

〈技術論文〉

小型 動電形 굽힘 疲勞試驗機의 製作

宋智浩* · 辛龍承** · 林允洙***

(1988년 10월 27일 접수)

Construction of Small-Sized, Electro-Dynamic Bending Fatigue Testing Machine

Ji Ho Song, Yong Seung Shin and Yoon Soo Im

Key Words: Fatigue Testing Machine(피로시험기), Electro-Dynamic Type(동전형), Bending(굽힘), Small Fatigue Crack Growth Testing(미소 피로균열 진전시험)

Abstract

A small-sized bending fatigue testing machine of electro-dynamic type was constructed. The capacity of the testing machine is 10kgf. All the parts used were obtained in domestic markets. Particularly, the field magnet and the moving coil taken from a home-made audio-speaker were successfully utilized as the components of the force exciter. The testing machine constructed has been presently used for the study on small fatigue crack growth and is also expected to be utilized for fatigue testing of electronics parts such as IC etc., of some modification is made for the machine. The testing machine can be constructed easily and economically by an individual.

1. 序 論

實驗이 연구의 主要부분을 차지하는 피로연구에 있어서는 연구목적에 알맞는 피로시험기를 保有하는것이 무엇보다도 중요하다. 그러나 현재 市販되고 있는 피로 시험기는 그 驅動방식에 관계없이 小容量인 경우에도 대체로 값이 비싸며, 특히 피로시험기의 국산화가 이루어지지 않고있는 국내의 경우 특별한 財政的 技術이 없는 限, 大學등의 연구실에서 독립적으로 購入, 保有하는것은 여간 어려운 일이 아니다.

이러한 事情을 감안하여, 筆者들은 근래 많은 주목을 받고 있는 微小피로균열연구등에 적합한 小容量의 피로시험기를 국내에서 入手할 수 있는 資材를 사용하여 제작하였다.

시험기 驅動方式으로는, 피로시험기로서의 특성이 좋으며 小容量化가 容易하여 國外에서 1kgf의 最小容量을 시험기가 손수 製作된 좋은 例⁽¹⁾가 있는 動電形(electro-dynamic type)으로 하였다.

본 연구에서 제작된 시험기는 연구자 개인의 경제적 수준에서 충분히 제작이 가능한 것이다.

2. 疲勞試驗裝置 詳細

2.1 試驗機 本體

動電形 試驗機은 一定磁場內에 놓여진 驅動코일(moving coil)에 電流를 흘려 加振力을 얻는 시험기로서, 시험기 容量은 磁場과 許容電流가 높은 驅

* 정회원, 한국과학기술원 기계공학과

** 정회원, 서울산업대학 기계설계과

*** 한국과학기술원 기계공학과

Table 1 Specification of loudspeaker

Loudspeaker	SR460A400G
Nominal impedance	8 Ohms
Power capacity	PMS 400W, Max 800W
Voice coil diameter	79.5mm
Voice coil wire	Edgewound copper
Bobbin material	Kapton
Resistance	5.5 Ohms
Inductance	0.82mH
Magnet weight	2.67kg
Flux density	13.000 gauss

動코일을 얻는 것이 重要하다.

본 연구에서는 磁場發生部와 驅動코일을 국내에서 市販되고 있는 最大容量의 音樂 스피커 (speaker)에 사용되고 있는 部品를 이용하기로 하였다. 실제 이용한 제품은 삼미社 800W용 스피커 SR460A400G로서 磁場은 永久磁石에 의해 發生된다. 驅動코일, 磁石 등 스피커의 大體의인 특성은 Table 1과 같다.

이 製品를 이용하여 製作한 평면굽힘 피로시험기가 Fig. 1이다. ①이 磁場발생을 위한 영구磁石이며 ②가 驅動코일이다. 驅動코일이 감겨져 있는 可

動圓筒 (bobbin)은 피로시험기에 있어서는 荷重棒 ④와 直結되어 荷重을 전달해야 하므로, 스피커에 사용되는 상태 그대로는 이용할 수가 없다. 본 연구에서는 充分히 剛性이 있는 캡 (cap) ③을 두께 1mm의 알루미늄板으로 만들어 可動圓筒에 接着하여, 캡 中央에서 荷重棒과 연결하고 있다. 荷重棒은 橫方向으로 편심하지 않도록 슬라이드 볼베어링 (slide ball bearing)에 의해 案内되어 움직이도록 하였으며, 베어링은 中心맞춤용 블록 ⑥에 의해 고정되도록 하였다. 荷重棒과 시험편 ⑧을 베릴리움 (beryllium)銅으로 된 얇은 板 스프링 ⑦(끝端部 두께 1mm, 中央部 두께 0.5mm)에 연결하여, 시험편처짐 (deflection)에 의해 야기될 가능성이 있는 荷重棒의 橫方向 변위를 이 판 스프링이 굽힘운동을 하여 흡수하도록 하고 있다.

시험편의 한쪽 끝단은 위에서 설명하는 荷重檢出用 로드셀 (load cell) ⑨에 연결되어 있다.

시험기 프레임 (frame) ⑩은 非磁性 재료인 알루미늄합금으로 제작하였으며, 로드셀 固定블록 (supporting block) ⑪은 스테인리스鋼과 알루미늄합금으로 된 上, 下 2개의 블록으로 구성하여, 시험편길이 또는 시험편 固定높이 변경등이 可及的 容易하도록 하였다.

2.2 試驗機 驅動用 파워앰프

驅動코일에 電流를 공급하는 파워앰프는 2.1節에서 言及한 스피커 SR460A400G의 구동용 으로 시판되고 있는 파워 IC 앰프 STK4048XI를 直流用으로 변경하여 사용하였다.

파워앰프의 回路圖가 Fig. 2로, 그림中的 點圓으

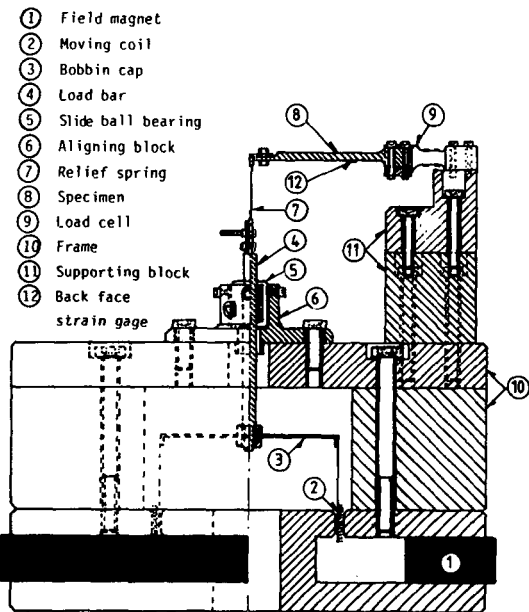


Fig. 1 Details of fatigue testing machie constructed

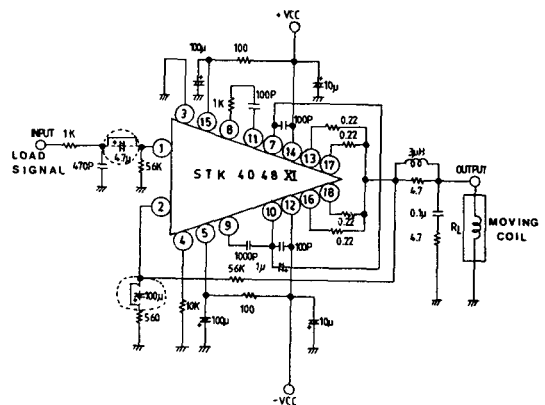


Fig. 2 power IC amplifier STK 4048XI

Table 2 Specification of power IC amplifier

Power IC amplifier	STK 4048 XI
Output power P_o	Min 150 W
Nominal load R_L	8 Ohms
Power supply V_{CC}	$\pm 60V$
Frequency response	20~50kHz ($+0$ -3 dB)

로 表示된 部分이 變경한 部分이다.

즉, 이 두 部分의 콘덴서를 除去하고 直結하면 쉽게 直流 파워앰프가 된다. IC 앰프 STK4048XI의 대표적 特性은 Table 2와 같이 주어지고 있다. 본 앰프는 音響機器用 최대출력의 파워 IC 앰프다. 最大 電流值에 대한 데이터(date)는 없으나, 類似한 파워 IC 앰프로 부터 추정하여 4A정도라 생각하면 제작된 피로시험기의 最大加振力 F (kgf)는 다음식으로부터 얻어진다.

$$F = \frac{1}{9.8} \cdot B \cdot l \cdot i$$

여기에서 B 는 磁束密度(wb/m^2), l 은 驅動코일 線의 길이(m)이며, i 는 驅動電流(a)이다. Table 1로부터 $B=13000$ Gauss= $1.3wb/m^2$, l 은 約 37 m이며, $i=4A$ 라 하면

$$F = \frac{1}{9.8} \times 1.3 \times 37 \times 4 = 19.6 \text{ (kgf)}$$

가 된다.

그러나 본 연구에서와 같이 음향기기용 앰프를 直流化하여 사용하면 특히나 發熱面에서 Table 2와 같은 出力은 期待하기 힘들며, 驅動코일 또한 피로시험에서와 같이 거의 一定한 周期的인 電流를 連續的으로 받을 때에는 發熱문제가 있어, 피로시험기로서의 加振力은 制限을 받게 된다.

본 연구에서 사용한 驅動코일線의 지름이 0.5 mm정도인 점을 고려하면 피로시험용 最大驅動電流로서는 2A정도가 적당하며, 실제 예비실험결과 이 정도의 전류로 거의 문제가 없었다. 따라서 본 시험기의 最大加振力은 10kgf라 생각하면 좋다.

2.3 試驗機의 周波數 特性

Fig. 3은 뒤에서 설명하는 표면피로균열진전 시험용 시험편을 시험기에 부착한 상태에서 시험기의 周波數특성을 검토한 것으로서, (a)는 驅動코일의 임피던스(impedance) 특성이며, (b)는 파워앰프의 단위出力電壓當 荷重특성이다. 65Hz부근에서 임피

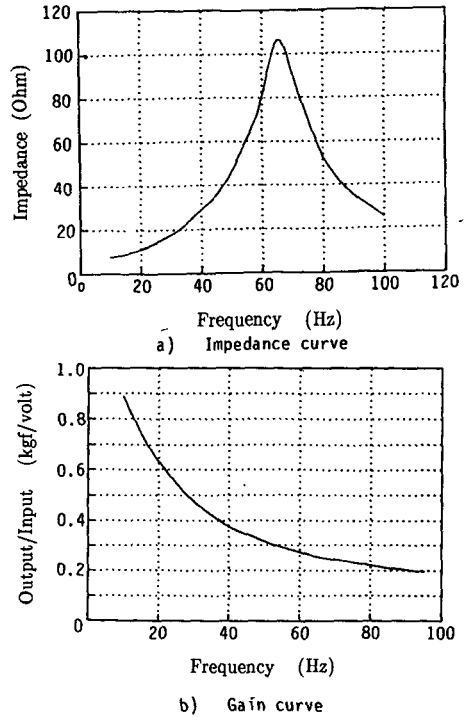


Fig. 3 Curves of impedance and gain

던스의 피크(peak)가 존재한다. 임피던스가 피크가 되는 周波數는 豫備實驗結果 시험편의 굽힘剛性이 커지면 큰 쪽으로 移動하는 특성이 있어, 아마도 驅動코일의 電氣-機械的 共振振動數와 관련이 있는 것으로 예상된다.

한편 파워앰프의 단위 出力電壓當 荷重은 周波數가 커짐에 따라 減少하며, 임피던스가 피크가 되는 65Hz 부근에서도 특별한 변화는 보이지 않는다. 따라서 出力荷重周波數 특성에 관한 한 피로하중의 反復속도(周波數)는 비교적 넓은 범위에서 선택할 수가 있을 것이나, 임피던스 특성 및 파워앰프의 특성도 고려하면 본 경우 20~50Hz의 범위에서 선택하는 것이 바람직 할 것이다.

2.4 荷重測定裝置

시험기의 出力 荷重을 Fig. 4와 같은 보(beam)형식의 로드셀(load cell)을 특별히 제작하여 Fig. 1 ㉑의 위치에 부착하여 검출하고 있다. 그림에 보이는 바와 같이 접착된 4개의 스트레인게이지(strain gauge)로 Fig. 5와 같이 풀 브릿지(full bridge)를 구성하여 비교적 값싼 프리 直流앰프로

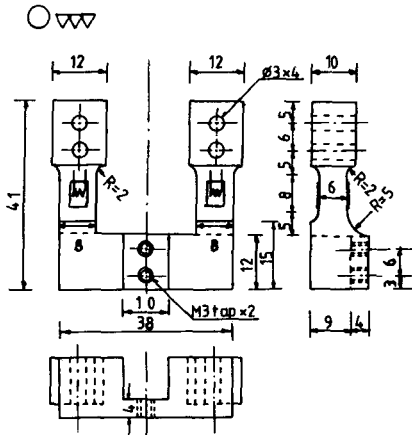


Fig. 4 Load cell

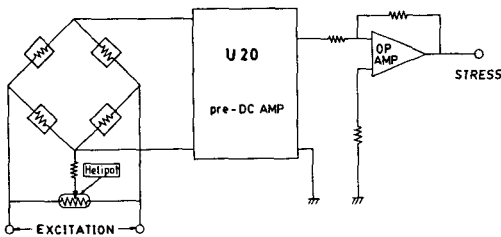


Fig. 5 Electric circuit for load measurement

들(pre-DC amplifier module, 日本 유니펄스社 製品 U20)과 OP앰프를 사용하여 측정 신호를 얻고 있다. 본 로드셀의 용량은 10kgf이며, 실험시의 하중은, 미리 시험기하중과 캘리브레이션(calibration)해 둔 Fig. 5중의 精密抵抗(helipot)의 눈금을 이용하여 측정하도록 하고 있다.

3. 使用例

현재, 제작된 시험기를 사용하여 미소표면균열진전에 관한 연구를 수행중이다.

시험편은 Fig. 6과 같은 두께가 3mm인 7075-T6 알루미늄 합금 판 시험편으로, 반지름이 0.3mm인 半圓形의 초기노치를 방전가공한 것이다.

시험중의 표면피로균열의 길이 및 달힘현상은, 著者의 한사람이 개발한 퍼스널 컴퓨터로 구성된 피로시험 및 측정시스템⁽²⁾을 이용하여, 除荷彈性

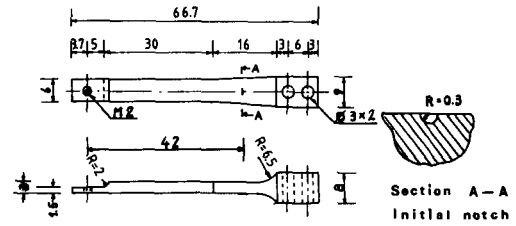


Fig. 6 Specimen for small fatigue crack growth testing(in mm)

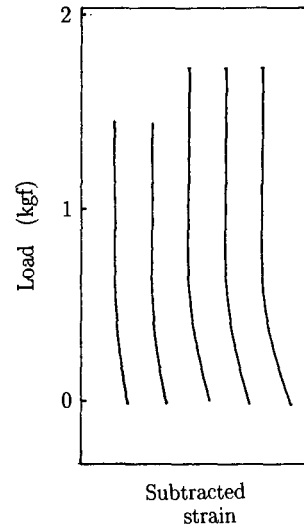


Fig. 7 Load-subtracted strain records

컴플라이언스법^(3,4)에 의해 측정하고 있다. 이 때 필요한 변위신호로서는 시험편 뒷면에 부착한 스트레인게이지(back face strain gauge)의 출력을 이용하고 있다.

하중되풀이 속도로서는 20Hz를 사용하고 있다.

Fig. 7은 除荷彈性 컴플라이언스법에 의해 균열길이 및 달힘현상을 측정하기 위하여 검출한 하중-감산변형률 곡선의 예이다. 일반적인 高周波 電氣的雜音 및 시험기 運動 등에 起因하는 同期性雜音⁽²⁾ 혹은 不心要한 非線型 성분도 거의 나타나지 않아, 본 연구에서 제작된 시험기가 미소피로 균열연구등에 매우 적합함을 알 수 있다.

4. 검 토

서론에서 약간 언급한 바와 같이, 본 연구에서 제작된 시험기와 같은 형식의 시험기가 國外에서

제작되어, 본 연구의 저자의 한사람이 사용한 예⁽¹⁾가 있다. 다만 그 경우에는 시험기 驅動部의 磁場發生 磁石이 市販되는 것이 아닌 특수한 것이어서, 驅動코일 可動圓筒(bobbin) 및 驅動코일線을 손수 入手할 필요가 있으며, 또한 驅動코일도 손수 감아야 하며, 연구자 개인이 作業하기에는 매우 어려운 점이 있다. 본 연구에서 제작된 시험기의 경우는 驅動部分을 入手가 容易하고, 價格도 싼 國產 음향기기의 部品을 사용하여 제작하여, 製作작업의 簡素化와 경제성을 높이고 있다.

또한 國外의 시험기의 경우는 荷重棒을, 4개의 얇은 板 스프링을 사용하여 水平으로 比較적 强하게 支持하고 있는데 비하여, 본 연구의 시험기의 경우는 슬라이드 볼 베어링에 의해 荷重棒을 案内하는 형식을 취하여, 荷重棒에 대한 不必要한 拘束을 거의 없애고 있는 특징이 있다. 그 결과로서 Fig. 7의 하중-감산변형률 곡선에 不必要한 非線型性分이 거의 나타나지 않고 있다.

본 시험기의 제작에 필요한 모든 資材는 國內에서 값싸게 구할 수 있으며, 필요한 加工도 모두 간단하여, 연구자 개인의 經濟적 能力수준에서 충분히 제작이 가능하다. 또한 손수 제작이 가능하므로 단계적으로 제작해 나가면 一時的인 經濟적 부담은 거의 없앨 수도 있을 것이다.

본 시험기는 金屬재료의 微小피로균열진전 시험뿐만 아니라, 특히 小容量의 시험기가 적합한 복합재료의 피로시험 또는 IC를 비롯한 電子製品의 피로시험 등에도 사용이 기대된다.

본 시험기에 관해서는 要請이 있을 경우, 특별한 理由가 없는 한, 모든 정보를 公開할 예정이다.

5. 結 論

容量이 10kgf인 小型 動電形 굽힘피로시험기를 國內에서 入手할 수 있는 資材를 사용하여 제작하였다. 특히 시험기의 驅動部分을 入手가 容易하고, 價格도 싼 國產 음향기기의 部品을 사용하여 제작하여, 제작작업의 簡素化와 經濟성을 높이고 있다. 본 시험기는 현재 金屬재료의 微小피로균열진전 시험에 사용하고 있으며, 小容量 시험기가 적합한 IC등의 電子製品의 피로시험등에도 사용이 기대된다.

본 시험기 제작에 필요한 모든 部品은 國內에서 값싸게 購入할 수 있으며, 加工도 간단하여, 연구자 개인이 큰 經濟적 부담없이 쉽게 제작할 수가 있다.

參 考 文 獻

- (1) Masahiro Jono and Jiho Song, 1985, "Growth and Closure of Short Fatigue Cracks," Current Research on Fatigue Cracks, Material Research Series 1, The Society of Materials Science, Japan, pp. 35~55.
- (2) 朴淮來, 宋智浩, 嚴潤鎔, 金正燁, 姜基洲, 1988, "퍼스널 컴퓨터에 의한 疲勞試驗自動化 및 疲勞舉動測定의 精密化, 大韓機械學會論文集, 第12卷, 第1號, pp.123~130.
- (3) 菊川眞, 城野政弘, 田中健一, 高谷勝, 1976, "除荷彈性 コンプライアソス法による 低進展速度領域における 疲勞き裂進展速度とき裂閉開口舉動の測定," 材料, Vol.25, No. 276, pp. 899~903.
- (4) 宋智浩, 朴榮祖, 1978, "Notch 材疲勞와 Kikukawa-Compliance法(第1報 基礎的 檢討)," 大韓機械學會論文集, 第2卷, 第1號, pp.10~18.