

〈論 文〉

## 단결정 다이아몬드 절삭에 의한 과공정 Al-Si합금의 경제성에 관한 연구

이은상\* · 김정두\*\*

(1993년 4월 30일 접수)

### A Study on the Economics of Hypereutectic Al-Si Alloy Cutting with Single Crystal Diamond Tool

Eun Sang Lee and Jeong Du Kim

**Key Words :** Hypereutectic Al-Si Alloy(과공정 Al-Si 합금), Tool Life Equation(공구수명방정식), Single Crystal Diamond(단결정 다이아몬드), Nonproduction Time(비절삭시간), Machining Time(절삭시간), Total Coast per Component(단위 생산비용), Minimum Production Cost(최소 생산비용), Silicon Extraction(실리콘석출)

#### Abstract

A hypereutectic Aluminum-Silicon Alloy is widely used in the parts of automobile because of high-resistance and good strength. In this study, the cutting of hypereutectic Al-Si alloy for economical production was investigated by simulation. Tool life and the extraction rate of Si particles is inversely proportional to the depth of cut. When decreasing the depth of cut, the reduction of single crystal diamond tool cost and tool change time is achieved.

#### 기 호 설 명

<p><math>t_i</math> : 비절삭시간 [min/pc]</p> <p><math>t_m</math> : 실절삭시간 [min/pc]</p> <p><math>t_{ct}(t_m/T)</math> : 공구교환시간 [min/pc]</p> <p><math>D</math> : 공작물의 가공직경 [mm]</p> <p><math>L</math> : 공작물의 가공길이 [mm]</p> <p><math>f</math> : 이송 [mm/rev]</p> <p><math>V</math> : 절삭속도 [m/min]</p> <p><math>t_{pr}</math> : 단위 생산시간 [min]</p> <p><math>C_t</math> : 각 공구의 가격 [Won]</p> <p><math>C_{pr}</math> : 단위 생산비용</p> <p><math>M</math> : 노무비와 간접비의 총계로 한 분당가공비</p> <p><math>V_c</math> : 최소비용을 기준한 최적 절삭속도</p>	<p>[m/min] (<math>NV_c</math>: <math>V_c</math>평균회전수)</p> <p><math>V_p</math> : 최소 생산시간을 기준한 최적 절삭속도 [m/min] (<math>NV_p</math>: <math>V_p</math>평균회전수)</p> <p><math>V_{opt}</math> : 고효율 최적 절삭속도 (<math>NV_{opt}</math>: <math>V_{opt}</math>평균회전수)</p> <p><math>R</math> : 공구인선반경 [mm]</p> <p><math>Mt_m</math> : 실절삭비용 [Won/pc]</p> <p><math>Mt_i</math> : 비절삭비용 [Won/pc]</p> <p><math>Mt_{ct}(t_m/T)</math> : 공구교환비용 [Won/pc]</p> <p><math>C_t(t_m/T)</math> : 공구비용 [Won/pc]</p> <p><math>h</math> : 기하학적 표면거칠기</p> <p><math>V</math> : 절삭속도 [m/min]</p> <p><math>n</math> : 공구수명의 지수</p> <p><math>T</math> : 공구수명 [min]</p> <p><math>C</math> : 절삭상수</p> <p><math>a, b</math> : 절삭지수</p>
---	---

\*정회원, 한국과학기술원 대학원·정밀공학과 MA

\*\*정회원, 한국과학기술원 정밀공학과

## 1. 서 론

최근에 자동차산업의 발전으로 인하여, 자동차의 부품재질로 과공정 Al-Si합금(hypereutectic Al-Si alloy)의 사용이 급증하고 있다. 과공정 Al-Si합금은 경량이고, 내마멸성이 매우 뛰어나지만 아니라, 고온에서 그 강도가 우수하기<sup>(1)</sup> 때문에 자동차의 엔진블록(engine block), 에어컴퓨터서 실린더(air compressor cylinder), VTR의 실린더헤드(cylinder head)등에 사용되고있다. 과공정 합금중의 경질 실리콘입자가 가공시 절삭공구의 마멸을 증진시켜서,<sup>(2)</sup> 과공정 Al-Si합금의 사용이 제한되는 등 기계가공성이 매우 어려운 난삭재이다. Miller<sup>(3)</sup>는 초경공구와 단결정 다이아몬드공구로 이 합금을 가공하여 공구의 마멸현상 등을 고려하였다. 최근에 단결정(천연) 다이아몬드공구의 절삭가공을 통하여 Si석출경면<sup>(4)</sup>의 양호한 효과를 나타냄으로써, 과공정 Al-Si합금 가공의 새로운 방향이 제시되었다. 이러한 가공의 가능성에 따른 생산현장의 적용은 경제성에 대한 분석 및 적용 타당성의 고찰이 수반되어야 한다. 경제성을 고려한 연구가 현재까지 많이 진행되어졌다. Amarego<sup>(5)</sup>은 가공조건 대한 경제성 연구를 하였고 최대 이윤은 속도에 대한 미분값이 0이 되는 곳에서 생긴다고 발표하였다. Wu<sup>(6)</sup>는 최대 이윤 절삭속도가 최소 가공비와 최대 생산율사이에 존재하고, 가공비와 시간의 영향을 크게 받는다고 설명하였다. Crookal<sup>(7)</sup>은 절삭가공비가 시간과 가공비의 변수에 대한 함수로 지정하여 가공조건 최적화를 시도하였으며, Fenton 등<sup>(8)</sup>은 절삭가공에서 경제성을 분석시 절삭속도·이송·절삭깊이 및 공구형상을 고려한 공구수명방정식을 구하였다. 또한, 각 업체에 따른 절삭 입력값으로 경제성을 고려한 최적 절삭조건 자동설정 프로그램을 위한 프로그램에 대한 연구<sup>(9)</sup>가 있다. 본 연구에서는 단결정 다이아몬드공구를 사용한 절삭속도, 이송, 절삭깊이의 변화에 따른 기계가공의 경제성을 검토하였다. 절삭가공의 입력데이터를 최소 가공비용과 최대 생산율에 부합되는 절삭속도, 이송, 절삭깊이의 변화에 따른 기계가공의 경제성을 검토하였다. 절삭가공의 입력데이터를 이용하여 최소 가공비용과 최대 생산율에 부합되는 절삭속도, 이송, 절삭깊이를 자동적으로 설정하기 위한 프로그램을 구축하였다. 특히, 본 연구는 과공정 Al-Si합금의 가공상태

평가에서 실리콘 석출도가 매우 중요함으로써, 실리콘 석출에 따른 제한조건을 고려하였다. 또한, 절삭깊이와 이송량을 고려한 공구수명방정식을 구하고 이를 이용하여 과공정 Al-Si합금 가공의 경제성을 분석하였다.

## 2. 이 론

### 2.1 절삭가공에 있어서 경제성 이론<sup>(10)</sup>

절삭가공에 있어서 공구수명은 생산율과 생산가공비에 커다란 영향을 미친다. 일반적으로 절삭속도를 크게하면 생산율은 높아지나, 공구인선의 마멸현상이 촉진되어 공구수명이 감소하게 된다. 따라서 연속 절삭시간이 단축되어 진다. 이와 같은 절삭과정에서 공구수명은 절삭속도와 함수관계가 된다. 이러한 함수관계를 Tayler는 다음과 같이 표현하였다.

$$VT^n = C \quad (1)$$

절삭깊이와 이송을 고려한 수정 보완된 공구수명 방정식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$VT^n f^a d^b = C \quad (2)$$

제품 1개를 가공하기 위한 단위 생산시간에는 크게 비절삭시간, 실질삭시간, 공구교환시간 등 3가지 성분으로 구분되고 그 합으로 표현되며, 실질삭시간과 수정된 공구수명방정식을 적용하면 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} t_{pr} &= t_i + t_m + t_{ct} (t_m / T) \\ &= t_i + \frac{\pi DL}{1000fV} + t_{ct} \frac{\pi DL}{1000f} \left[ \frac{f^a d^b}{C} \right]^{1/n} V^{1/n} \end{aligned} \quad (3)$$

단위 생산시간의 감소는 생산성을 향상시킴으로 생산능률을 높이게 된다. 단위 생산비용은 제품 1개당의 가공비이며, 이것을 작게 하므로써 생산원가를 절감시킬 수 있다. 단위 생산비용은 크게 비절삭비용, 실질삭비용, 공구교환비용, 공구비용 등 4가지 성분의 합으로 이루어진다. 따라서, 단위 생산비용( $C_{pr}$ )은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} C_{pr} &= Mt_i + Mt_m + Mt_{ct} (t_m / T) + C_t (t_m / T) \\ &= Mt_i + M \frac{\pi DL}{1000fV} + Mt_{ct} \frac{\pi DL}{1000fV} \left[ \frac{f^a d^b}{C} \right]^{1/n} V^{1/n} \\ &\quad + C_t \frac{\pi DL}{1000fV} \left[ \frac{f^a d^b}{C} \right]^{1/n} V^{1/n} \end{aligned} \quad (4)$$

여기서, 공구의 비용은 제품 1개를 생산하는데 소요되는 비용을 나타낸다. 최소 생산비용을 기준으로 가공하기 위한 절삭속도를 최소비용 절삭속도라 하며, 즉 제품 1개를 생산하는데 가장 적게 드는 절삭속도를 나타낸다. 최소비용 절삭속도를 구하기 위해서 단위 생산비용이 절삭속도에 대해서 최소값을 가지기 위해서는

$$\frac{\partial C_{pr}}{\partial V} = 0 \quad (5)$$

을 만족해야 한다.

이 때의 최소비용을 기준한 절삭속도를  $V_c$ 라 하고, 식(5)을 전개하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$V_c = \frac{C}{[(t_{ct} + C_t/M)(1/n-1)]^n f^a d^b} \quad (6)$$

최대 생산을 절삭속도는 제품 1개를 가장 신속하게 가공하여 생산율을 극대로 하는 절삭속도를 말한다. 생산속도를 극대로 하기 위해서는 생산시간을 최소로 하면 된다. 따라서, 단위 생산시간 식을 절삭속도로 미분을 하여 그 도함수를 0으로 놓으므로써 최대 생산을 절삭속도를 얻을 수 있다. 단위 생산시간이 절삭속도에 대해서 최소가 되기 위해서는

$$\frac{\partial t_{pr}}{\partial V} = 0 \quad (7)$$

을 만족해야 한다. 이 때의 최소 생산시간을 기준한 절삭속도를  $V_p$ 라고 하면 다음과 같이 표현된다.

$$V_p = \frac{C}{f^a d^b} \left[ \frac{n}{t_{ct}(1-n)} \right]^n \quad (8)$$

## 2.2 절삭가공시 구속조건

절삭가공에 있어서는 가공조건을 선정하여 제품을 생산하는데 여러종류의 구속조건이 있다. 본 연구에서는 과공정 Al-Si합금 가공시 경면가공 상태에서만 실리콘 석출이 되고, 실리콘 경면석출은 제품의 평가기준이 됨으로 이에 따른 절삭깊이, 이송량, 표면거칠기 등이 구속조건이 될 수 있다. 절삭가공후 공작물의 다듬질면의 표면거칠기는 기준되는 실리콘 석출에 따른 가공면의 표면거칠기를 충족하여야 한다. 공구의 인선반경  $R$ (mm)인 바이트를 사용하여 이송량을  $f$ (mm/rev)로 절삭하는 경우 이송방향의 기하학적인 표면거칠기<sup>(11)</sup>는 근사

적으로

$$4h = \frac{f^2}{2R} \quad (9)$$

으로 된다. 이송량에 대한 구속조건은 식(9)에 기술한 최대 표면거칠기와 이송량을 나타내는 식으로 제한되어진다. 지정 최대 표면거칠기가 허용되는 상태에서 이송량이 선정되어질 수 있다. 본 연구에서는 최대 이송량은 Si석출에 제한을 받게 되고, 최소 이송량은 생산성에 제한을 받게 된다. 이 값은 실험에 의한 기준값을 설정하여야 한다. 또한, 공작기계 자체가 가지고 있는 최대, 최소 이송의 한계에 대해서도 고려하여야 하므로, 가공시 주어지는 이송량은 허용 최소, 최대 이송량을 만족하는 범위내에서 설정되어야 한다. 허용 절삭속도의 제한은 사용공작기계가 가지고 있는 회전수의 한계와 Si 석출정도에 따른 구속조건으로 실제 절삭속도의 범위가 정하여진다.

## 3. 실험 및 시뮬레이션

공구수명방정식을 유도하기 위한 실험에서 사용한 재료는 과공정 Al-Si합금인 A390이다. 이 재료의 화학적인 조성(ASTM STD E716)과 기계적인 특성은 Table 1과 같다. 이 Al-Si합금의 실리콘입자가 깨지지 않고 표면에 석출됨으로써 이 합금의 특성을 최대한으로 살릴 수 있다. Fig. 1은 실험에 사용된 적선형태의 단결정 다이아몬드공구의 형상을 나타낸 것이며, Fig. 2는 실험재료로 사용된 단조된 swashplate 사판의 외형이다. 사용기계는 CNC 선반(Model KD-6)을 사용하였다. 공구수명 판정 기준은 산업현장에서 제품의 상태 척도인 과공정 Al-Si합금의 실리콘 석출도로 하였으며, 제품으로 사용이 가능한 최소 수준인 약 50%로 지정하였다. 이 공작물을 여러조건으로 가공하여 50%이하의 실리콘이 석출되면 공구의 수명이 끝난 것으로 가정하였다. Fig. 3이 실리콘이 약 50% 석출되는 기준을 나타내는 가공면의 광학현미경( $\times 400$ ) 사진으로 본 것이다. Table 2는 실험에 사용한 절삭조건과 50% 석출의 공구수명  $T$ 를 표시하였다. 최적의 가공조건 선정과 공구수명의 분석을 위해서 실험을 통한 여러조건의 데이터를 가지고 최소자승법(least-square method)<sup>(12)</sup>에 의하여 매개변수  $n$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $c$ 를 결정하여, 경제성을 분석하기 위한 공구수

**Table 1** Chemical composition of hypereutectic Al-Si alloy (A390 : ASTM STD. E716)

Contents	Compositions(%)
Silicon	16.0~18.0
Copper	4.0~5.0
Magnesium	0.45~0.65
Manganese	0.1 Max
Iron	0.5 Max
Zinc	0.1 Max
Titanium	0.2 Max
Others	0.2 Max
Aluminum	Remainder

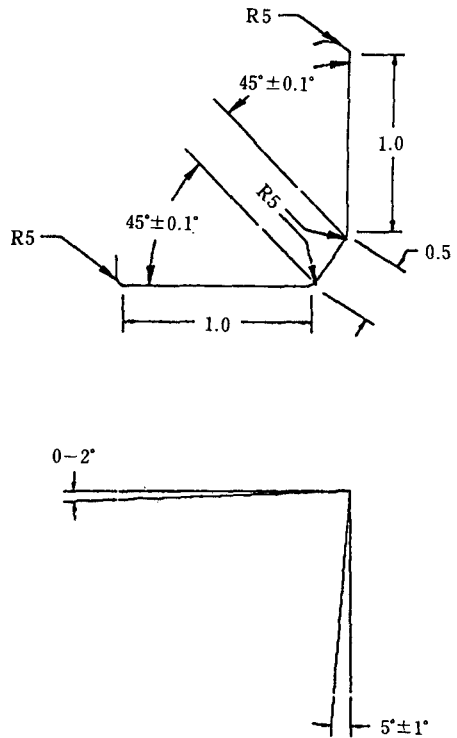
Mechanical properties of A390

Young's modulus(KPa)	$8.2 \times 10^7$	
Thermal conductivity(W/m·K)	126.4	
Thermal expansion(per°C)	$1.8 \times 10^{-5}$	
Hardness-	10 mm	100
	BHN	500 kg
Density	(kg/m <sup>3</sup> )	0.28

명방정식을 구하면 다음과 같다.

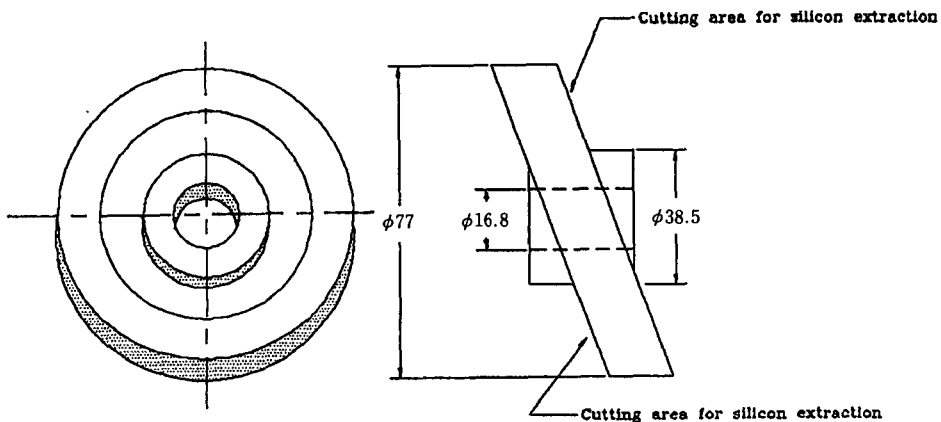
$$VT^{0.7657} f^{0.8187} a^{0.6076} = 600.2 \quad (10)$$

이 공구수명방정식과 앞의 이론식을 이용하여 경제



**Fig. 1** Geometry of tool

성을 분석하는 대화방식의 프로그램을 작성하였고, Fig. 4는 시뮬레이션 프로그램의 흐름도를 나타내는 구성도이다. 실리콘 석출이 가능한 정도의 이송량을 기준으로 하여 변화시키고, 절삭깊이와 절삭속도를 변화시키므로써 단위 생산비용 등을 산출하는 경제성 분석을 하였다.



**Fig. 2** Experimental workpiece of forged swashplate (A390)

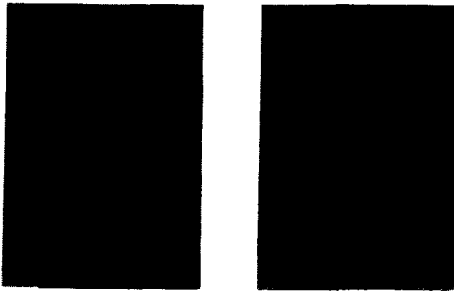


Fig. 3 Microphotograph of surface Si extraction (50%)

Table 2 The cutting conditions and the results in experiment

Cutting speed (m/min)	Feed (mm/rev)	Depth of cut (mm)	Tool life (min)
500	0.1	0.3	38.7
600	0.1	0.35	26.9
650	0.07	0.25	46.4
700	0.07	0.4	29.1
650	0.06	0.2	65.4
750	0.05	0.2	65.9
590	0.06	0.2	74.2
650	0.04	0.12	151.4
670	0.02	0.2	203.6
680	0.009	0.25	392.9

#### 4. 결과 및 고찰

##### 4.1 이송량에 따른 경제성

기계가공의 해석에 있어서는 절삭깊이와 이송이 변화되면 가공비용이 변화하게 된다. 특히, 과공정 Al-Si합금을 단결정 다이아몬드공구로 가공시 이송량의 변화가 실리콘 석출에 크게 영향을 미친다. 또한 앞의 공구수명방정식을 구하기 위한 실험 및 분석에서도 이송량이 공구의 수명(실리콘의 석출도 50% 기준)에 큰 영향을 준다는 것을 알게 되었다. Fig. 5~7은 절삭깊이를 0.2mm로 고정시키고, 이송량을 변화시켰을때의 생산비용과 절삭속도와와의 관계를 나타낸 그림이다. Fig. 5에서 보면 절삭속도가 증가될 수록 공구비용은 증가되고, 절삭비용

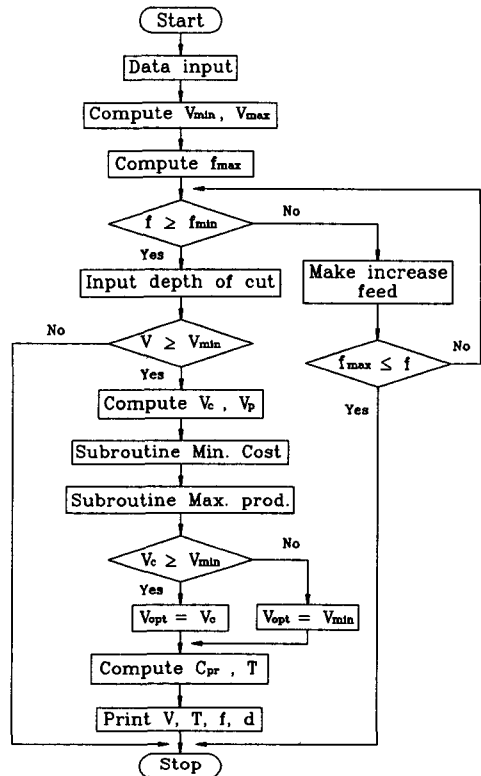


Fig. 4 Chart for economical condition of SWASH-PLATE cutting

은 감소하게 된다. 또한, 공구교환비용은 매우 작아서 그림에 거의 나타나지 않는 현상을 나타낸다. 또한, 비절삭비용( $Mt_i$ )은 일정한 값이고, 각 회사의 상황에 따라 변화될 수 있음으로 그림에서 표현하지 않았다. 분당가공비( $M$ )는 기존사용 대기업 가공비를 참조하여 435원<sup>(9)</sup>으로 하였고, 각 기업의 특성에 따라 변경하여 입력하면 그에 상응하는 결과를 볼 수 있다. 이송량을 증가시킬수록 전체 비용곡선이 좌측으로 이동하는 현상을 볼 수 있다. 즉, 최소비용을 나타내는 절삭속도가 감소됨을 나타낸다 하겠다. Fig. 11은 이송량을 증가시킬 경우 공구비용을 나타낸 곡선으로 이송량이 0.01mm와 0.06mm 사이에 공구비용의 큰차를 보이지 않았으며, 따라서, 50~60% 이상 실리콘 석출이 가능한 이송량(0.06mm이하)에서는 이송량이 큰것이 짧은 생산시간에 보다 많은 제품을 생산할 수 있게 된다.

Fig. 13은 이송량증가에 따른 절삭비용을 나타낸 그림으로 절삭속도가 증가될수록 그 차이가 줄어드

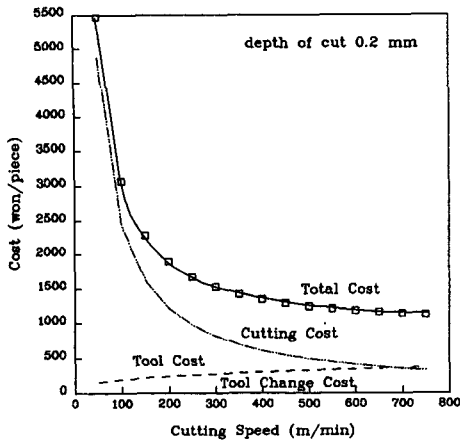


Fig. 5 Relationship of the cost and cutting speed (feedrate 0.01 mm/rev)

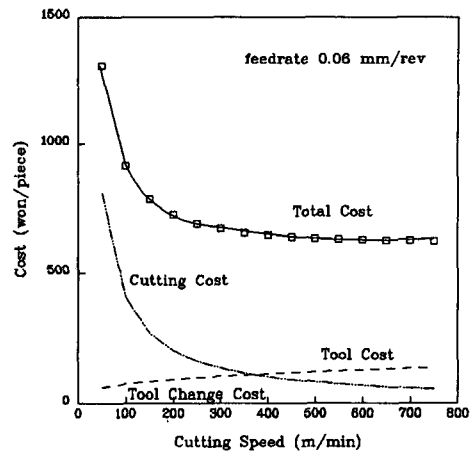


Fig. 8 Relationship of the cost and cutting speed (depth of cut 0.05 mm)

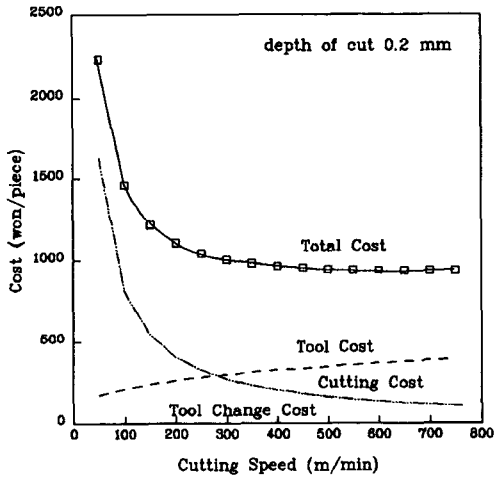


Fig. 6 Relationship of the cost and cutting speed (feedrate 0.03 mm/rev)

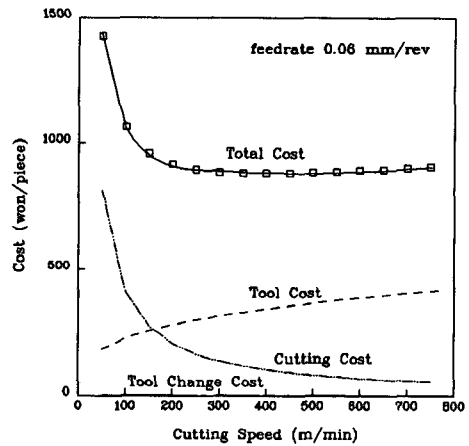


Fig. 9 Relationship of the cost and cutting speed (depth of cut 0.2 mm)

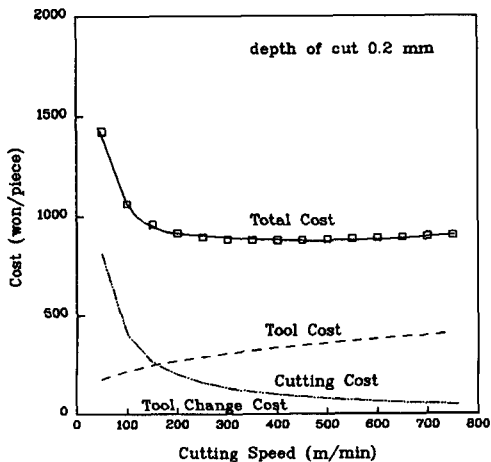


Fig. 7 Relationship of the cost and cutting speed (feedrate 0.06 mm/rev)

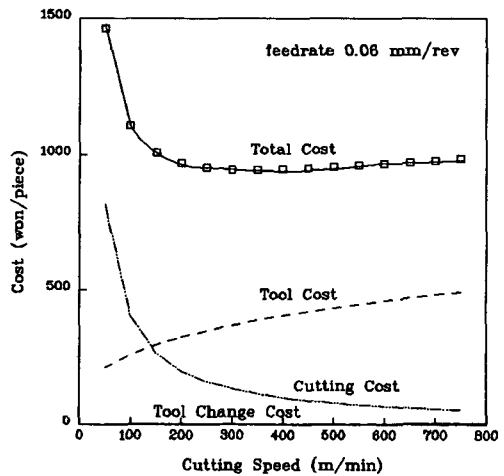


Fig. 10 Relationship of the cost and cutting speed (depth of cut 0.25 mm)

Table 3 Output of economical cutting simulation

Cutting conditions & result			
Precision machining & machine tool lab. KAIST			
Machine and operator rate $M$ (Won/min)	435.00		
Cost of tool $C_t$ (Won)	180000.00		
Tool changing time $t_{c_1}$ (min)	3.00		
Nonproductive time(min)	1.00		
Workpiece diameter $D$ (mm)	81.00		
Workpiece length $L$ (mm)	22.00		
Depth of cut $d$ (mm)	0.20		
Feed $f$ (mm)	0.06		
Tool nose radius $r$ (mm)	10000.00		
Allowable maximum surface roughness $h$ (mm)	0.0002		
Tool life index $n$ (mm)	0.766		
Cutting constant w.r.t. depth of cut $a$	0.608		
Cutting constant w.r.t. feed $b$	0.819		
Cutting constant $C$	600.200		
Cutting speed for minimum cost $V_c$ (m/min)	389.97		
Cutting speed for minimum time $V_p$ (m/min)	890.64		
Possible optimum cutting speed for the lathe with several constants $V_{opt}$ (m/min)	636.17		
Tool life $T$ (min)	Minimum cost	Minimum time	Optimum condition
	$V_c=389.97$	$V_p=890.64$	$V_{opt}=636.17$ (m/min)
	$NV_c=1532.59$	$NV_p=3500.00$	$NV_{opt}=2500.00$ (rpm)
	127.54	43.37	67.31
Tool ability(EA)	533.04	414.01	458.91
Production cost per component $C_{pr}$ (Won/each)	879.21	918.50	893.88

는 현상을 볼 수 있다. 그러므로, 가능한 공구수명을 고려하여 절삭속도를 증가하는 것이 절삭비용 감소에 중요한 역할을 한다. 이송량 변화에 따른 전체 생산비용의 추세를 비교하여 나타낸 그림은 Fig. 15로서(절삭깊이 : 0.2 mm 고정) 이송량 클수록 비용이 감소된다. 또한, 특이한 현상은 절삭속도가 증가될수록 이송량의 변화에 따른 전체비용의 차이가 줄어든다. 이 현상은 과공정 Al-Si합금을

단결정 다이아몬드공구로 절삭시 경제성곡선의 특성이라고 사료된다. Table 3은 시뮬레이션 출력 데이터로 입력값과 계산값이 동시에 출력된다. Table 3에서 보면 최소비용은 879원이고 속도는 389 m/min이다. 그러나, 이 속도에서는 실리콘이 석출되지 않으므로써 사용 공작기계에서 실리콘 석출이 50% 범위에 있는 636 m/min 이상으로 제한되며, 그중 최소비용인 893.88원으로 되고 이에 따

른 고효율 절삭속도 636 m/min이다. 고효율가능 절삭속도는 최소비용 속도와 최대 생산율속도의 중간에 속하나, 제품으로서 가치를 갖는 실리콘 석출 50%의 제한을 받게 되어 이에 따른 속도로부터 최대 생산율속도(CNC선반 최대 능력속도 : 890 m/min)까지로 볼 수 있다.

4.2 절삭깊이에 따른 경제성

절삭깊이의 변화에 따른 가공비용과 절삭속도를 나타낸 그림이 Fig. 8~10이다. 절삭속도에 따른 가공비용의 추이를 보면 이송량에 따른 변화와 유사하다. 그러나, 이송량을 0.06 mm/rev로 고정하고 절삭깊이를 변화시키면서 공구비용의 변화를 나

타낸 곡선인 Fig. 12를 보면, 절삭깊이에 따라 공구비용의 격차가 급격한 현상을 볼 수 있다. 따라서, 절삭깊이에 따라 공구의 수명이 크게 좌우됨을 판단할 수 있다. Fig. 14은 절삭깊이에 따른 절삭 주분력과 이송분력을 나타낸 그림<sup>(4)</sup>으로, 절삭깊이 증가에 따라 절삭 주분력이 크게 증가됨을 볼 수 있다. 이 현상은 절삭력 증가가 공구수명에 지대한 영향을 줄을 알 수 있다. 따라서, 공구수명의 연장을 위해서는 절삭깊이의 감소가 중요한 인자라 하겠다. Fig. 16은 절삭깊이의 변화에 따른 생산비용을 비교하여 나타낸 그림으로 낮은 속도에서는 절삭깊이에 따라 큰 격차가 없으나, 절삭속도가 증가할수록 큰 차이가 생기게 된다. 이 현상은 절삭깊

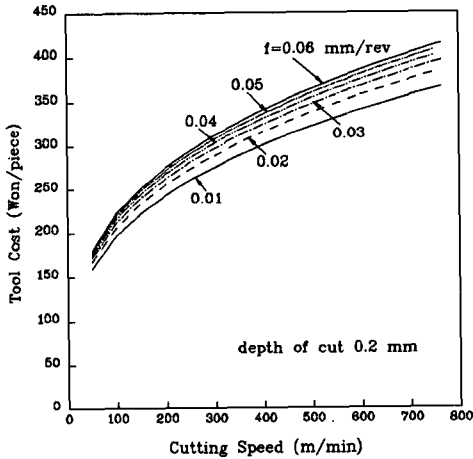


Fig. 11 Effect of tool cost at various feedrate

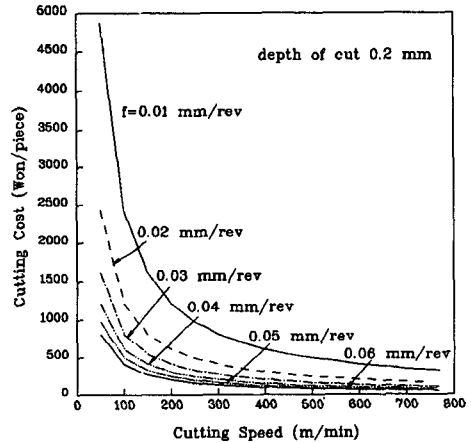


Fig. 13 Effect of tool cost at various feedrate

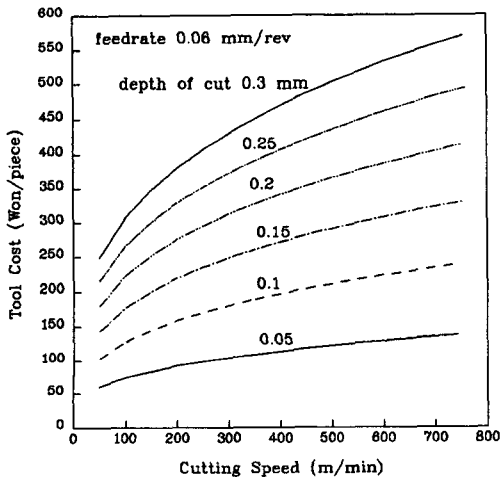


Fig. 12 Effect of tool cost at various depth of cut

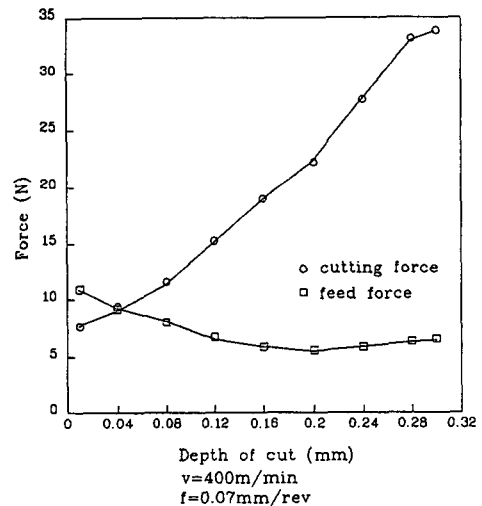


Fig. 14 Change in the cutting, feed force with increase in depth of cut



이가 증가되고 속도가 증가됨에 따라 공구에 손상을 주어 실리콘 석출의 저해요인이 됨에 따라, 공구의 교환을 유발하기 때문이다.

4.3 공구수명과 생산능력

Fig. 17은 이송량에 따른 공구의 수명과 과공정 Al-Si합금의 제품인 사판 생산능력을 나타낸 그림으로써, 이송량의 증가에 따라 공구의 수명이 급속

하게 감소되나 생산능력의 감소는 완만함을 볼 수 있다. 이 현상은 이송량이 증가됨에 제품의 생산능률이 향상됨으로 공구의 수명은 급속하게 감소됨에 반해 생산능력은 매우 미미한 감소를 나타낸다. Fig. 18은 절삭깊이에 따른 공구의 수명과 Al-Si사판 생산능력을 나타낸 그림으로써, 절삭깊이의 증가에 따라 공구의 수명이 완만하게 감소되고 생산능력의 감소는 급격함을 볼 수 있다. 이 현상은 공구의 수명의 작은 변화가 생산능력에 지대한 영향을 미치는 결과로 절삭깊이의 증가는 생산성 향상에 매우 중요한 인자라고 사료된다. Fig. 19는 절삭속도에 따른 공구의 수명과 Al-Si사판 생산능력

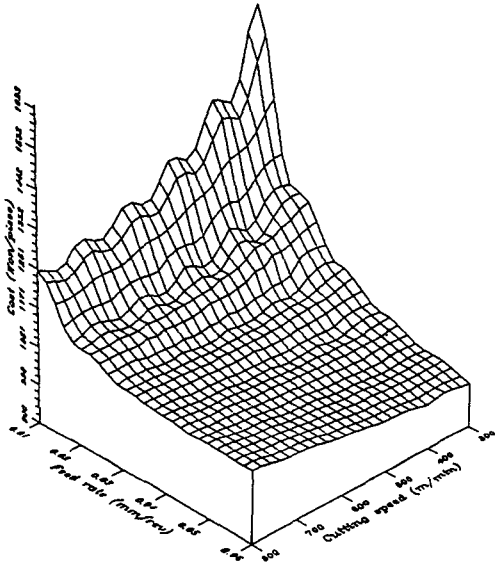


Fig. 15 Relationship of cutting speed, machining cost and feedrate

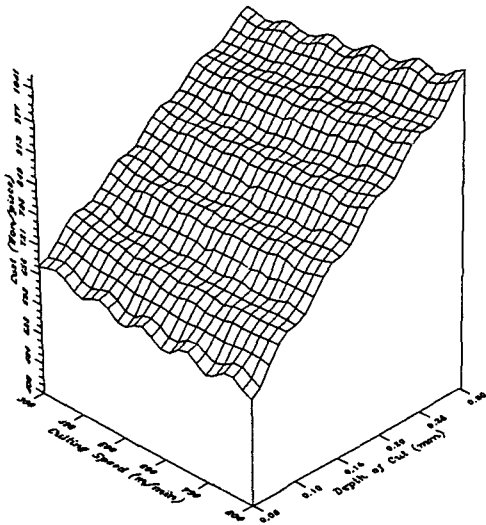


Fig. 16 Relationship of cutting speed, machining cost and depth of cut

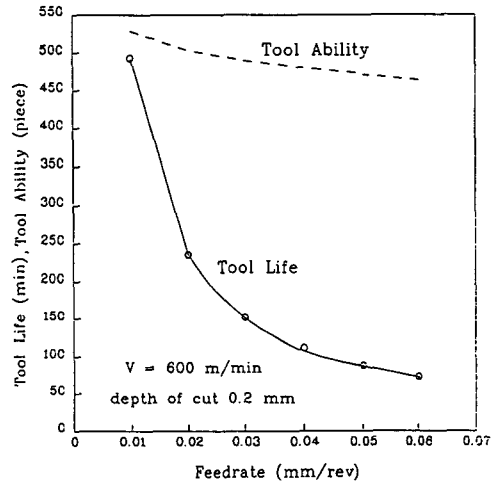


Fig. 17 Tool life and ability at various f(hypereutetic Al-Si alloy) (hypereutetic Al-Si alloy) (hyper-eutetic Al-Si alloy)eedrate

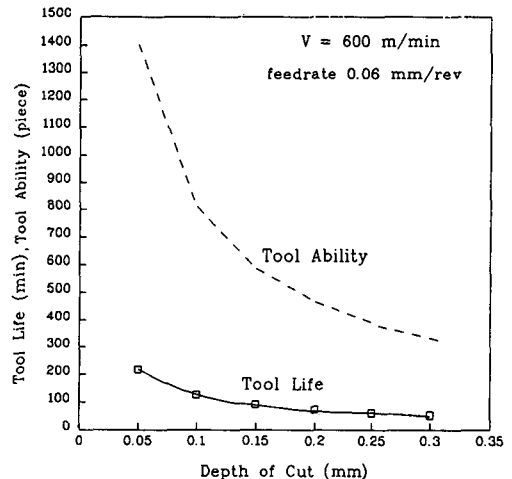


Fig. 18 Tool life and ability at various depth of cut

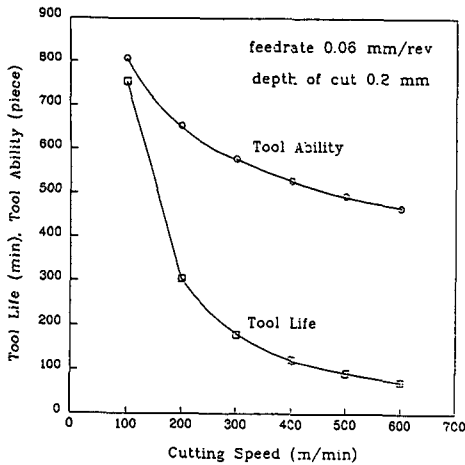


Fig. 19 Tool Life and Ability at various cutting speed

의 나타낸 그림으로써, 절삭속도의 증가에 따라 공구의 수명과 생산능력의 감소를 볼 수 있다. 절삭속도의 감소에 따라 공구의 수명이 증가되고 생산능력도 향상되며, 경제성에 관한 전체의 분석은 공구의 수명, 생산능력 뿐만 아니라 절삭비용, 비절삭비용, 이송량 등도 같이 고려되어야 한다.

### 5. 결 론

본 연구를 통해서 다음과 같은 결론을 내릴 수 있겠다.

(1) 단결정 다이아몬드공구로 과공정 Al-Si합금 가공시 고속의 절삭속도에서 경제성을 유지한다.

(2) 특수한 재질인 과공정 Al-Si합금 가공에 있어서, 단결정 다이아몬드의 공구수명은 이송량과 절삭깊이에 영향을 받게되며 이에 따라 공구수명방정식을 구하면 다음과 같다.

$$VT^{0.7657} f^{0.8187} a^{0.6076} = 600.2$$

(3) 과공정 Al-Si합금 가공시 절삭깊이가 증가되면 절삭주분력이 크게 증가되고, 생산비용이 크게 증가함으로써 단결정 다이아몬드 절삭에 의한 과공정 Al-Si합금 경제성을 고려할 때 절삭깊이를 줄이는 것이 요구된다.

(4) 사판 생산능력은 절삭깊이가 증가할수록 급격히 감소되며, 이송량이 증가할수록 약간의 감소를 보임으로써, 실리콘 석출의 적정한 수준에서 이송량을 증가시키고 절삭깊이를 감소시키는 것이 생산능률 향상에 좋은 영향을 미치게 된다.

### 참고문헌

- (1) Hansaki, S., Touge, M., Tanokubo, E. and Hasegawa, Y., 1989, "In Situ Observation of Micro-Cutting of Al-Si Alloy by Using Scanning Electron Microscope," *輕金屬*, Vol. 39, No. 10, pp. 705~709.
- (2) Jorstad, J. L., 1984, "Applications of 390 Alloy : An Update," *AFS Transactions*, pp. 573~578.
- (3) John, C. Miller, 1981, *Machining High Silicon Aluminum*, Paper No. G-T81-035, 11th International Die Casting Congress and Exposition
- (4) 이은상, 김정두, 1992, "Al-Si합금의 Si 석출 경면가공에 관한 연구," *大韓機械學會論文集*, Vol. 16, No. 12, pp. 2279~2286
- (5) Amarego, E. J. A. and Russell J. K., 1966, "Maximum Profit Rate as a Criterion for the Selection of Machining Conditionss," *Int. J. Mach. Tool Des. Res.*, Vol. 6, pp. 15~23
- (6) Wu, S. M. and Ermer, D. S., 1966, "Maximum Profit as the Criterion in the Determination of the Optimum Cutting Conditions," *ASME Journal of Engineering for Industry*, Vol. 88, pp. 435~442
- (7) Crookall, J. R. 1969, "The Performance-Envelope Concept in the Economics of Machining," *Int. J. Mach. Tool Des. Res.*, Vol. 9, pp. 261~278
- (8) Fenton, R. G. and Joseph, N. D., 1979, "The Effects of the Statistical Nature of Tool-Life on the Economics of Machining," *Int. J. Mach. Tool Des. Res.*, Vol. 19, pp. 43~50
- (9) 이길우, 이용성, 1992, "경제성을 고려한 기계 가공의 최적 절삭조건에 대한 연구," *大韓機械學會論文集*, Vol. 16, No. 12, pp. 2216~2225
- (10) Boothroyd, G., 1975, *Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools*, Scripta Book Co., pp. 143~166
- (11) 김정두, 1990, "천연 다이아몬드 인선형태에 의한 Al합금의 경면절삭에 관한 연구," *대한기계학회논문집*, Vol. 14, No. 6, pp. 1515~1522
- (12) Robert, W. Hornbeck, 1987, *Numerical method*, Quantum Publishers Inc., pp. 121~129