

자동차 가상생산 기술 적용(I) — 생산준비 업무 분석 및 적용 전략 수립*

노상도 · 이창호 · 한형상

고등기술연구원 생산기술센터

Virtual Manufacturing for an Automotive Company(I) — Workflow Analysis and Strategic Planning of Manufacturing Preparation Activities

Sang Do Noh · Chang Ho Lee · Hyung Sang Hahn

Virtual manufacturing is a technology facilitating effective development and agile manufacturing of products via sophisticated computer models representing physical and logical schema and behavior of real manufacturing systems including manufacturing resources, environments, and products. Based on these models, virtual manufacturing supports decision making and error checking in the entire manufacturing processes from design to mass production. At first, we analyzed manufacturing preparation activities of the four major production shops such as press, body assembly, painting and final assembly, of a Korean automotive company. We then developed the workflow models out of the analysis by the IDEF methodology, and generated a strategic plan for the systematic application of the virtual manufacturing technologies. We identified many manufacturing preparation activities that can be improved by the application of virtual manufacturing technologies. Finally, we estimated the effect of improvement including time savings in car development processes and corresponding cost savings.

1. 서론

소비자 욕구가 다양화되고 글로벌 기업간의 경쟁이 치열해 짐에 따라 시장 환경은 다양한 제품을 신속하게 생산할 수 있는 새로운 생산 패러다임을 요구하고 있다. 1999년 CASA/SME가 발간한 "Next Generation Manufacturing"에 의하면, 향후 10년 간의 기술발전은 생산시스템으로 하여금 적응력과 민감성을 갖춘 정보시스템을 보유하여 지식기반 관리를 수행하고, 시뮬레이션, 가상생산 등 체계적인 방법들을 활용하여 신속하게 제품, 공정들을 현실화하며, 효율과 유연성이 탁월한 신개념의 각종 장비, 공정들을 개발, 활용하고, 부품 공급자까지 확대된

글로벌한 협동을 실현하게 될 것으로 전망된다(Jordan, Michel, 1999).

가상생산(virtual manufacturing)은 생산시스템의 물리적, 논리적 구성 요소들과 거동을 엄밀하게 모델링하여 통합된 컴퓨터 모델을 구성하고, 3차원 CAD, 시뮬레이션 등 다양한 새로운 컴퓨터 기술들을 활용하여 전체 생산공정에 걸쳐 각종 오류의 사전 검증과 효율적인 의사 결정을 수행함으로써 신속하고 효율적인 제품 개발 및 생산을 실현하고자 하는 기술이다. 기존 또는 새로운 제조, 관리 계획이나 정책, 기술 등을 가상환경에 도입하여 생산 활동에 사전에 적용해 볼 수 있으므로 신규 라인을 계획하거나 설계할 때 빈번히 발생하는 다양한 상황 변화에 따른 재계획과 의사결정에 추가되는 비용과 시간의 낭비

* 본 논문은 과학기술부 국가지정연구실 사업(과제명: 분산 생산 시스템의 인터넷기반 신속 구축 및 최적 운영기술 개발)의 지원으로 수행되었습니다.

를 최소화할 수 있다(Lee, Noh, 1997; Iwata et al., 1995; Iwata et al., 1997).

일반적으로 가상생산 기술을 적용하면 장비, 시설과 각종 치공구 등의 설계, 공정과 일정계획의 수립, 공장과 각종 설비들의 배치(layout), 물류 정책 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(정원중, 2000), 이는 결국 생산에 소요되는 시간과 비용의 절감을 가져온다. 실제로 항공산업의 경우 각종 치공구 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 있다(Brown Associates, 1999).

특히, 자동차 산업을 살펴보면 제품 개발에서 양산까지 소요기간이 매우 길고 금형과 엔진의 가공 및 조립, 프레스, 차체, 도장과 조립 공정을 거치는 양산 과정이 매우 복잡하고 다양하여 이 과정에서 수립되는 각종 설계와 계획의 사전 검증과 최적화가 매우 중요하다(노상도, 이창호, 2000; 홍성원 외, 2000). 이에 따라 국내의 유수의 자동차 제조기업들은 신차 개발 기간의 단축과 비용 절감 그리고 양산 품질 향상을 통한 경쟁력 향상을 목적으로 가상생산 기술의 개발과 활용을 위하여 집중적인 연구와 투자를 전사적으로 진행하고 있으며, 이는 향후 자동차 생산기술 발전의 한 방향으로 자리매김하고 있다(Ellison et al., 1995; 일본 자동차 기술회, 1998). Daimler Chrysler사의 경우, 금형 개발에서 3차원설계 도입과 활용으로 설계 기간을 약 35~40% 감소시키고, 신차 제조 라인의 설계와 검증기간이 6~8 개월 소요되던 것을 4~8주로 감소시켰으며, 차체공장 등에서 필요한 각종 로봇 제어 코드를 OLP 방법을 이용함으로써 신차 생산 준비시간을 2~4 개월 단축하고 라인당 약 2천만 불에 달하는 비용을 절감할 수 있었다고 한다(Delmia, 2001). <표 1>은 자동차 기업의 일반적인 가상생산 기술 적용 분야를 정리한 것이다.

본 논문에서는 국내의 한 자동차 회사를 대상으로 동시공학(concurrent engineering)적인 제품 개발 체계하에서 신차의 설계에서 양산에 이르기까지 수행되는 일련의 생산준비 업무들을 파악하고, 이를 IDEF(Integration DEFinition) 방법을 이용하여 체계적으로 분석하였다. 구성된 현행 워크플로우(workflow)를 바탕으로 가상생산 기술적용대상 업무를 선정하고 각각에 대해 적용 범위와 목표를 결정하였으며, 적용시의 기대 효과를 분석함으로써 대상 회사의 가상생산 기술적용 전략을 수립하였다.

2. 자동차 생산준비 업무

자동차의 스타일 결정에서 양산에 이르는 신차 개발시에 동시적으로 진행되는 개발 업무에는 상품 기획 단계에서부터 설계,

표 1. 자동차 가상생산 응용 분야

응용분야	내용
가상 엔지니어링	<ul style="list-style-type: none"> CAD 시스템과 연계, 건축물/설비/기계와 각종 부속물의 통합적 모델링, 검증 환경 구성 제품/부품 모델, DMU를 통한 설계 해석 및 평가 환경 제공
플랫폼 설계 및 운영	<ul style="list-style-type: none"> 건축/시설/장비 모델링, 정보 관리 공정계획/일정계획 작성, 운영 시뮬레이션을 통한 최적화 공장 레이아웃 결정 장비, 시설 보수 지원, 작업자 교육, 설명서
공정 검증 및 평가	<ul style="list-style-type: none"> 가공 시뮬레이션 통한 NC 프로그램 작성, 검증 및 최적화 각종 치공구 설계, 검증 수행 로봇 시뮬레이션, OLP 통한 프로그램 작성 및 검증 조립 시뮬레이션, 조립품 시각화, 부품, 치공구들간의 간섭 확인 및 조립 작업 최적화 인간 모델 고려 통한 작업자 작업성 평가, 안전도 검증
공장 시뮬레이션	<ul style="list-style-type: none"> 자재흐름분석, 병목현상식별, 대체수단 평가 등
검사/품질관리	<ul style="list-style-type: none"> 측정장비 OLP, 허용한계 분석 품질 예측, 불량 요인 도출 및 대안 검토
제품/설비/공정시각화	<ul style="list-style-type: none"> 제품/설비/공정의 시각화에 따른 작업자의 이해 증진 작업 오류 방지와 개선안 도출

생산, 구매, 판매, 품질 보증, 정비 분야의 전 부문이 공동으로 참여하고 있다. 일반적으로 자동차 생산비용의 약 80% 정도가 이 과정에서의 엔지니어링 작업에 의하여 결정된다고 알려져 있다. 따라서 컴퓨터를 이용한 정보의 공유와 협업(engineering collaboration)의 달성은 고품질 확보, 원가 절감, 제품 개발 기간의 단축과 생산성 향상에 필수적인 사항이라고 할 수 있다(Mills, 1998; Gu, 1993; Noh, 1999).

생산준비 업무와 관련된 신차 개발 과정은 <그림 1>과 같다. 상품을 기획하는 계획 단계, 플랫폼(platform)을 개발하고 스타일링(styling)을 수행하며, 시작품 도면 작성(prototype drawing), 시작품 제작(prototype build)과 생산 도면 및 계획 작성(production drawing) 작업이 이루어지는 제품설계 및 개발 단계, 시험 및 차량 평가(tryout/vehicle match), 시험 생산(pilot production)으로 구성되는 제품 및 공정 유효성 확인 단계, 양산 계획과 양산, 각종 오류의 시정들을 수행하는 양산 단계로 이루어져 있다. 단계별로 설계, 계획, 분석, 시험 등 다양한 엔지니어링 업무가 동시적으로 수행되며, 그 결과 각 단계의 진행에 따라 개념 설계, 각종 제어 프로그램, 양산차, 시작차(prototype car), 시험생산차(pilot production car) 등이 얻어지게 된다(노상도, 이창호, 2000).

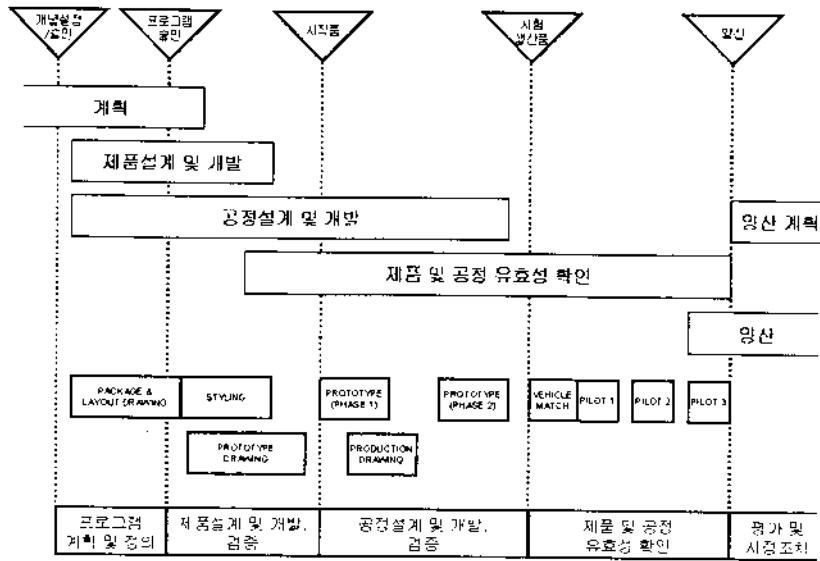


그림 1. 자동차 개발 단계별 생산준비 업무.

3. 자동차 생산준비 업무 분석

3.1 개요

연구 대상이 된 자동차 회사는 신차 개발 과정에 동시공학적인 업무 프로세스를 도입한지 10년이 되어 상당히 정착되어 있다. 그러나 생산에 관련된 다양한 사항들을 고려하여 이를 설계에 반영하기에는 부서간의 장벽, 의사 소통의 애로와 엔지니어들의 전문성, 관심 영역의 상이 등으로 여전히 많은 어려움이 있어 자동차 개발기간 지연과 초기 양산 품질 불량 등의 주요한 원인이 되고 있다. DMU(digital mock-up) 적용, 가상플랜트(virtual plant)의 구축과 운용, 가상작업(virtual operation) 수행과 가상시제품(virtual prototyping)의 구현 등 가상생산 기술을 적용, 활용하여 이러한 문제들을 해결할 수 있을 것으로 기대되나, 이를 위해서는 생산준비 업무의 분석과 이를 통한 가상생산 기술도입 전략 수립과 효과 예측이 필수적이다.

이런 관점에서 가상생산기법의 도입을 통하여 신차개발시 생산과 관련된 문제점을 조기에 해소하는 데 연구의 주요한 두었다. 우선 프레스, 차체, 도장, 조립 부문은 대상으로 현행(as-is) 워크플로우 분석을 통하여 가상생산 기술의 도입으로 효과적인 해결이 기대되는 주요 업무들을 도출하였으며, 이를 기반으로 개선(to-be) 워크플로우를 설계하였다. 워크플로우 분석을 위해서 IDEF3 기법을 적용하였으며, KBSI사의 ProSim을 모델링 도구로 사용하고, 업무개선효과 분석 시뮬레이션을 위해서는 Lanner사의 Witness를 이용하였다.

3.2 생산준비 업무의 워크플로우 모델링

워크플로우 모델링 작업은 신차개발시 생산 준비 업무를 대상으로 프레스, 차체, 도장, 조립 공장과 관련된 네 가지 공정별

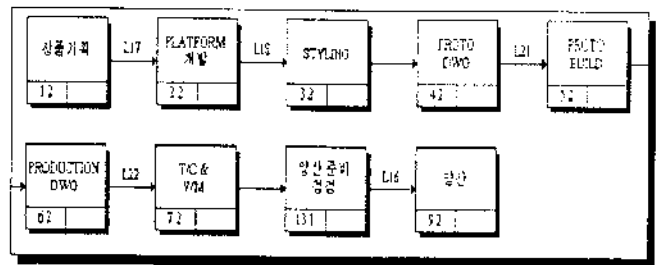


그림 2. 제품개발 단계별 생산준비.

로 나누어 진행하였다. 대상 생산준비 업무들을 시간적으로 구분하여 보면 <그림 2>와 같이 제품 개발 단계별로 상품기획에서부터 양산에 이르기까지 크게 9가지 프로세스로 나누어진다.

제품개발 단계별로 분류된 9가지의 프로세스들은 분해(decomposition) 작업을 통하여 더 상세한 프로세스들로 세분화된다. <그림 3>은 플랫폼 개발 단계에서 이러한 프로세스 분해 작업의 결과를 나타낸 것이다. 이와 같이 프로세스 분해작업을 수차례 반복하여 프레스, 차체, 도장, 조립 공정의 신차 개발 업무에 대한 워크플로우 분석을 수행하였으며, 이를 바탕으로 가상생산 기술의 적용 분야와 효과, 대상 자동차 회사의 전산화 및 정보화 수준을 고려하여 개선된 생산준비 업무 모델을 설계하였다.

대상 회사의 생산준비 업무를 분석한 결과 생산준비 업무는 프레스 공장과 차체 공장의 경우 각 76개, 도장 공장과 조립 공장의 경우 각 73개의 업무가 도출되었다. 이 중 가상생산 기술의 적용이 가능한 업무로는 프레스 공장 15개, 차체 공장 21개, 도장 공장 17개, 조립 공장 24개로 분석되었다. 가상생산 적용 대상 업무의 경우 업무 흐름에 더하여 가상생산 적용에 필요한 준비 데이터와 적용 효과 등을 추가로 결정, 정리하였다.

<그림 4>와 <그림 5>는 차체공장의 생산준비 워크플로우

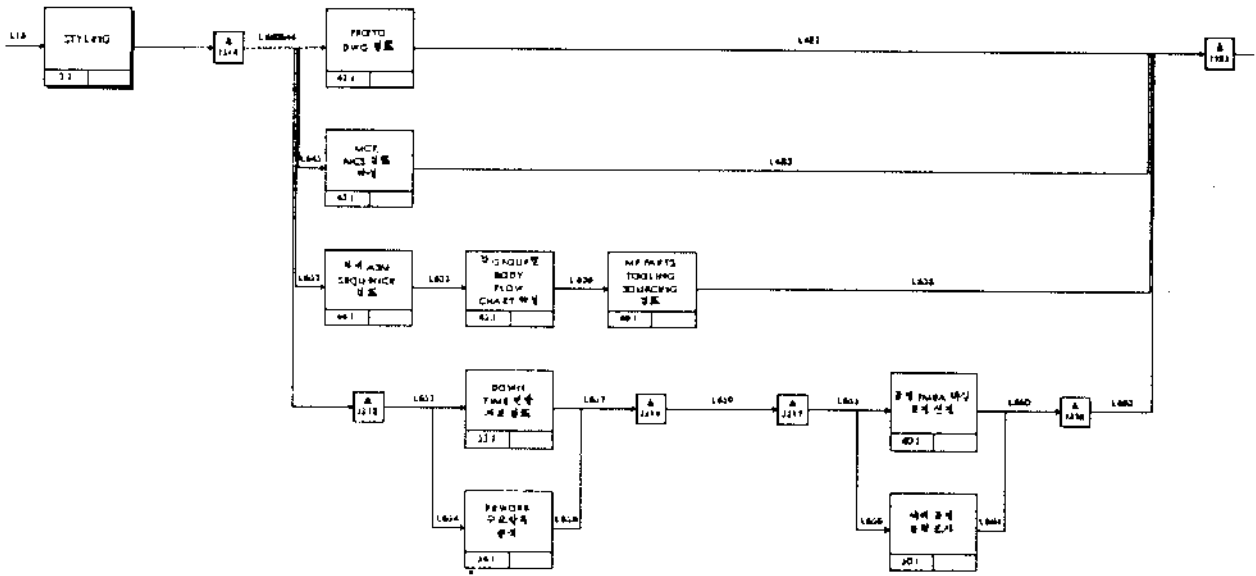


그림 3. 프로세스 분해 - 플랫폼 개발.

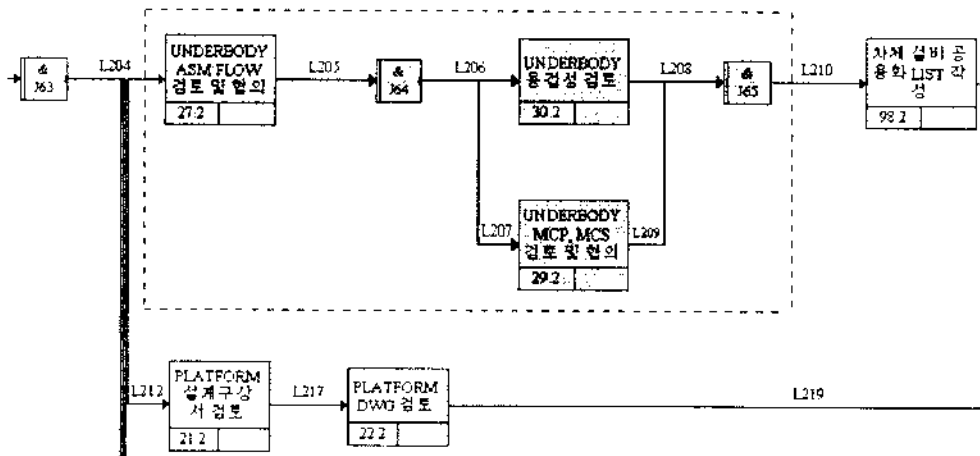


그림 4. 차체공장 생산준비 업무 현행 워크플로우의 예.

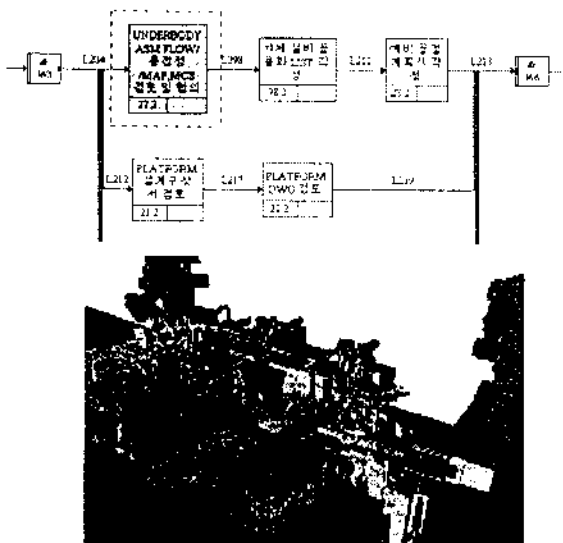


그림 5. 가상생산 기술 적용의 예(로봇 용접작업) - 공정검증 및 평가.

에 대한 현행 모델과 개선된 모델의 예이다. 가상생산 기술은 로봇 용접작업에 적용하여 공정 검증 및 평가에 활용한 사례를 보여준다. 가상생산의 결과를 효과적인 의사소통의 수단으로서 활용하여 업무를 단순화시키고 소요 공수를 절감하여 일정 단축의 효과를 거두었다. <그림 5>의 예를 포함하여 근래에 생산 준비를 완료한 한 소형 차종의 경우 차체 공장에서 사용되는 로봇들의 준비 작업에서 로봇 OLP를 적용한 결과 제어 코드 준비 시간을 약 60% 단축하고 약 4억 원에 이르는 프로그램 비용을 절감할 수 있었다.

<그림 6>은 가상생산 기술을 제품/공정/설비 시각화에 활용하는 예로서, 부품 이적재 작업의 오류 여부를 확인하는 경우에 적용한 사례이다. 작업자들 사이의 이해 증진과 업무 단순화를 통하여 해당 업무 수행에 소요되는 공수를 절감하고 작업의 신뢰성을 높이는 효과를 얻었다.

<그림 7>은 가상생산 기술을 가상엔지니어링 수행 및 공정 시뮬레이션에 활용한 사례이다. 설비 설치 일정의 수립이나

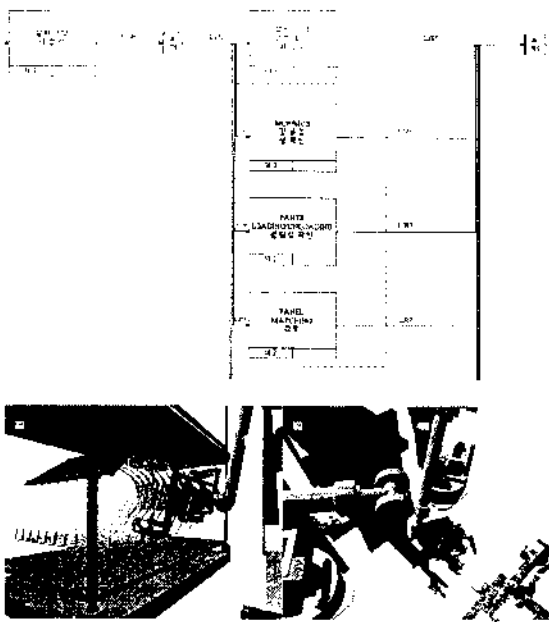


그림 6. 가상생산 기술 적용의 예(부품 이적재 작업 확인)-제품/공정/설비 시각화.

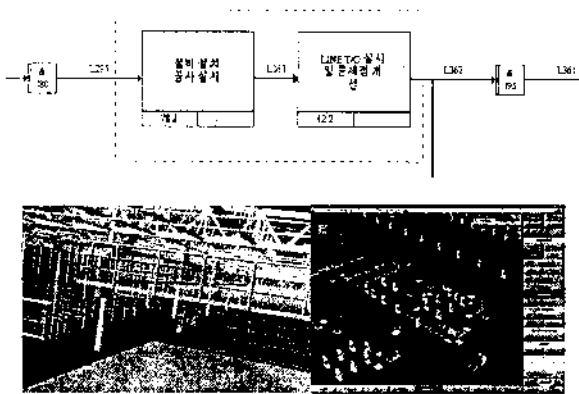


그림 7. 가상생산 기술 적용의 예 - 가상엔지니어링 및 공정 시뮬레이션.

간섭확인 작업을 수행하고, 전체 공정 흐름을 예측, 검증해봄으로써 대안의 도출과 일정 단축이 가능하였다. 예를 들어 도장 공장의 경우 신차에 대한 설비 간섭을 확인하기 위해서 실제 prototype 차를 시험적으로 운영하여 발생할 수 있는 각종의 문제들을 찾아 해결하는 기존의 방식을 가상생산을 이용한 방법으로 바꾸면, 실물차의 사용이 불필요해지므로 비용과 시간을 크게 단축할 수 있다.

3.3 생산준비 업무 가상생산 적용 전략

본 논문에서는 <표 2>, <표 3>, <표 4>, <표 5>와 같이 공장별로 가상생산 적용이 가능한 업무들을 도출하고, 이에 요구되는 데이터와 적용 효과를 체계적으로 정리함으로써 대상 회사의 가상생산 적용 전략을 수립하였다.

표 2. 프레스 공장 생산준비를 위한 가상생산 적용 업무 및 필요 데이터

업무	적용분야 및 효과	필요 데이터
제품/die 성형성 검토	가상엔지니어링	제품
verification 모델 검토	가상엔지니어링	제품
proto. drawing 검토	가상엔지니어링	제품
공법 설명 및 검토	공정 검증/평가/시각화	제품/설비
각종 치공구 설계/제작	공정 검증/평가/시각화	제품/설비/시설
transfer line 작업성 검토	공정 검증/평가	제품/설비
pattern 문제점 검토	공정 검증/평가	제품
작업자 교육	제품/설비/공정 시각화	제품/설비/건축/시설
검사 계획 수립 및 준비	공정 검증/평가	제품/설비
rack 사양, 적재성 검토	공정 검증/평가	제품/설비/건축/시설

표 3. 차체 공장 생산준비를 위한 가상생산 적용 업무 및 필요 데이터

업무	적용분야 및 효과	필요 데이터
용접점, 주요사항 검토	공정 검증/평가	제품/설비
로봇 프로그래밍/준비	공정 검증/평가	제품/설비
용접성/작업 세부 확인	공정 검증/평가	제품/설비
설비 공용화 검토/확인	가상엔지니어링	제품/설비
용접 sequence 검토	가상엔지니어링	제품/설비/건축/시설
물류 layout 결정/검증	공장 시뮬레이션	제품/설비/건축/시설
부품 이적재 성립 검토	가상엔지니어링, 공정 검증/평가	제품/설비
설비 검토 및 설치	플랜트 설계/운영	제품/설비/건축/시설
line T/O 실시/개선	공장 시뮬레이션	제품/설비
vehicle match 실시/개선	공장 시뮬레이션	제품/설비/건축/시설
cycle time 평가	공장 시뮬레이션	제품/설비
작업자 교육	제품/설비/공정 시각화	제품/설비/건축/시설

생산준비 업무에 가상생산 기술을 적용하기 위해서는 제품, 설비, 공정에 대한 각종 정보, 엔지니어링 결과 등이 통합되어 관리되어야 하고, 신뢰성 있는 3차원 CAD 모델의 확보가 필수적이며, 이에선 전체 공장을 대상으로 한 가상플랜트를 구축하고 운영하는 연구가 필요하다. 가상플랜트는 통상 플랜트 단위로 구분되는 생산공장의 제품, 설비, 공정 등을 가상생산의 관점에서 모델링하여 통합적으로 구성한 컴퓨터 모델로서 공장에서 발생하는 일체의 제조행위들에 대하여 가상생산을 수행하기 위한 기반이 된다. 이러한 가상플랜트는 크게 제품, 설비간섭 확인, 공정검토, OLP 등을 수행하는 셀(cell) 단계와

표 4. 도장 공장 생산준비를 위한 가상생산 적용 업무 및 필요 데이터

업무	적용분야 및 효과	필요 데이터
typical section drawing/ pre-proto. car/proto. drawing 검토	플랜트 설계/운영	제품/설비/ 건축/시설
운반설비 설계/검토	가상엔지니어링, 공정 검증/평가	제품/설비
도장설비 간섭 확인 도장성/작업성 확인/검토	플랜트 설계/운영 검사/품질 관리	제품/설비 제품/설비 건축/시설
hanger/skid 설계/검토	가상엔지니어링, 공정 검증/평가	제품/설비/ 건축/시설
치공구 검토/제작/시험	가상엔지니어링, 공정 검증/평가	제품/설비/ 건축/시설
작업자 배치 계획/검토	공정 검증/평가	제품/설비
설비 검토/설치	플랜트 설계/운영	제품/설비
작업자 교육	제품/설비/공정 시각화	제품/설비/ 건축/시설

표 5. 조립 공장 생산준비를 위한 가상생산 적용 업무 및 필요 데이터

업무	적용분야 및 효과	필요 데이터
package concept 확인	가상엔지니어링	제품
engine room package 확인	가상엔지니어링, 공정 검증/평가	제품/설비
module concept 확인	가상엔지니어링, 공정 검증/평가	제품
typical section drawing/proto. drawing/proto. car 검토	플랜트 설계/운영, 가상엔지니어링	제품/설비
운반 설비 대응 범위 검토	플랜트 설계/운영	제품/설비
exterior/interior model 검토	가상엔지니어링	제품
주요 공정/설비 검토	플랜트 설계/운영, 공정 검증/평가	제품/설비/ 건축/시설
주요부 조립 공차 검토/확인	가상엔지니어링	제품
물류 문제점 검토/협의	공장 시뮬레이션/ 플랜트 설계/운영	건축/시설
special tool 설계/검토	공정 검증/평가	제품/설비
치공구 설계/검토	공정 검증/평가	제품/설비
production drawing 검토	공정 검증/평가	제품/설비
공정배치와 흐름의 검토/확인	공장시뮬레이션, 제품 /설비/공정 시각화	제품 제품/설비/ 건축/시설
공정별 자재목록 작성/검토	제품/설비/공정 시각화	제품/설비

전체 라인의 운영 효율, 대차 대수 검토, 물류 분석 등을 수행하는 라인(line) 단위로 나누어 구축하고, 구성되는 각 모델을 유기적으로 연계하는 것이 효과적이다.

이와 같은 결과를 바탕으로 생산준비 업무에 대한 가상생산 기술의 적용을 위하여 <그림 8>과 같은 전략을 수립하였으

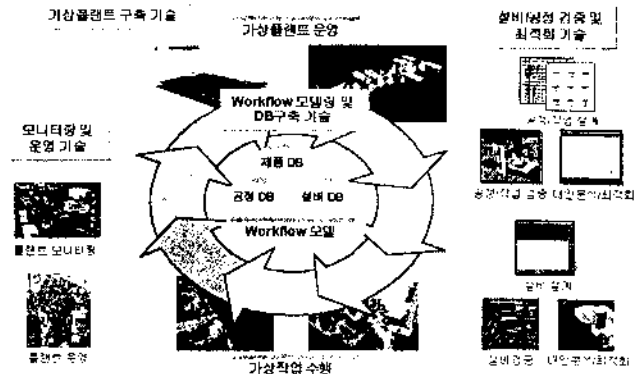


그림 8. 자동차 가상생산 기술 적용 전략

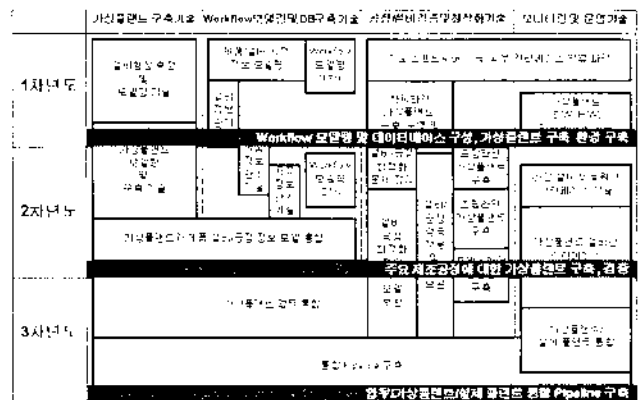


그림 9. 가상생산 기술 적용 계획

며, 이의 수행을 위한 세부 계획을 <그림 9>와 같이 작성하였다. 주요 연구분야는 가상플랜트를 설계하고 준비하는 워크플로우 모델링 및 DB 구축 기술, 3차원 CAD 모델을 작성하고, 이를 기반으로 제품, 공정, 설비를 모델링하는 3D 가상플랜트 구축 기술, 구축된 가상플랜트의 운영을 통하여 엔지니어링 문제를 해결하고, 협동을 단성하는 공정/설비 검증 및 최적화 기술, 그리고 가상플랜트를 실제 플랜트와 연계하는 모니터링 및 운영 기술의 네 가지로 분류하였다. 주요 생산 공정인 프레스, 치제, 도장, 조립 공장에 대한 가상생산 적용일정은 업무분석 및 데이터베이스 구성과 가상플랜트 구축 환경을 구축하는 1차년도, 주요 제조공정에 대한 가상플랜트 구축 및 검증을 수행하는 2차년도, 그리고 업무, 가상플랜트와 실제 플랜트를 통합하는 새로운 업무체계를 정립하는 3차년도의 3개년으로 계획하였다.

4. 결론

본 논문에서는 국내의 한 자동차 회사를 대상으로 신차 개발 시 생산준비 업무에 가상생산 기술을 적용하기 위하여, 현행 생산준비 업무를 분석, 워크플로우 모델을 구성하고, 이를 바탕으로 가상생산 기술을 적용할 수 있는 업무들과 적용 효과,

직용 프로세스를 도출하였으며, 이를 바탕으로 가상생산 기술 개발 및 적용 전략을 수립하였다.

생산준비 업무에 가상생산 기술을 직용함으로써 공장설계 및 운영, 공정과 설비의 검증 및 안정성 평가, 공정/물류 분석 및 대안 검토, 검사/품질관리, 그리고 제품/설비/공정 시각화를 통한 이해 증진 등 여러 분야에서 엔지니어링 문제들을 해결하고, 협조적 엔지니어링을 달성함으로써 제품 개발기간 단축 및 품질 향상, 비용 절감 등을 통한 경쟁력 향상에 크게 기여한 것으로 기대된다.

참고문헌

노상도, 이창호 (2000), *가상생산 기술 적용을 위한 자동차 생산준비 업무 분석* 고등기술연구원.
 자동차기술회 (1998), *자동차 생산기술의 예측조사- 2025년의 자동차 생산기술 자동차제조에서의 꿈을 추구하며* (사)일본 자동차기술회.
 정원중(2000), *대우자동차 생산연구소 Virtual Manufacturing 추진 사례, 2000 Korea Deneb User Meeting.*
 홍성원, 김덕영, 이창호, 손창영, 노상도 (2000), *자동차 차체공장 가상플랜트 구축 및 활용*, 고등기술연구원.

Anthony Mills (1998), *Collaborative Engineering and the Internet - Linking product development partners via the web*, SME.
 Brown, D. H. Associates, Inc.(1999), *Providing its Worth : Digital Manufacturing's ROI*, <http://www.dhbrown.com>.
 Delmia (2001), *Case Studies - Daimler Chrysler*, <http://www.delmia.com>.
 Ellison, D. J., Clark, K. B., Fujimoto, T. and Hyun, Y. S. (1996), *Development Performance in the Auto Industry : 1990s Update*, Harvard Business School.
 Howard C. Crabb (1998), *The Virtual Engineer*, ASME Press.
 Iwata, K., Onosato, M., Teramoto, K. and Osaki, S. (1997), *Virtual Manufacturing Systems as Advanced Information Infrastructure for Integrating Manufacturing Resources and Activities*, *Annals of the CIRP*, 46(1), 335 - 338.
 Iwata, K., Onosato, M., Teramoto, K. and Osaki, S. (1995), *A Modeling and Simulation Architecture for Virtual Manufacturing Systems*, *Annals of the CIRP*, 44(1), 379 - 383.
 Jablonski, S. and Bussler, C. (1996), *Workflow Management*, ITP.
 Jordan, J. and Michel, F. (1999), *Next Generation Manufacturing (NGM)*, CASA/SME Blue Book.
 Lee, K. I., Noh, S. D. (1997), *Virtual Manufacturing System - a Test-bed of Engineering Activities*, *Annals of the CIRP*, 46(1), 347 - 350.
 Noh, S. D. (1999), *Networked Virtual Manufacturing System for Collaborative Engineering*, Ph.D. Thesis of Seoul National University.
 Peihau Gu and Andrew Kusiak(1993), *Concurrent Engineering. Methodology and Applications*, Elsevier.



노상도
 한국과학기술원 정밀공학과 학사
 서울대학교 기계설계학과 석사
 서울대학교 기계설계학과 박사
 현재: 고등기술연구원 생산기술센터 선임연구원
 관심분야: 생산시스템, 가상생산, CAPP/CAM, FMS/CIM



한형상
 서울대학교 산업공학과 학사
 한국과학기술원 경영과학과 석사
 Univ. of Wisconsin, Madison 산업공학과 박사
 현재: 고등기술연구원 생산기술센터장
 관심분야: 생산시스템공학, 시뮬레이션



이창호
 연세대학교 기계공학과 학사
 포항공과대학교 산업공학과 석사
 현재: 고등기술연구원 생산기술센터 선임연구원
 관심분야: 데이터베이스, 가상생산, 생산시스템