

고속가공에 의한 고경도재 QRO90 코어부의 가공성 향상

강명창*, 김정석*, 이득우*, 임유업**

Improvement of Machinability for QRO90 High Hardened Core Part by High Speed Machining

Myung Chang Kang*, Jeong Suk Kim*, Deuk Woo Lee*, and Yu Up Lim**

ABSTRACT

This paper presents an experimental investigation of high speed machining of dies and molds. Several critical issues involved with the high speed machining of QRO90 tool steel of hardness up to HRc62, have been studied and explained from a detail analysis of experimental observations. The experiments were performed using ball end mills. The effect of different process parameters on tool life and surface finish produced was also investigated. The cutting parameters involved were; cutting speeds in the range of 100 to 400 m/min, axial depth of cut from 0.1 to 0.5mm, pick feed of 0.1 to 0.5mm. Run out and acceleration signals were observed during the experiment to investigate cutting states. Compressed air and flood coolant were used and the effect of coolant on tool life was also determined.

Key Words : High Speed Machining(고속가공), Die and Mold(금형), QRO90, CAD/CAM, Tool Wear(공구마멸), Surface Shape(표면형상), Run out(런아웃), Acceleration(가속도)

1. 서론

고속가공이 발전함에 따라 생산성 향상과 동시에 고정도·고품위의 가공면을 얻기 위한 연구가 진행되고 있다.⁽¹⁾ 또한 신소재나 고경도 소재 등 난삭재의 가공에도 고속가공이 응용되면서 공구수명을 향상시키고 가공시간의 단축과 금형의 수명 향상을 위한 가공기술의 개발에 관한 연구가 활발하다.⁽²⁾

회전형 및 스크롤 방식의 압축기 부품인 로터에서 다이캐스팅용 성형부 코어는 현재 STD61종을 이용하여 범용가공 및 방전가공을 통해 생산하고

있으나 다이캐스팅 사출시 수명이 현저히 저하되어 부품으로서의 제기능을 다하지 못하고 있는 실정이다. 또한 신소재인 QRO90을 이용한 제품을 개발하고자 하는데 소재를 열처리한 후 경도가 HRc62인 고경도이고, 심부의 깊이가 23mm면서 최소직경이 1mm인 공구에 의한 가공공정이 필요하므로 일반 가공으로는 가공이 불가능하다.

그러므로 본 연구에서는 고경도 열처리 소재인 QRO90에 대하여 고속가공⁽³⁻⁵⁾을 적용함으로써 기존의 가공공정을 개선시키는 것은 물론 고정도·고품위의 금형을 가공하고자 한다.

* 2001년 8월 7일 접수
* 부산대학교 기계공학부, ERC/NSDM
** 부산대학교 대학원

그래서 고경도 소재인 QRO90에 대하여 다양한 절삭조건의 변화에 따른 가공특성을 파악하고 고속 가공의 이점을 최대한 살릴 수 있는 최적의 가공 조건을 선정하기 위하여 본 연구를 수행하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험조건 및 실험장치

QRO90 소재는 크롬, 몰리브덴, 바나듐 함금 열간 공구강으로 화학조성은 Table 1과 같다. 뛰어난 고온강도와 내열 충격성을 가지며 열처리성과 열전도도가 우수하여 알루미늄 다이캐스팅용 금형재료로 적합한 소재이다. 또한 열처리 후 경도가 HRc62인 고경도 소재인데 현재까지 절삭가공에 의한 가공 데이터가 없으므로 절삭조건 선정에 많은 어려움이 있다. 따라서 최적의 조건으로 쿄어부의 가공이 이루어지도록 다양한 가공조건의 변화에 따른 가공특성을 평가하기 위한 실험을 수행하였다.

Table 1 Chemical properties of QRO90 material

	C	Si	Mn	Cr	Mo	V
wt%	0.40	0.30	0.75	2.60	2.25	0.80

최적의 절삭조건을 선정하기 위해서 공구마멸을 최소화하면서 가공시간을 단축시키기 위한 조건을 고려하였다. 또한 기존의 가공방법에 비하여 금형의 품질을 향상시키고자 다양한 절삭조건의 변화에 따른 가공특성을 파악하였다.

가공성 평가실험은 TiAlN코팅 처리된 직경 8mm, 2날의 볼 엔드밀을 사용하여 수행하였다. 실험에 사용된 시편은 $\phi 70 \times 150\text{mm}$ 인 원통형이며 공작기계는 최대 추축 회전수 20000rpm, 최대 이송 속도 50m/min인 고속 머시닝 센터 makino-V55를 이용하였다. 그리고 주축에 가속도 센서와 갭 센서를 부착하여 가공중 발생하는 런아웃과 가속도 신호를 측정하였다. 실험장치와 실험조건은 Table 2와 같다.

고속가공이 일반가공에 비해서 많은 장점이 있지만 고속의 절삭속도로 인해 발생하는 마찰열 문제와 이로 인한 공구 마멸을 감소시키기 위한 연구가 시급하다. 고경도 소재의 고속가공시 냉각방법

에 대한 가공특성을 평가하기 위해 동일한 조건에서 압축공기와 절삭유를 사용했을 때 공구마멸 크기와 형태를 비교하였다.

Table 2 Experimental setup and cutting conditions

Machining Center	MAKINO V55
Acceleration Sensor	Accelerometer 4393
Gap Sensor	AEC-5505
Tool	$\phi 8$ Ball Endmill
Workpiece	QRO90 (HRc62)
RPM	4000, 8000, 12000, 16000
Feed Rate(mm/min)	800, 1600, 2400, 3200
Feed/Tooth(mm)	0.1
Pick Feed(mm)	0.1, 0.3, 0.5
Axial Depth(mm)	0.1, 0.3, 0.5
Coolant	Compressed air, Cutting fluid(water soluble)

또한 공구마멸과 가공시간에 직접적인 영향을 주는 절삭속도, 퍼크피드, 절입깊이 등의 절삭조건 변화에 따른 가공특성을 파악하기 위한 실험을 수행하였다. 이를 위해 Fig. 1과 같이 볼 엔드밀을 이용하여 가공하면서 가공 중 발생하는 런아웃 및 가속도 신호를 측정하고 공구마멸, 표면조도 그리고 표면형상을 비교하였다.

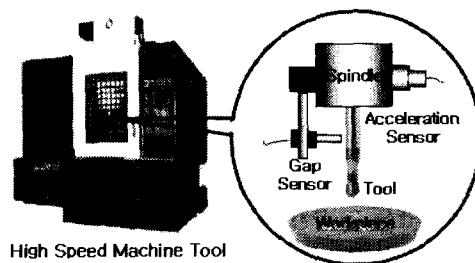


Fig. 1 Experimental Setup

3. 가공성 평가실험 및 고찰

3.1 절삭속도 변화에 따른 가공특성

절삭속도의 변화에 따른 가공특성을 평가하기

위하여 날당 이송량을 0.1mm로 일정하게 하면서 주축 회전수가 4000rpm에서 16000rpm까지 변화할 때 가공특성을 평가하기 위한 실험을 수행하였다. 이 때 퍼크파드와 축방향 절입깊이는 0.3mm로 고정하였다.

선삭속도의 변화에 따른 런아웃 신호와 가속도 신호의 변화는 Fig. 2와 같다. 4000rpm에서는 고정도 소재의 가공에 충분하기 않은 저속의 절삭속도로 인하여 런아웃과 가속도 신호가 불안정하였고 회전수가 증가할수록 신호의 레벨이 증가하였는데 8000rpm에서 가장 안정되고 낮은 레벨의 신호를 보았다.

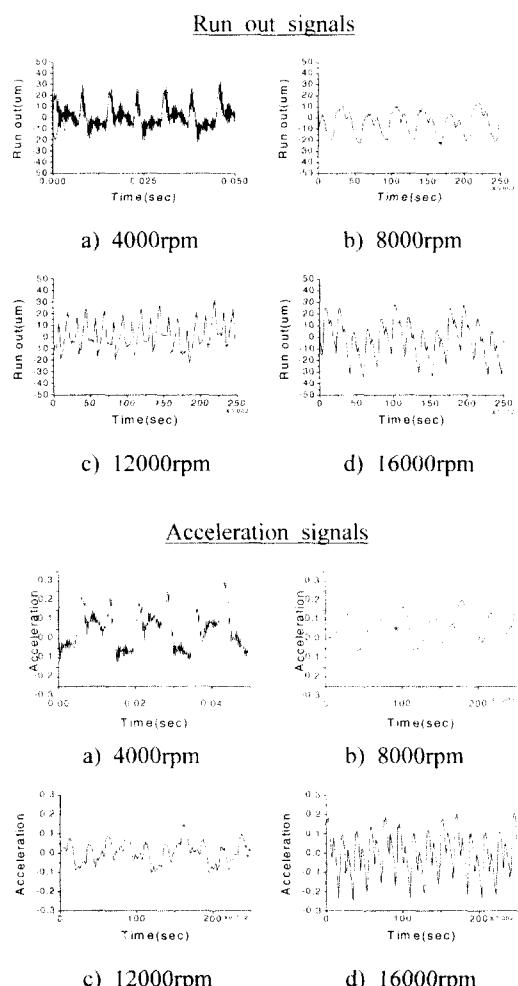


Fig. 2 Run out and acceleration signals at a different cutting speed

절삭속도의 변화에 따른 공구마멸의 변화는 Fig. 3과 같다. 날당 이송량은 동일하지만 절삭속도가 증가함에 따라 치평 등 공구의 이상마멸이 증가하였으며 런아웃 및 가속도 신호가 비교적 안정된 8000rpm에서 가장 정상적인 마멸형태를 보였다.

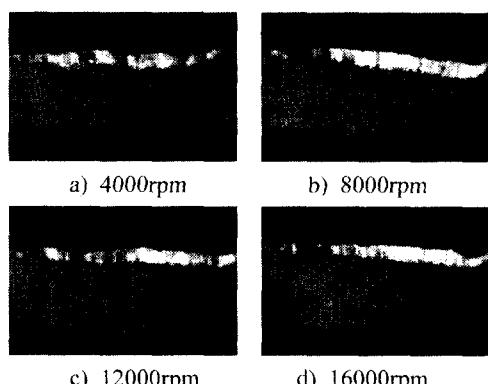


Fig. 3 Flank wear according to the variation of cutting speed

Fig. 4는 절삭속도의 변화에 따른 표면형상의 변화이다. 표면형상은 칼구마멸과 밀접한 관련이 있기 때문에 공구마멸이 가장 정상마멸의 형태를 보인 8000rpm에서 가장 균일한 표면형상을 보였으며 칼구의 이상마멸이 증가하고 런아웃이 큰 가공조건에서는 표면형상이 매우 불균일하였다.

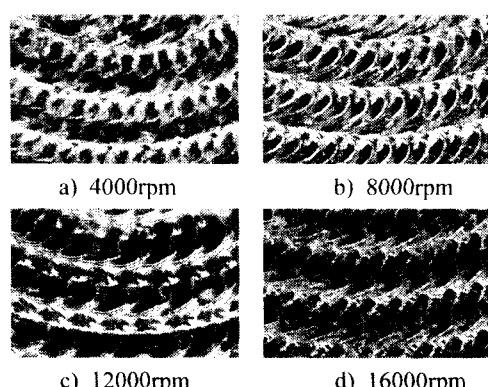


Fig. 4 Surface shape at a different cutting speed

절삭속도의 변화에 따른 칩형상의 변화는 Fig. 5와 같은데, 저속에서는 날당 이송량에 의한 균일한 형상의 칩이 배출되지만 고속에서는 칩이 생성

되어 배출되기 전 재절삭이 일어남으로 인하여 형상이 불균일해지고 표면형상에도 영향을 주게 된다. 따라서 고속가공에서 칩의 재절삭에 의한 공구마멸을 줄이고 고품위의 가공면을 얻기 위해서는 침배출을 원활하게 할 수 있는 공구경로의 생성과 냉각방법의 선정이 중요하다.

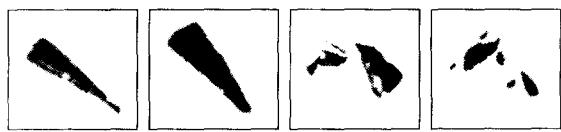


Fig. 5 Shapes of chip generated at a different cutting speed

고속가공을 이용한 고경도 소재의 가공시 냉각방법에 따른 가공특성을 비교하기 위한 실험을 수행하였다. 주축 회전수는 8000rpm, 날당이송 0.1mm, 피크피드와 절입깊이를 0.3mm로 일정하게 하면서 압축공기에 의한 냉각과 절삭유에 의한 냉각방식에 대하여 공구마멸의 크기 및 형태를 비교하였다. 압축공기에 의한 냉각방식의 경우 Fig. 6과 같이 가공거리에 비례하여 여유면 마멸폭이 선형적으로 증가하는 매우 바람직한 마멸형태를 보였다. 반면 절삭유에 의한 냉각방식의 경우 Fig. 7과 같이 가공거리의 증가에 따라 치평 등 공구의 이상마멸이 증가하는 현상을 관찰할 수 있는데, 이는 고속가공시 마찰로 인한 고온의 열발생과 절삭유에 의한 급냉이 반복적으로 일어나고 고속회전으로 인한 원심력으로 인하여 절삭유가 가공점에 투입되는 것이 어렵기 때문이다.

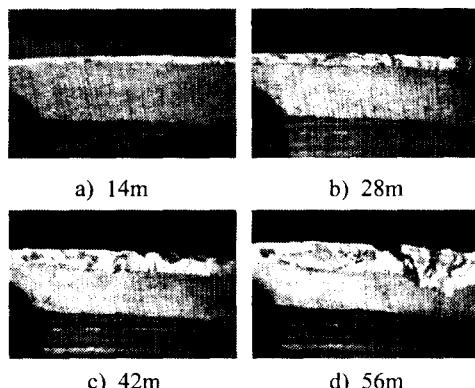


Fig. 6 Flank wear in use of compressed air

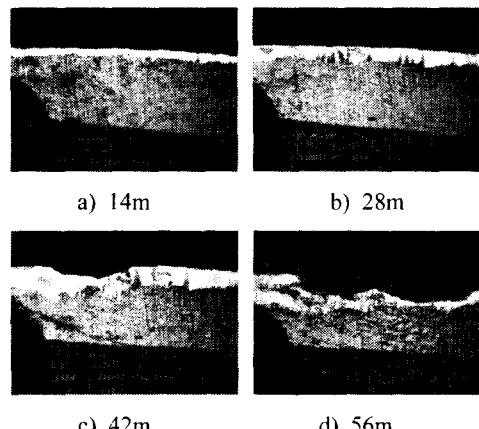


Fig. 7 Flank wear in use of cutting fluid

3.2 피크피드 변화에 따른 가공특성

피크피드 변화에 따른 가공특성을 평가하기 위한 실험을 수행하였는데 이 때 회전수를 8000rpm, 날당 이송량을 0.1mm, 절입깊이를 0.3mm로 일정하게 유지하였다. 그리고 피크피드를 0.1mm에서 0.5mm까지 0.2mm씩 증가시키면서 가공 중 발생하는 런아웃과 가속도 신호를 측정하고 가공 후 공구마멸과 표면형상을 비교하였다.

Fig. 8은 피크피드의 변화에 따른 런아웃 신호와 가속도 신호의 변화이다. 피크피드가 증가함에 따라 날당 절삭체적이 증가하게 되고 공구에 걸리는 절삭력이 커져서 런아웃과 가속도 신호의 레벨이 증가하게 된다.

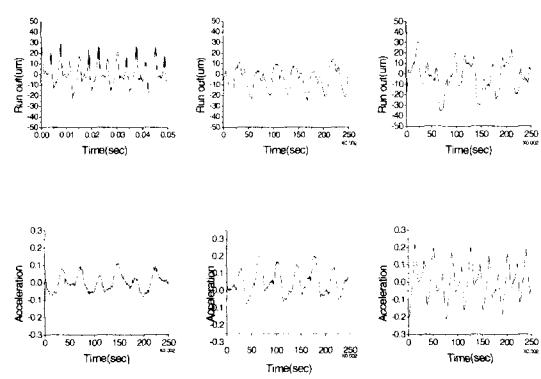


Fig. 8 Run out and acceleration signals according to the variation of pick feed

Fig. 9는 피크피드의 변화에 따른 공구 여유면 마멸과 표면형상 사진이다. 공구마멸은 피크피드양에 비례하여 여유면 마멸폭이 균일하게 증가하였다. 가공 표면의 커스퍼 형상은 피크피드양에 의해 결정되는데 날당이송량과 피크피드양을 동일하게 0.1mm로 가공한 경우가 피드방향과 피크피드 방향으로 표면조도가 우수하여 정삭가공시에 추천되는 절삭조건이다.

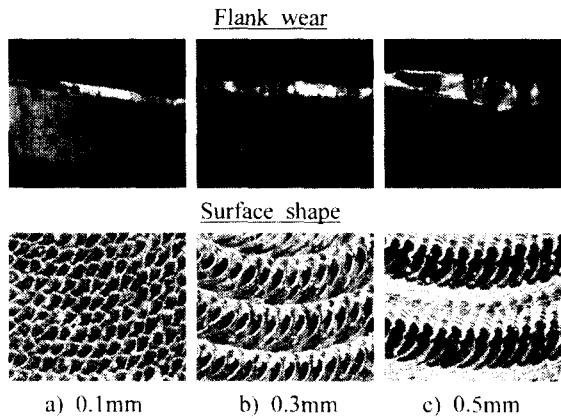


Fig. 9 Flank wear and surface shape at a different pick feed

3.3 절입깊이 변화에 따른 가공특성

절입깊이 변화에 따른 가공특성을 평가하기 위한 실험을 수행하였는데 이 때 회전수를 8000rpm, 날당 이송량을 0.1mm, 피크피드를 0.3mm로 일정하게 유지하였다. 그리고 절입깊이를 0.1mm에서 0.5mm까지 0.2mm씩 증가시키면서 가공 중 발생하는 런아웃과 가속도 신호를 측정하고 가공 후 공구마멸과 표면형상을 공구현미경을 이용하여 사진촬영한 후 비교하였다.

Fig. 10은 절입깊이에 따른 런아웃과 가속도신호의 변화인데 절입깊이가 증가할수록 칩로드(chip load)의 증가로 절삭력이 크게 격리게 되므로 런아웃과 가속도 신호의 레벨이 동시에 증가한다. 피크피드의 증가에 따른 런아웃 신호와 가속도 신호레벨의 증가에 비해 그 증가폭이 큼을 알 수 있다.

Fig. 11은 절입깊이의 변화에 따른 공구마멸과 표면형상의 측정결과를 나타내는 사진으로서, 절입깊이가 작을 때 균일한 여유면 마멸을 관찰할 수 있지만 절입깊이가 증가함에 따라 공구의 치렁이 발생하여 파손이 일어남을 알 수 있다.

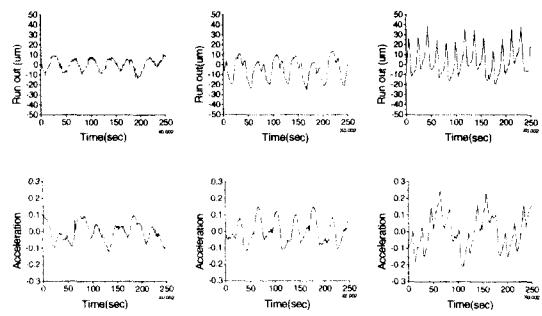


Fig. 10 Run out and acceleration signals according to the variation of axial depth

피크피드의 증가에 따른 공구마멸에 비하여 이상마멸이 많이 발생하였으며 이러한 이상마멸로 인해 표면형상은 매우 불균일하였고 표면조도에서 나쁜 영향을 미칠 것으로 사료된다.

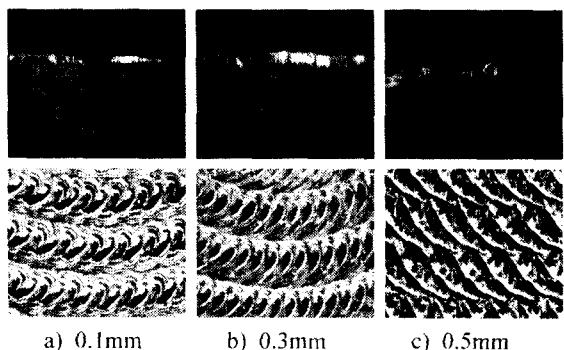


Fig. 11 Flank wear and surface shape according to the variation of axial depth

Fig. 12는 피크피드와 절입깊이의 변화에 따른 표면조도의 변화이다.

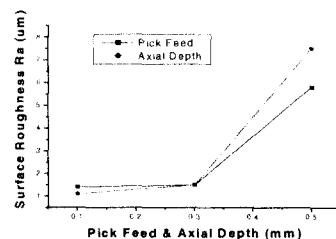


Fig. 12 Surface roughness according to the variation of pick feed and axial depth

3.4 Core부의 가공에의 응용

Fig. 13은 가공방법의 개략도로서, Unigraphics를 이용하여 코어부에 대한 3차원 모델링을 수행한 후 가공성 평가실험을 바탕으로 고경도 소재의 고속가공에 적합한 NC데이터를 출력하였다. 그리고 고속가공기로 전송하여 가공을 수행하였다. 황삭가공시에는 공구마멸을 최소화하면서 가공시간을 단축시킬 수 있도록 절입을 작게 하면서 피크피드를 크게 하였고 정삭시에는 가공면의 품질을 향상시키기 위해서 절입과 피크피드를 작게 하여 가공하였다.

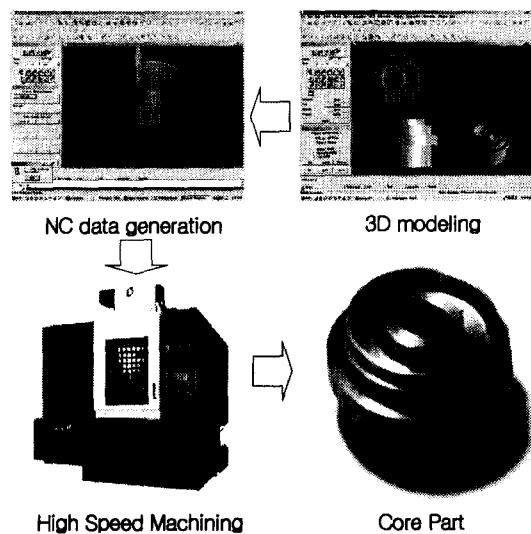


Fig. 13 Machining of Core part through high speed machining

4. 결론

고경도 난삭재인 QRO90의 고속가공시 절삭조건의 변화에 따른 가공특성을 파악하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) QRO90소재의 고속가공시 절삭속도의 변화에 따른 특성을 평가해본 결과 100m/min 보다 빠른 절삭속도에서 공구의 이상마멸이 급격히 진행되므로 가공시간과 공구마멸을 고려하여 100m/min이 적정한 절삭속도이었다.

2) 냉각방법에 따른 특성을 비교한 결과 압축공기를 사용했을 때가 절삭유를 사용했을 때에 비해 공구의 마멸이 20%정도 감소하였다.

3) 피크피드와 절입깊이가 공구마멸에 미치는 영향을 평가해본 결과 피크피드를 증가시켰을 때는 공구 여유면의 마멸이 균일하게 증가하였지만 절입깊이를 증가시킨 경우 공구에 치평가 발생하는 등 이상마멸현상이 나타났다.

4) QRO90소재의 고속가공을 통해 코어부를 가공함으로써 STD61종을 이용한 범용가공에 비해 코어부의 수명을 50% 증가시킬 수 있었다.

후기

본 연구는 2000년 중소기업청의 산학연 공동기술개발 지역컨소시엄과 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구소의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Shulz, H and Hock, S., "High Speed Milling of Dies and Moulds-Cutting Conditions and Technology," Journal of the CIRP, Vol. 44, pp. 35-38, 1995.
2. M. A. Elbestawi, L. Chen, C. E. Becze, T. I. El-Wardany., "High Speed Machining of Dies and Molds in Their Hardened State," Journal of CIRP, Vol. 46, pp. 57-62, 1997.
3. Y. N. Hu, W. C. Tse, Y. H. Chen and Z. D. Zhou., "Tool path Planning for Rough Machining of a Cavity by Layer-Shape Analysis," Int. J. Adv. Manufacturing Technology, Vol. 14. pp. 321-329, 1998.
4. E. G. Ng, D. W. Lee, A. R. C. Sharman., "High speed ball nose end milling of Inconel 718," Journal of CIRP, Vol. 49, pp. 41-46, 2000.
5. 강명창, 이득우, 김정석, 김경균, "볼엔드밀을 통한 자유곡면의 고속가공에서 절삭방향에 따른 가공성 평가," 한국정밀공학회지, 제18권, 제2호, pp. 84-89, 2001.