

## 3-조오 척의 動的 把握力에 관한 研究

박태원\*, 堤正臣\*\*, 渡嘉敷潔\*\*\*

### Stydy on the Dynamic Gripping Force of a 3-Jaw Chuck

Tae Won Park,\* Masaomi Tsutsumi,\*\* Isagiyo Tokasiki\*\*\*

#### Abstract

In order to reduce the possibilities of personnel injuries and damages to machines and to obtain higher efficiency and machining accuracy in the manufacturing system, the chucking technology has recently become important. The chucking technology of work greatly affects both the geometrical accuracy and functional performance of the workpiece. In this study, the dynamic gripping force of a 3-jaw power chuck is investigated on the factors of the shape of jaw and the shape of workpiece. From this investigation, the following observations are obtained.

- 1) The higher stiffness of workpiece is, the higher decrease of dynamic gripping force is.
- 2) The nearer to the root of jaw is, the higher decrease of dynamic gripping force is.
- 3) The centrifugal force of affecting the decrease of dynamic gripping force has to be considered in the centrifugal force of affecting jaw.

#### 1. 서론

최근 기계가공의 고능률화와 고정도화를 위하여 공작기계의 고속화의 요구가 해가 갈수록 높아지고 있다. 특히 터닝센터(Turning Center)에 있어서도 주축회전수가 1만 rpm 정도의 고속화, 고출력화와 함께 공구의 고속, 중절삭을 향한 성능 향상이 진전되어 가고 있으나, 기계-공작물-공구의 절삭 시스템 중에서 기계와 공작물을 연결하는 인터페이스로서, 고

속화된 척의 개발이 늦어져서 기계의 고속화를 저해하는 하나의 요인으로 지적되어 지고있다.<sup>1)</sup>

척에 있어서 고속화를 저해하는 가장 큰 원인은 회전할 때 발생하는 파악력 저하이다.<sup>2,3,4)</sup> 특히, 고속 회전 시에는 조오(Jaw)에 원심력이 크게 발생하여 파악력이 떨어져 공작물이 흔들리기 때문에, 가공 정도의 저하와 심하게는 공작물의 이탈 등의 문제가 발생하고 있다.<sup>5,6)</sup> 이러한 원심력에 의한 파악력 저하를 고려한 내원심력기구<sup>7)</sup> (예, 카운터웨이트(Counter

\* 전주공업전문대학

\*\* 동경농공대학 기계시스템공학과

\*\*\* 동경농공대학 기계시스템공학과

Weight) 등)을 갖춘 척이 있으며, 죠오나 마스타 죠오(Master Jaw)를 CFRP로 만들어 경량화하는 대책을 고안하고 있으나, "가격이나 기능 특성면에서 만족스럽다고 볼 수 없다.

지금까지 사용되어지고 있는 척에는 톱 죠오(Top Jaw)나 마스타 죠오의 형상, 웨지(Wedge)나 크랭크(Crank)에 의한 파악력 전달기구, 수동이나 유압에 의한 파악력 발생방법, 반경방향 및 축방향 등의 파악방향에 따라 여러가지 종류가 있다. 그 중에도 컴퓨터에 의한 제조과정이 FMS화등의 무인가공 시스템이 등장하여, 공작물 자동 교환장치(Automatic Work Changer)가 이용되고 있어, 수동의 스크롤 척(Scroll Chuck)이나 단동 척보다도 파악조작을 동력에 의하는 파워 척(Power Chuck)이 표준 장비로 되어 가고 있다.<sup>10)</sup>

파워 척의 경우 최근에는 사용상 안전을 고려한 여러가지의 한계 회전속도가 제시 되고 있다.<sup>11), 12)</sup> 이것은 「회전중의 죠오에 발생하는 계산상의 원심력의 합계가 척의 최대파악력의 2/3를 초과하지 않을 것」이라는 스크롤 척의 기준<sup>12)</sup>을 거의 기준으로 하고 있으나, 척의 메이카가 메이카 나름 데로 각각의 파악력 검출기로 계산 한 값을 기준으로 하기도 한다. 그러나 파워 척의 경우가 스크롤 척의 경우 보다 파악력의 감소율이 크고,<sup>13)</sup> 동적파악력(회전중의 파악력을 말함)은 죠오의 질량이나 회전반경, 공작물의 형상이나 강성 등의 각종의 인자에 의하여 감소의 비율이 다를 것을 밝히고 있다.<sup>14)</sup> 따라서 이러한 사용기준으로는 안심하고 사용할 수 있는 한계가 불확실하기 때문에, 명확한 안전기준을 설정하기 위하여 동적파악력의 거동을 규명하는 연구가 필요하다.

지금까지의 3-죠오 척의 회전중의 파악력 저하에 관한 연구로써는 스트레인 게이지와 압전소자를 이용하는 파악력계나,<sup>15), 16), 17)</sup> 공작물의 죠오 파악부에 로드 와셔(Load Washer)와 슬립(Slip Ring)을 사용한 파악력계<sup>18)</sup>가 이용되고 있다. 그러나 이러한 파악력 검출기의 강성이 명확하지 않기 때문에 측정되어진 데이터에는 일반성이 없다.

따라서 본 연구에서는 여러가지 크기의 파악력 검

출기를 제작하여 사용하고, 죠오의 질량이나 파악위치를 여러가지로 변환시켜 3-죠오 파워 척에 관한 각종 인자와 동적파악력과의 관계를 밝히고, 동적파악력의 이론적 추정을 하는 것을 목적으로 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 척와 파악력 검출기

파워 척에는 그랭크에 의해 죠오를 구동하는 타이프와 웨지에 의해 죠오를 구동하는 웨지 타이프가 있다. 본 실험에서는 웨지 타이프를 사용했으며, 드로바(Draw Bar)에 의한 척 내의 웨지 플런저에 전달된 축 방향의 운동이, 웨지 플런저와 마스타 죠오에 설치된 웨지 부에 의하여 반경 방향의 운동으로 변환하여 파악력이 발생한다. 죠오는 Fig. 1 같이 높이 40mm, 55mm, 80mm, 105mm의 4종류를 제작하여 각각 사용하였다.

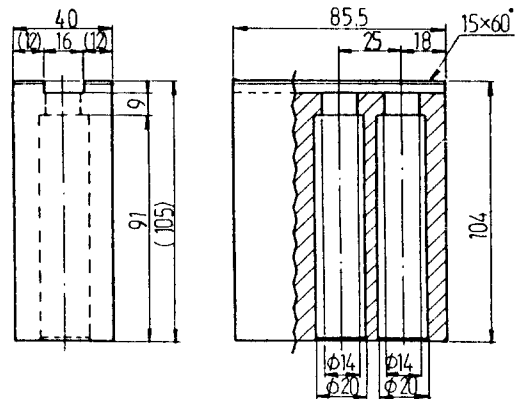


Fig. 1 Jaw

본 연구에서 개발 제작한 공작물형 검출기의 형상은 Fig. 2와 같다. 직경은 40mm, 65mm, 80mm, 100mm의 4종류로서 반경방향으로 상사형이며, 축 방향의 두께는 모두 30mm이다. 3번의 중앙에 홈을 파 내어 감도를 높게 하고, 이 부분에 스트레인 게이지를 부착하여 4-게이지법으로 측정하였다.

동적파악력의 실험장치를 Fig. 3에 나타낸다. 회전시의 파악력을 측정하기 위하여, 척 내부의 드로바

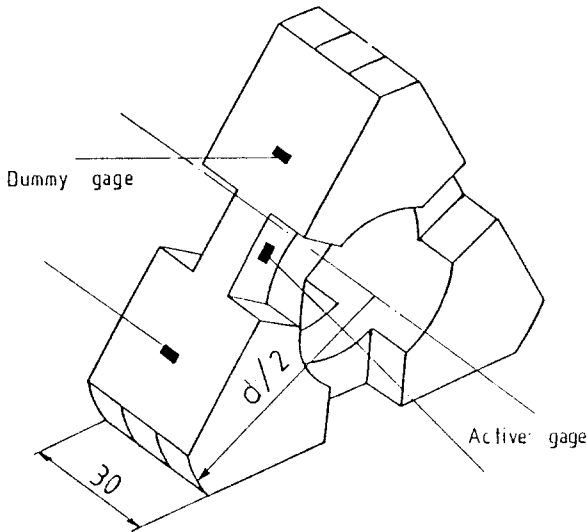


Fig. 2 Schematic diagram of gripping force detector

내에 스트레인 게이지 전용송신기와 수은전지가 넣어져 있다. 이들의 척 및 파악력 검출장치는 Fig. 4와 같이, 10000 rpm 까지 회전 가능한 척 시험 전용의 고속주축 유니트(Unit)를 부착 시켰다. 실험은 드로바의 체결용 너트를 전용 스페너를 이용하여 조금씩 회전시켜, 드로바를 미소량씩 움직여 파악력을 가했다. 이 때의 파악력은 스트레인 전용송신기의 안테나를 통하여 송신되면 수신기에서 수신하여 X-Y 레코더에 기록된다. 회전할 때의 동적파악력의 측정도 같은 방법으로 비접촉인 무선식의 동적 스트레인 게이지를 이용한다.

2. 2 실험방법

조오에 작용하는 원심력  $F_c$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$F_c = mrw^2 = (2\pi/60)^2 m r n^2 = a_c \cdot n \quad (1)$$

단,  $m$  : 질량,  $r$  : 회전반경,  $w$  = 각속도,  $n$  = 매분당 회전수,  $a_c$  = 계수

동적파악력  $F_d$ 는 초기파악력  $F_s$ 와 원심력  $F_c$ 로 부터

$$F_d = F_s - \phi F_c \quad (2)$$

이다. 단,  $\phi$  : 공작물의 강성과 조오의 파악강성 등에 의하여 결정되는 정수

본 연구에서는 이 원심력  $F_c$ 가 조오에만 작용하는가 또는 척의 각부의 영향도 포함하는가를 검토하고, 정수  $\phi$ 가 공작물이나 조오의 파악강성 등과 어떠한 관계가 있는가를 추정하기 위하여 다음과 같이 실험을 한다.

초기파악력은 5KN, 10KN, 15KN의 3가지로 변화시키고, 직경  $d=40mm$ 의 검출기에서는 15KN으로 파악하면 소성변형이 발생하기 때문에 초기파악력을 5KN, 10KN으로 하였다.

조오는 높이 ( $h$ )를 4종류로 하여 조오의 질량을 변화시키고, 검출기의 직경 ( $d$ )도 4종류로 변화시켜서 공작물의 강성을 변화시키고, 각 각 회전방향을 여러가지로 변화시키며 실험을 하였다. 이때 조오에 작용하는 원심력의 영향이 동등하다고 생각할 수 있는 조오의 중앙부 ( $h/2$ )에서 파악하는 경우와, 조오의 파악강성에 의한 영향이 같다고 생각할 수 있도록 조오의 근원에서의 거리를 동일한 위치에서 파악하는 등, 2종류에 대하여 측정하였다.

다음에  $h=105mm$ 의 조오에 파악위치를 축방향으로 3개소로 변화시면서 측정하고, 이때 파악위치는 조오의 근원에서 파악하는 검출기의 두께의 중앙까지의 거리를  $z$ 로 표시한다.

한편 회전속도는 동적파악력이 초기파악력의 1/3이 될 때까지 높였다. 먼저 예비 실험으로 증속시와 감속시의 회전속도의 변화가 급격하지 않으면 동적파악력 곡선에 히스테리시스가 생기지 않기 때문에 증속하면서 실험을 하였다. 그러나 감속 종료시의 파악력이 초기파악력과 큰 차이가 있을 때에는, 결합부 등의 접촉면에서 조오가 움직였음을 고려하여 다시 실험하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3. 1 동적파악력에 미치는 원심력의 영향

조오의 질량을 여러가지로 변화시키고 파악하는 위치를 각 각 조오의 근원에서  $z=20mm$ , 조오의 중앙부 ( $h/2$ )에서 파악하여 동적파악력을 측정한 결과는 Fig. 5와 Fig. 6과 같다. 동적파악력은 회전속도의 상

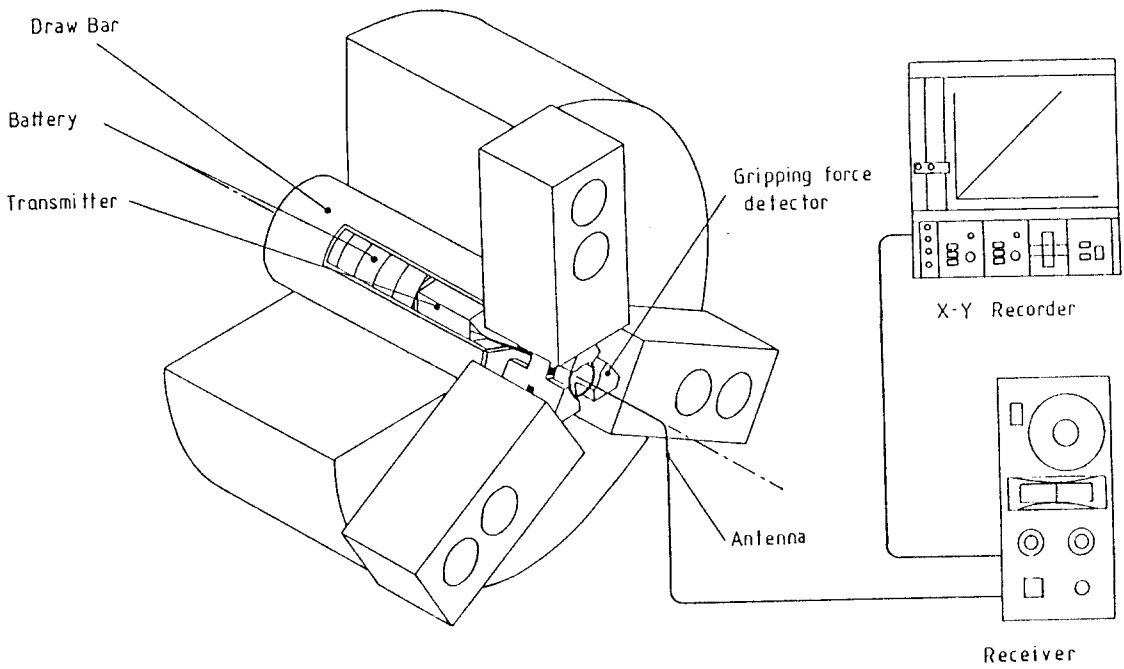


Fig. 3 Schematic diagram of experimental set-up

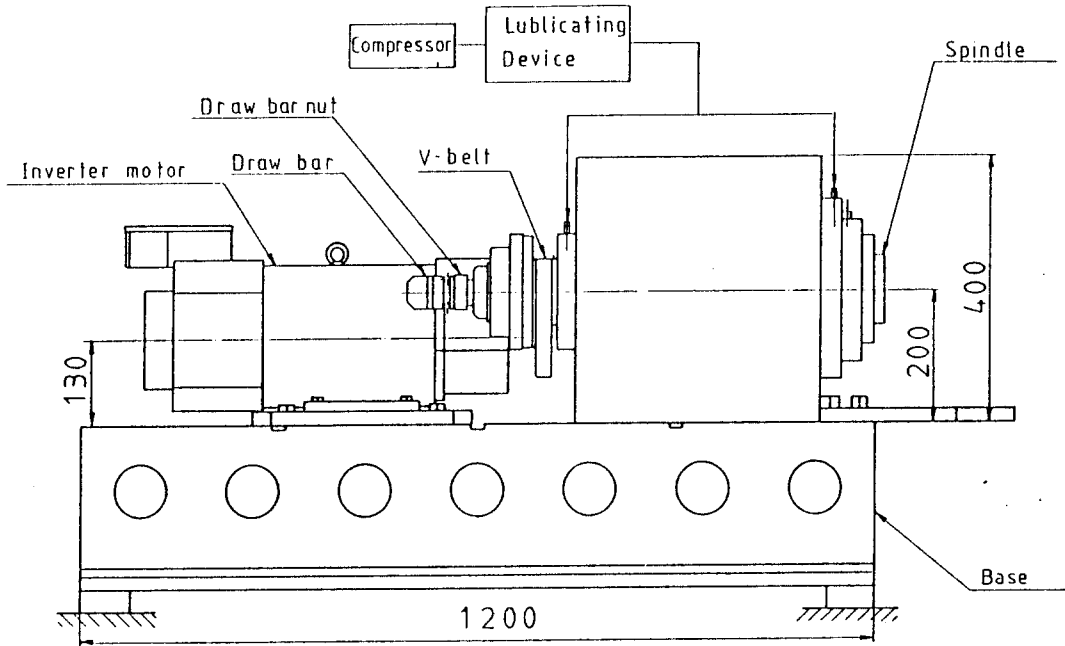


Fig. 4 Schematic diagram of high-speed experimental set-up

승과 함께 2차 곡선적으로 감소하고 있고, 조오의 질량이 증가함에 따라서 동적파악력의 감소하는 비율이 크게 되는 것을 알 수 있다. 또 양 쪽 모두 질량의 증감이 동적파악력의 감소 비율에 크게 영향을 주고 있다.

이와 같은 조오의 질량과 동적파악력과의 상관 관계를 자세히 알기 위하여, 척의 질량으로 계산한 조오에 작용하는 원심력과 실제에 회전에 의하여 감소한 파악력(감소파악력)의 관계를 검토하였다. 원심력이나 동적파악력은 회전속도에 의하여 변화하기 때문에, 조오에 작용하는 계산상의 원심력의 증가의 비율을 표시하는 양으로서는 식(1)의 계수  $a_c$ (질량모우먼트에 상당)를 이용하고, 또 동적파악력의 감소비율

을 표시하는 양으로서는 회전속도-파악력 곡선의  $n^2$ 의 계수  $a_1$ 을 이용하여 양자를 비교

여기서

$$F_1 = F_s - F_d = a_1 n^2 \quad (3)$$

이다. 단,  $F_1$ : 감소파악력,  $a_1$ : 계수

또 원심력에 대한 감소파악력의 감소 비율을 식(2)와 식(3)으로 부터 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\phi = F_1 / F_c \quad (4)$$

위의 (4) 식에 실험결과를 대입하여  $\phi$ 를 구하여, 각종 인자와 어떠한 관계가 있는가를 검토할 수 있다.

먼저 조오의 파악강성을 일정하게 하기 위하여, 조오의 근원에서의 거리가 일정한 위치( $z=20mm$ )에서 파악한 경우의  $a_c$ 와  $a_1$ 의 관계를 Fig. 7(a)에 나타낸

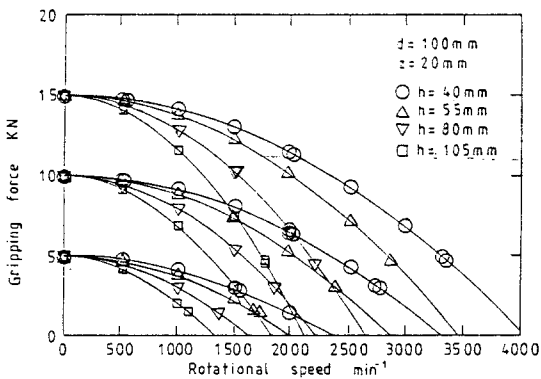


Fig. 5(a) Effect of mass of jaw

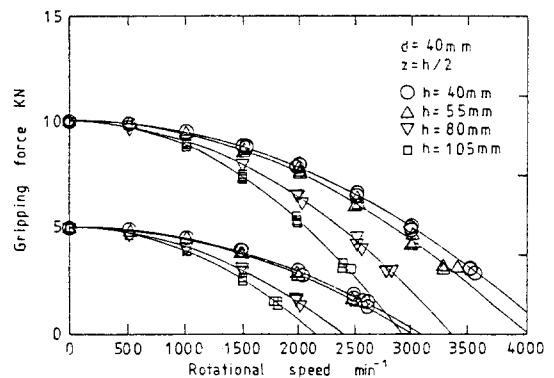


Fig. 6(a) Effect of mass of jaw

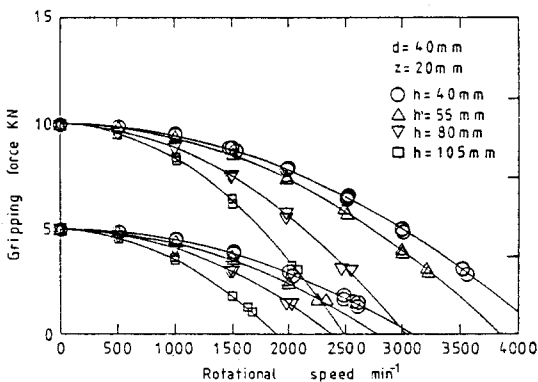


Fig. 5(b) Effect of mass of jaw

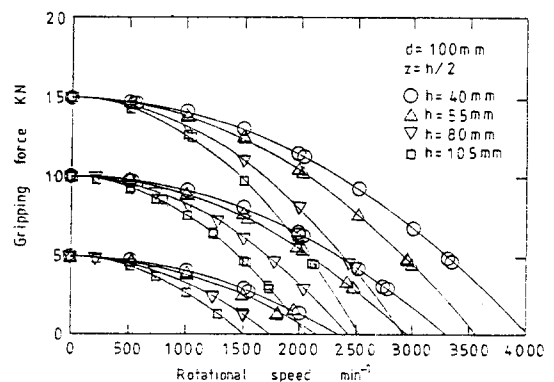


Fig. 6(b) Effect of mass of jaw

다.  $a_c$ 가 증가함에 따라  $a_c$ 도 증가하나 완전한 비례관계는 아니다. 이것은 파악위치를 조오의 중앙부( $z=h/2$ )로 하지않고 조오의 높이에 관계없이  $z=20mm$ 에서 파악했기 때문에, 조오의 높이의 변화에 의한 중심과 파악위치의 관계가 변하여 파악력에 미치는 원심

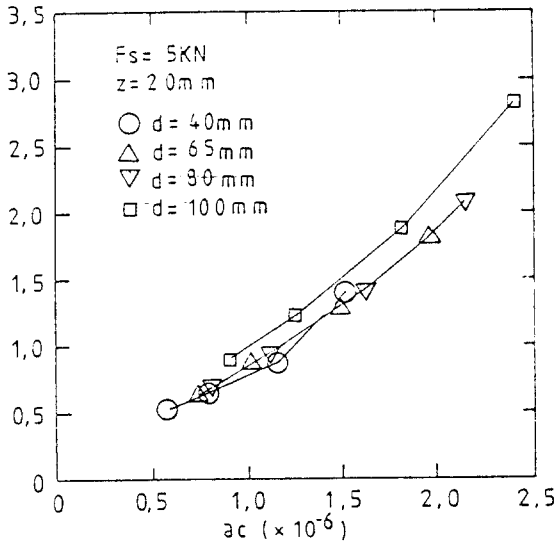


Fig. 7(a) Relation between centrifugal force and decreasing gripping force

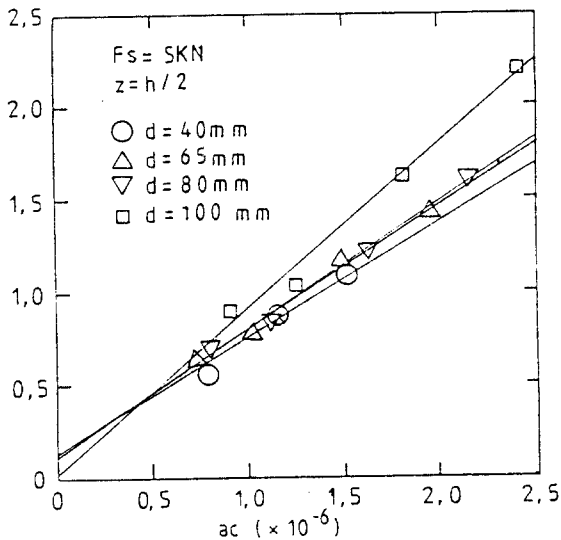


Fig. 7(b) Relation between centrifugal force and decreasing gripping force

력의 영향이 동일하지 않기 때문이라고 생각된다.

그래서 동적파악력의 감소에 미치는 원심력의 영향이 같다고 고려된 중앙부에서 파악한 경우의  $a_c$ 와  $a_c$ 의 관계를 Fig(b)에 나타낸다. 그림에서  $a_c$ 와  $a_c$ 의 관계가 비례관계인 것을 알 수 있다. 직경이 다른 각각의 검출기에서 거의 직선이 되며, 검출기의 직경이 변하면 검출기의 강성이 변하기 때문에, 동적파악력의 감소의 비율이 변하여 직선의 기울기가 변한다. 또 이 직선들이 거의 원점을 통과하는 것으로 부터, 동적파악력에 영향을 주는 원심력은 조오에 작용하는 원심력이 가장 문제가 되며, 척 본체나 마스타조오동에 작용하는 원심력은 고려하지 않아도 된다고 생각한다.

3.2 동적파악력에 미치는 공작물강성의 영향  
공작물의 직경을 변화시켜 조오의 중앙부( $z=h/2$ )

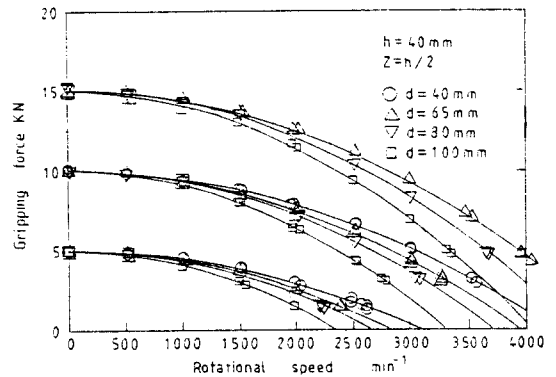


Fig. 8(a) Effect of stiffness of Work

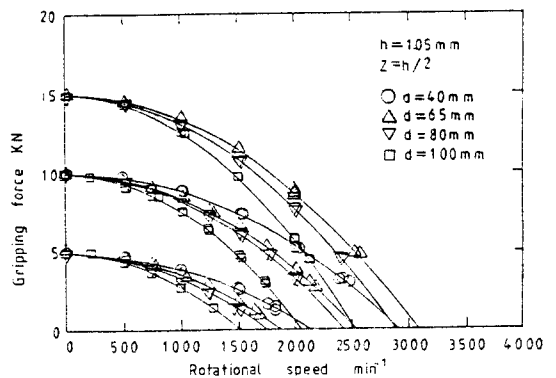


Fig. 8(b) Effect of stiffness of Work

와 조오의 근원( $z=20\text{mm}$ )에서 파악하여 측정된 동적 파악력의 결과를 Fig. 8과 Fig. 9에 나타낸다. 양쪽 모두 검출기의 직경이 클 수록 파악력의 감소의 비율이 크게 된다. 그러나 검출기의 직경을 변화시키면 공작물의 강성과 함께 회전반경도 변화하기 때문에, 어느 쪽의 영향인 지를 알 수 없다.

그래서 Fig. 8과 Fig. 9와 식 (4) 에서 검출기의 직경과  $\phi$  와의 관계를 구한 결과는 Fig. 10과 같다. 마찬가지로 검출기의 직경이 클 수록  $\phi$ 의 값이 커지며, 검출기의 직경  $d=40\text{mm}$ 의 경우가  $\phi$ 의 값이 흠어짐이 크다. 이것은 직경이 작아서 중심이 잘 맞지 않기 때문이라고 생각한다. 역시 Fig. 8과 Fig. 9에서도 동적 파악력의 값이 흠어짐이 있음을 알 수 있다.

전 절의 Fig. 7 (b)에서 이 직선의 기울기는  $F_1/F_2$ .

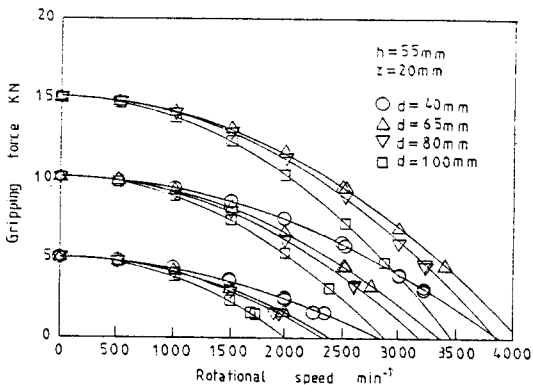


Fig. 9(a) Effect of stiffness of Work

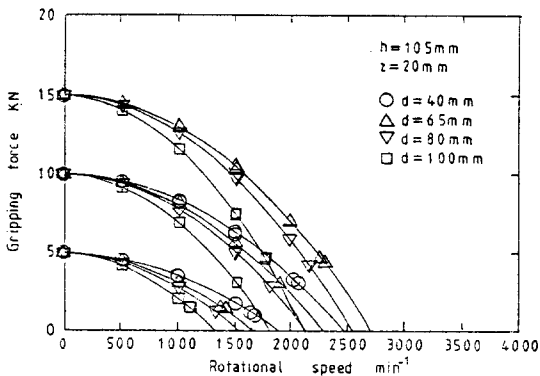


Fig. 9(b) Effect of stiffness of Work

( $=a_1/a_2$ ) 이므로  $\phi$ 를 의미하며, 직선의 경사 $\phi$ 가 다른 것은 검출기의 강성이 다르기 때문으로 간주된다. 즉, 계수  $a_1$ 의 증가와 함께 파악위치가 다르기 때문에, 직선에 가까우나 파악강성에 의한  $\phi$ 값의 변화가 포함되어 있다.

공작물의 강성을 변화시키면 동시에 회전반경이 변

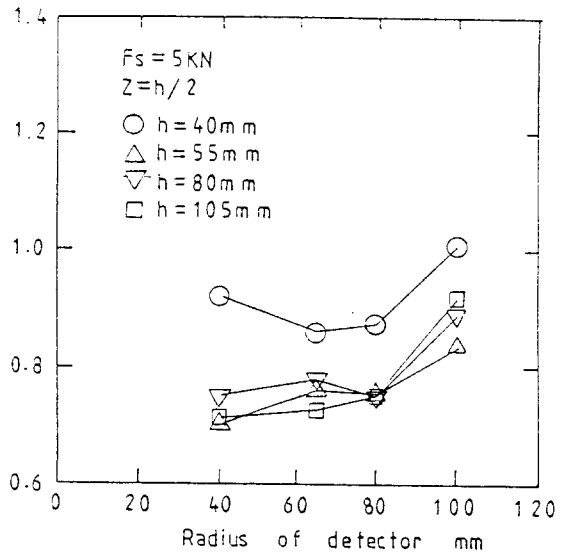


Fig. 10(a) Relation between radius of detector and  $\phi$

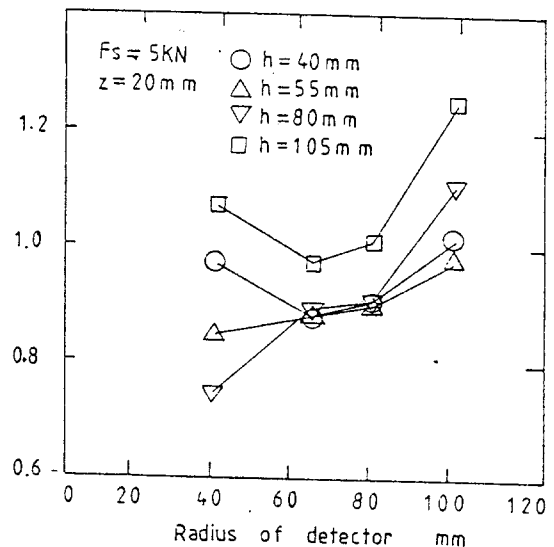


Fig. 10(b) Relation between radius of detector and  $\phi$

하여 반경방향의 파악위치와 파악강성 관계가 확실치 않고, 검출기 직경에 의한 강성의 차가 그 만큼 크기 때문에 공작물 강성과  $\phi$ 에 대해서 명확한 관계를 얻어내지 못했다. 그러나 공작물 강성이 클 수록  $\phi$ 의 값이 커지고, 동적파악력의 감소비율이 커짐을 알 수 있었다.

3.3 동적파악력에 미치는 파악위치의 영향

드로바(Draw bar)의 수평방향의 이동은 마스터조오(Master jaw)를 반경방향으로 이동 시키므로, 드로바의 이동량과 파악에 의한 조오의 굽힘 관계를 고려해 볼 수 있을 것이다. 그래서 파악위치와 조오의 파악강성의 관계를 밝히기 위하여, 파악위치를 파라메타로 하여 드로바의 이동량과 파악력의 관계를 Fig. 11에 나타낸다. 그림에서 이동량과 파악력은 비

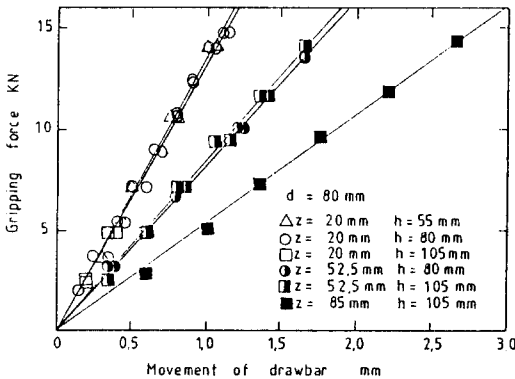


Fig. 11 Relation between Movement of drawbar and gripping force

례관계를 가지며, 조오의 높이에 관계없이 근원부터의 거리 z가 같으면, 드로바와 파악력의 관계를 나타내는 직선은 거의 같다. 이 결과로부터 조오의 근원부터의 거리 z에 의해 파악강성이 결정되고 조오의 선단보다 근원쪽이 파악강성이 높은 것을 알 수 있다.

다음에  $h=105mm$  조오에 파악위치를 3개소로 하여 파악하였을 때의 파악위치에 따른 파악력의 변화를 Fig. 12에 나타낸다. 파악위치가 척에 가까울 수록 파악력의 감소의 비율이 크다.

그래서 Fig. 12와 식(4)로부터 파악위치와  $\phi$ 와의

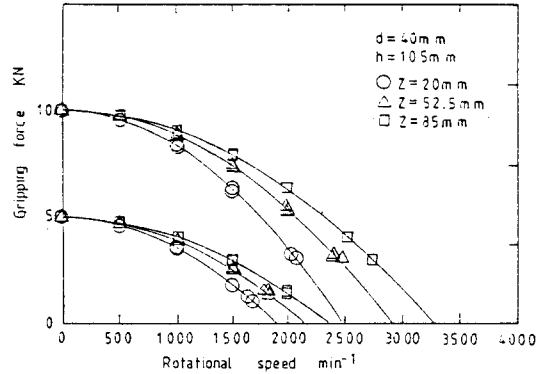


Fig. 12(a) Effect of gripping position

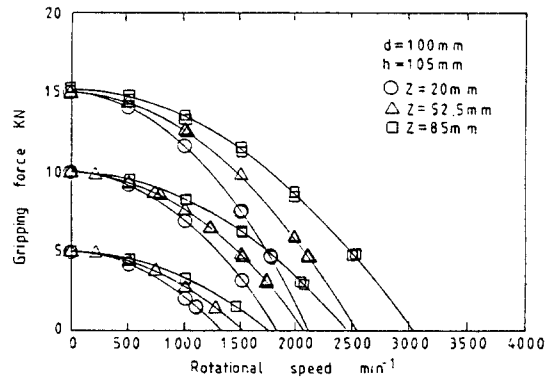


Fig. 12(b) Effect of gripping position

관계를 구하여 Fig. 13에 나타낸다. 여기서도 파악위치가 조오의 근원에 가까울 수록 즉, 조오의 파악강성이 클수록  $\phi$ 의 값이 커진다. 검출기의 직경  $d=100mm$ 인 경우에  $\phi$ 의 값이 큰 것은 전 항에서 서술한 바와 같이 검출기의 강성이 다른 검출기 보다 크기 때문으로 고려된다.

따라서 파악위치에 따라 동적파악력의 감소의 비율이 크게 다르고, 조오의 선단부일 수록  $\phi$ 의 값이 작아 동적파악력의 감소의 비율이 작은 것을 알 수 있다.

3.4 이론적 고찰

같은 크기의 원심력이 발생하여도 척의 강성과 공작물의 강성의 비에 따라서 파악력의 감소의 정도가 다르기 때문에, 제안된 이론식<sup>14)</sup>을 중심으로 본 실험의 결과와 비교 검토한다. 이 이론식은 조오와 척 본



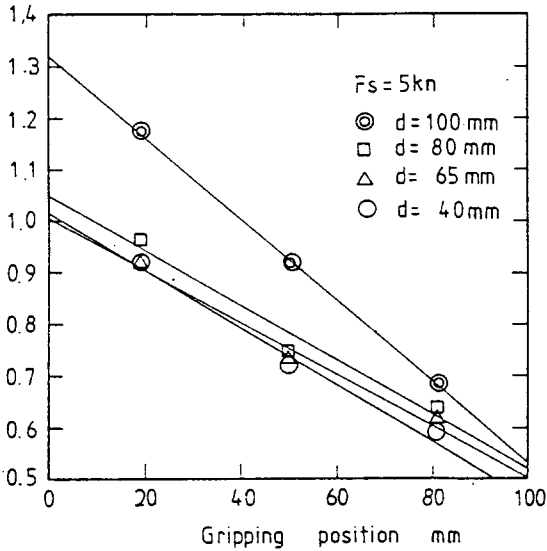


Fig. 13 Relation between gripping position and  $\phi$

체로 이루어진 계 및 공작물을 각각 스프링으로 가정하고 있다. 이 이론식의 모델을 Fig. 14와 같이 나타낼 수 있다. 조오의 파악강성을 스프링상수  $K_j$ , 공작물의 강성을 스프링상수  $K_w$ 로 하여 원심력  $F_c$ 에 의한

조오의 변형량을  $\delta$ 라면 식(2), 식(3), 식(4)에서 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$K_o = K_w + K_j \quad (5)$$

$$\delta = \frac{F_c}{K_o} = \frac{F_c}{K_w + K_j} \quad (6)$$

$$F_1 = \delta K_w = \frac{K_w}{K_w + K_j} F_c \quad (7)$$

$$\phi = \frac{K_w}{K_w + K_j} = \frac{1}{1 + K_j / K_w} \quad (8)$$

단,  $K_o$ : 합성 스프링상수

즉,  $\phi$ 는 조오의 파악강성과 공작물 강성의 비로 결정되어 진다.

이론식에 있어서 공작물의 강성 및 조오의 강성의 변화에 따른  $\phi$ 의 변화를 Fig. 15에 나타낸다. Fig. 15 (a)는 조오의 파악강성  $K_j$ 를 일정하게 할 경우의 공작물 강성  $K_w$ 와  $\phi$ 의 관계이고, Fig. 15 (b)는 공작물 강성  $K_w$ 를 일정하게 할 경우의 조오의 파악강성  $K_j$ 와  $\phi$ 의 관계이다. 그림에서 공작물 강성이 커지면  $\phi$ 는 커지고, 조오의 파악강성이 커지면  $\phi$ 는 작아진다.

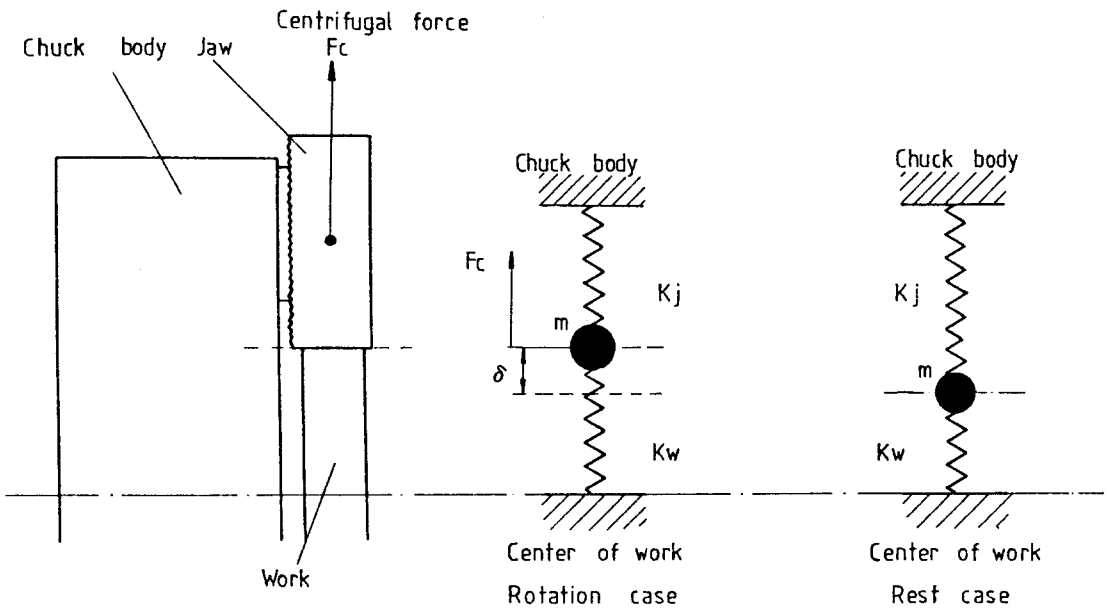


Fig. 14 Model of chuck-work system

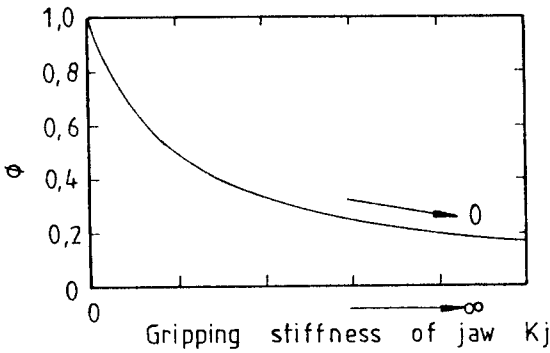


Fig. 15(a) Relation between  $K_w$  and  $\phi$ .  
(Theoretical formula)

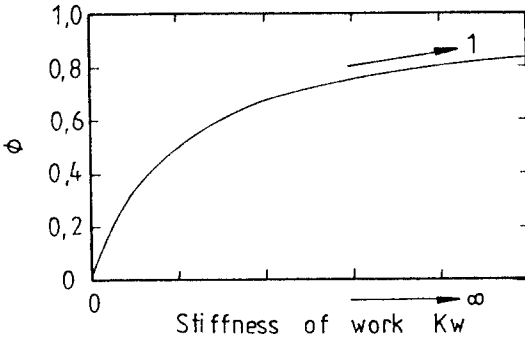


Fig. 15(b) Relation between  $K_w$  and  $\phi$ .  
(Theoretical formula)

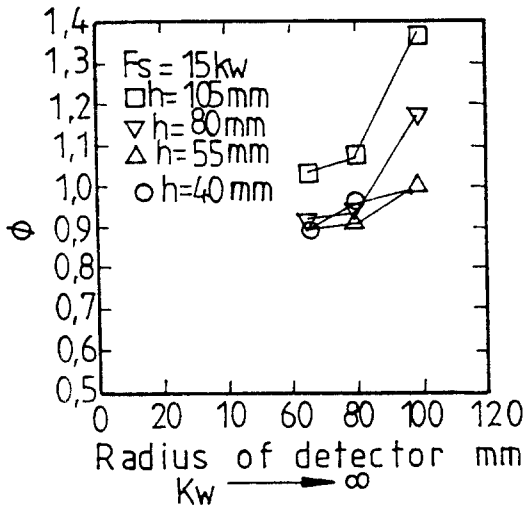


Fig. 16(a) Relation between radius of detector and  $\phi$ .  
(Experimental value)

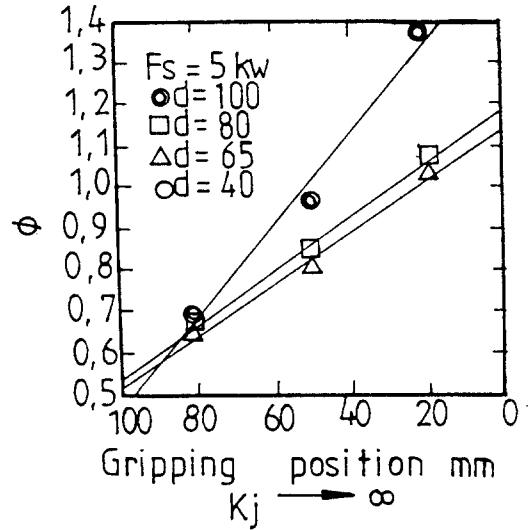


Fig. 16(b) Relation between radius of detector and  $\phi$ .  
(Experimental value)

이것들과 비교하기 위하여 실험결과를 정리하여 Fig. 16에 나타낸다. 실험결과에서는 공작물 강성이 커지면  $\phi$ 도 커져 이론식과 일치되나, 조오의 파악강성이 커지면  $\phi$ 도 커져 이론식에 일치되지 않는다. 또 이론식에서는  $\phi$ 가 1이하 이나 실험결과에서는 0.5에서 1.4정도까지 되어 이론식에 합치되지 않는다.

이상의 이론적인 고찰의 결과, 기존의 이론식의 재검토가 필요하다고 고려되어 진다. 또 정지 상태에서 조오의 파악력에 대한 변형 메카니즘도 재검토할 필요가 있다고 생각되어 진다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 3-조오 파워 척의 동적파악력에 미치는 각종 인자의 영향을 실험적으로 파악하고, 동적파악력의 이론적 추정방법을 검토한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 동적파악력의 감소에 영향을 주는 원심력 중에는 조오에 작용하는 원심력의 영향만 고려해도 좋다.
- 2) 공작물의 강성이 클수록 동적파악력의 감소의 정도가 크다.
- 3) 조오의 근원쪽 측, 파악강성이 클수록 동적파악력의 감소의 정도가 크다.

参 考 文 献

- 1) 堤正臣：超高速化とインタフェース技術，精密工學會誌53/7 p15, 1987
- 2) V. Solaja, M. Kalajdzic : Some Experimental with Three-and Four-Jaw chucks, annals of the C. I. R. P. Vol. XVI p131, 1968
- 3) H. Schulz et al.: Spancraftreserven von Backenfutern beim Drehen bei hohen Umdrehungsfrequenzen, Werkstatt und Betrieb 118 p339, 1985, 6
- 4) R. Ippolito, A. Zompi, R. Levi : Power Actuated Three-Jaw Chucks : Analysis of Gripping Action and Implications, annals of the CIRP Vol. 34/1 p323, 1985
- 5) C. H. Kahng, H. W. Lord, T. L. Davis : The Effect of Chucking Methods on Roundness Error in the Boring Process, Journal of Engineering for Industry Vol. 98/1. p233, 1976, 2
- 6) M. Rahman : Effect of Clamping Conditions on Chatter Stability and Machining Accuracy, Annals of CIRP Vol. 34/1 p339, 1985.
- 7) 佐藤公視, 太田康二郎：チャッキングシステムにおける高能率化・高精度化への対応，機械と工具 p34, 1991, 2
- 8) 古田嘉太郎：次世代高性能パワーチャック開発のための試作研究，工作機械技術振興工團 p63, 1988
- 9) 水野寛二：最近のパワーチャック開発，機械と工具 p79 1985, 7
- 10) M. J. Kalajdzic, V. B. Solaja : Rotational Speed Limits for Basic Types of Chuck, Annals of CIRP Vol. 28/1 p297, 1979
- 11) H. Schulz : Sicherer Spannen beim Drehen mit hohen Drehzahlen, Industrie anzeiger Nr. 25 v. 27, 3 p94, 1985
- 12) JIS B6151, 1986
- 13) 土井雅傳 外：チャック加工における工作物把持検討，(第 2報)機械學會論文集C 55/510 p455, 1989
- 14) 佐藤公視：高速加工のためのチャック，p76 1988, 7
- 15) N. G. Heppenstall : A Load Cell for Measurement of Chuck Grip, Precision Engineering 3/3 p180, 1981
- 16) 門脇義次：三つづめスクロールチャックの把握壓力分布とその評價法，機械學會論文集C 49 /441 p827, 1983
- 17) 新野秀憲, 曾原 敬, 伊東 誼：切削中のチャック把握力の経時變化，機械學會論文集C 55/509 p182, 1989