대한기계학회 2000년도 춘계학술대회논문집 A pp. 879~883 KSME 00S151

기계식 타이머 밸런스 휠의 진동 주파수 측정 및 조정 장비의 개발

이 돈진* · 박 수범** · 안 중환***

Developement of a oscillating frequency measurement and adjustment system of a balance wheel of Mechanical Timer

D.J.Lee , S.B.Park, J.H.Ahn

Key Words: Mechenical Timer(기계식타이머), Frequency Regulator(주파수 조정기), Auto Correlation(자기상관)

Abstract

A system for measuring and adjusting the oscillating frequency of a balance wheel whick determins the accuracy of mechanical timers. The balance wheel oscillates rotatively suspended by a hair spring which is welded at the other end to the pivot tube. The natural oscillatory frequency of the balance wheel is determined by the length of hairspring from the balance wheel to the point if other parameters the the length in the torsional oscillation model are not changed, so the frequency of the balance wheel can be adjusted to meet a requirement by the adjustment of the hairspring length using ultrasonic welding. And the movement of wheel teeth is measured in realtime by a high speed photo fiber sensor and Auto Correlation is used to find a more accurate oscillation period from the measured signal with some variations.

1. 서 론

기계식 타이머는 일반적인 전자장비가 제대로 동작하기 힘든 극한의 상황에서도 제대로 성능을 발휘한다. 보통 기계식 타이머의 경우 타이머의 동작시간은 태엽을 이용하여 제어하는 경우가 많은데, 본 연구에서도 태엽을 이용한 기계식 타이머에서 타이머 내부의 태엽이 풀리는 속도를 조절하여 타이머의 시간을 정확하게 맞추어 주는 밸런스 휠의 왕복운동 주파수를 광 파이버센서를 이용하여 자동으로 측정하고 측정된 주파수를 이용하여 원하는 주파수 대역으로 설정하는 장비를 개발하였다.

기존에 사용되던 타이머 주파수 측정 및 설정 장비는 작업자가 수동으로 주파수를 측정한후 측정된 결과를 바탕으로 초음파 용접기를 통해 새로운 주파수로 설정하는 작업을 원하는 주파수 대역에 이를때까지 반복해야 했다. 따라서 제품의 탈부착에 의한 오차, 작업자의 상태 및 용접 위치의 불균일성 등에 의해 불량이 생기는 경우가 많아서, 균일한 품질의 제품을 얻기가 힘들었으며 또한 모든 작업이 수작업으로 이루어지기

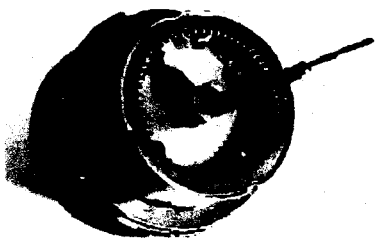

그림 1 기계식 타이머

* 부산대학교 지능기계공학과
** 부산대학교 지능기계공학과
*** 부산대학교 기계공학부

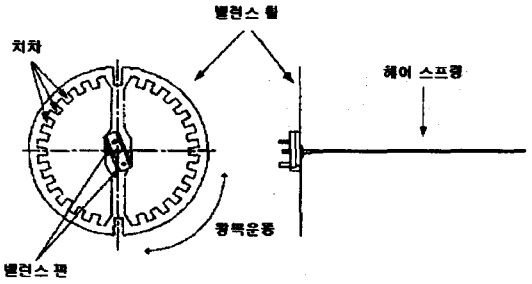

그림 2 밸런스 휠 결합체의 구조

때문에 컴퓨터에 의한 통계적 품질관리 등의 고급 관리기법을 적용하기가 힘들었다. 그래서 단 작업자가 측정하고자 하는 제품을 단 한번의 조작으로 지그에 설치한 후 시작버튼을 누르기만 하면 자동으로 타이머의 동작과 타이머 밸런스 휠의 주파수의 측정과 측정된 주파수 데이터로부터 원하는 주파수로의 설정을 자동으로 해주는 시스템과 측정과 설정으로부터 얻어진 데이터로부터 다양한 품질관리를 해주는 운용소프트웨어를 개발하게 되었다.

2.밸런스 휠 결합체의 구조

타이머의 내부에는 타이머의 동작시간을 결정하는 태엽과 그림 2와 같은 밸런스 휠 결합체가 몇단의 기어감속으로 결합하고 있으며 밸런스 휠은 다시 초음파 용접을 통해 헤어스프링과 연결되어 있고, 헤어스프링은 프레임에 고정된 피봇튜브에 초음파 용접으로 연결되어 있다. 이 때 밸런스 휠은 피봇튜브에 용접되어 있는 점을 중심으로 헤어 스프링의 비틀림 강성에 의해 자유로이 왕복운동을 하게된다. 이 휠의 왕복운동은 비감쇠 비틀림계의 자유진동으로 볼 수 있으므로 간략화 하면 그림 3과 같이 모델링 할 수 있다.

여기서

d : 헤어스프링의 지름

G : 전단계수

L : 헤어스프링의 길이

J_0 : 밸런스 휠의 등가 관성모멘트이다.

위의 모델링에서 밸런스 휠의 왕복운동 고유주파수를 구하면 다음과 같다.

$$\omega_n = \sqrt{\frac{\pi d^4 G}{32 L J_0}} \qquad (1)$$

그러므로 밸런스 휠의 왕복운동 고유주파수는 타이머가 조립된 상태에서 헤어스프링의 지름과

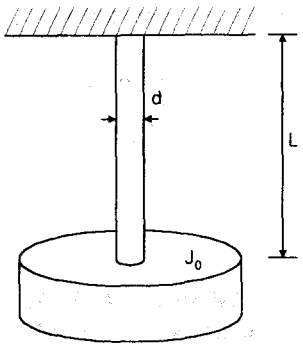

그림 3 밸런스 휠의 모델링

밸런스 휠의 등가 관성모멘트와 헤어스프링의 길이에 의해 결정된다. 그러나, 일단 타이머가 조립이 되면 헤어스프링의 지름과 등가관성모멘트는 일정하게 되므로 밸런스 휠의 왕복운동 고유주파수는 단지 헤어스프링의 길이 L에 의해서만 결정된다.

3.시스템의 구성

본 연구에서 개발한 주파수 측정 및 설정장비는 작업자가 타이머를 설치하기 위한 타이머 지그와 설치한 타이머의 주파수를 측정할 광파이버 센서를 부착하는 센서지그, 그리고 설치된 타이머의 밸런스휠의 주파수를 측정하고 이 측정된 값을 기준으로 원하는 주파수만큼 변동시키기 위해 타이머를 움직여 용접될 헤어스프링의 위치를 옮겨주는 서보시스템과 이동된 위치에서 헤어스프링을 피봇튜브에 용접하기 위한 초음파용접기와 외부의 각종 신호와 장치를 구동하기 위한 회로장치 및 이들을 운용하는 소프트웨어와 개인용 컴퓨터로 구성된다. 그림 4는 시스템의 개략적인 구성도이다.

그림 5는 각각 타이머와 센서가 설치될 지그이고, 그림 6는 타이머 밸런스 휠의 왕복운동 고유

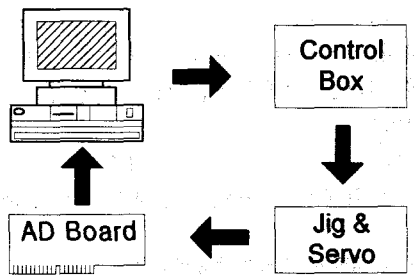

그림 4 시스템의 구성

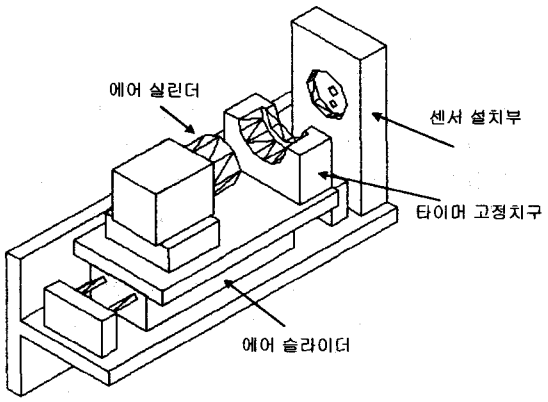

그림 5 타이머 설치 지그

주파수의 측정시 실제 타이머의 사용환경과 같도록 타이머를 자동적으로 동작시키도록 해주는 지그이다. 그림 6의 지그는 그림 5에서 센서 설치부내의 장치되어 있으며 타이머가 타이머 고정치구에 설치된 후 에어 실린더에 의해 고정되고, 측정을 위해 에어 슬라이더에 의해 센서 설치부쪽으로 진행하게 되면 먼저 그림 1의 사진에서 타이머의 가장 끝면이 지그의 A지점에 닿게 되고 여기서 타이머가 조금더 진행하게 되면 지그는 힌지점을 중심으로 시계방향으로 회전하게 된다. 따라서 B점은 위로 들어올려지게 되면서 타이머 내부에서 밸런스 휠이 회전하지 못하도록 잡고 있는 회전 멈추게 핀을 들어올려 비틀려서 고정되어 있던 타이머의 밸런스휠이 헤어스프링의 비틀림 강성에 의해 자유롭게 왕복운동을 하도록 하게 해 준다.

본 장비에서 요구되는 타이머 밸런스 휠의 왕복운동 고유주파수는 40.37± 0.3Hz이며 0.02Hz단위의 주파수 측정과 설정이 필요하다. 이전의 수동작업에서 얻어진 데이터에 의하면 밸런스 휠의 고유 주파수는 대략 헤어스프링의 길이 1㎜변동시 약 2Hz의 주파수가 변동하므로 0.02Hz의 주파수 정도를 가지기 위해서는 서보시스템이 10㎛의 이송정도를 가져야 한다. 이를 위해 본 장비의 서보시스템에는 1회전당 3000pulse의 엔코더를 가지는 Panasonic사의 3000rpm의 정격모터와 10mm의 리드를 가지는 볼스크류를 사용하였다. 3000펄스의 엔코더는 4체배 되어 12000펄스가 되므로 이론적으로 펄스당 약 1㎛정도 움직이게 되나 볼스크류의 제한된 정밀도로 인하여 약 10㎛정도가 제어의 한계이다.

밸런스 휠에는 휠의 왕복운동 고유주파수를 측정하기 위하여 28개의 이빨이 나 있으며, 이 이빨은 3mm정도의 구멍을 통해 바깥으로 노출되어 있고, 뒷 벽면과는 약 0.5㎜정도의 간격을 유지하고 있다. 따라서 고유주파수를 측정하기 위한 센서는 3mm이내의 크기에서 약 0.5mm의 단차를 측정할 수 있어야 한다. 이를 만족할 수 있도록 본 연구에서는 Keyence사의 광 파이버센서를 사용하였다. 밸런스 휠이 약 80Hz의 주파수로 왕복운동하고 치차의 개수가 28개 이므로 치차의 주파수는 약 2kHz정도가 되나, 주파수가 고정된 것이 아니라 휠의 왕복운동으로 인해 변동하기 때문에 신호속에 포함된 가장 높은 주파수는 그림 7의 치차신호에서 가장 조밀한 부분에서 약 20kHz가 된다. 그러나 일반적인 파이버 앰프는 동작주파수가 약 4kHz정도이었기 때문에 대역폭이 40kHz인 고속형의 FS-M1H 앰프를 사용하였다.

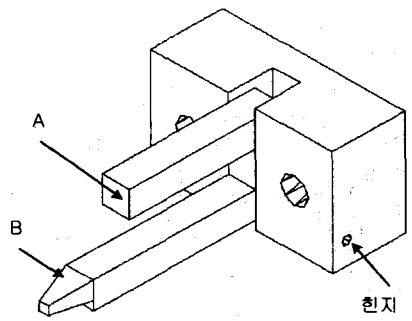

그림 6 회전 멈추게 제거 지그

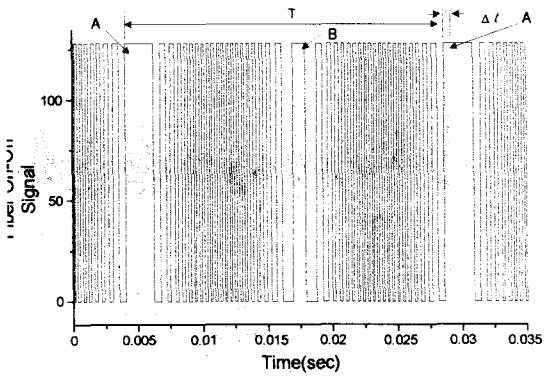

그림 7 타이머 밸런스 휠의 치차신호

4.실험결과

그림 7은 밸런스휠의 치차의 단차를 광파이버 센서를 통해 샘플링한 신호이다. 밸런스 휠은 탄성비틀림에 의해 왕복운동하기 때문에 양 끝점에서는 일시적으로 타이머가 정지하기 때문에 주파수가 낮고 그 중간이 속도가 빠르고 따라서 주파수가 높다. 그러므로, 하나의 주기는 휠이 오른쪽 끝(A)에서 왼쪽끝(B)으로 비틀렸다가 다시 오른쪽 끝(A)으로 돌아오기까지이다.

센서를 통해 얻어진 신호의 주파수는 기계적인 부조화와 외부환경등 여러 가지 요인에 의하여 약간씩 변동한다. 본 연구에서는 매 주기마다의 주파수를 구해야 하기 때문에 자기상관(Auto Correlation) 함수값의 변화를 실시간으로 계산하여 최대값의 시점을 주기로 구하였다.

자기상관 함수를 사용하여 주기를 측정하는 경우 측정정도는 샘플링 주기(Δt)에 의해 결정되므로, 이를 주파수로 환산하면 다음과 같이 계산된다.

$$f = \frac{1}{T \pm \Delta t} = \frac{1}{T} \cdot (1 \pm \frac{\Delta t}{T})^{-1}$$

$$\approx \frac{1}{T} \cdot (1 \mp \frac{\Delta t}{T}) = \frac{1}{T} \mp \left(\frac{1}{T}\right)^2 \cdot \Delta t$$

$$\therefore f = f_0 \mp \frac{f_0^2}{f_s} \qquad (2)$$

여기서,

T : 신호의 주기

f : 주기의 측정 주파수

f_0 : 주기 T일 때의 주파수

Δt : 샘플링 주기

f_s : 샘플링 주파수 이다.

그러므로 측정된 주파수의 정도는 식 (2)에서 f_0^2/f_s에 의해 결정된다. 그러므로 장비에서 요구되는 0.01Hz의 주파수 정도를 가지기 위해서는 약 160kHz의 샘플링 주파수가 필요하다. 그러나, 160kHz로 신호를 샘플링할 경우 너무 많은 데이터량으로 인해 실시간으로 매 초마다의 주파수를 구할 수가 없었다. 그래서 실시간으로 주파수를 계산할 수 있는 최대 속도인 80kHz로 샘플링하여 계산된 주파수를 평균화하여 매 초마다의 평균 주파수를 구하였다.

샘플링은 8253타이머에서 발생된 2MHz의 신호를 분주하여 80kHz의 인터럽트를 발생시키고 이 인터럽트에 의해 AD샘플링을 시작하도록 하였고 샘플된 데이터를 더블 메모리에 저장하였다. 포그라운드에서는 샘플된 데이터를 자기상관을 통하여 실시간으로 주파수를 계산하였다.

그림 8은 샘플링된 신호의 자기상관함수 결과이다. 샘플위치에 따라 반복되는 피크들은 매주기의 위치를 나타낸다.

처음 조립된 타이머는 평균 37Hz정도의 주파수로 설정된다. 완성품 타이머의 요구 주파수는 40.37Hz이기 때문에 식(1)에 의해서 헤어스프링의 길이를 조금씩 줄여서 밸런스휠의 주파수를 조정한다. 그림 9는 동작주파수를 40.37Hz로 맞추기 위한 알고리즘이다. 먼저 타이머의 장착후 주파수를 측정하여 40.37보다 작으면 용접 위치가 중첩되지 않도록 하는 범위에서 적당한 위치로 타이머를 이송후 헤어스프링을 용접후 다시 측정하고 403.37를 기준으로 하여 ± 0.3Hz의 합격영역에 들어가면 양품으로 판정한다.

40.37Hz의 주파수를 설정하기 위해 이론적으로

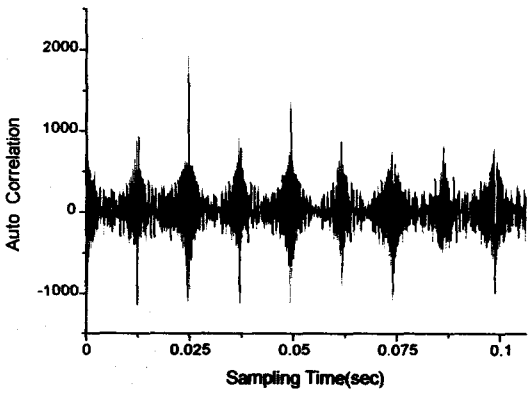

그림 8 자기상관함수 결과

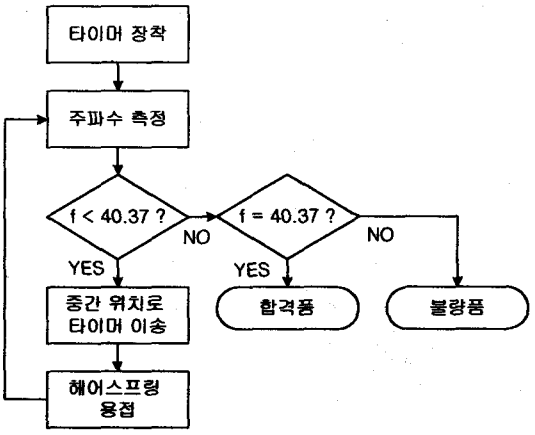

그림 9 타이머 주파수 설정 알고리즘

는 3번만 용접을 하면 첫 번째와 두 번째 용접결과를 가지고 헤어스프링의 탄성계수를 계산해 낼 수가 있다. 허용가능한 최대 작업회수는 3회이나 작업시간의 문제 때문에 실제로는 2회 정도만이 허용된다. 반복작업으로 얻어진 데이터를 바탕으로 스프링의 탄성계수를 구함으로써 가능하게 되었다.

그러나 제품마다 변하는 여러 가지 요인때문에 헤어스프링의 길이 변동에 따른 주파수 변동량이 약간씩의 차이를 보일 수 있기 때문에 롯트별 특성차를 보정할 필요가 있다.

5.결론

본 연구에서는 기계식 타이머의 시간을 결정하는데 가장 중요한 부품인 밸런스휠이 비틀림강성에 의해 진동하는 고유주파수를 자동으로 측정하고 설정하는 장치를 개발하였다. 본 장치의 개발로 인하여 다음의 결과를 얻었다.

(1) 수작업에 의한 경우보다 불량율을 200%이상 줄일 수 있었다.

(2) 자동으로 작업이 이루어짐으로 인하여 수작업의 경우보다 총 작업시간이 30%정도 감소됨으로해서 생산성이 증가하였다.

(3) 생산되는 제품의 성능이 수작업의 경우보다 안정되고 균일하였다.

(4) 롯트별로 제품이 바뀜에 따라 헤어스프링의 강성계수를 자동으로 변경시킴으로써 부품변화에 둔감한 제품을 생산할 수 있도록 하였다.

참고문헌

[1] Mechanical Vibration, Rao, Addison-Wesley, 1994

[2] Mechanical Signature Analysis, S.Braun,

[3] Report on Automated Equipment to perform posing, BULOVA Co.