되고 그 반작용으로써 힘을 만들어내는 「상대방식」을 취하고 있기 때문에 반작용력이 기계기초를 진동시키게 되는 어려운 점이 있다.

3.2 제진과 진동절연

대상구조물에 직접 외란이 작용하여 발생하는 진동을 억제하려는 것이 제진문제이다. 이것에 비해 기초의 진동 등이 원인이 되어 대상구조물을 공진 시키는 경우와 같이 외란이 대상구조물에 직접 작용하는 것이 아니고 진동의 원인이 되는 기초의 진동이 대상 구조물로 직접 유입되는 것을 방지하는 대책을 진동억제 문제라 한다. 대상구조물의 진동을 억제하는 것에 관해서 양자는 동일문제이지만 진동의 원인이 다르기 때

문에 대책도 다르다. 제진 문제의 기본은 대상구조물에 감쇠를 부가하는 것이지만 진동억제문제에 있어서는 감쇠는 진동전달율의 악화를 초래하기 때문에 주의해야 한다.

3.3 강제지지법

강제지지법의 단점은 대상기계를 부드러운 강성체로 지지함으로써 기계자체가 요동하고 작업성의 저하, 가공정도의 악화, 기계수명의 저하를 초래하는 것뿐만 아니고 공진진동계를 조성한 결과 가진력 성분에 공진주파수 성분이 포함될 경우는 역으로 가진원이 변해버리는 위험성이 있다. 진동기계를 탄성지지 하지 않고 진동억제 효과만을 피하게 된다면 큰 효과는 없다. 강제지지법을 기초로 진동억제법에 관해 설명하면 다음과 같다. 강제지지방식을 가능하게 하기 위해서는 능동제진 방식의 도입이 필요하다. 그리고 단조기계와 프레스 기계와 같이 강력한 진동을 발생시키는 진동기계를 대상으로 하는 능동제진 방식의 원리는 다음과 같다. 가진력은 앤빌 프레임 등의 기계구조물을 매개로 해서 기초에 전달된다. 여기에서 전달된 가진 분력은 기초 및 기초주위의 지반을 진동시키고 그 진동에너지는 파동이라는 형태로 지반을 매체로 하여 운반되어 진동공해를 일으킨다. 능동 제진방식은 진동공해의 원인이 되는 가진력이 반드시 기계구조물과 기계기초의 접촉부를 통과하는 점에 주목하여 기초 가진분력이 기초에 전달되기 전에 접촉부에 가진분력을 억제할 수 있는 능동 제진기를 설치함으로써 기계의 지면 진동방지 대책을 강구하는 것이다.

그림 9는 가진분력을 억제하기 위해서 접촉부에 설치된 능동 제진기의 개념도를 나타내고 있다. 즉 가진분력 f_{in} 이 기초에 운반된 장소에 설치한 하중센서로부터 검출된 신호나 가진력을 직접 검출하여 얻어진 신호를 제어보상회로를 통해 능동 제진기에 피드포워드 또는 피드백(feed

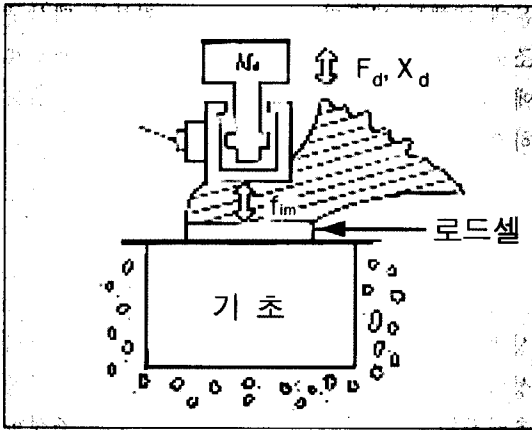


그림 9. 능동제어기 원리도

forward 또는 feedback) 하여 부가 질량을 발생시키고, 거기서 얻어진 관성력 f_d 로써 가진분력을 억제하려고 하는 것이다. 이 경우 제어력이 발생할 때 기계기초를 지지하는 상대방식을 취하지 않고 관성력을 이용하는 절대방식을 채용하고 있기 때문에 지반진동을 일으키지 않는다.

3.4 충격전달력의 평가

단조행정에서는 엔빌상의 피가공물을 램이 타격함으로써 충격력 f_m 가 발생하고 이것이 지지

계를 거쳐 충격력 f_t 로서 기계기초에 전달된다. 따라서, f_t 는 지지계의 구성요소인 스프링힘 f_k 및 점성력 f_b 의 합으로 전달된다. 이러한 분력의 f_m 에 대한 비율과 스프링력 f_{kp} , 점성분력 f_{kb} 와 전달력 f_{tp} 을 무차원화해서 지지계의 감쇠비 ζ 를 매개변수로 표시한 것이 그림 10이다. 이 그림으로부터 감쇠비의 증가에 따른 스프링힘 f_k 은 공진 피크가 일그러짐과 동시에 피크근방의 계인 (Gain)도 억제되기 때문에 f_t 에 대한 기여율이 감소하지만, 반대로 점성분력 f_b 는 f_t 에 대한 응답이 높아져 f_t 에 대한 기여율은 증가한다. 충격 전달력 f_t 를 2승 적분한 것으로 전달 동력에너지 f_{tp} 를 계산할 수 있다. 또한, 스프링력 f_{kp} 는 감쇠비의 증대와 동시에 단조 감소하지만 점성 동력에너지 f_{bp} 은 직선적으로 증대하고 이들의 합으로 표시되는 전달 동력에너지 f_{tp} 는 감쇠비 ζ 가 0.5에서 최소값을 갖는다는 것을 알 수 있다.

3.5 동흡진기의 적용

진동방지법이라고 말하면 일반적인 동흡진기의 적용을 생각할 수 있지만 최적상태로 조정된 동흡진기를 적용하더라도 충격진동을 억제하기

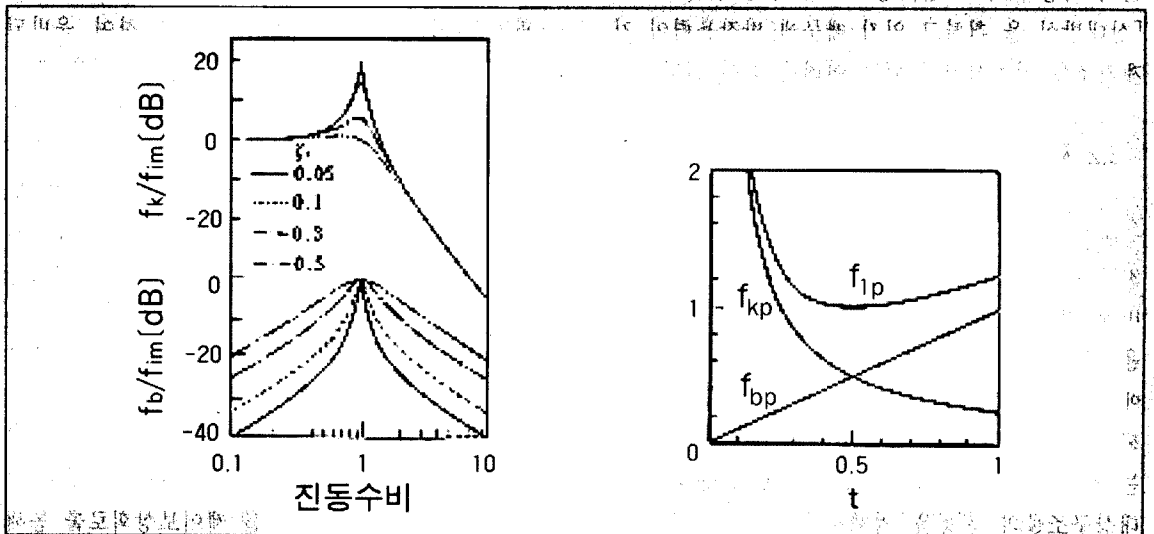


그림 10. 감쇠비 ζ 에 대한 f_k , f_b 의 f_m 에 대한 비

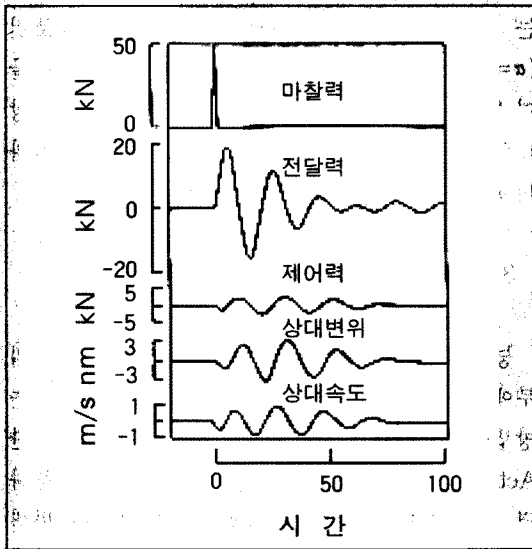


그림 11. 감쇠비 S_b 에 대한 최대 충격전달력 f_{tmax}

는 어렵다. 충격진동의 억제라는 것은 충격응답의 제 1파, 즉 최대 응답치의 억제와 잔류진동의 억제로 쌍방이 달성가능하고 먼저 충격 진동이 억제 된다. 일반적으로 진동억제문제라 말하면 공진 피크의 억제, 즉 감쇠를 증가시키는 것으로 생각되지만 감쇠의 부가는 잔류진동의 억제에 효과가 있다 하더라도 충격진동 제1파의 억제에는 효과가 없다. 그림 11은 1자유도 2차진동계의 질량에 충격력 f_{im} 이 작용할 경우의 충격전달력 f_t , 제어 f_d 및 분력의 시간에 대한 응답을 나타내고 있다. 충격 전달력 f_t 를 보더라도 분명히 잔류진동은 3파에서 거의 감소하고 있고 동흡진기의 부가(질량비 $\mu=0.1$)에 의한 계의 감쇠능이 개선되고 있는 것을 알 수 있다. 그러나, 제1파는 거의 억제되지 않고 있다. 그림 12는 질량비

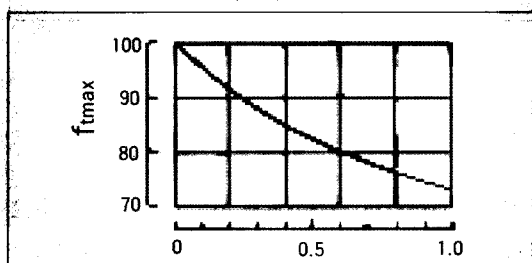


그림 12. 질량비 μ 에 대한 충격전달력의 최대치 f_{tmax}

μ 에 대한 충격 전달력의 최대치 f_{tmax} 를 나타낸 것이고 동흡진기를 부가시키지 않는 경우($\mu=0$ 와 같다)의 f_{tmax} 를 100%로 하고 있다. 그림에서 나타나듯이 질량비가 증가하는 것에 따라 f_{tmax} 는 감소하는 것의 그 효과가 크지않고 질량비 μ 를 0.2로 하더라도 f_{tmax} 는 불과 91.2%로 밖에 억제 되지 않는다. 또한 질량비 μ 를 1.0으로 크게 하더라도 f_{tmax} 는 73%에 불과하다.

3.6 세미 Active 진동제어

진동을 억제하는 방법을 분류하면 수동(passive) 제어방식과 외부에서 제어 에너지를 공급받아 적극적인 진동 억제효과를 기대하는 능동(active) 제어방식과 그것들의 중간에 위치하는 준-능동(semi-active) 제어방식의 3종류가 있다. 준-능동 제어방식은 최근 주목받기 시작한 방식으로 엄밀한 정의는 아직 없지만, 구성은 수동제어의 형태를 취하면서 제어효과를 한정하지 않는 능동제어에 가까운 방식이다.

그림 13은 충격력 및 초기 변위에 대한 무차원 전달력을 나타내고 있다. 이것은 질량비 $\mu=0.1$ 의 경우를 나타낸 것으로 파선으로 그려진 충격응답 제1파에서 최대치를 가지고, 그후는 단조 감소하고 있다. 그러나 실선으로 표시한 초기치 응답은

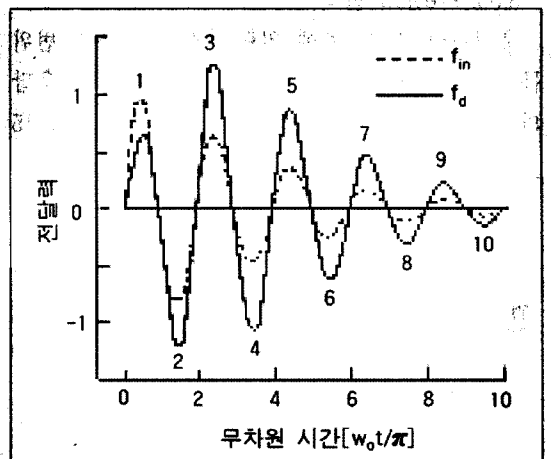


그림 13. 무차원 충격전달력

제1파의 최고 값보다 제1파의 최저 값이 1.87배 크게 나타나고 있다. 이 특성을 이용해 2가지의 준-능동제어방식을 생각할 수 있다.

3.6.1 피드 포워드(Feed Forward) 방식

충격력이 주진동계에 입력된 시점에서 초기 변위를 제거(release)하는 방법이다. 그림 14는 질량비가 0.1의 경우 최적치($\alpha = -0.56$)근방에 있어 충격응답을 나타낸 것이다. 최적치에서는 최대응답치가 무제어상태의 68%까지 억제되고 있고, 재래의 동흡진기를 적용한 경우가 95.3%인 것에 대해 27.3%로 개선되고 있다. 이와 관련해 질량비를 1.0로 극단적으로 크게 하더라도 재래 방식에서는 73%에 지나지 않으므로 이 방식이 상회하고 있다.

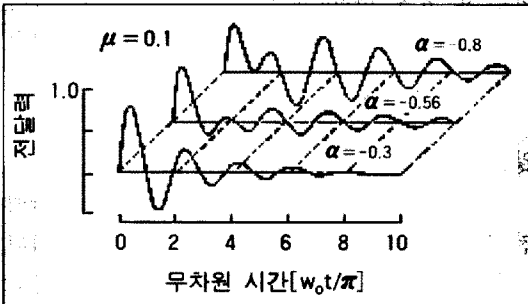


그림 14. Feed forward에 따른 충격전달력의 억제

3.6.2 Preview 방식

충격력이 주진동계에 입력되기 전에 초기 변위를 해방하고, 충격응답 최대치를 초기 변위 응답의 제1파의 골 부분에 억제한 방법이다. 그림 15

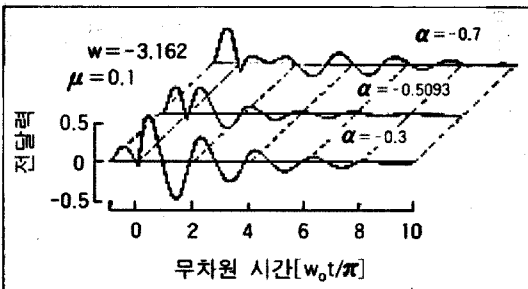


그림 15. Preview 방식에 의한 충격전달력 억제효과

는 그때의 충격응답을 나타내고 있다. 최적조건 ($\alpha = -0.5093$)에 있어서는 동일한 높이의 장애물이 2개의 병립한 파형이 되고 그 값은 무제어 상태의 34.8%까지 억제되고, 재래의 동흡진방식과 비교하면 아주 높은 제진효과를 얻고 있다.

3.7 Active 진동제어

능동제어방식 이라는 것은 제진 에너지를 외부에서 공급받아 적극적으로 진동을 제어하는 방법을 말한다. 그림 16은 관성력을 이용한 Active 덤퍼의 원리이다. 충격력이 계에 작용하면 계의 상태량에 변화가 발생하고 그것이 변위와 속도에 나타난다. 피드백 제어법이라는 것은 계의 상태량의 변화량을 베이스로 그 신호를 제어보상 회로에 입력하고, 어떤 제안된 제어측에 따라 제어신호를 발생하여 Active 덤퍼를 구동시키는 것이다. 그때에 발생한 관성력을 제어력으로 이용하고 계에 감쇠를 부여하는 것으로 진동을 억제한다.

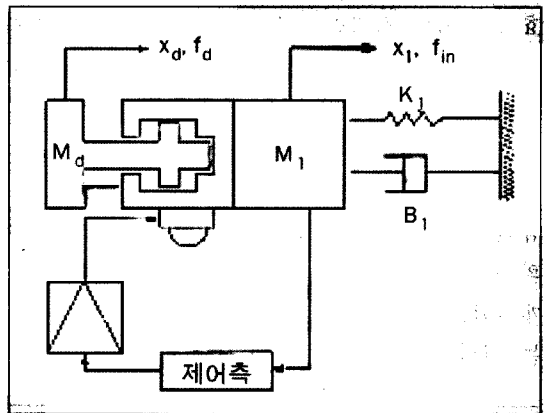


그림 16. 능동제어를 위한 Active 덤퍼

3.8 저진동 단조기

단조기계를 모델화 하면 엔빌과 기계기초로 되는 두 개의 질량과 탄성지지 스프링, 지반 스프링으로 구성된 2자유도 진동계로 간주할 수

있다. 이 앤빌 상의 피가공물을 해머가 타격함으로써 강력한 충격력이 발생하고 이 충격력이 앤빌 및 지지계를 거쳐서 전달력 f_t 로 기계기초에 전달되며 이 결과 진동공해가 발생한다. 저진동 단조 방식이라는 것은 진동공해의 원인이 되는 전달력을 억제하듯이 제어력을 작용시켜 진동억제를 꾀하는 것이다.

그림 17의 저진동 단조 방식의 원리도에서 보듯이 이 제어력은 능동제진기의 부가 질량을 유압 서보 기구로 구동할 때 발생하는 관성력을 이용하고 있다. 앤빌이 탄성지지 되는 일반적인 단조 행정에서 충격력이 피가공물에 작용하면 앤빌은 단압효과가 저감하는 방향으로 움직인다. 이것에 대해 저진동 단조계는 제어력이 충격력에 서로 반대되는 방향으로 작용하므로 앤빌의 운동이 감소하고, 궁극적으로 충격력과 제어력을

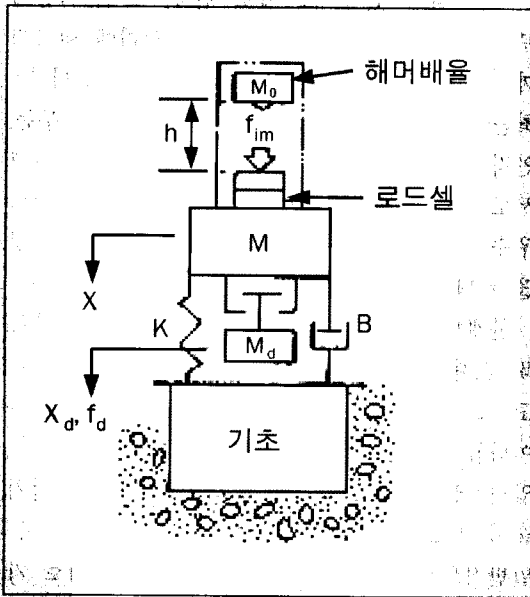


그림 17 저진동 단조 방식의 원리도

동일하게 하면 전달력은 제로로 되고, 앤빌은 충격력을 받더라도 정지한 상태이며, 피가공물은 상하 양방향에서 힘을 받기 때문에 효과는 2배가 된다.

4. 결 론

환경에 대한 요구가 엄격해지면서 모든 산업에 대해서 소음 및 진동에 대한 규제가 강화되고 있는 추세에 발맞추어 선진 각국은 환경대책에 대하여 많은 노력을 경주하고 있다. 이러한 때 국내에서도 프레스의 소음 진동에 대한 활발한 연구를 통하여 선진국의 소성가공 관련 환경대책 기술의 예측화에서 탈피하고, 국내 생산 현장의 환경개선과 편안하고 안락한 분위기에서 고능률 생산 및 품질 향상을 기대하여야 할 것이다.

소성가공 공정의 소음저감 및 대책방안의 마련과 동흡진기 제진 및 진동절연 기술의 개발 방향제시, 저진동 금속가공기 개발방향을 제시하고, 소성가공의 진동소음제어 관련 연구과제를 도출하기 위해 ① 국내 소성가공 전문가 집단의 소성가공 산업의 소음 진동 실태파악, ② 일본, 미국, 유럽 등의 현황조사, ③ 외국의 소음 진동 관련 핵심자료 수집, ④ 분야별 산·학·연 전문가 모임 구성 후 장·단기 대책 수립 등과 같은 활동을 하여야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] "프레스 가공기술자를 위한 신소형재 가공 Q & A", 일간공업신문사.
- [2] "단조기술 핸드북", 도서출판 세화.