

용접부분품의 진동시효처리를 위한 공진주파수결정의 한가지 방법

김명철, 김명혁

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《기계공학, 금속공학, 열공학, 재료공학을 비롯한 중요부문 기술공학들을 빨리 발전 시키고 그 성과를 여러 경제부문에 적극 받아들여야 합니다.》(《조선로동당 제7차대회에서 한 중앙위원회사업총화보고》 단행본 40페이지)

용접부분품의 진동시효효과를 높이기 위하여서는 진동시효기술조건을 정확히 선정하여야 하며 시효대상의 기본공진주파수의 선택은 용접부분품의 잔류응력을 제거하는데서 중요한 문제로 된다.[1, 2]

제한된 주파수대역에서 유한개의 주파수를 가진 가진력을 가할 때 나타나는 용접부분품의 변위를 측정하여 고유진동수를 결정하는 진동가속도-전동기회전주파수특성곡선법[3]에서는 주파수가 부단히 변하기때문에 부분품의 공진주파수들을 정확히 탐색할수 없다.

논문에서는 진동시효처리할 용접부분품의 공진주파수결정을 위한 실현가능한 시험실험의 형태를 선택하고 진동계의 모형동정가능성을 판별한데 기초하여 합리적인 공진주파수결정방법에 대하여 논의하였다.

1. 진동시효를 위한 진동주파수결정에서 제기되는 문제

진동시효기술은 진동시효기를 리용하여 처리되는 부분품에 공진을 일으키게 함으로써 일정한 진동에너지를 부분품의 모든 부위에 전달하여 부분품내부에서 미소소성을 일으켜 외곡된 결정격자가 점차 균형상태를 회복하게 하는 기술이다.

진동시효공정에서는 처리되는 부분품의 적당한 위치에 가진기를 고정하고 부분품의 크기와 형태, 지지상태에 근거하여 진동주파수를 조절함으로써 부분품이 고유주파수에서 공진하게 한다.

진동시효공정의 진동자는 불균형질량을 가진 회전진동자로서 직류전동기에 의하여 구동되며 가진력의 조종은 가진기조종장치를 통하여 실현된다.

진동시효의 기본파라미터에는 진동주파수, 진동시간, 동응력, 부분품의 진동형(부분품의 지지위치, 가진기와 수감기의 설치위치)이 속한다.

공진상태에서는 최소진동에너גיע 의하여 부분품에 최대의 진폭을 일으키고 최대의 동응력과 진동에너גיע 얻을수 있으므로 부분품의 잔류응력제거를 보다 철저히 하며 부분품의 치수안정성효과가 보다 좋아지게 된다.

진동시효할 때 진동주파수는 진동계가 공진조건에서 작업하도록 선정하며 경험적으로 공진마루앞에서 즉 부분품의 아공진구역에서 공진붕우리값의 1/3~2/3에 대응하는 주파수범위에서 선정한다.

문제는 부분품의 진동주파수선택에 앞서 진동계의 공진주파수가 알려져야 한다는것이다.

부분품의 공진주파수탐색시험에서는 시험시간과 가진기의 기계적진동주파수가 유계이라는 현실적인 제한이 있다. 따라서 현장에서는 일정한 주파수를 가진 가진력을 부분품에 가하고 진동가속도를 측정하고 신호파형으로부터 주파수를 결정하고있다.

그러나 진동계의 변위가 입력신호와 계의 임펄스무계함수의 중첩의 결과로 나타나기 때문에 실시간측정자료에 의하여 작도된 진동가속도-진동자주파수곡선으로부터의 계의 공진주파수결정방법은 부정확성을 피할수 없다.

진동계의 공진주파수는 대상모형의 고유값이나 진폭-주파수특성으로부터 직접 구할수 있다.

문제는 진동시호할 대상의 모형이 미지이기때문에 진동계의 입출력측정자료로부터 진동시호처리의 실시간적요구에 맞는 공진주파수결정방법을 확정하는것이다.

2. 용접부분품의 모형동정에 의한 공진주파수결정

진동계를 n 개의 공진주파수를 가진 2차진동계들로 이루어진 선형안정체계라고 하자.

$$G(s) = \frac{K}{\prod_{i=1}^n (s^2 + 2\xi_i\omega_i s + \omega_i^2)} \quad (1)$$

여기서 K 는 증폭결수, $\omega_i = 2\pi f_i$, f_i 는 공진주파수, ξ_i 는 감쇠비이다.

진동시호공정의 모형(식 (1))을 동정하기 위한 입력조건은 다음과 같다.

① 령초기조건에서부터 부분품을 진동시켜야 한다.

② 지속적려진조건을 만족시키는 신호로서 진동계를 충분히 려기시킬수 있는 충분한 주파수를 가져야 한다.

③ 기계적인 충격을 가할수 없다.

진동자의 임의의 주파수조절이 전동기속도조종체계에 의하여 담보된다고 하면 위의 조건을 만족시키는 실현가능한 입력신호 $u(t)$ 는 주파수가 련속적으로 증가하거나 감소하는 조화신호이다.

입력을 주파수가 등속으로 변화되는 조화신호라고 하자.

$$u(t) = M\omega^2 r \cdot \sin(2\pi ft) \quad (2)$$

여기서 M 은 편심질량, r 는 편심거리, ω 는 각속도, f 는 전동기회전주파수, t 는 진동시간이다.

이때 신호 $u(t)$ 의 스펙트르를 해석하여보면 스펙트르 $\Phi_u(\omega)$ 는 $\omega \in [0, 2\pi(2f_n)]$ 에서 $\Phi_u(\omega) > 0$ 이다. 이로부터 이 신호로는 $[0, 2f_n]$ 의 주파수대역에서 체계를 려기시켜 동정할수 있다.

입력 (2)에 대한 체계 (1)의 응답으로부터 모형을 동정하고 실제대상과 모형을 비교하는 방법으로 공진주파수의 결정가능성을 확증하자.

진동계가 $n=3$, $k=2.215 \times 10^{14}$, $f_1=30$ Hz, $f_2=50$ Hz, $f_3=80$ Hz, $\xi_1=0.01$, $\xi_2=0.01$, $\xi_3=0.005$ 의 파라메터들을 가진 체계이고 식 (2)의 신호 $u(t)$ ($M=0.1$ kg, $r=0.05$ m, $f_0=0$ Hz, $f_n=70$ Hz, $t_n=90$ s, 표본화주기 $T=0.001$ s)를 계에 가할 때 출력은 그림 1과 같다.

한편 동정모형을 다음의 ARX모형

$$A(q)y(t) = B(q)u(t) + e(t) \quad (3)$$

로 하고 모형의 파라미터를 최소두제곱법으로 추정하였다. 이때 ARX모형의 차수는 $na=8$, $nb=8$ 로 선택하였다.

또한 주파수영역에서의 비파라미터체계모형인 경험적전달함수의 추정량

$$\hat{G}_N(e^{j\omega}) = \frac{Y_N(\omega)}{U_N(\omega)} \quad (4)$$

를 구하고 실제대상과 추정모형들의 보드선도를

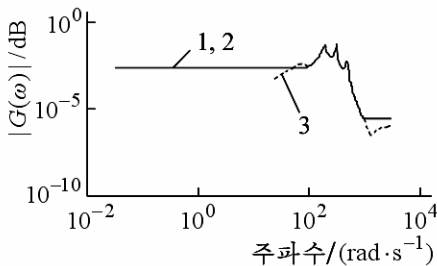


그림 2. 실제대상과 추정모형들의 보드선도
1, 2- G , \hat{G}_1 일 때, 3- \hat{G}_2 일 때

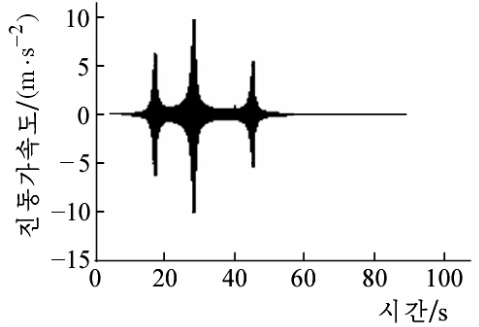


그림 1. 출력측정곡선

비교하였다.(그림 2)

그림 2에서 보는바와 같이 실제대상 G 와 ARX모형 \hat{G}_1 의 보드선도는 거의 일치한다는것을 알수 있다. 그리고 실제대상의 공진점과 추정모형의 공진점이 일치한다는것을 알수 있으며 따라서 식 (2)와 같은 신호를 입력으로 리용하면 체계동정수법을 적용하여 진동계의 주요공진점들을 결정할수 있다.

이 방법은 모형을 동정한 다음 추정모형으로부터 공진점을 구하는것으로 하여 실용적인 측면에서 실시간적인 제한을 가진다.

3. 실용적인 공진주파수결정방법

실제대상과 경험적전달함수추정량 $\hat{G}_N(e^{j\omega})$ 의 비교결과는 입력 (2)의 푸리에변환 $U(\omega)$ 가 주파수대역 $[0, 2\pi(2f_N)]$ 에서 단조증가하기때문에 출력의 푸리에변환 $Y(\omega)$ 로부터 공진주파수를 결정할수 있다는것을 보여준다.

출력신호 $y(t)$ 를 고속푸리에변환하여 출력의 동력스펙트럼 $|Y(\omega)|^2$ 을 계산하고 주파수에 관하여 작도한 그래프는 그림 3과 같다.

그림 3에 의하면 출력신호의 동력스펙트럼곡선에서 주성분에 대응한 각주파수들은 실제대상의 공진각주파수와 일치하며 이로부터 푸리에변환에 의한 공진주파수결정방법을 실제대상에 적용하여 계산량을 줄이고 실용성을 높일수 있다.

이 방법을 실제 용접부분품에 적용하여 잔류응력제거효과를 시험하였다.

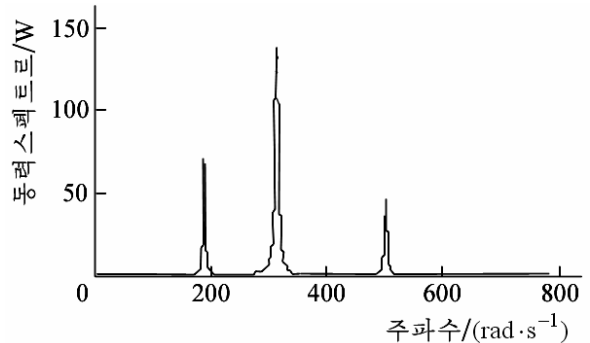


그림 3. 출력신호의 동력스펙트럼

시험을 위해 진동시효공정의 기술적특성을 표 1과 같이 주었다.

공진주파수탐색시간을 90s로 하고 선행방법[3]과 고속푸리에변환에 의한 공진주파수 결정방법으로 부분품의 공진주파수를 탐색하여 결정한 결과 주요공진주파수들은 뚜렷한 차이가 있었다.(표 2)

표 1. 진동시효공정의 기술적특성

구 분	단 위	수 값
진 동 진 폭	mm	0~4
전 동 기 회 전 수	rpm	0~4 800
전 동 기 출 력	kW	2.1
판 용 수 강 성	kgf/cm	15 000~55 000
부 분 품 무 게	kg	8 400
외 광 치 수	mm	3 200×1 300×700

표 2. 부분품의 공진주파수탐색결과

공 진 차 수	공 진 주 파 수/Hz	
	선 행 방 법 [3]	푸 리 에 변 환 에 의 한 방 법
1 차	28.2	34.2
2 차	42.4	49.3
3 차	53.7	67.6

두가지 방법으로 결정된 1차공진주파수들에서 부분품들을 시효하고 잔류응력제거효과를 부분품의 차후변형을 측정하는 실험으로 검증한데 의하면 선행방법에 비하여 푸리에변환을 리용한 방법에 의해 결정한 공진주파수에서의 시효처리한 부분품의 차후변형이 2배이상 작다는것이 확증되었다.

맺 는 말

진동시효처리에서 등속가변주파수를 가진 조화파형태의 가진력은 부분품의 공진주파수결정에 적합한 입력이며 부분품의 진동가속도신호를 고속푸리에변환하고 결정한 공진주파수는 부분품의 실제공진주파수에 근사하다.

참 고 문 헌

- [1] X. M.Han et al.; Procedia Engineering, 130, 544, 2015.
- [2] W.Jiang et al.; Int. J. Pres. Ves. Pip., 87, 457, 2010.
- [3] 房德, 大连理工大学工程力学系, 3, 2, 20, 2005.

주체107(2018)년 5월 5일 원고접수

A Method of Finding Resonant Frequency for Vibrating Stress Relief of Welding Part

Kim Myong Chol, Kim Myong Hyok

In Vibrating stress relief, we selected the type of test signal to find the resonant frequencies of welding part and validated the model identifiability of vibration system before proposing a reasonable method of resonant frequency finding.

Key words: vibrating stress relief, resonant frequency, fast fourier transformation