

가상제조(Virtual Manufacturing) 기술의 현황과 전망

최 병 규

KAIST 산업공학과

가상제조(VM)기술은 21세기 변화된 기업환경에서 제조경쟁력 강화를 위한 핵심기술 중에 하나로서, 형상 모델링과 시스템 모델링 이론을 포함하여 다양한 분야로 이루어진 복합기술이다. VM 기술은 e-manufacturing의 한 분야로서 CAD/CAM 기술 발전과 궤를 같이하는데 그 적용 대상이나 방법에 따라서 digital manufacturing, virtual manufacturing, e-factory 등 다양한 이름으로 불리고 있다. 본 논문에서는 VM 기술의 개념을 정리하고, 가상제조의 국내 적용현황 및 향후 발전전망에 대하여 고찰하고자 한다.

1. 서 론

한 나라의 제조업(2차 산업)은 대내적으로는 국가경제의 근간을 이루고 고용기반을 제공하며 나아가 전반적인 생활수준 향상과 과학기술 발전의 토대를 제공하며, 대외적으로는 국방력 및 국제적 위상제고의 기반을 제공한다. 우리나라의 경우 총 수출액의 97.5%가 공산품이며 전체 고용의 약 25%를 제조업이 담당하고 있다^[1]. 특히 제조업은 연관 산업 창출효과가 매우 크기 때문에 선진국에서도 제조업체 유치 및 자국 제조기업 경쟁력 향상에 심혈을 기울이고 있다.

21세기 제조업의 환경변화는 1) WTO 체제 진입에 따른 글로벌경쟁의 심화, 2) 인터넷 기술 발전에 따른 e-비즈니스 확산, 3) 공급체인 세분화에 따른 확장기업(extended enterprise) 체제 심화, 4) 고객 서비스 극대화 및 환경친화적 요구에 부응하기 위한 확장제품(extended product^[2]) 개념의 보편화로 요약될 수 있다. 이러한 제조환경변화는 제품 선택사양의 다양화 및 고기능화, 제품 수명주기의 단축, 가격 및 납기 경쟁의 심화 등을 야기하고 있다. 또한 생활수준 향상에 따른 제조업 기피 현상이 만연해 지고 있다.

따라서 제조기업은 생존을 위하여 개발납기(time-to-market), 인도납기(delivery), 품질(quality),

원가(cost), 유연성(flexibility), 인간친화성(human-centric) 등의 경쟁요소를 갖추어야 하며, 경쟁에 이기기 위하여 민첩성(responsiveness), 협동성(teaming), 투명성(transparency) 등의 경쟁역량을 키워야 한다(NGM 1997). 이상과 같은 제조 경쟁요소 및 경쟁역량의 강화를 위한 핵심 기술의 하나가 가상제조(VM)기술인 것이다.

가상제조시스템(VMS: virtual manufacturing system)은 "실제 제조시스템의 모든 업무활동들의 모델링을 통하여, 실제 업무상황들을 모니터링하고 시뮬레이션 함으로써 담당자(사람)의 효율적 의사결정을 지원하기 위한 투명한 계획/통제 메커니즘"이라고 정의할 수 있다(Choi 2000). VMS가 지원하는 의사결정영역은 크게 1) 제조용이성을 고려한 제품 설계(DFM: design for manufacturability), 2) 새로운 제품의 생산을 위한 제조시스템의 설계/구축, 3) 기존 제조시스템의 효율적 운용 등으로 구분되는 데, 이를 design-centered VM, production-centered VM, control-centered VM이라고 부르고 있다(Lawrence 1994). 즉,

- (1) 디자인 중심의 가상제조(design-centered VM): 제품의 설계과정에서 새로운 아이디어의 개발과 관리를 효과적으로 수행할 수 있는 개념설계 환경을 구축하여, 제품설계 과정에서 가상 시제품(Virtual Prototype)의 제작과 시

[1] 산업자원부 자료

[2] <http://www.biba.uni-bremen.de/projects/expide/Presentation.HTML>

각화, 가상 시제품을 이용한 성능 분석, 시험과 평가, 그리고 생산 용이성 및 효율 평가를 지원.

- (2) 제조 중심의 가상제조(*production-centered VM*): 제품의 생산계획단계에서 제품생산을 위한 여러 가지 제조공정 대안을 분석하고, 생산라인 및 공장을 설계 및 최적화하는 데 시뮬레이션기법을 활용.
- (3) 제어 중심의 가상제조(*control-centered VM*): 실제 제품이 생산되는 과정에서 공정의 최적화를 위하여 시뮬레이션 기법을 활용.

제조시스템은 실물시스템(physical system)과 정보시스템(information system)으로 구성된다. Onosato는 실제 존재하는 실물시스템과 정보시스템을 각각 RPS(real and physical system) 및 RIS(real and information system)이라고 부르고, RPS와 RIS의 기능을 컴퓨터상에서 가상적으로 나타낸 것을 VPS(virtual and physical system) 및 VIS(virtual and information system)라고 부르고 있다(Onosato 1993). 즉, 제조시스템은 그림 1에 보인 바와 같이 4개의 서브시스템으로 구성되는 셈이다.

따라서 넓은 의미의 가상제조는 1) 제품의 설계

에서 재활용에 이르는 제품 수명관리(product life-cycle management), 2) 공장의 설계에서 운용 및 폐기에 이르는 공장 수명관리(factory life-cycle management), 3) 수주활동에서 출하 및 사후관리에 이르는 생산 수명관리(production life-cycle management) 영역에 대한 실물시스템과 정보시스템 모두를 대상으로 한다. 그러나 통상적으로 사용되는 "virtual manufacturing"은 공장수명관리 영역의 실물시스템만을 주 대상으로 하는데, 이를 협의의 가상제조라고도 부른다. 한편 제품수명관리 측면이 강조된 가상제조는 "digital manufacturing"이라고 부르기도 한다. 본 논문에서는 협의의 가상 제조를 주 대상으로 하여 VM의 현황과 전망을 고찰하고자 한다.

2. VM기술의 구성요소

앞서 언급된 제조기업의 6대 경쟁요소(time-to-market, delivery, quality, cost, flexibility, human-centric) 및 3대 경쟁역량(responsiveness, teaming, transparency) 강화를 지원하기 위한 (협의의) VM은 구체적으로 1) 공장 운용의 효율화, 2) 새로운

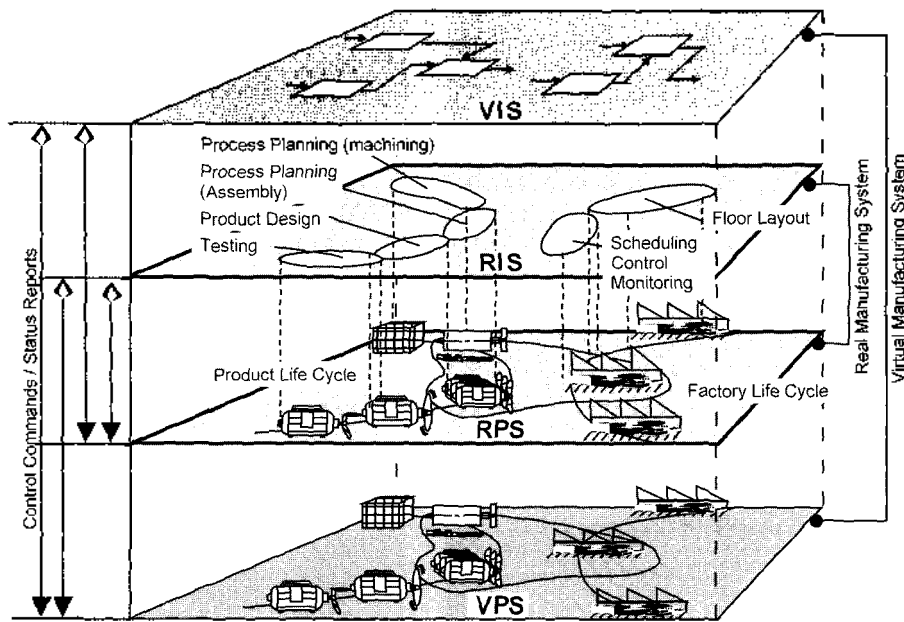


그림 1. 제조시스템의 구조(Onosato 1993)

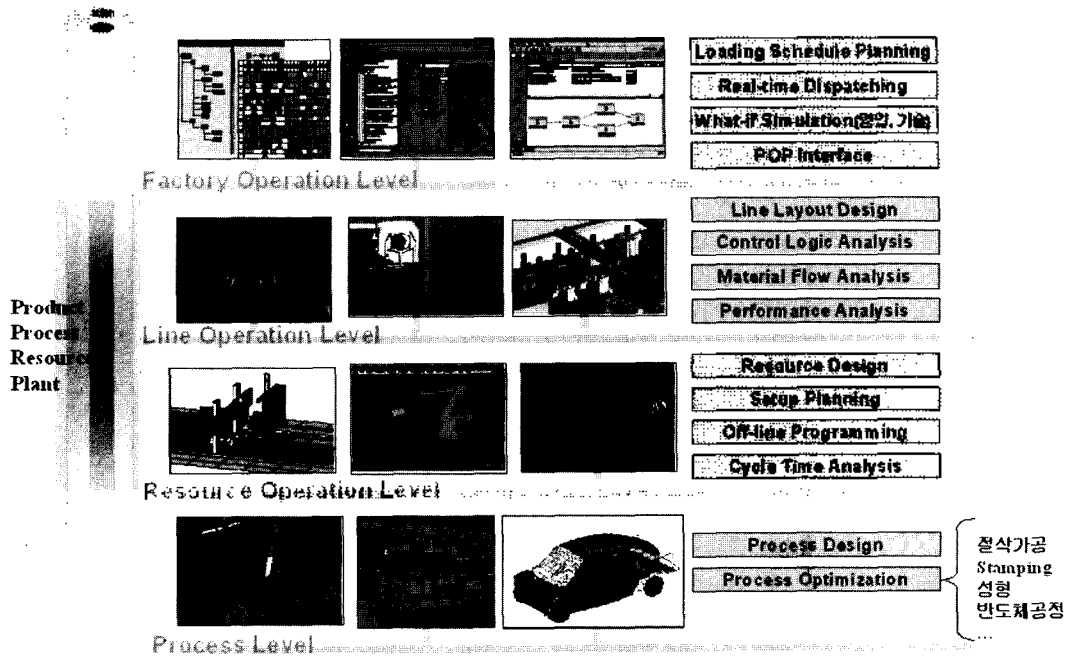


그림 2. 가상제조 기술의 구성요소

제조라인 구축의 신속화, 3) 제조라인 개선(renovation) 효율화, 4) 제조공정 혁신(re-tooling & re-programming) 쾌속화 등을 대상으로 한다. 이들 4가지 영역은 그림 2의 공장 운영(factory operation), 라인 운영(line operation), 설비 운영(resource operation), 및 공정(process)에 각각 해당된다(최병규 2003).

2.1. 공장운영(factory operation) VM 기술

공장운영 차원의 VM은 제품생산활동 측면에서 제품(product), 공정(process) 및 자원(resource)을 모델링하고, 이러한 PPR 모델(product-process-resource model)을 이용하여 공장운영에 필요한 의사결정을 지원하는 시뮬레이션을 수행한다. 공장운영 단계에서 VM 기술이 적용되는 분야는 다음과 같다(최병규 2002a).

- 설비의 부하를 고려한 세부작업 일정계획수립 (loading schedule planning)
- 각 작업물의 작업 우선순위 결정 및 작업지시 (real-time dispatching)
- 생산능력 및 효율성 분석(what-if simulation)

- 작업진행에 따른 생산정보 수집(monitoring)
- 설비/작업자 관리(resource management)

2.2. 라인운영(line operation) VM 기술

라인운영 차원의 VM은 신규 제조라인의 설계 및 구축을 위한 모델링 및 시뮬레이션 기능을 제공하는데, 세부적으로는 표 1에 보인 바와 같이 1) 레이아웃 설계(layout design), 2) 물류흐름 분석(material flow analysis), 3) 운영제어 로직 분석(supervisory control logic analysis), 4) 성능분석(performance analysis) 등을 대상으로 한다.

라인 레이아웃 설계(line layout design)를 지원하기 위하여는 레이아웃 모델링 및 평가, 인체공학 적 분석 등의 세부기능이 요구되는데, 이를 위하여는 1) 가상설비 라이브러리(VR library) 구축, 2) 인체 모델링(human modeling), 3) 운영 시나리오(operation scenario) 모델링/시뮬레이션(Choi 2003) 등에 관한 기술이 요구된다. 물류흐름 분석(material flow analysis)을 지원하기 위하여는 자동물류시스템(AMHS: automated material handling system)에 관한 표준화가 선행되어야 하고(SEMATECH

표 1. 라인운영 단계 VM을 위한 핵심요소기술

| 주요기능 | 세부기능 | 핵심요소기술 |
|------------------------------------|--------------------------------------|--|
| Layout design | Line layout modeling | VR Library Human modeling Line operation scenario modeling |
| | Line layout evaluation | |
| | Ergonomics analysis | |
| Material flow analysis | AMHS modeling | AMHS route modeling Logical evaluation (deadlock, delay) |
| | AMHS evaluation | |
| Supervisory control logic analysis | Supervisory control logic modeling | Intuitive control logic modeling Simulation model generation |
| | Supervisory control logic simulation | |
| | Supervisory control logic evaluation | |
| Performance analysis | Experimental frame modeling | Intelligent performance analysis |
| | Performance simulation | |
| | Output analysis | |

1999), 이에 대한 체계적인 모델링 및 분석 기술의 개발이 요구된다. 운영제어 로직 분석(supervisory control logic analysis) 지원을 위하여는 제조라인의 제어로직을 설계하고 이의 효율성을 평가하며 나아가 이상상황 발생시 처리할 수 있는 기능이 요구된다. 성능분석(performance analysis)에서는 라

인 사이클타임, 재공재고, 생산성 등에 대한 통계분석 기능을 제공한다.

2.3. 설비운영(resource operation) VM 기술

설비운영 차원의 VM은 설비의 상세설계 및 운영 프로그램 생성/검증을 위한 모델링 및 시뮬레이

표 2. 설비운영 단계 VM을 위한 핵심요소기술

| 주요기능 | 세부기능 | 핵심요소기술 |
|----------------------|--------------------------------------|---|
| Resource Design | Geometry modeling | Rapid geometric/kinematics modeling Parametric resource modeling Resource operation scenario modeling |
| | Kinematics & dynamics modeling | |
| | Workspace evaluation | |
| | Sequence control & numerical control | |
| Setup planning | Jig & fixture modeling | Parametric jig & fixture modeling Automatic setup planning Force modeling Distortion analysis |
| | Work holding planning | |
| | Tolerance error calculation | |
| | Reachability 검증 | |
| Off-line programming | Work method planning | Collision free path generation Calibration |
| | Motion planning | |
| | 작업조건 부여 | |
| | Program evaluation & correction | |
| | Calibration | |
| Cycle time analysis | Setup time analysis | Real-time monitoring Statistics analysis |
| | Processing time analysis | |
| | Output report | |

선 기능을 제공하는데, 세부적으로는 표 2에 보인 바와 같이 1) 설비 설계(resource design), 2) 셋업 계획(setup planning), 3) 오프라인 프로그래밍(off-line programming), 4) 사이클 타임 분석(cycle time analysis) 등을 담당한다.

설비 설계(resource design)를 지원하기 위하여는 1) 형상 모델링, 2) 기구학적 및 동역학적 모델링, 3) 작업영역 평가, 4) 설비제어 모델링 등과 관련된 핵심요소 기술이 요구된다. 한편 **셋업 계획(setup planning)** 기능을 지원하기 위하여는 치공구 모델링, 작업물 장착 계획, 허용오차 모델링 등을 위한 요소기술이 요구된다. **오프라인 프로그래밍(OLP: off-line programming)** 기능에서는 주로 로봇이나 측정장비에 대한 운영 프로그램의 생성 및 검증을 지원하는데 경로계획(path generation) 및 오차보정(calibration) 등에 관한 기술이 요구된다.

2.4. 공정(process) VM 기술

공정단계의 VM 기술은 절삭가공 시뮬레이션(Choi 1998), FEM을 이용한 성형 시뮬레이션 등이 이에 해당된다.

3. VM 기술 활용현황

본 장에서는 국내 기업체들이 라인운영(line operation) 및 설비운영(resource operation) 단계 VM 기술을 활용하고 있는 대표적인 사례를 소개하고자 한다. 자동차 및 조선산업에서는 QUEST® 및 IGRIP® (Donald 1998)이 널리 사용되고 있으며, 전자산업 및 물류업체에서는 AUTOMOD® (Rohrer 2000)가 주로 활용되고 있다.

3.1. 라인운영 VM 기술 활용 현황

라인운영 VM 기술은 새로운 공장을 설계하거나 기존의 공장의 변경 시 주로 적용되며 라인의 레이아웃 설계, 주요설비의 위치 및 용량, 운영로직 분석, 물류흐름분석 등을 지원한다. 그림 3에는 승용차 실린더 헤드 가공라인의 레이아웃 결정, 버퍼 위치 및 용량, 반송제어 방식, 공정 효율성 검증 등을 위하여 VM 시스템을 적용한 사례를 보여주고 있다.

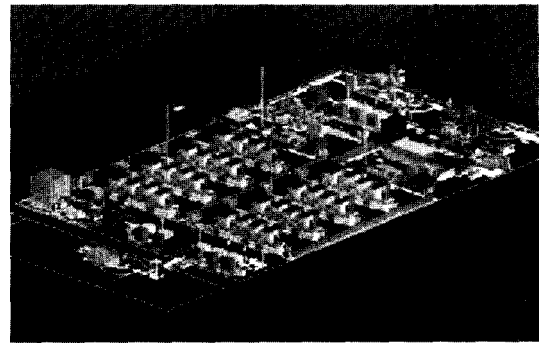


그림 3. 자동차 산업에서의 라인운영 VM 기술 적용 사례(안창환 2003)

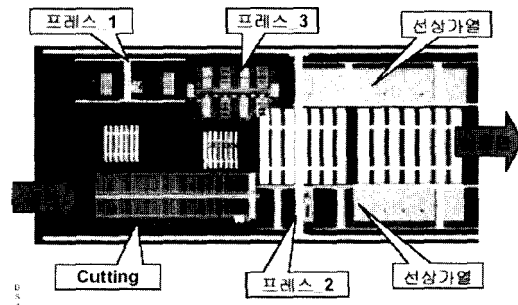


그림 4. 조선 산업에서의 라인운영 VM 기술 적용사례 (김훈조 2003)

조선산업에서의 라인운영 VM 기술 적용사례가 그림 4에 보여져 있는데, 평 블록 조립라인의 작업 시간 산출, 라인 조립 순서결정 등에 활용되고 있다. 그림 5에는 전자산업에서의 적용사례를 보여주고 있는데, Fab 라인의 레이아웃 설계, 가공설비 및 물류설비의 대수 결정, 운영로직의 검증 등에 활용되고 있다.

3.2. 설비운영 VM 기술 활용 현황

설비운영 VM 기술은 신제품 개발 시 생산 정지 시간 최소화, 생산준비 기간 단축, 설비 비용 절감, 신속한 양산라인 안정화 등을 목표로 공법설계, 설비의 상세설계 및 검증, 설비(로봇)의 OLP에 주로 적용되고 있다. 그림 6에는 차체조립 공법설계, 설비설계 검증, OLP 등에 VM 기술이 활용되는 사례를 보여주고 있으며, 그림 7에는 차체조립 라인의 설계에서 설치까지를 단계별로 시뮬레이션하고

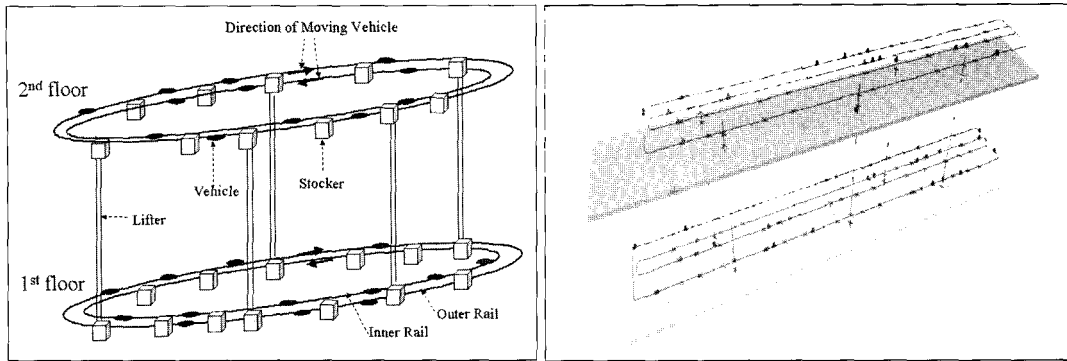


그림 5. 전자 산업에서의 라인운영 VM 기술 적용사례(정유인 2003)

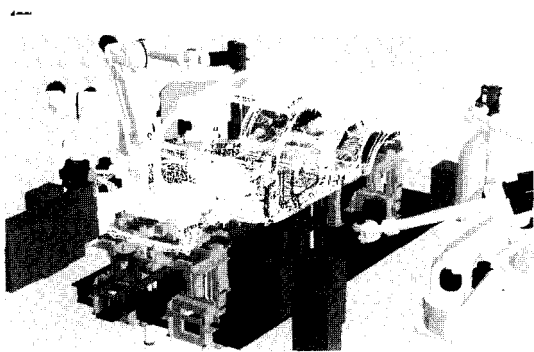


그림 6. 자체조립라인의 로봇 시뮬레이션(정우열 2003)

오류를 검증하고 고정도 로봇 OLP를 통하여 수동 교사시간을 줄이는데 VM 기술이 활용되는 사례를 보여주고 있다.

4. VM 기술의 발전 방향

현재 국내외 제조업체들은 거 개발된 VM 솔루션을 도입하여 시범 적용하는 단계에 있으며 부분적인 업무의 최적화를 위한 도구로 사용하고 있다. 최근에는 기존 관리정보시스템(ERP, SCM, CRM)과 연계하여 제품의 개발에서부터 설계, 생산, 판매 등의 업무를 전체적으로 관리하고 최적화하기 위한



그림 7. 자체조립라인의 가상생산기술 적용(이상원 2003)

통합적인 가상제조시스템(VMS) 구축을 지향하고 있으나 아직은 기술개발수준이 현업요구에 못 미치고 있는 것으로 평가되고 있다(최병규 2003b, 홍지수 2003). 본 장에서는 앞서 소개한 3가지 관점(design-centered, production centered, control centered)에서 VM 기술의 발전방향에 관하여 고찰해보고, 통합환경의 VM 비전을 소개하고자 한다.

4.1. 디자인 중심(design-centered) VM 기술 발전 방향

디자인 중심 VM은 CAD 시스템과 연계하여 DFM을 지원하는 PLM(제품 수명주기관리) 시스템으로 발전하고 있다. 즉, 제품의 설계가 변경되면 이에 맞게 공정 계획과 공정 데이터가 자동으로 변경되고, 라인의 설계변경도 이루어지도록 발전될 것

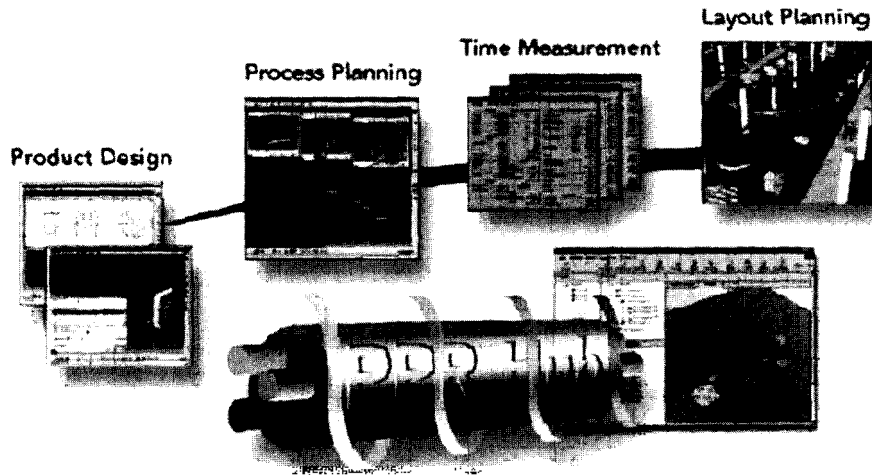


그림 8. Delmia의 3D PLM 시스템 개념

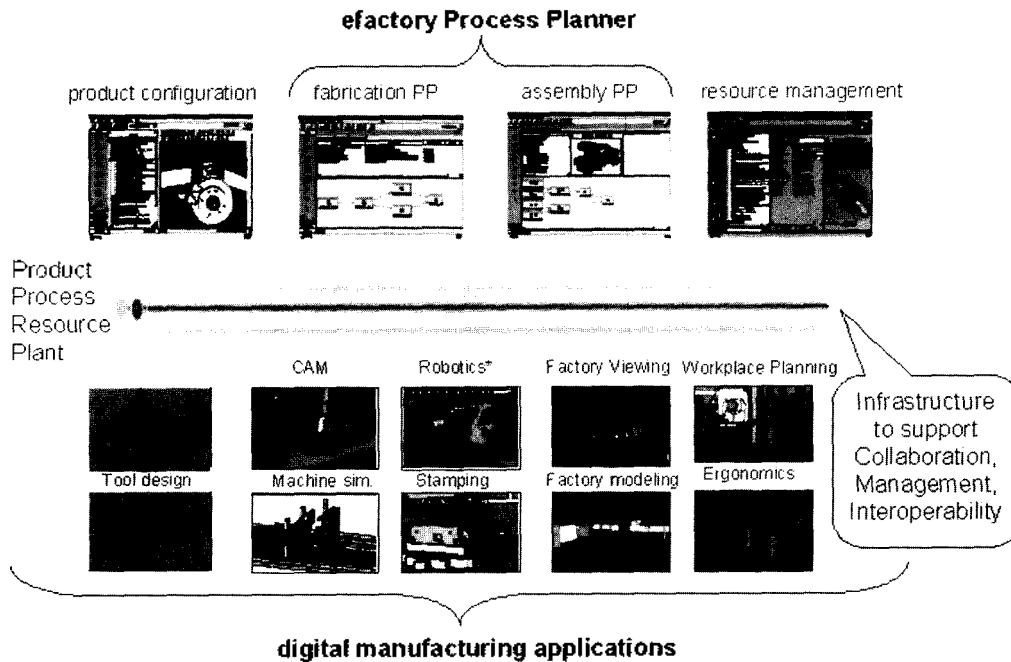


그림 9. DaimlerChrysler의 e-factory 솔루션 구조

이다. 그림 8은 PLM을 지원하기 위한 Delmia의 “3D PLM 시스템” 개념도를 나타낸 것이다(Bertrand 2003). 그러나 이를 위하여는 공정계획을 자동으로 생성해 주는 CAPP(computer-aided process planning) 기술 개발이 선행되어야 한다.

4.2. 제조 중심(production-centered) VM 기술 발전 방향

제조 중심 VM 기술은 개발된 신제품을 실제 생산하는데 필요한 제조시스템의 설계/구축과 제조정보의 생성 및 검증을 하나의 통합된 환경에서 지원하는 e-factory 시스템으로 발전하고 있다(Olling 2001). 그림 9는 DaimlerChrysler에서 추진하고 있는 e-factory 솔루션 구상도를 나타낸 그림이다. DaimlerChrysler사는 엔진라인과 BIW(body-in-white) 어셈블리라인에 대하여 e-factory 구축을 위한 노력을 경주하고 있다. 독일의 Audi 사에서도 모든 제조공정을 전자식으로 시뮬레이션 함으로써 자동차의 신차계획, 공장작업, 품질을 획기적으로 향상시킬 수 있는 디지털 공장(digital factory)을 추진하고 있다(Julian 2003). 이러한 대형 프로젝트를 진행함에 있어 공장

전체의 생산라인에 적용하기 보다는 작은 단위로 나누어서 개개의 레벨로 대응하는 방향을 선택하고 있다. Audi는 A3 시리즈 차에 디지털 최종 조립을 도입하여 얻은 경험을 바탕으로 프레스 작업장과 BIW(body-in-white) 어셈블리라인에 대해서 디지털 공장을 적용할 예정인 것으로 알려져 있다.

이러한 e-factory를 실현하기 위하여는 1) 사내뿐 아니라 부품업체와의 협업을 위한 제품(product), 공정(process), 자원(resource)에 대한 표준화가 선행되어야 하며, 2) 산재되어 있는 다양한 정보를 중앙 통합하여 여러 부서가 동시 다발적으로 접근하여 업무 효율성을 향상시킬 수 있는 통합 데이터베이스의 구축이 필요하며, 3) 제품개발에서부터 양산까지의 다양한 업무 프로세스들을 연계시키고 서로 다른 소프트웨어와 데이터베이스 연동시키는 통합된 워크플로우 관리(workflow management) 체계의 구축이 필요하다(Olling 2001; Julian 2003).

4.3. 제어 중심(control-centered) VM 기술 발전 방향

제어 중심 VM은 실물시스템과 정보시스템에 대

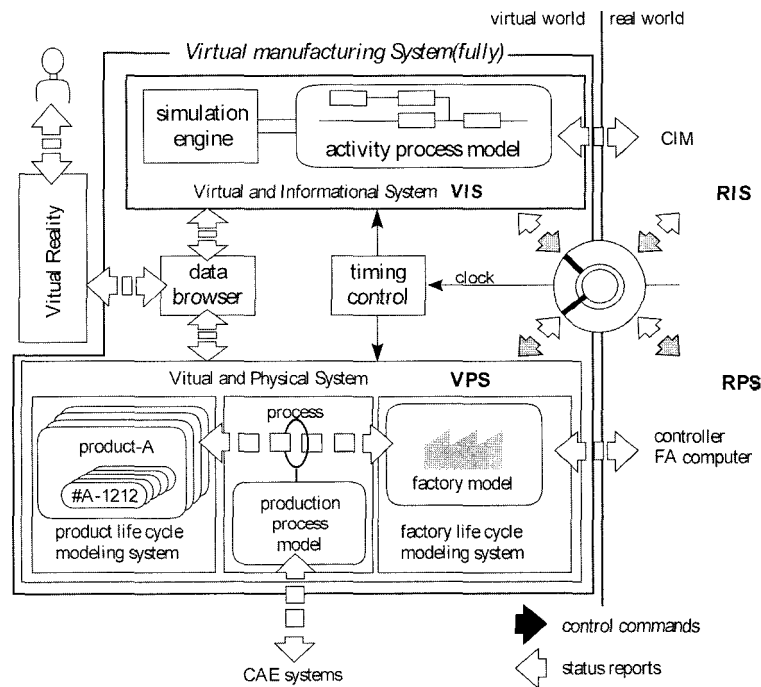


그림 10. 제어중심 가상제조시스템 구상도(Onosato 1993)

한 기능을 모두 컴퓨터 상에서 가상모델로 표현하여 실물 제조시스템을 모니터링/제어하고, 관리자의 의사결정을 도와 줄 수 있는 방향으로 발전할 것이다. 그림 10은 이상적인 형태의 제어중심 VM 시스템의 구조를 보여주고 있다. 그러나, 아직은 “이론적”인 단계에 머물고 있는데, 특히 1) 관리자의 역할, 2) RIS와 RPS의 모델링 프레임워크, 3) RPS와 RIS와의 인터페이스 및 업무분담 등에 관한 보다 구체적인 개념정립이 요망된다.

4.4. 통합 VM 기술 발전 방향

앞서 설명한 세 가지 측면의 VM 기술(design-centered VM, production-centered VM, control-centered VM)을 포함하고, 경쟁역량(responsiveness, teaming, transparency)의 강화를 통합적으로 지원할 수 있는 (협회의) VM 시스템 개념도가 그림 11에 제시되어 있다. 앞으로의 가상제조 시스템은 1) 시스템 내의 제품, 공정, 자원, 공장의 통합된 데이터베이스를 중심으로 제품의 설계, 공정계획, 설비설계, 공정데이터의 생성, 공장설계의 업무를 효율적으로 지원하고, 2) 검증된 공정데이터를 바로 실제공장에 투입하여 작업을 진행하도록 지원하며, 3) 관리시스템인 ERP와 MES와의 연계를 지원하

며, 4) 외부업체와의 협업을 지원하는 통합적인 시스템으로 발전할 것으로 예상된다.

5. 결 론

지금까지 가상제조(VM)의 개념, VM 기술 구성 요소, VM 기술 활용현황 및 발전전망 등에 관하여 고찰해 보았다. 앞서 언급된 바와 같이 제조기업의 경쟁요소(time-to-market, delivery, quality, cost, flexibility, human-centric)와 경쟁역량(responsiveness, teaming, transparency)의 강화에 VM 기술은 중추적인 역할을 할 것으로 기대된다. 그러나, VM 기술을 현업에 도입하여 적용효과를 보기 위해서는 많은 시간과 비용이 필요하다. 따라서 VM 기술의 도입을 추진함에 있어서 아래와 같은 사항들을 고려해야 할 것이다.

- VM 기술의 도입은 많은 비용과 시간투자가 필요하므로 단계적으로 추진하는 전략과 계획 수립이 요구되는데, VM 기술의 도입계획 및 준비는 top-down으로 구축 및 적용은 bottom-up 방식으로 단계적으로 진행해 나가는 것이 바람직하다.
- VM은 하나의 제조혁신 방법론으로써 VM 소

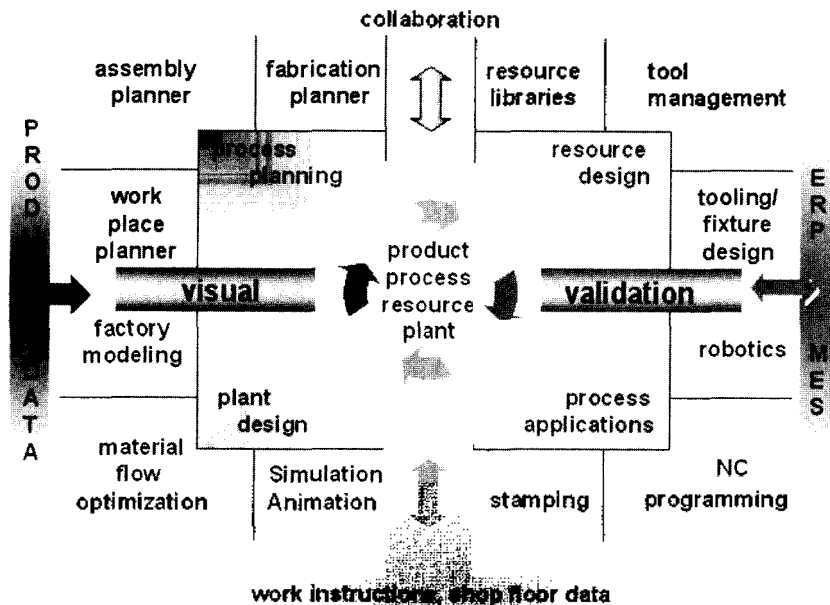


그림 11. 가상제조시스템의 개념도(Olling 2001)

소프트웨어의 구입만으로 소기의 목표가 달성되는 것이 아니며, VM 기술의 효율적인 활용을 위해서는 제품, 공정, 자원, 공장에 대한 체계적인 데이터의 통합과 모델링 작업이 선행되어야 한다.

- 성공적인 VM 기술 활용은 문제분야의 발굴, 적용분야의 확대, 새로운 부가가치 창출을 위한 지속적인 노력을 필요로 한다.
- 현재 VM 기술은 외산 소프트웨어의 의존도가 높고, 기업의 VM 개발인력도 부족한 실정이다. 따라서 국내 기업 실정에 맞는 VM 활성화를 위하여는 산·학·연 간의 공동협력 노력이 요망된다.

6. Acknowledgement

본 연구는 국가지정연구실(NRL) 사업의 일환으로 과학기술부의 재정지원에 의하여 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] Sculptured Surface Machining, Choi, B.K. and Jerard R.B., Kluwer Academic Publishers, 1998.
- [2] Choi, B.K. et al., "New Trends in CIM: Virtual Manufacturing Systems for Next Generation Manufacturing", *Current Advances in Mechanical Design and Production 7th Cairo University International MDP Conference*, Cairo, Feb, pp. 425-435, 2000.
- [3] Choi, B.K., Park, B.C., and Park, J.H., "Formal Conversion Approach to Developing a 3D Factory Simulator", Submitted to *Modeling and Simulation*, 2003.
- [4] Donald, D.L., "A tutorial on ergonomic and process modeling using QUEST and IGRIP", *Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference*, pp. 297-302, 1998.
- [5] Digital factory project at DaimlerChrysler: Realized by 2005, *Management Markte Technologien*, pp.18-26, 2/2002.
- [6] Iwata, K., Onosato, M., Teramoto, K., and Osaki, S., "Virtual manufacturing systems as advanced information infrastructure for integrating manufacturing resources and activities", *Annals of the CIRP*, Vol. 46, No. 1, pp. 335-338, 1997.
- [7] Lawrence, Virtual Manufacturing Technical Workshop Technical Report, *Virtual Manufacturing Technical Workshop*, Ohio, 25-26 October, 1994.
- [8] Olling, 2001, Private communication.
- [9] Onosato, M., et al., "Development of a Virtual Manufacturing System by Integrating Product Models and Factory Models", *Annals of the CIRP*, Vol. 42, No. 1, pp. 475-478, 1993.
- [10] Rohrer, M.W., "AutoMod tutorial", *Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference*, pp. 170-176, 2000.
- [11] AMHS Framework User Requirements Document, International SEMATECH, 1999.
- [12] 김훈조, "DSME Digital Manufacturing", *Virtual Manufacturing Workshop Proceeding*, 서울 한국과학기술회관, 5월 30일, 2003, Workshop Proceeding, 2003.
- [13] 박영진, "GM DAEWOO의 VM 기술개발 및 적용 현황", *Virtual Manufacturing Workshop Proceeding*, 서울 한국과학기술회관, 5월 30일, 2003.
- [14] 범진환, "Workcell simulation/OLP 기술현황 및 이슈", *Virtual Manufacturing Workshop Proceeding*, 서울 한국과학기술회관, 5월 30일, 2003.
- [15] 안창환, "현대기아자동차 디지털 생산기술의 현황과 전망", *Virtual Manufacturing Workshop Proceeding*, 서울 한국과학기술회관, 5월 30일, 2003.
- [16] 이상원, "차체생산 준비의 가상생산기술 적용", *Virtual Manufacturing Workshop Proceeding*, 서울 한국과학기술회관, 5월 30일, 2003.
- [17] 정우열, "VM 워크샵 발표자료", *Virtual Manufacturing Workshop Proceeding*, 서울 한국과학기술회관, 5월 30일, 2003.
- [18] 정유인, "반도체 업계에서의 VM 솔루션 활용 현황 및 전망", *Virtual Manufacturing Workshop Proceeding*, 서울 한국과학기술회관, 5월 30일, 2003.
- [19] 최병규, "제조업의 MES 구축, 더 이상 남의 일이 아니다. - MES란 무엇인가?", *월간문인화기술*, 2002A년 5월호, pp. 82-85.
- [20] 최병규, "통합제조정보시스템 구축을 위한 체크포인트", *eCommerce*, 2002B년 4월호, pp. 103-108.
- [21] 최병규, "VM Solution 개발을 위한 요소기술", *Virtual Manufacturing*, 2003.
- [22] 한상동, "Workshop on Virtual Manufacturing", *Virtual Manufacturing Workshop Proceeding*, 서울 한국과학기술회관, 5월 30일, 2003.