

보링커터의 세장비에 따른 구멍 정밀도 변화에 관한 연구

천세호*.#

*계명문화대학교 기계과

A Study on the Change in Hole Precision with Slenderness Ratio of Boring Cutter

Se-Ho Chun*.#

*Mechanical Engineering, Keimyung College UNIV.

(Received 14 March 2017; received in revised form 8 May 2017; accepted 26 May 2017)

ABSTRACT

It is assumed that the buckling and cutting conditions depending on the slenderness ratio will affect the machining quality of the rotary boring tool mounted on a milling machine. In this study, the boring cutter was designed and fabricated to precisely create the $\varnothing 30$ hole. Through the performance evaluation, the accuracy of the hole according to the slenderness ratio and cutting conditions was analyzed, and the following conclusions were obtained. The higher the RPM, the smaller the change in the working diameter, and the smaller the hole. Next, the smaller the slenderness ratio, the smaller the change in straightness due to the change in cutting conditions. Finally, the slenderness ratio also affects the tendency for changes in the concentricity. The larger the slenderness ratio, the more sensitive the concentricity to changes in cutting conditions.

Key Words : Boring Cutter(보링커터), Slenderness Ratio(세장비)

1. 서 론

보링공구의 종류에는 선반에서 가공 가능한 보링바(Boring Bar)가 있고 밀링머신에 장착하여 회전하면서 구멍을 가공하는 보링커터(Boring Cutter)가 있다. 일반적으로 선반에 고정하여 사용하는 보링바의 경우 깊은 구멍을 가공하기 위해 가늘고 긴 형상적 특성으로 진동에 취약하다^[1-3]. 기초구멍이 없는 상태에서 정밀한 구멍을 제작하기 위해서는 일반적으로 드릴링(Drilling)을 한 후 보링 및 리밍

(Reaming) 공정을 통해 정밀하게 다듬질 한다. 드릴의 경우에는 $\varnothing 10$, $\varnothing 12$, $\varnothing 14$ 등 공구 제작회사에서 규격화되어 출시되는 반면 보링용 공구는 구멍의 크기 및 형상에 맞도록 제작하는 것이 일반적이다.

선반에 장착하는 보링바에 관한 연구에서 세장비는 가공품질을 결정하는 중요한 변수였다^[4-6]. 마찬가지로 회전공구에서도 세장비에 따른 좌굴 및 절삭조건이 가공품질에 영향을 끼치리라 판단된다. 특히 절삭속도가 올라갈수록 공작물에 열이 전달되어 변형이 예측되며, 이송은 가공표면 형성에 영향을 미치기 때문에 구멍 정밀도 역시 이송에 의해 변화가 있을 것으로 예측된다.

이에 본 연구에서는 $\varnothing 30$ 구멍을 정밀가공하기

Corresponding Author : chunsh@kmcu.ac.kr

Tel: +82-53-589-7621, Fax: +82-53-589-7372

위해 세장비가 다른 다듬질용 보링커터를 설계 및 제작하고 성능평가를 통해 세장비 및 절삭조건에 따라 가공된 구멍의 정밀도를 분석하여 세장비에 따른 영향을 파악하고자 한다.

2. 보링커터

2.1 보링커터의 설계

보링공구는 형상적으로 외팔보에 가까우며 가공 메커니즘은 깊은 홈 가공을 위한 드릴 공정과 유사하다^[4]. 식(1)은 보링공구의 강성을 나타내는 식이며 보링공구의 강성은 오버행(Overhang, l)이 커질수록 급격하게 줄어든다^[7].

$$f = \frac{\pi \sqrt{3 \times EI}}{l^3 (b_m + 0.23c_m)} \quad (1)$$

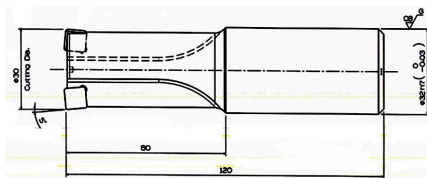
식(1)에서 f 는 보링공구에 작용하는 절삭력을 나타내며 EI 는 강성계수를 의미한다. 그리고 b_m 과 c_m 은 각각 보링공구의 질량과 탄성계수, l 은 보링공구의 오버행을 나타내는 변수이다.

본 실험에 사용할 보링커터에 장착할 인서트는 대구택(TaeguTec)사의 SPMG 090408 DG TT9030으로 선정하였다. 특히 세장비에 따라 진동발생이

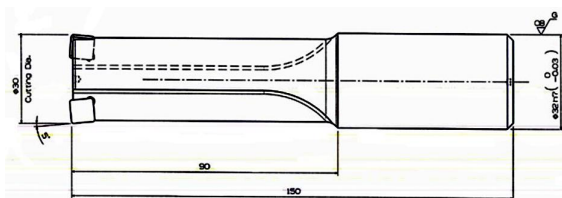
예상되므로 인서트는 인성과 내마모성을 동시에 갖추어야 한다. 이에 표면을 TiAlN으로 코팅하고 내부에는 인성을 확보한 TT9030 재종을 선택하였다. 그리고 가공 시 절삭날에 작용하는 하중으로 인한 홀더의 변형을 최소화하기 위해 2날로 설계하여 절삭력의 균형을 이루고자 하였다. Fig 1은 실험에 사용할 보링커터의 형상을 나타내고 있다. 샹크(Shank)부분은 보링커터의 강성을 유지하기 위해 가공 직경보다 큰 Ø32로 하였으며 공구의 전체길이는 120mm와 150mm로 설계하였는데 샹크(Ø32) 부분은 주축의 척(Chuck)에 장착되는 부위로서 세장비 계산에서 제외하였다. 형상에 따른 세장비는 120mm는 8, 150mm는 12로 계산된다.

2.2 보링커터의 제작

보링커터의 홀더에 사용된 재종은 SCM440으로 선삭가공을 통해 몸체를 제작한 후 인서트가 장착되는 포켓(Pocket)부위와 칩배출통로(Chip-gullet)는 밀링가공으로 진행하였다.



(a) slenderness ratio : 8

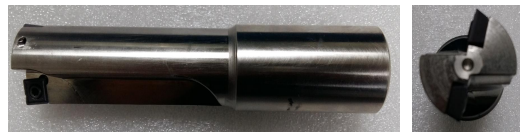


(b) slenderness ratio : 12

Fig. 1 Boring cutter design



(a) slenderness ratio : 8



(b) slenderness ratio : 12

Fig. 2 Manufactured boring cutters

본 보링공구는 2날이 장착되었기 때문에 런아웃(Runout)에 의한 영향을 최소화할 필요가 있으며 이를 위해 마스터인서트(Master Insert)기준 0.005 이내로 정밀도를 유지하였다. 포켓 제작을 완료한 후 경화열처리를 통해 HRC45~47정도로 경도값을 유지하여 홀더 강성을 확보하였다. Fig. 2는 설계에 따라 제작된 보링공구를 나타낸 것이다.

3. 실험

3.1 피삭재

보링커터의 성능평가 및 연구결과의 활용성을 높이기 위해 산업용으로 널리 적용되는 기계구조용 탄소강인 SM45C를 피삭재로 선정하였으며 Table 1 과 Table 2에 성분 및 기계적 성질을 나타내었다.

Fig. 3에서는 피삭재의 형상을 나타내었으며 한 번에 12개의 구멍을 가공하도록 하여 공작기계에 착탈 시 발생하는 오류를 방지하였다. 그리고 기초구멍을 $\varnothing 29$ 로 가공하였는데 이는 일반적으로 보링가공에서 적용하는 정삭여유(0.5mm)에 해당한다.

Table 1 Chemical composition of SM45C steel substrate(wt%)

	C	Si	Mn	P	S
SM45C	0.42 ~0.48	0.10 ~0.35	0.30 ~0.60	0.025 less	0.035 less

Table 2 Heat treatment condition and mechanical properties of SM45C

HTC(°C)		Mechanical Properties					
Q	T	YS (N/mm ²)	TS (N/mm ²)	El (%)	SR (%)	CH	H (HB)
820	550	50	70	17	45	8	201
~870	~650	over	over	over	over	over	~269

Where: HTC=Heat treatment conditon, Q=Quenching, T=Tempering, YS=Yield Strength, TS=Tensile Strength, El=Elongation, SR=Section Shrinkage ratio, CH=Charpy Impact, H: Hardness

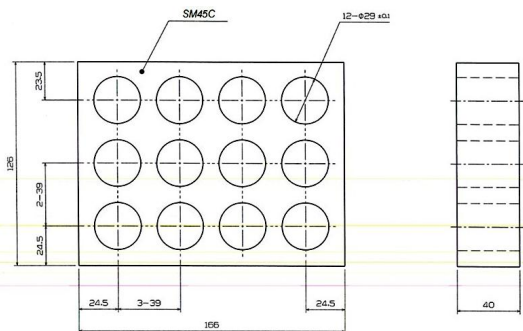


Fig. 3 Workpiece design

3.2 가공 및 측정

성능평가를 위해 3축 Machining Center(Doosan MYNX 7500/50)를 활용하였으며 각 구멍별로 절삭 조건을 달리하여 가공하도록 프로그램을 작성하여 구동하였다. Fig. 4는 공작기계에 보링커터가 장착된 모습을 나타낸 것이며 척(Chuck)을 통해 주축과 연결되었다.

실험 조건은 Table 3과 같으며 회전수(RPM)와 날당 이송(mm/teeth, f_z)을 독립변수로 선정하였다.

보링커터 한 개당 12번의 구멍에 대해 절삭조건을 변경해가며 가공을 진행하였으며 한 개의 구멍을 가공 후 인서트를 변경하여 마모에 의한 영향을 제거하였다.

가공 후 정밀한 측정을 위해 Fig. 5와 같이 3차원 측정기(CODAX RS-50 DCC)를 이용하여 가공경, 진직도, 동심도를 측정하였다. 측정의 신뢰성을 높이기 위해 한 구멍 당 3회 측정 후 평균값을 결과치로 채택하였다. 가공경 측정을 통해 보링가공 시 발생하는 확공 및 축공값을 통해 정밀도를



Fig. 4 Boring cutter mounted on machine tool

Table 3 Cutting conditions for experiment

Factor	Level			
	1	2	3	4
RPM	800	1200	1600	2000
f_z	0.04	0.08	0.12	

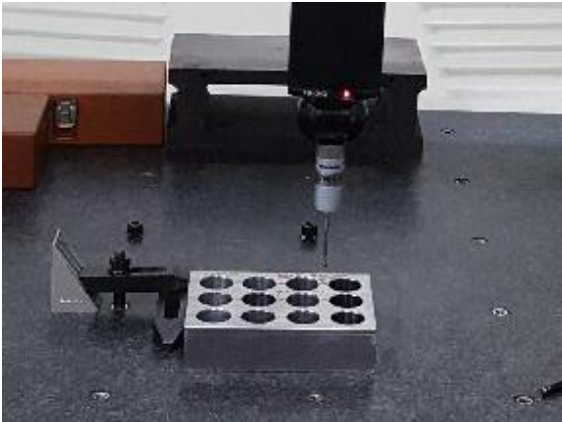


Fig. 5 Measurement for machined workpiece

분석하고자 하며, 진직도 측정으로 좌굴에 의한 영향을 파악하고자 하였다. 그리고 동심도 측정을 통해 진동의 영향을 파악하여 절삭가공 시 보링커터의 동특성변동을 알아보려고 하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 가공경 변화

Fig. 6에서는 절삭조건에 따른 가공경의 변화를 나타낸 것이다. 먼저 120mm(slenderness ratio : 8) 보링커터의 경우 RPM이 증가할수록 가공경이 줄어드는 축공현상이 나타났다. 특히 날 당 이송(0.04mm/teeth)이 1수준일 때 두드러지게 나타났으며 날 당 이송이 증가할수록 축공현상이 점차적으로 줄어들고 있음을 알 수 있다.

150mm(slenderness ratio : 12) 보링커터의 경우에서도 RPM이 증가할수록 가공경이 줄어드는 경향을 보였으나 120mm(slenderness ratio : 8) 보링커터에 비해 변화량은 적었다. 그리고 120mm 및 150mm에서 공통적으로 회전수가 높아질수록 가공경이 줄어드는데, 이는 높은 회전수에 의해 절삭속도가 높아지면 절삭온도 상승으로 구멍이 팽창하게 되며 원래 의도하였던 절입량(0.5mm)보다 적게 가공이 된다. 절삭이 종료된 후 온도가 낮아지면서 열팽창이 제거되며 이 과정에서 미 절삭된 부분으로 인해 구멍이 축소되게 된다.

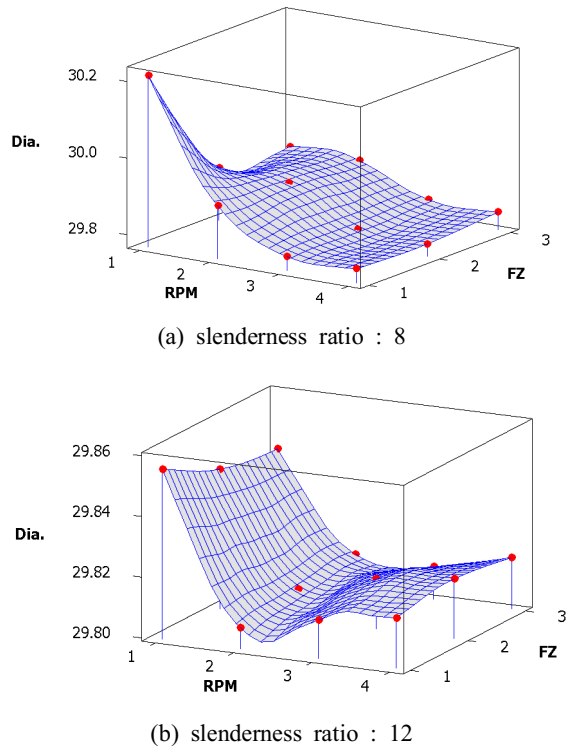


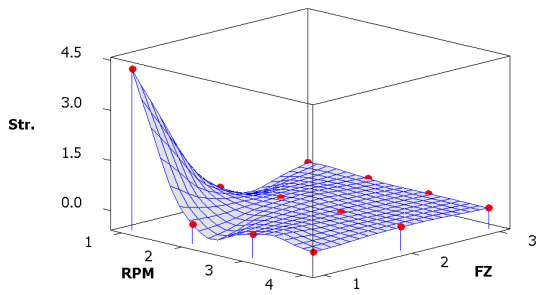
Fig. 6 Diameter variation

4.2 진직도 변화

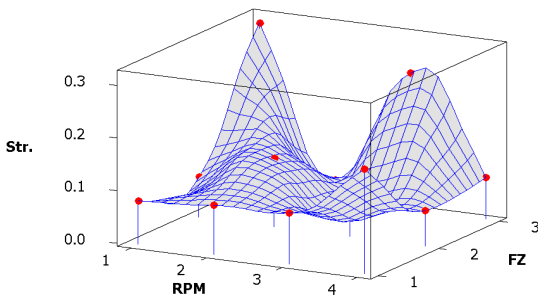
Fig. 7에서는 절삭조건에 따른 진직도의 변화를 나타낸 것이다.

120mm(slenderness ratio : 8) 보링커터의 경우 진직도가 가공조건에 따른 변동이 전반적으로 미미하였으나 1수준의 RPM에서는 크게 나타났다. 이는 낮은 절삭속도에서 절삭열이 적게 발생하게 되고 다른 조건에 비해 열에 의한 피삭재 연화가 상대적으로 적어 가공부하에 의한 영향이 크다. 가공부하로 인해 식(1)에서 나타낸 바와 같이 보링공구에 좌굴이 발생하게 된다.

반면 150mm(slenderness ratio : 12) 보링커터에 의한 진직도 변화는 120mm(slenderness ratio : 8) 보링커터에 비해 크다는 것을 알 수 있다. 오버행이 증가할수록 세장비가 증가하게 되며 이는 좌굴의 증가로 이어지게 된다. 그러므로 보링커터의 세장비가 커질수록 좌굴에 의한 영향이 점차적으로 증가한다고 볼 수 있다.

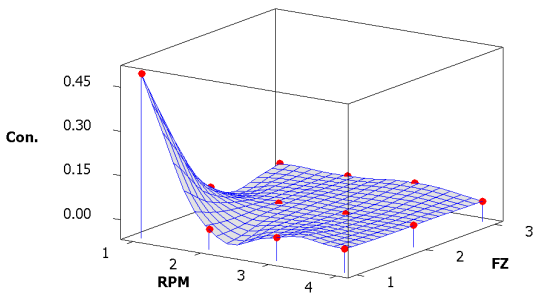


(a) slenderness ratio : 8

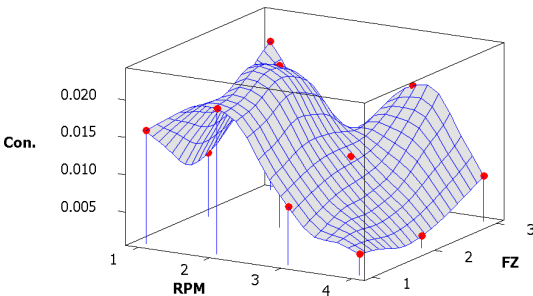


(b) slenderness ratio : 12

Fig. 7 Straightness variation



(a) slenderness ratio : 8



(b) slenderness ratio : 12

Fig. 8 Concentricity variation

4.3 동심도 변화

절삭조건에 따른 동심도의 변화를 Fig. 8에 나타내었다.

동심도의 변화정도는 120mm(slenderness ratio : 8) 보링커터에서는 일정하게 유지되는 것으로 보아 진동의 영향이 미미하다고 판단되며 가공경 및 진직도 변화에서와 마찬가지로 낮은 회전수에서는 비교적 크게 나타났다. 150mm(slenderness ratio : 12) 보링커터의 경우 절삭조건에 따른 동심도 변화량이 일정한 분포를 보이지 않았다. 이는 보링커터의 강성이 낮아져서 절삭조건에 따라 동특성이 좌우된다는 것을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 보링커터의 세장비에 따른 가공특성을 분석하기 위해 세장비가 다른 두 가지 공구를 준비하여 실험을 실시하였으며 결과분석을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 절삭조건 중 회전수가 높아질수록 가공경의 변화가 적으며 구멍의 축소현상이 일어난다. 이는 절삭열로 인한 구멍의 변형 때문이며 향후 특온도에서 구멍 정밀도 변화에 관한 연구가 후속되어야 할 것으로 판단된다.
2. 세장비가 적을수록 절삭조건 변화에 따른 진직도 변화가 적다. 이는 작은 세장비에서는 좌굴의 영향이 적기 때문이며 절삭속도가 낮을수록 진직도 변화가 크게 나타났다.
3. 세장비는 동심도의 변화 경향에도 영향을 주며 세장비가 클수록 절삭조건 변화에 따라 민감하게 동심도가 변화한다.

REFERENCES

1. Chun, S. H. and Ko, T. J., "Study on the dynamic stiffness variation of boring bar by Taguchi Method", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 8, No. 3, pp. 98-104, 2009.
2. Lee, J. H. and Rim, K. H., "Vibration Analysis

- of Boring Bar with Dynamic Vibration Absorber, Proceedings of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering Conference. The Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 2000, No. 3, pp. 1796-1802, 2000.
3. Kim, J. S., Kang, M. C. and Park, S. K., "Dynamic Behavior of Boring bar with Continuous System Analysis", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 11, No. 4, pp. 38-46, 1994.
 4. Chun, S. H., Liu, J. W., Kim, J. H. and Ko, T. J., "A Study on the surface roughness behavior based on the response characteristics of boring bar", Proceedings of the Korean Society of Precision Engineering Conference. Korean Society for Precision Engineering pp. 117-118, 2010.
 5. Chun, S. H. and Ko, T. J., "Study on the response surface model of machining error in internal lathe boring, International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, Vol. 12, No. 2, pp. 177-182, 2011.
 6. Chun, S. H., Kim, J. H. and Ko, T. J., "Modal Analysis of Commercial Boring Bar using Finite Element Method", Proc. of The Korean Society of Manufacturing Process Engineers, pp. 48-49, Jun., 2011.
 7. Smith, G. T., Cutting Tool Technology: Industrial Handbook, Springer Science & Business Media, pp. 117-118, 2008.