

자동차 헤드램프내 체결부품사이의 마찰계수 실험장치 개발

백홍¹ · 문지승¹ · 박상신^{2*} · 박종명³

¹영남대학교 대학원 기계공학과, ²영남대학교 기계공학부, ³SL

Development of a Measuring Device for Coefficient of Friction between Connection Parts in Vehicle Head Lamps

Hong Baek¹, Ji-Seung Moon¹, Sang-Shin Park^{2*} and Jong-Myeong Park³

¹Graduate School, Dept. of Mechanical Engineering, Yeungnam University

²School of Mechanical Engineering, Yeungnam University

³SL

(Received January 3, 2019; Revised January 28, 2019; Accepted January 28, 2019)

Abstract – When slipping occurs between two materials, the coefficients of friction must be considered because these values determine the overall efficiency of the machine or slip characteristics. Therefore, it is important to find the coefficient of friction between two materials. This paper focuses on obtaining the coefficient of friction between an aiming bolt and a retainer located in the headlamps of a vehicle. This bolt supports the headlamp, and if the bolt is loosened by external vibration, the angle of the light will change and block the vision of pedestrians or other drivers. In order to study these situations, the coefficient of friction between aiming bolts and retainers needs to be measured. In addition, the coefficient of friction of materials used in the headlamp should be obtained. To determine these two factors, a new device is designed for two cases: surface-surface contact and surface-line contact. To increase reliability of the results, the device is designed using an air-bearing stage which uses compressed air as lubricant to eliminate the friction of the stage itself. Experiments were carried out by applying various vertical forces, and the results show that the coefficient of friction can be measured consistently. The procedure for designing the device and the results are discussed.

Keywords – aiming bolt (에이밍 볼트), air bearing stage (공기베어링 스테이지), coefficient of friction (마찰계수), retainer (리테이너), head lamp (헤드램프)

Nomenclature

μ : Coefficient of friction (마찰계수)
 $F_{horizontal}$: Horizontal force (N) (수평힘)
 $F_{vertical}$: Horizontal force (N) (수평힘)

1. 서 론

마찰계수란 수직력과 수평력의 비례관계를 주는 수치로 맞닿은 두 표면 사이의 마찰 정도를 의미하며, 두 물체 간 마찰 특성을 결정한다는 점에서 물리적인 의미가 있다. 또한 실생활에서 마찰 현상이 많이 발생하며 연구 목적에 따라 마찰계수 값을 찾는 것이 주요 목적이 되기도 한다. 본 연구에 앞서 다음과 같은 선행 연구가 이뤄진 바 있다. 먼저 움직이는 보도(moving walkway) 위에서의 미끄럼에 의한 사고 예방을 위해 표면의 마찰계수를 연구한 바 있다. 위 연구에서는 진자 시험기(pen-

*Corresponding author: pss@ynu.ac.kr
Tel: +82-53-810-3538, Fax: +82-53-810-4627
<http://orcid.org/0000-0002-1201-558X>
© 2019, Korean Tribology Society

dulum tester), 경사로 시험기 등 다양한 시험기를 활용하여 마찰계수를 측정했다[1]. 또한 스케이트의 기술력을 높이는 데 필요한 여러 인자 중 하나인 스케이트 날과 얼음 간 마찰계수를 연구한 바 있다[2]. 위 연구에서는 기존 레이저 변위 센서로 변위를 측정했으나 실험 과정에서 발생하는 노이즈로 인해 데이터의 정확성이 낮아져 로드셀(loadcell)을 이용한 마찰계수 측정 실험 장치로 개 고안한 바 있다. 이 외에도 볼트 체결 시 진동에 의해 변하는 마찰계수에 관한 연구, 타이어 노면의 마찰 등 마찰 특성이 중요하게 고려되는 분야에서 활발한 연구가 진행되고 있다[3].

본 연구는 자동차 헤드램프 내 조명을 체결하고 있는 볼트 풀림 현상을 배경으로 한다[4]. 위 볼트가 외력에 의해 풀리면서 조명의 각도가 변해 상대 운전자 혹은 보행자의 시야를 방해하는 현상에 집중해, 이 문제를 해결하기 위한 연구의 일환으로 자동차 헤드램프를 고정하는 구조물들 간 마찰계수 측정에 초점을 두었다. 구조물 재료로 사용되는 물체 간 마찰계수 및 조명 각도에 직접적인 영향을 주는 에이밍 볼트와 이에 체결된 리테이너 간 마찰계수를 측정하기 위해 본 연구를 진행했다.

본 실험 장치는 기존 마찰계수 측정 시험기와는 달리 공기 베어링 스테이지를 활용해 블록과 레일 간 마찰을 최소화해 오직 재료 간 순수한 마찰만 고려할 수 있는데 의의를 둔다. 또한 헤드램프 재료 간 마찰계수를 측정하기 위해 평면-평면 간 면 접촉이 발생하는 경우를, 에이밍 볼트와 리테이너 간 마찰계수를 측정하기 위해 평면-원통형 간 선 접촉이 발생하는 경우를 한번에 실험할 수 있는 장치로 고안됐다.

이 장치를 활용해 도출된 측정값은 헤드램프 내 조명의 볼트 풀림 현상을 해결하는 데 크게 기여할 것으로 기대된다.

2. 연구방법 및 내용

2-1. 시험기 원리

두 물체 간 마찰계수는 식(1)과 같이 수평력에서 수직력을 나눈 값으로 정의된다.

$$\mu = \frac{F_{\text{horizontal}}}{F_{\text{vertical}}} \quad (1)$$

마찰계수를 구하기 위해 두 힘의 크기를 측정해야 하며 측정을 위해 설계된 시험기는 Fig. 1과 같다.

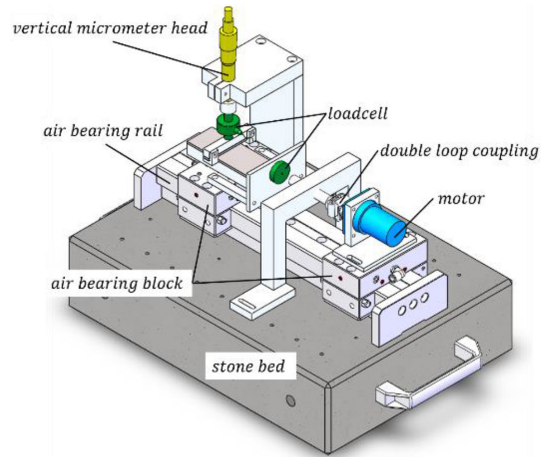


Fig. 1. New device to measure the coefficient of friction.

시험기 구성 및 실험 원리는 다음과 같다. 먼저 stone bed 위에 공기 베어링 레일과 두 개의 블록이 독립적으로 설치되어 있으며, 한 블록 위에는 마찰계수를 측정할 대상이 되는 재료가 볼트로 체결되어 있고, 다른 블록 위에는 수평력을 가해주는 12V DC모터(RB 37W0030-X0004R2, Sha Yang Ye Co.)가 설치되었다.

레일과 수직인 방향으로 수직 마이크로미터 헤드에 마찰을 일으킬 재료가 위치할 수 있도록 설계했다. 마이크로미터를 움직여서, 두 재료 사이에 수직력을 가할 수 있도록 설계하였다. 이 수직력은 재료와 마이크로미터 사이에 설치된 로드셀(CDFS-A-10, Bongshin Loadcell Co.)로 측정하였다.

모터 회전부에는 긴 스크류가 이중 루프 커플링으로 연결돼, 모터의 회전에 의해 스크류가 회전함과 동시에 레일 방향으로 전진하면서 수평력을 가하고, 그 크기는 수평 로드셀(CBFS-A-10, Bongshin Loadcell Co.)로 측정하였다. 모터는 아두이노 프로그램으로 구동시켜 원하는 시간과 회전 속도로 실험 조건을 동일하게 유지시킬 수 있다.

초기에는 두 블록 사이에는 접촉없이 떨어져 있는 상태로 조립되며, 수직력을 가한 후 모터를 구동하여 수평력을 가해주는 구조이기 때문에, 수직력과 수평력은 서로 간섭하지 않는 구조로 설계했다.

Fig. 2는 두 재료 간 마찰이 일어나는 주요 마찰부를 확대한 사진이다. 실험 대상이 되는 재료(이하 시편A)는 100mm×40mm×3mm의 크기로 가공돼 블록 위에 위치해있다. 이어 시편A와 마찰을 일으킬 재료(이하

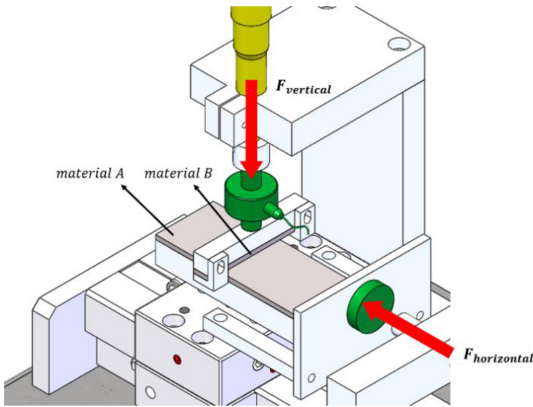


Fig. 2. Detailed figure of the design.

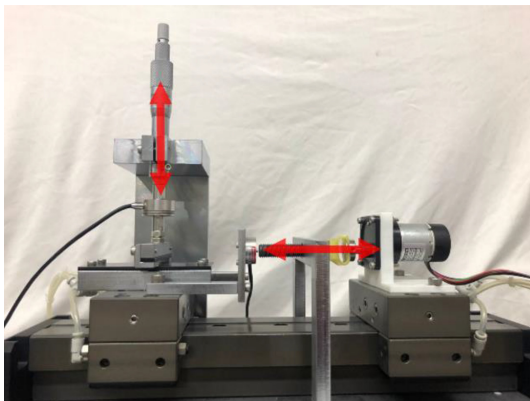


Fig. 3. Experiment device.

시편B)는 10mm×70mm×3mm의 크기로 가공돼 시편A 위에 위치시켰다. 시편B는 수직 마이크로미터 헤드와 수직력을 측정하는 로드셀의 끝에 연결돼 상하로 움직이며 높이를 조절함으로써, 재료 간 접촉하는 정도에 따라 수직력의 크기를 조절할 수 있다.

2-2. 실험 및 측정 방법

2-2-1. 실험 조건

최종적으로 제작된 마찰계수 실험 장치는 다음 Fig. 3 과 같다.

본 실험은 마찰계수 값에 대한 신뢰성을 높이기 위해 다양한 크기의 수직력 조건(2kgf, 3kgf, 4kgf)에서 각 힘마다 10회씩 반복해 진행했다. 만일 서로 다른 수직력의 조건임에도 같은 마찰계수 값이 도출된다면, 그 결과값은 신뢰할 수 있는 값일 것이다. 수직력을 위와 같

이 선정한 이유는 4kgf보다 큰 힘을 가할 경우 공기 베어링의 블록을 띄우는 공기의 힘보다 수직력이 더 커져 블록이 움직이지 않기 때문에, 4kgf를 최대 힘으로 고정시킨 후 그보다 작은 힘을 수직력으로 선정했다. 또한 본 실험은 두 재료간 수직력과 수평력의 비인 마찰계수를 측정하는 것이 목적이며, 실제 자동차 헤드램프내에서 에이밍 볼트와 리테이너 사이에 발생하는 외력은 4kgf를 넘기지 않기 때문에, 시험기의 사양은 충분하다고 사료된다.

수평력을 발생시키는 모터는 아두이노 프로그램을 활용해 구동시킴으로써 원하는 구동 시간과 속도를 구현할 수 있다. 본 실험의 구동 시간은 평면-평면 간 실험에서 4초, 평면-원통 간 실험에서 7초동안 진행했다.

2-2-2. 데이터 측정 방법

로드셀에 의해 측정된 수직력 및 수평력의 크기는 인디케이터(indicator)를 통해 값을 얻은 뒤 아두이노 프로그램으로 데이터를 읽을 수 있다. 또한 이를 엑셀 프로그램으로 옮겨 보정을 거친 후 최종 마찰계수 값을 얻는다. 엑셀 프로그램에서의 보정 목적은 실험적 오차를 최소화하기 위함으로, 두 개의 로드셀에 아무 힘이 가해지지 않는 조건에서의 힘의 크기를 초기값으로 설정해 추후 측정된 힘에서 초기값을 빼 마찰계수 값을 도출한다.

2-3. 마찰계수 측정

본 연구에서 개발된 마찰계수 측정 시험기는 두 가지 형태로 활용 가능하며 그 방법은 다음과 같다.

2-3-1. 평면-평면 간 마찰계수 측정

첫 번째 실험은 평면-평면 간 마찰계수를 측정하기 위해 고안됐으며 시편A와 시편 B를 평판으로 가공해 평면 간 마찰이 발생하도록 설계했다. 아래에 위치한 시편A는 볼트로 체결되어 고정되며, 시편B는 Fig. 4에서 볼 수 있듯이 로드셀에 연결돼있는 ‘L’자 형태로 가공된 부품에 끼워서 고정시킨다.

평면-평면 간 마찰계수 측정 실험 시 평판을 수평으로 조립하는 작업에 유의해야 한다. 만일 시편A가 모터의 진행 방향으로 기울어져 조립이 될 경우 블록이 좌로 운동함에 따라 재료 간 간격이 벌어져 접촉이 떨어진다. 혹은 시편B가 수평으로 조립되지 못할 경우 면 접촉이 아닌 선 접촉이 발생해 기존 실험의 목표에서 벗어나게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 재료의

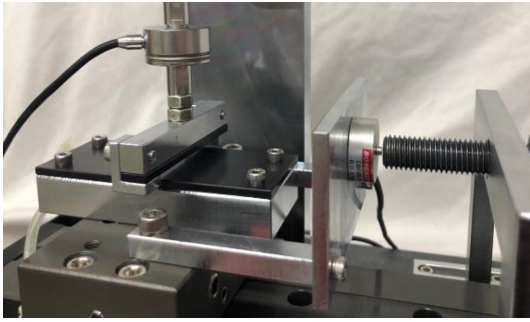


Fig. 4. Detailed figure of face to face experiment.



Fig. 5. Detailed figure of face to cylinder experiment.

조립 과정에서 수평대를 이용해 공기 베어링 스테이지와 시편B의 조립부의 수평도에 유의하여 조립해야 한다. Fig. 4는 평면-평면 간 마찰계수 측정 시 재료가 조립되는 부분을 확대한 모습이다.

2-2-2. 평면-원통형 간 마찰계수 측정

두 번째 실험은 평면-원통형 간 마찰계수를 측정하기 위해 고안됐다. 먼저 에이밍 볼트를 원통형 재료로 선정했으며 볼트 위에 위치할 재료는 평면-평면 간 마찰계수 측정 실험에서 사용한 시편B와 동일한 크기로 가공된 평판으로 선정했다.

평면-원통형 간 마찰계수 실험 시 원통형 재료의 고정을 따로 고려해야 하는데, 이는 Fig. 5에 보이는 바와 같이 볼트에 고정용 부품을 설치함으로써 해결할 수 있다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 평면-평면 간 실험 결과

각 수직력에 따른 마찰계수 실험 결과는 다음과 같다.

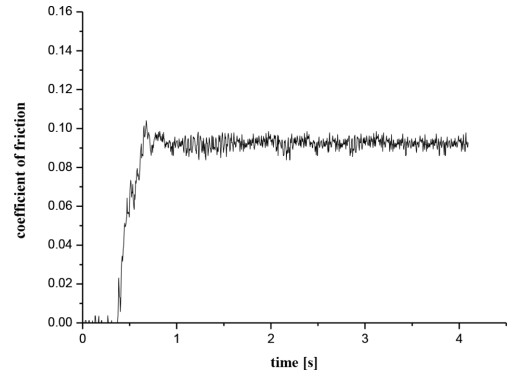


Fig. 6. Face to face experiment result at 2kgf.

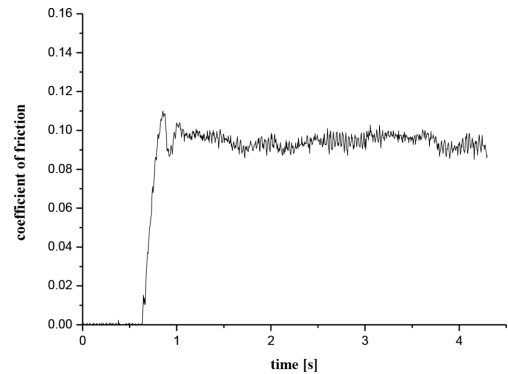


Fig. 7. Face to face experiment result at 3kgf.

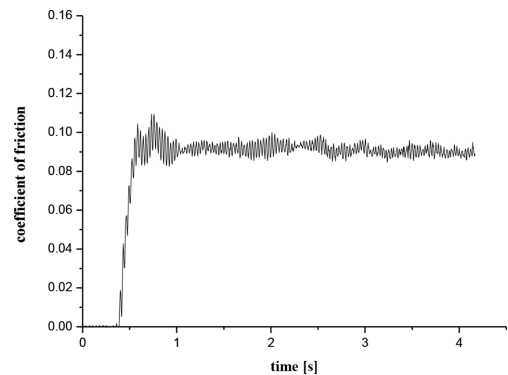


Fig. 8. Face to face experiment result at 4kgf.

Fig. 6, 7, 8에서 공통적으로 나타나는 초기의 피크는 수평력을 발생시키는 모터에 연결된 스크류가 수평력을 측정하는 로드셀과 약간의 거리를 유지한 채 구동이 시작되어, 로드셀과 충돌이 일어난 후 두 물체 간 마찰이

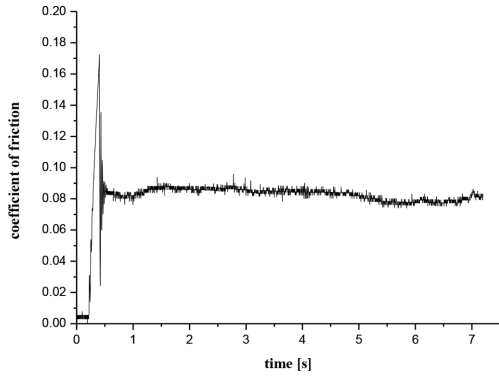


Fig. 9. Face to cylinder experiment result at 2kgf.

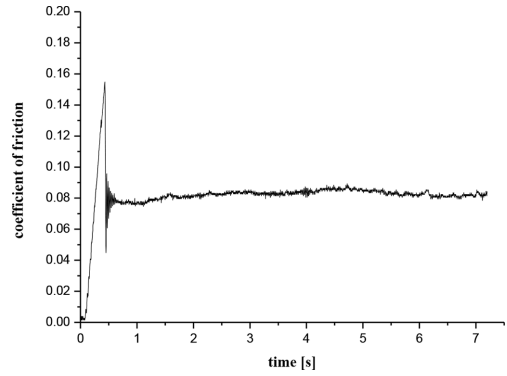


Fig. 11. Face to cylinder experiment result at 4kgf.

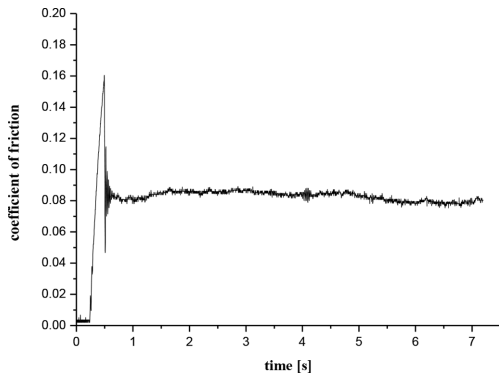


Fig. 10. Face to cylinder experiment result at 3kgf.

일어나기 때문에 발생하는 것으로 예상된다. 따라서 수평력이 발생하고 안정된 마찰계수 값이 나온 후부터 마찰계수로서 유의미한 데이터라 판단할 수 있다. 따라서 Fig. 6의 경우 약 1.5초부터 4초까지, Fig. 7, 8의 경우 약 1초부터 4초까지의 값을 평균해 마찰계수 값을 도출했다. 그 결과 수직력 2kgf 조건에서 마찰계수 0.0920, 3kgf에서 마찰계수 0.0940, 4kgf에서 마찰계수 0.0911로 측정됐다. 다음 Fig. 6, 7, 8은 각 조건마다 10회씩 진행된 마찰계수 실험 결과 중 한 번의 실험 결과를 그래프로 나타낸 것이다.

3-2. 평면-원통형 간 실험 결과

평면-평면 간 실험과 마찬가지로 Fig. 9, 10, 11에서 보이는 초기의 피크는 수평력이 발생하는 지점이며, 피크 후 안정된 값이 나오는 지점부터 마찰계수로서 유의미한 값이라 판단했다. 평면-평면 간 실험과 비교했을 때 피크값의 크기가 큰 것을 볼 수 있는데, 이는 측정

Table 1. Results in face to face experiment

Vertical Force	Average	Standard Deviation
2kgf	0.106	0.00945
3kgf	0.107	0.00837
4kgf	0.105	0.00896
	0.106	0.00892

Table 2. Results in face to cylinder experiment

Vertical Force	Average	Standard Deviation
2kgf	0.0846	0.00247
3kgf	0.0835	0.00144
4kgf	0.0815	0.00287
	0.0832	0.00226

대상인 에이밍 볼트의 표면이 평면-평면 실험에서 사용했던 플라스틱 재질에 비해 거칠어 스틱-슬립을 일으키기 위해서는 더 큰 수평력이 필요한 것으로 판단된다. 따라서 각 힘에 따른 마찰계수는 약 1초부터 7초까지의 평균값으로 계산했다.

실험 결과 수직력 2kgf 조건에서 마찰계수 0.0830, 3kgf에서 마찰계수 0.0830, 4kgf에서 마찰계수 0.0824의 값을 얻었다. 다음 Fig. 9, 10, 11은 각 조건마다 10회씩 진행된 실험 결과 중 한 번의 실험 결과를 그래프로 나타낸 것이다.

다양한 크기의 수직력에서 마찰계수 값의 크기가 안정적으로 도출되는 것을 확인할 수 있다. 또한 본 연구의 목적이었던 자동차 헤드램프 내 구조물 간 마찰계수

및 에이밍 볼트와 리테이너 간 마찰계수 값을 도출해내기 위해, 각 수직력에서의 마찰계수 평균값을 계산해 정리할 수 있다. Table 1, 2는 총 10회의 실험 결과의 평균과 표준편차를 정리한 표이다.

자동차 헤드램프 내 구조물인 두 물체 간 마찰계수 값을 결정짓기 위해 각 조건에서 마찰계수의 평균값을 계산한 결과, 시편A와 시편B의 마찰계수 값은 0.106, 에이밍 볼트와 시편 간 마찰계수 값은 0.0832의 값을 얻을 수 있다.

4. 결 론

다양한 크기의 수직력에서 마찰계수 측정 실험을 진행한 결과 일정한 값의 마찰계수가 도출되는 것을 볼 수 있으며, 안정적인 그래프 형태를 확인할 수 있다. 특히 공기 베어링 스테이지를 활용함으로써 스테이지가 가지고 있는 자체 마찰을 최소화하여 더욱 정확한 마찰계수 데이터를 얻을 수 있다. 또한 평면-평면 접촉뿐 아니라 평면-원통형 접촉이 발생할 때의 마찰계수 측정이 가능했으며 따라서 본 시험기는 마찰계수를 측정하기에 적합한 시험기라는 결론을 도출할 수 있다. 또한 자동차 헤드램프 내 구조물 간 마찰계수와, 헤드램프를 고정하기 위해 체결된 에이밍 볼트와 리테이너 간 마찰계수를 본 시험기를 통해 값을 도출함으로써 본 연구의

동기가 되었던 자동차 헤드램프 내 조명의 볼트 풀림 연구에 기여할 수 있다. 향후 본 시험기는 본 연구 목적 외에도 다양한 형태의 재료 간 마찰계수를 측정하는데 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

Acknowledgements

본 연구는 (주)SL의 지원에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

References

- [1] Roh, K. M., "A study on the slip resistance of moving walk pallet," Master's Thesis, Seoul National University of Science and Technology, Korea, 2018.
- [2] Lee, B. H., "Design and fabrication of ice friction coefficient measurement system for skate blade," Master's Thesis, Graduate School of Mechanics and Design, Kookmin University, Korea, 2017.
- [3] Song, C. K., Lee, S. D., Cho, Y. J., "An experimental study of friction coefficient variation due to vibration for bolted joint", *J. of the KSTLE*, Vol.23, No. 2, pp.61-65, 2007.
- [4] Sakai, T., "Investigations of bolt loosening mechanisms: 1st report, on the bolts of transversely loaded joints", *Bulletin of the JSME*, Vol.21, No.159, pp. 1385-1390, 1978.