論文 6-4-10

금형 가공의 합리화를 위한 최적 절삭조건 선정 시스템에 관한 연구

A Study of the Optimazation the Cutting Condition Selecting System for the Rationality of Mould Manufacture

현 동 훈* · 이 용 성**
D·H Hyun · Y·S Lee

ABSTRACT

In recent years, mould industry in machining requires to increase machining productivity and to reduce costs, To adapt this trend it is necessary to optimize machine condition, Even though many researches in this area introduced various way to set the optimal condition, still there are not enough. Therefore this research was done to select the optimal cutting condition for industry, and to develop the computer program to select the optimal cutting condition automatically. The result of this research will contribute to increase machining productivity of various mould companies with the automatic selection of optimal cutting condition.

1. 서 론

최근 생산형태가 대량생산, 대량소비의 경향으로 흐르고 있어 다영한 제품이 생산되고 있다. 이러한 다품종화에 의해 자동차 및 전자산업의 발전이 급속도로 이루어지고 있다. 따라서 금형산업 또한 기존의 범용 공작기계로는 한계가 있으므로 중소기업까지도 장비의 CNC화가 이루어 진행되고 있다. 그러나 기술인력의 수급은 이를 따라가지 못하여 생산기술면에서 한계에 부딪혀 금형 업체에서는 여러가지 애로사항을 봉착하고 있다. 그러므로 이러한 어려운 점을 극복하기 위해서는 금형가공을 효율적으로 운영하여야 하며, 특히 금형 가공조건의 적정한 선정이 어느때보다 중요하게 인식되고 있다. 그러나 현장의 금형 업체에서의 가공조건 선정은 단지 경험이 많은 숙련자가 본인의 경험에 의해 가공조건을 선정함으로서 불합리한 경우가 많으며 대부분이 범용공작기계를 다루던 숙련자이므로 CNC 공작기계의 특성 및 성능을 제대로 활용하지 못하고 있어 금형 생산성 향상에 제한요소로 되고 있다. 지금까지의 연구에서는 적응제어나 R-T-F[1)]

* 단국대학교 대학원 기계공학과
** 단국대학교 기계공학과

~[3]의 개념으로 최적 절삭조건을 선정하거나, 일반 기계가공 부품에 대한 연구[4]~[5]만이 되어있어 금형 가공에 적용하기란 어렵다. 그러므로 본 연구에서는 기존에 사용되는 공구수명방정식을 데이타에 의존하지 않고 현장의 CNC공작기계의 특성에 맞는 공구 수명 방정식을 이용하여 국내 금형 업체의 노무비, 직접경비, 간접경비를 고려한 최소비용 절삭속도와 최대이윤 절삭속도를 자동선정한다. 설정된 가공 정보를 CAD/CAM시스템의 NC데이타 생성에 필요한 정보로 활용한다. 또한 최적 절삭조건 선정시스템(Optimazation Cutting Condition Selecting System)에서 공구교환시간 및 가공시간을 알 수 있어 금형 가공공정 계획에 이용하면 금형의 생산성 향상 및 원가절감의 효과를 극대화할 수 있다. 또한 생산 자동화에 의한 산업안전에도 기여할 수 있다.

2. 관련이론

2.1 금형 가공의 기초적 수학모델

금형은 대부분 자유곡면을 포함하기 때문에 엔드밀 작업이 대부분이므로 여기서도 엔드밀 작업을 기준으로 하여 수학 모델을 제시한다.

2.1.1 단위 생산시간

단위생산 시간은 금형을 가공하는데 필요한 시간이며, CNC 공작기계의 경우 금형을 가공하기 위한 생산시간 t를 크게 나누어 다음 3가지 시간 성분의 합으로 된다.

(1) 실절삭 시간(min/pc) : 실제 공구와 피삭재가 접촉하여 가공이 실시되는 시간(t_f)
(2) 비절삭 시간(min/pc) : 피삭재의 장·탈착, 절삭공구의 접근·이탈등 실절삭과 관계없는 시간(t_i)
(3) 공구교환시간(min/pc) : 손상된 공구를 새것으로 교체하는데 드는 시간($tc \cdot t_f/T$)

여기서의 실절삭 시간 t_f(min/pc)는 다음과 같다.

$$t_f = \frac{\pi DL}{1000 \cdot f \cdot Z \cdot V} \quad \cdots\cdots (1)$$

D : 엔드밀 직경(mm)
f : 이송(mm/rev)
V : 절삭속도(m/min)
L : 가공길이(mm)
Z : 엔드밀 날수

비절삭 시간(Idle time)t_1는 다음과 같다.

$$t_1 = \frac{a}{2 \cdot r} + \frac{a+L}{r} + t_o + t_L + t_s \quad \cdots\cdots (2)$$

a : Approach 길이(mm)
t_o : 준비단계시간(min)
t_L : 공작물의 설치 및 제거시간(min)
r : 급속변화속도(mm/min)
t_s : 공구접근시간(min)

그러므로 단위 생산시간 t(min/pc)는 다음과 같다.

$$t = t_f + t_i + t_c \cdot (t_f/T) \quad \cdots\cdots (3)$$

T : 공구수명(min)

이며, 결국 식 (4)와 같이된다.

$$t_f = \frac{\pi DL}{1000 \cdot f \cdot Z \cdot V} + \frac{a}{2 \cdot r} + \frac{a+L}{r} + t_o + t_L + t_s \quad \cdots\cdots (4)$$

2.1.2 단위생산비용

단위생산비용은 금형 1개당의 가공비이며, 이것을 작게 하므로서 생산원가를 절감할 수 있다.

생산비용 C_{TC}는 다음 성분의 합으로 이루어진다.

(1) 절삭비용(won/pc) : $M \cdot t_f$
(2) 비절삭비용(won/pc) : $M \cdot t_i$
(3) 공구교환비용(won/pc) : $M \cdot t_c \cdot (t_f/T)$
(4) 공구비용(won/pc) : $(t_f/T) \cdot C_t$

그러므로 단위생산비용 C_{TC}는 다음과 같다.

$$C_{TC} = M \cdot t_f + M \cdot t_i + M \cdot t_c \cdot \frac{t_f}{T} + \frac{t_f}{T} \cdot C_t \quad \cdots\cdots (5)$$

C_t : 공구비(won/tool)

2.1.3 생산율

생산율은 단위생산 시간의 역수로 다음과 같이 주어지며, 생산공정계획에 공구교환시간과 같이 중요한 정보이다.

$$P = \frac{60}{t_f + t_i + t_c \cdot (t_f/T)} \text{ (pc/hr)} \quad \cdots\cdots (6)$$

2.1.4 단위이윤

금형을 생산하여 판매함으로써 얻어지는 이득액

을 단위이윤은 순수입(Net revence)으로 금형제품 판매가격 r_p(won/min)에서 재료비 m_c와 단위 생산비용 C_{TC}를 뺀 값이므로 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$g = r_p - m_c - C_{TC}$$
$$= r_p - m_c - \left[M \cdot t_f + M \cdot t_i + M \cdot t_c \cdot \frac{t_f}{T} + C_t \frac{t_f}{T} \right] \quad \cdots\cdots (7)$$

2.1.5 이윤율

이윤율은 시간당의 이윤으로 이것을 최대로 하는 가공조건은 최대 이윤율 기준에 따르게 된다. 이윤율 P(won/min)은 생산율 P_R(pc/min)과 단위이윤 g(won/pc)의 곱으로 얻는다.

$$P = P_R \cdot g$$
$$\frac{r_p - m_c \left[M \cdot t_f + M \cdot t_i + M \cdot t_c \frac{t_f}{T} + C_t \cdot \frac{t_f}{T} \right]}{t_f + t_i + t_c \cdot \frac{t_f}{T}} \quad \cdots\cdots (8)$$

2.2 엔드밀 작업시 공구 수명 방정식

선삭 가공에 있어서 공구 수명은 주로 절삭속도와의 함수관계이다. 이러한 함수관계를 Taylor는 다음과 같이 표시하였다.

$$V \cdot T^n = C \quad \cdots\cdots (9)$$

여기서 n : 공구 수명지수
C : 절삭상수

그러나 엔드밀 작업에서는 식 (9)의 적용이 곤란하므로 다음과 같은 수정 방정식이 필요하다.

$$V \cdot L^{n'} = C' \quad \cdots\cdots (10)$$

여기서 L : 공구 수명까지의 가공길이
n' : 공구수명지수(가공길이기준)
C' : 절삭상수(가공길이기준)

실험을 하여 식 (10)에서 n', C'를 구한 후 다음 식에 대입하여 공구수명시간을 계산한다.

$$L' = 1000s\,ZVT/\pi D \quad \cdots\cdots (11)$$

s : 공구날당 이송량(mm/tooth)
Z : 공구날수
D : 엔드밀 직경(nm)

또한 이송량과 이송속도는 다음과 같다.

$$S_t = S \cdot N \cdot Z \quad \cdots\cdots (12)$$

S_t : 이송량(mm/min)
N : 주축 회전수(rpm)

식 (11)에서 구한 T를 이용하여 식 (9)와 같은 Taylor 공구수명 방정식을 구할 수 있다.

2.3 금형 가공에 있어서 최적의 절삭속도

금형 가공에서의 가공조건(절삭속도, 이송, 절삭깊이)중 1개를 결정변수로 하는 무제약 최적화로 하기위해 절삭속도를 결정변수로 선택하여 최적 절삭 속도를 구한다. 단위생산비용 C_{TC}는 절삭속도에 관한 함수이므로, 이것을 절삭속도로 미분하여 0으로 놓으므로써 최소비용 절삭속도를 구할 수 있다. 그러므로 식 (9)의 공구수명 방정식으로부터 식 (5)의 단위생산비용 C_{TC}가 최소로 되는 절삭속도 V_{ic}는 다음과 같다.

$$V_{ic} = \frac{C}{[(t_c + C_t/M) \cdot (1/n-1) \cdot L/(L+a)]^n} \quad \cdots (13)$$

최대능률 절삭속도는 제품 1개를 가장 신속하게 가공하는 즉 최대 생산성을 지향하는 최대 생산성 절삭속도이다. 단위 생산시간 t가 절삭속도 V에 관한 감소함수이므로 이것에 관한 도함수를 0으로 놓고 구할 수 있으나 금형은 다량생산이 아니므로, 금형생산에 있어서 생산율(psc/min)은 의미가 없다. 즉 최대능률 절삭속도는 금형 생산에서는 불합리하다. 최대이윤 절삭속도는 금형을 가공하여 판매할때 얻게되는 이윤을 극대로 하기위한 절삭속도이며, 이것은 단위시간당 이윤을 절삭속도 V에 관하여 미분하여 0으로 놓으므로써 구할 수 있다. 즉 공구수명 방정식(2-9) 식으로 부터 이윤율을 최대로 하는 절삭속도 V_{pf}는 다음과 같다.

$$(1-n)\,[C_t \cdot ti + (r_p - m_c)t_c] \cdot V_{pf}^{\,1/n} + [\pi DL/1000 \cdot (C_t - k_{mtc})] \cdot V_{pf}^{\,1/n-1} - nC^{1/n}\,[k_m ti + (r_p - m_c)] = 0 \quad \cdots\cdots (14)$$

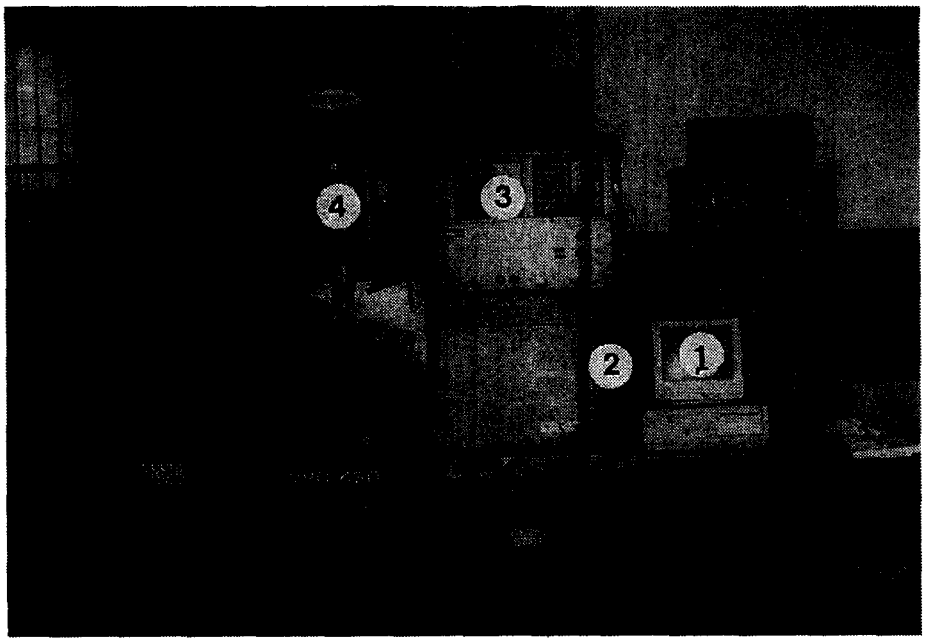
이 식에서 Taylor공구수명 방정식의 기울기인 상수 n이 1, ½, ⅓, ¼인 특별한 경우에는 식 (14)는 각각 1차, 2차, 3차, 4차 대수방정식으로 표시할 수 있다. 그러나 실험후 공구수명 방정식이 수립되면 대부분 n이 1, ½, ⅓, ¼로 되지 않는다. 따라서 수치 계산에 의해 최적화 하여야 한다. 본 연구에서는 Newton Raphson법에 한계비용과 한계수입이 동일하게 되는 곳에서 최대이윤이 발생하는 한

계원리를 적용시켜 최적화한다.

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

본 실험에 사용된 실험장비는 Fig. 1과 같이 수직형 머시닝 센터이다. 공구수명 방정식을 위한 가공과 실금형 가공에서 PC에 의한 DNC작업으로 가공한다. 즉 PC내의 가공정보(NC정보)를 RS23C를 이용하여 머시닝 센터 콘트롤라(controller)에 전송하여 3축 제어를 한다. 또한 엔드밀의 공구마멸은 X-Y 디지탈이 부착된 공구 현미경을 사용하여 측정한다.



① PC ② RS232C ③ Contraller ④ Machining center

Fig. 1 Configuration of experimental equipment

실험에 사용된 공구는 Ø20, 4날 H.S.S 엔드밀과 Ø10 볼엔드밀이다. 피삭재는 SM45C, SKD11, SKD61이다. Table 1에 피삭재의 화학적 성분을 표시한다.

3.2 실험방법

금형재료로 SM45C, SKD11, SKD61을 선택하여 황삭가공시 Ø20 엔드밀을 사용하고, 정삭가공시 Ø10 볼엔드밀을 사용할 경우 각각의 공구 수명 방정식을 알아야 한다. 그러므로 Fig. 1에 표시한 머시닝 센타에서 Table 2와 같은 조건으로 가공하여, Table 3과 같은 공구수명 방정식을 얻는다. 단 공구마멸은 여유면 마멸 0.3mm를 기준으로 한다.

Table 1 Chemical composition(wt.%)

Material	C	Si	Mn	S	Cr	Mo	Al	Ca	P	V
SM45C	0.442	0.232	0.692	0.022	0.073	0.018	0.0317	0.00028	–	–
SKD	1.463	0.31	0.53	0.018	11.5	0.95	–	–	0.021	0.36
SKD	0.37	0.93	0.42	0.021	5.16	1.13	–	–	0.024	0.95

Table 3 Tool life-equation

Workpiece	SM45C	SM45C	SKD11	SKD11	SKD61	SKD61
Tool	Ø20 Endmill	Ø10 Endmill	Ø20 Endmill	Ø10 Endmill	Ø20 Endmill	Ø10 Endmill
$VL^{n'}=C'$	$VL^{2.5}=400$	$VL^{0.45}=120$	$VL^{0.43}=200$	$VL^{0.41}=34.59$	$VL^{0.46}=215$	$VL^{0.40}=42$
$VT^{n'}=C$	$VT^{0.33}=240$	$VT^{0.31}=155$	$VT^{0.32}=240$	$VT^{0.3}=72$	$VT^{0.215}=260$	$VT^{0.257}=87$

Table 2 Cutting condition of Workpiece

Workpiece	SM45C	SM45C	SKD11	SKD11	SKD61	SKD61
Tools	Ø20 Endmill	Ø10 Endmill	Ø20 Endmill	Ø10 Endmill	Ø20 Endmill	Ø10 Endmill
Feed(mm/min)	400	80	200	80	140	30
Depth of axis(mm)	20	2	20	2	20	2
Depth of radius(mm)	2	0.3	2	0.3	2	0.3

4. 결과 및 고찰

4.1 최적 절삭조건 선정 시스템

최적 절삭조건 선정(Optimization Cutting condition Selecting) 시스템을 OCS system이라고 한다. Fig. 2에 OCS system의 개략도를 나타낸다.

즉 입력 데이타에 공구수명 방정식의 상수인 c, n을 대입하고 비용 파라미터와 가공 조건 파라미터들을 각각 대입한다. 비용 파라미터중 분당 가공비 M을 분당설비비와 분당 노무비 및 경비를 포함한 대기업군의 머시닝 센타 가공비이다. 그다음 V_{min}-cst는 식 (12)에 의해 구하며, 구해진 V_{min}-cst를 초기값으로 하고 절삭속도를 증분하여 $\triangle Xi$(한계비용), $\triangle Yi$(한계수입)을 구한후 한계비용과 한계수입이 다음과 같은 조건을 만족하는 i를 구한다.

$\triangle Xi \leq \triangle Yi$ and $\triangle Xi > \triangle Yi$

단 j는 1부터 시작하여 다음 단계에 따라 j를 2, 3, …으로 증가한다.

$V_j + V_j + i\triangle V_j$로 놓고, 적당한 값 $\triangle V_{j+1}$을 선택하여 다시 한계비용과 한계수입의 검정을 거쳐 $\triangle V_j$가 충분히 작은값에 대해 얻어진 V_{j+1}이 최대 이윤 절삭속도 V_{pt}이다. 이와같은 과정을 통해 얻어진 결과가 V_{min}-cst, V_{max}-prot이다.

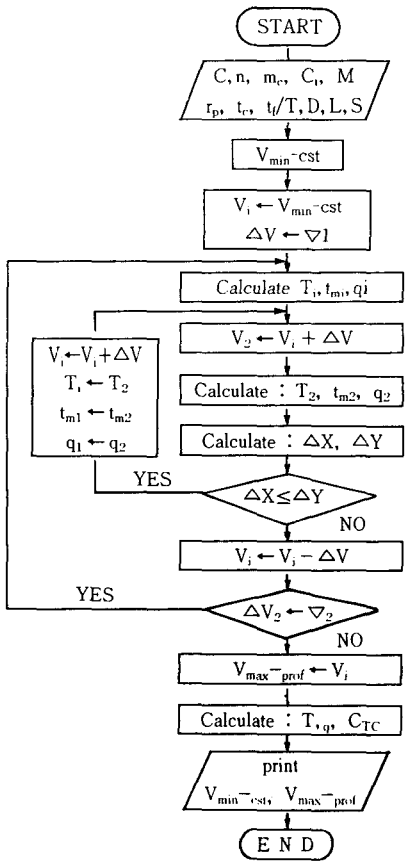
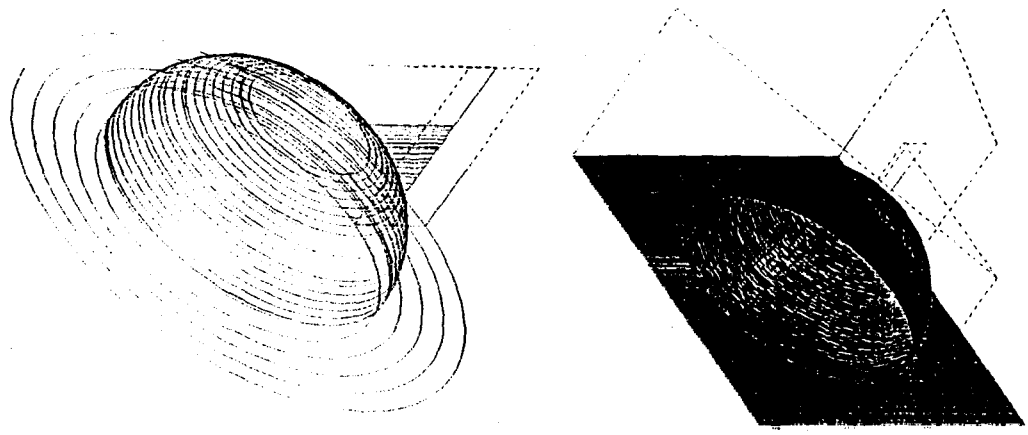


Fig. 2 Flowchart of OCS system

4.2 금형 가공에 OCS 시스템 적용예

앞에서 설명한 OCS시스템을 금형가공에 적용하기 위해 Fig. 3과 같은 자유곡면 모델을 선정한다. 이 모델은 형상의 합성에 의해 생성된 모델로 와이어 프레임 모델로 이루어졌다. Fig. 2(a)는 황삭 가공 경로이며, (b)는 정삭 가공 경로이다. 금형 가공의 합리화를 위해 Fig. 1과 같이 DNC program을 이용하여 PC에 생성된 가공 정보를 RS-23C 통신회로를 통해 CNC 머시닝 센터 콘트롤러에 전송시켜 머시닝 센터의 3축을 제어하므로써 가공을 한다.



(a) Rough cutting (b) Finishing cutting

Fig. 3 Wire flame model

이와같은 모델의 피삭재로 SM45C, SKD11, SKD61을 각각 가공한다. 이때 OCS 시스템을 운용하기 위해 Fig. 4에 표시한 바와같이 SMC45C 가공시의 파라메타를 입력한다. 파라메타는 재 료 파라메타, 비용파라메타, 가공정보파라메타로 구분된다. 이와같은 파라메타는 현장에서 전부 알 수 있는 가공 정보이다. 단, 재료 파라메타는 공구수명 방정식의 상수이다. 대부분 금형 업체에서는 일정한 금형 재료와 공구를 사용하므로 공구수명 방정식을 실험에 의해 구하면 데이타로 활용할 수 있다. 그러므로 파라메타의 입력이 완료되면 Fig. 5와 같은 출력 결과가 나온다. 최소비용, 최대이윤, 최대 생산률에 대한 절삭속도, 공구수명, 생산률, 생산가격, 이윤 등을 알 수 있다. SM45C의 경우 최소비용으로 가공하기 위해서는 절삭속도를 약 80m/min으로 하여야 하며 이 경우 공구수명은 약 27분이다. 또한 최대 이윤을 얻기 위해서는 절삭속도를 약 116m/min으로 하여야 한다. 그러나 생산 갯수가 하나인 금형에서는 최대 생산률은 의미가 없다. 그러므로 금형의 고효율절삭속도 영역은 최소비용 절삭속도와 최대이윤 절삭속도사이에 존재한다. Fig. 6은 정삭가공시 OCS시스템의 출력결과이다. 금형의 고효율 절삭속도 영역은 54m/min ~61 m/min이다.

**** For given cutting conditions ****

1) Input data of an cnst ·····	?	0.33
2) Input data of c cnst ·····	?	240
3) Input data of Maching cost/min ·····	?	416
4) Input data of Material cost(won/pc) ·····	?	5500
5) Input data of Sale cost(won/pc) ·····	?	35000
6) Input data of Tool change time(min) ·····	?	1.5
7) Input data of D(before diameter (mm) ····	?	20
8) Input data of Cutting length(mm) ·····	?	6680
9) Input data of Feed(mm/rev) ·····	?	0.2857

Fig. 4 OCS system input data of SM45C

> > > > Economical machining data < < < <

		Min Cost	Max profit	Max productivity
Cutting speed	(m/min) :	80.644	116.644	166.600
Tool-life	(min) :	27.24421	8.67581	3.02283
Production rate	(pcs/min) :	.0395378	.531658	.0619845
Cost	(won/pc) :	13864.832	15066.653	21297.075
Profit	(won/min) :	618.181	767.360	508.454

Fig. 5 OCS system output data of SM45C rough cutting

> > > > Economical machining data < < < <

		Min Cost	Max profit	Max productivity
Cutting speed	(m/min) :	54.068	61.068	106.892
Tool-life	(min) :	29.88548	19.14897	3.31589
Production rate	(pcs/min) :	.0123299	.0138721	.0188862
Cost	(won/pc) :	43546.797	43437.974	66738.045
Profit	(won/min) :	79.555	91.015	-316.136

Fig. 6 OCS system output data of SM45C finishing cutting

또한 이와같은 OCS시스템을 이용하면 금형의 원가를 계산할 수 있으므로 지금까지 금형 가격을 금형의 무게를 고려하여 정하던 비합리적인 방법에서 합리적인 방법으로 전환할 수 있다. 즉 가공도면을 CAD/CAM 시스템에 입력하여 가공정보 파라메타를 알고, 재료와 공구를 선택하여 재료 파라메타를 결정하고, 자체원가 관리에 의한 비용 파라메타를 결정하면 쉽게 금형 가공비를 얻을 수 있다. 즉 이와같은 시스템을 선반 및 드릴링 머신까지 보완하면 CAC(Computer Aided Costung)시스템도 가능하다. 앞으로 드릴링 작업만 추가하면 CAC시스템이 완성된다. Fig. 7, Fig. 8은 금형재료를 SKD11으로 선정하여 OCS시스템에서 출력된 결과이다. Fig. 7은 황삭가공으로 엔드밀 Ø20으로 가공한 경우이고 Fig. 8은 정삭가공으로 볼엔드밀 Ø10으로 가공한 경우이다. 황삭 가공에서는 최소비용 절삭속도가 약 82m/min이고 최대이윤 절삭속도는 약 113m/min이다. 또한 공구수명은 최소비용 기준시 약 28분이고 최대이윤 기준시 약 10분이다. 정삭가공시에는 최소비용 절삭속도가 약 25m/min이고, 최대이윤 절삭속도는 약 31m/min이다.

> > > > Economical machining data < < < <

		Min Cost	Max profit	Max productivity
Cutting speed	(m/min) :	82.146	113.146	166.014
Tool-life	(min) :	28.51493	10.19980	3.16382
Production rate	(pcs/min) :	.0259840	.0338023	.0402662
Cost	(won/pc) :	20878.942	22127.494	32045.928
Profit	(won/min) :	496.842	604.131	320.280

Fig. 7 SKD11 output of rought cutting

> > > > Economical machining data < < < <

		Min Cost	Max profit	Max productivity
Cutting speed	(m/min) :	25.618	31.618	49.546
Tool-life	(min) :	31.32922	14.00375	3.47607
Production rate	(pcs/min) :	.0081276	.0099228	.0123019
Cost	(won/pc) :	65400.386	67886.105	100068.277
Profit	(won/min) :	281.203	318.651	-.852

Fig. 8 SKD11 output of finishing cutting

> > > > Economical machining data < < < <

		Min Cost	Max profit	Max productivity
Cutting speed	(m/min) :	89.840	122.840	179.577
Tool-life	(min) :	29.18054	10.53370	3.23767
Production rate	(pcs/min) :	.0259690	.0335896	.0400078
Cost	(won/pc) :	20784.035	22006.501	31882.919
Profit	(won/min) :	499.019	604.395	324.747

Fig. 9 SKD61 output of rough cutting

> > > > Economical machining data < < < <

		Min Cost	Max profit	Max productivity
Cutting speed	(m/min) :	33.973	37.973	59.778
Tool-life	(min) :	38.81759	22.75139	4.30693
Production rate	(pcs/min) :	.0052084	.0058585	.0074770
Cost	(won/pc) :	97895.760	99227.808	147968.316
Profit	(won/min) :	115.124	121.687	-209.127

Fig. 10 SKD61 output of finishing cutting

Fig. 9, Fig. 10은 금형재료를 SKD61로 선정하여 적용한 결과이다.

이와같이 금형가공에 OCS시스템을 적용한 결과 현장의 가공 정보만 가지고도 충분히 가공조건의 선정이 가능하며, OCS시스템의 결과로 금형가공비 산출도 가능하다. 또한 작업시간을 정확하게 예측 가능함으로서 효율적인 가공관리를 할 수 있다. 앞으로 더욱 다양한 금형재료 및 공구에 관한 절삭방정식을 데이타 베이스화 하여 보다 활용 범위를 넓혀 나갈 예정이다.

5. 결 론

이상과 같이 금형가공의 효율화를 위해 최적절삭조건 자동선정에 관해 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 금형가공을 최적화하기 위해 기초적 수학모델을 수립하였으며, 엔드밀 작업에 적합한 수정 공구

수명방정식을 확립하였다.

2) 한계원리를 적용한 알고리즘 이용하면 최적 절삭조건을 자동 선정할 수 있다.
3) OCS시스템을 실제 금형에 적용한 결과 최소비용 절삭속도와 최대이윤 절삭속도사이에 고효율 속도 영역이 존재한다.
4) OCS시스템 결과중 공구수명 및 생산률은 공정관리에 활용가능하며 가격 및 이윤은 CAC (Computer Aided Costung)에 적용가능하다. 그러므로 본 연구결과만으로도 금형가공의 합리화 및 생산성 향상에 기여할 수 있다.
5) 앞으로 모든 기계가공분야에 적용하기 위해 드릴링, 연삭, WEDM, EDM도 포함되는 OCS 시스템이 개발되어야 한다.

참 고 문 헌

1) R. Bendini, A Hardwired Logic for the Adaptive Control of a Milling Machine, Int. J. of NTDR, Vol. 16, No. 5, pp. 193~207, 1976.
2) G. L. Ravignani, Cutting Rate-Tool Life Functions(R-T-F) General Theory and Application, CIRP, Vol. 25, No. 9, pp. 295~301, 1977.
3) R. C. Fenton. The Effect of the Statistical Nature of Tool-Life on the Economics of Machining, Int. J. Mach. Tool Des. Res., Vol. 19, No. 1, pp. 43~50, 1979.
4) K. Hitomi, Optimization of Multistage Machining System ASME, Vol. 93, series B, No. 2, pp. 186~201, 1972.
5) K. Hitomi, Analysis of Otimal Machining Conditions for Flow-type Automated Manufacturing System, Inter. Journal of Production Research, Vol. 28, No. 6, pp. 321~329, 1990.