

## 고속태핑에 있어서 탭의 형상과 절삭토크의 특성

최만성\*, 송지복\*\*

### On Tap Geometry and Characteristics of Torque in High Speed Tapping

Man-Sung Choi\*, Ji-Bok Song\*\*

#### ABSTRACT

Tapping is one of the most widely used machining operations. There are several methods of producing external screw threads, e.g. turning, milling with single or multiple cutter, rolling, and grinding, but the methods available for cutting internal threads are less numerous, and for threads in small holes, tapping is employed almost exclusively.

In this study, the tap with the various geometry has been developed in order to tap special workmaterial at considerably higher cutting speed than that of the conventional HSS tap. The experimental tests are run with various cutting speed by using a piezo type tool dynamometer to measure tapping torque. Tapping torque is affected by the design of the tap, which seems to be due to internal friction and shearing of the metal. It is clarified that the process of chip formation strongly depends on rake angle, relief angle, angle of twist.

**Key Words** : Tapping(태핑), Tapping Torque(절삭토크), Chip Shape(칩형상), Tap Geometry (공구형상), High Speed Tapping(고속태핑)

#### 1. 서론

암나사를 가공하는 방법은 크게 선삭에 의한 나사절삭법과 탭에 의한 나사가공으로 대별할 수 있다. 탭을 이용하는 경우는 전가공된 드릴의 지름이 작을 때 혹은 대량생산의 경우에 사용된다. 태핑작업은 대부분의 경우 최종공정에 가까운 작업이 대다수이고 태핑 시 작업조건의 불량이나 칩배출이 원만하지 못한 경우 등의 이유에 의해

탭의 파손이나 가공된 암나사의 확대, 축소 또는 뭉그러지는 트러블이 발생하게 된다. 현재 대부분의 탭가공은 홈형상 분류에 의한 핸드 탭, 포인트 탭, 스파이럴 탭, 홈없는 탭 등의 일반적인 탭으로 분류되어 사용되거나 특수목적용의 탭도 많이 쓰이고 있다. 근년 기계의 자동화, 고속화가 진행되고 태핑머신도 리드기구를 내장한 우수한 기계가 사용되고 있다. 한편 피삭재는 난삭화 경향이 점점 증대되고 절삭조건도 고속화 되는 경향이 있다. 태핑된

\* 한국기술교육대학교 생산기계공학과

\*\* 부산대학교 기계공학과

나사의 정도는 주로 텡의 형상에 크게 영향을 받는다. (1-2) 또한 절삭토크는 텡의 종류나 경사각, 모따기부(불완전 나사부)의 길이 등 텡의 형상에 관한 것과 밀구멍의 크기, 피삭재의 종류, 나사대기의 크기, 절삭조건에 영향을 받게 된다. (3-6) 태핑토크와 텡의 형상에 관한 연구로서는 Lorenz<sup>(7)(8)</sup>의 문헌이 있는데 여기에서는 주로 절삭속도, 챔프각(chamfer relief), 나사릴리프의 변수에 의한 통계해석 결과만을 나타내고, 실제의 실험적 자료가 제시되지 않아 절삭토크의 변화특성을 정확하게 알 수가 없다. 텡의 절삭성능에서 중요한 것 중의 하나는 칩의 배출인데 현재 칩의 배출에 관련된 정량적인 해석은 복잡한 절삭기구로 인하여 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 이런 복잡한 절삭변수에 의해 국내에서의 일반적인 텡가공속도는 SM45C인 경우 10~20m/min이고 고속텡의 절삭속도는 30~40m/min이 한계지만 실제 난삭재의 경우는 더욱 낮아지게 된다. 따라서 본 연구에서는 고속태핑의 범위에서, 텡형상의 구성 요소인 텡의 경사각, 여유각, 비틀림각 등을 주고 절삭속도를 변화 시켰을 때, 절삭저항의 관계를 고찰하고 이에따른 칩의 배출상태를 검토한다.

## 2. 실험조건 및 장치

텡의 공구경사각  $\gamma$ 는 4°, 8°, 12°로 하고, 여유각  $\alpha$ 를 1°, 2°, 2°30', 비틀림각  $\nu$ 를 32mm, 36mm, 40mm로 형상을 주었다. 여기에서 사용된 피삭재는 16MnCr5, 42CrMo4이며

16MnCr5를 태핑 하였을 때 절삭속도는 10, 25, 40, 55 m/min이고, 42CrMo4를 태핑하였을 때 절삭속도는 10, 18, 25, 32 m/min으로 실험하였다. 태핑에 있어서 절삭토크를 실험하기 위해 사용된 공작기계는 Maho AG의 NC 밀링머신이며, 공구는 3홈의 스파이럴 텡으로써

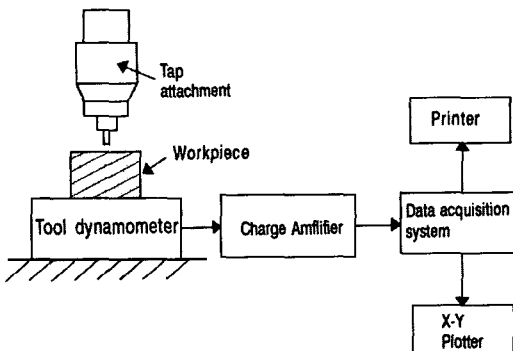


Fig. 1 Schematic diagram of experimental set up.

구조상 칩의 휘말림에 따른 완전산의 이빠짐이 일어나기 쉬운 텡이다. 이 텡은 절삭속도를 적정하게 함에 따라 칩의 배출상태를 안정시키고 휘말림을 최소화 할 수 있다. 실험장치에 대한 개략도를 Fig.1에 나타낸다.

Table 1, 2는 각각 실험에 사용한 16MnCr5와 42CrMo4의 화학적조성을 나타내고, Table 3은 두 재료의 기계적 성질을 나타낸 것으로, 탄소강이나 그 합금강을 열처리(담금질, 뜨임)한 상태에서의 기계적 성질과 유사하다.

Table 1. Chemical composition of 16MnCr5

Composition	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Al	Cu
%	0.15	0.24	1.00	0.016	0.027	1.00	0.07	0.003	0.09

Table 2. Chemical composition of 42CrMo4

Composition	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Al	Cu
%	0.14	0.30	0.67	0.012	0.026	1.06	0.06	0.21	0.011	0.11

Table 3. Mechanical properties of 16MnCr5 and 42CrMo4

Workpiece materials	16MnCr5			42CrMo4		
	Tensile strength [N/mm <sup>2</sup> ]	Yield strength [N/mm <sup>2</sup> ]	Elongation [%]	Tensile strength [N/mm <sup>2</sup> ]	Yield strength [N/mm <sup>2</sup> ]	Elongation [%]
Mechanical properties	780~1080	590	10	800~950	600	14

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 공구경사각, 여유각, 비틀림각의 영향

텡에 있어서 홈의 형상은 Fig.2와 같이 나타내어진다.

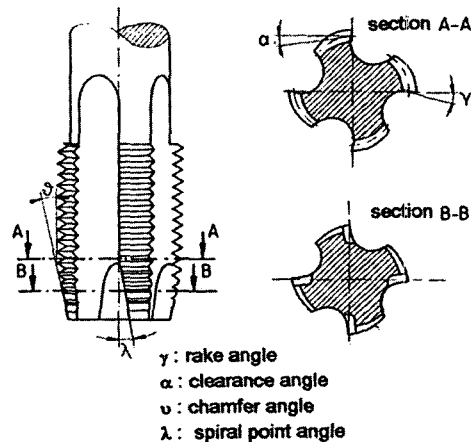


Fig. 2 Tap geometry.

이러한 탭의 홈형상은 외관적으로 축에 대하여 평행한 직선홈(스트레이트홈), 축에 대하여 비틀려져 있는 비틀림홈(스파이럴홈), 그리고 모따기부에 비틀림과 구배를 넣은 스파이럴 포인트홈이 있는데 이것은 탭의 용도에 의해 구분되어진다.

탭가공된 나사의 치수는 탭의 형상에 많은 영향을 받고 그 중에서도 경사각에 크게 의존하는 것으로 밝혀져 있다. 경사각을 바꾸면 피삭재를 바꾸어도 같은 치수의 태

핑을 할 수 있다.<sup>(9)</sup> 그러나 탭을 제조할 때, 같은 재료에 대해서도 여러 종류의 경사각을 가진 탭을 만드는 경우가 많다. Pera 보고서<sup>(10)</sup>에 의해 수행된 실험에 의하면 商用的으로 사용되는 경사각은  $-17^{\circ} \sim +18^{\circ}$ 이다. 탭수명 실험에 따르면 저탄소강을 태핑할 때 경사각은 대체로  $\gamma = 3^{\circ}$ 로 추장된다. 태핑할 피삭재에 대해 최적의 공구경사각을 알기 위해서는 많은 실험을 거쳐야 되는데, 본 실험에서는 16MnCr5, 42CrMo4를 주어진 절삭조건에서 실험하였다.

Fig.3은 경사각  $\gamma$ 를  $4^{\circ}, 8^{\circ}, 12^{\circ}$ 로 바꾸어 토크를 측정 한 결과로써 절삭이론에 부합되는 결과를 보여주고 있다. 즉 절삭속도의 증가에 의해 절삭저항은 감소하고, 경사각이 클수록 절삭저항이 감소하는 일반적인 경향을 보여주고 있다. 여기서 주목할 점은 경사각  $8^{\circ}$ 에서  $12^{\circ}$ 로 바뀔 때 그 변화는 미미한데 공구마모의 측면에서 볼 때 공구의 경사각은  $8^{\circ}$  정도로 선정해주는 것이 바람직하다. Fig.4는 피삭재를 42CrMo4로 절삭속도 10, 18, 25, 33 m/min로 바꾸어 실험한 경우 절삭저항의 변화를 나타낸 것이다. Fig.3과 같은 비슷한 경향을 보이지만 경사각 가 12 일 때 절삭토크는 오히려 증가함이 특이하다. 이러한 현상은 태핑 시 절삭온도의 상승에 의한 온도효과(thermal effect), 구멍내부에서 칩과 공구의 마찰, 재료 내부의 전단유동응력의 변동, 공구의 마모, 혹은 칩의 배출이 원만하지 못한데서 오는 것으로 생각된다.<sup>(11),(12)</sup> Fig.3 과 Fig.4로 부터 절삭속도가 낮은 범위에서 추장되는 경사각과, 절삭속도가 높을 때 고속태핑에서 추장되

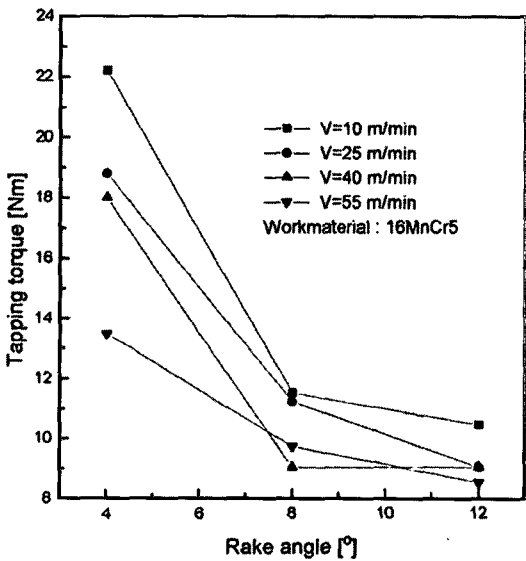


Fig. 3 Effect of rake angle on tapping torque with cutting speed.

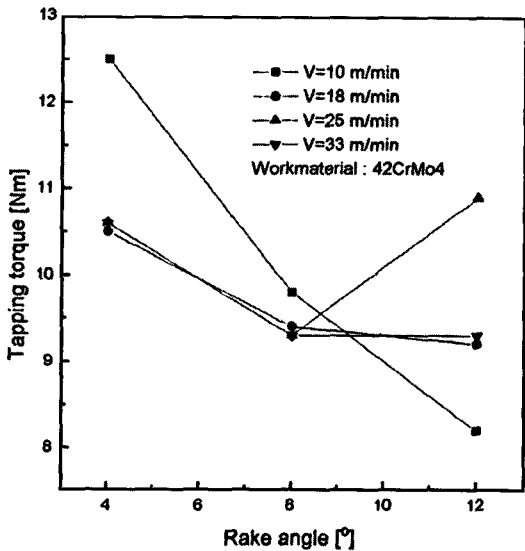


Fig. 4 Effect of rake angle on tapping torque with cutting speed.

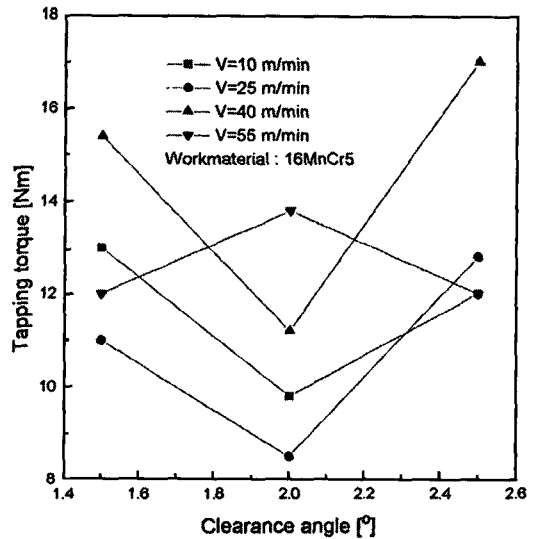


Fig. 5 Effect of clearance angle on tapping torque with cutting speed

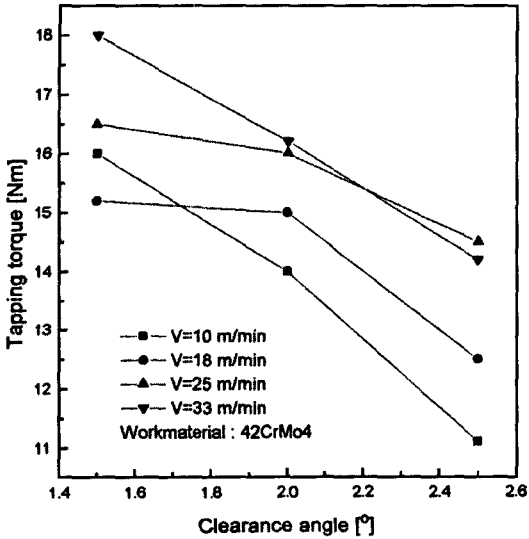


Fig. 6 Effect of clearance angle on tapping torque with cutting speed.

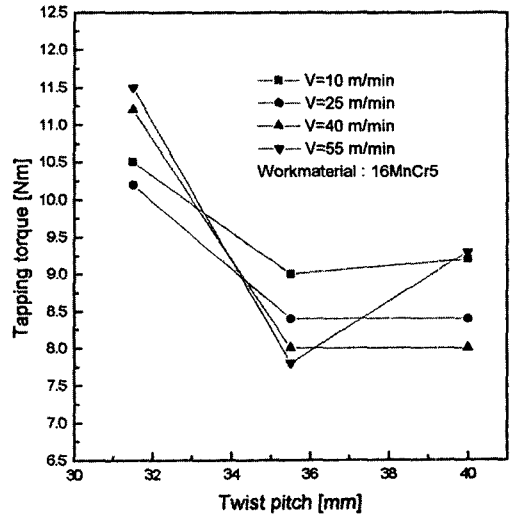


Fig. 7 Effect of twist pitch on tapping torque with cutting speed.

는 값은 피삭재료에 따라 각각 다름을 알 수 있다.

Fig. 5는 절삭속도  $V$ 를 10, 25, 40, 55 m/min로 16MnCr5를 태핑하였을 경우 공구의 여유각이 절삭토크에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 고속영역인 55m/min의 경우를 제외하고 여유각이  $2^\circ$  일 때 절삭저항이 최소화 됨을 알 수 있다. 그러나 42CrMo4의 피삭재료써 실험한 Fig. 6에서는 여유각이 증가할 수록 절삭토크가 감소하는 현상을 볼 수 있는데, 이로 미루어 볼 때 피삭재에 적합한 여유각을 잘 선정해야 함을 알 수 있다.

Fig. 7과 Fig. 8은 16MnCr5, 42CrMo4를 주어진 절삭속도 범위에서 실험하였을 때, 칩의 배출에 크게 영향을 미치는 탭홈의 비틀림 정도를 나타내는 비틀림각  $P_f$ 가 절삭저항에 미치는 영향을 나타내었다.

탭의 기하학적 특징 상 모따기부에서 완전나사부까지 형성되어 있는 각 공구날은  $P_f$ 의 값에 따라 각 공구날의 경사각은 조금씩 변하게 되는데 비틀림각이 클수록 그 차이는 크게된다. 그림에서  $P_f$ 가 32mm에서 35mm로 증가한 경우 절삭토크는 급격하게 감소하고 35mm보다 커지면 그 변화를 거의 볼 수 없다. 이러한 원인은 구멍가공 특히 탭가공에 있어서 칩배출성에 의한 것으로 생각되고, 칩배출은 절삭저항과 직접적인 함수관계를 가지고 있다고 볼 수 있다. Fig. 7과 Fig. 8에서 탭의 비틀림각이 절삭토크에 미치는 영향은 공구의 경사각과 여유각과는 달리 피삭재의 종류에 관계없이 유사한 경향을 보인다.

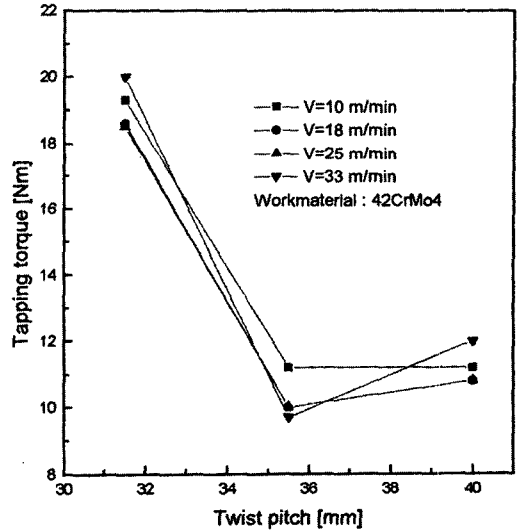


Fig. 8 Effect of twist pitch on tapping torque with cutting speed.

탭의 완전나사부는 태핑 시 안내 역할을 하고 있으며, 피삭성이 나쁜 재료나 탭의 지름이 클 경우, 드릴가공된 지름이 커거나 난삭재의 가공을 할 때 탭과 피삭나사의 마찰저항이 증가하여 탭의 용착이나 피삭암나사의 최종 다듬질면의 불량요인이 된다. 이러한 이유로 탭의 나사부에 공구날 끝 부분에서 부터 미소한 면취를 하게 되는데 이것을 나사릴리프라고 한다. 이 나사릴리프의 종류를

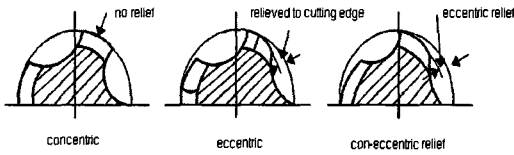


Fig. 9 Classification of thread relief

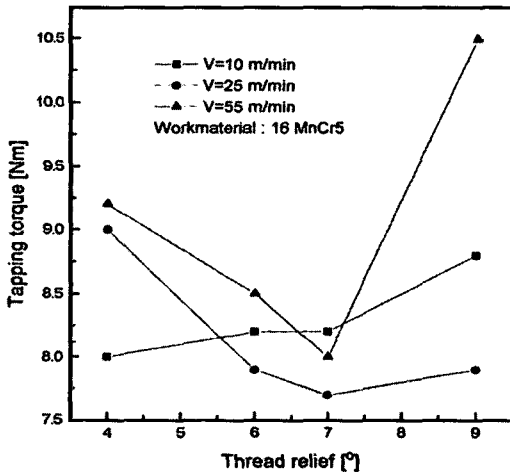


Fig.10 Effect of thread relief on tapping torque with cutting speed.

Fig.9에 나타낸다. Fig.10은 16MnCr5를 태핑하였을 때 나사릴리프와 절삭토크의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서 볼 때 양변수의 함수관계는 명확하지 않다. 이것은 태핑의 절삭기구를 더욱 복잡하게 만드는 요인이 된다. 이러한 관점에서 지금까지 주장되어져 온 나사릴리프의 값을 살펴보면, Kurren(1925)과 Schlesinger(1926)은 일반강에 대해 5°로 하였고, Springer(1937)은 11mm의 지름을 가진 탭으로 강을 태핑하였을 때 나사릴리프를 랜드 당 0.08mm에서 0.13mm(중심각 30°)로 추장하였다. Schlesinger(1944)는 8.7mm~14.3mm의 지름을 가진 3개의 일반적인 탭으로 가공하였을 때 나사릴리프를 0.05mm~0.06mm로 추장하였으며, Goldberg(1944)는 여러 종류의 나사릴리프로 실험하였을 때 적절한 나사릴리프는 없거나 보통 랜드 당 0.002mm ~ 0.127mm로 설계하는 것이 바람직하다고 하였으며 재료에 대한 언급은 없었다. Puetz(1950)은 나사공차에 따라 0.02mm ~ 0.04mm로 추장하였으며 공구여유면을 샤프닝(sharpening)한 후 나사의 유효지름이 점차 감소함을 나타내었다. Urban(1955)은 태핑이 완전나사부에서 완결된 시점을 기준으로 랜드 당 나사릴리프를

0.03mm로 함이 바람직하다고 주장하였으며, Mathes(1940)와 Mayr(1956)은 나사릴리프의 중요성을 챔프릴리프(chamfer relief)와 연관하여 그 중요성을 강조하였으나 구체적인 수치에 대한 언급은 보이지 않는다. 따라서 이러한 나사릴리프에 대한 배경으로 볼 때 피삭재료나 공구의 형상, 절삭조건에 따라 나사릴리프는 상호관계가 있는 것처럼 생각되나 태핑 자체의 절삭기구가 매우 복잡하여 그 해석이 어려운 것으로 여겨진다.

### 3.2 절삭토크의 특성과 칩배출

Fig.10은 16MnCr5를 절삭속도 V=55m/min로 태핑한 경우 절삭토크를 측정한 곡선이다. 그림에서 보드시 절삭초기에 모따기부의 절삭이 순간적으로 끝나고 이후 완전나사부의 절삭이 이루어질 때 그 변동의 폭이 매우 큼을 알 수 있다.

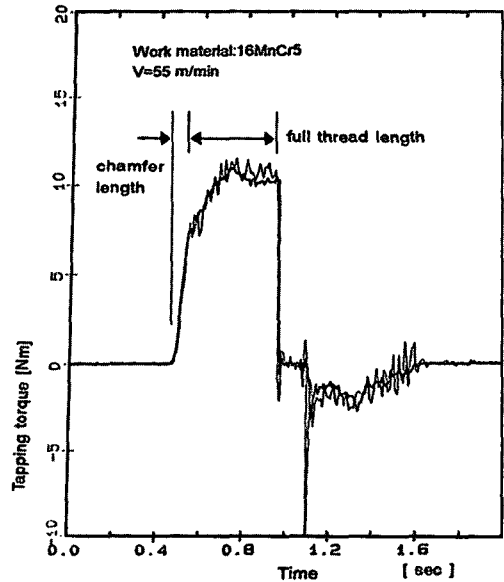


Fig.11 Variations of cutting torque in  $V_c=55\text{m/min}$

이 변동의 차는 대부분 칩의 배출에 의한 구멍주벽의 구속, 그리고 공구날과 생성된 나사면 사이의 마찰에 의한 것이다. 완전 나사부 이후의 절삭토크 곡선은 탭을 본래 위치로 빼낼 때 생기는 마찰에 의한 것이다. 이러한 절삭토크의 변화특성은 공구의 형상, 절삭조건, 피삭재, 절삭유, 드릴가공된 구멍의 지름 등 여러 영향인자에 따라 다른데 이 특성곡선을 분류한 것이 Fig.12(a) ~

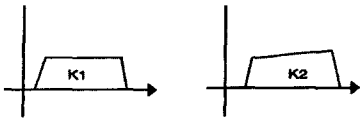


Fig.12(a) Constant slope of full cut.

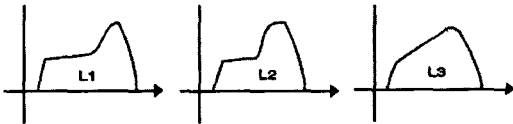


Fig.12(b) Ascent at end of full cut

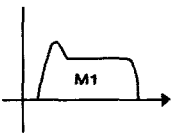


Fig.12(c) Ascent at start of full cut.

Fig.12(c)이다. 여기에서 볼 수 있듯이 특성곡선의 형태는 대략 3가지 종류로 나눌 수 있는데 Fig.12(a)는 완전나사부까지 가공이 전부 되었을 때 토크의 기울기 변화가 거의 일정함을 보여주는 것이고 Fig.12(b)는 완전나사부에서 칩의 배출이 완만하지 못한데서 오는 토크의 변화를 나타내는 것으로 이러한 현상이 심하면 대부분 나사면 정도가 좋지않고 탭의 파손이 발생하기도 한다. Fig.12(c)는 불완전나사부의 가공이 끝날 무렵 발생하는 토크의 변화로써 그렇게 좋은 가공면은 얻어지지 않는다.

Table 4 Relations between rake angle and characteristic curve with torque (workpiece material : 16MnCr5)

Tap geometry	V=10 m/min	V=25 m/min	V=40 m/min	V=55 m/min
$r=4^\circ$	L3	L3	L3	M1
$r=8^\circ$	L3	L3	M1	M1
$r=12^\circ$	M1	M1	M1	L3

Table 4는 16MnCr5 를 절삭속도  $V=10^\circ, 25^\circ, 40^\circ, 55\text{m/min}$ 로 하고, 여유각  $\alpha = 2^\circ$ , 공구경사각  $\gamma = 4^\circ, 8^\circ, 12^\circ$  로 바꾸어 실험하였을 때 특성곡선의 분류에 따라 도표화한 것이다. Table 4에서 볼 때 공구경사각  $\gamma=4^\circ$  일 때, 대체적으로 절삭속도가 증가하면 탭의 완전나사부의 후반부에서 절삭토크가 증가하는 양상을 볼 수 있으나, 절삭속도  $V=55\text{ m/min}$  일 때 탭의 모따기부에서 절삭토크가 갑자기 증가함을 알 수 있다. 이것은 절삭속도의 증가에 따라 칩의 두께가 감소하여 절삭

기 부터 칩의 배출이 악화되어 절삭토크가 증가하는 것으로 생각된다. 이러한 현상을 뒷받침하는 것으로 공구경사각이 증가하면 절삭이론 상 전단각이 증가하고 아울러 칩의 두께가 감소하는 바, 공구경사각  $\gamma=8^\circ, \gamma=12^\circ$  로 증가하고, 절삭속도가 증가할 수록 완전나사부의 절삭초기에 절삭토크가 증대함을 이 표로부터 알 수 있다. 다음에 여유각 에 따른 절삭저항 특성곡선의 관계를 살펴보면 Table 5와 같다.

Table 5 Relations between relief angle and characteristic curve with torque (Workpiece material : 16MnCr5)

Tap geometry	V=10 m/min	V=25 m/min	V=40 m/min	V=55 m/min
$\alpha=1^\circ30''$	M1	L3	L2	L2
$\alpha=2^\circ$	M1	L2	L2	L2
$\alpha=2^\circ30''$	L1	L1	L2	L2

Table 5는 Table 4과 같은 조건에서 공구경사각  $\gamma=8^\circ$ , 여유각을 표와 같이 변화시켰을 때 절삭토크의 변화 곡선을 분류한 것이다. Table 5에서 여유각에 변화를 주면 절삭속도에 관계없이 절삭토크는 대부분 완전나사부에서 저항의 기울기가 극심한 상태가 되고, 이것은 앞에서 언급한 것과 같은 공구의 진동과 칩의 배출성이 불량한데서 오는 결과라 여겨진다. 또한 표로부터 절삭속도가 낮은 영역에서는 절삭토크의 변화가 조금 보이나 대부분의 절삭속도 범위내에서는 거의 변화가 보이지않는다. 따라서 여유각에 의한 절삭토크의 영향은 거의 없음을 알 수 있다. Table 6에서는 공구경사각  $\gamma=4\sim12^\circ$ , 여유각  $\alpha=1^\circ30''\sim2^\circ30''$ ,  $Pf=32\sim35\text{mm}$  의 범위에서 16MnCr를 태핑하였을 때 주어진 탭형상에서 절삭속도를 바꾸어 실험한 결과 칩이 탭에 휘말려 더 이상 가공불능의 상태가 되는 정도를 백분율로 나타낸것이다. 여기에서 절삭속도가 낮은 범위에서는 공구의 경사각과 여유각이 칩의 휘말림에 크게 영향을 미친다는 것을 알 수 있고, 특히 경사각에 의한 변화가 뚜렷함을 알 수 있다. 또한 절삭속도  $V=40\text{m/min}$  이상인 경우 오히려 비틀림각  $Pf$ 가 칩 휘

Table 6 The effect of tool geometry on chip jamming(16MnCr5)

Geomt.	V=10 m/min			V=25 m/min			V=40 m/min			V=55 m/min		
	chip [jam]	total	%	chip [jam]	total	%	chip [jam]	total	%	chip [jam]	total	%
$\gamma$	9	19	47.3	3	19	15.8	2	19	10.5	5	19	26.3
$\alpha$	2	12	16.7	1	12	8.3	2	12	16.7	1	12	8.3
$Pf$	1	12	8.3	1	12	8.3	3	12	25.0	4	12	33.3

말림에 더 큰 영향을 준다. 이것은 절삭속도가 높을 때 칩의 두께 변화가 칩의 배출방향에 의해 크게 영향을 받는다는 것을 의미한다.

Table 7은 공구경사각  $\gamma=4\sim 12^\circ$ , 여유각  $\alpha=1\ 30''\sim 2^\circ\ 30''$ , Pf=32~35mm의 범위에서 42CrMo4를 탭핑한 경우의 칩의 휘말림 정도를 나타낸 것이다. Table 5와는 달리 칩의 휘말림은 공구의 여유각에 크게 의존하고 다른 두 변수는 크게 영향을 미치지 못함을 알 수 있다. 결론적으로 두 재료의 절삭성능을 평가해 볼 때, 절삭성능에 관계되는 절삭저항이나 칩의 배출상태는 피삭재의 종류에 따라 크게 다르다. 이것은 가공조건에 따른 칩의 유출각, 칩의 두께, 칩-공구 접촉길이, 탭의 형상인자에 의한 칩의 운동 등에 기인되는 변수의 상호작용에 의한 것으로 생각된다.

Table 7 The effect of tool geometry on chip jamming(42CrMo4)

Geomet.	V=10 m/min			V=17.5 m/min			V=25 m/min			V=40 m/min		
	chip [jam]	total	%	chip [jam]	total	%	chip [jam]	total	%	chip [jam]	total	%
$\gamma$	0	9	0.0	1	9	11.1	0	9	0.0	2	9	22.2
$\alpha$	2	10	20.0	2	10	20.0	2	10	20.0	2	10	20.0
Pf	0	9	0.0	1	9	11.1	0	9	0.0	0	9	0.0

Table 6, Table 7에서 칩의 휘말림정도를 고찰해볼 때 칩의 배출은 피삭재의 종류에 따라 다르므로 칩처리외의 관점에서 공구를 설계할 때는 공구의 형상에 따른 충분한 실험을 해 둘 필요가 있다.

#### 4. 결 론

다양한 공구형상을 가진 탭으로 절삭속도를 바꾸어 실험한 결과 절삭토크의 변화특성을 구하고 그 변화를 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 태핑에 있어서 공구의 경사각, 여유각은 절삭토크의 변화특성에 크게 영향을 미치고 피삭재의 종류에 따라 적절한 공구각이 별도로 존재하며, 공구의 비틀림각은 피삭재에 관계없이 절삭토크에 일정한 영향을 미친다.

(2) 탭의 적절한 나선리프트 값은 각 공구의 형상에 따라 그 변동의 폭이 매우 심하다.

(3) 탭에 있어서 절삭성능에 관계되는 절삭저항의 특성과 칩의 배출은 특정한 공구각에 의존하지 않고 그 변화가 상호복합적으로 영향을 미치게 된다. 따라서 탭의 설

계 시 고려되는 사항은 탭의 공구형상이 절삭조건에 따라 절삭토크의 특성곡선에 어떻게 영향을 미치는가를 알아보고 칩의 휘말림성을 정량적으로 구해 둘 필요가 있다.

#### 참 고 문 헌

- Lorenz, G., "The Effect of Rake Angle in Nut Tapping", C.I.R.P. Annals. vol 12, pp116-119, 1963.
- Lorenz, G., "A Study on the Effect of Tool Geometry", Mech. Engg. Tranction, Inst. Eng., Australia, ME, Vol 3, pp101-104, 1978.
- E.D.Doyle & S.K.Dean, "Effect of Axial Forces on Dimensional Accuracy during Tapping, Int.J.Mach.Tool Des. Res.", Vol.14, p325, 1974.
- J.Carl., "Fundamentals of Drilling, Tapping and Reaming", Int Symp. Influence Metal Hole Making Operation, Vol5, 1978,
- W.Scherm, F.Tikal, "Gewinde auf Bearbeitungszentren mit Synchrospindel bohren", Werkstatt und Betrieb, Vol.126, No.5, pp287-290, 1993.
- 宇尾平二, "タッピングの擴大しろについて", 不二越技報, Vol.13, No.1, pp44, 1954.
- G.Lorenz, "On Tapping Torque and Tap Geometry", Ann. of C.I.R.P., Vol.29, No.1, pp1-4, 1980.
- G.Lorenz, "The Effect of Tapping Speed on Dimensional Accuracy", C.I.R.P., Vol.11, No.2, pp74-81, 1963.
- K. Mayr, "Systematik des Gewindeschneides mit Einschnittgewindebohrern", Werkstatt und Betrieb, Vol.80, No11, pp731-733, 1956.
- Production Engineering Research Association: Performance of Taps. PERA Report No.42, 1956.
- Grudov, A.A., "The Influence of Cutting Speed and Tap Wear on Torque", Machines and Tooling, Vol.34, No.1, p43, 1963.
- Flemming, C.D. and Sudholz, L.H., "A Tapping Test for Evaluating Cutting Fluids", Lubrication Engg., Vol.12, No.5, pp199-203, 1956.