

Formation Behavior of Wear Scar on the Nuclear Fuel Rod in Room Temperature Air

Young-Ho Lee[†], Hyung-Kyu Kim, Youn-Ho Jung

Korea Atomic Energy Research Institute, 150 Dukjin-dong Yusong-gu, Daejeon 305-353, Korea
ex-leeyh@kaeri.re.kr

1. Introduction

두 접촉물 사이에서 발생하는 프레팅 손상을 억제하는 방법은 내마멸성을 가지는 재료의 변경, 상대미끄럼 진폭을 감소시키기 위한 지지물 보강 등과 같이 마멸발생조건에 따라 여러 가지 방법을 적용할 수 있다. 그러나 원자력발전소 노심내에서 핵연료봉과 이를 지지하는 지지격자 스프링 사이에서 유체유발진동에 의해 발생하는 프레팅 마멸손상은 가동조건 특성으로 인해 개선이 어려우며 이에 따라 적용할 수 있는 방법은 매우 제한적이다. 현재 내마멸성 향상을 위해 적용하는 방법은 접촉형상을 변화시키기 위해 지지격자 스프링 형상을 변경하는 것이 가장 효과적인 방법으로 알려져 있다. 그러나 스프링 형상이 바뀌면 두 접촉물 사이에서의 마멸기구가 변할 수 있으며 이것은 실험환경에 따라 매우 민감하다. 특히 상온 공기중에서 생성되는 마멸입자는 접촉면에서의 잔류가 용이하기 때문에 이에 대한 영향을 확인할 필요가 있다. 본 연구에서는 세 가지 지지격자 스프링에 대하여 스프링 형상에 따른 마멸면의 특성을 비교하였다.

2. Experiments

본 실험에 사용된 스프링은 선접촉을 의도한 볼록한 형상의 스프링(A 스프링)과 면접촉을 의도한 두 개의 오목한 스프링(B 및 C 스프링)을 사용하였고 [1] 이에 대한 연료봉 시편은 현재 상용으로 사용되는 Zr 합금을 사용하였다. 실험은 상온 공기분위기에서 미끄럼 마멸시험기[2]를 이용하여 수행하였으며 미끄럼 진폭의 영향을 확인하기 위하여 10 N의 수직하중, 30 ~ 100 μm 의 미끄럼 진폭, 10만 사이클을 적용하였다. 실험을 수행한 뒤 마멸면에 대한 광학현미경 관찰을 수행하였고 2차원 평면조도계를 이용하여 데이터를 획득한 후 마멸부피 및 최대 마멸깊이를 계산하였다[3].

3. Results and Discussion

3.1 Wear scar

그림 1에 10 N의 수직하중, 100 μm 의 미끄럼진폭 및 10만 사이클 동안 수행된 마멸실험을

수행한 뒤 생성된 대표적인 손상면의 사진을 나타내었다. A 스프링의 경우 접촉은 볼록한 형상으로 인해 중심에서 접촉 및 마멸이 시작되어 연료봉 길이 방향으로 마멸면이 확장되는 경향을 보인 반면 B 및 C 스프링에서는 상하 끝단에서 마멸이 시작되어 중심으로 마멸면이 확장되는 경향을 보였다. 이러한 마멸면은 마멸과정에서 외부로 방출되지 못한 일부의 마멸입자가 층을 형성하게 되어 지속적인 마멸을 억제하는 Load-bearing layer로 형성되기 때문에 실제 같은 실험조건에서도 마멸부피의 차이를 보이게 된다.

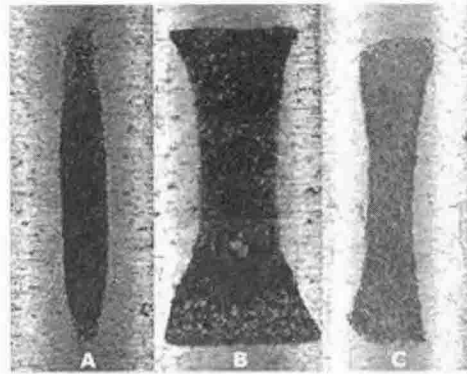


Figure 1. Schematic view of worn area with different spring shape after wear test.

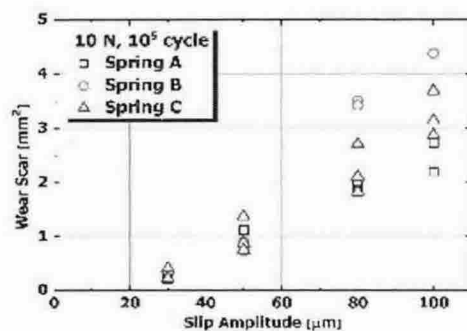


Figure 2. Variation of wear scar size with increasing slip amplitude.

3.2 Variation of wear scar size

마멸면의 형상은 실험조건 및 환경과는 무관하게 스프링 형상에 따라 결정되는 것으로 나타났다[4]. 이에 따라 미끄럼 진폭의 증가에 따른 마멸흔적의 크기를 그림 2에 나타내었다.

미끄럼 진폭이 증가함에 따라 스프링 형상에 따른 마멸흔적의 크기는 동일한 실험조건하에서 다소 차이를 보이고 있는데 가장 큰 마멸흔적은 B 스프링에서 나타났으며 A 스프링에서 가장 작은 마멸면을 보이고 있다. 이러한 원인은 A 스프링의 경우 마멸의 진행이 중심에서부터 시작되어 외부로 마멸입자가 방출되는 반면 오목한 형상의 B 및 C 스프링은 내부로 마멸입자가 유입되어 마멸면의 확장이 용이하기 때문에 사료된다. 따라서 결과로부터 같은 실험조건하에서도 마멸흔적의 크기가 스프링 형상에 따라 변할 수 있는 것을 확인하였다. 그러나 상온 공기 분위기에서 내마멸성을 가지는 것으로 평가할 수 있는 것은 실제 접촉면에서 형성된 마멸 입자층이며 따라서 마멸흔적에서 마멸 입자층의 상대적인 양을 분리할 필요가 있다.

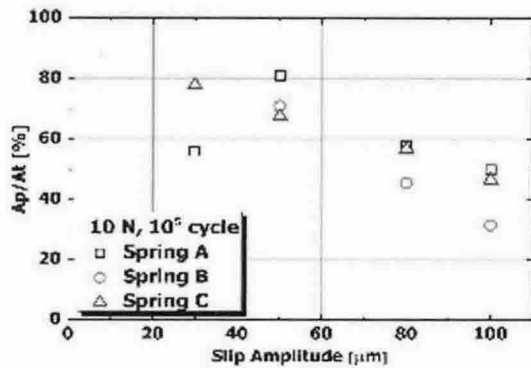


Figure 3. Variation of a ratio of protruded area to wear scar with increasing slip amplitude.

3.3 Wear particle layers

마멸흔적에서 실제 마멸이 발생한 부위와 마멸 입자에 의해 형성된 입자층의 면적을 분리하는 것은 다소 어려운 점이 있다. 이러한 원인은 마멸시험에 사용된 연료봉 시편의 표면거칠기 값이 시편마다 편차를 가지고 있으며 이에 따라 거칠기 데이터에서 음의 값(깊이 방향으로 측정된 값)을 모두 마멸 흔적으로 사용하게 되면 마멸이 발생되지 않은 부위의 값까지 포함하게 되어 많은 오차를 가져올 수 있다. 이를 방지하기 위하여 본 실험결과에서 나타난 표면 조도계 데이터에서 연료봉 시편의 두께인 0.6mm에서 0.5%인 3 μm 이상 마멸이 된 부분을 마멸면(Aw)으로 규정하고 광학현미경으로 측정된 전체 마멸흔적(At)으로부터 뺀 값(At-Aw)을 마멸 입자면(Ap)으로 나타내었다. 그림 3에 미끄럼 진폭에 따른 마멸흔적에서의 마멸 입자면의 상대적인 양(Ap/At)를 나타내었으며

그 결과 가장 큰 마멸흔적을 보인 B 스프링에서 다소 작은 값을 보였다. 이것은 실제 내마멸성과 관련된 돌출면의 상대적인 양이 스프링 형상의 영향으로 인해 서로 다르게 나타날 수 있으며 결과적으로 마멸부피에 영향을 미치게 된다.

4. Conclusion

상온 공기분위기에서 세 종류의 지지격자 스프링을 이용하여 미끄럼 마멸시험을 수행하였으며 미끄럼 진폭에 따른 마멸면 특성을 분석하였다. 그 결과 볼록한 형상을 가진 A 스프링과 오목한 C 스프링에서 마멸입자층의 형성이 용이한 것으로 나타난 반면 오목한 B 스프링에서는 상대적으로 큰 마멸흔적과 적은 양의 마멸 입자층을 형성함을 확인하였다. 이러한 원인은 마멸과정에서 생성되는 마멸입자가 접촉면에서 스프링 형상에 따른 거동이 상이하기 때문인 것으로 생각된다. 또한 마멸입자면(Ap)를 접촉면에서의 마멸입자층의 상대적인 양을 정량화할 수 있는 변수로 사용이 가능함을 확인하였다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 과학기술부의 원자력 연구개발 사업의 일환으로 수행되었음.

REFERENCES

- [1] Y. -H. Lee, H. -K. Kim, Y. -H. Jung, Effects of Spring Shapes on the Fuel Fretting Wear under Sliding and Impact/Sliding Load, Proceedings of KNS spring meeting, 2003.
- [2] H. -K. Kim, Development of fretting wear tester, KAERI TR-1570/2000.
- [3] Y. -H. Lee, H. -K. Kim, Measurement Automation and Advanced Analysis Method for Improvement in Reliability of Wear Damage Evaluation, KAERI TR-2479/2003.
- [4] Y. -H. Lee, H. -K. Kim, K. -H. Yoon, H. -S, Kang, K. -N, Song, J. -W, Ha, S. -S, Kim, Wear Mechanism of Tube Fretting Affected by Support Shapes, KSTLE International Journal, Vol.3, p. 68, 2002.