

# 선삭에서 공작물 지지조건이 채터진동발생에 미치는 영향

신 승 춘\*, 남궁 석\*\*

## Influence of Chucking Conditions on the Chatter Vibration Commencing Point in Turning

Sung Chun Shin\*, Suk Namgung\*\*

### Abstract

With increasing demands on automatic and high-capability manufacturing, the dynamic performance of machine tools becomes more and more important. In this paper, the correlation between dynamic compliance of the cutting system and the commencing point of chatter vibration in turning is checked by impulse excitation method and cutting tests for some cutting system. The correlation between chucking conditions of workpiece and the commencing point of chatter vibration is clarified, and it is proven that there is a mutual relations between them. Chatter vibration commenced at certain level of dynamic compliances of the cutting system regardless of the kind of the systems. It shows the possibility of dynamic performance test of a lathe by means of impulse excitation method.

Keywords : Chatter Vibration(채터진동), Chatter Commencing Point(채터진동 발생지점), Chucking Condition(공작물 지지조건), Impulse Excitation Test(충격가진실험), Dynamic Compliances(동적 컴플라이언스)

### 1. 서 론

종래의 공작기계 가공성능이란 그 공작기계가 발휘하는 가공정밀도와 가공능률이라고 하는 막연한 개념으로 취급되어 왔으나, 최근 가공정밀도나 가공능률을 저해하는 제반 현상들, 예를 들면 채터진동이나 열변형 등, 에 관한

연구가 활발히 진행되면서<sup>1-4)</sup> 이들 현상의 발생기구가 명확해짐과 동시에 이들 제한사항으로 부터 가공성능을 정량적으로 평가하게 되었다. 그러나 연구의 대부분이 특정 현상이나 요소에 대한 것들이기 때문에 제반현상을 총괄하여 공작기계의 가공성능 평가를 체계화한 것이라고 보기에 미흡한 점이 있다.

\* 국방과학연구소

\*\* 충남대학교 기계공학과

공작기계의 가공정밀도 및 가공능률에 영향을 미치는 중요한 인자로서 공작기계의 강성을 들 수 있다. 그런데 공작기계의 설계 및 제작에 있어서 강성을 무한대로 하는 것은 현실적으로 불가능하기 때문에 공작기계는 가공 중에 작용하는 각종 힘에 의해서 변형이 생기게 마련이다. 이와같은 힘 또는 그것에 의해서 생기는 변형은 정적인 경우도 있고, 시간에 따라 변하는 동적인 경우도 있다. 최종적으로 문제가 되는 것은 공구-공작물 간의 상대변위이고, 이것은 공작물의 가공정밀도 뿐만이 아니라 가공능률에도 지대한 영향을 미친다. 또한 공작기계의 가공한계가 절삭동력 뿐만 아니라 가공중의 진동특성에 의해 결정되는 경우가 종종 있기 때문에, 공작기계의 채터진동 발생 특성과 같은 동적특성 평가방법의 확립이 절실히 요망되고 있는 실정이다.

선삭 가공시 발생하는 여러가지 동적특성과 관련된 문제 중에서, 척(chuck)에 물린 공작물의 지지강성이 채터진동의 안정한계, 즉 가공한계에 미치는 영향을 검토하는 것은, 척 가공방식이 일반적으로 널리 사용되고 있다는 점을 고려할 때 매우 중요한 과제라고 할 수 있다. 척에 물린 공작물의 경우 절삭저항의 작용 위치와 조(jaw)의 상대적인 위치에 의한 공작물 강성의 변화가 가공 정밀도에 커다란 영향을 미친다는 것이 오래 전부터 지적되고 있는 사항 중의 하나이다.<sup>5)</sup> 따라서 척-공작물계의 동적인 특성이 절삭현상에 어떠한 영향을 미치는가를 자세히 검토할 필요가 있을 것이다.

본 연구에서는 척-공작물계의 동적인 특성을 평가하기 위한 특성치로서 선삭 가공시의 채터진동 안정한계값을 채용하고, 일반적으로 널리 사용되고 있는 3-조척(3-jaw scroll chuck)과 4-조척을 대상으로 하여 충격 가진실험에 의해 척-공작물계의 동적컴플라이언스(이하 컴플라이언스) 특성을 조사하고, 절삭실험에 의해 채터진동 발생지점을 확인하여, 그들의 상호 관계를 규명함으로써 공작물의 지지조건에 따른 동적특성을 규명하고자 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

척-공작물계의 컴플라이언스 특성을 조사하기 위하여 우선 충격 가진실험을 실시하였다. Fig.1 은 본 연구에서 사용한 실험장치의 개략도를 나타낸 것이다. 실험은 3-조척과 4-조척을 이용하여, 일단고정(一端 固定) 방식으로 수행하였다. 또한 척에 공작물을 지지할때는 토크렌치를 이용하여 지지력을 일정하게 하였고, 지지후 공작물의 축

선오차는 0.01mm 이내로 하였다. 이것은 컴플라이언스 값을 크게 하고 그 분포를 관찰하기 쉽도록 하며, 채터진동의 발생을 쉽게 알아보기위한 것이다.

이상의 조건을 토대로 척 선단에서 가진점까지의 거리 및 공작물 직경의 크기를 변화시키면서 컴플라이언스값을 측정하였다. 방법은 척 선단에서부터 50, 100, 150, 200, 250mm의 각점에 임팩트 해머로 충격하중을 가하고, 선반의 왕복대에 설치한 와전류형 비접촉식변위계(eddy current type gap sensor)를 이용하여 공작물의 변위를 검출하여, 그때 충격하중과의 비를 산출하여 컴플라이언스값을 구하였다. 이때 실험의 신뢰성을 높이고 척의 방향의존성을 조사하기 위하여 조방향과 조반대방향(Fig.4 참조)으로 나누어 각각 16회 반복 가진하여 얻은 컴플라이언스값의 평균치를 구하였다.

한편 가진 실험을 행한 그 상태에서 컴플라이언스 특성과 채터진동 발생점과의 상관관계를 비교하고, 채터진동 발생에 미치는 영향을 검토하기 위하여 절삭실험을 실시하였다. 절삭실험에서는 채터진동 발생점을 확인하기 쉽게하고, 절삭시 힘 개시때 작용하는 충격력을 피하기위하여 역이송방식을 택하였다. 또한 공구는 일회용 팁(throw-away tip) 초경합금공구 P10을 사용하였고, 공구 마멸에 따른 절삭저항의 변동을 최소로 하기위하여 주기적으로 새로운 팁으로 교환하였다.

절삭실험에서는 Fig.2에서 보는 바와 같이 선반의 공구대를 떼어내고 그 자리에 절삭저항 3분력간의 간섭을 1% 이내로 측정이 가능한 압전형 공구동력계(piezo-electric type tool dynamometer)를 설치하고, 이로부터 채터진

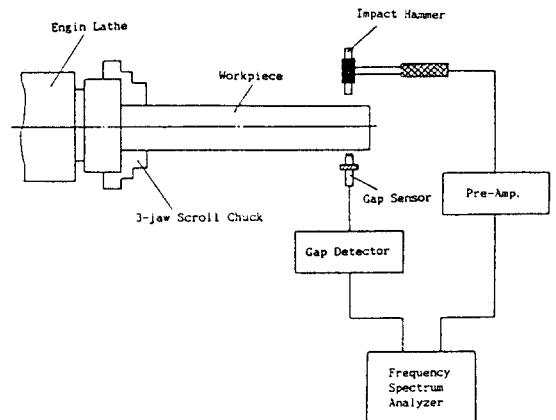


Fig.1 Experimental set-up for impulse excitation test

동과 밀접한 관련이 있는 것으로 알려져있는 절삭저항의 배분력성분을 측정하였다. 검출한 신호는 신호변환부에서 증폭한 후 테이프레코더에 기록하고, 주파수 분석기를 이용해 주파수 분석을 실시하였다. 실험조건을 일정하게 유지하기 위하여 실험시작전 절삭깊이 0.5mm의 전가공을 한후, Table 1.과 같은 실험장치 및 조건으로 절삭실험을 수행하였다.

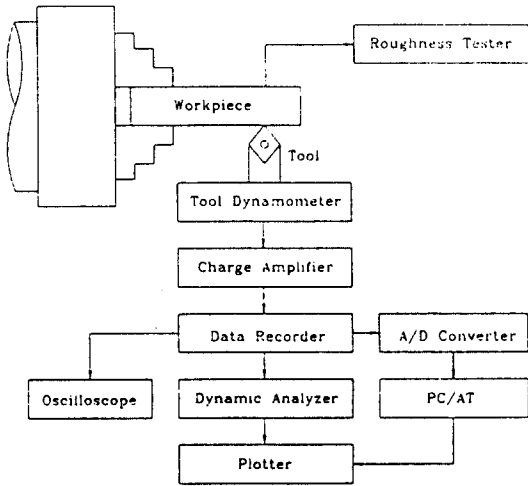


Fig.2 Experimental set-up for machining test

Table 1. Machining test environment and conditions

Engine lathes	GEMA(Germany) Weiler(Germany) Misal(Italy)
Chuck	3-jaw scroll chuck 4-jaw scroll chuck
Chucking conditions	Chucking torque : 1800 kgf cm : 1400 kgf cm Chucking length : 40mm
Tool	Tip : SNMA432(P10) Shank type : PSDNN2525M12 Overhang length : 45mm
Workpiece	Material : SM45C Diameter : 35, 40, 45, 50, 55mm Effective length : 26mm
Cutting conditions	Cutting speed : 102m/min Feed rate : 0.22mm/rev. Depth of cut : 1mm

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 칩-공작물계의 동적컴플라이언스 특성

Fig.3은 3-조척 및 4-조척에 물린 공작물에 충격가진 실험을 통해 구한 칩-공작물계의 컴플라이언스값의 출력(out put) 예를 나타낸 것이다. 그림에서 가로축은 칩-공작물계의 진동 주파수를 나타내고, 세로축은 컴플라이언스값을 나타낸다. 여기서 구한 1차 고유진동수에 대한 컴플라이언스값들을 모아 다음의 각종 그림을 그리고 그 결과를 고찰한다. 이 그림에서는 공작물 지지방법의 차이 즉 사용한 칩의 종류에 따라서 측정된 컴플라이언스값이 차이가 있음을 알 수 있다.

Fig.4는 본 논문에서 사용하는 용어를 도해로 나타낸 것이다. 칩 선단에서 시험편의 하중점 까지의 거리를 나타내는 가진점거리(overhang length), 조 방향(along jaw), 조 반대방향(against jaw) 등의 의미는 그림과 같다.

Fig.5는 4-조척에 물린 공작물 크기(직경)를 변화시킨 경우에 각 가진점별 컴플라이언스값 측정결과를 나타낸 것이다. 어느 경우나 가진점 위치를 공작물 축방향으로 변화시켰을때 가진점이 공작물 자유단에 가까워질수록, 가진점 거리(overhang length)의 증가에 따라 컴플라이언스값은 증가하고 있고, 공작물 크기와 관련하여서는 공작물 직경이 작아질수록 컴플라이언스값은 크게 나타나고 있다. 또한 4-조척 보다는 3-조척의 경우 컴플라이언스값이 크게 나타나고 있음도 확인하였다. 이러한 사실로부터 칩-공작물계의 컴플라이언스 특성은 칩의 형상 및 공작물의 크기에 따른 칩-공작물계의 강성에 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

Fig.6은 칩에 물려있는 공작물(직경 40mm)에 하중점의 반대측에 조가 없는 상태와 조가 있는 상태에서 충격하중을 작용시켜 컴플라이언스값을 측정한 결과로서 하중점의 반대측에 조가 없는 경우의 컴플라이언스값이 더 크게 나타나고 있다. 즉 칩에 의한 물림강성에는 방향 의존성이 있다는 것이 실험결과 확인되었다. 그리고 이 방향 의존성의 정도는 공작물의 돌출길이 및 칩의 종류에 따라서 그 특성이 변하고 있음을 알 수 있다. 이러한 현상은 4-조척의 경우에도 동일한 경향을 나타내고 있으나 3-조척의 경우에 비해 그다지 크지는 않음을 알 수 있다.

Fig.7은 칩의 구조 즉 사용한 조의 수에 따른 공작물 직경크기별 컴플라이언스 특성을 나타낸 것으로서 3-조척 쪽이 4-조척에 비해 컴플라이언스값이 높게 나타나고 있

음을 알 수 있고, 공작물의 지름 변화에 따라 컴플라이언스 특성에 현저한 차이가 있음을 알 수 있다. 이러한 사실로부터 공작물의 크기 및 척의 구조에 따른 지지 강성의 차이가 척-공작물계의 컴플라이언스 특성에 큰 영향을 미치고 있음을 확인하였다.

Fig.8은 척의 지지력을 1400kgf-cm과 1800kgf-cm로 하였을 때의 컴플라이언스 특성을 조사 비교한 것으로서 척의 지지강성이 크면 컴플라이언스값이 낮아지고 반대로 척의 지지강성이 작으면 컴플라이언스값이 높게 나타나고 있어서 척-공작물계의 특성변화(지지조건의 변화)가 컴플라이언스 특성에 영향을 미치고 있음을 알수있다.

이상의 실험결과를 종합해볼때 공작기계-공구-공작물로 이루어진 기계가공계에서 통상 하나의 부속장치로 취급되어 비교적 관심이 적었던 척의 제반 특성이 절삭현상에 지대한 영향을 미친다는 사실을 알 수 있다. 이점을 확인하기 위하여 가진실험을 행한 그 상태의 동일조건에서 절삭 실험을 실시하였으며 시험 및 분석 결과는 3.2절과 같다.

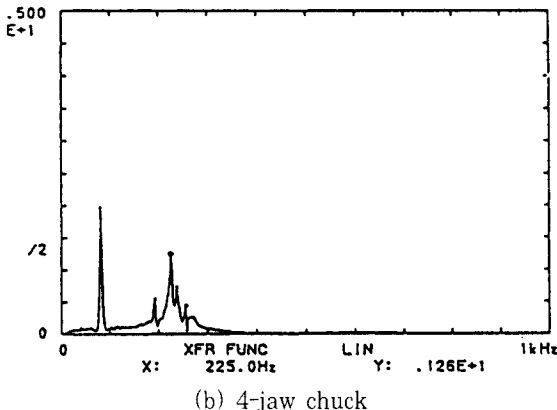
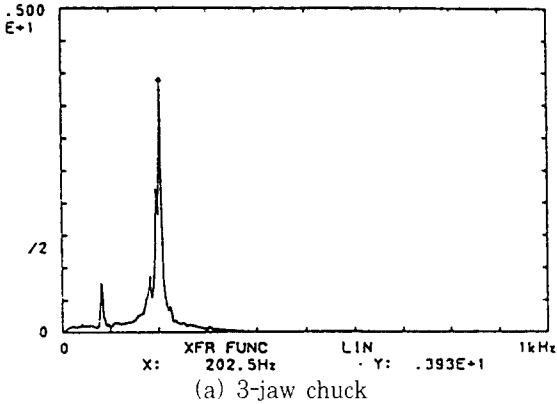


Fig.3 Out put of impulse excitation tests

description	illustration
overhang length (OL)	
along jaw (조방향)	
against jaw (조 반대방향)	

Fig.4 Illustration of descriptions used in this paper

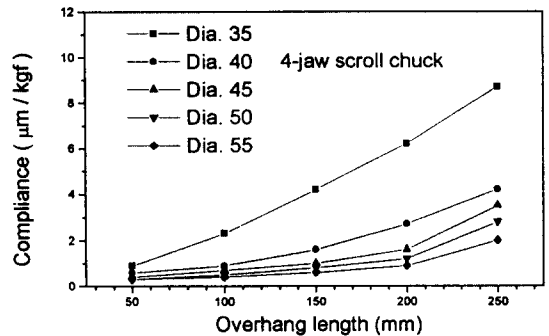


Fig.5 Effect of workpiece size and overhang length

### 3.2 척-공작물계의 컴플라이언스 특성과 채터진동 발생 점과의 상관관계

Fig.9는 동일한 절삭조건으로 각기 다른 3대의 선반에 대한 절삭실험을 수행한 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 점선으로 표시한 부분은 채터진동 발생지점의 컴플라이언스

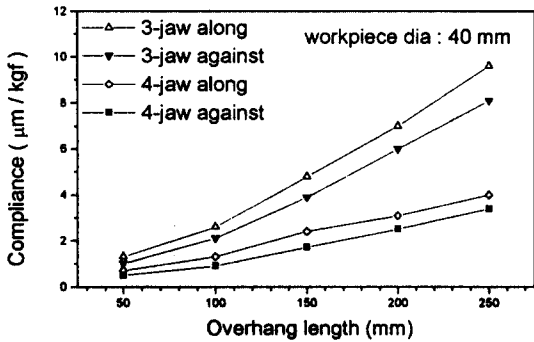


Fig.6 Effect of chuck structures and impulse directions

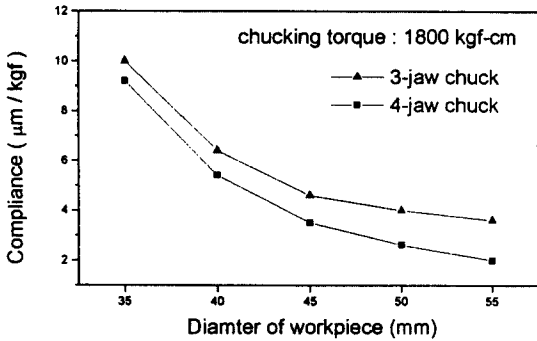


Fig.7 Effect of chuck structures and workpiece sizes

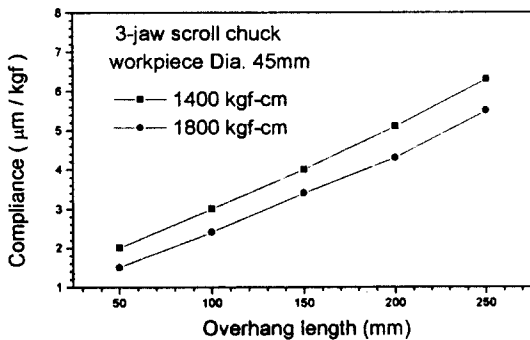


Fig.8 Effect of chucking torques and overhang lengths

스값을 나타낸다. W, G, M 선반 모두 가진점의 거리가 증가함에 따라 컴플라이언스값은 증가하고 있으며 컴플라이언스값 증가가 빠른 선반 W에서는 채터진동이 빨리, 선

반 M에서는 늦게 발생하여, 선반 개개의 컴플라이언스 특성과 채터진동 발생점 간에는 밀접한 상관관계가 있음을 알 수 있다. 또한 절삭가공시에 발생하는 채터진동은 선반의 종류에 관계없이 거의 일정한 컴플라이언스값(본 실험에서는  $2\mu\text{m}/\text{kgf}$  부근)에서 발생하고, 칩-공작물계의 컴플라이언스값이 클수록(선반W) 채터진동 발생 가능성이 높다는 것을 알 수 있다.

이와 관련하여 지금까지의 연구 결과에서는 가진방식에 의한 공작기계의 동적성능실험에서는 측정된 컴플라이언스값과 실제의 채터진동 발생 가능성을 나타낸 특성치, 예를 들면 최대 절삭깊이와의 상관성 등은 확인되지 않은 것으로 보고되어 있으나,<sup>(6-7)</sup> 본 연구에서는 칩을 이용하여 어떤 지지조건으로 공작물을 지지하였을 때에 그 칩-공작물계의 컴플라이언스값을 구함으로써 채터진동 안정한계를 예측할 수 있다는 가능성을 확인하였다.

Fig.10은 공작물의 크기와 채터진동 발생 안정한계와의 관계를 정리한 것으로, 공작물의 직경이 커짐에 따라서 채터발생 안정한계가 증가하는, 즉 칩 선단으로부터 먼거리에서 채터가 발생하는 것을 알 수 있다. 그리고 3-조척보다 4-조척 쪽이 채터진동에 대한 안정한계가 크게 나타났다. 다시 말해서 칩의 형상과 관련하여 칩의 물림력이 크고, 공작물의 지름이 큰 경우, 즉 칩-공작물계의 동강성이 크게되면 채터진동의 안정한계는 증대하는 것으로 나타났다.

이상의 실험 결과를 종합하면, 간단한 가진실험에 의해서 그 칩-공작물계의 컴플라이언스 특성을 구하면 절삭실험을 행하지 않고도 그 계의 종합적인 채터진동 발생 특성 즉 동특성을 비교, 평가하는 것이 가능할 것으로 판단된다.

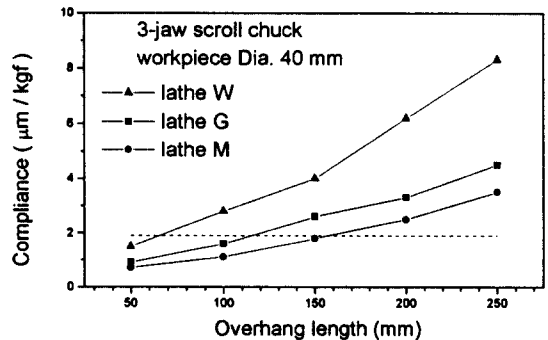


Fig.9 Compliance and chatter commencing point of lathes

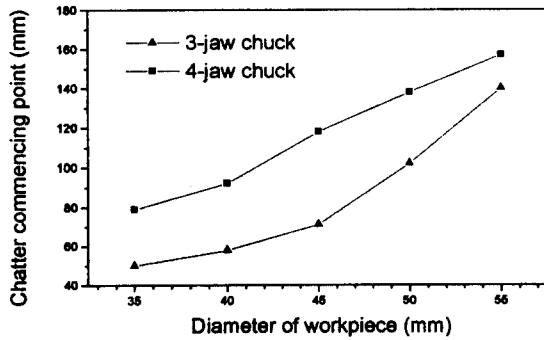


Fig.10 Chatter commencing point of several workpiece sizes

#### 4. 결론

본 연구에서는 선삭가공시 척의 종류 및 물림조건의 변화가 채터진동 안정한계에 미치는 영향을 조사하기 위하여 충격가진실험을 통하여 동적컴플라이언스값을 구하고, 절삭실험에 의하여 채터진동 안정한계를 구하여 그 상관관계를 실험적으로 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 척의 구조 및 공작물 지지조건은 그 척-공작물계의 동적컴플라이언스 특성과 채터진동 발생 특성에 크게 영향을 미친다.
2. 충격 가진실험에 의해 구한 척-공작물계의 동적컴플라이언스값과 절삭실험에 의하여 구한 채터진동 발생점 즉 채터진동 안정한계와는 밀접한 상관관계가 있다.

3. 실험대상 선반 모두 거의 일정한 동적컴플라이언스값 부근에서 채터진동이 발생하였으며, 이러한 사실로부터 비교적 간단한 충격 가진실험에 의한 선반의 채터진동 발생특성의 비교평가 가능성을 확인하였다.

#### 참고 문헌

1. 星鐵太郎, "旋削加工における振動解析", 機械の研究, 第34卷, 第12號, p.1323, 1982.
2. J. Tlustý, M. Polacek, "The Stability of the Machine Tool against Self-Excited Vibration in Machining", Int. Res. Pro. Engg., ASME, pp.465-474, 1963.
3. 安井武司 外 5人, "NC 旋盤の動的試験法に関する研究(第1報)", 精密機械, 50卷, 12號, p.1925, 1984.
4. 森脇俊道, "工作機械のダイナミクス-その評価と設計への應用", 機械の研究, 第31卷, 第10號, p.1207, 1979.
5. 森脇俊道, 岩田一明, "インパルス 應答法による工作機械動剛性の測定(第1報)ハンマの最適設計", 精密機械, 44卷, 6號, pp.724-729, 1978.
6. J. Peklenik, J.R. Gartner, "Workpiece Accuracy Criterion for the Dynamic Machine Tool Acceptance Test", Int. J. Mach. Tool. Des. Res., p.303, 1967.
7. 土井雅博, 益子正己, 伊東宣, "びびり 振動に及ぼす 工作物支持條件の影響", 日本機械學會論文集(C編), 49卷, 443號, pp.1153-1160, 1983.