

가상공장 구축 및 운영

노 상 도

성균관대학교 시스템경영공학부

지구상의 모든 국가들과 오프라인, 온라인을 망라하는 모든 형태의 시장들을 무대로 한 기업간의 글로벌한 무한경쟁이 날로 치열해지고, 소비자의 요구가 매우 다양하면서도 급변하는 현재의 상황은 기업들에게 보다 좋은 품질의, 보다 많은 종류의 제품을 보다 빠르고 효율적으로 개발, 생산할 수 있도록 하는 새로운 생산 기술 체계의 발전을 요구하고 있다. "Next Generation Manufacturing"에서 전망하고 있는 생산기술 분야에서의 향후 10년간의 기술 발전은, 생산시스템이 적응력과 민감성을 갖춘 정보시스템을 보유, 지식기반 관리를 수행하고, 시뮬레이션, 가상생산 등 체계적인 모델링, 분석 방법들을 활용하여 제품, 공정, 제조설비들을 신속하게 현실화하며, 효율과 유연성이 탁월한 신개념의 각종 제조 설비, 공정들이 개발, 활용하고, 모든 부품 공급자까지 확대된 글로벌한 협동의 실현을 예고하고 있다¹⁾.

본 고에서는 신속하고 효율적인 제품 개발과 생산을 위해 활용 범위가 점차 넓어지고 있는 가상공장(virtual factory)의 적용 사례와 효과를 살펴보고, 이의 구축과 운영에 관련된 여러 가지 문제들과 해결방안에 대해 논해보고자 한다. #

1. 디지털 가상생산과 가상공장

디지털 가상생산(digital virtual manufacturing)은 생산시스템의 물리적, 논리적 구성 요소들과 거동을 엄밀하게 컴퓨터 상에서 모델링하여 통합된 디지털 모델을 구성하고, 3차원 CAD, 시뮬레이션, 인터넷 등 다양한 정보기술들을 활용하여 전체 생산공정에 걸쳐 각종 오류의 사전 검증과 효율적인 의사 결정을 수행함으로써 신속하고 효율적인 제품 개발 및 생산을 실현하고자 하는 기술²⁾로서 컴퓨터

터와 각종 정보기술들을 활용하여 발생 가능한 각종 시행착오를 사전에 검증, 해결하고 적정한 시점에 필요한 사람들에게 올바른 정보를 제공함으로써 정확한 분석과 효율적인 의사결정을 지원, 제품 생산에 소요되는 시간과 비용을 단축하고자 하는 하나의 생산철학이라고 말할 수 있다.

이러한 방법을 적용하면, 기존 또는 새로운 제조, 관리 계획이나 정책, 기술 등을 가상환경에 도입하여 생산 활동에 사전에 적용해 볼 수 있으므로 신규 제품, 라인을 계획하거나 설계할 때 빈번히 발생하는 다양한 상황 변화에 따른 재 계획과 의사결정에 추가되는 비용과 시간의 낭비를 최소화할 수 있다³⁾. 일반적으로 제조업에서 디지털 가상생산 기술을 적용하면 장비, 시설과 각종 치/공구 등의 설계, 공정과 일정계획의 수립, 공장과 각종 설비들의 배치(layout), 물류정책 수립과 저장 면적 분석, 각종 장비들의 OLP(off-line programming) 수행, 조립 순서 및 방법 결정, 작업자 교육, 각종 작업 오류 방지와 개선안 도출 등 다양한 업무에 대한 사전 검증과 최적화를 수행할 수 있으며, 이는 결국 생산에 소요되는 시간과 비용의 절감을 가져온다. 실제로 항공산업의 경우 각종 치/공구 설계에서 약 75%의 시간과 공수 절감, 중공업의 경우 주물 제작에서 발생하는 오류의 50% 감소, 그리고 자동차 산업의 경우 특히 공장 라인 설계 분야에서 약 20% 정도의 기간단축 효과가 있는 것으로 보고되고 있다⁴⁾.

또한, 대부분의 제조업체에서는 생산에 관련된 다양한 사항들을 고려하여 이를 적극적으로 설계와 계획에 반영하기에는 부서간의 장벽, 의사 소통의 애로와 엔지니어들의 전문성, 관심 영역의 상이, 필요 데이터 준비 시점의 불일치 등으로 많은 어려움이 있으며, 이로 인해 제품 개발기간 지연과 품질

불량이 발생한다. DMU(digital mock-up) 적용, 가상공장(virtual factory)의 구축과 운영, 가상작업(virtual operation) 수행과 가상시제품(virtual prototyping)의 구현 등 디지털 가상생산 기술을 적용, 활용하여 이러한 문제들을 해결할 수 있을 것이다.

예를 들어 제품개발 부문에서는 새로운 아이디어의 개발과 관리과정에서 생산가능성을 바로 검증할 수 있고, 제품설계 부문에서는 가상시제품의 제작을 통한 제품 시각화, 성능 분석, 가상시험, 그리고 생산 용이성 및 효율의 평가가 가능해진다. 제품제조 부문에서는 제조설비의 사양 결정, 공정 및 설비배치 최적화, 최적화된 공정계획 및 생산계획의 효율적인 작성, 그리고 생산성 향상 및 비용 절감이 가능하다. 또한 정보공유 및 관리 측면에서는 제품설계와 제조과정의 통합을 통한 협조적 엔지니어링(collaborative engineering)의 실현과 제품, 공정 및 생산시스템에 대한 정보 기반(information infrastructure)을 구축함으로써, 제품의 전체 수명주기(life-cycle)에 걸친 업무의 정립과 관리, 그리고 엔지니어들 사이의 용이한 의사소통과 협력 달성이 가능해진다¹⁶⁾.

가상공장은 제품 개발과 제조 전반에 걸쳐 여러 엔지니어링 업무에 디지털 가상생산을 적용할 수 있는 핵심 기반으로, 생산에 관련된 모든 정보를 디지털화하여 다양한 엔지니어링 업무들을 현명하게 수행할 수 있도록 하는 컴퓨터 통합 모델이다. 일반적으로 가상공장은 제품(product), 제조공정(manufacturing process & operation), 제조자원 및 환경(manufacturing resource and environments),

그리고 각종 엔지니어링 정보(manufacturing engineering information)을 모두 포함하게 된다. 디지털 가상생산을 효율적이고 체계적으로 적용하기 위해서는 대상 회사의 공장들에 대한 가상공장의 신뢰서있는 구축, 운영과 지속적인 유지보수가 필수적으로 요구된다고 할 수 있다.

2. 가상공장 구축 사례 및 효과

2.1. Daimler Chrysler

DC에서는 신차 개발에 가상생산 기술을 적극 활용하여 소위 “designed, tested, tooled, and built on computer”를 실현하였으며, 이를 위하여 모든 정보를 단일한 제품/프로세스 데이터베이스에서 관리하고 있다. 특히, 주목할 만한 것은 신규 공장 설립 시 가상생산 기술을 적용한 사례로서, 개발 제품과 프로세스 정보를 가진 컴퓨터 통합 모델인 가상공장을 가상생산 적용을 위한 플랫폼으로 구축, 활용하였다. 이를 위하여 3차원 CAD 상에서 새로운 공장을 개념 설계하여 실제 제품과 프로세스 데이터에 기반 한 시뮬레이션 및 플랜트/설비 가상화로 공장과 프로세스 설계를 빠르고 효과적으로 최적화하여 양산시점을 단축시켰다. 기존에는 모델 변경 시 생산을 중단하고, 양산 후 생산 프로세스에서 발생하는 각종 문제점들을 차차 확인, 제거하므로 생산량이 서서히 증가했으나, 사전에 여러 문제점을 신뢰성 있게 검토, 해결할 수 있었다는 것이다. 실제 도장공장에서만 200개 이상의 중요한 간섭 사례를 사전에 발견, 해결함으로써 약 3~4백만

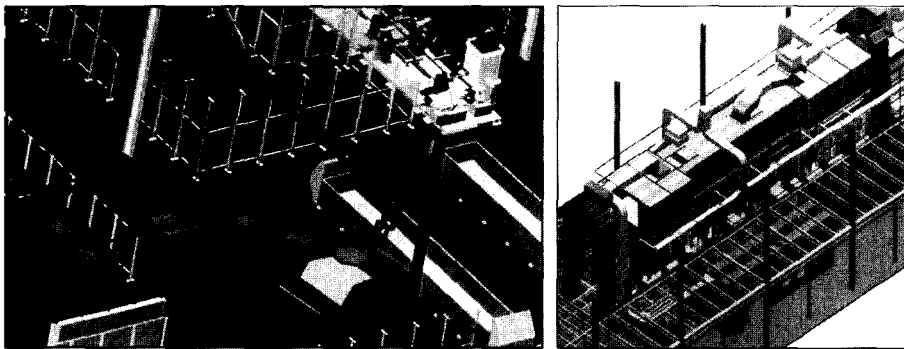


그림 1. DC의 도장 가상공장 구축 사례

불의 원가절감을 이루었다고 한다⁸⁾(그림 1).

2.2. GM

GM에서는 90년대 중반에 시작된 제조 각 부분의 math-based manufacturing 프로그램의 일부로 “모든 담당 엔지니어들이 실물을 만들기 전에 제조 및 조립시스템의 생성, 설계, 검증 및 운영을 컴퓨터의 수학적인 모델을 이용하여 사전에 수행해 본다”라는 목표로 가상공장의 구축과 활용을 추진하고 있다⁹⁾. 3차원 CAD, 시뮬레이션 모델을 바탕으로 한 가상공장 구축과 관련한 다음과 같은 3개의 과제를 수행중이다. GM에서는 이러한 기술들이 개발되면, 제품 개발과 생산부문의 통합을 통한 가상 제품개발(virtual product development) 개념이 신차 개발에 정착될 수 있을 것으로 기대하고 있다.

○ Virtual Bill of Process

조립라인 3차원 CAD 모델링 및 시뮬레이션 수행을 위한 공정 정보 관리를 통하여 가상공장을 구축하고, 이를 통하여 추후 신차 개발 시 효율적인 공정 준비 가능, 제조경험의 보존과 활용이 가능하도록 구성.

○ 3차원 가상공장 구축 및 분석

공장의 3차원 parametric 설계 및 시각화와 시뮬레이션과 연계한 가상작업의 수행과 분석, 그리고, 설계, 제조, 공급자간 동시공학 수행을 지원.

○ ‘작업셀 배치 및 제어 코드 검증’

주로 차체공장에 대하여 로봇 제어 프로그램 검증 소프트웨어 개발, off-line programming 수행

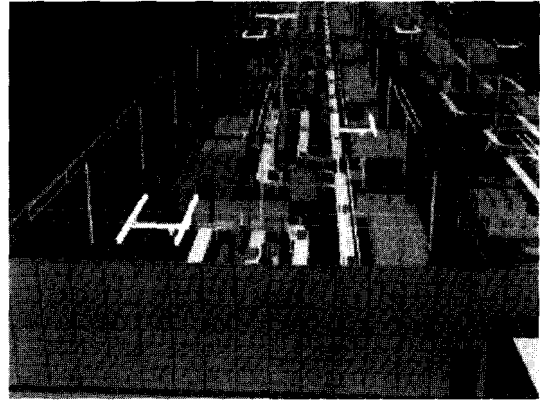
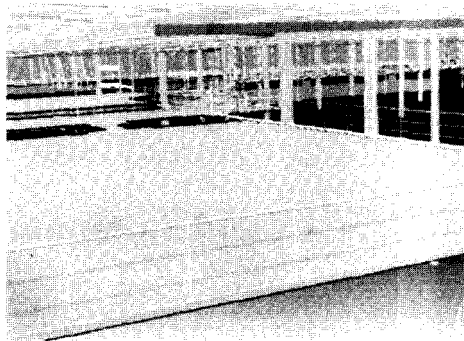


그림 2. GM의 가상공장 구축 사례

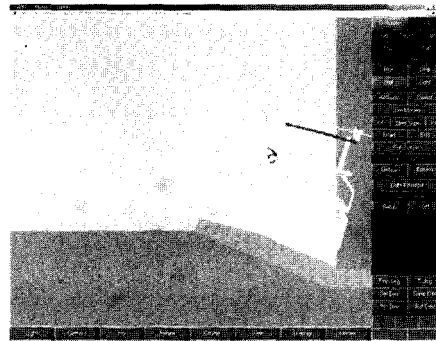
에 따른 차체 조립 준비 시간과 비용 절감, 그리고 용접 작업 수행에 필요한 각종 장비 라이브러리 구축(그림 2).

2.3. GM 대우자동차

GM 대우자동차 96년부터 신차 개발과 생산준비의 여러 업무들에 대한 디지털 가상생산 기술의 적용을 추진하여 왔으며, 특히, 99년부터 현재까지 “3차원 CAD 모델에 기반한 가상플랜트 구축”이라는 이름으로 프레스, 차체, 도장, 조립 공장에 대해 가상공장을 구축하고, 이를 생산준비 업무에 적용하는 과제를 진행하고 있다. 차체, 도장공장에 대한 가상공장이 구축되어 활용되고 있으며, 현재는 조립 공장을 대상으로 업무전산화와 병행한 가상공장의 구축 및 운영 기술이 개발되고 있다(그림 3).



3차원 CAD 모델



간접확인용 위한 시뮬레이션

그림 3. GM 대우자동차 도장 가상공장 활용 사례

3. 가상공장 구축 및 운영 기술

가상공장 구축 및 운영 기술이라 하면 일반적으로 3차원 모델을 기반으로 디지털 환경에서 제품개발 및 제조의 여러 업무들을 쉽게, 효과적으로 수행하는 기술로 생각되기 쉬우나, 실제로 제조현장에서는 어렵고, 고생스럽게 진행하고도 그 효과를 막집어 정리하기 힘들어 일회성으로 끝나기 쉬운 고생스런 업무로 인지되는 경우가 많은 것도 사실이다. 효과적으로 가상공장을 구축, 운영하기 위해서는 다음과 같은 사항들을 고려하여 적절한 방법을 가지고 접근하는 것이 필요하다고 할 수 있다.

3.1. 업무 프로세스 개선과 병행 추진

가상생산 기술의 적용을 위해서는 상당한 시간, 비용과 자원이 요구되므로, 초기에는 상세한 활용계획과 정량적인 목표를 수립하고, 구축 및 적용 후에는 결과를 정리, 분석하여 그 의의를 입증하고 적용분야를 확대하는 단계적인 접근 전략이 필요하다. 이에는 시스템 공학적인 접근방법이 필요할 것이다. 즉, (1) 가상공장의 단계별 적용 대상, 범위, 목적의 결정, (2) 적용 효과 예측, 적용 계획 수립, (3) 필요 투입 자원 결정 및 준비, 그리고 (4) 가상공장 적용에 따른 신 업무 도출 및 적용이 수행되어야 한다. 이를 위해서는 workflow analysis

(business process modeling and simulation)이나 BPR 방법들이 활용될 수 있다. 그림 4는 IDEF 방법을 이용한 신차 개발 업무 모델링 수행 결과의 예이다.

3.2. 3차원 CAD와 시뮬레이션 모델링 기술 및 시스템 구축

가상공장을 구성하는 작업은 크게 3차원 CAD 모델의 구성, 시뮬레이션 구현을 통한 운영모델의 구축 등으로 이루어진다. 두 작업 모두 상당한 시간과 노력이 요구되는 힘든 작업이므로, 각종 형상, 치수의 효율적인 측정 및 이를 기반으로 한 CAD 모델링 작업 수행, 대상 공장에 적합한 표준 라이브러리의 구축 및 활용, 시뮬레이션까지 포함하는 통합적인 모델링 환경의 구축과 작업된 모델의 재사용을 통하여 작업의 생산성을 높이는 노력이 필수적으로 요구된다. 적용 결과의 확대 적용을 위해서는 높은 신뢰성의 확보가 필수적이거나 투입할 수 있는 시간과 자원에 한계가 있으므로 적용 범위, 목적에 따라 부분적으로는 모델의 상세도 조정이나 추상화가 필요하다. 또한, 가상생산 적용 후에는 구성된 CAD 모델과 시뮬레이션 모델에 대한 엄밀한 검증을 통하여 모델의 적합성을 보장하여야 하고 추후 변경이나 현장 맞춤 등을 적절히 반영하여 그 신뢰성을 계속 유지하는 것이 필요하다. 또한, 실제

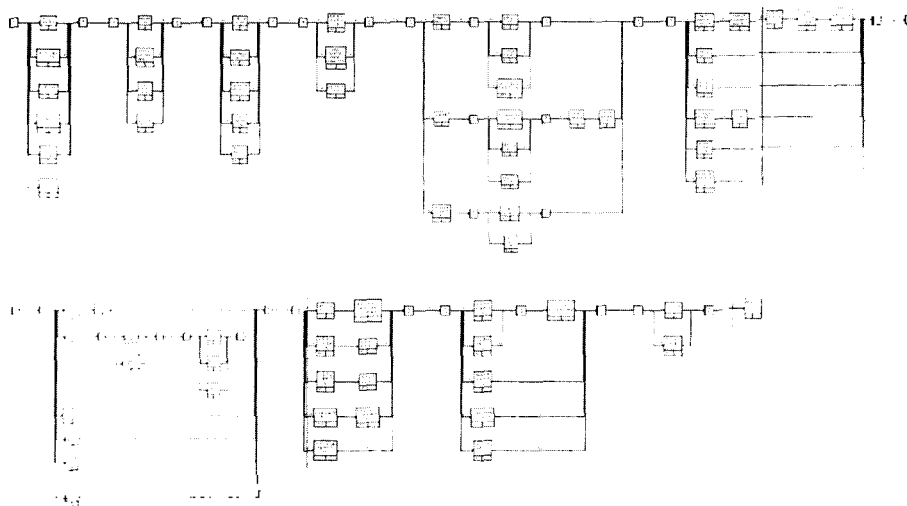


그림 4. 가상공장 활용 업무 분석 사례

많은 설비들이 도면이 없거나 도면이 있더라도 실제와 다른 경우에 속하므로, 모델링 작업은 단순한 CAD 모델링 작업 뿐만 아니라 형상, 치수의 측정과 이에 기반한 모델링 과정이 필수적으로 요구된다.

특히, CAD 모델링에서는 (1) 공정중심의 모델 관리, (2) 측정을 통한 정보(도면, 파일 등)의 부재 또는 불일치 극복, (3) 필요에 따른 요구 정밀도 만족, (4) 효과적인 기준 원점의 결정, (5) 측정, 모델링 결과의 검증과 지속적인 유지보수, 그리고 (5) 요구범위 안에서의 정확하고 신속한 모델링과 모델 재사용이 요구된다. 이를 실현하기 위한 방법론으로는 parametric and knowledge 기반 설계, 효과적 측정 및 연계된 모델링과 모델관리 시스템의 구축 및 활용 등이 있다.

시뮬레이션 모델링에서는 (1) 다양한 목적과 여러 종류의 시뮬레이션들의 통합(최소한 입출력과 결과의 DB화 및 공유, 분산 시뮬레이션), (2) 시뮬레이션 모델의 검증 및 지속적인 유지보수 수행, (3) 구성된 모델의 관리와 다양한 분야의 what-if 문제 적용, 그리고 (4) 모니터링, 생산관리 및 통제 시스템 등과의 연계(입력 데이터, 결과 분석 및 반영)가 필요하며, 공정데이터에 기반한 시뮬레이션 모델 생성과 모델 관리 시스템, 그리고 분산 시뮬레이션 등을 통하여 이러한 요구사항들을 만족시킬 수 있다.

그림 5는 Web 상에서 운영되는 가상공장 CAD 모델과 시뮬레이션 모델 관리 시스템의 구축 예이다. 객체지향 모델을 이용하여 필요한 정보를 직관적으로 찾고 선택할 수 있도록 구성되어 있다.

3.3. 정보공유 및 협업 지원

가상공장을 효과적으로 구축, 운영하기 위해서는 생산하는 제품, 제조에 사용되는 각종 설비와 자원, 생산순서와 방법들을 나타내는 공정, 그리고 작업에 대한 각종 정보들을 통합하여 체계적으로 관리해야 한다. 이때 특히 설비 및 자원과 관련된 정보는 설비의 사양, 위치, 특성 등 각종 데이터, CAD 파일, 그리고 기타 관련 파일 등 매우 다양하며, 이러한 정보들은 제품설계 부서, 공정설계 부서, 설비업체, 협력/외주업체 등 여러 곳에 분산되어 있는 엔지니어들에 의하여 입력, 조회, 수정될 수 있어야 한다. 이를 위해서는 업무분석, 각종 문서들에 대한 표준 수립, 자료 입출력 절차 확립과 이를 기반으로 한 유연한 구조의 통합 데이터베이스 설치가 선행되어야 하며, CAD 등 각종 파일의 인터페이스 방법에 대한 면밀한 검토와 사용하기 편리하고 신뢰성이 있는 제품, 설비, 공정 정보관리 체계의 구축이 필수적이다. 즉, (1) 통합된 디지털 환경에서의 엔지니어링 협업 달성, (2) Web 또는 mobile 기술을 이용한 생산데이터, 엔지니어링 데이터베이스

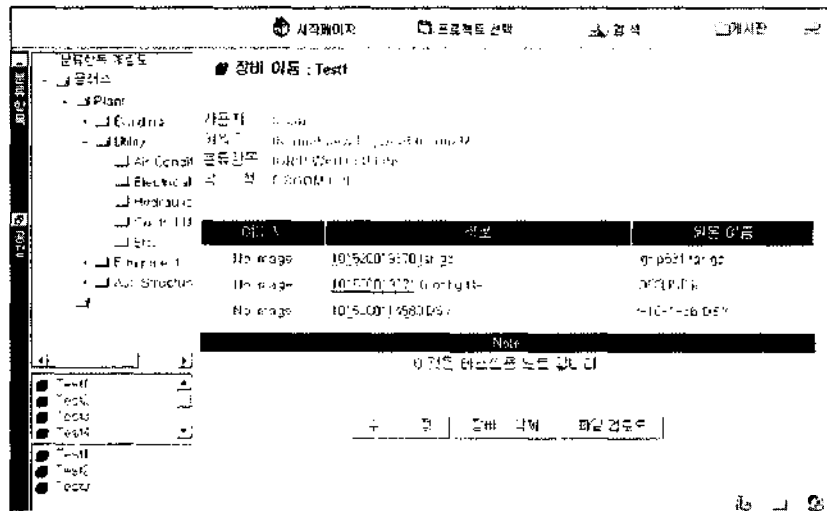


그림 5. CAD와 시뮬레이션 모델의 관리 시스템 구축 사례

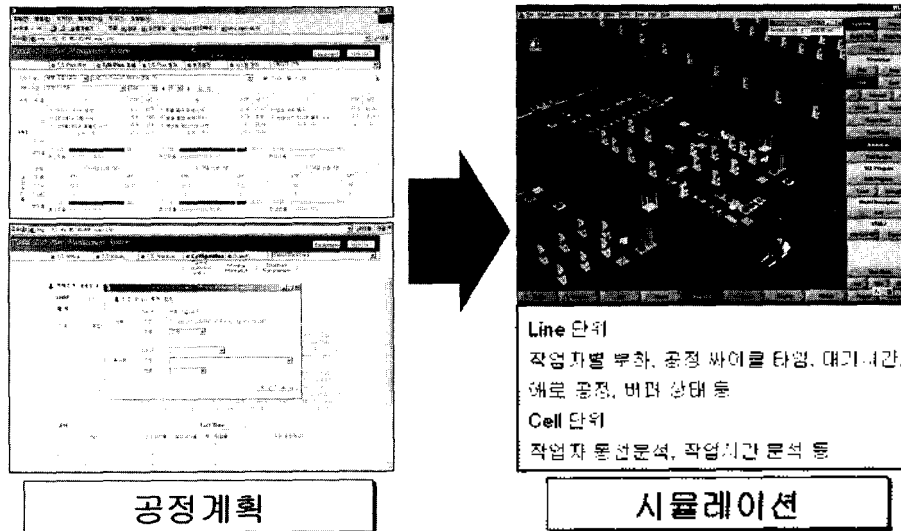


그림 6. 공정계획과 시뮬레이션을 통한 분석 업무의 통합 개념도

스, 디지털 생산과 엔지니어링 업무의 연계, 그리고 (3) 다양한 종류와 형태의 생산 정보 데이터베이스 구축이 요구되며, 업무 전산화를 디지털 생산기반 프로세스로 추진하여, 궁극적으로 데이터에 기반한/시각화된/프로그램화된/다수 작업자간의 정보 공유 및 협업 환경을 구축하여야 한다.

그림 6은 정보공유 및 협업의 예로서 공정계획 시스템과 가상공장 시뮬레이션 모델이 통합되어 구축되는 개념을 보여준다. 공정계획자가 공정계획을 작성하면서, 필요한 경우 언제든지 작성된 공정계획에 기반한 가상공장 운영을 수행할 수 있으므로, 효율적이고 오류 없는 공정계획의 작성이 가능하다.

4. 결 언

가상공장을 구축, 운영하여 가상생산 기술을 효과적으로 적용함으로써 신제품 개발, 공장설계 및 운영, 공정과 설비의 검증 및 안정성 평가, 공정과 물류 분석 및 대안 검토, 검사 및 품질 관리, 그리고 제품, 설비, 공정 시각화를 통한 이해 증진 등 여러 부문에서 엔지니어링 문제들을 효율적으로 해결하고, 다수 엔지니어들간의 협조적 엔지니어링을 통하여 제품 개발기간 단축 및 품질 향상, 비용 절감 등을 통한 경쟁력 향상이 클 것으로 기대된다.

그러나, 가상공장의 구축과 효과가 지나치게 과대포장 되거나 처음부터 지나친 의욕을 가지고 추진하여, 초기의 요구를 만족시키지 못하고 일회성으로 종료되고, 그 결과가 사장되는 경우가 많은 것도 사실이다. 결국 가상공장을 만들고 운영하는 것 자체가 목적이 되어서는 안되며, 제품 개발과 생산의 과정에서 수행되는 엔지니어링에 초점을 맞추어 실제적인 업무수행이 도움이 되도록 가상공장이 구축, 운영되어야 하며, 이를 위한 업무 분석과 개선, 관련 기술 및 지원 시스템의 개발과 환경 구축이 요구된다.

참 고 문 헌

- [1] Jordan, J. and Michel, *Next Generation Manufacturing(NGM)*, CASA/SME Blue Book, 1999.
- [2] Lee, K.I. and Noh, S.D., Virtual Manufacturing System - a Test-bed of Engineering Activities, *Annals of the CIRP*, Vol. 46, No. 1, 347-350, 1997.
- [3] 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, 335-338, 1997.
- [4] Iwata, K., Onosato, M., Teramoto, K., and Osaki,

- S., A Modeling and Simulation Architecture for Virtual Manufacturing Systems, *Annals of the CIRP*, Vol. 44, No. 1, 379-383, 1995.
- [5] Brown Associates, D.H. Inc., *Providing its Worth ; Digital Manufacturing's ROI*, <http://www.dhbrown.com>, 1999.
- [6] 노상도, 이창호, 한형상, 자동차 가상생산기술 적용(I)-생산준비 업무 분석 및 적용 전략 수립, *IE Interface*, Vol. 14, No. 2, 120-126, 2001.
- [7] 노상도, 홍성원, 김덕영, 손창영, 한형상, 자동차 가상생산기술 적용(II)-차체공장 가상플랜트 구축 및 운영, *IE Interface*, Vol. 14, No. 2, 127-133, 2001.
- [8] Delmia, *Case Studies - Daimler Chrysler*, <http://www.delmia.com>, 2001.
- [9] 이장희, 신제품 개발과정에서의 디지털 매뉴팩처링의 역할과 현황, *기계저널*, 2001.