

# 回轉體의 應力測定에 있어서 接觸抵抗을 없애는 方法

The reducing method of contact resistance  
in the stress measurement of rotating body

韓 應 教

(漢陽大, 工大 精密機械科 教授)

## 1. 머릿 말

스트레인 게이지를 사용하여 회전체의 스트레인을 측정할 경우, 회전체 내에 브리지를 구성하여 브리지의 4 점의 임출력단을 슬립 링을 매개로 정지 쪽으로 끌어 내어 측정하는 것이 일반적으로 사용되고 있는 방법이다. 이 방법에 의하면 1 측정점에 대하여 4素子の 슬립 링을 필요로 하기 때문에 多數點의 스트레인 측정은 곤란하다. 그래서 브리지를 그림 1과 같이 구성(이하 이 방식을 세브론 브리지식이라 부른다)하면 슬립 링수를 대폭 줄일 수 있다. 그러나 이 방법은 다음의 이유로 인하여 측정 정밀도가 저하하는 결점이 있다.

- (1) 종래의 動應力 측정기는 입력 임피던스가 작기 때문에 각 채널간에서 간섭을 일으킨다.

- (2) 채널간의 간섭은 공통브리지를 저항값의 크기에 따라서도 영향을 받는다.

이 저항값이 작을수록 간섭량은 감소되기 때문에 이것을 작게 하면 브리지의 합성저항이 작아지고, 브리지전원공급용 슬립 링의 접촉저항의 영향이 커진다. 그래서 세브론 브리지식으로 슬립 링을 감소시키는 동시에 위에 말한 결점을 없앤 새로운 多點應力 측정기를 개발했다. 이 스트레인 측정기는 종래의 動스트레인 측정기와 다른 중요한 점은 다음의 두가지이다.

- (1) 증폭기의 입력임피던스(impedance)를 크게(약 50k $\Omega$ )하는 동시에 공통브리지를 저항을 작게(약 10 $\Omega$ )하고, 각 채널간의 간섭을 없앴다.
- (2) 브리지전원공급용 슬립 링의 접촉저항에는 관계 없이 브리지에는 항상 일정한 전압이 공급되게 했다.

본 보고에서는 (1)에 대한 검토는 생략하고, 주로 (2)에 대하여 기술한다.

## 2. 브리지전원의 공급법

그림 1에 있어서 브러시 B1과 링 SR1과의 사이 및 브러시 B2와 링 SR2와의 사이에 각각  $r_1, r_2$  라는 접촉저항이 있으면 브리지에 印加되는 전압  $e_0$ 는 변화하여 측정오차를 일으킨다. 세브론 브리지식에서는 브리지의 합성저항이 매우 작아지기(공통 브리지의 저항이 작아지기) 때문에  $r_1, r_2$ 에 의한 오차는 상대적으로 커진다. 그렇기 때문에 새로운 應力 측정기에서는 슬립 링(slip ring)의 접촉저항에 관계없이 브리지에는 항상 일정한 전압을 공급할 수 있게 하여 측정 정밀도를 향상시키려 했다.

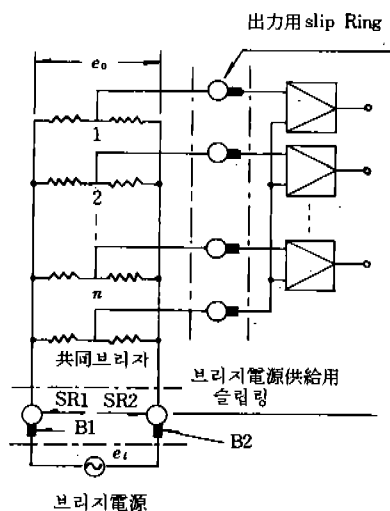


Fig. 1. Schebron Bridge type strain measuring method.

다음에 이 방법에 대하여 기술한다. 그림 2는 브리지전원회로이다. 이 회로의 출력전압은 브러시 B1, B2 및 링 SR1, SR2를 매개로 하여 세 브를 브리지 회로에 印加한다. 여기서  $R_L$ 은 브리지의 합성저항이다. B1, SR1 사이의 접촉사항  $r_1$ , B2와 SR2 사이의 접촉저항  $r_2$  때문에 브리지에 印加되는 전압  $e_0$ 는 변화하지만, 변화한 결과의 전압을 브러시 B<sub>3</sub> 및 B<sub>4</sub>에 의하여 검출하여 브리지전원회로에 피이드 백(feed back)하고 있다. 증폭기에 직접 입력되는 전압을  $e$ 라 하면 브리지에 印加되는 전압  $e_0$ 는 (1)식과 같이 된다.

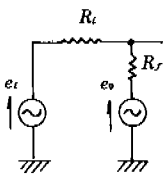
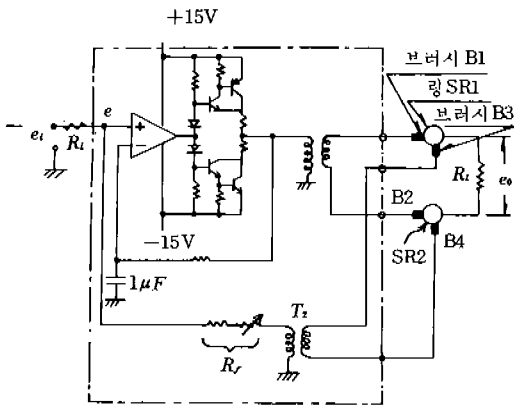
$$e_0 = \frac{Ae R_L}{r_1 + r_2 + R_L} \dots\dots\dots (1)$$

여기서

- A : 증폭기의 게인,
- $r_1$  : 브러시 B1과 링 SR1 사이의 접촉사항,
- $r_2$  : 브러시 B2와 링 SR2 사이의 접촉저항,
- $R_L$  : 브리지의 합성저항

이다.

다음에  $e$ 를 구한다. 트랜스 T2의 1차측에서 본



入力側の等価回路

Fig. 2. Bridge power circuit.

임피던스에 비하여  $r_1, r_2$ 는 매우 작으므로 이것을 무시하면  $e_0$ 의 전압은 그대로 T2의 1차측에 印加된다. 여기서 T2의 감은수 비를 1이라 하면 2차측에는  $e_0$ 의 전압이 나타난다. 따라서 증폭기의 입력쪽의 등가회로는 그림 2(b)와 같이 된다. 이 그림에서 (2)식을 얻게 된다.

$$e = e_i - \frac{(e_i - e_0)}{R_i + R_f} R_i \dots\dots\dots (2)$$

(2)식을 정리하여 (1)식에 대입하면 (3)식을 얻게 된다.

$$e_0 = \frac{AR_L R_f e_i}{(r_1 + r_2 + R_L)(R_i + R_f) - AR_L R_i} \dots\dots (3)$$

(3)식에 있어서 A를 매우 크게 잡으면 (4)식의조건이 성립되므로 이 조건을 (3)식에 대입하면 (5)식을 얻게 된다.

$$(r_1 + r_2 + R_L)(R_f + R_i) \ll AR_L R_i \dots\dots\dots (4)$$

$$e_0 = -\frac{R_f}{R_i} e_i \dots\dots\dots (5)$$

(5)식에서 명백한 것과 같이 브리지에 印加되는 전압  $e_0$ 는 브리지의 합성저항  $R_L$ , 슬립 링의 접촉저항  $r_1, r_2, r_3, r_4$ 에는 관계없이 항상  $R_f/R_i$ 의 값에 의하여 일정값이 된다.

### 3. 슬립 링의 접촉저항에 의한 오차

그림 2에 있어서 브리지에 印加되는 전압을 브리지전원회로에 피이드백하지 않는 종래의 브리지전원공급법과 피이드백한 새 전원공급법의 각각에 대하여 슬립 링의 접촉저항에 의한 오차를 실험에 의하여 구했다. 다음에 실험방법과 실험결과에 대하여 기술한다.

#### 3·1 실험방법

그림 3은 실험회로이다. 브리지는 실제로 회전축에 고정되지만, 순수히 슬립 링의 접촉 저항의 영향을 조사하기 위해서 본 실험에서는 정지축에 두었다. 브리지회로에는 브리지 전원에서 브러시 B1, B2 → 링 SR1 → 브러시 B3 및 B4, B5 → 링 SR2 → 브러시 6을 매개로 하여 브리지전원을 공급하고 있다. 이 방법에 의하면 슬립 링의 접촉저항의 영향은 실제의 경우보다 커진다. 본 실험에 사용한 브리지회로의 저항은 120Ω으로 했다. 실제

로는 350Ω 게이지로 구성된 하아프 브리지가 10조 사용된다고 가정하고, 합성저항이 이 경우에 일치 하도록 위에 말한 120Ω 브리지 이외에 100Ω 짜리 저항을 병렬로 접속했다 슬립 링을 사용한 측정에서 오차를 가져오는 원인이 주로 접촉저항에 의한 것이므로 오차의 절대값은 스트레인 게이지가 받는 変形量에 비례하게 된다. 그 때문에 브리지의 불평형량을 0,  $1000 \times 10^{-6}$ ,  $2000 \times 10^{-6}$ ,  $4000 \times 10^{-6}$  스트레인 상당으로 바꾸고, 슬립 링의 회전속도는 2000r. p. m.으로 했다. 이 조건으로, 브리지에 印加하는 전압을 브리지 전원회로에 피이드백했을 경우와 하지 않은 경우에 대하여 오차를 측정했다. 여기서 오차성분을 정확하게 측정하기 위해서 브리지회로의 불평형량은 스트레인 측정기내의 평형회로에 의하여 다시 평형을 취하여 오차성분만을 측정하도록 했다.

3.2 실험결과

브리지를 회로에 실제로 印加되는 전압을 브리지전원회로에 피이드백하지 않을 경우의 오차 성분의 측정결과를 그림 4에 나타냈다. 스트레인 게이지가 받는 스트레인 량에 따라, 즉 브리지의 불평형량의 크기에 비례하여 오차도 크게 되어 있다. 입력変形이  $4000 \times 10^{-6}$  스트레인에서는 약  $87 \times 10^{-6}$  스트레인 상당의 변동 노이즈가 일어나고 있는 동시에 약  $90 \times 10^{-6}$  스트레인 상당분만큼 출력이 감소되고 있다. 다음에 브리지에 印加되는 전

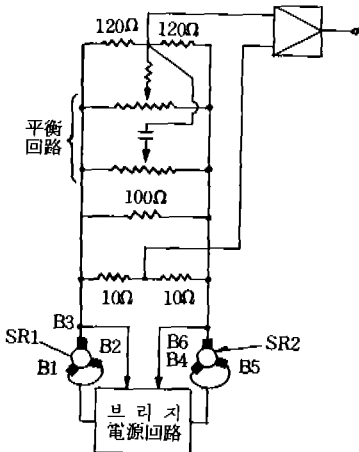


Fig. 3. Experimental circuit.

압을 브리지전원회로에 피이드백했을 때의 측정결과를 그림 5에 나타냈다. 이 결과에 의하면 슬립 링의 접촉저항에 의한 오차는 대폭으로 감소되고 있음을 알 수 있다.

이것에 의하여 이번에 개발한 多点스트레인 측정기는 슬립 링의 접촉저항의 영향은 거의 받지 않는다는 것을 확인할 수 있었다.

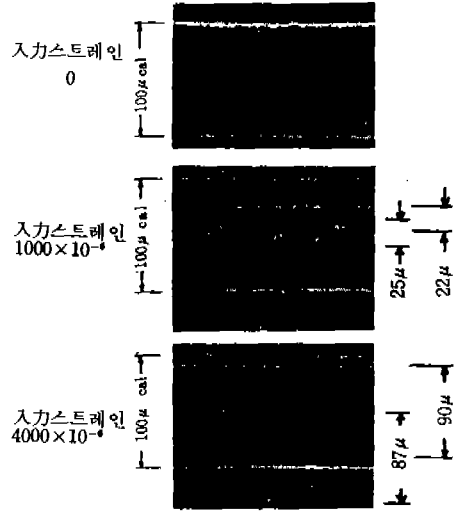


Fig. 4. 接觸抵抗에 의한 誤差 (Hitherto method) (종래의 방식)

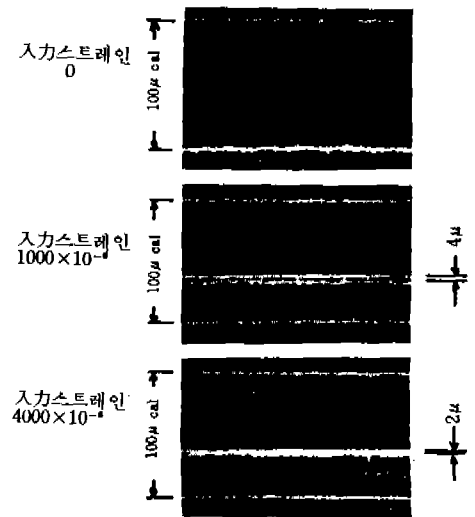


Fig. 5. 接觸抵抗에 의한 誤差 (Report method) (本보고의 방식)

#### 4. 遠心팬의 스트레인 측정

앞에서 말한 動스트레인 측정기를 사용하여 원심팬을 진공 속에서 회전시켰을 때 팬의 진동모우드를 파악하기 위한 측정을 했다. 다음에 실험방법과 측정결과에 대하여 간단히 기술한다.

##### 4.1 실험방법

그림 6에 供試팬을 진공피트 내에 설치한 사진을 나타냈다. 팬의 뒤쪽으로서 피트의 바깥에 구동용의 모우터가 있다. 팬의 각 부에 스트레인 게이지를 접착하고, 게이지로부터의 리드선은 팬 앞쪽의 슬립 링 수납케이스 내에 든 슬립 링에 접속시켜 놓았다. 슬립 링은 진공속에서 사용하면 브러시가 급속히 마모되기 때문에 사진에서 보는 바와 같이 수납케이스안에 넣고, 케이스에는 한쪽끝을 대기속에 개방한 파이프를 고정시켜 놓았다. 또, 슬립 링으로부터의 캡타이어 케이블은 이 파이프속을 통하여 진공피트밖에 놓아 둔 動스트레인 측정기에 접속했다.

##### 4.2 측정결과

측정결과와 일례를 그림 7에 나타냈다. 이것은 팬을 1800 r. p. m.으로 회전시켰을 때의 측정결과이다. 이 측정에서는 팬의 축에 2개의 고정저항을 붙여 하아프 브리지를 구성하고, 이 출력을 항상 일정하게 하여 노이즈의 영향을 받고 있지 않은지 확인하면서 측정을 했다. 그림 7에는 이 고정저항으로 구성된 브리지의 출력도 기록되고 있다. 이 파형을 보면 최대 약  $7 \times 10^{-6}$  스트레인 상당의 노이즈가 기록되어 있는데, 전반적으로 노

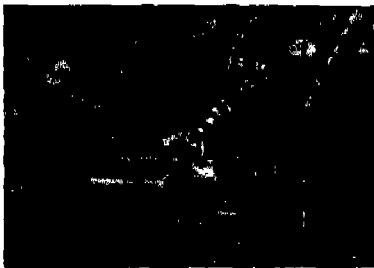


Fig. 6. Experimental Apparatus of strain measurement of centrifugal fan.

이즈는 매우 작다. 그 밖의 파형은 모두 스트레인 게이지로부터의 출력파형이고, 작은 動應力이 깨끗이 기록되어 있다. 이들의 측정 결과로부터 앞서 말한 動應力 측정기가 고도의 정밀도를 가지고 있어 現場에서도 충분히 실용될 수 있다는 것이 확인되었다.

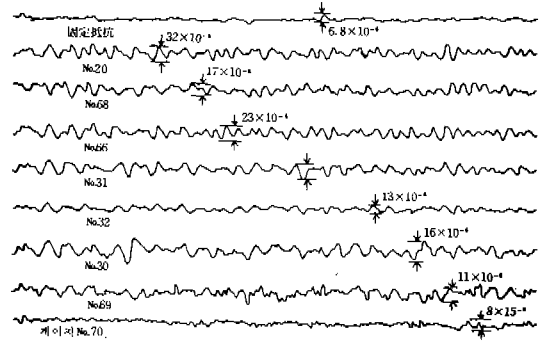


Fig. 7. Result of measurement (1800 r. p. m.)

#### 5. 맺음말

회전체내의 多点應力 측정에 있어서 세브론 브리지식을 채용하여 슬립 링수를 대폭 감소시키는 동시에 슬립 링의 접촉저항의 영향을 거의 받지 않는 高精度의 측정법을 개발했다. 종래 일반적으로 시행되어 온 슬립 링을 사용한 스트레인 측정에서도 접촉저항의 변화에 의한 노이즈의 발생이 문제가 되는 경우가 있었다. 특히 고속 회전체에 대해서는 이 문제가 많았지만 본 보고에 의한 방법으로 이 문제도 해결할 수 있다.

#### 참 고 문 헌

- (1) 船川, 機械學會 第27回 講習會教材 1965. 9. p. 71
- (2) 白木, 池田: 機械の研究 VOL. 24. NO. 9, 1972. 9.
- (3) 有川: 三菱重工技報, VOL. 4, NO. 5, 1967. 9.
- (4) 田中, 石川: I. H. I 技報, VOL. 14, NO. 4, 1972.
- (5) 韓應教: 스트레인게이지—理論과 應用, 普成文化社 1976.