

# 화학적 에칭을 이용한 유체 및 공기 동압 베어링용 그르브 가공

## Groove manufacturing for Fluid and Aero Dynamic Bearings using Chemical Etching

이 용 근<sup>†</sup> · 김 상 옥<sup>\*</sup>  
(Yong-Geun Lee · Sang-Uk Kim)

**Abstract** - This paper presents a chemical etching system for groove manufacturing for the fluid and aero dynamic bearings. To manufacture the grooves to thrust and journal surface of the fluid and aero dynamic bearing, it is very important for grooves' depth to be smaller tolerance. It is very difficult for the internal surface of journal bearing to make the grooves precise. If the precision of the groove is not exact, we can not get the desirable performance for the target of the dynamic bearing. To make the groove of bearing precise, we propose the method of chemical etching system. It has known that the method of chemical etching can not make the groove on the internal surface of journal bearing excepts for on the surface of thrust bearing. However, this paper has shown the solution to make the grooves on it. We obtain the condition and the parameters of the system such as time, chemical material composition and so on. In this paper, we get the experimental results to verify the precise groove manufacturing for the fluid and aero dynamic bearing.

**Key Words** : Chemical etching, Fluid dynamic bearing, Aero dynamic bearing, Groove, Thrust surface, Journal surface

### 1. 서 론

하드 디스크 드라이브, 복사기, 레이저 빔 프린터, DLP 프로젝터, DVD ROM 등 데이터, 음향, 영상 등을 저장하거나, 전송하기 위하여 나노(nano) 미터 단위의 회전정밀도를 유지하면서 회전하는 초정밀 회전기기가 이용되고 있다[1]. 특히 고용량, 초소형, 초고속 장치 개발 등과 같은 미래 산업을 주도하기 위해서는 초정밀 회전기기의 공통 기반 기술 중 초고속, 초소형화 및 저 진동, 저소음화를 위하여 스피들 모터의 기술 개발이 매우 중요한 기술 개발의 과제로 떠오르고 있다. 스피들 모터의 성능을 확보하기 위해서 모터 구조의 기계적인, 전기적인 최적화 설계를 요구하고 있으며, 이를 극복하기 위한 방법으로 베어링의 기술 개발과 제작이 가장 주요한 기술 개발의 과제로 떠오르고 있다.

스피들모터에 사용되는 베어링은 소결 다공질 금속 베어링(Sintered Porous Metal Bearing), 유체 동압 베어링(Fluid Dynamic Bearing, FDB), 공기 동압 베어링(Aero Dynamic Bearing, ADB) 등이 있으며, 베어링에는 저소음, 초고속, 저진동 등 높은 성능을 확보하기 위하여, 그르브(groove)가 있으며, 그르브의 가공은 초정밀의 가공이 이루어져야 한다[2].

그러나 일반적으로 그르브 가공을 위하여 정밀 CNC 머신을 사용하고 있으나, 생산설비가 매우 고가이고, 가공시간이 길어서 생산 원가가 더 많이 요구된다. 전조방식의 경우 전조할 때 양 끝에 흠집이 생겨 고속 회전시 많은 문제점을 가지고 있다. 전해 가공의 경우 빠른 양산 속도를 가지는

장점이 있으나, 전극이 마모되어 자주 교체해야 하는 단점을 가지고 있다[3]. 국내의 경우 그르브 가공이 요구되는 초정밀 동압베어링 회전기기는 수입에 전적으로 의존하고 있는 실정이다[4].

따라서 본 연구 개발에서는 국내 반도체 및 PCB 공정 등에서 널리 사용되는 화학적 에칭(Photo Chemical Etching) 기술[5]을 최초로 적용하여 동압 베어링의 그르브를 가공하는 방법에 대하여 제안을 하였으며, 이의 타당성능 실험을 통하여 시스템의 성능을 보였다.

### 2. 본 론

#### 2.1 화학적 에칭 시스템

본 연구개발에서는 화학적 에칭 그르브 가공 방법을 이용하여 스피들모터용 유체 동압 베어링과 공기 동압 베어링의 베어링의 그르브를 가공하였다. 에칭은 금속 표면의 침식작용에 의거 금속을 그 표면으로부터 분리, 제거하는 처리기술로서, 금속재료를 전기 물리적 또는 화학용해 작용을 이용하여 금속 일부분을 침식 제거하는 곳을 말한다. 화학적 에칭을 이용한 그르브 가공은 아래의 절차와 같다.

세척작업 및 건조 ⇒ 전착코팅(Electric coating) ⇒ 노광(Exposure) ⇒ 현상(Development) ⇒ 덧칠(Masking) ⇒ 에칭(Etching)

위의 상세 내용과 파라메타 조건은 다음과 같으며, 이때 수행한 각 공정에서의 온도 값, 시간 간격, 전압 크기, 용액 종류, 혼합 비율 등은 수차례 실험을 통하여 얻어진 최적인 값이다.

#### 가) 세척작업 및 건조

에칭을 수행하기 전에 베어링 부품, 즉 슬리브(sleeve)를 깨끗이 세척한다. 코팅방법이 주로 이글(Eagle) 계열 용액(제조사:SHIPLEY)을 사용한 전착코팅(Electric coating) 방

<sup>†</sup> 교신저자, 정회원 : 인하공업전문대학 전기정보과 교수

E-mail : leeyong@inhac.ac.kr

<sup>\*</sup> 정 회원 : 인하공업전문대학 전기정보과 교수

접수일자 : 2012년 11월 1일

최종완료 : 2012년 11월 25일

식이므로 샘플 표면에 이물질이 존재할 경우 코팅이 원활히 이루어지지 않는다. 따라서 깨끗한 아세톤에 초음파 세척을 실시한다. 초음파 세척 후 샘플을 건조기에 넣고 건조한다. 건조온도는 약 70°C 정도로 한다. 이때, 세척액은 잔류성 유기 오염 물질과 잘 혼합되면서 빠른 휘발성을 가지는 깨끗한 아세톤용액을 사용하고, 건조 후에는 샘플들의 표면 상태를 검사한다.

나) 전착코팅(Electric coating)

전착 코팅은 베어링 부품에 직류전압의 (+)극을 인가하고 Eagle 2100 용액을 담은 SUS 함에는 (-)극을 연결한다. 이때, 직류전압은 30V로하며, 동작 시간은 30초로 한다. 이때, 베어링에 기포가 발생하지 않도록 하며, 발생되는 기포를 위로 배출하기 용이하게 하기 위하여 베어링의 트러스트(thrust)부가 위로 향하게 해서 코팅을 실시한다.

다)노광(Exposure)

트러스트 베어링에 그르브를 가공할 표면에 필름(film)을, 저널(journal) 베어링은 유리 튜브(Tube)를 고정 시킨다. UV 발생 장치를 이용하여 자외선에 노출시킨다. 베어링과 필름 및 유리 튜브간에 동심도를 지키는 것이 중요하며, 부품과 자외선 발생장치간의 거리는 정확히 맞추고, 필름 및 유리 튜브는 부품에 밀착시킨다.

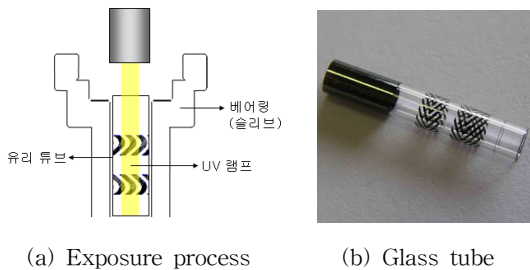


그림 1 노광 프로세스 및 유리 튜브  
Fig. 1 Exposure process and glass tube

라) 현상(Development)

현상을 하기 위해서는 이글 계열의 경우 현상액의 온도를 40°C~50°C사이에서 유지해 주어야 한다. 이글 현상액(Eagle2005)은 원액에 물을 혼합하여 사용하는데 물과 원액의 비율은 10:1로 하며, 1분 30초 정도 현상한 후 베어링을 물로 세척하고 건조시킨다.

마) 덧칠(Masking)

덧칠이란 현상작업이 완료된 베어링에서 그르브 형상 이외의 부분을 에칭액으로부터 보호하기 위하여 그 부분을 도색(painting)하는 작업을 말한다. 덧칠에 사용되는 용액은 PMER NH-40(제조사:Tokyo Ouka)으로써 초기에는 묽은 용액상태이므로 대기에 노출시켜 끈적한 용액으로 만든 후 사용한다. 덧칠이 완료된 후 베어링을 건조기에 넣고, 15분 정도 건조한다. 건조온도는 40°C~50°C정도로 한다.

바) 에칭(Etching)

에칭액으로는 SUS류 샘플의 경우 염화제이철(염화제이철+염산, 혼합비=4:1)을 사용하며, 40°C~50°C 온도에서 유지되도록 한다. 에칭 시간은 그르브 깊이 10um를 만들기 위해서는 에칭시간은 2분으로 한다. 참고로, SUS40 계열과 SUS30 계열의 반응물 형태는 약간 상이하다. 40계열의 경우 반응물

은 검은 색이지만 30계열은 색의 변화가 거의 없다. 따라서 40계열은 반응물의 제거 상태 확인이 상대적으로 용이하다. 반응물 제거가 완료되면 최종적으로 세척을 실시한다. 세척 공정은 아래 표 1과 같으며, SUS304 재질의 베어링의 경우 그르브 깊이와 시간간의 관계를 아래 그림 2에 나타내었다.

표 1 에칭 후 세척 공정  
Table 1 Washing process after etching

공정/방법	제1공정	제2공정	제3공정	제4공정
세척액	아세톤	아세톤	빙초산	증류수
방법	초음파	초음파	방치	초음파
시간	10분	10분	1.5시간	10분

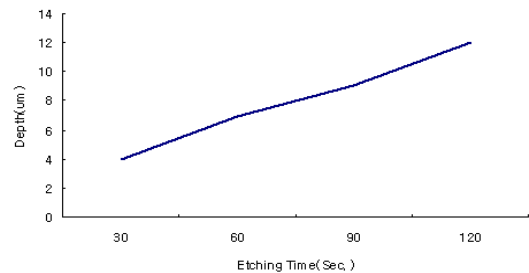


그림 2 그르브 깊이와 에칭 시간의 관계  
Fig. 2 The relation between groove depth and time of etching

2.2 저널 베어링 그르브 가공을 위한 유리 튜브

저널베어링의 그르브를 가공하기 위해서 제안하는 에칭 과정 중에서 가장 중요한 작업은 노광 공정이다. 저널 베어링의 안쪽에 그르브를 가공하기 위해서는 사용되는 유리 튜브의 역할은 트러스트 베어링의 에칭 공정에서 필름의 역할과 같다. 그림 1(a)와 같이 유리 튜브에 크롬(Cr) 코팅(Coating)을 해서 특정한 용액(Cr-etchant)을 사용해 그르브 패턴(pattern)을 새겨 사용한다. 1개를 제작하면 영구적으로 이용할 수 있으며, 이를 위한 작업순서는 아래와 같다.

가) 유리 튜브에 PMER 코팅

유리 튜브는 베어링 슬리브 내경보다 0.1mm 작은 외경을 사용하며, 외경은 진원도가 0.01mm 이하로 관리한다. 유리 튜브 바깥 면 전체는 크롬 코팅을 하며, 표면은 깨끗이 세척한다. 유리 튜브를 PMER 용액에 2번 담갔다 빼며, 이때 유리 튜브의 양끝은 막아준다. 이렇게 PMER 코팅을 한 후 약 40°C~50°C에서 15분정도 건조시킨다.

나) 그르브 패턴 필름과 UV 자외선 장치로 노광

그르브 패턴을 가지고 있는 필름을 이용하여 자외선 장치에 노광한다. 그림 3과 같이 설계 제작된 지그에 유리 튜브를 올려놓고, 유리 튜브를 감싼 필름의 양쪽 끝을 팽팽하게 잡아당기고 3분정도 노광하는데, 3분 내에 저널 그르브 패턴이 한번 지나가도록 한다. 이때, 유리 튜브의 끝과 필름의 기준 선을 정확히 맞추도록 한다.

다) 현상

PMER 현상액에 현상하며, 시간은 최초 20초로 한다.

라) 그르브 패턴을 제외한 잔여 크롬 코팅막 제거

Cr-etchant 용액을 약 50°C로 유지한 후 20초정도 유리 튜브를 용액에 넣고, 크롬 코팅막을 제거한다.

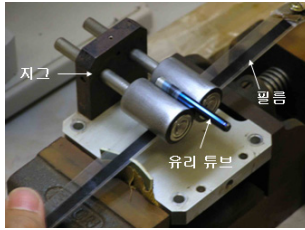


그림 3 필름을 이용한 유리튜브위의 노광  
Fig. 3 Exposure on the glass tube by using film

마) 잔여 PMER 제거  
최종적으로 아세톤을 이용하여 잔여 PMER을 제거한다. 초음파 세척기를 가동한 후 초음파 세척기내에서 약 30초 흔들어 준다.

### 2.3 실험 결과



그림 4 그르브가 가공된 저널 및 트러스트 베어링  
Fig. 4 Journal and trust bearings with grooves manufactured



그림 5 유체동압베어링을 가지는 스피들 모터  
Fig. 5 Spindle motor with fluid dynamic bearing

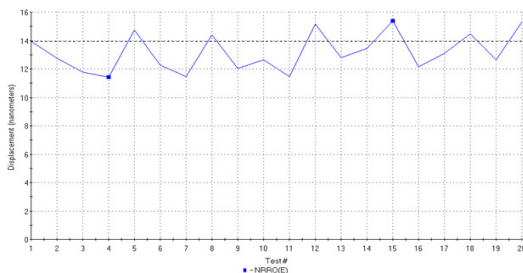


그림 6 스피들 모터의 진동 성능 특성(NRRO)  
Fig. 6 Vibration performance characteristics of spindle motor(NRRO)

그림 4는 3.5인치 하드 디스크 드라이브(HDD)용 스피들 모터용 유체동압베어링에 사용된 그르브가 가공된 저널과 트러스트 베어링을 각각 보여주고 있다. 베어링 설계 파라메타에 따라서 저널베어링의 그르브 깊이는 5[μm], 트러스트 베어링의 그르브 깊이는 7.5[μm]로 가공하여 제작하였으며, 제작된 베어링을 사용한 스피들모터는 그림 5와 같다.

7200[rpm] 정격 속도와 55.86[g-cm] 정격 부하를 가지며, 시계 반대 방향으로 회전하는 스피들모터의 진동을 반경방향으로 측정하였을 때, RRO(Repeatable Run-Out)는 약 1.55 [μm]였으며, 64번 회전시 NRRO(Non-Repeatable Run-Out)를 20회 측정하였을 때, 그림 6과 같이 평균적으로 약 14[nm] 였다. 3.5인치 7,200[rpm] HDD용 스피들모터의 정격 사양(WD사, NRRO < 25[nm], RRO < 12[μm])을 만족하는 진동 성능을 가지고 있음을 볼 수 있었다.

### 3. 결 론

본 연구에서는 초정밀 스피들모터에 사용되는 동압베어링의 그르브를 가공하기 위하여 화학적 에칭 방법을 제안하였으며, 가공하고자하는 그르브 깊이의 최적 조건들을 실험을 통하여 입증하였다. 또한, 저널 베어링에서 내경 안쪽면의 그르브를 가공하기 위한 지그 및 유리 튜브 제작 방법에 대하여 제안을 하였다. 본 연구개발을 통하여 정밀가공분야에 대한 필수 요소기술 확보와 정밀 베어링 부품의 대량생산을 통한 초정밀 회전기기 시장 확보 등을 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

### 참 고 문 헌

- [1] 이은용, 김일중, “소형 정밀 전동기의 기술 동향과 해석 기법,” 대한전기학회지, 제45권 2호, pp.11-16, 1996.
- [2] Fuller. D. D., 1984, "Theory and Practice of Lubrication For Engineers," John Wiley & Sons, inc., A Wiley-Interscience Publication," pp. 198-548
- [3] 이용근, “동압베어링의 그르브 가공용 양방향 펄스 파워 전해가공시스템 개발”, 대한전기학회, 제54권, 제4호, pp.224-229.
- [4] Nidec Interim Results, Fy2001, Nidec Corporation, 2001.10
- [5] Gunter Petzow, “금속 조직 에칭 기술” 청문각, 1989.

## 저 자 소 개



### 이 용 근 (李 龍 根)

1960년 11월 6일생. 1985년 인하대 전기공학과 졸업. 1989년 Univ. of Missouri, Dept. of Electrical Engineering 대학원 졸업(석사). 1993년 동 대학원 졸업(공학박). 1995. 3 - 현재 인하공업전문대학 전기정보과 교수.  
Tel : 032) 870-2196  
E-mail : leeyong@inhac.ac.kr



### 김 상 옥 (金 尙 郁)

1967년 2월 12일생. 1992년 인하대 전기공학과 졸업. 1995년 인하대 전기공학과 대학원 졸업(석사). 1998년 동대학원 졸업(공학박). 1998. 3 - 현재 인하공업전문대학 전기정보과 교수.  
Tel : 032) 870-2197  
E-mail : sanguk@inhac.ac.kr