

# 多孔質靜壓空氣 Bearing을 이용한高精度回轉 Table의性能

韓應教\* · 金祺中\*\* · 朴淳祥\*\*\*

## The Performance of High-Precision Rotary Table Using Externally Pressurized Porous Gas Bearing

Eung Kyo Han · Ki Choong Kim and Soon Sang Park

### Abstract

The porous materials are used both to control the flow of the compressed gas and to serve as the bearing surface. This porous design offers several advantages over the conventional externally pressurized gas bearings. It can simplify the construction, lower the gas consumption, and make the cleaning of the gas supply less critical.

Test apparatus was constructed to experimentally investigate maximum load capacity of thrust bearing was measured 200 Kg (15 Kg/ $\mu\text{m}$ ), and radial bearing was 36 Kg/ $\mu\text{m}$ . And a rotation accuracy of face waviness was 0.0127  $\mu\text{m}$ , and center waviness was measured 0.5  $\mu\text{m}$ .

Finally, the use of this method of design and manufacturing will contribute to many practical application in the field required for precision and high stability.

### 1. 緒 論

最近半導體製造機械·電子部品の加工機械·精密測定機械·旋盤主軸 등에 關한 技術이 rapidly 發展되고 있다. 이러한 製造技術의 基盤에는 길이·形狀·運動·制御에 關한 精度의 超精密化가 要求되며, 이 精度의 超精密化를 達成하기 위해서는 機械의 運動을 지탱하는 Bearing의 高精度化가 必要하다. 이에 가장 適合한 것이 바로 空氣 Bearing으로써, 空氣 Bearing은 Bearing 摩擦係數와 發熱이 작고 高精度의 運動性能을 지니고 있는 등 다른 形式의 Bearing에 없는 우수한 特性을 지니고 있으며, 수  $\mu\text{m}$ 에서 수십  $\mu\text{m}$ 의 작은 Bearing clearance 사이에 空氣膜을 形成하여 荷重을 支持하고 軸과 Bearing을 非接觸으로 支持하는 Bearing이다. 그 空氣膜의

形成方法에 따라서 靜壓型和 動壓型이 있으며 靜壓型은 外部에서 壓縮機에 의해 壓縮된 空氣를 Bearing에 供給하여 空氣膜을 強制的으로 形成하는 것이며, 動壓型은 軸 또는 Bearing의 回轉에 의해 Bearing 자신이 空氣膜을 形成하는 Bearing이다.

따라서 靜壓型에서는 軸이 静止하여도 給氣 되어지면 서로 接觸되지 않으나, 動壓型에서는 低速回轉의 경우 空氣膜의 形成이 充分치 않아 軸과 Bearing이 接觸되어 磨耗가 생기는 것이 問題가 된다.

森美郎<sup>1)</sup>은 Flat and solid ring surface를 갖게 하여 精度上의 問題를 解決하는 方法을 發表하였으며, M. OKANO<sup>2)</sup>는 低溫으로 動作하는 遠心形壓縮機가 超高速으로 安定하게 回轉하는 多孔質靜壓空氣 Bearing에 대하여 研究하였으며, 金<sup>3)</sup>은 多孔質材를 이용한 Bearing을 小形部品 精度測定機器回轉 Table의 性能에 關한 研究를

\* 漢陽大學校 教授

\*\* 漢陽大學校 教授

\*\*\* 漢陽大學校 大學院

하였다.

이상과 같이 우리나라에서는 金<sup>3</sup>이 처음 發表하였으나 외국에서는 이미 많은 研究를 하고 있으며, 高精度測定機器나 旋盤, 研削盤, Drill 등 超精密加工機械의 主軸에 應用되고 있다.

多孔質 靜壓空氣 Bearing 은 靜壓型에 속하는 것으로서, Bearing 面에 通氣性을 갖는 多孔質材料(Bronze, Aluminium, Stainless 및 Titanium系의 金屬材料와 黑鉛이나 Alumina, Ceramic 等の 非金屬材料)를 利用하여 이 多孔質材料의 抵抗이 給氣 orifice의 役割을 하도록 Bearing 面에 수많은 微細한 구멍을 形成하고 있어, 高精度測定機의 回轉 Table에 이 多孔質材料를 使用하면 高負荷容量과 安定性이 높은 Bearing 性能을 얻을 수 있으며, 종래의 orifice形(多孔 靜壓) Bearing 이 갖는 給氣孔의 製作上的 難點 및 高速時에 安定性이 낮은 것등의 短點을 배제한 靜壓空氣 Bearing의 理想的인 給氣形態라고 볼 수 있다.

本 研究에서는 이와같이 空氣 Bearing의 利點을 活用하고 實用化하였다. 測定機器를 高精度 및 高機能化시킬 경우 이 多孔質靜壓空氣 Bearing을 應用하여 精密測定器用 回轉 Table을 實際로 設計, 製作하고 이것을 종래의 機構와 다른 多孔質材料를 그 Bearing에 採用하고 있다는 점이 커다란 特徵이 되겠다. 따라서 高精度化하는데 心然的으로 要求되는 各 部品의 精度測定과 通氣流量測定 및 負荷特性, 回轉精度 등 Bearing이 갖는 特性測定을 하였으며 특히 回轉精度測定에서는 半徑方向의 흔들림에 대해서 位相差法에 의한 評價를 행하였기에 이를 報告한다.

## 2. 多孔質 靜壓空氣 Bearing의 理論

### 2-1. Thrust 空氣 Bearing의 理論<sup>1,5,6,9)</sup>

解析을 함에 있어 使用한 假定은 다음과 같다.

- ① 多孔質材料의 Bearing 面 以外로부터의 空氣의 流出은 없다.
- ② 多孔質材料內의 抵抗은 表面의 choking에 의한 抵抗에 비해 극히 적기때문에 이것을 무시한다.
- ③ Bearing clearance 內의 흐름상태는 層流이다.
- ④ 흐름에 미끄럼은 생기지 않는다.
- ⑤ Journal 과 Bearing 과의 相對速度는 없다.

⑥ 空氣의 慣性效果는 無視한다.

Fig. 1은 한쪽면 choking한 Thrust 空氣 Bearing의 模型을 나타낸 것이다. 機械加工으로 생긴 choking에 의한 抵抗을 orifice管에 對應시켜서 그것을 各各 한쪽면 choking에 대해서 流量, 壓力分布 및 負荷容量을 나타내는 理論式을 導入시켰다.

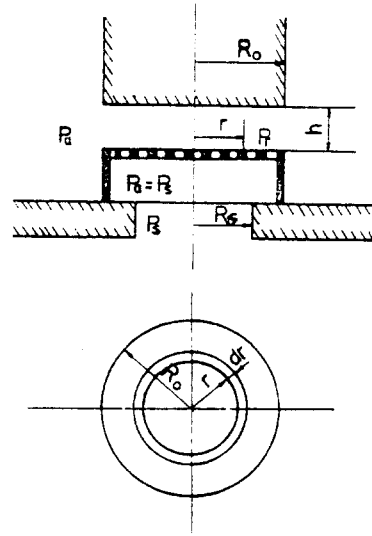


Fig. 1. Model of one-side choking porous thrust gas bearing.

#### 1) Bearing clearance 內의 壓力分布

$$\frac{P_r}{P_s} \geq \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}} \quad \text{일때}$$

$$\frac{d^2 P_r^{\frac{n+1}{n}}}{dR^2} + \frac{1}{R} \frac{dP_r^{\frac{n+1}{n}}}{dR} + \Lambda_s \sqrt{\left( \frac{P_r}{P_s} \right)^{\frac{2}{k}} - \left( \frac{P_r}{P_s} \right)^{\frac{k+1}{k}}} = 0 \quad \dots \quad (1)$$

$$\frac{P_r}{P_s} < \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}} \quad \text{일때}$$

$$\frac{d^2 P_r^{\frac{n+1}{n}}}{dR^2} + \frac{1}{R} \frac{dP_r^{\frac{n+1}{n}}}{dR} + \Lambda_s \sqrt{\frac{k-1}{k+1} \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{2}{k-1}}} = 0 \quad \dots \quad (2)$$

- $P_r$  : bearing film pressure
- $P_s$  : supply pressure
- $\Lambda_s$  : bearing number
- $k$  : ratio of specific heats of the gas
- $n$  : polytropic exponent

여기서

$$P = \frac{r}{R_o}, \quad P_r = \frac{P_r}{P_a}, \quad P_s = \frac{P_s}{P_a}$$

$$\Lambda_s = \frac{n+1}{n} \frac{12\mu CS \nu R_o^2 P_s}{h^3 r_a \sqrt{RT_s}} \sqrt{2g \frac{k}{k-1}} \dots \dots \dots (3)$$

- $r$  : radius of thrust bearing in the reference coordinates
- $R_o$  : radius of the thrust bearing
- $\mu$  : absolute viscosity
- $c$  : discharge coefficient
- $s$  : orifice area
- $h$  : bearing clearance
- $\nu$  : number of orifice for a unit area

2) 體積流量 : Q

境界條件

$R = 0$  일때  $dP_r / dR = 0$ ,  $R = 1$  일때  $P_r = 1$  多  
孔質 Bearing 을 통과하는 空氣의 總重量 G는

$$G = 2\pi CS \nu \sqrt{\frac{P_s}{RT_s}} \int_0^{R_o} k_r \cdot r dr \dots \dots (4)$$

- $R$  : gas constant
- $T_s$  : supply temperature of gas
- $k_r$  : velocity coefficient

式(4)를 特性數  $\Lambda_s$  를 利用하여 體積流量 Q로 나타 내면

$$Q = \frac{n}{n+1} \frac{\pi h^3 P_a}{6\mu} \Lambda_s \int_0^1 \sqrt{\left(\frac{P_r}{P_s}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P_r}{P_s}\right)^{\frac{k+1}{k}}} R dR \dots \dots \dots (5)$$

또한 Bearing clearance  $h_o$  일때의 體積流量을

$Q_o$  라 하면, Bearing clearance  $h$  일때의 體積流量  $Q$ 는  $\Lambda_s$  와  $P_s$  가 一定할 경우에는

$$Q = \left(\frac{h}{h_o}\right)^3 Q_o \dots \dots \dots (6)$$

3) 負荷容量 : W

$$W = 2\pi R_o^2 P_a \int_0^1 (P_r - 1) R dR \dots \dots (7)$$

2-2. Radial 空氣 Bearing 의 理論

Fig. 2는 Bearing clearance內的 軸方向 및 圓周方向의 平均速度 U, W는 粘性의 公式으로부터

$$\left. \begin{aligned} U &= -\frac{h^2}{12\mu} \frac{\partial P}{\partial X} \\ W &= -\frac{h^2}{12\mu} \frac{\partial P}{\partial Z} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (8)$$

$$h = Cr(1 - \epsilon \cos \theta)$$

$\epsilon$  : eccentricity ratio

과 같이 주어진다.

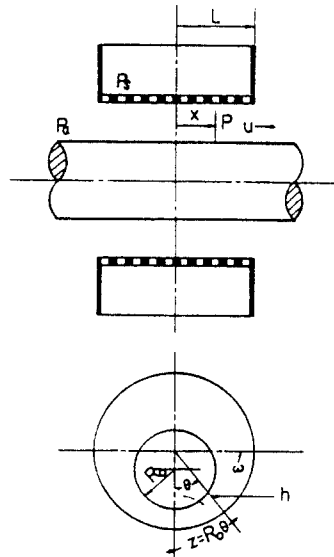


Fig. 2. Model of one-side choking porous radial gas bearing.

1) Bearing clearance 内の 壓力分布

$$\frac{P}{P_s} \geq \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}} \text{ 일 때}$$

$$H^3 \frac{\partial^2 P}{\partial X^2} + \frac{\partial H^3}{\partial \theta} \frac{\partial P}{\partial \theta} +$$

$$H^3 \frac{\partial^2 P}{\partial \theta^2} =$$

$$-Y_s \sqrt{\left( \frac{P}{P_s} \right)^{\frac{2}{k}} - \left( \frac{P}{P_s} \right)^{\frac{k+1}{k}}} \dots \dots (9)$$

$$\frac{P}{P_s} < \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}} \text{ 일 때}$$

$$H^3 \frac{\partial^2 P}{\partial X^2} + \frac{\partial H^3}{\partial \theta} \frac{\partial P}{\partial \theta} +$$

$$H^3 \frac{\partial^2 P}{\partial \theta^2} =$$

$$-Y_s \sqrt{\frac{k-1}{k+1} \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{2}{k-1}}} \dots \dots (10)$$

$H = \frac{h}{C_r}$  : dimensionless bearing clearance

$X = \frac{x}{R_o}$  : dimensionless radius

$X, \theta$  : coordinates

$Y_s$  : bearing number

여기서

$$X = \frac{x}{R_o}, \theta = \frac{z}{R_o}, P = \frac{P}{P_a}, P_s = \frac{P_s}{P_a}$$

$$H = \frac{h}{C_r}$$

$$Y_s = \frac{n+1}{n} \frac{12 \mu C S \nu R_o^2 P_s}{C_r^3 r_a \sqrt{|R T_s}} \sqrt{2g \frac{k}{k-1}}$$

..... (11)

$C_r$  : bearing radial clearance

$Z = R_o \theta$  : coordinates

2) 體積流量 : Q

$$Q = \frac{n}{n+1} \frac{1}{3\mu} C_r^3 P_a Y_s$$

$$\int_0^\pi \int_0^{R_o} \sqrt{\left( \frac{P}{P_s} \right)^{\frac{2}{k}} - \left( \frac{P}{P_s} \right)^{\frac{k+1}{k}}} dx d\theta$$

..... (12)

3) 負荷容量 : W

$$W = 4 P_a R_o^2 \int_0^\pi \int_0^{R_o} (P-1) \cos \theta dx d\theta$$

..... (13)

### 3. Bearing 의 構造 및 實驗裝置

Photo. 1은 Bearing 의 構成部品을 나타낸 것이다. Thrust Bearing部에 1個, Radial Bearing 部에 2個의 多孔質材를 配置한 構造의 多孔質 靜壓空氣 Bearing 과 回轉軸을 構成하고 있다.

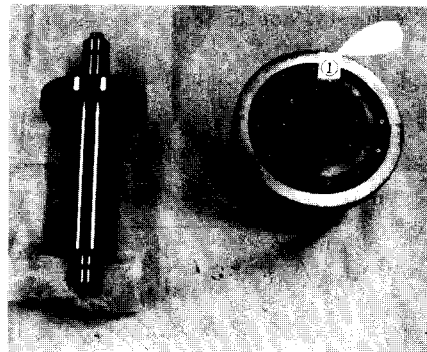
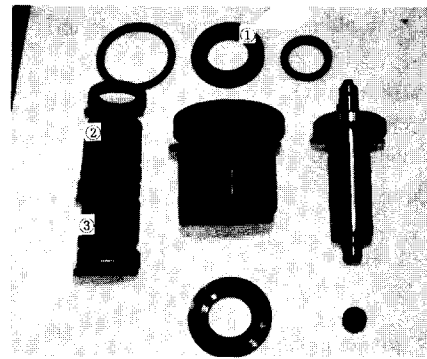
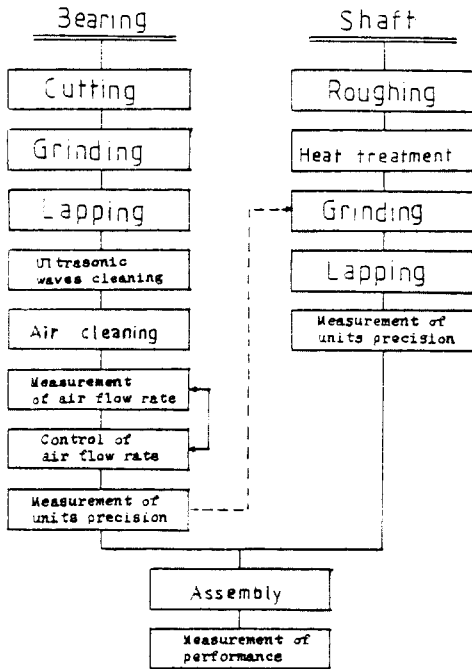


Photo. 1. A Exploded view of the gas bearing rotary table.

(Photo.1의 ①, ②, ③이 多孔質 Bearing 部) 多孔質材料는 加工性이 양호하며, 公稱 孔徑  $2\mu m$  의 Bronze 係(Cu 90%, Zn 10%) 多孔質材料를 使用하였으며 Bearing 및 回轉軸의 加工工程을 Table 1과 같이 行하였다.

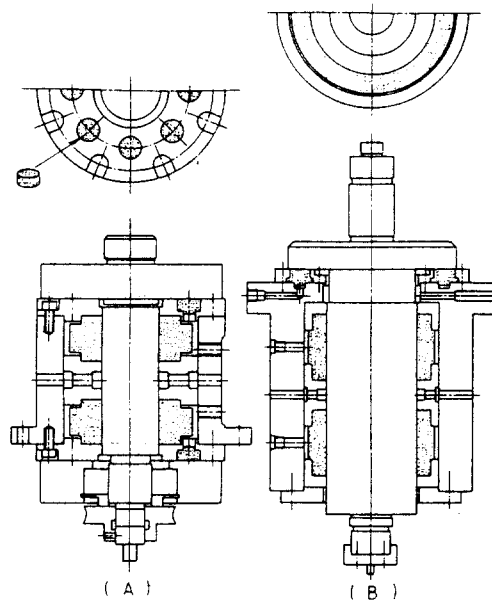
**Table 1. Manufacturing process of porous gas bearing and shaft**



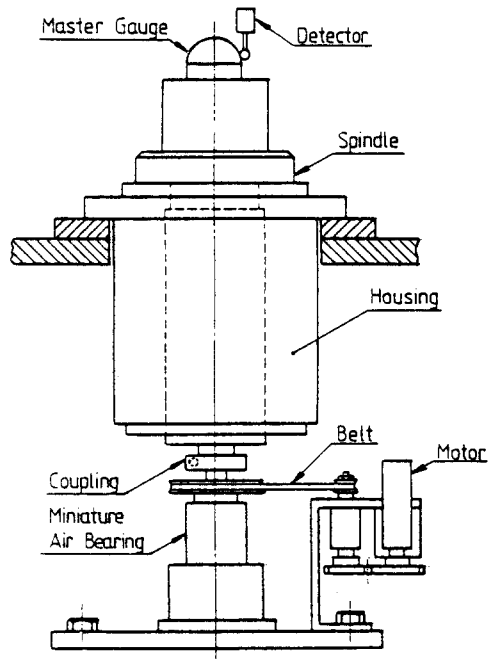
이러한 工程을 거친 후에 각각 組立하였으며, 그때의 回轉 Table 의 斷面圖를 Fig. 3에 나타냈다. 壓縮空氣는 Filter 및 Regulator 를 통해서 Bearing 部에 供給된다. 供給된 空氣는 Housing 部를 통해 多孔質 Bearing 에 流入하고, Bearing 表面에서 교축되고 放出되어 Bearing clearance 를 통해 大氣中으로 放出된다.

그리고 A type 의 斷面圖는 金<sup>9)</sup>이 發表한 것으로서 Thrust Bearing 部에 8개 hole 속에 多孔質材料를 집어넣었으며(回轉軸 直徑  $\phi 20\text{ mm}$ ), B type 는 A type 를 改良한 것으로서 Thrust Bearing 全體를 多孔質材料로 使用한 것으로서 本試作品은 B type 로 하였고(回轉軸 直徑  $\phi 80\text{ mm}$ ) 本研究는 Thrust Bearing 部를 全面 多孔質(B type)로 하고 直徑이 A type 보다 크게 할때 負

荷容量과 回轉精度에서 어느정도 性能의 차이가 있는가를 比較하였다.



**Fig. 3. Schematic diagram of the rotary table**



**Fig. 4. The experimental construction of the rotary table**

Fig. 4는 製作한 Spindle과 驅動裝置를 設置하고 있으며 Fig. 5는 裝置의 Block diagram이다. 이 負荷特性과 回轉精度를 測定하기 위한 裝置를 나타내

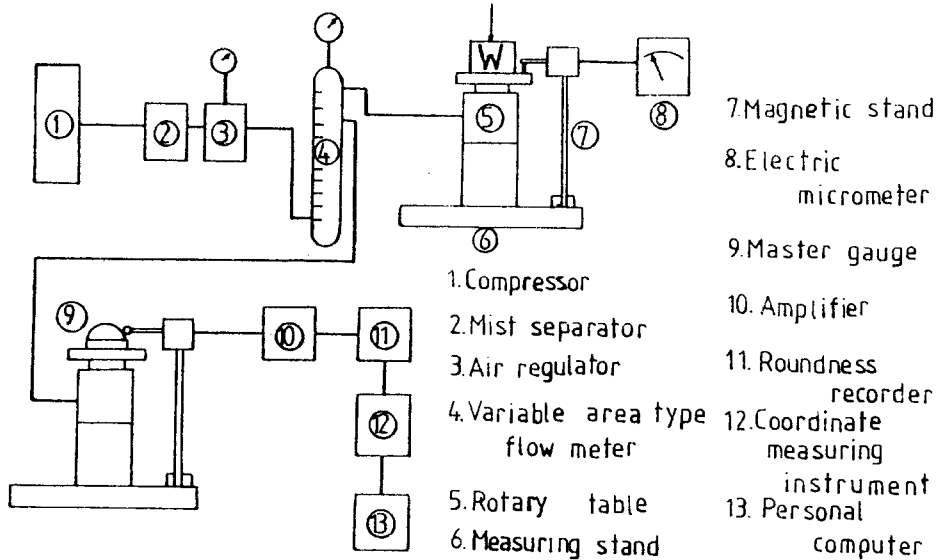


Fig. 5. Block diagram of experimental equipments for the measurement of thrust loading capacity and rotation accuracy

驅動裝置에서 Motor의 回轉을 V-Belt로 小型靜壓空氣 Bearing에 傳達한다. 특히 驅動裝置의 振動을 本體에 傳達되지 않도록 coupling에 多孔質材를 使用하여 서로 接觸되지 않는 상태에서 回轉軸에 傳達하게 하였으며, spindle의 回轉速度는 5 rpm이다. Radial Bearing 部の 給氣流量을 測定한 結果 壓力  $7 \text{ kg/cm}^2$ 을 給氣할 때 空氣流量은  $14.2 \text{ Nl/min}$ 이 되었으며, Thrust Bearing 部の 給氣壓力을  $6 \text{ kg/cm}^2$ 으로 하였을 때 流量은  $7.6 \text{ Nl/min}$ 이 되었다. 負荷를 가하지 않을 때의 Bearing clearance는 Radial Bearing 部가  $9 \mu\text{m}$ 이고, Thrust Bearing 部는  $18.63 \mu\text{m}$ 가 되었다.

#### 4. 部品の 精度測定과 性能測定

##### 4-1. 部品の 精度測定

回轉 Table의 部品形狀精度는 곧 回轉精度에 커다란 影響을 미친다. 따라서 各 部品은 高精度가 要求된다. 따라서 實驗에 使用한 回轉 Table의 部品

Table 2. Measuring accuracy of parts (Rotary table)

	No.	Shaft	Bearing
Roundness ( $\mu\text{m}$ )	1	0.15	0.55
	2	0.15	0.70
	3	0.15	1.00
	4	0.15	0.80
	5	0.15	0.55
	6	0.15	0.55
	mean	0.15	0.68
Squareness ( $\mu\text{m}$ )		0.10	0.80
Diameter ( $\mu\text{m}$ )		79.975	79.993
Surface roughness ( $\mu\text{m}$ )	1	0.37	1.65
	2	0.25	1.60
	3	0.32	1.25
	4	—	1.60
	5	—	1.12
	6	—	1.45
	mean	0.31	1.73
Remarks			

가운데 軸 및 Bearing 部의 直徑, 眞圓度, 同軸度, 直角度, 平面度を 測定한 結果를 Table 2에 表示하였다.

Bearing 部의 直徑은 79.993 mm였으며 眞圓圖 및 同軸度, 直角도는 매우 양호한 편이었다. 즉 高精度의 回轉性能을 얻는데는 만족스러운 精度이다. 또한 表面거칠기를 測定한 結果 軸과 Bearing 部는 각각  $0.31 \mu m$ ,  $1.44 \mu m$ 가 되었으며, 여기에 사용한 測定器는 日本 小坂製 SE-3H 表面거칠기와 EC-10 精密型 眞圓度測定器이다. (Photo 2)

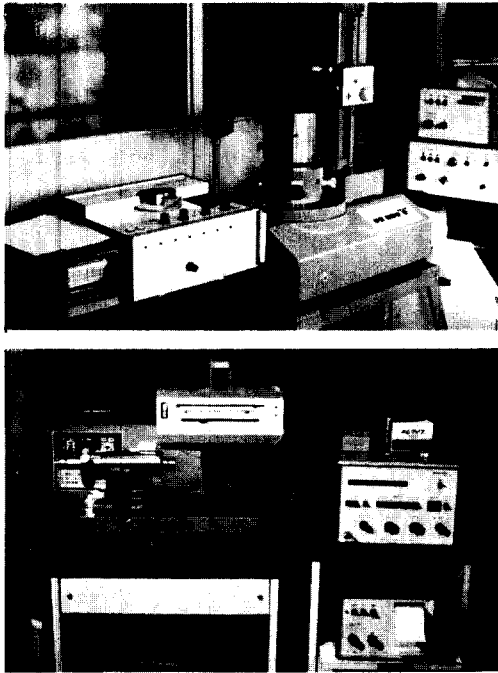


Photo. 2. Measurement of the roundness and surface roughness.

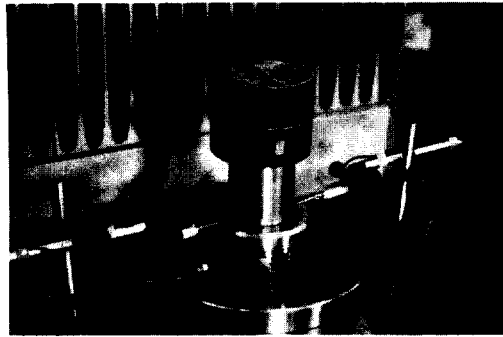


Photo 3. Measurement of the thrust loading capacity.

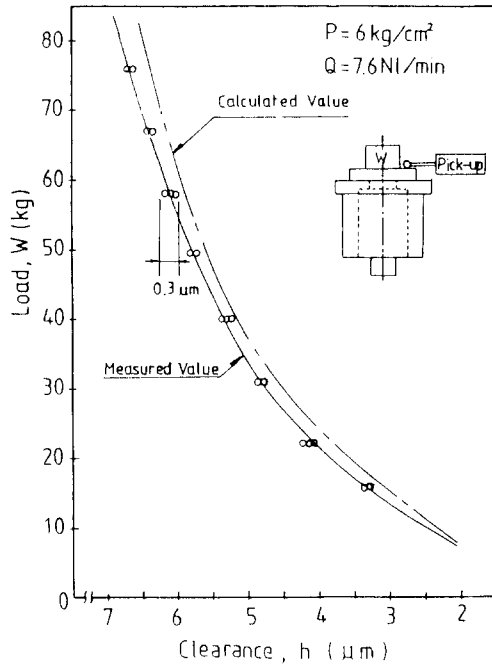


Fig. 6. Thrust loading capacity

4-2. 負荷特性測定

4-2-1. Thrust Bearing의 測定方法과 結果

靜的狀態에서 回轉 Table 위에 荷重을 가해서 그때의 Thrust Bearing의 clearance를 回轉 Table 面에 接觸시킨 電氣 Micro meter 에 의해서 測定하였다. (Photo 3) 그 結果 Thrust Bearing 部에 給氣壓力을  $6 kg/cm^2$ 로 하였을 때 그때의 負荷容量은  $15 kg/\mu m$ 이 되었다. Fig. 6은 測定要領과 結果이다.

4-2-2. Radial Bearing의 測定方法과 結果

回轉軸의 上下部에 荷重을 가하여 그때의 變位를 回轉軸에 설치한 2個의 電氣 Micro meter로 測定하였다. (Photo 4)

그 結果 Radial Bearing 部에 電氣壓力을  $7 kg/cm^2$ 으로 하였을 때 그때의 負荷容量은  $36 kg/\mu m$ 이 되었다. Fig. 7은 測定要領과 結果이다.

또한 Radial Bearing 部의 角剛性은 回轉軸



Photo. 4. Measurement of the radial loading capacity

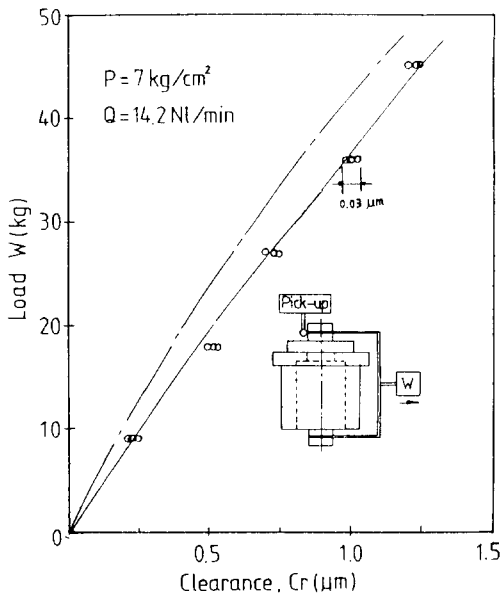


Fig. 7. Radial loading capacity

上部에 16 mm 떨어진 기점에 電氣 Micro meter 를 設置하여 回轉軸 위에 荷重을 가하여 그때의 變位를 測定하였다( Photo 5). 그 結果, 角剛性은  $3 \text{ kg}/\mu\text{m}$  이 되었다.( Fig. 8)

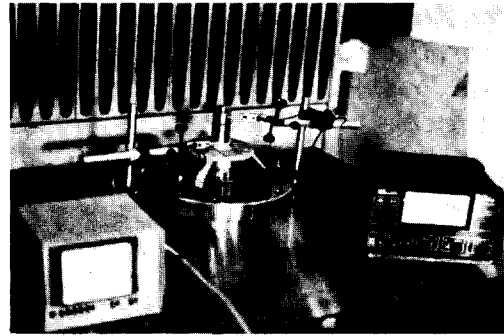


Photo. 5. Measurement of the angle rigidity

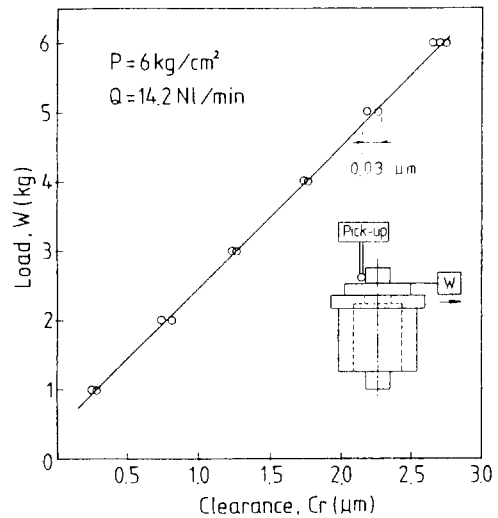


Fig. 8. The angle rigidity

#### 4-3. 回轉精度的 測定方法과 結果

##### 4-3-1. 半徑方向의 흔들림

Fig. 4 에 나타내듯이 回轉 Table 위에 眞圓度測定器用 Master gauge 를 設置하여 stylus 檢出器를 使用하여 測定하였다. 그것은 Master gauge 의 形狀精度를 제거한 回轉 Table 의 半徑方向흔들림을 얻기 위해 回轉軸과 Master gauge 의 各位相 ( $0^\circ$ ,  $30^\circ \sim 330^\circ$ ) 의 圓形記錄 Data 를 利用하여



아래와 같은 순서로 處理, 그 結果를 記錄한 것이다.

- ① 檢出器의 位置는 固定시키고, Master gauge 와 回轉軸의 位相을 30°씩 나누어서 0°, 30° ~ 300°, 330°로 測定한다.( Fig. 9 )
- ② 各位相의 圓形記錄에 대해서 Master gauge 의 再現이 좋은 特徵인 그 點을 起點으로 하여 10° peak의 36점 (Na1 ~ Na 36)의 記錄紙 上의 座標測定器를 使用하여 座標值를 얻는다.
- ③ 얻어낸 各點의 座標值로부터 最小自乘法에 의한 平均圓을 구하고, 그 圓과 各點과의 半徑方向 偏差를 구한다.
- ④ 全 位相의 Data로부터 各 Na의 點에 關한 偏差를 Personal Computer 에 入力시켜서 graph 를 얻어낸다.( Fig. 10 )

- ⑤ 各點의 偏差의 最大值와 最小值의 差를 구한다. 이 差가 바로 Master gauge 의 形狀精度를 제거한 spindle 의 半徑方向 흔들림이다. ( Table 3 )

이와같은 順序로 얻은 結果 No 1 ~ Na 36 의 半徑方向의 흔들림 平均値는 0.0127  $\mu m$  이었으며 흠어짐은  $3\sigma = 0.012 \mu m$  이었다. 또한 測定系의 Drift를 포함한 反復性을 確認하는 경우 同一角度에서 5回 反復測定한 경우의 半徑方向 흔들림은 0.02  $\mu m$  이었다. 이때 圓形記錄計의 倍率은  $\times 61,000$  배이어서 變位信號를 直接 A/D 變換시켜 Data 處理를 하면 半徑方向 흔들림의 흠어짐은 작게 된다.

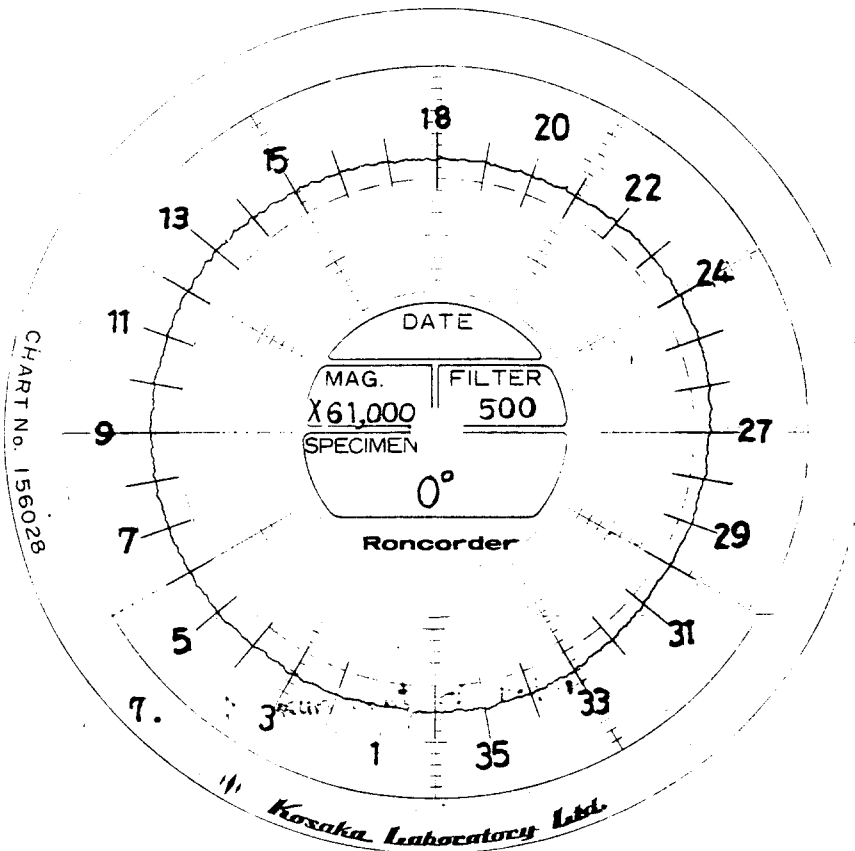


Fig. 9. Waviness of rotary table

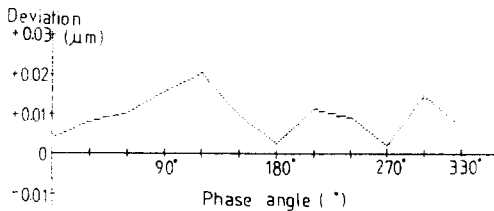


Fig. 10. Relationship between the phase angle and the deviation.

Table 3. A rotation accuracy of face waving.

AAW1 1) = .019099	SBMIN 1) = 1.8640E-03	DEF 1 1) = .0179258
AAW1 2) = .0172453	SBMIN 2) = 1.96857E-03	DEF 1 2) = .0153967
AAW1 3) = 9.50404E-03	SBMIN 3) = -3.17201E-03	DEF 1 3) = .0126761
AAW1 4) = 9.95634E-04	SBMIN 4) = -9.82397E-05	DEF 1 4) = .0160196
AAW1 5) = 1.74577E-03	SBMIN 5) = -.0139851	DEF 1 5) = .0157508
AAW1 6) = -2.20908E-03	SBMIN 6) = -.0163962	DEF 1 6) = .0141871
AAW1 7) = -2.83543E-03	SBMIN 7) = -.0182154	DEF 1 7) = .0153818
AAW1 8) = -4.05833E-03	SBMIN 8) = -.0131189	DEF 1 8) = 9.08054E-03
AAW1 9) = 4.05971E-03	SBMIN 9) = -7.86647E-03	DEF 1 9) = .0119257
AAW1 10) = .0181797	SBMIN 10) = -8.27914E-04	DEF 1 10) = .0190176
AAW1 11) = .0122389	SBMIN 11) = -2.29893E-03	DEF 1 11) = .0145379
AAW1 12) = .0155197	SBMIN 12) = 5.23503E-03	DEF 1 12) = .0122844
AAW1 13) = .0124824	SBMIN 13) = 2.53621E-03	DEF 1 13) = 9.94617E-03
AAW1 14) = 5.85048E-03	SBMIN 14) = -8.31147E-03	DEF 1 14) = .0149222
AAW1 15) = 4.5454E-04	SBMIN 15) = -9.80464E-03	DEF 1 15) = .0102633
AAW1 16) = 3.13968E-03	SBMIN 16) = -.0123337	DEF 1 16) = .0194754
AAW1 17) = -8.8379E-04	SBMIN 17) = -.0123105	DEF 1 17) = .0119268
AAW1 18) = 7.10094E-04	SBMIN 18) = -.0121666	DEF 1 18) = .0128767
AAW1 19) = 7.48293E-03	SBMIN 19) = -6.17399E-03	DEF 1 19) = .0126569
AAW1 20) = .0095218	SBMIN 20) = 2.54797E-03	DEF 1 20) = .0120498
AAW1 21) = .0138004	SBMIN 21) = 3.00548E-04	DEF 1 21) = .0141009
AAW1 22) = .0154948	SBMIN 22) = 1.26253E-03	DEF 1 22) = .0141523
AAW1 23) = .0153774	SBMIN 23) = 1.39379E-03	DEF 1 23) = .0137816
AAW1 24) = .0158852	SBMIN 24) = 6.44684E-04	DEF 1 24) = .0152105
AAW1 25) = .0102053	SBMIN 25) = 8.52679E-04	DEF 1 25) = 9.35244E-03
AAW1 26) = .0057036	SBMIN 26) = -8.26647E-03	DEF 1 26) = .0119663
AAW1 27) = 1.17543E-03	SBMIN 27) = -.0122209	DEF 1 27) = .0145962
AAW1 28) = -3.74633E-03	SBMIN 28) = -.0123448	DEF 1 28) = 8.41828E-03
AAW1 29) = 7.82632E-03	SBMIN 29) = .0164283	DEF 1 29) = 8.60214E-03
AAW1 30) = -6.71049E-03	SBMIN 30) = -.0207408	DEF 1 30) = .0140303
AAW1 31) = -4.64586E-03	SBMIN 31) = -.0171133	DEF 1 31) = .0124677
AAW1 32) = -1.7287E-03	SBMIN 32) = -9.79199E-03	DEF 1 32) = 8.02812E-03
AAW1 33) = 7.62126E-03	SBMIN 33) = -4.88037E-03	DEF 1 33) = .0125016
AAW1 34) = .0140211	SBMIN 34) = 4.13483E-03	DEF 1 34) = 9.86625E-03
AAW1 35) = .019937	SBMIN 35) = .0114854	DEF 1 35) = 8.45162E-03
AAW1 36) = .0182322	SBMIN 36) = 8.04372E-03	DEF 1 36) = .0122105

\*\*\*\*\* ROTARY ACCURACY \*\*\*\*\*  
 ROTARY ACCURACY = .0126824  
 \*\*\*\*\* DEF MAX AND MIN \*\*\*\*\*  
 DEF MAX = .0190976 DEF MIN = 8.02812E-03

4-3-2. 軸方向的 흔들림

회전축 위에 Master gauge 를 얹어놓고 檢出器의 探觸子を Master gauge 의 中心에 맞춘다음 軸을 回轉시켰을때 그때의 圓形記錄을 最小領域法으로 읽은 結果 0.05 μm 를 얻었다. 半徑方向的 흔들림보다 낮은 理由는 探觸子を Master gauge 의 中心에 精確하게 맞추기가 어렵기 때문이다.

5. 結 論

以上の 實驗으로부터 다음과 같은 結論을 얻었다.

①試作한 全面多孔質 空氣 Bearing 을 利用한 回轉 Table 은 軸의 半徑方向 흔들림이 0.013 μm 軸方向의 흔들림이 0.05 μm 이었다.

一般的으로 精密測定器 回轉 Table 의 性能評價에 있어, 高精度範圍에 속하며, 回轉精度面에 있어, 부분 多孔質 空氣 Bearing (A type) 을 利用한 回轉 Table 에 비해 10 배 정도 높았다.

②最大 使用負荷容量은 約 200 kg (15 kg/μm) 으로써, 容量面에 있어서는 A type 보다 15 배 정도 높아, 小型部品測定에서 大型部品測定도 可能하다.

Reference

- 森 美郎, 失部 寛, 小野孝之, 山田 宏.  
" 多孔質靜壓氣體スラスト軸受の研究 " 日本機械學會論文集(第3部), 30卷 211號(昭39-3), pp. 421 ~ 426.
- 岡野 眞, 十合晋一.  
" 多孔質靜壓氣體軸受の研究 第三報 - 多孔質ラツアル氣體軸受の靜的性能 " 日本電子技術總合研究所彙報 第40卷 第3號(1976)別刷
- 金詰熙, 韓應教.  
" 多孔質靜壓氣體 Bearing 式 回轉 Table 의 性能에 關한 研究 " 大韓機械學會 1982 年度春季學術大會(抄錄集)
- Dae-Chen Sun, "On the stability of Gas Lubricated Porous Thrust Bearings," Journal of Lubrication Trans ASME. Series F. April, 1975. pp. 332-334.
- Mori, H., Yabe, H., "Theoretical Investigation of Externally Pressurized Gas-Lubricated Porous Bearing with surface-loading effect," Journal of Lubrication. Trans. ASME. April, 1973. pp. 195-203.
- 松本文雄, 小美濃武久.  
" 新しい精密測定機器 I " 菱光技報 第19卷 221, 222號(昭和57), 5月, 6月號
- B.C. Majumder, "Dynamic characteristics of Externally Pressurized Rectangular Porous Gas Thrust Bearings," Journal of Lubrication

- Tec. Trans. ASME, Jan, 1976, pp. 181-186.
8. Erch-Rong Wu, Vittorio Castelli, "Gas-Lubricate Porous Bearings-Ininitely Long Journal Bearings Steady-state Solution," Journal of Lubrication Technology, Trans. ASME. July, 1976, pp. 453-462.
9. 十合晋一, 岡野 眞, 川田正國.  
"最近の 氣體軸受技術 " 潤滑 第24卷, 第9號(1979), pp. 567 ~ 572.