

탭 형상에 따른 공구마모 특성에 관한 연구

최만성* (한국기술교육대), 윤홍기** (한국기술교육대 대학원 기계공학과)

A Study About Tool Wear Characteristic on Geometry of Tap

M. S. Choi(Mech. Eng. Dept., KUT), H. K. Yoon(Mech. Eng. Dept., KUT)

ABSTRACT

In this study, tap wear was analyzed not only to predict the tap life time but also to propose an improved tap design. Because rake angle and thread relief of tap are the significant factors in geometry of tap, these two factors were picked as the experiment variables. The experiment was conducted with six types of tap which have 6°, 8° and 12° of rake angles with 0.08mm and 0.14 mm of thread relief. From the measured cutting force, it could be known that cutting torque was low at the large the rake thread relief and tool life was long as rake angle became large. Eventually, tool life is longest when rake angle is 12° and the with 0.08mm thread relief. Aand the width of crater wear and that of flank wear were measured when a tapping torque was 20 [kgf-mm]. Most of the measured values were above the width of tool wear [$V_B=0.03mm$], which means that tool life is over.

Key Words : Rake angle(경사각), Thread relief(나사여유), Crater wear(경사면마모), flank wear(여유면마모), Tapping torque(태핑토크)

1. 서론

최근산업은 제품의 다품종소량생산, 고품질, 비용 절감의 추구를 위해 고성능 공작기계를 활용한 자동화, 무인화 생산을 추진하고 있다. 이러한 생산 방식은 자동화된 공작기계뿐만 아니라 새로운 절삭 가공법, 새로운 공구의 개발 및 적절한 절삭공구의 선택이라는 중요한 문제점을 내포하고 있다. 태핑은 드릴이나 리머등으로 구멍을 가공후 그 구멍에 암나사를 가공하는 방법을 말하며, 대부분 최종공정에 해당되는 중요한 절삭공정이다. 그러므로 최종 공정인 태핑에서 제품의 불량률이 발생시 막대한 손실을 입게 된다. 공구의 경쟁력을 결정하는 것은 공구수명, 가공정밀도, 절삭조건, 가공영역, 절삭능력 등으로 이러한 모든 요인을 만족시키는 공구의 개발은 매우 필수적인 과제이다. 생산방식이 자동화, 무인화를 요구하는 가운데 태핑에서도 필요한 조건으로 암나사의 정밀도가 안정되어야 할 것, 탭의 수명이 길어야 할 것, 그리고 절삭칩에 의한

트러블 및 절손되는 트러블이 없어야 하며, 고속가공이 가능해야 하는 조건이 필요하다.⁽²⁾⁽³⁾ 이 중 탭의 수명에 관한 문제는 위에서 제시된 생산방식에 밀접한 관계를 맺고 있다. 공구 수명을 예측할 수 있다면 제품가공 시 공구를 일정 시점에서 교환하여 불량률을 최소화 할 수 있으며, 또한 공구의 재연삭 시기를 놓치지 않고 공구를 보호할 수 있어 탭을 효율적으로 사용할 수 있을 것이다. 이에 따라서 본 논문에서는 탭 형상의 구성요소인 경사각(rake angle)과 나사여유(thread relief)에 변화를 주어 그에 따른 마모 특성을 분석하여 탭의 수명시기를 예측하고, 탭형상과 마모와의 관계를 분석하여 탭의 형상부분에서 수명을 향상시킬 수 있는 실제의 방향을 제시하는데 목적을 두었다.

2. 본론

2.1 태핑의 절삭력

접선력(주절삭력) F_z 는 절삭토크를 결정하고, 반경력(배분력) F_y 와 축력(이송분력) F_x 의 특성 및 변화는 나사산의 정밀도에 영향을 미치며, 잘못된 나사절삭을 일으킬 수 있다. 축력 F_x 의 영향에 대한 연구로서 Fig.2(a)은 태핑이 피삭재를 관통하는 것을 보여 주고 있으며, 나사의 플랭크(경사면) CD면에 의해 구멍으로 밀려 들어가는 형상을 보여 주고 있다. 그러나, CD면의 면적은 축력 F_x 를 지지하기에는 너무 작다. 그래서 태핑의 축방향 힘 F_x 은 불충분하며, 플랭크(경사면)에 반대로 작용된다. 이러한 작용은 태핑의 나사면이 피삭재와 접촉되어 증가할 수록 태핑의 면을 유도하는 힘은 감소된다. 그러나 플랭크 끝선 CD, GH의 절삭으로 발생하는 힘 F_{-z} 는 축력 F_x 와 균형을 이루어지지 않는 한 오랫동안 접촉면적을 갖기 위해 축력은 계속 작용될 것이다. 여기서 축력 F_x 는 끝선 AB, BC, EF, FG의 절삭으로 발생된다. 이러한 작용으로 나사산은 부정확한 형태로 되며 정밀한 플랭크(경사면)를 얻을 수 없다. 이러한 문제를 해결하기 위해 태핑의 챔퍼(chamfer)나, 너트, 리드스크류(leadscrew)가 설계 되었다.⁽¹⁾

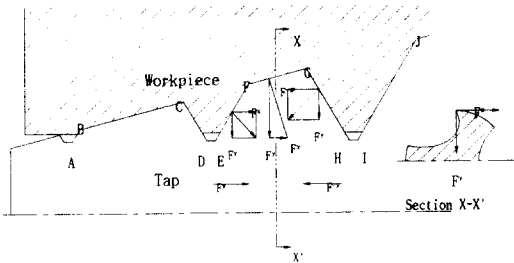


Fig. 2(a) Cutting forces exerted during tapping

불완전 나사부의 절삭날에 작용하는 절삭력은 Kienzle의 비절삭저항률 이용하여 다음의 3가지 요소의 절삭력을 구할 수 있다. 여기서, A_r 은 실제의 절삭면적을 나타내고 있다.⁽²⁾

$$F_z = K_z \cdot A_r \quad (1)$$

$$F_x = K_x \cdot A_r \quad (2)$$

$$F_y = K_y \cdot A_r \quad (3)$$

2.2 태핑의 마모

태핑의 마모는 태핑과 공작물 사이의 고온, 고압으로 인한 절삭날에 생기는 점진적인 변화이다. 이런 마모는 태핑 수명을 결정하는 중요한 판정 방법의 하나이다. 태핑의 마모 요인으로는 피삭재의 열처리 상태, 공구재질, 절삭날 형상, 절삭속도, 절삭유제 등이 있다. 태핑의 정상중 마모가 발생하기 쉬운 부분은 경사면과 여유면이다. 그 중에서도 절삭저항이 가장 많이 발생하는 곳이 챔퍼부의 여유각(chamfer relief angle)이다. 따라서 챔퍼부의 마모(wear of the chamfer)는 태핑 수명뿐만 아니라 태핑 가공된 홀의 정밀도에도 중요한 영향을 미친다. 태핑시 챔퍼의 마모는 각각의 날에 불규칙한 하중이 작용하게 되고, 절삭으로부터 절삭날을 보호하는 것이 힘들다. 마모가 발생되면 절삭표면의 정밀도가 떨어지고, 칩의 방해가 심해지고, 태핑 수명이 심각하게 감소된다. 또한 태핑시 암나사의 확대, 축소 및 변형과 절삭토크의 증가를 수반한다. 그래서 이러한 챔퍼부의 마모를 예측하여 공구의 교환으로 제품의 손해를 줄여야 한다. 마모의 영향은 단지 공구의 축에 관련된 절삭날의 위치에 의해 결정되는 챔퍼 마모의 영향만 있는 것이 아니라 섹크의 축과 관련이 있다. 그러나 실질적으로 섹크와 태핑 나사의 고려하면 태핑 중심구멍에 의해 움직일 때 문제가 된다. 이러한 구멍에 의해 결정된 축으로부터 마모의 측정은 매우 쉽다. 중심구멍이 정확할 때 나사와 섹크의 마모는 거의 일어나지 않는다. 그리고 칩의 영향에 의한 태핑의 수명이 고려되어야 하므로 칩과 관련이 있는 홀의 각(flute angular)과 간격(spacing) 크기가 마모의 중요한 문제에 어떤 영향을 미치는가하는 것이 중요하다.⁽¹⁾ 태핑의 마모 기준은 공구마모한계인 $V_0=0.3\text{mm}$ 이상과 공구파손시 0.5이상으로 한다. 본 실험에서는 태핑의 공구수명을 정상손상에서 챔퍼부의 경사면 마모(crater wear)와 여유면마모(flank wear)를 중심으로 판정하였다. Fig. 2(b)은 태핑 절삭날의 전형적인 손상을 나타내고 있다.⁽⁵⁾

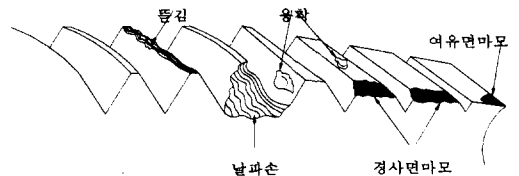


Fig. 2(b) Various damage of tap

2.3 실험장치 및 방법

실험에 사용된 탭의 사양은 스테인레스용 M14×2.0 Spiral flute tap으로 재질은 HSSE이며, 칩찍각은 13°이며 홈(flute)수는 3개인 막힌구멍에 적합한 탭이다. 그리고 탭의 형상면에서 경사각과 나사여유를 Table 1과 같이 제작한 탭을 사용하였다.

Table 1 Tapping test conditions

| | Rake angle θ [°] | Thread relief S[mm] | Thread relief Type |
|---|----------------------------|------------------------|-----------------------|
| 1 | 0.08 | 6° | Eccentric |
| 2 | | 8° | Eccentric |
| 3 | | 12° | Eccentric |
| 4 | 0.14 | 6° | Eccentric |
| 5 | | 8° | Eccentric |
| 6 | | 12° | Eccentric |

피삭재로는 오스테나이트계인 STS304을 선정하였다. 피삭재의 경도는 로크웰 경도시험결과 H_R B82~83을 얻었으며 인장시험결과 항복점(yield strenght)은 24.7~25.4[kgf/mm²], 인장응력(tensile strenght)은 56.4~57.2[kgf/mm²], 그리고 연신률(elongation)은 58[%]의 기계적 성질을 얻었다. 먼저 피삭재에 나사내기 구멍(기초구멍)가공은 M14×2.0 태핑시 걸림률 90%를 적용하여 기초구멍 ϕ 12.05mm로 선정하였고, 구멍의 형태는 막힌구멍으로 깊이 35mm 이상의 기초구멍을 가공하였다. 탭가공은 깊은 탭 가공으로 1.8D(25.2mm)의 태핑깊이를 선정했으며 절삭속도는 12m/min으로 STS304 태핑에서 이상적인 조건은 12m/min라는 실험결과⁽⁴⁾를 바탕으로 선정하였다. 또한 Table 1의 각각의 6개의 탭에 대해 태핑을 실시한 후 절삭토크를 검출하였으며, 탭의 경사면과 여유면마모를 측정하였다. 태핑시 절삭토크의 측정에는 회전동력계의 신호를 압전센서(Piezo-Electric Sence)를 통해 절삭력 신호를 감지한 후 Multichannel Conditioner와 A/D Converter를 통하여 컴퓨터로 보내어 절삭력분석 프로그램을 이용하여 해석하였다. 여기서 각각의 주파수 신호는 초당 500[Hz]를 10sec동안 받아서 절삭토크를 측정하였다. 실험을 위해 사용된 실험장치는 머시닝센터(TNV -80A)와 탭 부속장치 그리고, 절삭력 측정시스템을 사용하였다. 절삭력 측정시스템은 Fig (b)에 나타내었다. 우선 본 실험용 탭의 절삭토크를 이론적으로 산출했다. 최대절삭토크 실험식⁽⁵⁾ 의해 절삭토크가 18.45[kgf·mm]값을 얻었다. 예비 태핑실험에서는 태핑토크가 20[kgf·mm]이상시 탭이 파손되

는 결과를 가져와 마모를 측정할 수 없었다. 이 이유로 태핑실험에서 태핑토크가 20[kgf·mm]이상을 넘으면 실험을 중지하고 그 시점에서 탭의 경사면과 나사여유면의 마모정도를 측정하였다.

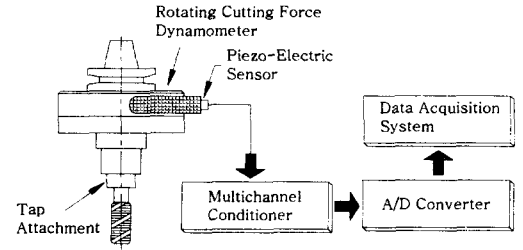


Fig 2(c) Schematic diagram of experiment

2.3 실험결과 및 고찰

2.3.1 탭 형상에 따른 태핑토크

태핑시 발생하는 절삭력의 신호를 이용하여 절삭 상태에서 탭의 마모와 파손상태를 검출해 낼 수 있다. 먼저 기초구멍에 나사여유 0.08mm와 0.14mm에 대한 경사각이 다른 각각 3개씩 6개의 탭에 대하여 태핑을 실시하며 태핑토크를 측정하였다. Fig 2(d)는 경사각(Rake angle) 6°에서 나사여유가 0.08mm와 0.14mm인 탭으로 태핑수에 따른 태핑토크의 변화를 보여주고 있다. 여기서 태핑토크가 3번과 4번 탭에서 급속히 증가함을 보여주고 있으며, 두가지 나사여유의 탭이 모두 7번째에서 20[kgf·mm]을 넘었다. Fig 2(e)는 경사각(rake angle)이 8°에서 나사여유가 0.08mm와 0.14mm인 탭으로, 나사여유가 0.08mm일 때는 처음 태핑토크가 16.8[kgf·mm]로 나사여유가 0.14mm일 때보다 태핑토크가 많이 발생되었다. 2, 3 번째에서는 안정적인 태핑토크를 유지하면서 5번째 가공에서는 급격하게 상승해 7번째에 태핑토크가 20.1[kgf·mm]로 측정되어 태핑을 중단했다. 나사여유가 0.14mm에서는 나사여유가 0.08mm일 때보다 적은 16.2[kgf·mm]의 태핑토크를 나타냈으며 2~4번째까지 안정적인 태핑토크를 유지 후 9번째에서 20.1[kgf·mm]로 태핑을 중단했다. 이 실험결과로 보아 경사각(rake angle)이 8°에서는 나사여유가 큰쪽이 절삭저항이 적고, 수명이 긴 것으로 나타났다. Fig 2(f)는 경사각(rake angle)이 12°이며 나사여유가 0.08mm와 0.14mm에서의 태핑으로 여기서 나사여유가 0.08mm일 때 처음 태핑토크가 15.2[kgf·mm]로 나사여유가 0.14mm일 때보다 태핑토크가 다소 많이 발생되었다. 그리고 2~6번째까지 안정적이며, 선형적인 태핑토크를 나타내었고 7,8번째 가

공부터 태핑토크가 상승 후 12번째 태핑에서 20.1 [kg_r-mm]로 태핑을 중단했다. 나사여유가 0.14mm에서는 나사여유가 0.08mm일 때보다 적은 14.6 [kg_r-mm]의 처음 태핑토크를 나타냈으며 2~4번째까지 안정적인 태핑토크를 유지 후 6번째부터 태핑토크가 급격히 상승해 10번째에서 20.1 [kg_r-mm]로 태핑을 중단했다. 이 결과에서 경사각(rake angle)이 12° 에서 나사여유가 0.14mm이 초기 절삭저항이 적게 나타났지만, 나사여유가 작은쪽 0.08mm이 오히려 수명이 긴 것으로 나타났다.

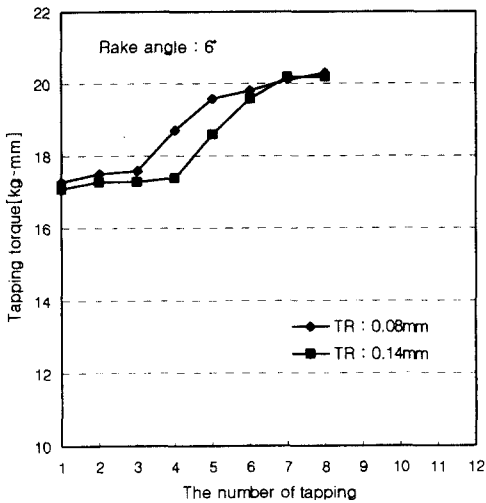


Fig 2(d) Relation between tapping torque and number of tapping at rake angle 6°

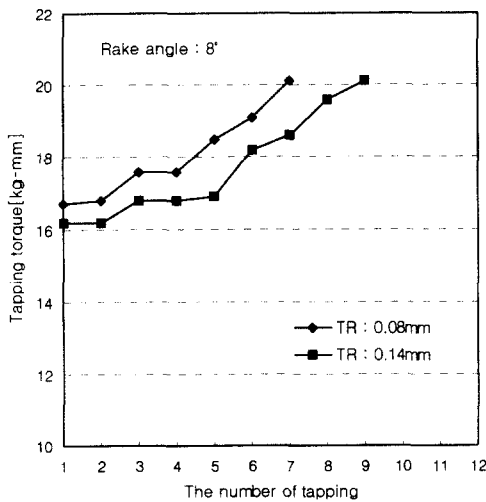


Fig 2(e) Relation between tapping torque and number of tapping at rake angle 8°

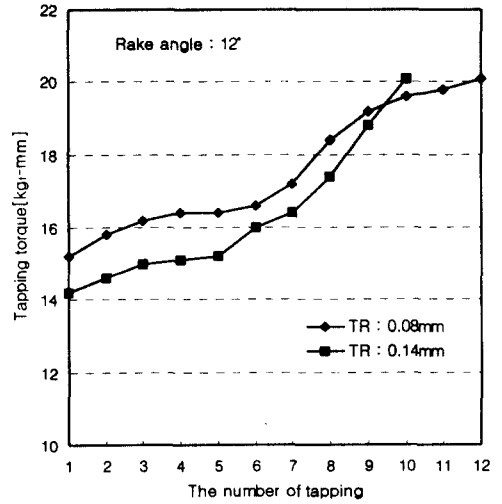


Fig 2(f) Relation between tapping torque and number of tapping at rake angle 12°

2.3.2 탭 형상과 마모

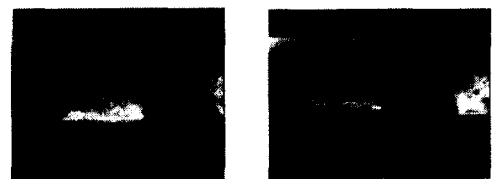
탭의 마모상태는 탭의 수명과 밀접한 관계로 이 실험에서는 공구 현미경(× 30)을 이용하여 아래와 같은 탭의 형상에 따른 마모상태를 분석했다.



(a)

(b)

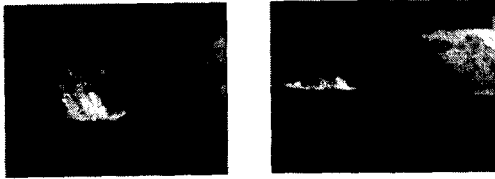
Fig 2(g) Flank wear(a) and crater wear(b) at rake angle 6° and thread relief 0.08mm



(c)

(d)

Fig 2(h) Flank wear(c) and crater wear(d) at rake angle 6° and thread relief 0.14mm



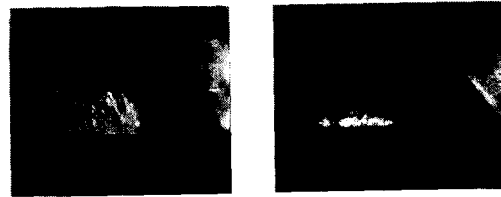
(a) (b)

Fig 2(i) Flank wear(a) and crater wear(b) at rake angle 8° and thread relief 0.08mm



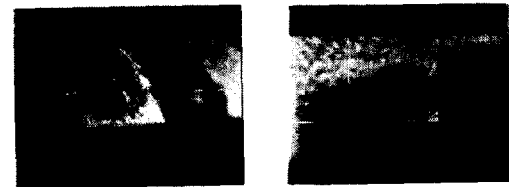
(c) (d)

Fig 2(j) Flank wear(c) and crater wear(d) at rake angle 8° and thread relief 0.14mm



(a) (b)

Fig 2(k) Flank wear(a) and crater wear(b) at rake angle 12° and thread relief 0.08mm



(c) (d)

Fig 2(l) Flank wear(c) and crater wear(d) at rake angle 12° and thread relief 0.14mm

탭의 마모 측정부위는 절삭면적이 가장 많은 2리드가 끝나는 절삭날을 측정위치로 선정하고 그 위치에서 여유면마모와 경사면(경사각과 여유각이 만나는 선) 마모폭을 측정하였다. Fig 2(g)와 Fig 2(h)는 경사각이 6°에서 각각의 나사여유가 0.08mm와 0.14mm의 형상에 대한 여유면과 경사면

마모폭을 보여주고 있다. 이 탭에서는 경사면 마모폭은 비슷하지만 나사여유가 0.08mm인 탭의 여유면 마모폭이 매우 큼을 알 수 있다. Fig 2(i)와 Fig 2(j)는 경사각이 8°에서 각각의 나사여유가 0.08mm와 0.14mm의 형상에 대한 여유면과 경사면 마모폭을 보여주고 있다. 이 그림에서는 나사여유가 0.08mm인 탭이 경사면과 여유면 마모폭이 심함을 알 수 있다. Fig 2(k)와 Fig 2(l)은 경사각이 12°에서 각각의 나사여유가 0.08mm와 0.14mm의 형상에 대한 경사면과 여유면 마모폭을 보여주고 있다. 이 그림에서는 나사여유가 0.08mm인 여유면 마모폭이 다소 크나, 경사면 마모폭은 작음을 알 수 있다.

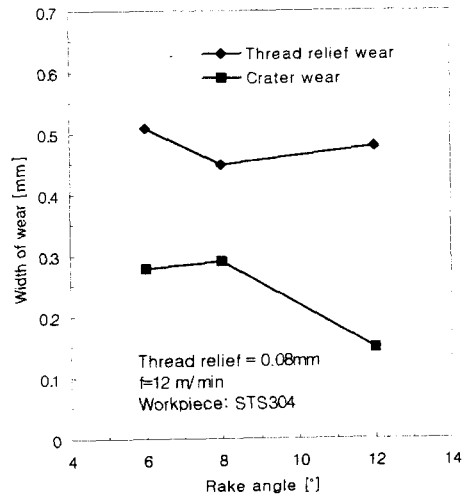


Fig 2(m) Width of wear Flank and crater at rake angle 8° and thread relief

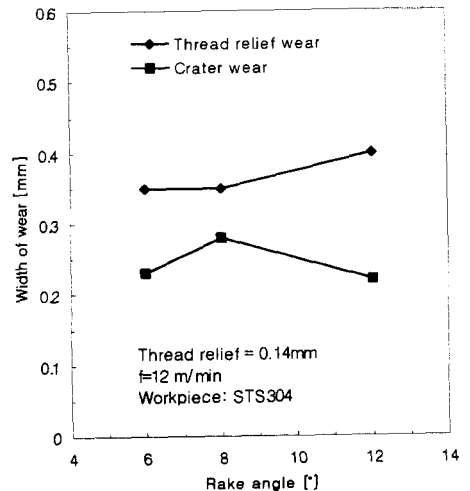


Fig 2(n) Width of wear Flank and crater at rake angle 12° and thread relief

Fig 2(m)과 Fig 2(n)은 나사여유 각각 0.08과 0.14mm인 탭에 대하여 경사각을 6°, 8°, 12°로 변화를 주어 제작한 실험용 탭의 마모폭을 그래프로 나타내었다. 나사여유가 0.08mm일 때의 그래프 Fig 2(m)에서는 경사각이 6°, 8°에서 두 마모폭이 모두 공구마모한계인 $V_B=0.3\text{mm}$ 를 넘거나 가까운 폭에 이르렀다. 경사각이 12°에서는 여유면 마모폭은 공구마모한계를 넘었지만, 경사면 마모폭이 0.15mm로 공구마모한계인 $V_B=0.3\text{mm}$ 를 넘지 않았다. 결론적으로 태핑토크는 여유면의 마모로 한계위치에 다달았지만, 경사각이 12°이고 나사여유가 0.08mm일 때가 마모폭이 작다는 것을 알 수 있다. 나사여유가 0.14mm일 때의 그래프 Fig 2(n)에서는 모든 탭의 여유면 마모폭이 공구마모한계를 넘어섰으며, 경사면마모에서는 경사각이 8°일 때를 제외하고 6°, 12°에서 경사면 마모폭이 0.23mm과 0.22mm로 공구마모한계인 $V_B=0.3\text{mm}$ 를 넘지 않았다. Fig 2(m)와 Fig 2(n) 알 수 있드시 여유면의 마모가 공구수명을 결정하는 중요한 인자로 여겨진다.

4. 결론

탭의 형상과 마모관계에서 탭의 경사각과 나사여유의 변화를 주어 각각의 태핑 수에 따른 절삭력의 변화와 탭마모 실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 각각의 탭 형상에 대한 태핑시 절삭력 측정을 통하여 탭의 형상요소 중 경사각과 나사여유가 태핑토크 및 수명에 많은 영향을 미침을 알 수 있었고, 또한 탭의 마모한계시점을 예측할 수 있었다.

2. 절삭력 측정결과 나사여유가 클 때 초기 절삭토크가 낮았으며, 경사각이 클수록 공구수명이 길었다.

3. 또한 경사각이 12°이고, 나사여유가 0.08mm인 탭이 태핑토크 및 탭 가공수를 비교해 볼 때 가장 수명이 긴 것으로 나타났다.

4. 태핑토크가 20kg_r-mm인 지점에서 경사면과 여유면 마모폭을 측정한 결과 공구마모한계인 $V_B = 0.3\text{mm}$ 를 넘어선 상태로 공구수명이 다 되었음을 확인할 수 있었다.

5. 또한 마모폭의 측정결과 경사면 마모보다 여유면 마모의 영향이 공구수명에 많은 영향을 미친다는 실험결과를 얻었다.

6. 본 실험에서는 깊은 태핑으로 공구의 정상마모를 얻기가 매우 힘들었으며 태핑실험 또한 반복적인 실험을 통하여 그 평균값을 고려해야만 했다. 깊은구멍의 태핑시 발생한 칩에 의한 탭 파손이 많

았다. 이런 칩의 영향을 고려된 수명을 향상시킬 수 있는 탭의 형상이 꾸준히 연구되어야 할 필요가 있다.

참고문헌

1. Zielinski, Z., "A Method of Testing Tap Performance," Machinery, pp.1364-1365, 1964.
2. Man-Sung Choi, "A Study on Tapping Torque in High Speed Tapping", KSME, Vol.18, NO.12, pp.3196, 1994.
3. M.S.Choi and J.B.Song, "On Tap Geometry and Characteristics of Torque in High Speed Tapping", KSPE, Vol.13, NO.8, pp. 139-145, 1996.
4. Jung-kil Lee, "A Study on Tapping for STS304 and Tap Geometry", KUT., pp.24-26, 2000.
5. 오에스지-株式會社, "Tapping作業", 韓國OSG株式會社, K-OSG Series No.3, pp.28-41, 1990.
6. E.D.Doyle and S.K.Dean, "Effect of Axial Forces on Dimensional Accuracy During Tapping", Int.J.Mach. Tool Des.Res. Vol.14, pp.330-332, 1974.
7. Y.B.Chen and J.L.Sha and S.M.Wu, "Diagnosis of the Tapping Process by Information Measure and Probability Voting Approach," Journal of Engineering for Industry, Vol.112, pp319-321, 1990.
8. 정진용, 유기현, 서남섭, "절삭력 신호특성과 히스토그램 분석에 의한 공구마모와 파손진단," 한국정밀공학회지, 제14권, 제3호, pp. 75-81, 1997.
9. 이태세, 이구현, "머시닝센터용 태핑툴 개발," 과학기술처, UCNO86-946, pp. 23, 53-55, 1987.
10. 三井 雅夫, "스테인리스강 태핑," 機械技術, pp. 42-44, 1994.