

동시공학 원리를 적용한 통합 제작공정 설계

Integrated Manufacturing Process Design by Applying Concurrent Engineering Principle

이 희 각* 김 태 정* 김 충 관**
Lee, Hee Gak, Kim, Tae Jeoung, Kim, Choong Kwan

ABSTRACT

This paper deals with manufacturing process design of a simplified gun tube applying CE principle. A concept and characteristics of CE, mathematical model for understanding interaction between design and manufacturing, basic elements and related equations for process planning and cost estimating are introduced. A Knowledge-based Computer-Aided Process Planning System(KCAPPS) is constructed, yielding optimal production cost/time for the shape input and selection of appropriate machines and tools.

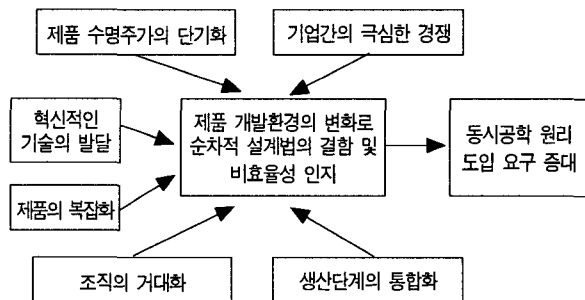
주요기술용어 : 동시공학(Concurrent Engineering), 지식기반 컴퓨터 원조 공정계획 시스템(Knowledge-based Computer-aided Process Planning System)

1. 서 론

장차 무기체계나 공업제품의 개발은 각국의 치열한 개발경쟁으로 양질의 제품 생산은 물론 적기에 제품 제공, 그리고 다양하고 복잡한 수요자의 요구충족 및 생산비용 절감을 주요목표로 하게 될 것이다.

그림 1에서 보는 바와 같이 제품 개발환경의 변화(1)와 더불어 순차적(재래식)설계법의 결함과 비효율성은 더욱 심화되어 이를 해결하기 위하여 선진국에서는 동시공학 시스템을 각종 공업제품 및 무기체계 개발에 적용함으로써 경쟁력 있는 생산품을 개발해 내고 있는 추세이다. 최근 우리나라에서도 동시공학

설계법에 대해 많은 관심이 모아지고 있으나 그 연구는 아직 미진한 상태에 있으며 제반 환경이 빈약하고 실 적용 사례도 아주 드문 상태이다. 따라서 본 연구에서는 동시공학의 특성을 서술하고 설계와 제작의 상호연계를 위한 수학적 모델을 기술하며 공정계획/비



(그림 1) 동시공학 원리의 도입배경

* 군사과학대학원

** 군사과학대학원 무기공학과 석사과정

용평가를 위한 기본요소/방법을 제시한다. 컴퓨터를 이용한 공정계획시스템의 하나인 KCAPPS의 구조 및 절차등을 소개한 후 최적의 생산비용/시간을 도출하여 기 결정된 형상의 설계를 사전에 평가할 수 있는 프로그램을 제시하고 단순화된 포신을 대상으로 동시공학 원리를 적용한 예를 보이고자 한다.

2. 동시공학

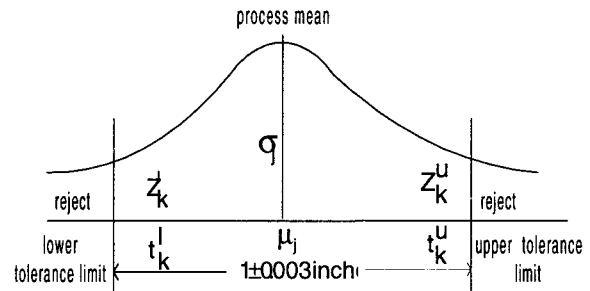
많은 연구^(2,3)에 의하면 대부분의 생산비용이 완전한 설계사이클이 끝나기 전 수명주기의 초기단계에서 결정됨으로써 개념설계의 중요성을 강조하고 있는 바 순차적 설계법의 단계구분에 의하여 생기는 문제들을 실생산단계 이전에서 제거하는 것은 매우 중요한 의미를 갖는다. 이러한 의미에서 동시공학(Concurrent Engineering)은 기본적으로 리드타임을 줄이고 품질을 높이며 비용을 줄임으로써 경쟁력을 증대시키는 것으로 품질, 비용, 계획 및 사용자 요구사항을 포함하여 시스템의 개념으로부터 폐기에 이르기까지 제품순기의 모든 요소를 동시에 고려하는 것이다⁽⁴⁾.

동시공학은 개념설계의 이점을 극대화하기 위하여 설계, 제작, 지원 등과 같은 모든 전문기능 분야 사이에 다양한 상호 의사교환과 정보유통을 위해 유효 적절한 다분야 협력팀(multidisciplinary teams) 구성, 소비자를 가장 중시하는 품질중심주의, 그리고 개념형성, 설계, 생산 및 기타 지원활동이 빠르고 동시적인 접근방식으로 이루어지는 수평적 활동의 세 가지로 대변된다. 또한 동시공학은 전 분야의 자료 조정/교환 및 전체 시스템의 최적화, 설계의 패키징화 및 모듈화, 설계자의 실시간적인 상호대화식 시뮬레이션 및 평가, 동시적인 정보공유, 그리고 문제점 발견시 적시 적절한 피드백 등의 특징을 갖는다⁽⁵⁾.

3. 설계와 제작의 상호연계를 위한 수학적 모델

3.1 수학적 모델 이론

이 모델은 Singh과 Falkenburg⁽⁶⁾의 연구결과에서 제시된 것으로서 동시공학이 순차적 설계 기법과 비교하여 얼마나 더 좋은 결과를 보이는 지를 규명할 수 있는 모델이다.



(그림 2) Z_k^l 과 Z_k^u 의 특성곡선

그림 2에서 t_k^u , t_k^l 를 각각 허용오차의 상, 하한치, σ_j , μ_j 를 각 공작기계에 따른 표준편차 및 제품의 평균 크기, Z_k^u , Z_k^l 를 각각 허용오차의 상, 하한 크기 변량으로 두면 다음 식을 얻는다.

$$\frac{t_k^u - \mu_j}{\sigma_j} = Z_k^u, \quad \frac{t_k^l - \mu_j}{\sigma_j} = Z_k^l \quad (3.1)$$

식 (3.1)의 하첨자 j는 j번째의 공작기계 옵션이되며 k는 k번째 표준편차의 크기변화 옵션을 가르킨다. Y_{jk}^o , Y_{jk}^i , Y_{jk}^s 를 각각 원자재의 수, 생산 제품의 수, 허용오차를 벗어난 불량품의 수로 하고 SC_{jk} 를 불량률로 하면 다음 식을 얻을 수 있다.

$$SC_{jk} = \frac{Y_{jk}^s}{Y_{jk}^i} = \Phi(Z_k^l) + 1 - \Phi(Z_k^u) \quad (3.2)$$

$$Y_{jk}^i = Y_{jk}^o + Y_{jk}^s \quad (3.3)$$

식 (3.2)에서 $\Phi(\)$ 의 값은 표준편차 표에서 찾을 수 있다.

k_{jk}^i 및 k_{jk}^s 를 각각 원자재 및 불량품 수의 상수로 두고 식 (3.1)~(3.3)을 적용하면 다음과 같다.

$$k_{jk}^s = \frac{Y_{jk}^s}{Y_{jk}^o} = \frac{SC_{jk}}{1-SC_{jk}} = \frac{\Phi(Z_{jk}^i)+1-\Phi(Z_{jk}^u)}{\Phi(Z_{jk}^u)-\Phi(Z_{jk}^i)} \quad (3.4)$$

$$k_{jk}^i = \frac{Y_{jk}^i}{Y_{jk}^o} = 1 + k_{jk}^s = \frac{1}{\Phi(Z_{jk}^u)-\Phi(Z_{jk}^i)} \quad (3.5)$$

또한 식 (3.4) 와 (3.5)로부터 Y_{jk}^i 와 Y_{jk}^s 를 구한 후 X_{jk}^i , X_{jk}^o , X_{jk}^s 를 각각 원자재, 생산제품 및 불량품 수의 단위 평균비용으로 하고 $f(Y_{jk}^i)$ 를 단위 생산비용으로 하여 비용방정식을 구하면 아래와 같다.

$$X_{jk}^i Y_{jk}^i + Y_{jk}^i f(Y_{jk}^i) = X_{jk}^o Y_{jk}^o + X_{jk}^s Y_{jk}^s \quad (3.6)$$

식 (3.6)을 Y_{jk}^o 로 나누어 X_{jk}^o 를 구해보면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} X_{jk}^o &= \left(\frac{Y_{jk}^i}{Y_{jk}^o}\right)X_{jk}^i - \left(\frac{Y_{jk}^s}{Y_{jk}^o}\right)X_{jk}^s + \left(\frac{Y_{jk}^i}{Y_{jk}^o}\right)f(Y_{jk}^i) \\ &= k_{jk}^i X_{jk}^i - k_{jk}^s X_{jk}^s + k_{jk}^i f(Y_{jk}^i) \end{aligned} \quad (3.7)$$

S_j 를 셋업시간, t_j 를 단위 평균 가공시간으로 두고 생산 시간 T_j 를 구하면 다음과 같이 된다.

$$T_j = S_j + t_j k_{jk}^i Y_{jk}^o \quad (3.8)$$

3.2 수학적 모델을 이용한 동시공학과 순차공학의 비교

어느 방산업체에서 포신제작을 위해 필요한 부품을 군으로부터 1200개 주문 받은 경우를 상정한다. 설계자는 군의 요구를 고려, 제품의 평균크기를 2.5 in, 제작 표준편차를 0.003 in, 허용오차 범위를 0.003 in로 하

고 공작기계는 turret lathe를 사용하도록 생산부서에 지시하였다. 생산부서는 설계자의 지시를 따라 생산상에 문제가 없는 한 현 요구량 및 생산품의 규격을 맞추려 최선을 다할 것이다. 순차공학설계법을 이용하여 수학적 모델을 적용, 제품을 생산한 결과를 단위 생산비용(UC), 불량품의 수(SN) 및 단위생산시간(LT)으로 나타내면 표 1과 같다.

[표 1] 수학적 모델 적용 제품 생산 결과

구분	UC(\$)	SN	LT(min)
내용	27.90	557.78	2134.33

동시공학 접근방법을 사용하여 다분야 협력팀은 “군의 요구를 고려할 때 현재의 허용오차 범위는 적절치 않고 558개의 불량품은 너무 많으며 현재 구입 가능한 원자재의 수량은 제한되어 있어 생산 부서에서는 직원들의 요구를 고려, 생산시간을 조금 더 절약하기를 원하며 업체에서 보유하고 있는 더 좋은 기계 사용을 건언한다”등의 제품수명주기 전반에 걸친 의견을 수렴하였다. 동시공학접근법에 의한 제품생산 옵션변화를 나타내면 표 2와 같다.

[표 2] 동시공학 적용결과 제품생산 옵션변화

구분	j	k	UC	ST	UPT	PSD	TL	
순차설계	1	1	8	10	1.2	0.003	0.003	
동시공학설계	1	1	2	8	10	1.2	0.003	0.004
	2	2	1	10	15	1.0	0.002	0.003
	3	2	2	10	15	1.0	0.002	0.004
	4	3	1	13	30	0.8	0.001	0.003
	5	3	2	13	30	0.8	0.001	0.004

표 2에서 j가 1인 것은 기계를 turret lathe, 2인 것은 engine lathe, 3인 것은 automatic screw machine을 나타낸다. 또한 UPC/ST/ UPT/PSD/TL은 각각 단위 생산

비용, 셋업시간, 단위 공작시간, 생산 표준편차, 허용 오차를 나타낸다.

수학적 모델을 프로그램화하고 표 2의 내용들을 적용시켜 결과를 구한 후 순차공학 설계 결과를 각각 100으로 놓았을 때 동시공학 설계와의 비교치를 나타내면 표 3과 같다. 표 3의 결과를 보면 비교적 단순한 예긴 하지만 부분적으로 동시공학 원리를 적용하여 제품을 생산한 결과 순차적 설계법에 비해 수요자의 요구를 위배하지 않으면서도 기업의 제반여건을 고려할 때 기업의 이득을 UC, SN, LT측면에서 10~100% 까지 감소 시킬 수 있다는 것을 분명히 확인할 수 있다.

[표 3] 순차/동시 공학 설계 비교치

구 분	UC	SN	LT	
순차 설계	100.00	100.00	100.00	
동시 공학 설계	1	85.38	48.36	83.80
	2	89.35	33.18	66.30
	3	82.11	10.25	60.31
	4	89.82	0.58	47.44
	5	89.61	0.04	47.33

4. 공정 계획 및 비용 평가

4.1 핸들링 시간 및 비용

핸들링 시간(handling time)은 공작기계로부터 제조대상의 부품을 올리고(LW) 내리는(UW)시간을 분(min) 단위로 나타낸 것으로 공구의 전, 후진(AT, UW)시간과 수시 및 정기 제품검사 시간 등이 포함된다. 핸들링 비용(handling cost)은 C_0 를 임금(\$/h)으로 하고 t_h 를 핸들링 시간(min)으로 하여 표시하면 다음과 같이 된다.

$$\text{핸들링 비용} = C_0 t_h \quad (4.1)$$

임금에는 일에 대한 대가로 지불되는 직접임금(RA) 외에 공장/기계 정비 및 기타 소요되는 간접 임금(OHRA)이 포함된다.

4.2 가공 시간 및 비용

가공시간(t_m)(machining time)은 공구가 실제 가동 중에 있는 시간을 분 단위로 나타낸 것으로 공작기계 및 작업에 따라 조금씩 상이하며 터닝인 경우에는 다음과 같다.

$$t_m = \frac{L}{fN} = \frac{L \pi D}{12 V f} \quad (4.2)$$

여기서 L은 길이(in), D는 직경(in), V는 속도(ft/min), f는 질러나가는 비율(ipr), N은 스피들의 회전 속도($12V/\pi D$)(rpm)를 나타낸다.

가공비용(machining cost)은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{가공비용} = C_0 t_m \quad (4.3)$$

4.3 공구 수명

공구는 작업이 진행됨에 따라 교체되거나 추가 정비가 필요하며 교체수명을 예측하기 위하여 다음과 같이 Taylor의 공구수명 방정식을 사용한다.

$$VT^n = K \text{ or } T = \left(\frac{K}{V}\right)^{1/n} \quad (4.4)$$

여기서 T는 평균공구수명, n 과 k는 마모 해석/연구로부터 도출된 경험상수를 나타내는데 사용공구와 재질에 따라 상이하며 그 범위는 $0 < n \leq 1, k > 0$ 이다.

4.4 공구 및 공구교체 비용

공구/공구교체 비용(tool/tool changing cost)은 공구와 작업종류에 따라 좌우되며 공구교체 비용은 다음과 같다.

$$\text{공구교체 비용} = \frac{C_o t_c t_m}{T} \quad (4.5)$$

여기서 t_c 는 공구교체시간을 나타낸다. 식 (4.5)를 이용하여 작업당의 공구비용식은

$$\text{작업당의 공구 비용} = \frac{C_o t_m}{T} \quad (4.6)$$

이 되며 여기서 C_o 는 공구비용을 달러(\$)로 나타낸 것이다.

4.5 공작 시간/비용 결정

전술한 내용들을 종합하여 단위 비용(C_u)과 시간(T_u)을 나타내면 다음과 같이 된다.

$$C_u = \Sigma \left[C_o t_h + \frac{t_m}{T} (C_i + C_o t_c) + C_o t_m \right] \quad (4.7)$$

$$T_u = t_h + t_m + \frac{t_c t_m}{T} \quad (4.8)$$

식 (4.1)을 보면 절삭속도가 핸들링 비용과는 무관하지만 식 (4.2)~(4.8)은 절삭속도가 가공 비용, 공구비용, 공구교체비용과 연관되어 단위제품당 비용을 결정하는데 아주 중요한 파라미터가 됨을 알 수 있다. 절삭속도를 구하는 방법은 다음과 같다.

단위 수량을 최소의 비용으로 생산하기 위한 식을 구하기 위해 식 (4.7)을 식 (4.2)와 식 (4.4)를 이용하여 t_m 과 T 를 대치하고 V 에 대해 미분하여 이를 0으로 놓

고 V_{\min} 을 구하면 다음과 같다.

$$V_{\min} = \frac{K}{\left[\left(\frac{1}{n} - 1 \right) \left(\frac{C_o t_c + C_i}{C_o} \right) \right]^n} \quad (4.9)$$

식 (4.9)를 식 (4.4)에 대입하여 T_{\min} 을 구하면

$$T_{\min} = \left(\frac{1}{n} - 1 \right) \left(\frac{C_o t_c + C_i}{C_o} \right) = \frac{K}{T_{\min}^n} \quad (4.10)$$

이 되며 $C_{u,\min}$ 과 $T_{u,\min}$ 은 식 (4.9) 와 (4.10)의 결과를 식 (4.7)과 (4.8)에 대입하여 구할 수 있다.

$$C_{u,\min} = \Sigma \left[C_o t_h + \frac{t_m}{T_{\min}} (C_i + C_o t_c) + C_o t_m \right] \quad (4.11)$$

$$T_{u,\min} = t_h + t_m + \frac{t_c t_m}{T_{\min}} \quad (4.12)$$

반면, 최고의 생산속도에서 제품을 생산하기 위해 식 (4.8)을 식 (4.2)와 식 (4.4)를 이용하여 V_{\max} 를 구하면

$$V_{\max} = \frac{K}{\left[\left(\frac{1}{n} - 1 \right) t_c \right]^n} = \frac{K}{T_{\max}^n} \quad (4.13)$$

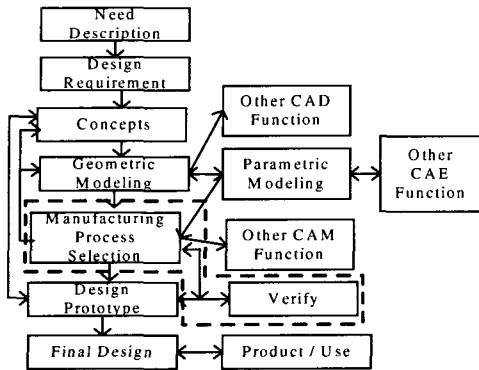
이 되며 식 (4.11)의 결과를 위와 같은 방법으로 식 (4.4)에 대입하여 T_{\max} 를 구하면 다음과 같이 된다.

$$T_{\max} = \left[\left(\frac{1}{n} - 1 \right) t_c \right] \quad (4.14)$$

$C_{u,\max}$ 와 $T_{u,\max}$ 는 식 (4.11) 및 (4.12)에 식 (4.13)과 (4.14)를 대입하여 구할 수 있다^(7,8).

5. 지식기반 컴퓨터원조 공정계획 시스템

일반적으로 특정제품의 설계를 위한 동시공학 설계 과정을 나타내 보면 그림 3과 같다⁽⁹⁾.

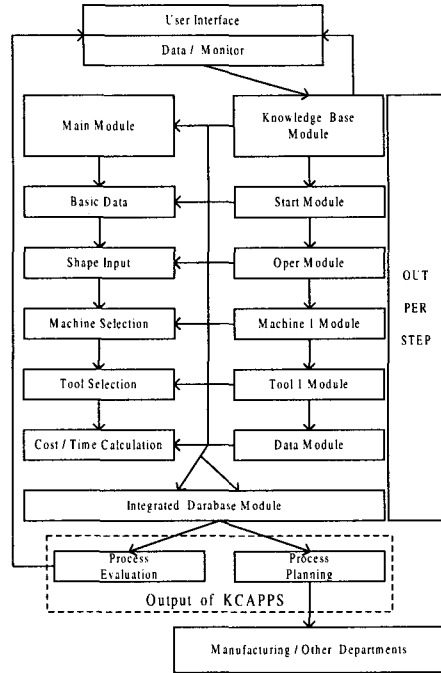


(그림 3) 동시공학 설계과정

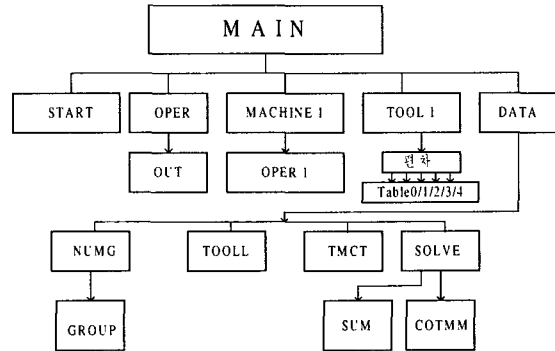
그림 3에서 보면 근래 발달한 CAD/CAM/CAE 등의 컴퓨터 관련기술과 각종 유용한 도구들을 활용, 수요자의 요구로부터 개념형성, 기하학적 모델링, 제작공정선정, 설계모형, 최종설계/생산 등 일련의 절차 및 피드백 과정들이 수행된다. 본 논문에서는 그림 3의 굵은 점선으로 표시된 부분에 초점을 맞추어 기모델링된 형상의 설계/제작시 생산시간 및 비용을 제시하여 사전에 형상 설계 결과를 평가할 수 있는 한 방법으로 지식기반 컴퓨터 원조 공정계획 시스템(KCAPPs)을 제시하고 이를 응용한 프로그램을 제시하고자 한다. 본 프로그램은 전술한 수학적 모델과 공정계획/비용평가 방법을 적용하여 형상 입력으로부터 작업을 결정하고 이를 기초로 공작기계 및 공구를 선택하며 생산 시간 및 비용을 산출하는 내용으로 구성되어 있다.

5.1 KCAPPs 구조 및 프로그램 구성

그림 4에 나타나 있는 KCAPPs는 기본자료를 입력한 후 단계별로 시스템 수행결과를 확인해 나가면서 추가자료 입력 및 수시 피드백이 가능하고 컴퓨터와의 대화식 의견교환으로 시스템을 진행시킬 수 있도록 되어 있다. 대부분의 필요한 자료들을 D/B화하여 사용자의 입력을 최소화하였고 주요 데이터를 구



(그림 4) KCAPPs 구조



(그림 5) 프로그램 구성

분 저장하여 업체환경에 맞는 D/B 구축을 용이하도록 하였으며 단순한 입력자료의 변경으로 다양한 설계들을 평가할 수 있도록 되어 있다.

시스템을 구동시킬 수 있는 프로그램은 그림 5와 같이 메인프로그램과 5개의 주요 부프로그램으로 구성되어 있고 수행절차는 표 4에 요약되어 있다.

(표 4) 프로그램 수행절차

구분		입력	출력	비고	
START		생산량, 자재	단위생산품 재료비용	기타 자료 입출력	
OPER	OUT	형상	기계/작업명, 작업정도		
MACHINE 1	OPER1	기계/오차업선	수학적모델 적용결과	기계 추천	
TOOL 1		공구	선택된 공구명	모니터 입력	
D A T A	NUMG	GROUP		작업그룹/수	
	TOOLL			K,n상수값, 기계 자료	
	TMCT		작업별 요구값	작업별 시간/비용, 그룹 합계	
	SOLVE	COTMM	작업별 요구값	생산 시간/비용	최적값 산출
		SUM			그룹별값

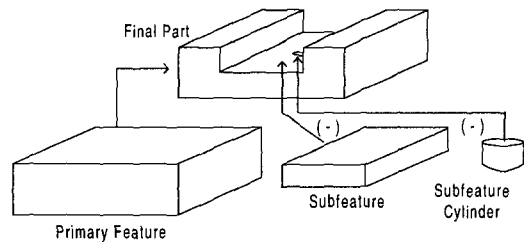
그림 4 및 그림 5와 표 4를 보면 본 시스템은 데이터문/모니터를 통해 자료를 제공받아 각 모듈들을 프로그램을 통해 구동시키며 기본 자료/형상 입력으로부터 최적의 비용 및 시간을 도출하기까지 표 4의 절차를 수행한다. 각 모듈들은 기저장된 각 지식기반(KB) 모듈을 통해 단계별로 절차를 수행하여 해당 출력문을 제공한다. 각 내용들은 각 정보 및 결과를 공유시키는 프로그램에 의해 통합 D/B 모듈이 단계별로 구동되어 최종결과를 산출한다. 세부 평가과정을 거친 결과들은 다시 피드백 과정을 거쳐 최적의 결과를 산출하여 생산 및 기타 부서로 전달 되는 것이다.

5.2 주요 프로그램의 실행

5.1절의 내용 및 그림 5를 기초로 그림 4의 시스템을 구동시키고 표 4의 절차를 수행토록 하는 주요 프로그램의 실행방법을 설명하면 다음과 같다.

5.2.1 작업순서 결정

프로그램 작성시 먼저 제품을 만들기 위한 작업순서를 구상한 후 작업순서에 따른 각 구성품들의 형상을 입력하게 되는데 작업순서는 그림 6과 같이 최종제품의 형상을 상정하여 원자재의 모양과 생산이 진행될 단계별 모양, 그리고 공작기계 교체 등을 고려하여 결정한다.



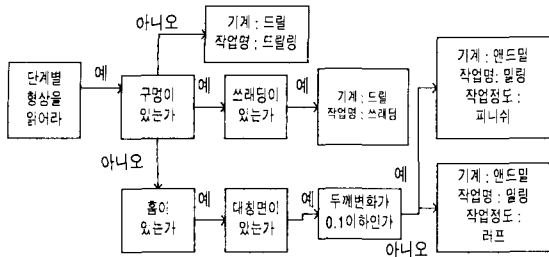
(그림 6) 작업순서 결정 예

5.2.2 형상 입력 및 공작기계/작업명 결정

작업순서가 결정되면 여러 가지 방법으로 형상을 입력하여 프로그램 상에 개략적인 기계종류 및 작업내용, 작업정도를 결정토록하고 있다. KB에 각각의 공작기계들이 수행 가능한 작업 종류를 저장해 놓고 형상별로 요구되는 작업별 수행 내용을 결정한다. 작업 순서 별로 표 5와 같이 0과 1의 숫자를 사용하여 형상을 입력하고 작업정도를 결정하기 위해 길이 및 두께 변화등의 내용을 인치단위로 입력하면 프로그램은 그림 7과 같은 과정을 거치게 된다.

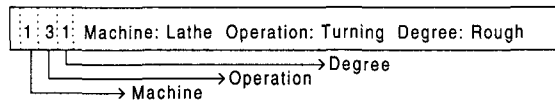
(표 5) 형상입력 예

구분	홈	구멍	쓰레딩	대칭면	길이 변화	두께 변화	변화량
1	0	1	1	0	0	0	0
2	1	0	0	1	0	1	임의값
3	0	0	0	0	1	0	임의값
4	0	0	0	0	0	1	임의값
:							



(그림 7) 공작기계/작업명 결정 수행도표 예

그림 7의 과정을 수행한 후 프로그램은 그림 8과 같은 출력문을 제시한다.



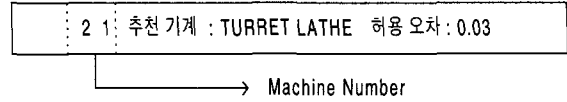
(그림 8) 작업 번호/기계명/작업정도 출력 예

그림 8은 작업 고유번호, 기계명, 작업정도의 출력 형식을 나타내며 1 3 1의 작업 고유번호는 프로그램 정보의 공유를 위하여 임의로 약정한 숫자를 말한다.

5.2.3 최적의 비용 및 시간을 위한 세부기계 설정

작업 형상에 따른 작업 기계의 대략적인 종류가 선정되면 각각의 작업 단계별로 3절에서 설명한 수학적 모델을 적용하여 세부기계를 선정하게 된다. 그 절차는, 각 기계별로 생산옵션 및 허용오차 옵션에 따라 단위비용 및 시간과 허용오차의 범위를 벗어난 불량품 숫자를 구한 후 각각의 단위 비용 및 시간산출 결과 값에 설계자가 부여한 비용 및 시간의 가중치를 곱하여 이를 합산하고 이들값 중 최소의 값을 나타내는 기계를 선택하여 그림 9와 같이 그 결과를 산출한다. 여기서 가중치란 다분야 협력팀 의견을 종합, 시간과 비용 측면의 중요도 비율을 나타낸 것으로 최종결과 산출시에도 중요한 고려 사항이 된다. 그림 9에서의 기계번호는 그림 8에서처럼 임의로 약정한 번호이며

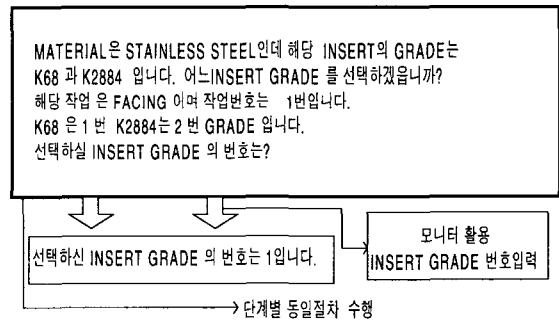
허용오차는 불량품으로 단정하여 버릴 수 있는 제품의 크기를 나타낸 준다.



(그림 9) 작업별 세부기계 선정결과와 출력 예

5.2.4 공구 선정

세부 기계를 선정된 후 제품의 재질에 맞는 공구 선택 절차는 먼저 프로그램 상에 각 재질에 맞는 공구들을 저장해 둔 후 업체의 공구가용 여건을 고려하여 프로그램 수행자가 이를 선택하도록 되어 있다. 전술한 것처럼, 컴퓨터와 대화식 의견교환의 한 예는 그림 10과 같다.



(그림 10) 컴퓨터와의 대화식 의견교환 예

그림 10에서의 대화식 의견교환 예는 공구선택 분야 외에도 설계자가 시스템의 수행결과를 보고 앞으로의 진행에 결정을 미칠 수 있는 중요한 사항이 있다면 얼마든지 대화식 의견교환의 범위를 확장시킬 수 있다.

5.2.5 작업그룹 및 작업그룹별 세부작업수 도출

동일한 기계로 작업하게 되는 동안을 한 개의 작업 그룹으로 하고 동일한 기계내에서의 작업을 그룹별 세부작업으로 정의할 때, 한 기계로 제품의 구성품 생

산시 처음과 마지막 단계의 작업은 공구삽입 및 조정 등의 셋업시간을 추가로 요구하게 된다. 중간 작업단계에서는 주기적 및 수시로 제품검사 및 오일교환등의 추가 작업/시간이 요구되며 기계교환 시에도 추가작업/비용이 요구되므로 작업그룹 및 작업그룹별 세부작업 수 도출을 요구하게 되며 이 결과는 다음에 설명하게 될 최적의 작업 시간 및 비용을 산출하는데 이용된다.

5.2.6 최적의 작업시간 및 비용 산출

4.5절의 공작 시간 및 비용 결정의 내용을 기초로 하여 각 작업별로 절삭속도와 평균 공구 수명, 피드레이트등 작업 시간과 비용에 관련되는 파라미터들을 최적화 한 후 n , K 및 5.2.5절에서 전술한 결과를 고려하여 추가자료를 입력받아 각 작업단계별로 셋업시간, 기계작업시간, 공구 및 공구교체 비용, 핸들링 시간/비용을 계산하는데 그 절차는 다음과 같다.

먼저 최적화된 파라미터들을 이용하여 식 (4.7)에서 작업 단계별 T_mC/T 를 U_i 로 정의하면 최종 작업시간 산출을 위한 작업시간 RT_u 는 다음과 같이 된다.

$$RT_u = t_h + t_m + \frac{t_{ctm}}{T} + U_i \quad (5.1)$$

또한 식 (4.8)의 T_u 를 분 단위로 나타내면 다음과 같다.

$$H_s = \frac{T_u}{60} \quad (5.2)$$

임금과 관련되는 단위 제품수 당 시간을 UE_i 로하면 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$UE_i = \frac{S_i}{LRN} + H_s \quad (5.3)$$

여기서 S_i 는 셋업 시간을, LRN 은 작업단계 전환을 위한 제품생산 구분 개수를 나타낸다.

실제 비용을 RE_{cost} 로 하면 다음과 같이 쓰여진다.

$$RE_{cost} = UE_i \left(RA + RA \frac{OHRA}{100} \right) \quad (5.4)$$

작업 그룹별로 RT_u , RE_{cost} 값들의 합을 구한 후 이들의 총합계와 가중치등 설계자의 의도를 고려하여 최적의 시간과 비용을 산출하게 된다. 작업 시간과 비용에 관련되는 파라미터들을 최적화하는 과정에서 본 프로그램에서는 4절에서 소개된 해석적인 방법을 적용하였으나 제약조건식에 관련되는 자료들이 충분하다면 기타 다양한 최적화 방법을 적용할 수 있다. 이렇게 도출된 비용과 시간은 설계자는 물론 생산 및 기타 부서에서 공유하게 되며 다분야 협력팀에서 제시한 의견이 충족되지 않았을 경우는 생산 비용/시간 산출과 연관되는 각종 파라미터들을 변경하고 이를 반영하여 실 시간적인 설계결과의 평가가 가능해지는 것이다.

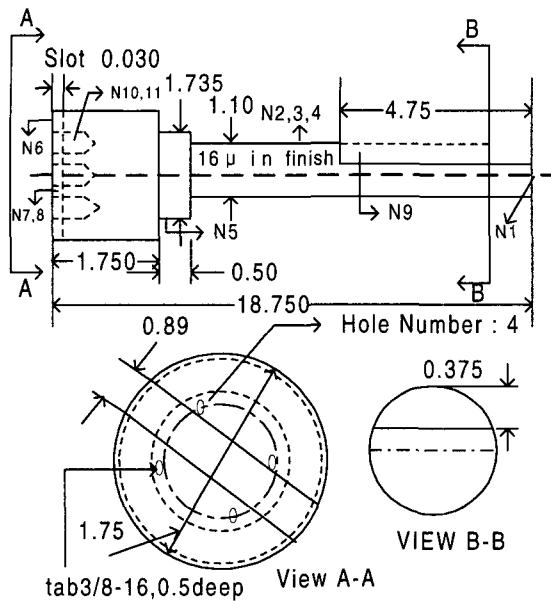
6. 동시공학원리의 적용 예

동시공학원리를 적용한 예를 보이기 위하여 일부가 변형된 단순화된 포신을 고려한다(그림 11). 그림 11에서 작업순서는 N으로 기술되어 있다.

그림 11의 적용대상은 동시공학 설계과정 중 기하학적 모델링이 완료되고 최종설계 및 실생사 이전의 단계를 전제로 한 것이다.

기타 자료로서 군에서 요구하는 포신수량은 1000개이며, 가중치는 군의 요구를 고려하여 비용에 70%를, 시간에 30%를 할당하였고 기결정된 포신의 재질은 Stainless Steel이다.

5.2.2절의 내용을 기초로 하여 형상을 입력하고 프로그램 수행결과 추천된 기계명과 선택된 공구명은 작업별 세부내용과 더불어 표 6에 제시되어 있다. 표 6에 이중쇄선으로 표시되어 있는 부분은 작업그룹 및 수를 나타낸다.



(그림 11) 동시공학원리 적용대상

(표 6) 단계별 작업내용, 추천 기계/공구명

구분	작업 내용	기계명	공구명
1	Face 0.015	Turret Lathe	Tungsten Carbide
2	Turn rough 1.45	"	"
3	Turn rough 1.15	"	"
4	Turn finished 1.45	"	"
5	Turn finished 1.735	"	"
6	Cut-off rough 18.72	"	"
7	End mill 0.89 Slot 0.025	Vertical Mill	3/4HSS
8	End mill 0.89 Slot 0.005	"	"
9	Slab Mill 4.75	Horizontal 밀	4 HSS
10	Drill 5/8 Holes 0.5 Deep×4	NC Turret Drill	5/16 135°
11	Drill Tab 3/8-16	"	Tab3/8-16

(표 7) 최적의 생산비용/시간

구분	생산비용(\$)	생산시간(min)	비고
1	36.662	144.174	비용고려
2	38.905	23.383	시간고려

5.2.6절의 내용을 기초로 한 최적의 생산비용/시간은 표 7에 나타나 있다.

표 7에서 이중쇄선으로 표시된 값이 설계자의 의도를 반영한 최종 값이 되며 이 결과는 최종 설계방법 결정 및 제품 생산단계에 아주 유용한 정보로서 제공된다. 이 결과와 프로그램 수행 단계별로 제시되는 기타 자료들은 설계변화요소 발생시 최적의 생산비용/시간을 추가적으로 도출하기 위하여 동시공학 설계과정중에 개념형성단계로 다시 피드백 된다. 이때 주요 파라미터들을 변화시켜 동일한 과정을 거침으로써 실생산단계 이전에 설계를 평가하여 소비자의 요구를 만조시키고 기업의 이윤을 최대화 할 수 있게 해준다.

7. 결 론

근래 발달된 컴퓨터관련 기술 및 도구들은 앞으로 더 급속하게 발전될 것이며 이와 더불어 제품개발 환경은 더욱 복잡해지고 무기체계 개발경쟁도 점점 더 치열하게 될 것이다. 본 연구에서는 제품생산 총순기과정중 일부이긴 하나 동시공학의 원리를 무기체계 분야의 실 구성품 개발에 적용하는 예를 제시하는 것에 큰 의의를 두고 있다. 본 논문에서 제시한 KCAPPS는 예로 든 포신의 제작공정 설계뿐만 아니라 다양한 제품의 제작공정 설계에 응용할 수 있으며 나아가 다분야 협력팀을 보강할 때에는 CAD/CAE 모델링, 설계 개념등 좀 더 포괄적이고 강력한 동시공학 설계/제작 시스템으로 발전시킬 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. 김 관명, “산업 디자인 프로세스상의 실체화 단계를 위한 동시공학 개념 도입에 관한 연구(디자인 프로토타입 제작을 중심으로)”, 석사학위 논문, 1994, pp. 2-15.
2. Kusiak, A. (ed.), 1993, “Concurrent Engineering : Automation, Tools and Techniques, Wiley-Interscience, NY.
3. Miller, L. C. G., 1993, “Concurrent Engineering Design : Integrating the Best Practices for Process Improvement”, Society of Department, Dearborn, Michigan.
4. Gu. P. and Kusiak, A. (eds.), 1993, “Concurrent Engineering : Methodology and Applications, Elsevier.
5. 윤 형렬, “동시공학 원리를 이용한 무기 시스템의 개념 설계”, 석사학위 논문, 1997, pp. 16-25.
6. Singh, N., 1996, “System Approach to Computer-Integrated Design and Manufacturing, John Wiley & Sons. Inc. NY. pp. 103-119.
7. Chang, T. C., et al., 1991, Computer Aided Manufacturing, Prentice Hall, Inc jpp. 99-124.
8. Amstead, B. H., et al., 1987, Manufacturing Process, Proceedings, 8th, John Wiley & Sons, Inc, pp. 367-683.
9. Fisher Y. W., et al., 1990. “A Concurrent Engineering Design Environment for Generative Process Planning Using Knowledge-Based Designs, DE-Vol. 22, ASME, NY.