

## 유압 서보실린더의 동합금 피스톤 헤드와 부시의 마멸특성에 관한 실험적 연구

조연상<sup>†</sup> · 김영희\* · 변상민\*\* · 박흥식\*\*\*

동아대 기계공학과, \*동아대학교 신소재공학과, \*\*동아대 기계공학과

### A Experimental Study on Wear Characteristics of Cu Alloy for Piston Head and Bush Material of Hydraulic Servo Cylinder

Yon Sang Cho<sup>†</sup>, Young Hee Kim\*, Sang Min, Byon\*\* and Heung Sik Park<sup>\*\*\*</sup>

*Dept. of Mech. Eng., DongA University*

*\*Dept. of Materials and Eng., DongA University*

*\*\*Dept. of Mech. Eng., DongA University*

(Received July 10, 2009; Revised August 15, 2009; Accepted August 20, 2009)

**Abstract** – Hydraulic servo cylinders have been used to control accurately a large machine in power plant. Especially, Piston head and bush of servo cylinder is assembled sleeve and piston head and bush made of Cu alloy and pad sealing part. A damages of sleeve and piston head, bush are caused by friction and wear. Thus, It is necessary to examine friction and wear characteristics of Cu alloys for the piston head and bush. In this study, to be reliable on the piston and cylinder parts, dry friction and wear experiments were carried out with Cu alloys of four kinds of AlBC, PBC, BC and BS using reciprocating friction tester of pin on disk type. From this study, the result was shown that the AlBC and PBC with alloy elements were excellent to resistance wear. As the sliding speed was increased, the wear loss of PBC decreased than another Cu alloy.

**Keywords** – Hydraulic servo cylinders(유압서보실린더), Reciprocating friction tester(왕복동 마찰시험기), Cu alloy(동합금), AlBC(알루미늄청동), PBC(인청동)

### 1. 서 론

최근 유압 서보실린더(Hydraulic servo cylinder)는 대형 기계들의 사용이 증가하고 이러한 대형기계들의 정밀한 제어에 대한 요구에 따라 그 사용이 날로 증가하고 있는 실정이다. 특히, 제품의 품질기준이 높은 발전소(원자력, 화력)들에서 사용되는 유압 서보 실린더는 거의 전량 수입에 의존하고 있는 실정이기 때문에 제품의 보수 및 교체에도 많은 어려움이 있으며, 해외업체의 부품 생산중단에 의한 부품조달의 어려움도 수시로 발생

되고 있는 실정이다[1]. 또한, 제품의 짧은 수명주기 때문에 발전소 시스템의 효율성이 저하된다는 문제점이 지적되고 있다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 시급하게 터빈 밸브 제어용 서보 실린더의 국산화가 진행되어야 하는 실정이다.

서보실린더는 축 방향을 따라 중앙이 관통되고 내부에 유체저장실이 마련된 실린더의 일단부에 연결되고 축 방향 중앙에 직선 왕복 운동하는 피드백 로드(Feed back rod)가 피스톤 헤드에 연결되어 있다. 피스톤의 헤드는 슬리브(Sleeve)와 접촉하는 패드 씰링부(Pad seal part)를 가지고 있다. 패드 씰링에는 테프론(PTFE)이 사용되지만 이것이 장시간의 운동에 의하여 마멸되면 피스톤 헤드용 동 합금의 마찰이 발생되어 피스톤

<sup>†</sup>주저자 : bluecys@nate.com

<sup>‡</sup>책임저자 : parkhs@dau.ac.kr

**Table 1. Chemical properties and hardness**

Alloy	Cu chemical composition (%)								hardness (Hv)	
	Cu	Pb	Fe	Sn	Al	Ni	P	Mn Zn		
AIBC	80.4	-	5.1	-	9.2	4.6	-	0.7	-	247
PBC	88.7	-	-	11	-	-	0.3	-	-	120
BC	85.3	4.7	-	5	-	-	-	-	5	88
BS	59	3	0.3	0.4	-	-	-	-	37.3	150

헤드와 접촉하는 슬라이브가 마멸된다. 또한 피스톤 로드와 부시와의 사이에도 마찰접촉이 발생하므로 이들 부품이 마멸되면 누유가 발생되기도 하고 그 수명이 감소하게 된다[2-5]. 따라서 피스톤의 품질향상에 따른 수명 연장 및 신뢰성 향상을 도모하기 위하여 우수한 내마멸성을 나타내는 동합금 재료를 선정할 필요성이 있다.

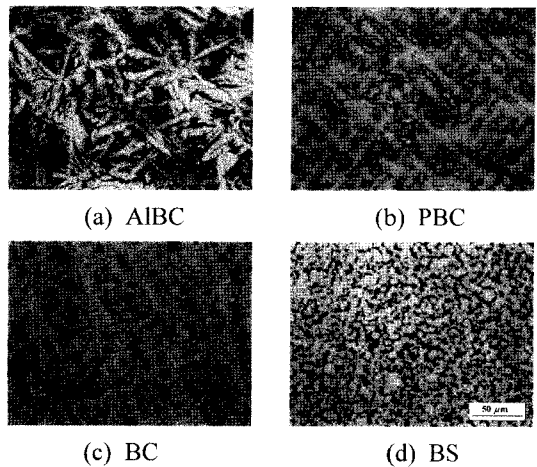
본 연구에서는 원자력 발전소의 증기 터빈 밸브 제어용 서보실린더의 피스톤 헤드와 부시에 사용되는 동합금의 마찰특성을 규명하기 위하여 건마찰 pin-on-disk형 왕복동 마찰마멸 시험기로써 다양한 동합금들의 마찰 특성을 조사하여 피스톤 헤드, 부시 등의 실린더 부품의 신뢰성을 확보하고자 하는 것을 목적으로 하였다.

**2. 실험장치 및 실험방법**

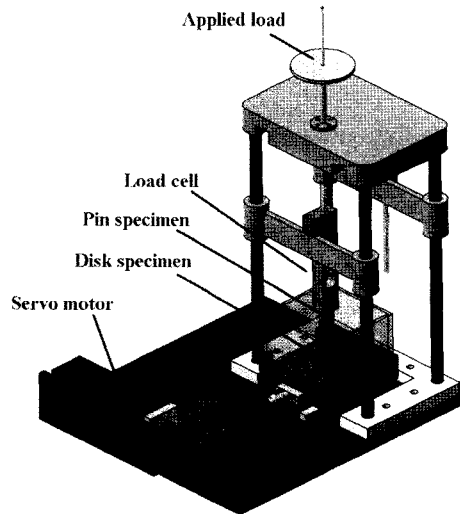
**2-1. 실험재료**

본 연구에서 사용한 동합금은 4 종류로서 이의 화학 성분과 경도는 Table 1과 같다. 그리고 이들의 현미경 조직을 Fig. 1에 나타내었다.

그림에서 (a)AIBC는 충상의 위드만스테텐(widmanstatten) 조직으로서 국부적으로 검게 보이는 위드만스테텐 판상들 사이에 강의 마르텐사이트(martensite)와 유사한 조직으로 구성되어 있으며 경도가 높고, Fe가 5.1% 함유되어 있어 기계적 성질이 개선된다. (b)PBC는 비교적 규칙적으로 미세한 알파(α)상의 수지상정(dendrite)을 나타내고 있으며, 인(P)을 0.3% 첨가하여 경도와 강도를 향상시킨 재료이다. (c)BC는 미세한 알파 수지상정의 석출과 검은 색을 나타내는 분산도가 좋은 납(Pb)의 석출물 입자를 볼 수 있으며, 이 납은 마멸저항이 적으며 4종류의 동합금 중에 가장 경도가 낮다. 그리고 (d)BS는 흑색의 메타 상에서 알파 상이 냉각 중 석출된 조직으로 구성되어 있다.



**Fig. 1. Microscopes of Cu alloy.**



**Fig. 2. Schematic diagram of reciprocating friction wear tester of pin on disk type.**

**2-2. 마찰 및 마멸 실험**

다양한 동합금의 마찰특성을 조사하기 위하여 Fig. 2에 나타낸 왕복동 마찰, 마멸 시험기를 사용하였다. 본 연구에서 사용한 왕복동 마찰 마멸 시험기는 직경 5 mm인 핀 시험편을 하부의 디스크 시험편에 접촉시키고 상부에서 수직으로 사하중을 가하였고, 400 W 서보모터를 사용하여 직경 50 mm인 하부의 디스크 시험편을 20 mm 행정길이로써 직선 왕복운동을 하도록 하였다. 그리고 본 연구에서는 4종류의 동합금을 핀 시험편으로 사용하였고, 디스크 시험편은 크롬몰리브덴강인 SCM440을 사용하여 건마찰 왕복동 시험을 하였다. 시험전 핀과 디스크의 두 시험편은 에머리 페이퍼

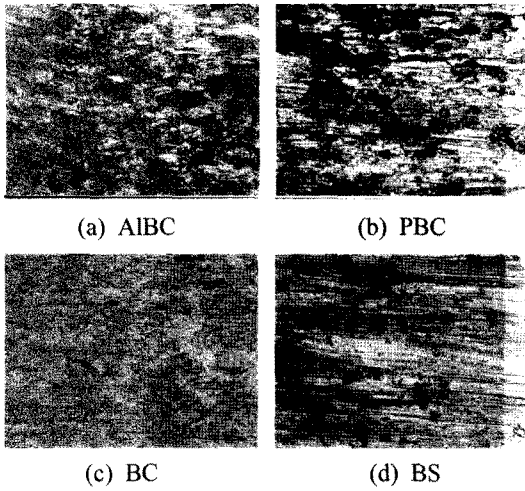


Fig. 3. The rubbed surface of pin specimen, applied load : 5 kg, sliding speed : 4 m/min.

로 정밀연마하여 표면조도를  $0.1 \mu\text{mR}_{\text{max}}$ 로 일정하게 하여 마찰실험을 수행하였다. 여기서 전체 미끄럼거리는 240 m로 설정하였으며, 작용하중 변화에 따른 마찰 특성을 살펴보기 위하여 4 m/min의 속도에서 작용하중을 2.5 kg, 5 kg, 및 7.5 kg을 가하였다. 그리고 미끄럼 속도변화에 따른 마찰특성을 살펴보기 위하여 5 kg의 작용하중에서 미끄럼 속도를 2 m/min, 4 m/min 및 6 m/min으로 설정하여 실험을 행하였다.

각 실험 조건에서의 마찰계수는 상부의 로드셀을 이용하여 평균마찰력(R)을 측정하여 구하였으며, 핀의 마멸량은 1/10000 g의 정밀도를 갖는 정밀 전자저울을 이용하여 실험 전과 후의 무게감량을 측정하여 구하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3-1. 마찰면의 상태

진조마찰 상태에서 4종류의 동 합금의 마찰특성을 알기 위하여 핀 시험편의 마찰면과 디스크 시험편의 마찰면을 Fig. 3과 Fig. 4에 나타내었다. 여기서 마찰 조건은 작용하중 5 kg, 미끄럼 속도 4 m/min이다. Fig. 3에서 (a)AIBC는 주로 응착마멸이 진행되어 있으며 부분적으로는 산화가 진행된 것을 볼 수 있다. 이것은 Fig. 4의 (a)디스크의 마찰면에 보는 바와 같이 디스크에 이착된 AIBC의 마멸분을 볼 수 있어 이 마멸분들에 의하여 AIBC 동일재료 간의 마멸이 진행되었다고 생각된다. (b)PBC는 마찰면에 연삭마멸이 진행되면서 부분적으로 응착마멸도 혼재하여 나타나 있고, 산화도

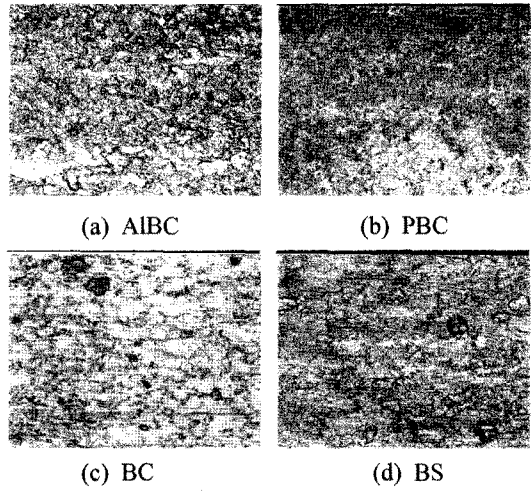


Fig. 4. The rubbed surface of disk specimen, applied load : 5 kg, sliding speed : 4 m/min.

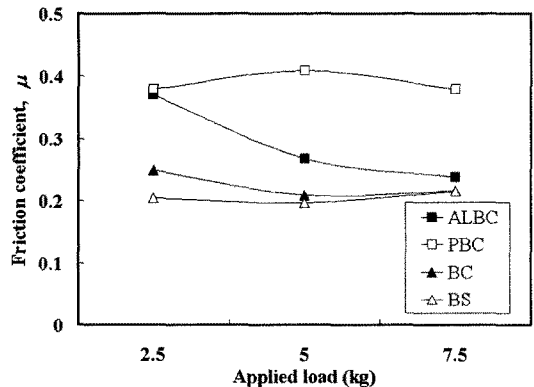


Fig. 5. Friction coefficient vs. applied load for Cu alloys, sliding speed : 4 m/min.

진행된 것을 볼 수 있다. 그리고 Fig. 4의 디스크 표면도 역시 핀에서 이착된 PBC가 이착되어 있으며, 부분적으로는 얇은 산화막도 볼 수 있다. 그러나 (c)BC는 경도가 비교적 낮기 때문에 마찰면에서 고르게 정상마멸이 진행되어 스미어링(smearing)에 의한 압착 현상으로 AIBC와 PBC에 비해 마찰면이 매끈하다. 그리고 (d)BS는 마찰방향으로 응착의 흔적과 함께 디스크 표면에 부분적으로 압착되면서 마멸이 진행되고 있는 것을 볼 수 있다.

#### 3-2. 마찰조건에 따른 마찰계수

Fig. 5는 작용하중에 따른 4 종류 동 합금의 마찰계수 변화를 나타낸 것으로 작용하중이 증가함에 따라 AIBC의 마찰계수는 높은 경도값에도 불구하고 다른

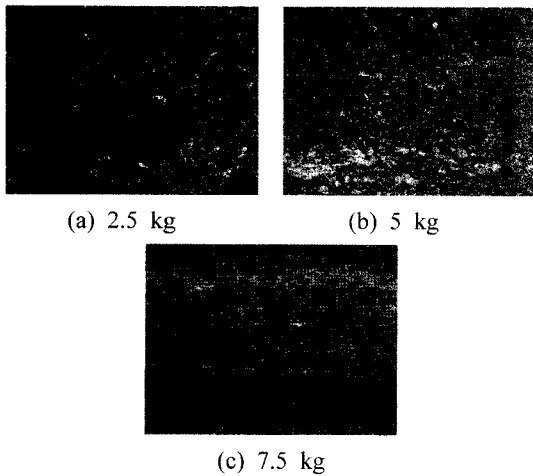


Fig. 6. The rubbed surface of disk for AlBC alloy on applied load, sliding speed : 4 m/min.

동합금과는 다르게 현저히 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 Fig. 6의 디스크 마찰면 사진에서 보는바와 같이 작용하중이 증가할수록 핀 시험편에서 응착으로 이착된 AlBC의 마멸분이 부분적으로 탈락되면서 그 부분에 마찰열에 산화물이 디스크 표면에 형성되고 있어 이것이 핀과 디스크의 표면 사이에서 윤활제로써 작용한 결과라고 생각된다. 그리고 PBC는 Fig. 3의 핀의 마찰면에서 볼 수 있듯이 응착마멸과 연삭마멸이 비교적 크게 작용하여 다른재료에 비해 마찰계수가 높게 형성이 되고 있다고 생각한다. 그리고 BC와 BS는 이들 두 소재는 소재가 가지고 있는 전단력이 적어 마찰면에는 정상마멸이 진행되어 마찰력이 저항을 받지 않기 때문에 작용하중이 증가하여도 마찰계수는 작용하중의 증가에 따라 큰 변화없이 진행된다고 생각된다.

Fig. 7은 작용하중 5 kg에서 미끄럼 속도에 따른 동합금의 마찰계수 변화를 나타낸 것으로 미끄럼 속도가 증가함에 따라서 마찰계수가 대체적으로 감소하고 있다는 것을 알 수 있다. 이는 미끄럼 속도의 증가에 따라 마찰면의 온도상승의 영향으로 Fig. 8의 디스크의 마찰면 사진에서와 같이 산화가 빨리 진행되고 디스크 표면에 산화막이 형성된 결과라고 생각된다.

### 3-3. 마찰조건에 따른 마멸량

4종류의 동합금의 마멸 특성을 보기 위해 실험 전과 후의 핀 시험편의 무게를 측정하여 실험 조건에 따른 마멸량의 변화를 조사하였다. Fig. 9는 작용하중에 따른 핀의 마멸량의 변화를 나타낸 것이고, Fig. 10은

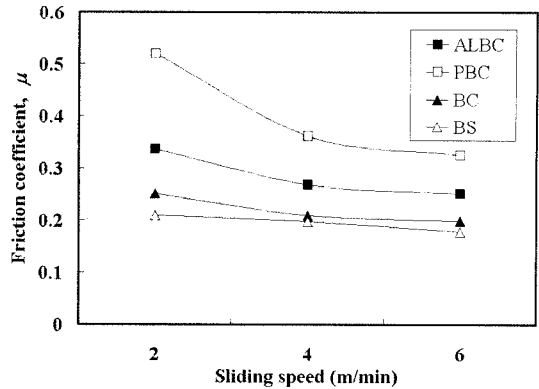


Fig. 7. Friction coefficient vs. sliding speed for Cu alloys, applied load : 5 kg.

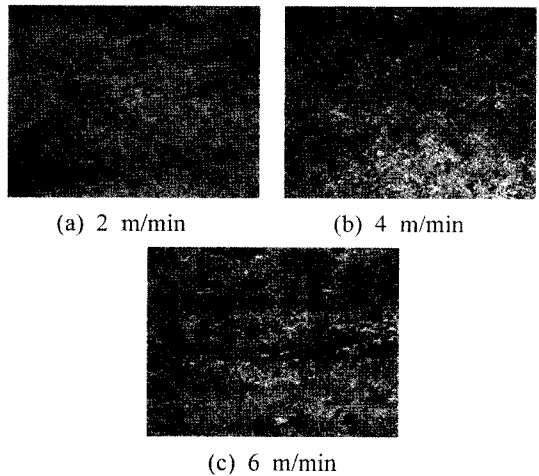


Fig. 8. The rubbed surface of disk for PBC alloy on sliding speed, applied load : 5 kg.

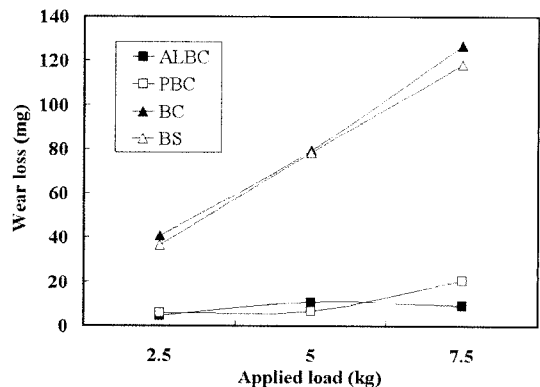


Fig. 9. Variations in wear loss with applied load for Cu alloys, sliding speed : 4 m/min.

미끄럼 속도에 따른 마멸량을 나타낸 것이다. Fig. 9와

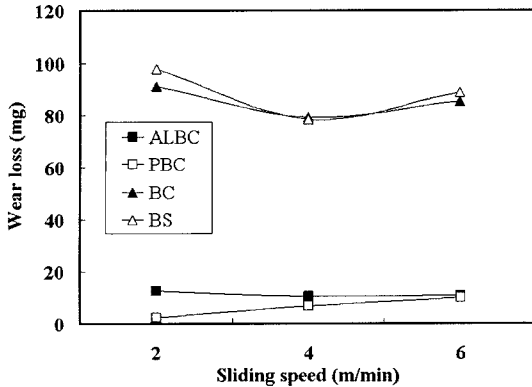


Fig. 10. Variations in wear loss with sliding speed for Cu alloys, applied load : 5 kg.

Fig. 10을 보면 마찰조건과 상관없이 BC와 BS에 비해 AIBC와 PBC의 마멸량이 현저히 적다는 것을 알 수 있다. 이것은 Table 1과 Fig. 1에서 처럼 AIBC와 PBC는 합금원소의 함유와 층상구조 또는 고용체의 수지상정형으로 구성되어 내마멸성을 가지고 있으며[6-8], Fig. 4의 디스크 표면에서 볼 수 있듯이 작용하중이 증가하면 디스크 표면에 이착된 마멸분이 탈락되고 마찰면 온도의 상승으로 표면에 산화물의 형성으로 마멸량이 적다고 생각된다. 특히 작용하중의 증가에 따라서 마멸량이 많아지는 BC와 BS에 비해서 AIBC와 PBC의 마멸량은 큰 변화가 없이 우수한 내마멸성을 나타내주고 있다.

그리고 Fig. 9의 작용하중의 증가에 따라서는 AIBC와 PBC의 마멸량은 그다지 큰 변화를 보이지는 않지만, Fig. 10에서 PBC의 경우가 미끄럼 속도 변화에서 미끄럼 속도가 증가할 수록 AIBC보다 우수한 내마멸성을 나타내 주고 있다. 이것은 인칭동인 PBC는 P의 역할이 미끄럼 속도에 영향을 준다고 생각되므로 AIBC 보다 서보 실린더의 피스톤 헤드용으로 적합한 소재라고 생각된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 유압 서보 실린더 헤드와 부시용 동합금의 마찰, 마멸 특성을 살펴보기 위해 4종류의 동합금 재료에 대하여 작용하중과 미끄럼 속도를 달리하

여 왕복동 건마찰 실험을 하였고, 이를 통해 마찰계수의 변화와 마멸량의 변화를 측정된 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. AIBC와 PBC의 마찰특성은 응착마멸이 주로 진행되지만 이들의 마멸분이 디스크로 이착되어 마찰은 이들 사이에 발생되어 마찰계수는 대체로 크다.
2. 작용하중이 증가하면 AIBC의 마찰면에는 탈락된 마멸분 자리에 얇은 산화막이 형성되어 마찰계수의 감소가 크다.
3. 마찰조건과 상관없이 AIBC와 PBC의 마멸량은 BC와 BS에 비해서 합금원소의 첨가에 의한 기계적 성질의 개선으로 현저히 적다.
4. 미끄럼 속도의 증가에 따라 PBC가 AIBC보다 우수한 내마멸성을 가지므로 서보실린더 헤드용 소재로 적합하다.

#### 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. J. G. Kim, N. S. Choi and T. W. Kim, *Mechanical Materials Engineering*, Munun dang, pp. 320-334, 2008.
4. Peter J. B., *Friction, Lubrication and Wear Technology*, ASM Handbook, Vol. 18, p. 237, 1992.
5. 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.
6. 김정규, 최낙삼, 김태원, *기계재료학*, 문운당, pp. 330-331, 2005.
7. W.H. Cubberly, *Nonferrous Alloys*, Metal handbook, Ninth Edition, vol. 2, pp. 241-242, 1979.
8. 박홍식, 박원조, 김선진 편저, *기계재료공학*, p. 150, 2001.