

# 재구성형 생산 시스템

박문웅\* 편

## Reconfigurable Manufacturing Systems

Myon Woong Park\*

### ABSTRACT

이 글은 1999년 제49차 CIRP General Assembly에서 Key Note Paper로 발표되었던 논문을 전재한 것이다. CIRP는 생산공학분야의 가장 중요한 국제학술대회 중 하나로, Key Note Session에서는, 각 분야의 대표적 연구자들이 해당 분야의 현황과 추세를 매년 조사한 내용들이 발표된다. 지난해 생산시스템 분야에서 주목해야 할 주제로서 재구성형 생산 시스템( Reconfigurable manufacturing system ; RMS )이 선정되어, 미국, 일본, 유럽의 일곱명의 전문가에 의해 정리된 내용을, Michigan 대학의 Koren 교수가 취합, 편집 및 발표하였다. 원문 요약은 아래와 같다.

21세기 제조업체들은, 글로벌한 경쟁과 예측 불가능하게 급변하는 시장에 효과적으로 대응하여야 할 것이다. 경쟁력을 유지하기 위해서는, 효율적이면서도 시장변화에 조속히 대처 할 수 있는 새로운 생산시스템을 보유하여야 한다. 시장변화에 대한 효율적이며 신속한 대응을 위한 엔지니어링 기술로서 재구성 기술( reconfigurability )이 필요하다. 새로운 생산 방식으로서 재구성형 생산 시스템은, 재구성이 가능한 기계들과 제어 장치, 그리고 그것들을 체계적으로 설계하고 신속하게 초기 가동 관리( ramp-up )하기 위한 방법론으로 이루어진다.

**Key Words :** Reconfiguration manufacturing system, Machine tools

### 1. 서론

재구성형 생산 시스템(Reconfigurable manufacturing system ; RMS)의 필요성은 예측 불가능한 시장변화로부터 기인한다. 최근 들어 더욱 가속화되고 있는 이런 변화는

- 신상품 출시 빈도 증가

- 기존 제품의 부품 변경
- 상품수요와 제품별 생산량( mix )의 큰 변동
- 안정성, 환경성에 대한 정부 규제의 변화
- 공정기술의 변화 등을 말할 수 있다.

이러한 변화는, 글로벌한 규모의 치열한 경쟁, 교육정도가 높으며 요구조건이 까다로운 수요자,

\* 한국과학기술연구원 CAD/CAM연구센터

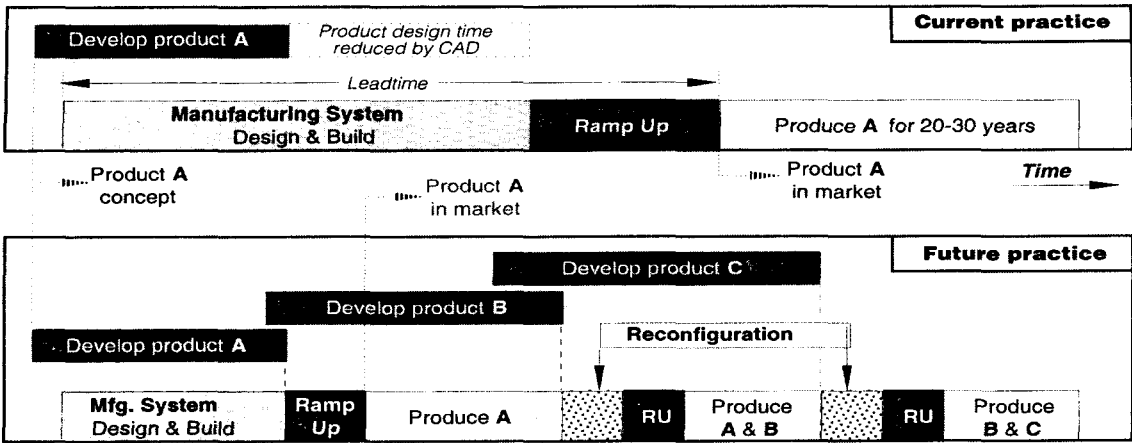


Fig. 1 While product development time was reduced dramatically by CAD, nothing equivalent was done with the manufacturing system( top ). Increase in frequently of new products introduction requires shortening the manufacturing system design time, and enabling its adaptation to production of new products through rapid reconfiguration

신 공정 기술의 빠른 발전 등에 기인한다<sup>(1)</sup>. 이런 요인들은 경제, 기술, 사회간에 새로운 균형이 생성 되도록 한다. 이러한 새로운 제조환경에서 생존하기 위해서, 기업은 그러한 변화에 신속하고 비용 효율적으로 대처하여야만 한다.

신상품을 출시하는데 있어서 시간적 제약 문제를 해결하기 위해, CAD의 활용이 대두되었고, 지난 10년간 제품 개발 시간을 획기적으로 줄일 수 있었다( Fig. 1 상 ). 그러나 그러한 부품 설계 방법론과 대등한, 생산시스템을 위한 설계 방법론이 존재하지 않아, 시스템 설계에 많은 시간이 소요되고 있다. 따라서 지금은 제품 설계/개발 리드 타임보다는, 생산시스템 리드타임( 시스템 설계와 형성 혹은 변경에 소요되는 시간, 정상 상태로 초기 가동 관리하기 위한 시간 )이 지연 요인이 되고 있다.

생산 시스템 리드타임이 단축된다면 경제적 효과를 얻을 뿐 아니라, 신 모델이 적시에 출시될 수 있다. 리드타임의 단축은, 모듈화된 요소로 형성되는 시스템의 신속한 설계를 통해서, 혹은 기존의 생산시스템을 새로운 제품에 맞추도록 재구성( Fig. 1 하 ) 함으로써 달성될 수 있다. 새로운 제품 생산을 위해서는, 재구성을 통하여 새로운 기능을 시스템에 첨가하여야만 한다. 이런 형태의 재구성은( 즉, 생산기능의 첨가 ) 범규의 변화를 수용하기 위해서나, 새로운 공정기술 - 새로운 센서, 고 신뢰성 부품 등 -을 통합하기 위해서도 필요하다. 시스템이

사용되는 기간동안 재구성이 성공적으로 자주 반복되기 위해서는 초기 가동 관리( ramp-up ; RU ; 셋업된 시스템이 정상 상태로 사용될 수 있도록 측정, 캘리브레이션( calibration ), 튜닝 등을 하는 작업 )시간이 짧아야 한다.

또 다른 형태의 재구성은 새로운 시장 여건에 따라 생산량의 변화가 격심할 경우에 필요하게 된다. 이런 경우 시스템은 생산 용량의 신속한 변화( 시스템 scalability )를 요구한다. 요약하자면, 생산 용량이 수요의 급격한 변화에 따라 조절되며 새로운 제품에 요구되는 기능을 가진 적응형 시스템이 요구된다. 현존하는 제조 시스템들은 경쟁이 치열한 새로운 환경에 적응할 수가 없다.

## 2. 생산시스템의 형태

대부분의 제조업체는 전용생산 라인과 유연 생산시스템을 적절히 혼용하고 있다.

**전용생산라인( DML 혹은 transfer line)**은 저가의 전용 자동화 기기로 구성되고 핵심부품을 대량 생산한다( Fig. 2 ). 각 라인은 하나의 부품을 다수의 공구로 동시에 구동하여 대량생산하도록 설계되어 있다. 수요가 클 때는 제조원가가 상대적으로 낮다. 전용라인은 수요가 공급을 초과하여 시스템이 최대 용량으로 가동되어야만 비용효율적이다.

그러나 글로벌한 경쟁과 시설과잉으로 인해 최대가 동되지 못하는 경우가 발생할 수 있다.

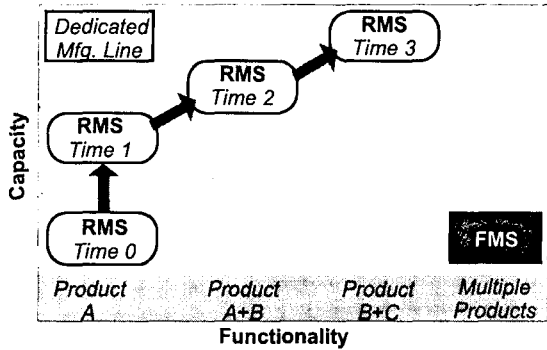


Fig. 2 Both DML and FMS are static systems, while an RMS is a dynamic, evolving system.

Table 1 Comparison between DML and FMS

DML	FMS
Limitations: Not flexible for a single part Fixed capacity not scalable	Limitations: Expensive Machine focus Low throughput single-tool machines
Advantages: Low cost Multi-tool operation	Advantages: Flexible Scalable

유연 생산 시스템(FMS)은 동일한 시스템에서 다양한 제품을 원하는 수량에 맞추어 생산할 수 있다. FMS는 고가의 범용 CNC 기계와 programmable 자동화 요소로 구성된다. 단일 공구를 사용하므로 throughput이 전용라인보다 낮고, 고가장비와 낮은 생산성 때문에 부품제조원가가 상대적으로 높다. 그러므로 통상 FMS의 생산용량은 전용라인보다 작고 초기비용이 높다(Fig. 2). 두 시스템간의 비교와 주요한 제약들이 Table 1에 보여지고 있다.

제품수요의 급격한 변화에 신속적이지 못한 전용라인은 대처할 수가 없다. 전용라인은 변화에 적응하게끔 설계되어 있지 않아, 생산용량이 모두 사용되지 않는 경우가 빈번하다. 최근 조사에 의하면 자동차부품 전용라인의 활용도는 53%에 지나지 않

는다<sup>(3)</sup>. 초기 생산, 혹은 주기가 끝나 가는 제품 생산 시에는 생산수량이 적기 때문에 평균 활용도가 낮다. 성숙기에 이르는 제품이라 할지라도 시스템 설계 당시의 예측이 항상 맞는 것은 아니기 때문이다.

유연성 있는 FMS는, 이론적으로 이런 문제를 해결할 수 있다. 이런 장점에도 불구하고 FMS가 널리 활용되고 있지 않다고 보고되고 있으며, FMS를 구매한 제조업체들이 그 성능에 불만족스러워하고 있는데<sup>(4)</sup>, FMS의 고비용이, 활용도와 만족도를 떨어지게 하는 주된 이유 중 하나이다. 전용라인과 달리 특정 부품 생산을 위해 설계되지 않았기 때문에 고가일 수밖에 없다. 제조업자가 기계를 선택하기 전에, 즉 공정계획이 이루어지기 전에, 범용 CNC 공작기계가 만들어 졌기 때문이다. 특정한 대상이 없기 때문에, 모든 기능을 갖춘 기계와 시스템을 만들게 되고 따라서 비용의 낭비가 생기게 된다. FMS는 (1) 모든 부품을 (2) 혼재하여 (3) 어떤 수순으로든 생산할 수 있어야한다는 것이 통상의 가정이다. 대형 공구 매거진과 다수의 공구 세트를 갖춘 고 마력, 범용 다축 기계를 필요로 하게 되어, 이러한 접근방식은 비용이 높아지게 한다.

**RMS - 새로운 범주의 시스템.** 시장변화에 비용 효율적으로 대응하기 위해서는 전용라인의 높은 throughput 과 FMS의 유연성을 결합하는 것 뿐만 아니라 변화에 신속하고 효과적으로 대응할 수 있는 새로운 생산 방식이 필요하다. 이것은 아래와 같이 달성될 수 있다.

- 시장 수요에 따라 적용되는 scalability와 새 제품에의 적응성을 갖춘 시스템과 이를 구성하는 기계의 설계; 구조 조절은 시스템 레벨(기계의 첨가)과 기계 레벨(하드웨어와 제어 소프트웨어의 변경; 주축의 첨가나 공구 매거진의 교환, 새로운 제어 장치의 통합 등)에서 가능
- 특정 제품군에 필요한 유연성을 갖춘 생산시스템의 설계

Table 2에서 보는 바와 같이, 이러한 특성을 가진 시스템은 RMS라는 새로운 클래스의 시스템이다. RMS는 생산성과 용량이 변화에 적응하는 것이 필수적인 경우에, 이에 대처하기 위하여 설계된다. 세 개의 잣대 - 용량, 기능성, 비용 -에 의해 RMS간

의 차이와 기존의 전용라인이나 FMS 방식과의 차이가 정의된다( Fig. 2 ).

Table 2 RMS combines features of dedicated and flexible systems.

	Dedicated	RMS/RMT	FMS/CNC
Machine Structure	Fixed	Adjustable	Fixed
System focus	Part	Part family	Machine
Scalability	No	Yes	Yes
Flexibility	No	Customized	General
Simult. Oper. Tool	Yes	Yes	No

조절 가능한 구조, scalability, 유연성에 의해, 대응형 시스템이 만들어 질 수 있으며, 부품군에 맞춘 주문형 유연성에 의해 비용 효율적인 시스템이 만들어 질 수 있다.

시스템 비용 대 용량 그래프에서 전용라인은 계획된 용량까지 비용이 일정하고 용량이 커지려면 추가로 고가의 라인이 부가되어야 한다. FMS는 일정한 비율로 scalable 하고( Fig. 3 ), RMS는 초기 시스템 설계와 시장여건에 따라 scalable 하다.

RMS의 주요 구성 요소는 CNC 기계와 재구성형 공작기계( Reconfigurable Machine Tool ; RMT ) - 주축을 추가하는 등 구조변화가 가능한 새로운 타입의 모듈형 기계 - 들이다. RMT와 더불어 개방형 구조 환경에서 신속히 변화 통합될 수 있는 재구성형 제어장치가 RMS의 성공을 위해서 필수적이다. 따라서, RMS의 정의는 다음과 같다.

**RMS는 급격한 시장변화나 범위의 변화에 대응하여 특정 부품군의 생산 용량이나 기능이 즉시 조절될 수 있도록, 구성 하드웨어, 소프트웨어, 그리고 시스템 구조가 신속히 변경 가능하게, 초기부터 설계되어진 시스템이다.**

만일 그렇게 재구성될 수 있게 처음부터 시스템이나 기계들이 설계되어 있지 않다면 재구성 과정 시간이 너무 많이 걸리고 비현실적이 될 것이다. 재구성을 위한 시스템이나 시스템의 설계와 재구성

방법론 같은 것이 현재는 존재하지 않는다. 그러나 재구성을 위해 개발된 핵심 기술들이 다수 존재한다.

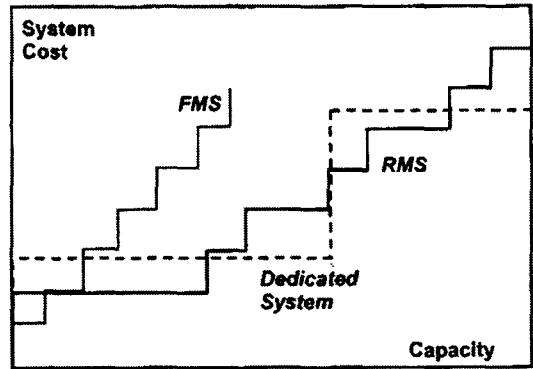


Fig. 3 Manufacturing system cost versus capacity ( or production rate )

### 3. 재구성을 위한 기반 기술

전용라인과 FMS의 공통점은 지정된 하드웨어와 소프트웨어의 사용이다. 예를 들자면, CNC 공작 기계의 파트 프로그램은 교환될 수 있지만 소프트웨어 구성이나 제어 알고리즘은 바꿀 수 없다. 그래서 이런 CNC 기계나 FMS는 정적인 시스템이며 재구성이 가능하지 않다. 처음부터 재구성을 위하여 설계된 생산시스템은 현재 없다. 그러나 지난 수년사이에 재구성을 가능케 하는 두 가지 기술이 대두되었다. 소프트웨어로서, 제어기의 재구성이 가능하게 하는 모듈형, 개방형 제어기<sup>(5)</sup>와 기계 하드웨어 기술로서, 고객에게 더욱 다양한 기계 선택 사양을 제공하기 위한 모듈형 공작기계<sup>(6)</sup> 기술이 출현되었다. 이 기술들은 재구성형 하드웨어 및 소프트웨어로 이루어진 시스템 설계 추세를 보여준다 ( Fig. 4 ).

RMS의 핵심은, 개방형 재구성 가능 제어기와 재구성 가능 모듈형 기계의 동시 설계가 통합된, 시스템 설계에 기반을 둔 재구성 방법론이다. RMS의 궁극적 목표는 (1) 전체 시스템, (2) 구성 하드웨어, (3) 제어 소프트웨어의 동시 재구성을 허용하는 생산 프로세스 설계에 체계적인 방법을 활용하는 것이다.

고정된 하드웨어와 소프트웨어를 사용하는 기존의 시스템과 달리 RMS은 재구성이 가능한 하드

웨어와 소프트웨어의 사용에 의해 시스템이 설계될 것이다. 그런 시스템은 시스템의 용량과 기능이 고정되지 않고 Fig. 2와 같이 시장변화에 의해 변화될 수 있다. 이런 새로운 시스템은 여러 종류의 부품을 생산하는 것 뿐 만이 아니고 시스템 자체의 변형에 대한 유연성을 갖게 한다. 재구성 가능한 시스템과 기계는 재구성이 가능하도록 처음부터 설계되어야하고 정형화된 인터페이스를 통하여 신속하게 통합될 수 있는 기본 하드웨어 / 소프트웨어 모듈로 만들어져야 한다. 개방성, 모듈형 기계구조에 대한 요구를 충족하기 위해서는, 모듈과 그들 사이의 인터페이스가 잘 정의된 방식에 따라 지정되어야 한다. 기계 모듈들을 보면, 기계, 동력, 그리고 정보 또는 제어 인터페이스 등 주요한 세 가지 인터페이스가 있다( Fig. 5 ).

	Fixed Machine Hardware	Reconfigurable Hardware
No software	Manual machines, Dedicated mfg. lines (DML)	-
Fixed control software	CNC machines, robots, Flexible mfg. systems	Modular CNC machines
Reconfigurable software	Modular, open-architecture controller	<b>RMS</b>
System configuration rules & economic modeling		

Fig. 4 Classes of manufacturing systems. RMS design not only combines reconfigurable hardware with reconfigurable software, but also includes systems perspective and economic modeling

**주요 특성.** 재구성형 시스템은 처음부터 재구성 가능하도록 설계되어야하고 신속하고 신뢰성 있게 통합될 수 있는 하드웨어/소프트웨어 모듈을 사용하여 만들어져야 한다. 그렇지 않으면 재구성과정에 많은 시간이 소요되고 비실용적이 된다. 이런 설계 목표를 이루기 위해 RMS는 아래와 같은 주요 특성을 갖추고 있어야 한다.

**Modularity.** RMS는 모든 주요 구성 요소( 구조물, 축, 제어기, 소프트웨어, 공구 )가 모듈형이어야 한다.

**Integrability.** 기계와 제어 모듈은 부품 통합을 위한 인터페이스와 함께 설계되어야 한다. 통합시스템의 성능은 구성 요소와 소프트웨어/하드웨어 모듈간 인터페이스의 성능을 기초로 하여 예측될 수 있다.

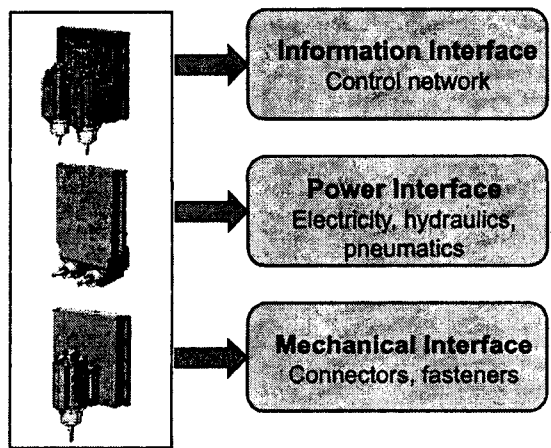


Fig. 5 Interfaces for machine modules.

**Customization.** 이 특성은 두 가지 측면 - 주문형 유연성과 주문형 제어기 -이 있다. 주문형 유연성이라는 것은 어떤 부품군에 대하여 기계를 구성하여 특정한 부품군에 필요한 유연성만을 제공함으로써 비용을 줄이는 것을 뜻한다. 주문형 제어기는 개방형 구조 기술의 도움에 의한 제어모듈의 통합에 의해 이루어진다.

**Convertibility.** RMS에서는 배치사이 변환시간이 작아지도록, 재구성 후 최적 공정 모드가 하루 안에 이루어져야한다. 전환에는 공구, 파이프프로그램, 고정구의 교환, 수동 조절 등이 필요하다.

**Diagnosability.** RMS에서 초기 가동 관리 시간을 줄이기 위해서는 수용 불가한 제품 품질의 검출이 필수적이다. 생산시스템이 재구성이 용이하도록 설계됨에 따라 재구성된 시스템이 안정된 품질의 부품을 생산하도록 신속히 튜닝하는 것이 매우 중요하게 되었다.

모듈성, 통합성, 자율 진단성은 재구성에 필요한 시간과 수고를 덜어 주고 주문성, 변환성은 경

비를 줄여준다. 따라서 이러한 RMS의 주요 특성들이 생산시스템의 reconfigurability의 용이성과 비용을 결정하게 된다. 이런 주요 특성을 지닌 시스템이 높은 재 구성도를 갖게 된다.

이어서,

- 시스템레벨의 RMS 설계
- 재구성 가능 공작기계
- 개방형 구조 환경에서의 재구성가능 제어기 설계
- 새로운 시스템 혹은 재구성된 시스템의 초기 가동 관리 시간 단축

을 위한 방법론 개발의 최근 동향을 알아보도록 한다.

#### 4. 연구 동향

신속한 재구성에 필요한 특성을 가진 모듈 구조의 공작기계 없이는 RMS는 진전이 있을 수 없다. 그러나 체계적 공작기계 설계 방법론과 인터페이스의 부재가 모듈화에 걸림돌이 되고 있다<sup>(1,7,8,9,10,11)</sup>. 소프트웨어나 제어기의 인터페이스보다 하드웨어적 연계가 훨씬 어렵다. 소프트웨어는 다분히 표준화 문제이고, 하드웨어 인터페이스는 기술적 복잡성 때문에 어렵다.

하드웨어 모듈화 연구가 문서화된 예가 많지 않은데, 첫 번째 규모 있는 연구로서, 일본 통상성 주관으로 1977년 시작되어 1983년 Tsukuba에 실험공장을 세운 FMC( Flexible Manufacturing system Complex provided with laser ) 프로젝트<sup>(12)</sup>를 들 수 있다. 오래 전에 수행되었으나 기본적 개념은 동일하다. Fig. 6은 모듈 기계 유닛과 조립 로봇으로 구성된 복합 가공 메카니즘의 개념 설계도이다. 모듈화된 가공 셀의 예도 보여지고 있다. 기계 모듈은 창고에 저장되어 있다가 생산품에 맞게 조립되게 된다. 생산이 끝나면 해체되어 모듈별로 저장된다. 모듈조합은 완전히 생산 목적에 부합되게 수행된다. 이 FMC 시스템은 정해진 칫수 범위 안에 드는 각주형 부품 생산을 위한 시스템이었다.

구주공동체( EU )에 의해 90년대 초에 시작된 대규모 연구사업에서, 구주의회 지원을 받은 보고서를 기초하여, 유럽 공작기계 제조업체의 생존 전

략이 수립되었다.

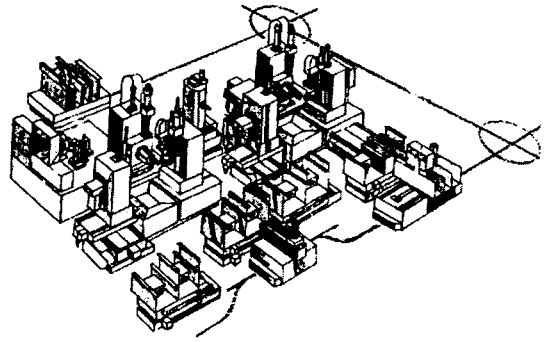


Fig. 6 The FMC project in Japan

보고서에서 주장하기를, 공작기계가 모듈별로 설계 제작된다면, 공작기계업체는 기계 전체보다는 특정한 모듈을 선정하여 전문화 할 수가 있다. 시스템 통합 업체가 수요자의 요구에 따라 모듈들을 조립하여 전체 기계를 만들게 된다. 이러한 전략은 공작기계를 자율적 기능 유닛들로 분리하여 그것들의 플러그 앤 플레이 개념의 조합으로 특정한 수요를 위한 전체 시스템을 만들 수 있어야 한다. 이러한 목적을 달성하기 위한 몇 개의 유럽 프로젝트가 완료되었거나 수행되고 있다. 하노버 대학에 의해 주도되고 있는 유럽 MOSYN( Modular Synthesis of Advanced Machine Tool ) 프로젝트는 모듈 공작기계의 고객요구에 의한 구성에 주안점을 두고 있다. KERNEL이라는 프로젝트에서는 동일한 축 모듈을 사용하는 두 개의 다른 모듈형 공작기계를 개발하고 있다. 슈트트가르트 대학의 Special Research Program 467은 다양한 제품을 생산할 수 있는 변형 가능 사업체 구조에 중점을 두고 있다. SRP 467의 서브 프로젝트로서 RMS는 기계가공 시스템의 용량적, 기능적 재구성 구현을 위한 기본 연구를 과제하고 있다. 이 연구는 급격한 환경 변화에 의한 생산 현황에 공작기계 용량과 기능성의 단기 적응을 위한 것이다<sup>(14)</sup>. Fig. 7의 예와 같은 동일한 모듈의 다른 기계에서의 활용과 인터페이스 설계가 이 프로젝트의 주요 연구 이슈이며, MOTION( Modular Technologies for Intelligent Motion Unit with Linear Motor and Axis Control )<sup>(15,16)</sup>이라는 연구도 같은 이슈를 가지고 있다.

1966년 NSF와 25개 기업체에 의해 미시건 대학 내에 Engineering Center of Reconfigurable

Machining Systems( ERC/RMS )가 RMS의 총체적 개발을 위하여 설립되었다. ERC/RMS에는 (1) 재구성 가능 시스템의 설계 리드타임의 단축 (2) 재구성 가능 기계와 제어기의 설계 (3) 초기 가동 관리 시간의 단축 등의 세 분야의 연구를 위해 100여명의 연구원이 있다. 이 센터는 재구성 가능 공작기계에 대한 특허를 보유하고 있다<sup>(17)</sup>. ERC/RMS는 모듈 기계의 결합 뿐 아니라 RMS의 설계와 운영 방법론에 대한 연구를 수행한다. 시스템 구성 해석과 설계, 경제성 모델링, 재 구성가능 공작기계 합성, RMS의 캘리브레이션과 초기 가동 관리 등을 포함한다.

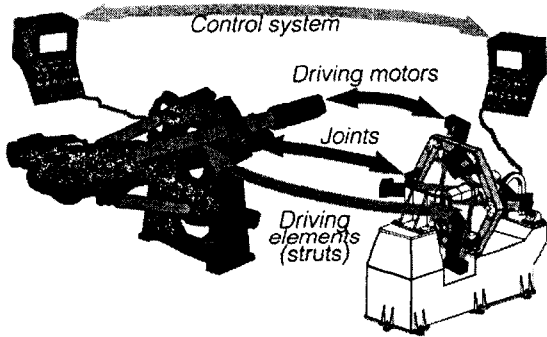


Fig. 7 Exchangeability of modules.

카네기 멜론 대학에서 개발된 Reconfigurable Modular Manipulator System은 플러그 앤 플레이 타입의 모듈들로 구성되어 있다. 모듈들은 주어진 업무를 수행하기 위한 기구학적 동적 특성을 갖는 여러 가지 구성 형태들로 조합될 수 있다. 유사한 개념의 셀 로봇이 일본에서도 개발되었는데 모듈을 조합하여 복잡한 형태의 로봇을 구성한다<sup>(19)</sup>. Intelligent Manufacturing System 개발을 위한 국제 공동 사업에서도 모듈화, 재 구성화에 대한 연구를 수행하고 있다<sup>(20)</sup>.

최근 미국의 National Research Council에 의해 수행된 Visionary Manufacturing Challenges for 2020에 관한 Delphi 조사에 의하면 미래 생산기술을 위한 6개 중대 과제 중 RMS가 가장 중요성이 높은 것으로 나타났다<sup>(21)</sup>. RMS의 여러 문제에 대하여 미국전역에 걸쳐 연구가 수행되고 있다<sup>(22)</sup>.

제어에 관하여서는 개방형 제어 구조에 초점이 맞추어져 있다. 개방형 구조 제어시스템에 관한 세 개 주요 연구는 EU의 OSACA와 이의 후속연구인

독일의 HUMNOS, 일본의 OSEC, 그리고 북미의 OMAC-TEAM 프로젝트이다. 제어시스템의 표준 구조를 제안하기 위한 OSACA는 슈트트가르트, 아헨 대학과 산업체간의 협동연구로 1992년 시작되었다. OSACA의 주요 결과는 기계 제어시스템을 위한 벤더 중립적인 개방형 구조의 객체지향 설계와 사양제시이다. OMAC은 벤더들이 제어기 제품과 서비스를 항공 및 자동차 산업에 판매할 때 사용할 수 있는 API( Application programming interfaces ) 셋을 개발하는데 있다.

개방성을 갖추고자 아울러, 미래의 재구성 가능 공작기계는 분산된 이질적인 환경에서 사용되어야 한다. 상기 프로젝트들은 이런 것들이 명확히 고려되어 있지 않다. 이런 면에서, 실시간 커널인 VIRTUOSO를 사용하는, HEDRA( Heterogeneous and Distributed real-time Architecture )를 주목할 필요가 있다. MOTION 프로젝트에서도 수 개의 지적인 일자유도 직선운동 제어 모듈들을 통합할 때 발생하는 동기화 및 보간 문제를 해결하고자 하고 있다.

몇 개의 공작기계 업체들은 적절한 가격에 주문형 시스템을 공급하기 위해 현재의 제품을 모듈화 시스템으로 개발하고 있다. 그런 모듈화 시스템은 전용라인과 더불어 수직형, 수평형 터닝센터 등이 있다. 그러나, 다른 제조업체에서 만들어진 모듈들을 조합하여 시스템을 만들기 위해서는 기계적 인터페이스를 위한 표준화가 선행되어야 한다. 정보기술의 정보화와 비교할 때 그런 기계적 인터페이스에는 아직 까지 팔목할 만 한 실적이 없다<sup>(24)</sup>. 제조업체간 제품의 표준화는, 사용자들이 같은 모듈을 다른 기계에 사용할 수 있음으로 해서, 기계 품질이 개선되고 비용이 절감되며 기계의 재 구성성을 용이하게 하는 이점이 있다. 향후 5-10년 사이 생산시스템 개발 기술을 평가하기 위한 방편으로 UM ERC/RMS에서 수행한 조사에서는, 전문가들에게 지식을 기반으로 하여 예측을 하게 하고 그 판단 이유를 제시하게 하였는데, 두 가지 주된 목적을 달성하였다. (1) FMS 같은 현존 생산시스템 활용 관련 결과를 조사하고 (2) 미래 생산 설비로서 RMS의 가능한 역할, 당위성, 기반 기술을 검토하였다. 두 번째 목적의 일부로서, 이러한 이점들을 달성하기 위한 주요 기반기술들이 인식되었다. 이 조사의 결과는 ERC/RMS의 보고서에 정리되어 있다<sup>(4)</sup>. 주요 결론은, 요구되는 응답성을 얻기 위해서

는, 생산시스템이 전체 시스템으로서 평가되고 설계되며 최적화 되어야 한다는 것이다. 이를 성취하는 데에 있어서, 주요 장애 요소는, 공정, 장비, 생산 및 유지비용과 초기투자간의 trade-off 관계를 분석할 방법론과 도구가 없다는 것이다.

### 5. RMS의 시스템 레벨 설계 이슈

가변적인 수요는 생산시스템의 용량과 공정기능에 대한 요구의 변화를 필요로 한다. RMS는 새로운 여건에 용량과 기능을 신속히 적응할 수 있으므로 이런 필요성을 충족시킬 수 있다. 이런 적응성은 다른 변종의 제품을 생산할 수 있도록 시스템을 단기에 변형할 수 있게 한다. 시스템에 신상품 적응성을 부여하고 장기적으로 높은 이윤 대비 비용을 보장한다<sup>(2, 25)</sup>.

FMS와 유사하게 RMS는 자동화된 부품 및 공구 공급장치를 가지고 있다. 공급장치의 구조는 생산성, 부품 품질, 그리고 시스템의 신뢰성에 지대한 영향을 미친다<sup>(30, 31)</sup>.

**전 생애 경제성.** 불확실한 시장여건에서 생산시스템의 전 생애 경비를 고려하면, RMS이 FMS보다 혹은 전용라인보다도 경제적이다. RMS가 저 비용인 이유는 RMS가 생산 용량과 가능성을 필요에 따라 정확히 설치하고, 장래에 필요한 정확한 시점에서 용량과 성능을 업그레이드 할 수 있기 때문이다. 기능성의 확장은, 같은 시스템으로 동일 부품군의 새로운 부품을 가공할 수 있게 하고, 이는 시스템의 수명 연장을 뜻한다. RMS는 필요할 때 여분의 용량을 첨가할 수 있게 하기 때문에 전용라인이 가지고 있는 저 활용도 문제가 없다. 기능성도 필요한 때에 정확히 부연하기 때문에 FMS의 불필요한 기능에 대한 투자문제도 없다.

**정의.** 시스템 구성은 기계군과 그들 사이의 연계로 정의된다. 기계군은 모듈들로 구성된다. 시스템 레벨에서의 구성 업무는 다음과 같다.

“(a) 부품이나 부품군 (b) 수량 (c) <i> 기계 모듈 세트( 형상, 인터페이스, 기구구조, 강성으로 표현 ) <ii> 모듈 조립상의 제약 <iii> 기계 세트( 기구구조와 공정으로 표현 )에 대한 목록 (d) 부품상의 공정 허용 수순에 대한 제약이 주어졌을 때, 이런 모든 요구를 충족하는 시스템 구성

을 만들거나, 현재 주어진 기계나 기계 모듈 세트들의 불 완전성을 검출하는 것“

가능한 시스템 구성형태는 매우 많다. 6개의 기계로, 직렬, 병렬, 그리고 52가지 혼합형 등 54가지의 시스템 구성형태를 만들 수 있다. 각 구성형태는 throughput( 신뢰성, 속도, 요구 수량의 함수 )과 부품 품질과 비용 측면에서 평가되어야 한다. 이리려면 대안들의 비교 평가가 매우 어려워지므로 생산라인 설계를 위해 시뮬레이션 소프트웨어나 throughput 평가 도구들이 많이 쓰인다. 그러나 이런 도구들은 부품 품질에 대한 고려가 없기 때문에 품질과 throughput 간의 trade-off가 동시에 수행될 수가 없다. 시스템 구성 형태에 대한 신속한 throughput-품질 통합 평가를 위한 새로운 알고리즘이 (30)에 제안되었다. 개별 사안에 대해 수요 시나리오는 평가하지만, 시스템 life-cycle 동안 형성될 수 있는 새로운 구성형태에 대한 시스템 최적화는 수행하지 않는 제한이 있다. 최적 가변 시스템 구성형태 결정을 위한 연구가 진행되고 있다.

대개의 경우 경제성 평가만으로는 충분치 않고 시스템의 동특성이 고려되어야 한다. 변화 대응성, 환경영향, 기존 생산시스템과의 조화 등을 고려하여 구성형태의 대안들에 대한 순위가 주어져야 한다. AHP( Analytical Hierarchical Process ) 방법론과 ELECTRE 방법론<sup>(3)</sup>은 다양한 목적함수에 가중치를 주는 여러 가지 수단을 제공한다. (32)에서는 multi-criteria genetic algorithm을 사용하여 공작기계 구조형태를 개념설계 단계에서 최적화 한다. 최적화 criteria는 정적/동적 강성, 작업공간이다.

**모듈 구조.** RMS는 가변성을 위해 모듈구조를 필요로 한다<sup>(33,34)</sup>. RMS 개발의 궁극적 목표는 다른 생산시스템간에 신속히 교환될 수 있는 기계 모듈의 개발이다. 이런 교환성은 동일한 기계 및 제어 기 구조와 모듈간 연계를 위한 인터페이스 표준화를 통하여 이룰 수 있다.

순쉬운 재구성을 보장하기 위해서는 하드웨어의 업데이트 뿐 만 아니라 운영 및 제어 소프트웨어도 플랫폼의 새로운 특성을 고려해야 한다. 이것은 소재와 공구와 정보의 원활한 흐름을 위해 필요하다. 초기 FMS 실패의 주요 원인 중 하나가 시스템 관리 문제라는 것을 주지할 필요가 있다. RMS에서는 관리 프로그램이 상이한 시스템 구성 형태에도 적용될 수 있어야한다. ERC/RMS에서 수행되



는 OpenFront 프로젝트에서는 새로운 시스템 구성 형태를 관리할 수 있는 제어소프트웨어를 개발하고 있다<sup>(35)</sup>.

생산량 변화에 대응하기 위한 간단한 수단으로 가공시스템 안의 동작기계를 가감하는 것을 생각할 수 있다. Fig. 8은 Toyota Machine Work에서 제안되고 구현된 재구성가능 전용라인의 예를 보여준다. 그 라인은 각기 다른 절삭 용량을 가진 다섯 개의 기본 모듈형 기본 기계들로 구성되어 있고 각 기계는 자동 공구 교환 장치로 구성되어 있다. Toyota는 유연성 있는 모듈화 고정구와 가공물 이송 유닛이 재구성가능 전용라인의 성공요인이라고 주장한다.

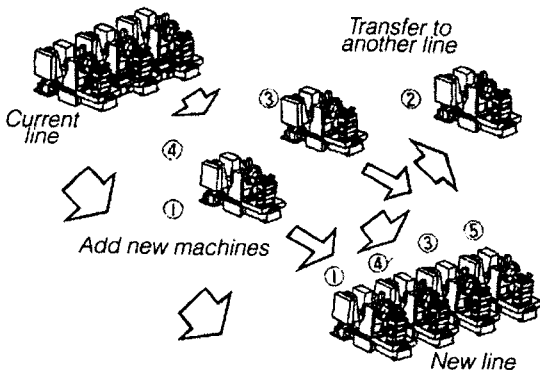


Fig. 8 Exchangeability of modules.

RMS에서 모듈구조의 영향은 모듈화의 정도 선택에 따라 달라진다. 예를 들어 FMS와 같이 RMS를 구성하는데 동작기계를 모듈로 사용할 수 있다(Fig. 9). 공작물에 따른 sub-assembly( 주축유닛, 공작물 반송 유닛 ), 표준 sub-assembly ( column ), 기본기계 사이에 모듈의 호환이 이루어지도록, 생산시스템을 다른 레벨로 세분화하는 예도 있다.

가공시스템의 기능은 주 기능과 보조기능으로 나눌 수 있다. 주 기능은 가공공정간 힘의 이동 상에 있고 능동기능과 수동기능으로 분류된다. 능동 주 기능은 절삭력을 특징 지우고 동적 기능을 표현한다. 상호 교환되고 통합될 수 있는 모듈들은 하나의 세트로 표현된다. 모듈 세트는 모듈간 연결을 위한 인터페이스의 표준화를 통해 구현될 수 있다.

인터페이스. RMS의 구현과 모듈화를 위해서는 인터페이스의 표준화가 요구되는데, 국제, 국가, 사

내 인터페이스용으로 구분된다. 공구 고정구인 hollow shank같은 것이 기존의 국제 및 국가 표준 인터페이스 예이다. 이송단면, 인덱싱 모듈, 팔렛의 고정장치 등도 표준화되어 있으나, 구동요소, 이송장치 등은 표준화되어 있지 않아 다른 시스템간 에 팔렛을 교환하는데 장애가 되고 있다.

가공시스템의 인터페이스는 다음과 같이 세 개의 타입으로 분류된다.

- 시스템-인터페이스는 가공시스템간의 연계를 위한 것으로 생산시스템에 다수의 기계를 통합하는데 필요하다.
- 모듈 인터페이스는 개별 모듈간의 연계를 위한 것이고 다른 제조업체들의 모듈들을 하나의 가공시스템에 통합하는데 필요하다.
- 서브 모듈 인터페이스는 서브 모듈의 조합으로 모듈을 형성할 수 있도록 하기 위해 모듈 내부의 연계를 결정한다. 예를 들어 여러 구동모터를 하나의 주축유닛에 달 수 있도록 한다. 이 레벨의 인터페이스는 제조업체들이 모듈을 개발하는데 있어서 창의성과 속도에 지장을 초래할 가능성도 있어 표준화가 그렇게 유용하지 못하다.

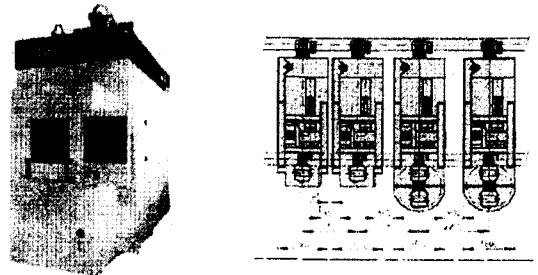


Fig. 9 Machining centers as modules of a large machining system

가공시스템을 구성하는 측면에서는 주로 모듈간의 인터페이스만 고려된다. 인터페이스는 기계적 인터페이스와 정보, 에너지, 부수적 소재 이송을 위한 인터페이스들로 구분된다. 기계적 인터페이스는 힘과 모멘트를 전달하고 구성요소들을 정렬시키며 함께 고정한다. 기계적 인터페이스는 동적, 정적 인터페이스로 분류된다.

## 6. 재구성형 공작기계

기계레벨 설계의 핵심 엔지니어링 방법론은 (i) 모듈화 재구성가능 기계의 체계적 설계 방법론과 (ii) 개방형 제어기의 설계 원칙들이다. 기계 설계 방법론은, 기본 운동을 제공할 수 있는 기계 모듈의 라이브러리를 활용하는 것을 포함하여야 한다. 이 수학적인 방법에 의해 RMT라는 새로운 형태의 기계가 생성될 수 있다.

가공시스템의 경우, 재구성가능 기계는 선삭, 밀링, 드릴링, 탭핑 혹은 이들의 복합공정을 수행하여야 한다. 넓은 의미의 생산시스템의 경우, 절삭, 열처리, 조립, 검사 등이 고려되어야 하지만, 여기서는 절삭가공 공정에 국한하기로 한다. 이 경우 비용, 생산성, 품질, 재구성 시간을 고려한 최적의 재구성 가능 시스템 설계가 관건이다.

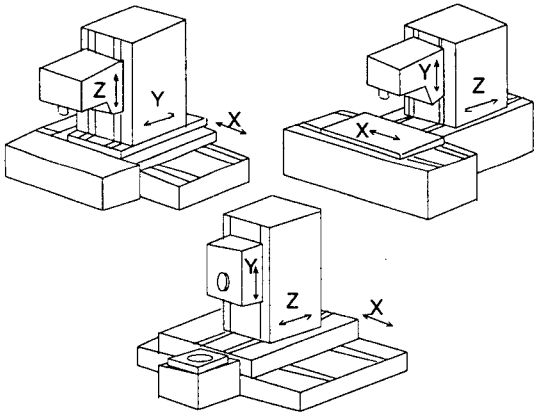


Fig. 10 Modular machining centers.

구성 모듈의 단순 제거, 첨가, 혹은 교환에 의해 시스템이 재구성되게 하기 위해서는 공작기계의 모듈설계가 핵심 기술이다. Fig. 10은 통상적인 3축 모듈형 머시닝센터를 보여주고 있는데, 이런 타입의 공작기계의 재구성용이성을 높이는 문제에 중점을 두도록 한다.

**제품의 다양성.** RMT의 주목적은 생산될 제품이나 부품의 다양한 변화에 대처하기 위한 것이다. 아래와 같은 변화들이 고려되어야 한다.

- (a) 가공물 크기
- (b) 부품 형상과 복잡도

- (c) 생산량과 생산율
- (d) 요구 공정
- (e) 기하학적 정밀도, 표면품질 등 요구정밀도
- (f) 소재종류, 경도 등 소재 특성

**가공물 크기변화에 따른 reconfigurability.** 가공물 크기의 단순한 변화들은, 칼럼, 테이블, 주축 유닛 등 기계 유닛들을 다양한 크기로 준비하는 것으로 대응될 수 있다.

**가공물 형상변화에 따른 reconfigurability.** 가공물의 복잡도 때문에 기계의 기능이 높아져야할 경우, 새로운 가동 유닛을 첨부하던가 자유도가 높은 유닛으로 교환하여, 가동 축의 수효를 늘림으로써 해결한다. Fig. 11은 5축 머시닝센터의 가능한 재구성을 예시하고 있다.

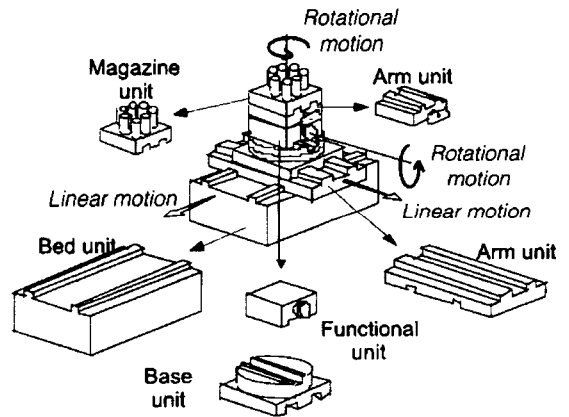


Fig. 11 Assembly of modules for a rotary axis.

**생산량과 생산율 변화를 위한 reconfigurability.** 생산율을 높이기 위해서는 주축 유닛을 단축에서 복수축으로 교환한다. 주축이 여러 속도역과 출력을 갖도록 모듈화 되기도 한다.

**공정변화에 따른 reconfigurability.** 공정변화에 대응하기 위해서는 절삭공구 뿐만 아니라 공작기계 구성형태도 변화되어야 하는 경우가 있다. 터닝센터에서 고정된 공구대를 대체한 밀링 축을 사용하여 터닝뿐 아니라 밀링, 드릴링도 수행할 수 있다. 필요하면 터닝센터에 연삭 기능을 첨부하는 시도도 이루어지고 있다. Fig. 12는 부품이 복수 공구에 의해 드릴링, 밀링, 선삭되는 수직형 터닝센터의 상면도를 보여주고 있다.

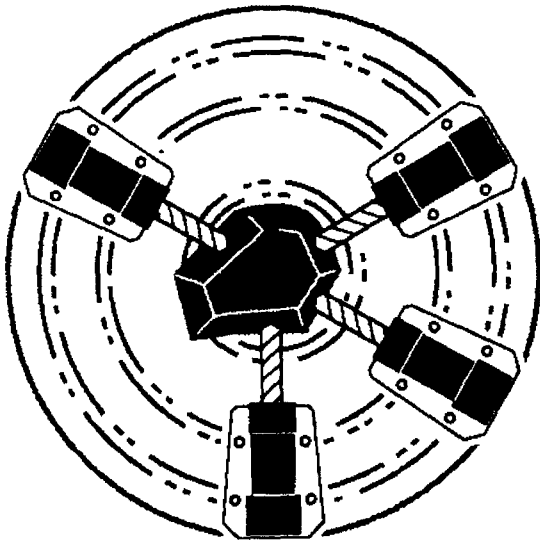


Fig. 12 Top view of a vertical turning-milling center with multiple spindles.

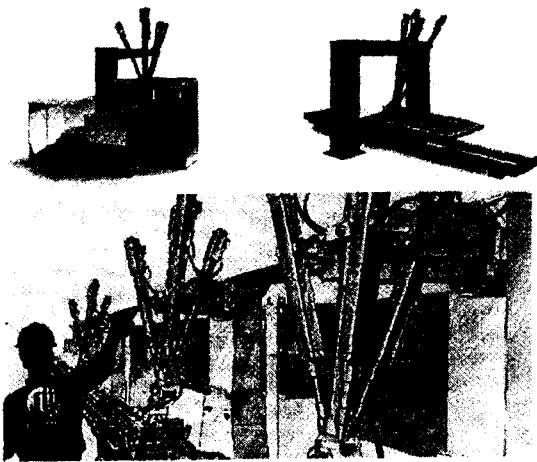


Fig. 13 Tripod-kinematic machines integrated into a machining line

가공정밀도에 따른 **reconfigurability**. RMT는 각기 인터페이스를 가지고 있는 모듈들로 구성되어 있다. 그런 경우 기하학 형상에 의해 정의되는 기계적 인터페이스들이 공차와 연계되어 있다.

바람직하지 못한 공차의 누적이나 추가는 재구성 후 정밀도에 악영향을 미친다. 기계정밀도는, 공

구와 가공물간의 복합 운동과, 모듈과 인터페이스들의 상대적인 배열에 의해, 결정되기 때문에, 단순히 정밀도가 높은 요소로 대체하는 것으로는 기계정밀도가 높아지기 어렵다. 기계의 정적/동적 강성, 열변형 등도 정밀도에 영향을 미친다.

**Parallel Mechanism**을 사용하는 **RMS**. 평행기구 기구는 RMT의 특별한 클래스라고 볼 수 있고, strut( 고정길이 가변 길이 )의 타입과 구동방식( 리니어 구동, 볼 스크루 구동, 랙 앤드 피니언 구동 등 )에 따라 분류된다<sup>(37)</sup>. 현존하는 평행기구기계의 기술적 원리에 대한 조사 분석이 (38, 39, 40)에 보고되어 있다.

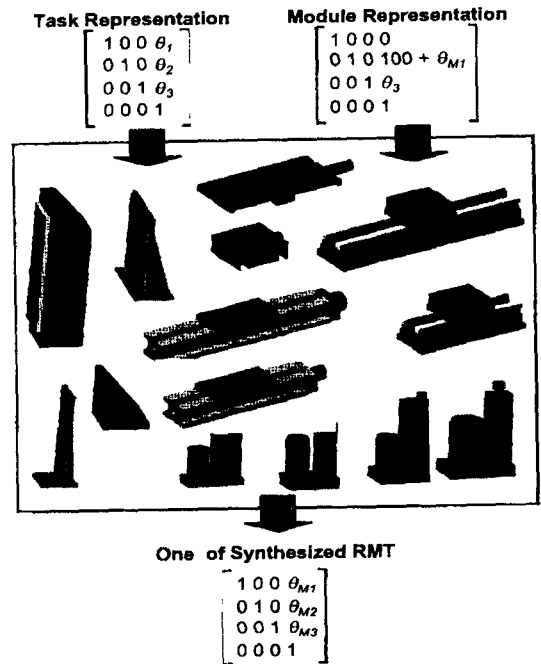


Fig. 14 The process of a formal design method for RMTs.

대부분의 평행 기구는 strut의 수요, 사양, 구조에 따라, tripod나 hexapod 시스템으로 구현되어 있다. 피구동 질량이 작고 강성이 높은 특성을 가지고 있으며<sup>(24)</sup> 단순하고 동일한 모듈로 구성되어 있다<sup>(41)</sup>. 이런 모듈들로 다른 형태의 기계를 구성할 수 있다. 많은 동일한 모듈을 사용한다는 것은 구동요소, joint, 모듈 인터페이스가 표준화되어 있음

Capability	Meaning	Hardware options	Software options
Modular	decentralized structures are supported	Standardized and distributed comm. systems	distributed appl. modules
Interoperable	components can cooperate		standardized data exchange
Portable	integr. of components in diff. environments	processor upgrade	standardized API
Scalable	increased performance, topology can be modified		parallel software tasks
Extendable	functionality can be enhanced	additional plug-in cards	addtl. application modules

Fig. 15 Capabilities of a control system for reconfigurable machines.

을 뜻한다. 평행기구 기계는 자동 공작물 이송 장치를 갖춘 실린더, 블록 가공용 전동라인의 특정 모듈들로 사용될 수 있고 관제가공용 레이저센터 구성을 위해서도 활용할 수 있다( Fig. 13 ).

**Challenges** 공작기계 모듈 설계 개념은 새로운 것이 아니지만 실용적으로 활용되고 있지는 못하다. 모듈화 및 재구성 가능 설계의 주요 문제점은 다음과 같다.

(1) RMT의 설계 방법론; RMT를 합성하기 위한 수학적인 framework 개발과 증명이 주된 과제이다. UM ERC에서는 RMT 합성을 위한 수학적 이론을 개발하고 있는데<sup>(42)</sup>,

- 모듈들의 기계적( 기구학적, 구조적 ) 기능을 표현할 수 있는 수식적이고 통일된 표현방법 개발
- 기계 모듈의 라이브러리 작성( Fig. 14 )
- 스크류 이론( Fig. 14 )과 그래프 이론을 사용하는 RMT의 체계적 합성 방법론을 포함하고 있다.

(2) 인터페이스 ; 공작기계의 요구정밀도를 충족하도록 조립하는 것이 용이치 않다. 조립될 모듈간의 인터페이스들이 표준화 되어야하고 정밀하게 제조되어야 한다. 신속하게 측정하고 모듈간의 정렬을 조절할 수 있는 방법론 또한 개발되어야 한다. 인터페이스 상에서 정적 동적 강성을 줄이는 것도 해결하여야 할 과제이다.

(3) 모듈의 자율성; 대부분의 가동 및 구동 유닛은 전원이 공급되어야 하고 제어기에 전선을 통하여 연결되어 있다. 어떤 유닛은 유압과 공압을 필요로 한다( Fig. 5 상 ). 배선 및 배관은 난잡하고 유압 기기는 기계유닛 배치에 장애가 된다. 따라서 각 유닛은 자율적이고 독립적으로 가동되는 것이 바람직하다.

결론적으로 생산량의 변화에 적응하기 위해 기계 시스템과 공작기계가 대체되거나 새로운 공작기계가 도입되어 왔으나, 변화가 커지고 변화의 주기가 짧아짐에 따라, 이 방법은 더 이상 비용 효율적이지 못하다. 모듈화된 기계에 의해 가공시스템과 공작기계를 재구성될 수 있게 함으로써 이 문제를 해결할 수 있을 것으로 기대된다.

## 7. 개방형구조의 재구성형 기계 제어

기계 모듈의 라이브러리를 구축하는 것과 마찬가지로 제어 소프트웨어 요소( 서보제어 알고리즘, 온도 제어 알고리즘, 보간 등 )도 분류되고 재사용을 위해 저장될 수 있다. 모듈들은 용도에 맞게 선택되어 "control configurator"라는 방법에 의해 구성된다. "control configurator"는 선택된 기계의 연속 및 불연속 제어를 위해 모듈들을 제어기로 통합하고, 실시간 제약을 자동으로 체크한다.

기계 부품의 모듈화 설계는 해당 제어 장비에 대한 요구조건에 직접적인 영향을 미친다. 재구성 가능기계의 모듈화 구성을 지원하기 위해서는 제어 시스템이 개방형 구조 원칙에 의해 설계되어야 한다. IEEE는 개방형시스템을 정의하기를, 응용프로그램들이 여러 벤더에 의해 제공되는 다양한 플랫폼에서 운영되고, 다른 시스템 응용프로그램과 상호 연계할 수 있으며 사용자 상호 작용을 일관된 형태로 제공할 수 있게 하는 것이라고 한다<sup>(43)</sup>. 제어기의 개방성은 제어 시스템 안의 하드웨어 / 소프트웨어요소들을 작업장에 설치된 이후라도 통합, 확장, 환, 재사용 할 수 있게 하는 기술이다( Fig. 15 ). 통합의 유연성을 극대화하기 위해서, 소프트웨어 모듈의 재사용과 분산이 반드시 이루어져야 한다. 이런 목적을 달성하기 위해서는 특정한 대상에 제한되지 않으며 어떤 하드웨어에도 적용 될 수 있

는 중립 시스템 플랫폼이 필수적이다<sup>(44)</sup>. 응용소프트웨어에 중립적 인터페이스를 제공하기 위해서는 시스템 플랫폼은 모든 제어 시스템의 모든 특정한 부품들을 포함하고 있어야 한다. 시스템 플랫폼은 컴퓨터보드, 플러그인 카드, 제어 네트워크에 의해 연결된 지적 I/O 등의 전자장비를 기반으로 한다. 그 플랫폼 위에 응용소프트웨어의 개방성을 지원하는데 필요한 기능성을 제공하는 시스템 소프트웨어가 있다.

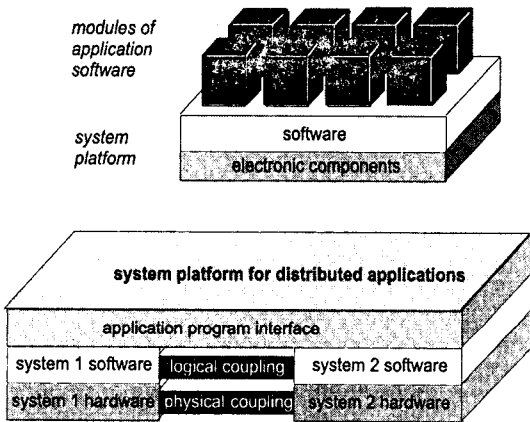


Fig. 16 Structure of the system platform( top ) of an open controller architecture( bottom )

응용 모듈의 요구되는 기능으로부터 시스템 소프트웨어의 기본 기능이 유추될 수 있다( Fig. 16 ). 응용 모듈에 요구되는 portability에 의해, 정형화된 API의 정의의 필요성이 제기된다. API를 제공하는 모든 시스템 플랫폼에 모듈들이 장착될 수 있게 된다. 시스템 안의 어떤 모듈의 위치를 바꾸고 이로 인해 topology가 바뀔으로써 configuration이 바뀔 수 있게 한다. 이상과 같이 정의된 개방형 제어 시스템의 시스템 소프트웨어는 적어도 세 개의 요소를 포함하고 있어야 한다.

- (i) 모듈을 실행하기 위한 operating 시스템이나 run-time 시스템
- (ii) 모듈들을 제어의 boot-up에서 실행 시스템에 통합하기 위한 configuration 시스템
- (iii) 표준 프로토콜을 기반으로 모듈간의 정보 교환을 가능하게 하는 통신 시스템

통신 네트워크 bandwidth로 제기되는 실시간 제약 문제에 대한 이슈들이 (45)에 토의되고 있다. 통합된 제어요소들이 제어 시스템 플랫폼에 의존적이지는 않지만( Fig.16 상 ) 응용소프트웨어를 위해 통일된 API 셋이 제공되기 때문에 사용자는 플랫폼이 인식되지 않는다. API가 모든 하드웨어 특성을 가려주고 분산된 제어 시스템들에서도 단일한 시스템 플랫폼을 제공한다. 그런 시스템 플랫폼의 예로 Object Management Group의 CORBA와 Microsoft사의 DCOM을 들 수 있다. 유럽의 OSACA<sup>(46)</sup>는 상이한 operating 시스템에 손쉽게 porting 되어 실시간 기능을 제공한다. MS Window 류, OS-9, VxWorks 같은 실시간 OS, UNIX류 등 여러 OS에 porting 되었다.

이상과 같은 제어 시스템 플랫폼의 원칙과 시스템 독립적인 API를 사용하여, 모듈화 되고 유연한 방식으로 응용소프트웨어들이 개발되고 기능이 구현될 수 있다. 기계와 관련 제어소프트웨어의 동시 공학적 설계를 지원하기 위하여서는 기계요소와 소프트웨어요소들이 서로 대응되는 것이 유용하다( Fig. 17 ).

제어 소프트웨어 요소는 모듈 라이브러리에 저장된다. 필요한 모듈들을 선택하고 모듈간의 통신 인터페이스를 통하여 연계함으로써 새로운 제어기의 구조형태가 생성된다. 구조 생성 후 제어기의 코드가 생성된다. 구조형태생성을 위한 도구의 프로토타입 들이 MOWIMA와 HUMNOS<sup>(47)</sup> 프로젝트에 의해 개발되었다.

### 8. 시스템의 초기 가동 관리

신제품 개발 주기 단축, 수요변화에 대한 대응을 위해서는 초기 가동 관리 시간의 단축을 위한 노력이 필요하다. 초기 가동 관리 시간의 정의는 다음과 같다.

장비와 작업자가 생산성에 미치는 영향을 고려해서, 새로 형성되거나 재구성된 생산시스템의 throughput과 품질이 안정적인 레벨에 이를 때까지 소요되는 시간

RMS에서는 신상품 생산을 위한 변환이 자주 있기 때문에, 설치 혹은 재구성 후 초기 가동 관리

가 신속히 수행되는 것이 RMS 성공의 관건이다. 품질 문제 원인 분석의 체계적인 방법론과 신속한 실시간 측정방법이 신속한 초기 가동 관리의 요건이다.

초기 가동 관리 시간 단축을 위해서는 시스템 레벨과 기계 레벨에서, 진단 및 초기 가동 관리 방법론이 필요하다. 생산시스템이 재구성과 기능 및 레이아웃 변경이 자주 일어나려면, 고품질의 부품이 생산되도록 새로이 재구성된 시스템을 신속히 튜닝하는 것이 매우 중요하다.

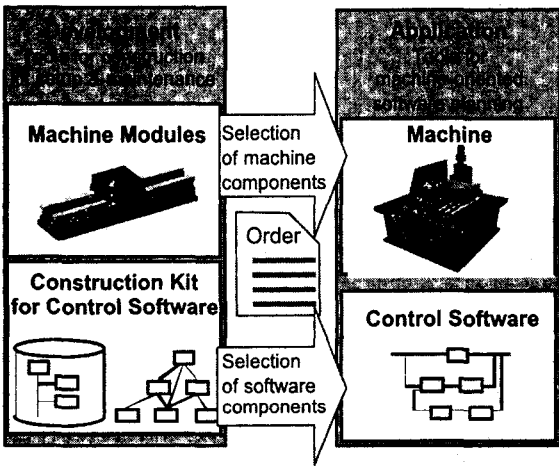


Fig. 17 Concurrent Engineering of structure of Machine and Control Software

재구성 후 제품품질 이상이 발생할 가능성이 있는 이유는, 재구성가능 기계가 모듈별로 인터페이스를 갖도록 설계되어 있기 때문으로<sup>(24)</sup>, 이들의 조립 후 진단, 캘리브레이션, 보정 과정이 필수적이다. 따라서 RMS는 자체적으로 품질 측정 시스템을 내장하도록 설계되어야 한다.

Fig. 18에 필요한 기본 엔지니어링 스템이 요약되어 있다. 측정과정에서는 부품 치수, 축 위치, 절삭력 등에 따라 센서 모듈의 타입과 형태를 결정하게 된다. 진단 과정에서는 센서 정보를 사용하여 기계와 고정구의 형상오차, 공구파손 등을 감지한다. 측정과 진단 방법론 오류나 품질문제의 원인을 규명할 수 있어야한다. 보정 과정에서는 캘리브레이션, 공정 파라미터 조절, 보수 등 보정에 필요한 조치가 자동 혹은 수동으로 이루어져야 한다.

재구성 할 때마다 시스템의 초기 가동 관리가

신속히 이루어지려면, 특정 상황에 따라 단계적으로 선택된 제품 특성이나 공정 변수를 측정할 필요가 있다.

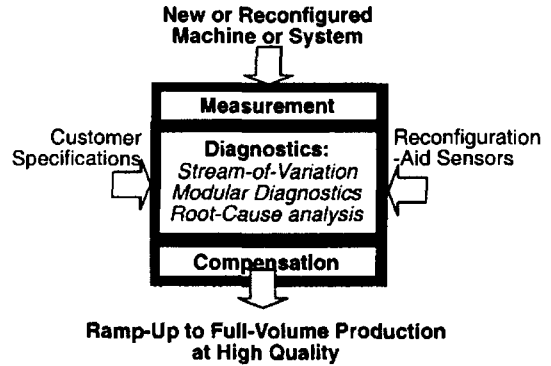


Fig. 18 Ramp-up process of RMS

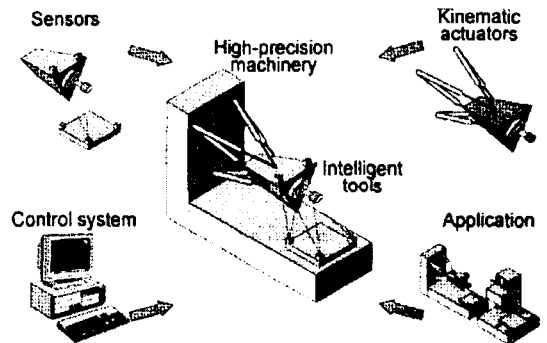


Fig. 19 ACCOMAT system for 3-D measurement

이런 목적을 달성하려면 재구성 가능한 센서와 측정도구 그리고 신뢰성 있는 제어도구가 있어야한다. RMS의 복합적 구조 때문에 레이저 간섭기 같은 기존의 공차 결정을 위한 측정 기술들이 더 이상 유용하지 못하다. 따라서, 부품과 제품 치수를 공정 상에서 측정할 수 있는 삼차원 측정기의 적절성에 대한 연구가 진행되고 있다<sup>(47)</sup>. 이런 시스템은 기계식( 다관절 probe ), 광학식( 간섭기 ), 초음파 시스템 등으로 분류된다

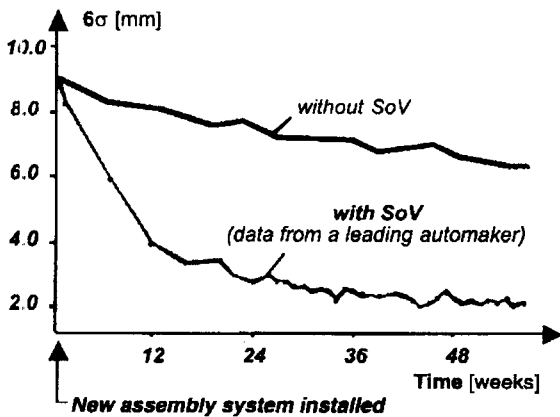
경제성 기술안정성 측면에서 삼차원 측정 장치가 아직 비실용적이다. 독일의 ACCOMAT 프로젝트<sup>(48)</sup> 안에서 산학 협동 하에 Fig. 19와 같은 측정시스템을 개발 중이다. 항해술에서 활용되는 기술과

센서와 영상 기기로 이루어진 지적인 공구시스템을 사용한다.

시스템의 초기 가동 관리의 예. Fig. 20은 자동차 차체 조립 라인의 광학 센서를 보여주고 있는데 이 센서들이 적절히 설계 배치되어 조립 라인의



Fig. 20 Optical measurement of automotive body dimensions using laser triangulation sensors



to achieve detection and isolation of faults.

Fig. 21 Results showing ramp-up time reduction in automotive assembly

문제 ( 손상된 위치 결정자, 로봇프로그램오류 )를 감지,진단하는 것을 도움으로써 바람소음, 누수 등 소비자 불만을 야기할 문제들을 예방한다. Fig. 21은 Fig.18에 설명된 Stream-of-Variation 이론<sup>(49)</sup>을 적용함으로써 차체 치수의 편차를 신속히 줄인 예를

보여주고 있다. SoV 이론은 엔지니어링 공정 모델과 통계분석을 결합한 것으로 제품이 생산시스템을 이동하면서 제품 치수 변형이 어떻게 누적되는지 분석하는 이론이다. Fig. 22는 자동차 차체조립 공정에서의 이론적용을 위한 흐름도이다<sup>(49)</sup>.

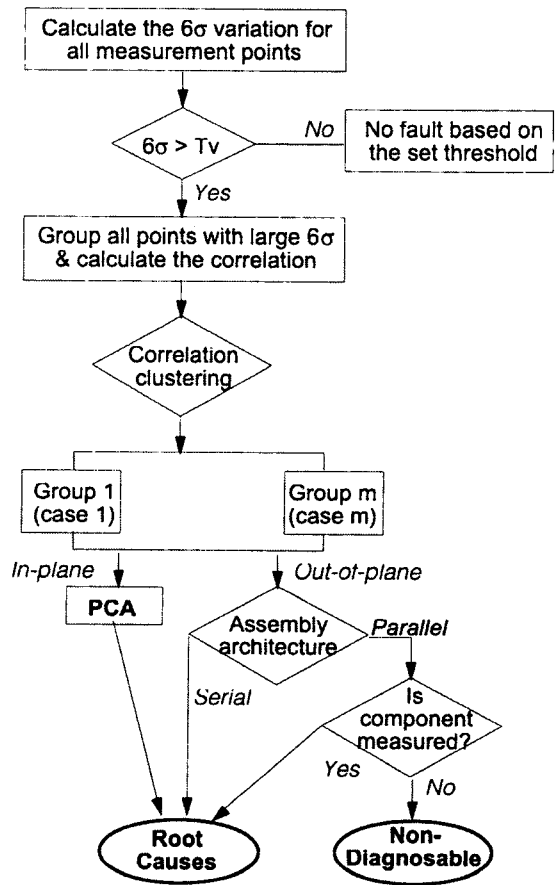


Fig. 22 A flow-chart of the stream-of-variations methodology.

이 방법을 이용하여, 잘못된 스테이션과 변형의 근본적 원인을 체계적으로 추적할 수 있다. 이 전략은 변형을 줄이고 시스템 기동 준비시간을 최소화하기 위해 많은 자동차 제조업체들의 차체조립라인에서 활용하고 있다.

### 9. 결론

글로벌한 경쟁과 사회/기술의 빠른 변화로 인해 제조업체들은 생산 응답성( 시장여건에 따른 생산

시스템의 적응 ) 이라는 새로운 목표에 당면하게 되었다. 여기에 부응하기 위해 RMS라는 새로운 형태의 생산시스템이 필요하다. RMS는 필요한 시점에서 요구되는 용량과 기능성을 가질 수 있도록 조절 가능한 자원을 가지고 처음부터 시스템이 설계되었다는 면에서, 전용 생산라인이나 FMS 같은 현존하는 시스템과 매우 다르다.

재생산성을 위한 설계는 생산시스템 설계의 주요한 새로운 추세로 최근에 대두되고 있다. 재구성 가능 생산은 다분야의 기술이 종합되어 발전하는 광범위한 분야이다. 연구 주제들은 다음과 같다:

- RMS가 최적인 제품수요 범위를 결정하기 위한 생산시스템의 전생애 경제 모델링
- 시스템 구조형태의 자동생성과 구조형태의 throughput, 품질, 원가에 미치는 영향 분석, 자동생성 및 분석을 위한 구조형태 이론
- 수요변화에 따른 구조형태의 최적 Scalability
- 기계 및 시스템 레벨에서의 구성 변경 후 초기 가동 관리 방법론
- RMS 환경에서 모니터링 및 정보시스템의 재구성
- 개방형 구조 환경에서 대형시스템을 위한 재구성형 제어기
- 주어진 생산 업무를 위한 재구성형 기계의 생성 방법론
- 기계제조업체와 RMS 사용자 간의 관계
- RMS의 사회에 대한 이점과 직업창출에 대한 영향

산업화된 세계는 글로벌한 경쟁에도 불구하고, 품격 높은 생활과 복지를 유지하여야만 하는 문제에 당면하고 있다. 제조업체들이 경쟁력을 가지려면 직접적으로, 혹은 파생된 서비스를 통하여 간접적으로 일자리를 생성하여야 한다. 지속성을 위해서는 제조업체들이 최적화된 제품 생애와 관련된 공정을 개발하여야 한다<sup>(50)</sup>. 경제, 사회, 기술적 관점에서의 변화를 순응하면서 지속성을 유지하도록 진화하여야 한다<sup>(51)</sup>. RMS는 (1) 수요와 내/외부적 요인 급변에 대처하기 위한 전술적 레벨과 (2) 시장의 진화에 대응하기 위한 전략적 레벨, 두 레벨에서 지속성을 갖도록 하는 방법론이라고 볼 수 있다.

경쟁력은 주로 어떤 상황을 위한 기술적 해결책을 최적화할 수 있는 능력을 기반으로 한다. 최근

에는, 사회가 급속히 진화되는 가운데 새로운 수요가 생기고, 경제는 글로벌화에 지대한 영향을 받으며 기술은 기하급수적으로 발전하는 등, 더욱 복잡한 상황이 되어가고 있다. 격변하는 환경에서 경쟁력을 유지하기 위해서는 변화에 신속히 대처할 수 있는 능력이 더욱 더 중요하게 된다. 따라서, 기술적 해결책을 정적인 방법으로 최적화하는 것보다는, 기술적인 해를 저가로 지속적으로 변화에 적응하도록 하는 동적인 문제에 중점을 두어야 할 것이다. RMS는 이런 전략을 위한 핵심적인 요소라고 할 수 있다.

## 원문저자

Y. Koren( University of Michigan ), U. Heisel( Universitst Stuttgart ), F. Jovane( Politecnico di Milano ), T. Moriwaki( Kobe University ), G. Pritschow( Universitat Stuttgart ), G. Ulsoy( University of Michigan ), H. Van Brussel( Katholieke Universiteit Leuven )

## 참고문헌

1. Hardt, D., et al., 1997, Next-Generation Manufacturing (NGM) Project, Agility Forum and Leaders for Manufacturing. Bethlehem, PA., 1997.
2. Koren, Y., Ulsoy, A. G., Reconfigurable Manufacturing Systems, Engineering Research Center for Reconfigurable Machining Systems (ERC/RMS) Report #1, The University of Michigan, Ann Arbor, MI, 1997.
3. Matta, M., Tolio T., Flexible and productive manufacturing system architecture. The 15th Int. Conf. on Production Research, August. Limerick, Ireland, 1999.
4. Ulsoy, A.G. and Heytler, P., A Survey of Flexible and Reconfigurable Manufacturing Systems, Report # 11, Engineering Research Center for Recoufgurable Machining Systems (ERC/RMS), The University of Michigan, Ann Arbor, MI., 1998.



5. Koren, Y., Jovane, F., and G. Pritschow (Eds.), Open Architecture Control Systems, Summary of Global Activity, ITIA Series, Vol. 2, 1998.
6. Mehrabi, M. G., Ulsoy, A. G., State-of-the-Art in Reconfigurable Manufacturing Systems, Report #2, Vol. 1 and Vol.11, Engineering Research Center for Reconfigurable Machining Systems (ERC/RMS), The University of Michigan, Ann Arbor, 1997.
7. Aronson, R. B., Operation Plug-and-Play is on the Way, Manufacturing Engineering, pp. 108-112, 1997.
8. AMT (Association for Manufacturing Technology) Report, A Technology Road Map for the Machine-Tool Industry, 1996.
9. Ashley, S., Manufacturing Firms Face the Future, Mechanical Engineering, pp. 70-74, 1997.
10. Garro, O., Martin, P., Towards New Architecture of Machine Tools, Int. J. Prod. Research, Vol. 10, No. 10, pp. 2403-2414, 1993.
11. Rogers, G.G., Bottaci, L., Modular Production Systems: A New Manufacturing Paradigm, Journal of Intelligent Manufacturing, Vol. 8, pp. 147-156, 1997.
12. Koren, Y., Computer Control of Manufacturing Systems, McGraw-Hill, New York, NY. Chapter 10, 1983.
13. Atkins W.S. Management Consultants, Strategic Study on the EU Machine Tool Sector, 1990.
14. Heisel, U., Michaelis, M., Rekonfigurierbare Werkzeugmaschinen. In: Zeitschrift fuer wirtschaftlichen Fabrikbetrieb Zwf 93 (10/1998), pp. 506-507, 1998.
15. Pritschow, G., Daniel, Ch., Junghans, W. , Sperling W., Open System Controllers - A Challenge for the Future of the Machine Tool Industry, Annals of the CIRP, Vol. 42/1 , pp. 449-452, 1993.
16. Van Brussel, H., Braembussche, P. V., Robust Control of Feed Drives with linear Motors, CIRP Annals., Vol. 47/1, pp. 325-328, 1998.
17. Koren Y., Kota, S., Reconfigurable Machine Tools, U .S. Patent, 1999.
18. Paresis, C., et at., A Rapidly Deployable Manipulator System, Proc. IEEE ICRA, pp. 1434-1439, 1996.
19. Fukuda, T., Ueyama, T., Autonomous Behavior and Control : IEEE Proc., ICRA, 1993.
20. IMS Report, Joint International Research Programs into an Intelligent Manufacturing System, International Robotics and Factory Automation Centre (IROFA), 1990.
21. Bollinger, J. et al., Visionary Manufacturing Challenges for 2020, National Research Council Report, National Academy Press, Washington, D.C., 1998.
22. Lee, G. H., Reconfigurability Considerations in the Design of Components and Manufacturing Systems, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 13, No. 5, pp. 376-386, 1997.
23. Thielemans, H., et al., HEDRA, Heterogeneous Distributed Real-time Architecture, Control Engineering Practice, Vol. 4, No. 2, pp. 187-193, 1996.
24. Heisel, U., Maier, V., Lunz, E., Auslegung von Maschinenstrukturen mit Gelenkstab- Kinematik. In: wt Werkstattstechnik Vol. 88 Nr. 4, pp. 183-186, 1998.
25. Mehrabi, M. G., Ulsoy, A. G., Koren, Y., Heytler, p., Future Trends in Manufacturing: A Survey of Flexible and Reconfigurable Manufacturing Systems, submitted to J, of Manufacturing Systems, 1998.
26. Eversheim, W., Organisation in der Produktionstechnik, Band 4: Fertigung und Montage, Diisseldorf: VDI-Verlag, 1989.
27. Sethi, A.K., Sethi, S.p., Flexibility in manufacturing: a survey, Int. J. Of Flexible Manufacturing Systems, (2) pp. 289-328, 1990.
28. Grieco, A., Semeraro, O., Tolio, T., Toma S., Simulation of tool and part flow in FMSs, International Journal of Production Research, Vol. 33 No. 3, pp. 643-658, 1995.
29. Chrystolouris, G., Flexibility and its measurement, Annals of the CIRP, Vol. 45/2, pp. 581-587, 1996.

30. Koren, Y., Hu, S. J., Weber, T. W., Impact of Manufacturing System Configuration on Performance, Annals of the CIRP, Vol. 47/1 , pp. 369-372, 1998.
31. Tolio L., A. Matta, A method for performance evaluation of automated flow lines, Annals of the CIRP, Vol. 47/1, 1998.
32. Nemeth, I., Fisetete, p., and Van Brussel, H., Conceptual design of 3-axis machine tools, Proc. 32nd CIRP Int. Sem. on Man. Syst., K. U. Leuven, ISBN 90-73802-68-7, pp. 239-248, 1999.
33. Tonshoff, H. K., Menzel, E., Hinkenhuus, H. and Nitidem, E., 1994, Intelligence in Machine Tools by Configuration 7th Int. Conference on Production / Precision Engineering, 4th Int. Conference on High Technology, 15-17 September 1994, Chiba, Japan Chiba 1994.
34. Erixon, G., Modularity - the basis for Product and Factory Re-engineering, Annals of the CIRP Vol. 45/1 , pp. 1-4, 1996.
35. Pasek, Z. J., et al., OpenFront: System Level Software for Configuration and Control of Manufacturing Systems, Engineering Research Center for Reconfigurable Machining Systems (ERC / RMS) Report #21, The University of Michigan, Ann Arbor, MI
36. Shamoto, E., Moriwaki T., Rigid XY Table for Ultraprecision Machine Tool Driven by Means of Waling Drive, Annals of the CIRP, Vol. 46/1, pp. 301 -304, 1997.
37. Heisel, U., Feinauer, A., Rudlaff, Th., Forderung an Hochgeschwindigkeits maschimen. wt-Produktion und Management, Nr. 85, pp. 155-161, 1995.
38. Pritschow,G., et al., 1998, Research and Development in the Field of Parallel Kinematics Systems in Europe, First European-American forum on Parallel Kinematics Machines: Theoretical Aspects and Industrial Requirements, September, Milano, Italy. To be published by Springer & Verlag in 1999.
39. Heisel, U., Precision Requirements of Hexapod Machines and Investigation Results, First European-American Forum on Parallel Kinematic Machines, Milano, 31 .Aug.-1 .Sept., 1998.
40. Weck, M., Giesler, A., Meylahn, A.; Stainer, D. , Parallel Kinematics - The Importance of Enabling Technologies. In: First European-American Forum on Parallel Kinematic Machines, Milano, 31 .Aug. 1. Sept. 1998.
41. Hisser, D., In der Werkzeug maschinentechnik bricht eire nerve Aera an, fndustrie Anzeiger, Vol. 22, pp. 38-41, 1997.
42. Kota,S., Design of Reconfigurable Machine Tools, Proceedings of the CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, Leuven , Belgium, May 24-26, 1999.
43. Pritschow, G., et.al, Modular System Platform for Open Control Systems, Production Engineering Vol. 4 No. 2, 1997.
44. Lutz, R. et.al., Konfigurierungs werkzeuge fur offene Steuerungen, Innovation durch Technik und Organisation. Berlin: Springer, 1997.
45. Koren, Y., Pasek, Z. J., Ulsoy, A. G., Benchetrit, U., 1996, Real-Time Open Control Architectures and system performance, Annals of the CIRP, Vol .45/1, pp. 377-380.
46. Sperling W. et al, "OSACA ESPRIT 6379/9115 Final Report," FISW GmbH, Stuttgart, Germany, 1996.
47. HOMNOS, Abschlurbericht. VDW Forschungsberichte, Frankfurt, 1998.
48. Spath, D., Mussa, S., ACCOMAT - Die genauigkeitsgeregelte Maschine, Wt Werkstautechnik 89 Vol. 5, pp. 235-238, 1999.
49. Hu,S.J, Stream of Variation Theory for Automotive Body Assembly, Annals, of the CIRP, Vol .46/1, pp. 1-4, 1997.
50. Boer C. R., Jovane F., Towards a New Model of Sustainable Production: Manufuturing, Annals of the CIRP, Vol. 45/1, 1996.
51. Jovane F., Concepts for Strategic Machinery Innovation, Initial Meeting of ARMMS Networks, Bruselles - December, 1998.