

소구경 미세홈 고속가공시 가공환경변화에 따른 가공성 평가

정연행*, 이채문*, 강명창**, 이득우**, 김정석**

* 부산대 대학원 정밀기계공학과

** 부산대학교 기계공학부

Evaluation of Machinability of Micro groove by Cutting Environments in High Speed Machining using Ball End Mill

Yun-Hang Choung*, Chea-Moon Lee*, Myung-Chang Kang**, Deug-Woo Lee**, Jeong-Suk Kim**

* Dept. of Precision Mechanical Engineering, Pusan National Univ.

** Dept. of Mechanical Engineering, Pusan National Univ

ABSTRACT

High speed machining is one of most effective technologies to improve productivity. It can give great advantage for manufacture of die and Moulds. However, when the high speed machining of materials, especially in machining of micro groove, a severely thermal damage was generated on workpiece and tool. Generally, the cutting fluid is used to improve penetration, lubrication, and cooling effect. In order to rise the performance of lubrication, it contains extreme pressure agents (Cl, S, P). But the environment of work room go bad by those additive. Therefore, the compressed chilly air with Oil mist system was developed to replace the conventional cutting fluid system. This paper carried out the tests to evaluate the machinability by the cutting environment in high speed micro groove machining of NAK80 (HRC40). Compressed chilly air with oil mist was ejected on the contact area between cutting edge and workpiece. The effectiveness of this developed compressed chilly air with oil mist system was evaluated in terms of tool life. The results

showed that the tool life of carbide tool coated TiAlN with compressed chilly air mist cooling was much longer than with dry and flood coolant when cutting the material.

Key Words : Cutting Environments,
Ball end Milling,
High speed Machining, Machinability,
Micro groove

1. 서론

1.1 연구배경

절삭가공을 하면 일반적으로 대량의 열이 발생하여 가공조건에 따라서는 온도상승을 초래하는데 이는 공구의 급격한 마모를 야기함으로써 가공정밀도를 저하시킨다. 최근 공작기계의 고속화와 중절삭화에 의해 절삭중의 발열량이 크게 증가하고 있고 더불어 절삭공구에 대한 중요성이 증대되고 있다. 또 공장자동화, 무인화와 함께 고온의 칩에 의한 화재의 위험성이 크게 문제되고 또 고정밀도화의 관점에서는 공작기계, 절삭공구, 피삭재 등의 열변형을 방지해야 한다. 절삭가공

의 해법이라고 생각되던 고압쿨러트 방식 등의 대량 절삭액 사용은 두 가지의 큰 문제를 가지고 있는데 하나는 코스트의 문제이며 다른 하나는 환경문제이다.

최근 환경오염에 관한 관심이 높아지면서 기계분야에서도 환경에 대한 규제가 엄격해짐에 따라 유제의 사용과 관리에 대한 경비가 급상승하고 있다.

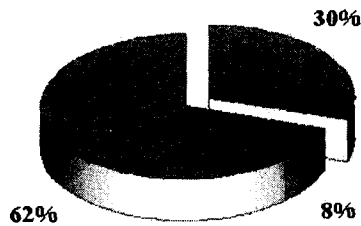


Fig.1 The Cost of Production
Tool 8%, Coolant 15~30%

Fig. 1에 나타낸 것과 같이 유제 관련경비는 현시점에서 생산가공비의 15~30%를 차지하고 있고^[2], 앞으로 이 비율이 점점 더 높아질 것은 분명하다. 극소량의 식물성 유제를 절삭점에 공급하면 절삭시 가공점에서의 고온화 때문에 윤활 성능이 상실되는데 이를 막기 위해 냉풍을 공급하여 가공점의 고온화를 방지한다. 따라서 본 연구는 소구경 엔드밀을 이용한 NAK80의 미세흡 가공을 위하여 절삭가공에 냉풍미스트(Coolant Mist)를 사용하여 절삭유제에 의한 환경오염 문제를 해결하고자 하였으며 이를 위하여 건식상태와, 절삭유를 사용했을 경우를 비교 대상으로 하여 공구수명과 표면 거칠기를 비교함으로써 냉풍미스트의 절삭특성과 우수성을 규명하고자 한다.

1.2 연구목적

현재 다우테크TM에서 가공하고 있는 핸드폰 배터리 금형에서 소구경 공구를 이용하여 미세흡을 가공하고있는데 피삭재 NAK80 (HRC36)에 테이퍼진 흡가공을 1.5 ϕ 의 초경공구로써 가공하고 있다. 하지만 피삭재에 대한 성능 평가의 미비-재료에 따라 적절한 조건이 아니면 공구수명의 감소뿐만 아니라 부러지는 문제점의 발생으로 인해 최상의 품질과 생산성의 향상을 꾀하지

못하고 있는 실정이다.

이러한 이유로 본 연구에서는 미세흡 가공시 가공환경의 변화 즉 냉각수의 사용, 건식, 냉풍미스트의 사용시에 따라 최적의 절삭조건을 선정함으로써 미세흡 가공시 공구수명의 증가와 품질 개선을 통한 생산성의 향상을 목적으로 한다.

최근에 고속가공의 기술개발과 함께 가공환경의 변화에 따라 공구수명의 증가^{[1][2]}를 증명하는 기술들이 개발됨으로써 더욱 향상된 절삭조건을 적용할 수 있게 되었다. 따라서 본 연구에서는 고성능 정밀 플라스틱 금형의 재료로 사용하고 있는 비 열처리재 강재인 NAK80을 소구경의 TiAlN코팅 공구를 이용하여 볼 엔드밀 가공시 가공환경의 변화에 따른 공구수명의 증가와 가공면의 거칠기와 기존의 절삭조건을 향상시킬 수 있는 조건을 선정하여 실험함으로써 생산성의 향상 등과 관련한 절삭특성을 검토하고 이 재료에 대한 최적절삭조건을 제시하였다.

본 연구에서는 환경오염이 거의 없는 절삭가공을 하기 위하여 압축냉각 공기 시스템을 제작하였으며 또한 윤활을 위해 미스트를 사용함으로써 미세 흡가공의 고속가공시 냉풍미스트의 효과를 평가하기 위하여 다음과 같은 실험을 하였다.

- * 환경오염을 줄일 수 있는 압축냉각공기를 오일 미스트와 함께 분사함으로써 냉각과 윤활의 목적을 동시에 실현.
- * NAK80 소재의 고속절삭시 가공환경 (건식, 습식, 냉풍미스트)의 변화에 따른 공구수명의 변화.
- * 가공환경의 변화에 따른 표면거칠기의 변화.
- * 소구경 공구의 미세흡가공시 최적의 절삭조건 선정.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 피삭재(Workpiece)의 특성

초경면성 정밀 플라스틱 금형강으로 많이 쓰이고 있는 NAK80은 Ni-Ai-Cu계의 시효 경화형의 강이기 때문에 피삭성, 가공면이 양호하고 절삭가공 및 방전가공후의 연마가 용이하고 용접성뿐만 아니라 사용시 변형이 적어 고 경면성을 증시하는 제품이나 방전가공면을 증시하는 제품에 많

이 쓰이고 있는 재료로써 초기 경도 HRC40의 재료이다.

본 실험에 사용한 피삭재는 현재 다우테크^(주)에서 핸드폰 배터리 금형으로 쓰고 있는 HRC40 정도의 PRE-HARDEN 타입의 고성능 초 경면성 정밀 플라스틱 금형강으로 쓰이는 NAK80을 선정하였다. Table 1은 NAK80의 화학적 성분을 나타낸 것이다.

Table 1 Chemical composition of workpiece.

Symbol	JIS	Component (wt%)							
		C	Si	Mn	Ni	Cu	Mo	Ai	Free Cutting element
NAK80	-	0.15	0.3	Little	3.0	1.0	0.3	0.1	Add

그리고, 절삭가공의 특성을 검토하기 위한 재료의 시험편형상과 크기는 Fig. 2와 같다.

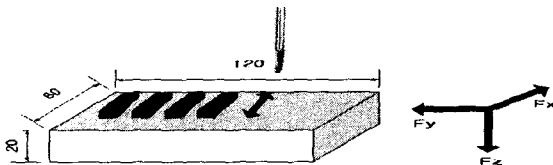


Fig. 2 Dimension of cutting test specimen

2.2 볼 엔드밀공구의 형상

본 실험에서 사용한 볼 엔드밀은 WC-Co (10%) 성분의 초경합금에 PVD에 의한 TiAlN 코팅처리(HV3500)된 것이고, 볼엔드밀 형상 및 규격은 Fig. 3 및 Table 2와 같다.

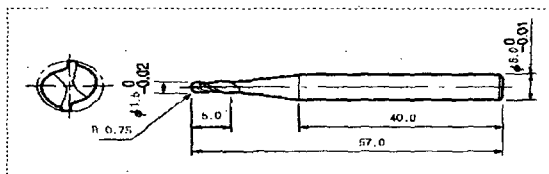


Fig. 3 Shape of the ball end mill

Table 2 Specification of the ball end mill

Spec.	Tool
Diameter (mm)	φ 1.5
Radial land width (mm)	0.3
End gashing type	Middle Center

2.3 실험장치의 구성

Fig. 4은 절삭가공에 있어서 절삭유제 대신에

냉풍미스트를 절삭점에 공급하기 위한 냉풍미스트 시스템을 나타낸 그림이다.

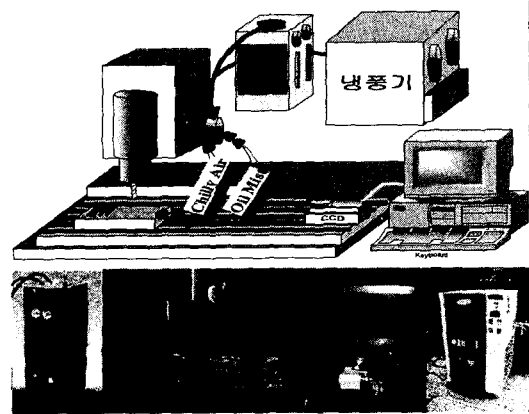


Fig. 4 Chilly Air with Oil Mist System

본 연구에 사용된 냉풍미스트 장치는 압축기에서 생성된 압축공기를 메인 라인 필터(Main Line Filter)와 히트레스 에어 드라이어(Heatless Air Dryer)를 이용하여 공기중의 수분을 제거하여 사용하였고, 이 공기는 냉각장치에서 -10도로 셋팅시 공기의 열전도도가 나쁘기 때문에 열교환 후 약 -8도 정도로 냉각된다. 그러나 보텍스 튜브에 의해 약-15도로 냉각되며 노즐을 통해 분사되는 순간에 단열 팽창하여 공기의 온도는 약-30도의 저온으로 되며 공급되는 압축냉각공기의 압력은 약7.1 kgf/cm²이나 저온의 효과를 높이기 위해 보텍스 튜브(vortex tube)를 사용하기 때문에 노즐에서의 압력은 약3 kgf/cm² 이었다. 그리고 장치에 사용된 오일 미스트의 분사압력은 컴프레셔의 압력을 그대로 받을 수 있었고 오일의 분사량은 시간당 4cc로 유제의 사용을 혁신적으로 줄일 뿐만 아니라 식물성 유제의 사용으로 환경오염방지도 가능하다. 또한 냉풍미스트를 가공중에 절삭날과 피삭재의 접촉점에 공급하기 위하여 직경이 2mm인 노즐을 사용하였다.

2.4 절삭조건

현재 다우테크^(주)에서 가공하고 있는 조건은 18,000rpm에 700으로 가공하고 있다. 이것은 날당 이송(Feed per tooth)이 0.019mm/min 이란 뜻인데 실험에 사용된 고속 머시닝센터(Makino-V55)는 공작기계의 특성을 고려하였을때 15,000rpm과 18,000rpm에서 공회전 시 운동오차가 상승하는

문제가 있으므로^[4] 그 영역의 속도에서 운동오차가 공구와 가공표면에 영향을 미치는 것을 방지하기 위하여 절삭속도 선정 시 축 회전수가 위 범위에 포함되지 않도록 하였고 또한 실제 가공량이라 할 수 있는 날당이송을 기존의 가공조건보다 크게 잡음으로써 생산성을 향상시킬 수 있는 절삭조건을 선정하였다.

본 실험에서 사용한 NAK80의 가공환경변화에 따른 절삭특성을 검토하기 위한 절삭속도와 이송량 및 절삭깊이의 조건은 Table 3과 같다.

Table 3 Cutting condition to investigate cutting environments ball end milling test.

Cutting condition	Cutting Speed (rpm)	Feed per Tooth (mm/min)	Feed Rate (mm/min)	Cutting Depth (mm)
Dry	16,000	0.03	960	0.040
Flood coolant				
Compressed Chilly Air with Oil Mist				
Tool overhang : 18mm				
Step Over : 0.150				

2.5 가공면 거칠기의 측정방법

표면거칠기는 가공면의 품질 평가에서 제외할 수 없는 요인 중 하나이다. 가공환경에 따라 표면거칠기는 달라질 것이며 공구마모에 따른 표면거칠기가 달라질 때 가공된 홈의 개수도 달라질 것이다. 다음의 Fig. 5는 실제 가공 피삭재의 모습이다.

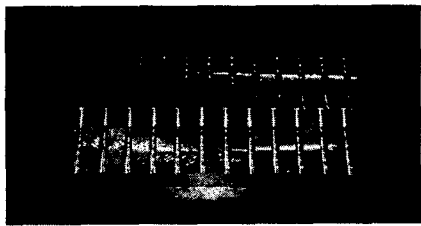


Fig. 5 Workpiece of experimental

표면거칠기의 측정은 측정식 조도측정기가 미세홈 안의 조도를 측정할 수 없었으므로 디지털 CCD Camera (Brand PULNIX 50X)를 사용하여 측정위치는 각각의 가공환경에 따라 1,5,10,15,20, 24번째 홈에서의 가공끝단의 두 번째 마디에서 측정하였다.

실제로 다우테크^(주)에서는 같은 날당이송에서 18,000rpm의 회전을 하기 때문에 표면정도는 실험결과보다 좋았지만 Feedrate 700(mm/min)에서 홈 한개를 가공하는데 걸리는 시간은 약 10여분이 걸리지만 Feedrate 960(mm/min)에서의 가공시간은 약 50%이상 감소한 5분30여 초였다. 하지만 소구경 공구 특히 미세홈의 가공시 이송속도의 증가는 공구에 치명적인 부하를 주게되고 그로 인해 공구는 쉽게 부러질 수 있다. 따라서 공구에 걸리는 부하를 줄이기 위해 Z축 하향 절삭시에는 Feedrate 480(mm/min)을 줌으로써 공구의 부러짐을 방지했다. 그 결과로써 약 40%이상의 생산성을 향상시킬 수 있었다.

2.6 공구마모의 측정방법

볼 엔드밀 공구의 마모현상과 마모량의 측정은 공구현미경 (Olympus 200X CCD Camera)를 이용하여 측정하였으며 공구의 마모량은 공구의 직경을 고려하여 Frank Wear 0.1mm를 기준으로 공구수명을 평가하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 실험방법

본 실험에 사용된 고속머시닝센터(Makino-V55)는 최고 주축회전수가 20,000rpm 최대 이송속도는 50m/min이며 절삭유체의 공급압력은 약 20bar이다.

절입깊이(Depth of Cut)와 피크피드(Pickfeed)는 황삭조건으로 하였으며 가공환경변화에 따른 공구수명, 공구마멸형태의 변화와 표면거칠기를 비교하기 위해 다른 절삭조건은 Table 3과 같이 고정하였다.

Fig. 6는 TiAlN 코팅된 $\phi 1.5$ 의 초경공구로 경도가 HRC36인 NAK80을 홈가공 했을 때 가공환경의 변화에 따른 플랭크 마모를 홈의 개수에 비례해 나타낸 것이다.

습식가공의 경우 홈을 5개 가공하였을 때 공구 마멸량이 0.05mm정도로 공구한계 수명인 0.1mm에 도달하진 않았지만, 아홉번째 홈의 가공 중에 공구의 이상 파열현상으로 공구가 부러졌다. 3번에 걸친 같은 실험에서 같은 결과가 나왔

는데, 이는 여러 가지 현상이 복합적으로 공구에 작용하여 일어난 것으로 보인다. --공구에 열적피로가 생겼을 때 $\phi 10$ 의 공구는 습식가공에서 열적 피로의 영향에 의해 발생하는 조개 껍질 모양의 이상 마멸 형태인 치핑(Chipping)이 발생하는데 이는 엔드밀을 이용한 단속절삭시 기계적인 충격력과 함께 절삭날에 심한 열적피로를 가지기 때문이었다.^[5] $\phi 10$ 의 공구에서는 공구날 끝의 마모가 크져 크랙이 발생하는 정도이지만 소구경 공구의 경우 공구 수명의 감소가 아닌 공구자체를 쓰지 못하는 경우가 되어 버린다. 따라서 공구에 부하가 많이 걸리는 고속가공에서의 소구경 공구의 사용은 절삭조건을 잘 선정하는 것이 중요하지만 고속가공의 특성을 살리려고 한다면 기존의 습식에서는 힘들고 다른 냉각의 방법, 즉 오일 미스트, 냉풍 가공, 복합미스트 가공등의 새로운 방법이 필요하리라 생각된다. --

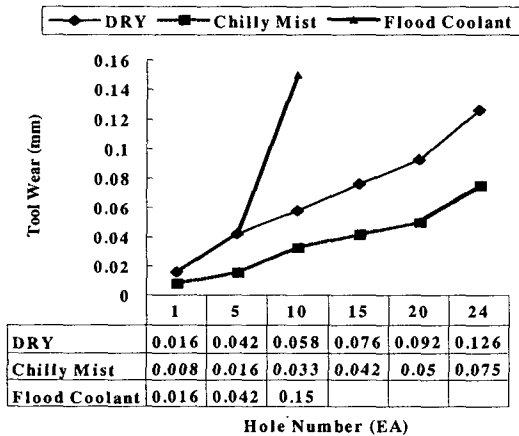


Fig. 6 Flank Wear of Tool by Cutting groove in Cutting environments

냉풍미스트의 경우에는 가공된 홈의 개수가 24개 정도에서 공구의 마모가 약 0.075mm로 공구한계 수명인 0.1mm에 도달하지 못하였고, 건식의 경우 약 20번째 홈 가공에서 한계 수명인 0.1mm에 다달았다. 위의 결과로서 냉풍미스트의 경우가 건식의 경우보다 약 2배 정도의 공구수명이 향상되었고 습식과는 비교할 수 없을 정도였다.

엔드밀 가공에서는 단속절삭이 이루어지기 때문에 절삭날이 피삭재에 인게이지(engage)할 때는 큰 기계적 충격이 공구날에 가해지게 되며,

습식의 경우 절삭시 가열과 공전시의 냉각을 서로 반복하여 받기 때문에 열적 충격에 의한 소성변형이 진행되어 공구의 단수명화가 촉진된 것으로 여겨진다. 특히 고속절삭시에는 범용절삭보다 절삭온도가 상승하기 때문에 열적 충격이 클 것으로 생각된다. 또한 습식의 경우 고속절삭시에는 절삭날이 피삭재를 절삭하는 접촉점에서는 상당히 큰 압력이 작용하고 있으므로 절삭점에 발생하는 열을 충분히 발산시킬 수 있을 만큼 충분한 침투가 이루어지지 않는다. 단속절삭으로 인하여 작용하는 열적 피로는 건식이나 냉풍미스트보다는 습식의 경우가 더 크다.

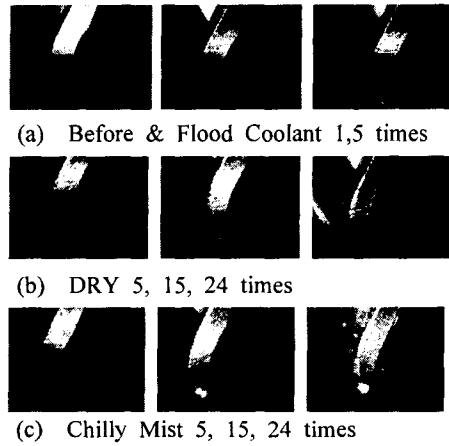
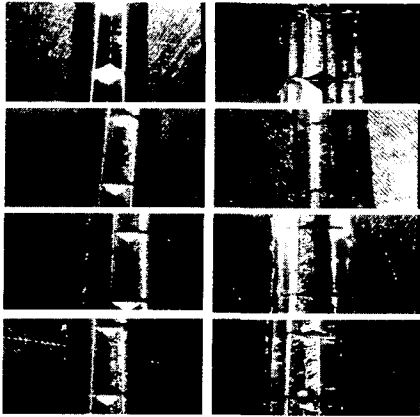


Fig. 7 Flank Wear by Cutting Environments

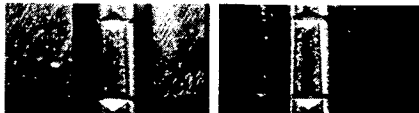
Fig. 7 은 공구가 기준 마멸량에 도달하였을 때의 마멸 형태를 나타낸 사진이다. 건식과 냉풍미스트는 여유면에서 정상적인 마멸이 진행되었으나, 습식의 경우는 8번째 홈에서 부러졌으므로 이 이상을 진행할 수 없었고 이유는 앞에서 언급한 바와 같다.

냉풍미스트 가공에서의 경우 초기표면을 비교해 볼 때 미스트 유회의 영향으로 표면상태가 다른 조건에 비해 매우 깨끗한 것을 볼 수 있다. 또한 10번째 24번째 홈의 표면에서 건식에서 보다 표면이 매우 고르게 물결무늬가 생긴 것을 확인할 수 있었고 에지(edge)부분의 라인도 건식보다 선명하다는 것을 알 수 있었다. 이것은 공구가 정상적인 마멸을 나타낼 때의 전형적인 표면이라고 볼 수 있다. 습식의 경우 3번의 실험 모두에서 공구가 파손되었으므로 1회와 5회의 홈만을 비교하였다. 여기서 습식 역시 유회의 효과에

의해 건식에 비해서는 표면의 정도가 좋았지만 냉풍미스트의 표면과는 확연한 차이를 보였는데 이는 습식의 경우 고속가공에서 충분한 윤활의 효과와 더불어 냉각 역시 그렇게 효과적이지 않다는 것을 나타낸다. 아래의 그림 Fig. 8 는 각 가공환경별로 피삭재의 가공표면형상을 1,10,15, 24번째 홈에서 비교한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 일반적으로 공구의 마멸이 심화되는 15번째 이후의 표면이 심하게 안 좋은 것을 알 수 있었으며 냉풍절삭가공의 표면조도가 건식이나 습식의 같은 장소, 같은 횟수에서 어느정도 향상이 되었는지를 직관적으로 제시하고 있다.



(a) Chilly Mist 1, 10, 15, 24 times
(b) Dry 1, 10, 15, 24 times



(c) Flood Coolant 1, 5 times

Fig. 8 Surface of Micro Groove by Cutting Environments

결과적으로 냉풍미스트의 표면의 변화를 보면 공구의 마멸이 건식과 냉풍미스트에서 정상적으로 일어났지만 건식에서는 윤활의 작용이 전혀 없었기 때문에 가공후 표면의 입자가 냉풍미스트에 비해 훨씬 거칠고 조직의 미세화 또한 다르다는 것을 알 수 있었다.

4. 결론

NAK80의 휴대폰 배터리 금형에서 미세 홈의

고속가공시 가공환경변화에 대한 가공성 평가실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 환경 및 경제적인 측면을 고려한 냉풍미스트 장치를 제작하여 절삭유제를 대신해 사용하고 이를 비교함으로써 실제 산업의 분야에 적용할 수 있는 새로운 냉각방법을 제시함.
- 2) 냉풍미스트의 냉각방법을 미세홈의 고속가공시에 적용하여 소구경공구의 수명을 증가시킬 수 있었다.
- 3) NAK80(HRc36~40)을 가공환경의 변화에 따라 공구수명을 실험한 결과 냉풍미스트에 의한 결과가 건식보다는 약2배 습식보다는 약3.5배 정도로 공구수명이 가장 길었다.
- 4) 소구경 공구의 미세홈 고속가공에서 최적의 절삭조건(16000rpm, Feedrate 960mm/min)을 제시하였다.

5. 후기

본 논문은 2002년도 생산기술연구원 국가청정생산지원센터의 지원을 받아 수행하였으며 이에 감사 드립니다.

참고문헌

- 1.鈴木 康夫 "복합미스트 절삭가공의 적용과 효과", 시즈오카 대학 2001.
- 2.横川 宗彦, "냉풍절삭가공, 그 사용기술과 경제성", 일본 공학원대학, 2000.
3. I. Tansel, O. Rodriguez, M. Trujillo, E. Paz, W. Li, "Micro-end-milling I wear and breakage", International Journal of Machine Tools & Manufacture Vol.38, 1998.
4. 양길영, "고속 CNC 머시닝센터의 특성평가", 부산대학교 대학원 정밀기계공학과 공학석사 학위논문, 1999
5. 김석원, "난삭재의 고속가공에서 가공환경변화에 따른 가공성 평가", 부산대학교 대학원 정밀기계 공학과 공학석사 학위논문, 1999