Power 서보 실린더의 피스톤 헤드용 AIBC의 마멸 특성

조연상[†] · 박흥식[‡]

동아대학교 기계공학과

Wear Characteristics of AIBC for Piston Head of Power Servo Cylinder

Yon Sang Cho[†] and Heung Sik Park[‡]

Dept. of Mech. Eng. DongA University

(Received October 28, 2010; Revised February 25, 2011; Accepted March 2, 2011)

Abstract – The power servo cylinder for driving accurately turbine stop valve of an atomic power plant is necessary to do turn-over owing to a leakage of oil and a structure problem, especially, it of a power plant be in demand a high quality standard depends entirely on import. There are much problem that the AIBC be to used as a material of piston head in cylinder are caused by wear. Therefore, it is necessary to examine friction characteristics of it. In this study, wear test experiments was carried out with AIBC and SCM440, using reciprocating friction tester of pin on disk. This result was shown that the wear mechanism of AIBC on working condition is adhesive wear and the maximum temperature of infra redray thermal image of frictional surface show over 2 mm from contact surface of pin and disk.

Keywords – power servo cylinders(파워서보실린더), wear characteristics(마멸특성), piston head(피스톤 헤드), AIBC(알루미늄청동)

1. 서 론

우리나라는 세계 6대 원자력 발전 국가로서 전체 전기 수요의 45%를 원자력 발전이 담당하고 있어 안정적인 원자력에 의한 전기 생산의 중요성은 아무리 강조해도 지나침이 없다. 현재 우리나라에서는 가압경수로 16기와 가압중수로 4기가 운전 중이며, 개선형 한국표준형 원전인 신고리 1,2호기와 신월성 1,2호기가 건설 중에 있고, 신형경수로 원전인 신고리 3,4호기도 건설 중에 있다.

현재 원자력발전소에 사용되고 있는 터빈 밸브 작동을 위한 파워실린더는 신뢰성 및 내구성 문제와 특히, 제품의 품질기준이 높은 발전소(원자력, 화력)등에서

사용되므로 거의 전량 수입에 의존하고 있다. 이로 인하여 사용중 고장이나 문제점이 발생되면 이들 제품의 보수 및 교체에도 많은 어려움을 가지고 있으며, 나아가 해외업체의 부품 생산중단에 의한 부품조달의 어려움도 수시로 발생되고 있다. 더욱이 실린더를 구성하는 부품의 짧은 수명주기 때문에 발전소 시스템의 효율성이 저하된다는 문제점도 지적되고 있다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 시급하게 터빈 밸브 제어용 파워실린더의 국산화가 진행되어야 하는 실정이다[1].

원자력발전소의 터빈 밸브 작동용으로 사용되고 있는 파워실린더를 구성하는 부품 중에서 특히 피스톤 헤드(Piston head)와 슬라이브는 피스톤의 왕복동 운동에 의하여 마찰에 의한 마멸이 발생하게 된다. 이것이 진행되면 피스톤 헤드와 슬라이브 사이에서 누유가 발생하

[†]주저자 : bluecys@nate.com

[‡]책임저자 : parkhs@dau.ac.kr

게 되며, 이는 실린더의 수명에 직접적으로 영향을 미치게 된다.

현재 피스톤 헤드에 사용되고 있는 동합금 소재는 AIBC이며, 상대재인 실린더 소재는 SCM440으로 이들 소재들의 마멸 특성을 규명하는 것은 파워실린더의 수명에도 큰 기여를 할 것으로 생각된다. 그러나 현재 이들 두 소재의 마멸특성에 관한 연구는 거의 이루어지지 않고 있는 실정이다[2-7].

따라서 현재 수입에 의존하고 있는 파워실린더의 국산화 개발을 위하여는 마찰 시험을 통한 이들 부품들의 마멸 특성에 관한 연구가 우선되어야 한다. 이를 위하여 본 연구에서는 pin-on-disk 형 왕복동 마멸 시험기를 이용하여 피스톤 헤드와 실린더 소재의 마멸 특성을 규명하고자 하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2-1. 실험재료

본 연구에서 사용한 실험재료는 피스톤 헤드 용으로 사용되는 알루미늄 청동인 AIBC이며, 이의 화학성분과 경도는 Table 1과 같으며, 슬리브소재는 SCM440이다. 그리고 Fig. 1에는 AIBC의 현미경 조직 사진으로, 충상의 위드만 스타텐(widmanstatten) 조직으로서

Table 1. Chemical properties and hardness

Cu	chemical composition (%)									hardness
Alloy	Cu	Pb	Fe	Sn	Al	Ni	P	Mn	Zn	(Hv)
AIBC	80.4	-	5.1	-	9.2	4.6	-	0.7	-	247

Fig. 1. Microscopes of AIBC.

Fig. 2. Schematic diagram of reciprocating friction wear tester.

강의 마르텐 사이트(martensite)와 유사한 조직으로 구성되어 있으며[8,9], 경도가 동합금 중에서는 상당히 높은 편이다.

2-2. 마찰 및 마멸 실험

본 연구에서는 피스톤 헤드와 슬리브 소재의 마찰마멸 특성을 조사하기 위하여 Fig. 2에 나타난 왕복동 마찰마멸 시험기를 사용하였다. 마찰마멸실험은 직경 5 mm의 마멸 핀 시험편을 하부의 디스크 시험편에 접촉하여 상부에서 수직하중을 가하였고, 400 W서보모터를 사용하여 직경 50 mm인 하부의 디스크 시험편을 20 mm 행정길 이로써 왕복 운동하도록 하였다. 그리고 디스크인 상대재료는 크롬몰리브덴강인 SCM440을 사용하여 건마찰 왕복동 시험을 하였다..

실험조건으로는 작용하중을 2 kg, 4 kg, 6 kg 및 8 kg으로, 미끄럼 속도를 1 m/min, 2 m/min, 3 m/min 및 4 m/min으로 변화시켰다. 그리고 미끄럼 거리는 120 m, 240 m, 360 m 및 480 m로 설정하였다.

실험방법으로 먼저 핀과 시험편은 에머리페이퍼 #1,200으로 폴리싱(polishing) 후 초음파세척기에 3분 동안 세척한 후 왕복동 마찰마멸 시험기의 시험편 홀더에 각 시험편을 고정하여 각 실험 조건에 따라 실험을 수행하였다. 그리고 핀 시험편의 마멸량은 1/

Fig. 3. Variation in wear loss with applied load.

Fig. 4. Rubbed surface of pin specimen on applied load.

10000 g의 정밀도를 갖는 정밀전자저울을 이용하여 실험 전과 후의 무게를 측정하여 구하였다. 또한 핀과 디스크의 접촉부 주위의 온도를 측정하기 위하여 적외선 열 영상카메라를 사용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3-1. 작용하중에 따른 마멸량

Fig. 3은 미끄럼 거리 480 mm의 경우 각 미끄럼 속도에서 작용하중을 단계적으로 변화시켰을 때의 핀 시험편의 마멸량을 나타낸 것이다. 그림에서 각 미끄럼 속도에서 작용하중의 증가에 따라 마멸량은 증가하며, 미끄럼 속도의 증가에 따라 마멸량은 감소하고 있다. 각 미끄럼 속도에서 작용하중이 증가할수록 마멸량이 증가하는 것은 핀 시험편의 마찰면 온도의 상승

과 단위면적 당 작용압력이 증가한 결과라고 생각되며, 이것은 작용하중의 증가에 따라 비례적으로 증가하지는 않는다는 것을 알 수 있다.

Fig. 4는 미끄럼 거리 480 m, 미끄럼 속도 3 m/min의 경우 핀 시험편의 작용하중의 변화에 따른 마찰면을 나타낸 것이다. 그림에서 (a) 2 kg의 경우 디스크의 마찰에서 이것은 왕복동 시험기에서 나타나는 전형적인 것으로 핀 시험편 표층부 하부에서 전단응력에 의하여 탈락된 마멸분이 디스크 시험편에 이착되고 이것이 다시 핀 시험편으로 전이된 응착마멸이 주 마멸기구라 생각된다. 그리고 작용하중이 증가할수록 이 경향은 점점 더 진행되고 있다는 것을 볼 수 있다.

3-2. 미끄럼 속도에 따른 마멸량

Fig. 5는 미끄럼 거리 480 m의 경우 각 작용하중에서 미끄럼 속도를 단계적으로 변화시켰을 때의 핀 시험편의 마멸량을 나타낸 것이다. 그림에서 각 작용하중에서 미끄럼 속도의 증가에 따라 마멸량은 감소하고 있으며, 작용하중이 2 kg일 때 다른 3가지의 미끄럼 속도에 비하여 마멸량이 현저히 감소하고 있다. 이처럼 각 작용하중에서 미끄럼 속도가 증가할수록 마멸량이 감소하는 것은 미끄럼 속도가 증가하면 핀과 디스크 시험편의 접촉부 온도의 상승으로 마찰면에 생성된 마멸분이 산화되어 이것이 산화막으로 작용하여 마멸량이 감소한 것으로 생각된다. 그리고 저하중의 경우에는 고하중에 비하여 미끄럼 속도의 증가에 따라 마멸량의 감소경향이 작다는 것을 알 수 있다.

Fig. 6은 각 작용하중에서 미끄럼 속도의 변화에 따른 실험 완료시의 핀과 디스크 시험편의 접촉부 온도를 나타낸 것이다. 각 작용하중에서 미끄럼 속도가 증

Fig. 5. Relation between wear loss and sliding speed.

Fig. 6. Relation between temperature and applied speed.

Fig. 7. An infra redray thermal image on applied load.

Fig. 8. Rubbed surface of pin specimen on sliding speed.

가할수록 마찰면 온도는 상승하지만 미끄럼 속도에 비례하여 상승하지는 않는다는 것을 알 수 있다.

Fig. 7은 작용하중 6 kg의 경우 4가지 미끄럼 속도의 적외선 열화상 카메라의 온도 영상으로, 이 온도는 핀과 디스크의 접촉부로부터 전도된 온도로서 핀 시험편의 선단 상 방향의 2 mm 위치에서 최고온도를 나타내고 있다. 이것은 두 시험편의 접촉부 양 돌기에서의 섬광온도(flash temperature)가 되지만 이 온도는 계속되는 마찰로 인하여 핀 돌기가 디스크의 돌기와의 접촉을 벗어나게 되면 새로운 디스크 돌기를 만날 때 까지 냉각되고 상승된 온도는 핀 시험편의 접촉부 상단으로 전도된 결과라고 생각된다.

Fig. 8은 미끄럼 거리 480 m, 작용하중 6 kg의 경우 핀 시험편의 미끄럼 속도의 변화에 따른 마찰면을 나타낸 것이다. 그림에서 미끄럼 속도가 증가할수록 마찰면에는 응착마멸과 abrasive 마멸이 동시에 나타나 있지만 Fig. 6과 같이 미끄럼 속도가 증가할수록 마찰면 온도의 상승으로 생성된 마멸분이 산화되어 표층을 덮고 있어 이것이 윤활제의 역할을 한 것으로 생각된다.

3-3. 미끄럼 거리에 따른 마멸량

Fig. 9는 미끄럼 속도 3 m/min의 경우 각 작용하중에서 미끄럼 거리를 단계적으로 변화시켰을 때의 핀 시험편의 마멸량을 나타낸 것이다. 그림에서 각 작용하중에서 미끄럼 거리의 증가에 따라 마멸량은 증가하고 있다. 그리고 작용하중의 증가에 따라 마멸량의 증가 폭은 크게 된다는 것을 알 수 있다. 이것은 미끄럼 거리가 증가하게 되면 마찰면 온도의 상승에 의한 마찰면 표층의 연화가 진행되어 마멸량은 증가하며, 특히 마멸량의 증가 속도는 작용하중의 증가와 함께 더

Fig. 9. Variation in wear loss with sliding distance.

Fig. 10. Variation in temperture loss with applied load.

Fig. 11. Rubbed surface of pin specimen on sliding distance.

욱 더 급격히 진행된다는 것을 알 수 있다.

Fig. 10은 작용하중의 변화에 따른 적외선 열화상 카메라의 영상으로부터 측정된 온도를 나타낸 것으로, 미끄럼 거리 초기(1 m), 중기(120 m) 및 말기(480 m)의 온도이다. 그림에서 작용하중의 증가와 함께 영상 온도는 상승하지만 비례적으로 상승하지는 않으며, 미끄럼 거리의 증가에 따라서는 작용하중이 6 kg 이상이 되면 온도상승 폭은 적다는 것을 알 수 있다.

Fig. 11에는 작용하중 4 kg, 미끄럼 속도 3 m/min의 경우 핀 시험편의 미끄럼 거리의 변화에 따른 마찰면을 나타낸 것이다. 그림에서 미끄럼 거리의 증가에 따라 양 시험편의 돌출부가 점점 변형되고 제거됨에 따라 표면 하부의 전단에 의한 소성변형을 일으키며 표

면층의 박리의 결과로 마멸분이 표층에서 탈락하게 된다. 계속되는 마찰에 의하여 새로운 표면 돌출부가 생기게 되며 이와 같이 생성된 돌출부는 새로운 표면을 형성하고 미끄럼이 계속됨에 따라 새로운 돌출부들 또한 제거된다. 이러한 과정은 미끄럼이 있는 한 계속하게 된다. 그림에서 거리가 짧은 (a)120 m의 경우 마찰면에 탈락된 마멸분이 얇게 형성되어 이것이 부분적으로 산화된 흔적을 볼 수 있다. 그리고 미끄럼 거리가 증가함에 따라 생성되는 마멸분이 보다 두껍게 형성되어 (d)480 m의 경우 마찰면 전 표면에 마찰트랙 방향으로 산화된 마멸분이 진행되어 있는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 원자력 발전소 터빈 밸브 작동용 power 실린더의 피스톤 헤드용 AIBC의 마멸 특성을 알기 위하여 왕복동 건마찰 시험기를 이용하여 작용하중과 미끄럼속도 및 미끄럼 거리를 변화시켜 마멸량과 적외선 영상 카메라를 사용하여 마찰면 온도의 변화를 측정한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 작용하중의 증가에 따른 마멸량은 증가하며 AIBC의 마멸기구는 응착마멸이 주 마멸기구로 작용한다.
- 2) 미끄럼 속도가 증가에 따른 AIBC의 마멸기구는 응착마멸과 avrasive 마멸이 동시에 작용하며, 마찰면의 온도상승으로 미끄럼 속도가 증가할 수록 마멸량이 감소한다.
- 3) 미끄럼 거리의 증가에 따라 마찰면의 표층의 연화로 박리가 진행되어 마멸량은 증가하며, 탈락된 마멸분은 상승되는 온도에 의하여 산화가 진행된다.

후 기

본 연구는 동아대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1. 산업자원부, 원전기술 발전 방안” 2006.
2. S. H. Kyung, “Cu and Cu Alloy Castings”, *Journal of KFS*, Vol.8, No.1, pp.132-142, 1988.
3. Sato Y. S., “Investigation on Microstructure of Friction syir Welding part for Al Alloy[D]”, Sendai, Tohoku University, 2001.
4. J. G. Kim, N. S. Choi, and T. W. Kim, “Mechanical

- Materials Engineering”, *Munundang*, pp.320-334, 2008.
5. Peter J. B., “Friction, Lubrication and Wear Technology”, *ASM Handbook*, Vol.18, pp. 237-240, 1992.
 6. D.Y.Chung, K.Y.Kim, B.J.Lee, and J.G.Kim, “The Effects of Ni Addition in Cu Base Sintered Friction Material-Microstructure and Tribological Behavior”, *Journal of the KSTLE*, Vol.11, No.5, pp.55-58, 1995.
 7. 김정규, 최낙삼, 김태원, “기계재료학”, 문운당, pp.330-331, 2005.
 8. W.H. Clobberly, Nonferrous Alloys, “Metal handbook”, Ninth Edition, vol.2, pp.241-242, 1979.
 9. 박홍식, 박원조, 김선진 편저, “기계재료공학”, 인터비전, pp.150-154, 2001.