

절삭가공물의 생산 시간 추정

김 강*

(논문접수일 2003. 2. 18, 심사완료일 2003. 6. 11)

Estimation of Manufacturing Time for Machined Parts

Kang Kim*

Abstract

It is well known that design cost is only about 5% of final product cost, but over 70% of it is determined during design stage. Earlier in the product design and development cycle the design changes occur, more economic they become. Therefore, it is recommended that the manufacturing time and cost of product are considered in steps involved in designing and manufacturing a product as early as possible. In this study, it is proposed a possible way that can be available for estimating manufacturing time of parts, which are manufactured by conventional material removal processes (e.g. turning, milling, and drilling). For it to be useful in the early design stage, the minimum number of informations on dimension, shape, and design features of part will be used in this method.

Key Words : Manufacturing Time, Conventional Material Removal Processes, Early Design Stage

1. 서론

설계 자체가 제품의 최종 원가에서 차지하는 비율은 약 5%에 지나지 않는 반면에 최종 원가를 결정하는 영향도 측면에서는 70%이상이라는 사실이 밝혀지면서, 원가절감 및 생산성 향상을 이루려는 노력이 설계단계에 집중되기 시작하였다⁽¹⁾. 하나의 제품이 상품화되기 위해서는 제품 기획 및 과제 규명에서 출발하여, 개념 설계, 구체 설계, 상세

설계 단계를 거치고 제작단계를 거쳐 소비자에게 상품화되어 공급된다⁽²⁾. 특히 설계는 한번에 끝나는 것이 아니라 내포하고 있는 오류를 여러 번 수정하여 최적의 설계에 이르는데, 이렇게 설계 개선을 하는데 따른 비용은 앞서 말한 여러 단계 가운데 가능한 한 앞선 단계에서 이루어지는 것이 경제적이다⁽¹⁾. 따라서, 설계 단계에서 설계개선을 통해 얻을 수 있는 이득을 정량적인 수치로 나타내기 위하여 제품의 가공 원가를 추정하는 방법들이 개발되고 있다.

* 주저자, 국민대학교 기계자동화공학부 (kangkim@kookmin.ac.kr)
주소: 136-702 서울시 성북구 정릉동 861-1

그러나, 비용 측면의 추정은 지역 및 시점에 따른 재료비 용 및 기준 임을 등의 차이로 인하여 비용 유발 요인을 파악하는데 어려움이 있을 수 있으므로, 비용과 비례적인 관계가 있는 시간에 주안점을 두어 추정하는 것이 보다 객관적이다. 그러므로, 본 연구에서는 여러 가지 가공법 가운데 가장 기본이 되는 전통적인 절삭가공 공정들로 생산되는 부품을 대상으로 하여 초기 설계 단계에서의 생산 시간 추정 방법을 제시하고, 아울러 사례연구를 통하여 활용 가능성을 알아보려고 한다.

본 연구의 목적은 가공하고자 하는 대상에 대한 정보가 완벽하게 확보될 수 없는 초기 설계 단계에서, 기 개발된 상세도면을 활용하는 방법과 비교하여 신뢰도를 유지할 수 있는 추정 방법을 제시하는 것이다. 이를 위하여서는, 세부 공정 및 작업에 대한 해석적인 접근 및 관련 통계 자료가 요청되나, 이들 각각이 하나의 독립적인 연구 과제 성격을 갖는다. 그러므로, 본 연구에서는 기 발표된 연구 자료 및 결과를 최대한 활용하여 종합적인 생산 시간 추정 방법론을 제시하는 것에 주안점을 둔다⁽³⁻⁷⁾.

2. 전제 및 가정

2.1 대전제

Table 1은 절삭가공법에 대한 산업 현장에서의 활용 빈도를 나타낸 것인데, 이 표에 따르면 드릴링, 선삭, 밀링, 연삭의 순으로 활용도가 높고, 이들이 전체의 80%이상을 차지하는 것을 알 수 있다. 연삭은 일반적으로 형상을 가공하는 방법이 아니라 표면의 정도를 높이기 위한 목적으로 사용될 뿐만 아니라, 요구되는 표면 정도를 초기 설계 단계에서 명확히 하는 것은 다소 어려움이 있다. 또한, 선삭, 밀링, 드릴링 가공법은 여타의 다른 가공법에 의하여 생성되는 가공 면을 거의 대부분 생성 가능하다. 그러므로, 본 연구에서는 연삭과 활용 빈도가 낮은 절삭가공법은 제외하고 선삭, 밀링, 그리고 드릴링에 의하여 가공되는 절삭가공물의 원가 추정 방법을 제안하고자 한다.

공작물은 공작기계 옆에 적절한 위치에 있어 작업자가 공작물을 쉽게 취급 및 이동시킬 수 있다고 가정한다. 아울러, 여러 종류의 공작기계를 사용한다면 공작물은 공작기계들 사이에서 운반이 되어야하는데, 총 운반거리는 가공 장소에 따라 다르기 때문에, 최소시간 개념에 의하여 운반시간은 고려하지 않는다.

Table 1 Distribution of machine tools in the general engineering industry⁽⁸⁾

Machine tool type	Percentile incidence of work(%)
Drilling	28.2
Turning	24.9
Milling	20.2
Grinding	11.4
Horizontal and Fine Boring	3.3
Slotting and Keyseating	2.5
Tapping	2.1
Broaching	1.4
Gear Cutting and Grinding	1.4
Screw Cutting and Rolling	1.3
Vertical Boring	1.1
Planning	1.1

2.2 소요 변수


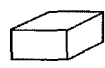

절삭가공물의 정확한 생산 시간을 추정하기 위해서는 영향을 미치는 인자들에 대한 정보를 모두 알아야 하지만, 초기 설계 단계에서는 모든 정보의 확보가 불가능하다. 따라서 추정을 위해 필요한 인자들의 수를 가능한 한 줄이고 초기 설계 단계에서 확보 가능한 정보들을 이용하여 필요한 정보들을 도출하고자 한다.

Table 2는 본 연구에서 필요로 하는, 절삭가공물의 생산 시간 추정을 위한 최소한의 정보 내용을 보여준다. 이 표에 있어서, 생산 시간을 구성하는 항목들은 보편적으로 통용되는 기준에 의하여 구분되며, 각각에 대하여 영향을 미치는 인자들은 초기 설계 단계에서 확보 가능한 정보들 중 통계

Table 2 Parameters for estimating manufacturing time

Time	Parameters
General	· Initial material volume · Material density
Set-up time	· Batch size
Non-productive time	· Workpiece weight · Number of operation
Machining time	· Volume removed · Surface area finished · Power available

Table 3 Grouping of approximate shape

Category	Approximate shape	
1		Cylinder
2		Block
3		Cylinder and Block

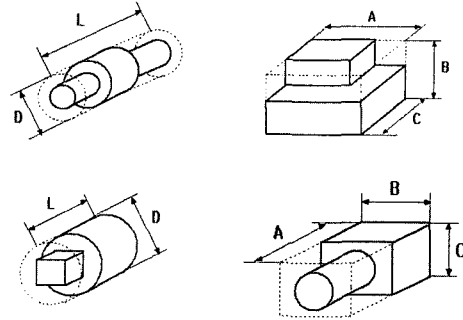


Fig. 1 Envelope size of category 1, 2 and 3

적 혹은 경험적으로 관련이 있음이 확인된 정보들을 나타낸다.

2.3 형상 분류

가공법에 익숙하지 않은 설계자는 편의상 가공법에 대한 정보를 형상 정보로부터 취할 수 있는 단순화된 방법을 활용하는 것이 효과적이다. 영국 산업계에서의 절삭에 요구되는 사항에 대한 연구⁽⁸⁾에서는 절삭가공으로 생성된 면을 4 종류로 분류하여 이러한 면 종류의 조합에 따라 절삭가공물을 7 가지 형태로 분류하였다. 그러나, 본 연구에서는 초기 설계 단계에서의 적용인 점을 감안하여 이를 더욱 단순화시켜서 Table 3과 같이 3 가지로 분류하였다.

Category 1은 전체적인 외형이 원통 모양으로 주로 선삭으로 가공되고, Category 2는 육면체 모양으로 주로 밀링으로 가공되며, 마지막으로 Category 3은 원통과 육면체가 조합된 모양으로 선삭과 밀링의 조합으로 가공되는 형태이다. Category 1과 2에 속하는 절삭가공물의 가공 전 소재 형상은 일반적으로 각각 원통과 육면체 형상이며, Category 3의 경우는 원통과 육면체 양자 모두 가능하다. Fig. 1은 형상에 따른 엔벨롭 크기(envelope size)를 나타내는데, 이는 공작물을 포함할 수 있는 기본적인 기하학적 형상인 원통이나 육면체 형상의 최소 크기를 의미한다.

2.4 추정 단계 및 가정

초기 설계 단계에서 가공물의 대략적인 형상이 정의되고 재료가 결정되면, 재료에 따른 밀도, 비절삭에너지(specific cutting energy), 표면생성률(surface generation rate) 등의 물성 관련 정보를 입수할 수 있다. 이어서 형상 분류에 따라 선삭, 밀링, 드릴링 가운데 어떤 가공법이 필요한지 판단한다. 아울러, 가공물의 대략적인 크기와 무게에 따라 적절한

공작기계를 선정하고 기계의 유효동력에 대한 정보를 입수한다. 참고로 공작기계 모터의 효율은 대략 50~70%라고 알려져 있는데, 정확한 효율을 모르는 경우에는 70%로 추정한다. 한편, 배치 크기(batch size)와 선정된 공작기계에 관련된 생산 정보를 확보한다. 이 순서로 재료와 기계 및 생산 정보를 입력한 후, 기계준비시간, 비부가가치 생산시간, 절삭시간을 차례로 계산하고, 마지막으로 절삭가공물의 개당 총 생산 시간을 추정한다.

3. 세부 소요 시간 추정

3.1 기계준비시간

기계준비시간을 계산하기 위해서는 우선 공작물의 최종 형상을 기준으로 하여 선삭, 밀링, 드릴링 가운데 어떤 가공법이 필요한지 판단해야 한다. 이 판단을 위한 흐름도는 Fig. 2에서 보여주고 있다.

우선 앞에서 정의한 세 가지 형상 Category 가운데 하나를 선택한다. Category 1의 경우, 주된 가공법은 선삭인데 원주면에 키홈 같은 평면이나 원통의 단면에 각종 홈이 있는지 파악하여 밀링이 필요한지 판단하고, 원통 중심축과 동축의 구멍은 선반에서 가공이 가능하므로 이를 제외한 구멍의 유무로 드릴링이 필요한지 판단한다. Category 2의 경우, 주된 가공법은 밀링으로 각종 구멍의 유무로 드릴링이 필요한지 판단한다. Category 3의 경우, 주된 가공법은 선삭과 밀링인데, Category 2의 경우와 마찬가지로 구멍의 유무로 드릴링이 필요한지 판단한다.

필요한 절삭가공법이 결정된 후, Table 4로부터 공정별 기본준비시간을 얻는다. 총 기계준비시간은 공작물 고정구와 공구의 장착 이외의 시간을 고려하여 일반적으로 기본준

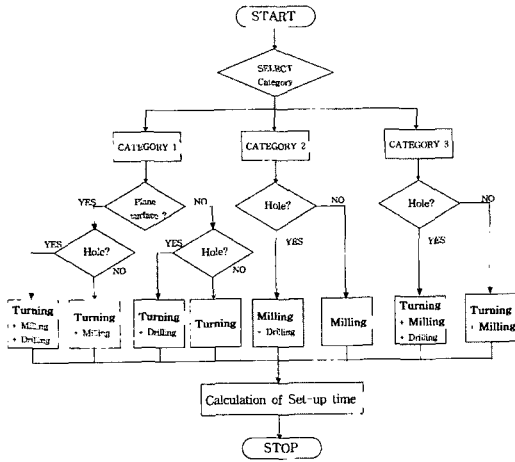


Fig. 2 Flowchart of calculating set-up time

비시간의 약 150%가 소요되는 것으로 간주한다⁽³⁾. 그러므로, 공작물 1개 당 기계준비시간, t_s 는 아래의 식 (1)과 같이 계산된다.

$$t_s = t_{bs} \times 1.5 / B_s \quad (1)$$

여기서 t_{bs} : Total basic set-up time (s)
 B_s : Batch size

3.2 비부가가치 생산시간

Boothroyd와 Reynolds⁽⁵⁾의 연구 결과에 따르면, 공작물

Table 4 Basic set-up times for basic machining operations⁽³⁾

Operation	Workholding device	Set-up time(min)			
		1 tool	2 tools	3 tools	
Turning	Collet	20	28	34	
	Chuck	29	34	41	
Milling		1 tool			
	Vice	69			
	Collet or Chuck	75			
Drilling		Number of Spindles			
		1	2	3	
	Table	Table or Vice	10	15	20
		Parallels, V-Block	11	16	21
	Radial	Table or Vice	17		
Fixture		24			

의 부피가 감소함에 따라 단위 부피당 원가가 기하급수적으로 증가되는데, 이는 특히 비부가가치 생산시간의 증가에서 기인되는 것이다. 이것은 공작물의 부피가 작을수록 비부가가치 생산시간에 의한 비용이 전체 원가에서 차지하는 비중이 점점 커진다는 것을 의미한다. 비부가가치 생산시간을 추정하기 위해서는 공작물 장착, 탈착시간(t_l), 공구물림시간(t_c), 접근과 이탈시간(선삭: t_{pot} , 밀링: t_{pom} , 드릴링: t_{pod}), 공작물 클램핑 횟수(n_c), 그리고 작업 횟수(선삭: n_{ot} , 밀링: n_{om} , 드릴링: n_{od} , 탭핑: n_{ota})에 대한 정보를 필요로 한다.

공작물 장착, 탈착시간은 칩 제거와 절삭유 공급 및 차단 시간을 포함하며, 공작물 무게, W 와 밀접한 연관이 있으므로 경험식 (2)로 나타낼 수 있다⁽⁵⁾.

$$t_l = 38 + 2.42 \times W \quad (2)$$

공구물림시간은 참고문헌 7에 있는 내용을 인용하여, 선삭과 밀링은 각각 5초, 30초, 드릴링과 탭핑은 동일하게 9초로 가정한다. 밀링 작업의 경우, 공구 접근과 이탈시간은 공구의 지름에 따라 달라지므로, 평밀링(face milling) 작업은 절삭 폭의 1.3배 정도의 지름을 갖는 공구를 선택하고, 엔드밀링(end milling) 작업은 슬롯(slot)이 있는 경우 가장 작은 슬롯의 폭과 같은 지름의 공구를 선택하며, 포켓(pocket)이 있는 경우는 모서리 반경과 같은 공구를 선택하는 것으로 가정한다. 이와 같은 보편적인 가정 하에 선정된 공구에 대하여 Table 5에 있는 식들을 적용하여 공구 접근과 이탈시간을 구한다.

공작물 클램핑 횟수는 형상 정보로부터 대략적으로 알 수 있다. 선삭의 클램핑 횟수는 보통 1 아니면 2가 된다. 양쪽

Table 5 Pre-travel and over-travel time in machining process⁽⁷⁾ (d_a : average turned diameter(mm), d_m : average milling tool diameter (mm), d_d : average drilled diameter (mm), v_f : feed speed (mm/min), R_d : surface generation rates for drilling (mm²/min), K_h : correction factor for drilling)

Machining process	Pre-travel and over-travel time (s)
Turning	$t_{pot} = 5.4 (d_a > 50)$
	$t_{pot} = 0.021 \times d_a^2 (d_a \leq 50)$
Milling	$t_{pom} = 60 \times d_m / v_f$
Drilling	$t_{pod} = 344 \times d_d^{1.8} / (R_d \times K_h)$
	$K_h = (d_d / 25.4)^{(0.705 + 0.305/d_d)} (d_d < 25)$ $K_h = (d_d^{0.55} / 5.92) (d_d \geq 25)$

방향의 스텝(step)이 있거나, 양 단이 모두 면삭 작업(facing)을 필요로 한다면, 클램핑 횟수는 2가 된다. 밀링의 클램핑 횟수는 육면체를 가공한다고 가정하면 가공면의 갯수에 따라 6이 될 수 있고, 경사면이 있다면 경사면 갯수만큼 클램핑 횟수가 추가된다. 드릴링의 클램핑 횟수는 구멍이 존재하는 면의 갯수에 따라 정해진다.

작업 횟수는 공작물이나 공구의 한 패스(pass)를 하나의 작업으로 한다. 선삭과 밀링의 정삭가공은 한 패스로 끝난다고 가정하여 작업횟수는 1이고, 황삭가공 작업횟수는 절입깊이에 따라 다르게 되므로 황삭가공의 절입깊이를 4mm, 정삭가공의 절입깊이를 0.6mm라고 가정한다. 단 엔드밀링 작업의 황삭가공 절입깊이는 공구 직경의 2/3라고 한다. 드릴링은 20mm 이하의 구멍은 한 번, 그 이상은 두 번의 작업으로 가공한다고 가정한다.

이 내용들을 종합하면, 선삭, 밀링, 및 드릴링과 텡핑을 모든 포함하는 비부가가치 생산시간(t_{np})은 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$t_{np} = n_c \times t_l + n_{ot} \times (5 + t_{pot}) + n_{om} \times (30 + t_{pom}) + n_{od} \times (9 + t_{pod}) + n_{ota} \times 9 \quad (3)$$

3.3 절삭시간

초기 설계 단계에서는 수행할 절삭조건에 대한 상세한 정보(절삭속도, 이송속도, 절입깊이 등)를 확보하는 것이 불가능하다. 따라서, 본 연구에서는 황삭가공의 경우, 제거되는 소재의 부피(선삭: V , 밀링: V_m [mm^3])를 이용하고, 정삭가공의 경우, 생성되는 표면적(선삭: A_t , 드릴링: A_{th} , 텡핑: A_{th} [mm^2])을 이용하여 절삭시간을 계산하는 Boothroyd⁽⁶⁾가 제안한 방법을 활용한다. Boothroyd의 황삭시간 계산 방법은 공작기계의 출력을 최대한 활용하여 황삭시간을 최소화한다는 가정 하에 수립되었으므로 공작기계의 출력정보가 요청된다. 그러므로, Table 6에 있는 공작물 무게와 적합한 범용공작기계 출력사이의 관계를 이용하여 공작기계 출력(선삭: P_t , 밀링: P_m [kW])을 구한다.

드릴링에 의한 소재 제거량은 선삭 또는 밀링보다 매우 작은 것이 일반적이다. 그러므로, 선삭과 밀링은 황삭과 정삭가공으로 구분하지만, 드릴링은 구분하지 않는다.

따라서 황삭가공 시간(t_{mr})은 선삭과 밀링을 고려하여 식 (4)로 나타내고, 정삭가공 시간(t_{mf})은 선삭, 밀링, 드릴링, 텡핑 공정을 모두 포함하는 식 (5)로 나타낼 수 있다.

Table 6 Power available according to workpiece weight⁽⁷⁾

Machine tool	Workpiece weight (kg)	Power (kW)
General lathe	0 ~ 0.182	0.37
	0.182 ~ 4.54	4.04
	4.54 ~ 13.62	7.35
	13.62 ~ 27.24	11.03
General milling machine	0 ~ 0.182	0.37
	0.182 ~ 4.54	0.735
	4.54 ~ 13.62	2.94

$$t_{mr} = \frac{60 V \phi_t}{P_t} + \frac{60 V_m \phi_m}{P_m} \quad (4)$$

여기서

p_t : specific cutting energy for turning ($\text{kW} \cdot \text{min}/\text{mm}^3$)
 p_m : specific cutting energy for milling ($\text{kW} \cdot \text{min}/\text{mm}^3$)

$$t_{mf} = \frac{74A_t}{R_t} + \frac{74L_c}{v_f} + \frac{68A_d}{R_d \times K_h} + \frac{68A_{th}}{R_{th} \times K_t} \quad (5)$$

여기서

R_t : surface generation rates for turning (mm^2/min)
 R_d : surface generation rates for drilling (mm^2/min)
 R_{th} : surface generation rates for tapping (mm^2/min)
 L_c : milling cutter travel distance (mm)
 K_t : surface generation rates for turning (mm^2/min)

$$K_t = \frac{11}{2.88 + 108.71/d_{th}}$$

여기서

d_{th} : average threaded diameter (mm)

4. 사례 연구

기존의 추정 방법으로 분석된 사례는 모두 상세 설계 도면을 기초로 하여 이루어진 것이다. 따라서 이미 다른 방법으로 분석된 절삭가공물을 대상으로 새로이 제안한 방법으로 생산 시간을 추정한 결과를 비교, 분석하여 4.1절과 4.2절에 나타내었다.

4.1 사례 연구 1

Boothroyd의 방법과 비교하기 위해, Fig. 3에서 보여주는 절삭가공물에 대하여 생산 시간을 추정, 비교하였다. 소재는 저탄소 쾌삭강(low carbon free machining steel)이고 지름 82mm, 길이 255mm인 환봉을 배치크기 1500으로 가공한다고 가정한다. 가상의 공작기계 및 공구는 3장에서 설명한 바와 같은 기준에 의하여 선정한다. 앞에서 언급한 바와 같이 재료에 대한 정보, 기계준비시간, 비부가가치 생산시간, 그리고 절삭시간을 계산하여 각각 Table 7, 8, 9 및

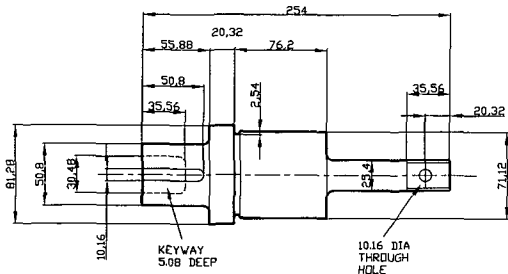


Fig. 3 Drawing of example 1⁽⁶⁾

Table 7 Material information of example 1

FM LC Steel		$B_s = 1500$		
Parameter	ρ	V	W	P_t
Value	7.8405×10^6	1346000	10.553	5.005×10^5
Parameter	p_m	R_t	v_e	R_a
Value	5.005×10^5	24323	256.54	21290

Table 8 Motor power and set-up time of example 1

Parameter	P_t	P_m	t_{bs}	t_s
Value	7.35	2.94	7200	7.2

Table 9 Non-productive time of example 1

Parameter	d_a	d_m	d_t	d_{th}	K_h	K_t
Value	57.15	10.16	15.08	25.4	0.6852	1.5363
Parameter	n_c	n_{ot}	n_{om}	n_{od}	n_{oa}	
Value	4	23	2	2	0	
Parameter	t_l	t_{pot}	t_{pom}	t_{pod}	t_{np}	
Value	63.539	5.4	2.3762	3.1168	582.34	

Table 10 Machining time of example 1

Parameter	V_f	V_m	t_{mr}			
Value	773510	2621.9	318.71			
Parameter	A_t	L_c	A_d	A_{th}	t_{mf}	t_m
Value	47894	50.8	3045	2837.6	179.73	498.44

Table 11 Comparison with Boothroyd's method

	t_s	t_{np}	t_m	Total
Proposed estimation	7.2	582.34	498.44	1087.98
Boothroyd	25.5	482	618	1125.5

10에 나타내었다. 한편, Table 11은 두 결과의 비교를 보여준다.

Boothroyd의 방법에서는 공구의 접근 및 이탈시간이 절삭시간에 포함되어 있으므로, 본 연구에서 제안하는 방법과 비교하여 절삭시간은 길고 비부가가치 생산시간은 짧은 것을 보여준다. 이 시간 차이는 약 135초인데, 제안하는 방법의 비부가가치 생산시간에서 135초를 빼고 대신 절삭시간에 포함시킨다면, 비부가가치 생산시간과 절삭시간은 각각 447.34초와 633.44초가 되어 Boothroyd의 결과인 482초, 618초에 근접하게 된다. 따라서, 총 생산시간 추정 결과는 큰 차이가 없음을 확인할 수 있다.

4.2 사례 연구 2

Ostwald의 방법과 비교하기 위해 Fig. 4에 있는 공작물에 대하여 생산시간을 추정하였다. 재료는 430F 스테인리스강(430F Stainless steel)이고 엔벨롭 크기가 지름 44.45 mm, 길이 476.25mm인 봉을 배치 크기 200으로 가공한다고 가정하며, 이와 관련된 정보는 Table 12에 정리되어 있다. 앞의 사례에서와 마찬가지로, 재료에 대한 정보 및 형상 특징에 의하여 선정된 가상의 공작기계 및 공구 정보를 이용하여 기계준비시간, 비부가가치 생산시간 및 절삭시간을 계산하며, 그 결과는 각각 Table 13, 14 및 15에 나타내었고 최종 결과 비교는 Table 16에서 보여주고 있다.

Table 16에서 볼 수 있듯이, Ostwald의 추정 방법과 본 연구에서 제안하는 추정 방법의 결과에 있어서 절삭시간은 근접한 결과를 보여주고 있으나, 기계준비시간과 비부가가치 생산시간에서는 큰 차이를 나타낸다. 이런 차이가 발생된 가장 큰 이유는 선정된 공작기계의 상이함을 들 수 있다.

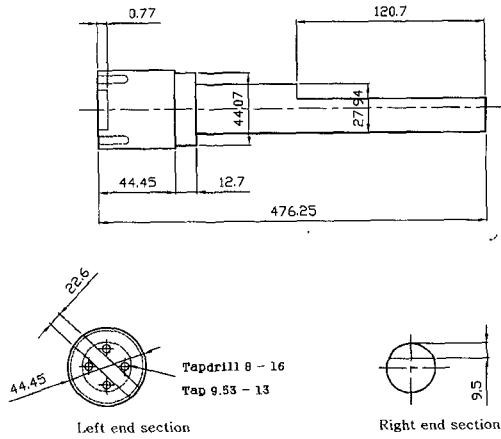


Fig. 4 Drawing of example 2⁽⁹⁾

Table 12 Material information of example 2

430F Stainless		$B_s = 200$		
Parameter	ρ	V	W	p_t
Value	7.8405×10^6	738670	5.7915	7.0525×10^5
Parameter	p_m	R_t	v_e	R_a
Value	7.735×10^5	11742	106.68	6064.5

Table 13 Motor power and set-up time of example 2

Parameter	P_i	P_m	t_{bs}	t_s
Value	7.35	2.94	6480	48.6

Table 14 Non-productive time of example 2

Parameter	d_a	d_m	d_d	d_{th}	K_h	K_t
Value	38.82	24.8	8	9.53	0.42378	0.76992
Parameter	n_c	n_{ot}	n_{om}	n_{od}	n_{ota}	
Value	5	6	5	4	4	
Parameter	t_l	t_{pot}	t_{pom}	t_{pod}	t_{pp}	
Value	52.015	3.1647	13.948	5.5618	623.41	

Table 15 Machining time of example 2

Parameter	V_f	V_m	t_{mr}			
Value	393280	25441	266.58			
Parameter	A_t	L_c	A_d	A_{th}	t_{mf}	t_m
Value	40728	165.15	1608.5	1556.8	425.5	692.08

Ostwald는 선반, 수직밀링머신, 수평밀링머신, 드릴링머신 총 네 가지 공작기계를 사용하였으나, 본 연구에서는 선반, 밀링머신, 드릴링머신 이렇게 세 가지 공작기계를 선정하여

Table 16 Comparison with Ostwald's method

	t_s	t_{pp}	t_m	Total
Proposed estimation	48.6	623.41	692.08	1364.09
Ostwald	125.28	169.2	718.8	1013.28

생산 시간을 추정하였다. 따라서, 상대적으로 공작기계 사용 대수가 많은 Ostwald의 방법에 의한 기계준비시간이 길게 나타났다. 참고로 총 기계준비시간에 있어서, 본 연구에서 제안한 방법으로는 2.7 시간이 소요되는 반면, Ostwald의 방법으로는 6.96 시간이 걸린다. 그러므로, 배치크기로나는 기계준비시간은 약 80초의 차이를 보인다. 아울러, 총 생산 시간을 비교해 보면, Ostwald에 의한 방법이 약 5분 이상 짧은 것을 확인할 수 있는데, 이것을 통하여 비록 기계준비시간이 길어진다고 할지라도 배치크기에 따라 비부가가치 생산시간을 절감할 수 있는 적절한 기계를 선정한다면 경제적인 수도 있다는 것을 알 수 있다. 만일 배치크기가 감소된다면, Ostwald가 제시한 방법의 공작물 1개 당 기계준비시간이 상대적으로 커져서 본 연구에서 제안하는 방법과 같이 세 가지 범용 공작기계를 이용하는 가공이 더욱 경제적인 수도 있다.

5. 결론

선삭, 밀링, 드릴링 작업을 기준으로 하는 절삭가공물에 대한 총 생산 시간을, 제한된 정보의 활용만이 가능한 초기 설계 단계에서 추정하는 방법을 제시하였다. 본 연구에서 제안하는 방법과 기존의 방법을 이용하여 수행된 동일한 공작물에 대한 사례연구의 결과를 비교 분석함으로써, 다음과 같은 내용을 확인할 수 있었다.

- (1) 초기 설계 단계에서는 구체적인 가공조건이 확립되지 않은 상태이나, 절삭가공물의 최소화된 형상정보(치수, 위치 ...) 및 생산정보(배치크기, 재료 ...)를 이용한 생산 시간 추정이 가능하다.
- (2) 본 연구에서 제안한 방법은 초기 설계 단계에 적용하는 것이 목적이므로 기존의 방법과 비교하여 상대적으로 적은 양의 정보를 활용하나, 추정 생산 시간의 신뢰도는 크게 저하되지 않는다.

아울러, 본 연구에서 입력 정보로 사용된 인자들은 전산

정보화 하는 것이 용이할 뿐만 아니라, 특히, CAD 기술의 발전에 따라 형상정보 등의 자동 입력이 가능하다고 판단된다. 그러므로 이와 같은 방법론의 초기 설계 단계에서의 활용이 더욱 가속화될 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- (1) Boothroyd, G., Dewhurst, P. and Knight, W., 1994, *Product Design for Manufacture and Assembly*, Marcel Dekker, Inc., pp. 1~4.
- (2) Pahl, G. and Beitz, W., 1984, *Engineering Design*, Springer-Verlag, pp. 40~44.
- (3) Creese, R. C., Adithan, M. and Pabla, B. S., 1992, *Estimating and Costing for the Metal Manufacturing Industries*, Marcel Dekker, Inc., pp. 100~110, pp. 115~147.
- (4) Ostwald, P. F., 1992, *Engineering Cost Estimating*, 3rd. Edition, Prentice Hall, pp. 250~279.
- (5) Boothroyd, G. and Reynolds, C., 1987, *Approximate Machining Cost Estimates, Report #17*, Department of Industrial and Manufacturing Engineering, University of Rhode Island.
- (6) Boothroyd, G., 1987, *Cost Estimating for Machined Components, Report #15*, Department of Industrial and Manufacturing Engineering, University of Rhode Island.
- (7) Radovanovic, P., 1989, *Approximate Cost Estimating for Machined Components*, MS Thesis, Department of Industrial and Manufacturing Engineering, University of Rhode Island.
- (8) Production Engineering Research Association, 1963, *Survey of Machining Requirements in Industry*, pp. 18~24.
- (9) Boothroyd, G. and Knight, W., 1989, *Fundamentals of Machining and Machine Tools*, 2nd. Edition, Marcel Dekker, Inc., p. 446, pp. 178~182.
- (10) Metcut Research Associates Inc., 1980, *Machining Data Handbook*, 3rd Edition, pp. 21~22.