

컴퓨터 利用 工程計劃시스템

—機械加工分野에 대한 응용—

鄭 錫 柱

<京畿工業開放大學 機械設計學科 教授>

1. 머리 말

最近 컴퓨터의 利用技術이 급격히 發展되어 製品設計, 製造 및 生産管理 등의 분야에 커다란 혁신을 가져 왔다. 따라서 오늘날에는 이들 自動化 設計 生産라인의 完成을 위하여 각 部門別로 연구가 활발히 進行되고 있고, 이를 종합하고 실천하려는 활동이 고조되고 있어서, 종전에는 불가능하게 생각되었던 無人化 工場도 技術의 견지에서 본다면 실현가능한 단계에 이르렀다.

本 解説에서는 이러한 자동화설계 生産라인의 여러 단계들 중에서 국내에 다소 생소한 감을 주는 컴퓨터 利用 工程計劃시스템(computer aided process planning system)에 대하여 그 概念과 機能을 전형적인 機械加工分野의 例를 통하여 소개하고자 한다. 그리고 이들을 해설하는 方法論에 있어서는 먼저 보통의 手作業으로 실시되고 있는 工程計劃 節次를 기초로 어떻게 인 간작업을 컴퓨터의 役割로 대치하는가에 관하여 그 領域을 具體化하고 문제점들을 설명하고, 또한 실제로 각국에서 응용되고 있는 대표적인 시스템도 부가하여 提示하기로 한다.

2. 機能의 定義와 중요성

工程計劃은 生産시스템의 여러 단계들 중에서 설계자료를 작업지침으로 전환하는 총괄업무를

관장하는 從屬시스템이다⁽¹⁾. 따라서 공정계획은 기본적으로 工程設計(process design)와 作業設計(operation design)의 두 단계를 포함한다⁽²⁾. 工程設計는 素材를 製品으로 변환하는 전반적인 工程順序에 대한 巨視的 意思결정을 다루며, 作業設計는 공정순서에 포함되어 있는 각 개별작업에 대한 微視的 意思결정을 취급하는 것이다. 즉, 공정계획은 설계규격에 따라 제품을 생산할 수 있는 加工順序와 方法을 결정하는 과정으로서 정의되며, 手作業에 의하진 컴퓨터를 이용하던지 간에 機械加工分野에서는 다음과 같은 단계로서 분류할 수 있다⁽³⁾.

- (1) 공정과 작업방법의 선택
- (2) 공작기계의 선정
- (3) 작업순서의 결정
- (4) 작업群的 분류
- (5) 공작물 固定장치와 支持점들의 선정
- (6) 檢査機構의 선택
- (7) 제품의 許容誤差 결정
- (8) 절삭條件의 결정
- (9) 절삭시간과 비용의 결정
- (10) 프로세스 시이트의 작성

그림 1은 공정계획의 연속적인 단계에 대한 흐름도를 나타낸 것이며, 이들 세부항목에 따라 最適工程計劃을 세우려면 엄청난 정보량과 계산량이 필요하게 된다. 그리고 비록 설계나 생산 단계는 효과적인 자동화 장비로 대치한 자동화 生産시스템이라 할지라도, 이와같이 많은 양의 정보에 기초를 고두 論理的인 결정을 하여야 하

는 공정계획의 단계에서는 자동화 장비의 도입에 그 限界性을 느끼게 하였고, 전체 생산시스템의 30~40%에 해당하는 시간을 削減하도록 强要하였다⁽⁴⁾.

따라서 최근에는 자동화 공정계획이 매우 관심있는 기초 연구과제로서 받아들여지게 되었으며, 어떤 면에 있어서는 전체 자동화 생산시스템 중 CAD 또는 CAM의 분야보다도 자동화 공정계획(CAPP)이 컴퓨터 이용효과를 높여줄 수 있고, 同格의 수준으로 취급되어야 한다는 見解도 있다⁽⁵⁾.

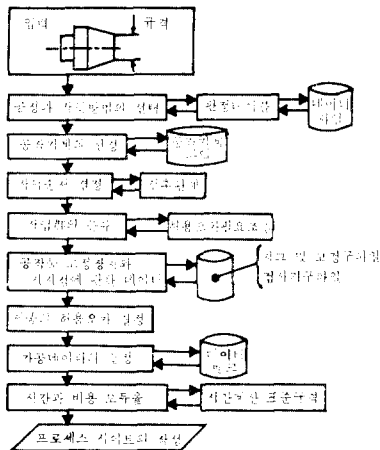


그림 1 공정계획의 흐름도

3. 工程計劃의 論理

工程計劃의 論理를 解析하기 위해 여러 유형의 작업과 업무를 실시하게 되는 그림 2에서와 같은 도면의 단순한 機械部品을 例로 들기로 한다⁽⁶⁾. 여기서 作業이라 함은 한 가지 유형의 도구에 의해 실행되는 기본공정單位를 의미하고, 이들 여러 개의 작업이 한 공작기계나 場所에서 실행되는 단위를 業務라고 하며, 또 한 가지의 固定具에 의해서 실행되는 업무의 부분집합을 從屬업무라고 한다.

그리고 그림 2의 부품은 다음과 같은 초기정보를 갖는다.

- (1) 치수와 허용오차

- (2) 기능과 형태의 허용범위
- (3) 표면거칠기
- (4) 재질 및 경도
- (5) 재료의 여유크기
- (6) 가공될 제품수

만일 이들 정보이외에 공작기계, 투올링, 절삭공구, 가공조건, 정밀도 등에 관한 정보를 추가하려 하면, 이들 정보는 소재의 여유크기가 최종의 형상으로 가공되는 부분에 연속해서 기입한다.

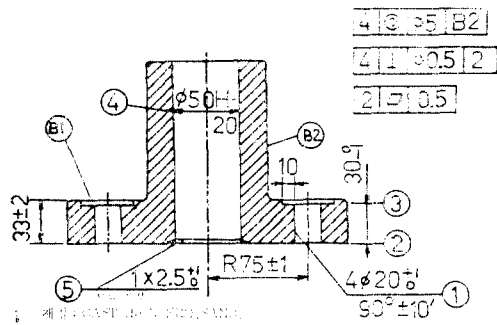


그림 2 기계부품의 도면

3.1 工程과 作業方法의 선택

첫 단계로서 일정규모의 공정과 작업방법을 선택한다. 技術的인 지식을 토대로 작성된 선택 목록이 표 1에 제시되어 있다. 절삭회수와 공구의 선택은 許容誤差를 고려하여 결정한다.

예를 들어 表面(2): 33±2, 平均도 0.5 Ra 40 에서는 밀링커터 또는 서페이싱용 공구를 사용하여 荒削과 다듬질의 2공정을 실행함으로써 원하는 치수와 허용오차대로 가공할 수 있음을 의미한다. 같은 논리를 각각의 표면에 대해서 적용하게 되는데, 이때 필요한 가공과정과 공구들은 表面특징 類型과 치수, 그리고 許容誤差를 고려한 法則에 의해서 선택된다. 여기서 이러한 법칙들은 컴퓨터로 쉽게 定量化 내지는 補充시킬 수 있다. GT(group technology)에서도 이와 비슷한 특징서술을 하나, 여기서는 GT의 경우보다 부품표면(평면, 구멍, 단달릴 等)의 복잡성을 제한시켜 사용하기 때문에 그 과정은 손쉽

■ 解 說

표 1 각 공경에서 선택된 공정수와 공구 일람표

특 정	설 계 규 격	공정수와 공구			공구의 수
		황 삭	1/2 다듬질	다 듦 질	
(1)	$\phi 20^{+0.015}$; Ra 300 R75 ± 11			드 릴	1
(2)	33 ± 2 ; Ra 40 편평도 0.5	밀링커터 또는 서페이싱용 공구		밀링커터 또는 서페이싱용 공구	1 또는 2
(3)	30-f; Ra 300 10mini.			카운터싱킹용 공구	1
(4)	$\phi 50H20$; Ra40 $\odot \phi 5$; ± 0.5	드 릴	보오링용 공구	보오링용 공구	3
(5)	모따기부 : 1 $\times 2.5^{+0.05}$			모따기용 공구	1

단위 : mm, 단 표면거칠기(CLA): μm

표 2 구멍가공의 공정경계 매트릭스

	트위스트 드릴	스퍼드 드릴	보 오 링	스프트 드릴
최소공구직경	1.5	20	9.5	3
최대공구직경	50	100	250	20
(-)허용공차(언더사이즈)	(DIA) ^{0.5}	0.5(DIA) ^{0.5} +0.06	0.0075	0.025
(+)허용공차(오버사이즈)	(DIA) ^{0.5} +0.1	0.7(DIA) ^{0.5} +0.075	0.0075	0.13
직 진 도	0.01(t/d) ³ +0.05	0.0075(t/d) ³ +0.05	0.0075	0.05
진 원 도	0.1	0.1	0.0075	0.075
평 행 도	0.2(t/d) ³ +0.1	0.015(t/d) ³ +0.1	0.01	0.05
깊이제한(t/d 比)	300	100	250	25
차리잡기度	± 0.75	± 0.75	± 0.002	± 0.05
표면거칠기(CLA)	500	500	200	1,500

단위 : mm, 표면거칠기(CLA): μm

게 취급될 수 있다. 따라서 표 2와 같은 工程境界 매트릭스를 이용하면 편리하며, 이는 필요 허용오차 범위내에서 알맞은 공정을 提示하여 준다.

3.2 공작기계의 선정

공작기계는 다음과 같은 標準에 따라 선정 된다.

- (1) 공구의 수
- (2) 제품의 크기(또는 세팅時間)
- (3) 정밀도

공작기계 파일은 작업목적에 합당하도록 준비 되어야 한다. 예를들어, (2+4+5)의 그룹에서는 보오링 머시인보다는 선반이 더 적합한데, 그 이유는 보오링 머시인에서 裝着하기 힘든 工

具도 선반에서는 쉽게 사용할 수 있어 공구의 숫자를 늘릴 수 있기 때문이다. 그리고 구체적으로 선반의 種類를 선택하는 것은 제품의 크기에 달려 있는데 이는 스톱장치나 레졸버에 따라 분류할 수 있다. 마찬가지로 (1+3)그룹에 대해서도 여러 종류의 드릴링 머시인 중에서 선택의 餘地가 생기는데, 이를 분류하면 보통 드릴링머시인, 회전헤드, 多軸 스핀들 헤드, 直線加工機 등을 들 수 있다.

한편 最終적인 선택은 경제적인 觀點에 따라 실행한다. 보통 이 결정은 공정계획 立案者가 내리게 되나, 여기서 컴퓨터를 이용하게 되면, 나중에 계산될 가공시간과 비용을 比較 檢討하는 일을 손쉽게 할 수 있다.

3.3 作業順序 결정

선택된 작업은 加工誤差나 技術的인 觀點에 따라 明確한 順序決定이 실행되어야 한다. 예를 들면 주어진 部品에 대해서 표 3 과 같은 優先順位테이블을 작성하는 것이 좋은데, 이것은 치수, 기하형상, 技術 및 經濟的인 觀點에 기초를 둔 것이다. 예로서 4부분의 다듬질인 4F의 공정에 대해서는 기하형상의 공차를 유지하기 위해 B2와 2F가, 1/2 다듬질이 실행된 다음에 행해져야 하므로 4 $\frac{1}{2}$ F가, 그리고 보어링 공구를 보호하여야 하기 때문에 2F가, 모따기부에서의 버어(burr)를 방지하기 위해 5F가 先行되어야 한다.

표 3 우선 순위 테이블

작업	우선 순위	치 수	기하형상	기술관점	경제적 관점
1F	4F	2F	직각		
2R				2R	4 $\frac{1}{2}$ F 경제성고려
2F	B1				
3F	2F	1F			
4R					
4 $\frac{1}{2}$ F				4R	
4F			B2 2F	4 $\frac{1}{2}$ F	2F, 공구보호 5F, 버어방지
5F	2F				4 $\frac{1}{2}$ F 경제성고려

F : 다듬질, $\frac{1}{2}$ F : $\frac{1}{2}$ 다듬질, R : 황삭

이같은 논리로 전체의 우선순위原則을 고려하면, 그림 3과 같은 매트릭스를 구성시킬 수 있다. 그리고 그림 3에서 오른쪽의 매트릭스는 선행되어야 할 工程數를 첫번째 行에 기입하였으며, 첫번째 行에서 4R이 선택된 다음, 두번째 行에서는 왼쪽 매트릭스에서 4R의 行을 除外한 공정수를 기입하였고 4 $\frac{1}{2}$ F가 선택되었다. 이와 같은 순서로 계속하면 오른쪽 매트릭스의 마지막 列과 같은 結果的인 선행순서가 결정된다. 따라서 公정의 선행순서는 위와 같은 우선순위法則에 의해 확정시킬 수 있다. 여기서 우

선순위 테이블은 충분한 檢討 끝에 公정설계 立案者에 의해 채워져야 한다. 반면에 우선순위 매트릭스에 의해 주어진 先行관계는 손으로 직접 풀 수도 있지만 컴퓨터를 이용하면 더욱 효과적으로 방대한 경우라도 풀 수 있다.

	1F	2R	2F	3F	4R	4F	4F	5F	1	2	3	4	5	6	7	8
1F	X								2	2	2	2	1	1	1	1F
2R		X								1	2R					
2F			X							1	1	1	2F			
3F				X						1	1	1	1	1	1	3F
4R					X				4R							
4F						X				4F						
4F							X		3	3	2	2	1	4F		
5F								X	2	2	1	1	5F			

그림 3 우선순위 매트릭스

3.4 作業群(業務)의 분류

작업은 선행순서에 따라 실행되므로, 이때 상대적으로 위치, 가공오차를 고려하여 작업群을 분류하여야 한다.

작업群을 분류하는 간편한 방법은 한 공작기계나 場所에서 실행되는 單位, 즉 業務의 단위로 나누는 것이다. 본 해설의 예를 보면

- (1) 업무 1: ②+④+⑤(선삭)
- (2) 업무 2: ①+③(드릴링)

로 나누는 것이 가능해지며, 더 복잡한 경우에서 公정계획 立案者가 공작기계나 關連된 表面特性에 關한 사항 등을 고려하여 결정하여야 한다. 이때 컴퓨터는 데이터 파일이 충분히 준비되어 있는 경우에 가능하다.

3.5 공작물 固定裝置와 支持點들의 선택

작업의 선행순서가 선택되면 精密度를 고려하여 공작물을 고정장치에 어떻게 位置選定할 것인가를 결정하여야 한다. 그리고 허용공차를 만족하면서 치수 및 허용오차를 極小化할 수 있는 支持點들을 선택하여야 한다. 이는 한 부품에 6개의 지지점을 갖는 均衡의 原則을 적용함으로써 그림 4와 같이 位置決定을 할 수 있다. 즉, 표면 B1 위에서 3점(1, 2, 3)을 잡고, B2 위

표 1 프로세스 시트의 작성예

업무	종속 업무	직업	서 술	공작 기계	위치결정고정방법	투울링검사기구	도 면
10		a	선 삭		소형센타 B2면 (4, 5점)	척 3 조우표준드릴	
		b	면 황삭 36 ^{±.0}		B1면 (1, 2, 3점)	페이싱용 공구	
		c	면 다듬질 33±2.0		클램핑 6	모따기용 공구	
		d	내경선삭 φ49.5 ^{±.05}				
		e	모따기				
		f	φ50H20 보오링			φ50H20보오링바이 50H20 게이저	

4. 컴퓨터 이용 공정계획 시스템

컴퓨터 이용 공정계획 시스템은 工程設計의 단계에 기초를 둔 시스템과 作業設計의 단계에 기초를 둔 시스템으로 나누어 취급할 수 있다.

前者에 기초를 둔 시스템의 예를 보면, AUTOPROS(automated process planning system)⁽⁹⁾는 노르웨이에서 개발되었는데, 이 시스템은 선삭가공, 드릴링가공, 밀링가공 및 연삭가공 등 주로 切削作業에 관하여 룯트크기가 100 이하인 부품을 제조하는 경우에 필요한 作業順序 決定과 各 作業을 수행하는 工作機械의 선택을 自動적으로 실행한다. CAPP(computer-aided process planning) 시스템⁽¹⁰⁾은 CAM-I(computer aided manufacturing international)에 의해 개발된 것인데, CAPP 시스템은 먼저 GT의 개념에 기초를 둔 部品分類코오딩이 수행되어야 하고 또 各 부품群에 대한 作業順序와 加工工程을 작성하여 저장해야 한다. 설계해야 할 부품의 코오드번호를 입력시키면 적정의 加工順序와 工作機械의 목록이 자동적으로 얻어진다. CAR(computer aided routing)⁽¹¹⁾은 일본에서 개발되었는데, 이 시스템은 소재의 형상에 대하여 加工의 기본적인 單位패턴을 설정하여 소재로부터 완제품으로 변환시키는 作業順序를 인간과 컴퓨터의 對話形式으로 결정하는 방식이며, TIPS(technical information processing system)⁽¹²⁾도 같은 성격으로 CAD에 통합시킬 목적으로 개발되었다. 한편 독일에서도 CAPSY⁽¹²⁾, AUTAP⁽¹³⁾, DISAP

⁽¹⁴⁾, AUTODAK⁽¹⁵⁾, REMP⁽¹⁶⁾ 등의 시스템이 비슷한 목적으로 자기 독특한 공정특성을 고려하여 연구 개발되었고 실용화 단계에 있다.

後者の 作業설계 단계에 기초를 둔 시스템들은 준로 CAD에 의해 설계된 부품을 바로 직접적으로 CAM에 의해 製作할 목적으로 개발되었는데, NC 自動프로그래밍 言語확장의 일환으로 실시되었다. 그 例로서 APT IV(automatically programmed tools IV)⁽¹⁶⁾는 부품가공을 위한 공구경로의 기하학적 궤적과 부품의 기하형상으로 부터 作業順序를 결정하는 데 필요한 수학적 計算을 수행 하도록 개발된 시스템이며, APT와 동일한 기하학적 처리에 추가해서 적절한 절삭공구의 자동선정 및 최적가공조건을 결정하는 技術的 處理機能을 부여시킨 EXAPT(extended APT) I, II, III⁽¹⁸⁾가 서독에서 개발된 시스템이다. 그 밖에 各國의 여러 회사에서도 各 실정에 맞는 시스템을 개발 하였는데, 대표적으로 미국의 Lockheed 항공회사에서 개발된 CADAM(computer-graphics augmented design and manufacturing)⁽¹⁹⁾을 보면, 이 시스템은 CAD와 NC 자동프로그래밍을 結合하여 실제 適用하고 있는데, 이로서 結合前의 상태보다 84%의 인력절감 및 58%의 비용절감을 실현하였다고 보고되고 있다⁽¹⁹⁾.

5. 맺음 말

지금까지 살펴 본 내용은 自動化 設計生産라 인에서 가장 큰 장애요소가 되고 있는 工程計劃

단계에 대하여 컴퓨터의 利用이 可能한 분야를 타진하여 본 것이고, 아울러 실제 開發되어 있는 시스템들의 例를 통하여 그 分野를 具體化한 것이다. 그러나 현실적으로 볼 때 경제성이라든지 데이터베이스의 설정, 표준화된 장치 및 기구, 적절한 알고리즘 등의 先行條件들은 컴퓨터의 利用範圍와 效果를 매우 低下시켰다. 그 반면에 해를 거듭하면 할수록 여러 분야에 있어서의 노력의 결과로서 이들 선행조건들은 점차적으로 없어지고 있으며, 컴퓨터 利用 工程計劃시스템의 實用化 전망은 아주 밝아지고 있다. 따라서 생산공학에 관한 기초연구과제로서 自動化 工程計劃은 관심있는 분야로서 각광을 받을 것이 기대된다.

참 고 문 헌

- (1) R.A. Wysk, et. al., Unit Machining Operations: An Automated Process Planning and Selection Program, Trans. of ASME, J. of Eng. for Industry, Vol. 102, Nov. 1980
- (2) H.L. Timms and M.F. Pohlen, The Production Function in Business, 3rd ed., Irwin, Homewood Illinois, Chap. 9, 1970
- (3) T.T. El-Midany, et. al., Interactive Operation Sequence Planning for Turned Parts (AUTOCAP) and Non-rotational Parts (ICAPP), Seminar on CAD in Industry, Belgrade, Sept. 1980
- (4) R. Weill, et. al., Survey of Computer-Aided Process Planning Systems, Annals of the CIRP, Vol. 31, No. 2, 1982
- (5) H. Eskicioglu and B.J. Davies, An Interactive Process Planning System, Annals of the CIRP, Vol. 32, No. 1, 1983
- (6) J. Karr, Methodes et Analyses de Fabrication Mechanique, Dunod, Paris, 1979
- (7) P. Bourdet, Les Chaines de Cotes de Fabrication, L'Ingenieur et. le., Technicien, 11-12-73, p. 23
- (8) R. Weill, et. al., The Development of Technological Data Banks for Small Manufacturing Systems, Proc. of CIRP, Vol. 7, No. 1, 1978
- (9) C.K. Nissen, AUTOPROS-Automated Process Planning System, CIRP International Conference, p. 8, 1969
- (10) C.H.P. Link, CAM-I Automated Process Planning, SME Technical Paper, MS 78-213, p. 18, 1978
- (11) K. Hitomi, Manufacturing Systems Engineering, Taylor & Francis, pp. 213~217, 1979
- (12) G. Spur, et. al, CAPSY-A Dialogue System for Computer Aided Manufacturing Process Planning, 19th MTDR-Conference, Manchester, Sep. 1978
- (13) W. Eversheim, Vorstellung der Systeme zur Automatischen Arbeitsplanung, Tischvorlage zur CAD-Arbeitskreissitzung am 24. Nov. 1977, Aachen
- (14) N.N., DISAP-ein Dialog System zur Arbeitsplanerstellung, WZL, RWTH. Achen
- (15) W. Arndt, Automatisierte Fertigungsplanung für größere Stückzahlen. IWF e.V.—Report Nr. 5, S. 152~162, Berlin, 1976
- (16) O. Hirschbach, Rechnerunterstützte Montageplanerstellung, IPA Forschung und Praxis, Krauskopf, Mainz, 1978
- (17) IIT Research Institute, APT Part Programming, McGraw-Hill, New York, 1967
- (18) N.R. Parsons (ed.), N/C Machinability Data Systems, SME. Dearborn, Mich, p. 96, 1971
- (19) R.C. Horn, CADAM-Past, Present, Future, Lockheed, 1980

