

工作機械 技術의 發展 展望

趙 孝 相

<大宇重工業(株) 昌原工場 理事>

1. 工作機械 産業의 現況

工作機械는 製造業體 設備투자의 核을 이루는 生産資本材이며 그 性能과 品質은 生産製品의 경쟁력 水準을 1次的으로 決定짓게 되는 機械 工業中에서 가장 핵심적인 産業으로 지목되고 있다.

그러나 工作機械가 機械工業이나 他産業에 미치는 영향이 至大함에도 불구하고, 機械製造業中 차지하는 比重은 1~4% 水準으로(西獨 4%, 美國 2%, 日本 1.5%, 韓國 1.1%) 매우 낮은 편이다.

이는 개발도상국에서 현저한 현상을 보이는데 産業化 初期 段階에서 生産 資本材 대부분을 先進國으로 부터 導入하게 되므로 自國內 工作機械 工業이 육성될 여지가 좁아지기 때문이다. 그러나 産業化가 어느정도 성숙한 단계에서는 先進國의 技術을 흡수한 후 自國內 工作機械 生産기반이 갖추어지게 된다. 즉, 工作機械 産業은 관련 産業보다 한 단계가 늦게 發展되는 産業으로서 그 構造的 취약점이 있다.

우리나라의 工作機械 産業은 1970年代 政府의 重工業 육성정책과 방위산업 육성정책에 힘입어, 急速한 發展을 가져왔다. '84年 實績으로 우리나라의 工作機械는 生産能力 年間 3만대(3억 4천만불), 自給度 50% 水準으로 世界 20위권에 육박 하였다.

그러나 이러한 量的인 팽창은 國內外 需要市場의 多樣化和 고부가가치의 추세에 對應하는

데는 여러가지 면에서 限界點에 봉착하여 새로운 시련기를 맞고 있다.

즉, 工作機械의 高精度, 高性能化 그리고 省力化 및 省에너지가 바로 그것이다.

2. 工作機械 技術의 발전추세

大量生産 方式은 生産을 自動화 시키는데 决定的인 역할을 해 왔으며, 더우기 최근의 끊임 없는 첨단 技術分野의 눈부신 發展과 需要者의 복잡·다양한 要求는 生産方式이나 加工技術을 革新시켜 工業發展 速度를 더욱 加速化 시킬 것으로 예상된다.

오늘날의 生産, 加工技術은 工場自動화(FA: Factory Automation) 技術과 첨단 加工技術 두 方向으로 양극화 되어나갈 것으로 보인다.

FA 技術은 하드웨어 設備를 시스템化 시키면서 소프트웨어 技術을 구사하여 工場의 모든 生産工程을 自動화 시키는 技術을 意味하며, 첨단 加工技術은 科學技術의 應用과 基本發想을 전환하여 現在의 加工技術 상식으로는 생각하기 어려운 高度의 새로운 加工技術을 開發, 加工方法을 혁신시킬 수 있는 新加工技術을 말한다.

이러한 技術들은 生産現場과 研究所등에서 多角的인 方向으로 研究開發이 進行되고 있으며 앞으로의 發展 展望을 다음과 같이 要約할 수 있을 것이다.

2.1 FA 技術의 發展 展望

NC 工作機械의 出現은 工作機械 發展의 획기

적인 전환점을 제공 하였다. NC 工作機械는 원래 복잡한 形狀의 部品를 加工하기 위한 것이었으나 現在에는 加工프로그램만 교체하면 加工作業을 지령하여 여러가지 加工을 行할 수 있는 유연성을 발휘하게 되어 본래의 開發目的을 초월해서 多樣化 時代의 加工 수단으로 重要視 되고 있다.

最近의 NC 工作機械는 NC 유닛(unit) 內에 소형 컴퓨터를 내장시킨 CNC(computerized numerical control) 工作機械가 開發되어 운전자가 對話式으로 加工프로그램을 作成할 수 있도록 하였다.

또한 1대의 대형 컴퓨터로 여러대의 工作機械를 직접 制御하는 DNC(direct numerical control) 方式의 開發로 單體의 工作機械를 몇대씩 組合하고 자동공구 교환장치와 자동반송장치를 結合하므로써 다양한 加工要求에 대처할 수 있는 FMS(flexible manufacturing system)가 可能하게 되었다.

FMS는 多品種 小量生産에 유연하게 대처할 수 있는 生産方式으로서 單品生産과 投資能力이 낮은 중소기업에서는 實用化하기에는 어려움이 많다.

이러한 상황에 알맞도록 最近에는 FMC(flexi-

ble manufacturing cell)가 開發되어 널리 채용되고 있다.

FMS化에 관한 技術은 그림 1에서 보는 바와 같이 單體 工作機械나 單體 加工 셀(cell), 유사 工作物群 加工 셀 등 다품종 中·소량 生産加工에 對應할 수 있는 加工設備의 계층적 區分과 構造全體를 制御管理하는 컴퓨터의 소프트웨어 技能도 계층적으로 區分되어 있다.

즉, 單體機械의 工程制御用 마이크로 컴퓨터, 그룹셀(group cell) 管理用 컴퓨터 및 FMS 시스템의 管理와 CAD, CAM을 綜合管理하는 大型 컴퓨터로 區分되어 있는 것이다.

이와같은 加工分野의 FMS化는 素材加工 工程과 部品檢査, 自動組立, 完製品의 性能檢査部門까지도 확대 적용되어 工場全體를 완전히 自動化하는 이른바 FA가 實現될 것이다.

그림 2는 수개의 加工셀과, 로봇, 無人車, 自動倉庫, 組立, 檢査를 1대의 中央 컴퓨터로 制御하는 自動工場(무인화 工場)의 모습을 보이고 있다.

FA 工場의 效果的 利用技術課題는 生産에 必要한 情報, 즉, 設計, 加工에 直接 必要한 情報과 生産量과 生産進度를 管理하는 生産管理情報의 2가지로 區別된다.

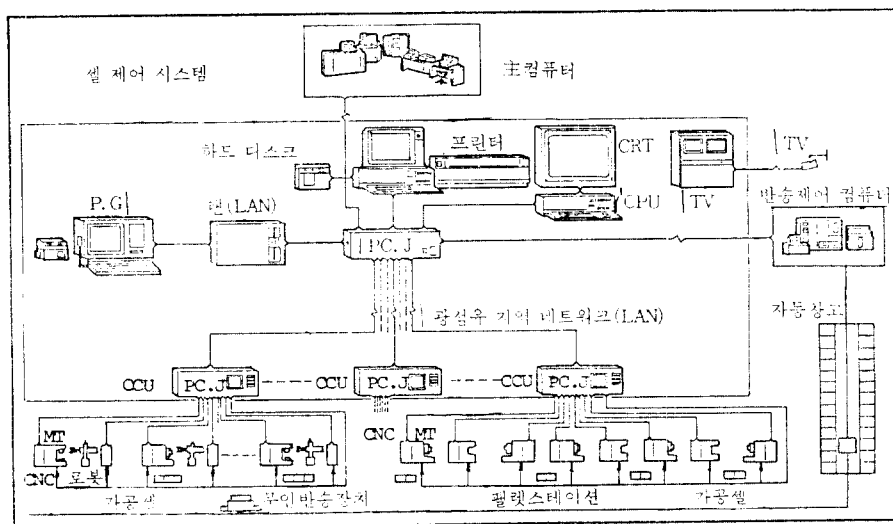


그림 1 자율분산형의 셀 제어 시스템

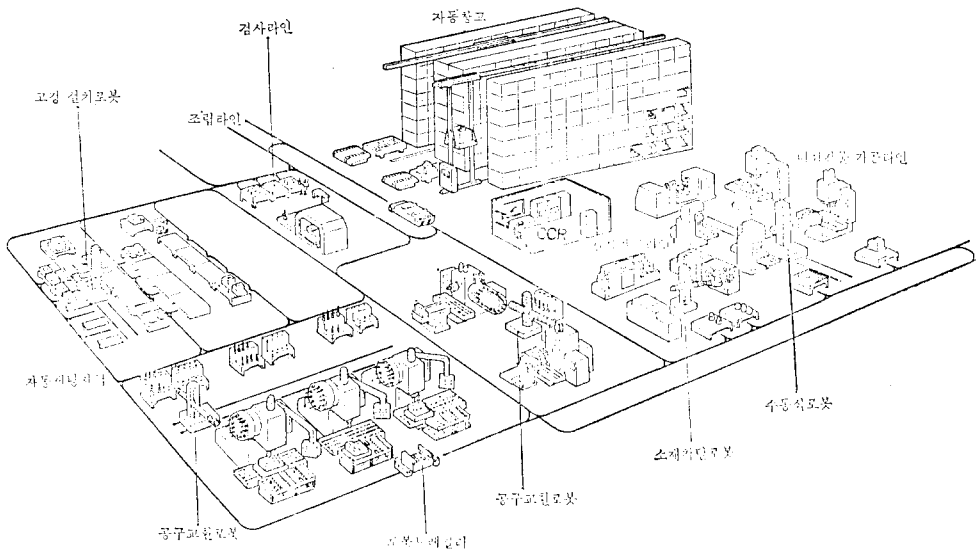


그림 2 무인화 공장의 구성예

표 1 FMS에 관한 국가 프로젝트 예

국 명	프로젝트명칭	개발 기관	가공대상제품	시스템의 특징	개발기간	개발비용	비 고
일 본	레이저 응용 복합생산 시스템	통신성 연구협동조합	(임의)	현재의 FMS 보다 고도의 유연성을 부여	1977~1984년	약 400억원	관, 학, 민 일체의 프로젝트
미 국	ICAM	비공군	항공기용 판금 부품	GT의 보완과 그 저극적 응용	1977~1981년	약 660억원	관, 학, 민 일체의 프로젝트
	종합 FMS	비공군	항공기 부품		1982~1987년	당초 3년간 약 100억원	
영 국	ASP	ASP 위원회	주요 비회전형 (예, 범용기어 박스)	100 대의 재래형 공작기계 (NC 기포함) 설비공장의 생산고에 필적하는 시스템	1976년	약 250억원	PERA, Sussex 대학 Strathclyde 대학 등이 협력
노 르 웨 이	분산형 셀	노르웨이 공대 생산기술연구소		국가 전체로서 한개의 대규모 FMS 를 구성 할때의 기본 생산 셀	1976~1979년	약 7 억원	
서 독		Zahnradfabrik Friedrichshafen 사	기어박스 (부품수 약 200)	독립 가동형 가공 셀 (FMC)를 기본으로 하는 모듈을 구성	1977~1983년	약 200억원	Stuttgart 대학 Berlin 공과대학 등이 협력
동 독		Niles Drehmaschinenwerk		척 가공용 FMC		약 50억원	
한 국	D-28 라인	대우중공업(주)	엔진 실린더 블록		1984~1985년	약 50억원	

設計情報를 加工情報로 變換 시키기 위해서는 CAD/CAM 시스템을 適用하고 生産量과 生産進度管理에 必要한 情報은 MIS(manufacturing integrated system: 綜合生産管理 시스템)와 CA PP(computer aided process plan: 컴퓨터를 利用한 工程設計)를 利用, 必要한 製品을 必要한 時期에 自動的으로 生産할 수 있는 生産 시스템의 구축이다.

2.2 첨단 加工技術의 發展 展望

生産시스템의 FA 化에 關한 技術은 製品加工 技術의 高度化와 生産管理 시스템의 總합적 管理의 實現에 있다.

첨단 加工技術에는 超精密化와 새로운 原理에 기초를 둔 新加工方法의 開發이 重要한 事項이다.

現在 超精密 加工영역은 $0.01\ \mu\text{m}$ 정도이며, 加工素材의 分子構造 水準에 가까워지고 있다. 超精密 加工은 오래전부터 블록게이지(block gage)나 광학평면에서 그 例를 볼 수 있다.

$0.1\ \mu\text{m}$ 以下の 尺寸 精밀도 및 그 幾분의 1의 面粗度를 램 다듬질이나 연마에 의해서 實現해 왔다. 이 과정에서 소위 “名人技術”이라고 일컬어지는 技能은 큰 역할을 이룩하고 있으나 극히 저조한 生産性으로 價格이 매우 높은 實情에 있었다.

그러나 VTR의 헤드, 레이저 반사경, 자기 디스크등 超精密 加工을 要하는 部品の 最大需要로 高度의 技術解析이 進展하여 이러한 名人技術의 노하우(know how)는 실제 아무도 아닌 技術로 밝혀지게된 것이다.

이러한 超精密 加工 實現의 가장 근본적인 사고로 공작기계의 母性原理에 따라 工具날끝을 통하여 工作機械의 精密度가 工作物에 傳達된다는 것이다.

一般的으로 部品の 加工精度는 工作機械精度보다 약간 높은 것을 發見할 수 있는데, 이는 工作物과 工作機械間의 運動의 平均化 效果에 기인하는 것으로 확률적 거동(probabilistic)인 경우가 많으므로 超精密의 영역加工을 위해서는 加工精度 誤差를 피이드 백(feed back)할 수 있

는 레이저 간섭계 설치가 고려되기도 한다.

超精密 加工用 工作機械의 技術의 課題는 “어떤 靜的, 動的인 荷重의 作用 및 熱的인 환경條件下에서도 항상 各座標軸의 회전이 均一할 것”이 基本的인 機能으로 要求된다. 이를 말로 表現하기는 簡単하지만, 실제로 實現하기란 매우 어려운 技術인 것이다.

이러한 加工機械의 問題가 되는 要因으로서 다음과 같은 것을 생각할 수 있다.

(1) 熱變形

固體의 線膨창 계수는 $10^{-6} \sim 10^{-5}/^{\circ}\text{K}$ 로서 열 변형량을 $0.1\ \mu\text{m}/\text{m}$ 로 억제하기 위해서는 $0.1 \sim 0.01^{\circ}\text{K}$ 의 溫度制御가 要求된다. 最近 發表되고 있는 超精密 工作機械에서는 機械全體를 定溫의 기름이나 기체로서 溫度를 制御하는 形態를 취하고 있는 것이 있다.

또는 低熱膨창 계수를 갖는 콘크리트 構造物이나 매트릭스等도 採用되고 있으며 熱變形의 影響을 되도록 감소하기 위해서 熱的 대칭 구조를 갖는 설계方法이 使用되고 있다.

(2) 강성

荷重에 의한 變形은 보상技術을 使用하여 精密度 低下를 피할 수 있어 강성의 절대치도 重要하지만 그 재현성, 변형이나 힘의 측정기술의 限界가 重要한 意味를 지닌다. 機械의 變形으로서 是 巨視的인 강성에 關係되는 것보다는 接合面, 軸동부등의 재현성 問題가 있는 變形, 히스테리시스 現狀이 일어나기 쉬운 微視的인 變形이 重要해진다.

(3) 機械構造의 간결성

超精密 工作機械가 채택할 構造는 物理的으로 간결한 것이어야 한다는 것이다. 즉, 加工에 있어서 發生하는 힘이나 熱에 對하여 간결한 거동을 제시하는 構造, 또는 적어도 數量的으로 正確히 기술할 수 있는 거동을 提示하는 構造를 취하는 것이다.

(4) 內部振動 발생억제와 外部振動 消除

主軸系의 회전에 의한 振動과 熱發生을 억제하기 爲해 非壓 에어베어링을 採用하며 안내면의 슬립부착을 防止할 目的으로 역시 靜壓에어

표 2 초정밀 절삭 공작기계의 主軸구조 비교

제 작 사	제 작 년 대	기 종 명	主軸構造	主軸回轉精度 (μm)		製造方法	加工物加工精度	비 고
				반경軸方向	軸方向			
Du Pont 社	1960 전반기	Hemisphere Turning Machine (Du Pont 1 호기)	<ul style="list-style-type: none"> • 다공질교축형 • 에어베어링 • 베어링틈새 : $2.5 \sim 5.0 \mu\text{m}$ 	—	—	—	반구형 (101.6 mm) Al 합금 표면거칠기 : $0.025 \mu\text{m}$ Rmax 치수정도 : $\pm 0.6 \mu\text{m}$	使用공기의 전조, 필터장치의 設置必要
L.L.L	1970 전반기	경면절삭가공기	<ul style="list-style-type: none"> • 에어베어링 	0.025	0.025	—	Ag 製放物 面鏡 ($\phi 152$) 표면거칠기 : $0.025 \sim 0.05 \mu\text{m}$ Rmax	부하용량 : 180 kgf
Union Carbide 社	1970 후반	초정밀 다이아몬드 절삭가공기	<ul style="list-style-type: none"> • 에어靜壓베어링 • 베어링틈새 : $7.6 \mu\text{m}$ 	<0.04	<0.02	베어링部는 진원도 $0.15 \mu\text{m}$ 以下로 다이아몬드 절삭후 래핑	—	<ul style="list-style-type: none"> • 1,000 RPM 에서 온도상승 : 약 0.8°C • 부하 토크 : 600 N.M
Toshiba 社	1980	—	<ul style="list-style-type: none"> • 자성 교축에어 베어링 • 베어링틈새 : $10 \sim 15 \mu\text{m}$ 	<0.05	—	구면베어링은 래핑加工 軸中心에 직각방향 진원도 : $0.2 \sim 0.3 \mu\text{m}$	—	—

표 3 초정밀 절삭 공작기계의 안내면 구조의 비교

제 작 사	제 작 년 대	기 종 명	안 내 면 구조	안 내 精 度	위치결정精度	제 조 방법	비 고
L.L.L	1970 전반기	경면 절삭가공기	—	<0.254 $\mu\text{m}/457$ mm	<0.89 μm	—	—
Naval Weapons Center	1970 후반	다이아몬드 절삭가공기	공기靜壓 方式	<ul style="list-style-type: none"> • 직선성 : $0.075 \mu\text{m}/25.4$ mm • 평면도 (pitching) : $0.025 \mu\text{m}/25.4$ mm 	—	—	강성 : $174 \text{N}/\mu\text{m}$ (상하 좌우동일 方向)
Toshiba 社	1980	—	4면 구속형 공기靜壓方式 (자성 교축) 2중 테이블 方式	직선성 : $0.02 \mu\text{m}/100$ mm	—	래핑가공	강성 : <ul style="list-style-type: none"> • 상하 方向 : $20 \sim 30 \text{kgf}/\mu\text{m}$ • 좌우 方向 : $15 \sim 20 \text{kgf}/\mu\text{m}$

가이드(air guide)를 채용한다. 또한 外部振動의 傳達을 防止하기 위해 모우터의 設置를 별도로 하며 機械의 베이스에 3點支 支 에어쿠션을 使用한다.

표 2, 표 3은 超精密 加工用 工作機械에서 실제로 채용하고 있는 主軸과 안내면의 構造를 나타낸 것이다.

3. 國內 工作機械 産業의 課題

國內 工作機械 産業의 歷史는 약 10餘年정도로 先進國의 100餘年에 比하면 매우 짧은 편이지만, 우리의 일천한 역사에 비해 現在 世界 20위권 內로 도약하는 急速한 發展을 하였다.

이처럼 急成長할 수 있었던 背景에는 政府가 重工業 육성 政策과 기간 産業으로서의 工作機械에 對한 重要성을 인식한 業界에서 각오의 노력의 結果라 할 수 있다.

그러나 금후의 추세는 先進國의 技術移轉에 對한 인색한 反應과 개발도상국의 低價格정책 등으로 지금까지 成長·유지해온 方式을 再考할 必要가 있을 것이다.

우선 첫째로, 日本등 先進國으로부터 全量輸入에 依存하던 重要部品 (NC 제어기, 서어모우터, 보울나사, 메인베어링 및 유공압 部品等) 들에 對한 國産化 開發을 조속히 추진하여 根源의

인 제조원가의 절감 및 미래 수요의 창출을 도모하여야 할 것이다.

둘째로, 汎用工作機械(선반, 밀링기, 드릴링기 등)에 대하여는 國內 市場보다는 수출 市場에서 低價格 우위를 確保할 수 있도록 中小企業을 中心으로한 生産業體 專門化(OEM化)가 조속히 進出되어야 할 것이다.

세째는 原價管理 시스템의 改善이다. 어떠한 制度의 施行에 對한 實效는 그 制度의 質에 依存하는 것 보다는 運營節次의 合理性에 있다고 할 것이다.

現在 各 企業에서 部分的으로 實施하고 있는 目標原價管理 시스템도 그 實效를 거둘수 있기 위해서는 現業에서 실질적으로 管理할 수 있는 인자를 지니고 있어야 한다. 이러한 인자로서 특히 工作機械 工業에서와 같이 多品種 小量生産 體制下에서는 部分別 個別原價 計算制를 들수 있고, 새로운 生産 시스템(FMS等)과 機種의 專門化에 맞는 直接原價制度가 有效하다. 이러한 基本인자를 쉽게 認識할 수 있는 것으로도 電算化가 이루어 지지 않고는 생각할 수 없다는 점이다.

앞으로의 工作機械의 方向이 FMS를 前提로한 CNC 및 專用化 추세에 맞는 管理 시스템은 然必의으로 單純化를 要하고 그를 위한 電算소프트웨어의 開發이 時急하다.



(35 페이지에서 계속)
 (47) Keenan, J.H., *Thermodynamics*, Wiley, N.Y., 1941
 (48) *The Fluid Processing Handbook*, Davison Chemical Division of W.R. Grace & Co., Baltimore, 1966
 (49) Banks, P.J., "Coupled Equilibrium Heat and Single Adsorbate Transfer in Fluid Flow through a Porous Medium-I. Characteristic Potentials and Specific Capacity Ratios", *Chem. Engr. Sci.*, Vol. 27, No. 5, pp.1143~1155, 1972
 (50) Kin, S., B. Pratim and A.F. Mills, "A Compact Low Pressure Drop Desiccant Bed for Solar Air Conditioning Application", *ASME J. of Solar*

Energy Engr., Vol. 106, pp.153~158, 1984
 (51) Ghezelayagh, H. and D. Gidaspow, "Gas-phase and Desiccant Resistances in a Solar Powered Silica Gel Dehumidifier", 72nd Annual AIChE Meeting, San Fransisco, CA, November, 1979
 (52) Buchberg, H., A.F. Mills and S. Kim, "Packaging for Solar Air Conditioning Application", Final Report for US DOE DE-FG02-80CS84056, Feb., 1983
 (53) Pesaran, A.A., "Moisture Transport in Silica Gel Particle Beds", PHD Thesis, UCLA, Jun., 1983
 (54) Whitaker, S., "Simultaneous Heat, Mass and Momentum Transfer in Porous Media", *Advances in Heat Transfer*, Vol. 13, 1977