

자동차 가상생산 기술 적용(Ⅲ) — 가상 도장공장 구축 및 운영

노상도^{1*} · 김덕영² · 박영진³

¹성균관대학교 시스템경영공학부 / ²스위스 로잔공과대학 대학원 기계공학과 /

³(주)지엠대우자동차 생산기술연구소

Virtual Manufacturing for an Automotive Company(Ⅲ) — Construction and Operation of a Virtual Paint Shop

Sang Do Noh¹ · Duck Young Kim² · Young-jin Park³

¹ School of Systems Management Engineering, Sungkyunkwan University, Gyeonggi-do, 440-746

² Department of Mechanical Engineering, Swiss Federal Institute of Technology at Lausanne

³ Production Research Center, GM Daewoo Auto & Technology

Virtual Manufacturing is a technology to facilitate effective product development and agile production by computer models representing the physical and logical schema and the behavior of real manufacturing systems including manufacturing resources, environments and products. For the successful application of this technology, a virtual factory as a well-designed and integrated environment is essential. In this research, we constructed a sophisticated virtual factory model of an automotive company's paint shop, and performed precise simulations of unit cells, lines and whole plant operations for collision check and off-line programming. It is expected that this virtual paint shop is useful for achieving time and cost savings in many manufacturing preparation and planning activities of new car development processes.

Keywords: virtual manufacturing, virtual factory, automotive paint shop, simulation

1. 서론

시장환경의 변화로 자동차 산업은 새로운 도전에 직면하고 있다. 높은 품질과 생산비용 최소화 요구에 더하여, 고객의 요구가 다양해지고, 생산 리드타임은 극도로 짧아지고 있다. 이러한 변화에 신속하게 적응하기 위해서 자동차회사의 생산시스템은 새로운 패러다임으로의 전환이 필요하다. 즉, 소품종 대량생산이나 다품종 소량생산에서 다품종 적시/적량 생산으로, 최소의 리드타임(lead time)을 갖는 민첩한 생산시스템으로의 전환이 요구되고 있다. 기존의 하드웨어 기반의 자동화에 더

하여 효율적인 소프트웨어 기반의 자동화가 구현되고, 지식기반의 분산 생산시스템, 통합된 정보시스템과 이를 바탕으로 한 원활한 동시적 협동(concurrent and collaborative engineering)이 실현되는 새로운 생산시스템은 이러한 요구들을 만족시킬 수 있을 것이다(Jordan and Michel, 1999). 제품의 기획, 개발, 생산준비, 시작생산, 양산, 판매 및 사후관리 등의 모든 제품 수명주기(product life-cycle)에서 적용되어야 하는 이러한 개념을 만족시키기 위하여 제조업에서 적용할 수 있는 새로운 개념의 기술이 가상생산(virtual manufacturing) 또는 디지털생산(digital manufacturing)이라고 할 수 있다.

가상생산(virtual manufacturing)은 “생산시스템의 물리적, 논리적 구성요소들과 거동을 엄밀하게 모델링하여 통합된 컴퓨터 모델을 구성하고, 3차원 CAD, 시뮬레이션 등 다양한 컴퓨터 기술들을 활용하여 생산의 전과정에 걸쳐, 각종 오류의 사전 검증과 효율적 의사결정을 수행함으로써 신속하고 효율적인 제품 개발 및 제조를 실현하려는 기술”이다. 이를 적용하면 다양한 생산 및 관리 계획이나 각종 정책, 기술 등을 가상 생산환경에 도입하여 그 효과를 사전에 검증해 볼 수 있으므로, 신규 라인의 설계, 신제품 생산에 따른 공정계획 수립, 생산준비와 생산계획 수립 등 여러 부문에서 재계획과 의사결정에 소요되는 비용과 시간을 최소화할 수 있다(Lee and Noh, 1997; Iwata et al., 1997). 가상생산 기술의 도입 효과에 대한 한 보고서에 따르면, 항공산업의 경우 각종 치공구 설계에서 시간과 공수 절감 약 75%, 중공업의 경우 주물 제작에서 발생하는 오류 감소 50%, 그리고 자동차 산업의 경우 특히 공장 라인 설계 분야에서 기간 단축 효과가 약 20% 정도 있다고 한다(Brown Associates, 1999).

가상공장(virtual factory)은 생산행위가 일어나는 하나의 공장을 대상으로 제품(product), 설비(resource), 공정(process) 등을 가상생산의 관점에서 모델링하여 통합적으로 구성하는 컴퓨터 모델로서, 공장에서 발생하는 일체의 제조 활동에 가상생산 기술을 적용하는 데 기본이 되는 핵심 기반이 된다. 보통 모델의 적용 범위, 상세화 정도에 따라 작업, 셀, 라인으로 구분할 수 있는 공정과 각 공정에 속하는 세부 작업들, 그리고 이에 관련된 각종 정보를 통합적으로 보유한다(Iwata et al., 1995; Kimura, 1993). 가상공장을 구축, 활용하게 되면 제품개발 부문에서는 새로운 아이디어의 개발과 관리과정에서 생산가능성을 바로 검증할 수 있고, 제품설계 부문에서는 가상시제품(virtual prototype)의 제작을 통한 제품 시각화, 성능 분석, 가상 시험, 그리고 생산 용이성 및 효율의 평가가 가능해진다. 제품 제조 부문에서는 제조설비의 사양 결정, 공정 및 설비배치(layout) 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 전 라이프사이클(life cycle)에 걸친 업무의 정립과 관리, 그리고 엔지니어들 사이의 용이한 의사소통과 협의의 달성이 가능해진다(Lee and Noh, 1997; Iwata et al., 1997; Noh 1999). 가상공장의 구축에는 상당한 시간, 비용과 자원이 요구되므로 초기에 상세한 활용계획과 정량적인 목표를 수립하고, 구축, 적용 후에는 그 결과를 정리, 분석하여 그 의의를 입증하고 적용분야를 확대하는 단계적인 접근 전략이 필요하며, 이를 위하여 시스템 공학적인 접근과 워크플로우(workflow) 업무 분석, BPR(business process re-engineering)의 수행이 필요하다(Noh et al., 2001).

실제로 가상공장을 구성하는 작업은 크게 3차원 CAD 모델의 구성, 시뮬레이션 구현을 통한 운영모델의 구축 등으로 이

루어지는데, 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, 시뮬레이션까지를 포함할 수 있는 통합적인 모델링 환경의 구축과 작업된 모델의 재사용을 통하여 작업의 생산성을 높이는 연구가 필수적으로 요구된다. 가능한 가상공장의 높은 신뢰성이 확보되어야 올바른 결과가 여러 분야에 폭 넓은 확대 적용이 가능하겠으나, 투입할 수 있는 시간과 자원에 한계가 있으므로 적용 범위, 목적에 따라 모델의 일부, 부분적인 상세도 조정이나 추상화를 진행하여야 한다. 또한 가상공장 구축 후에는 구성된 CAD 모델과 시뮬레이션 모델에 대한 엄밀한 검증을 통하여 모델의 적합성을 보장하여야 하고 추후 변경사항이나 현장 맞춤 등을 적절히 반영하여 그 신뢰성을 유지하도록 하여야 한다(Noh, Hong et al., 2001).

본 논문에서는 자동차 산업에 가상생산 기술의 적용 현황을 정리해 보고, 국내의 한 자동차 회사의 도장 공장을 대상으로 자동차 생산준비 업무에 가상생산기술을 적용하기 위하여 가상 도장공장(virtual paint shop)을 구축, 운영 사례를 소개하고, 그 구현과정과 적용 결과를 정리함으로써 가상생산 기술을 적용하기 위한 가상공장의 구축과 활용의 실제적인 설명을 하고자 한다.

2. 자동차 산업과 가상생산

자동차 산업의 경우, 신차 개발에서 양산까지 상당히 오랜 기간이 소요되고, 금형과 엔진의 가공 및 조립, 프레스, 차체, 도장 조립 공정을 거치는 양산 과정도 매우 복잡하고 다양하여 생산준비 과정에서 수립되는 각종 설계와 계획의 사전 검증과 최적화가 매우 중요하다. 이에 따라 국내외 유수의 자동차 회사들은 신차 개발시간의 단축, 비용 절감, 양산 품질 향상을 통한 경쟁력 향상을 목적으로 전사적으로 가상공장의 구축과 활용을 위한 관련기술의 연구와 투자를 진행하고 있다.

Daimler Chrysler의 경우, 가상생산 기술을 전사적으로 도입, 적용하여 신차 제조 라인의 설계와 검증기간이 6~8개월 소요되던 것을 4~8주로 감소시켰으며, 금형 개발에서 3차원설계 도입과 활용으로 설계 기간을 약 35~40% 감소시키고, 차체공장 등에서 필요한 각종 로봇 제어 코드를 OLP 방법을 이용함으로써 신차 생산 준비시간을 2~4개월 단축하고 라인당 약 2천만불에 달하는 비용을 절감할 수 있었다고 한다(Delmia, 2001). 특히, 주목할 만한 것은 신규 공장 설립시 가상생산 기술을 적용한 사례로서, 개발 제품과 프로세스 정보를 가진 컴퓨터 통합 모델인 가상공장을 가상생산 적용을 위한 플랫폼으로 구축, 활용하였다. 이를 위하여 3차원 CAD상에서 새로운 공장을 개념 설계하여 실제 제품과 프로세스 데이터에 기반한 시뮬레이션 및 플랜트/설비 가시화로 공장내 프로세스 설계를 빠르고 효과적으로 최적화하여 양산시점을 단축시켰다.

그림 1. Daimler Chrysler의 가상 도장공장 구축 사례.

기존에는 모델 변경시 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 가상 도장공장에서만 200개 이상의 중요한 간섭 사례를 사전에 발견, 해결함으로써 약 3~4백만불의 원가절감을 이루었다고 한다(IBM, 2000).

General Motors(GM)에서는 90년대 중반에 시작된 제조 각 부문의 math-based manufacturing 프로그램의 일부로 “모든 담당 엔지니어들이 실물을 만들기 전에 제조 및 조립시스템의 생성, 설계, 검증 및 운영을 컴퓨터의 수학적인 모델을 이용하여 사전에 수행해본다”라는 목표로 가상생산 기술의 도입을 추진하고 있다(Lee, 2001). 특히, 3차원 CAD, 시뮬레이션 모델을 바탕으로 한 가상공장 구축과 관련한 3개 과제를 1999년부터 수행 중이다. 첫 번째는 주로 조립라인에 대한 ‘Virtual Bill of Process’로서 조립라인 3차원 CAD 모델링 및 시뮬레이션 수행을 위한 공정 정보 관리를 통하여 가상공장을 구축하고, 이를 통하여 추후 신차 개발시 효율적인 공정 준비 가능, 제조경험의 보존과 활용이 가능하도록 하는 것이고, 두 번째는 ‘3차원 가상공장 구축 및 분석’으로 공장의 3차원 parametric 설계 및 시각화와 시뮬레이션과 연계한 가상작업의 수행과 분석, 그리고, 설계, 제조, 공급자간 동시공학 수행을 지원하고자 하는 것이다. 세 번째는 주로 차체라인에 대한 ‘작업 셀 배치 및 제어 코드 검증’으로서 로봇 제어 프로그램 검증 소프트웨어 개발, off-line programming 수행에 따른 차체 조립 준비 시간과 비용 절감, 그리고 용접 작업 수행에 필요한 각종 장비 라이브러리 구축이 그것이다. 이와 같은 기술 개발이 성공적으로 수행되면 제품 개발과 생산부문의 통합을 통한 가상제품개발(virtual product development) 개념이 신차 개발에 정착되어 2002년 이후부터는 신제품 개발과정에서 극적인 효과를 볼 수 있을 것으로 GM은 기대하고 있다.

유럽의 Volvo의 경우 전사적 가상생산센터를 운영하고 있고, 개념 및 검토, 설계 및 생산준비의 단계에서 시뮬레이션을 통한 연속적인 프로세스의 검증을 수행하는 개념의 VPPD(Volvo product & process development) 체계의 수립을 진행하고 있다. 특히, BMW, AUDI, Renault, Volvo 등이 컨소시엄을 구성, 가상시제품을 시험하고 있으며, EU차원에서 유럽 자동차 생산국 간의

AIT(advanced information technology in design and manufacturing) 프로젝트를 추진, 표준 모델 구축과 DMU(digital mock-up) 데이터의 공유를 진행하고 있다.

일본의 TOYOTA의 경우, 가상생산 기술을 생산기술 부문에서 디자인 결정에서 양산까지의 신차개발기간을 현행 18개월에서 12개월로 단축하기 위한 핵심적인 기술로 추진하고 있다. 전사적 설계 지원 시스템인 V-COMM(visual & virtual communication)을 일본, 미국, 브라질, 아르헨티나, 남아프리카, 터키 등에 도입을 완료하였고, 2002년 3월에는 이를 통하여 신차종 bB(black box)를 13개월만에 개발했다고 발표하기도 했다(IBM, 2002).

또한, Nissan은 제품 정보 공유를 위해서 TEC(technology of engineering data & correlation)을 개발, 활용한 바 있으며, Mazda에서는 DMU를 비롯한 가상생산 기술을 활용하여 설계기간 3개월, 제작비용 30%를 감축하는 Mazda Digital Innovation 프로젝트를 진행한 바 있다.

3. 자동차 도장 가상공장

3.1 도장공장의 생산준비 업무 프로세스

본 논문에서는 국내의 한 자동차 회사를 대상으로 도장공장에 가상생산 기술을 도입하기 위하여, 도장공장 가상공장의 운영 목적 결정과 활용 극대화를 위한 업무프로세스 모델링을 <그림 2>와 같이 수행했으며, 이를 바탕으로 <표 1>과 같이 도장공장의 가상생산 적용이 가능한 업무들을 도출하였다. 가상공장 활용시 필요한 자원과 효과를 체계적으로 정리함으로써, 현실적이면서도 효과적인 가상 도장공장 구축과 활용 계획을 수립할 수 있다.

표 1. 도장 공장 생산준비를 위한 가상생산 적용 업무 및 필요 자원

업 무	적용분야 및 효과	필요 자원
typical section drawing/pre-proto. car/proto. drawing 검토 운반설비 설계/검토	플랜트 설계/운영 가상엔지니어링, 공정 검증/평가	제품/설비/ 건축/시설 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 설비 검토/설치 작업자 교육	공정 검증/평가 플랜트 설계/운영 제품/설비/공정 시각화	제품/설비 제품/설비 제품/설비/ 건축/시설

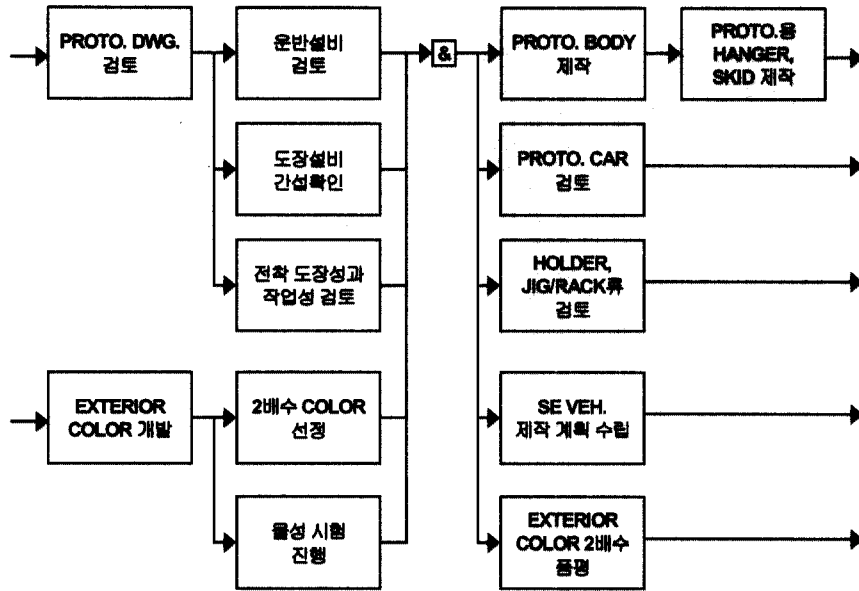


그림 2. 도장공장 생산준비 업무 프로세스 모델의 예.

3.2 가상 도장공장의 목적

차체공장(body shop)에서 만들어진 자동차 차체(body)에 대하여 하도, 중도, 상도, 그리고 수정 및 재도장과 왁스 등의 공정을 수행하는 도장공장(paint shop)을 대상으로 가상공장을 구축하였다. 이를 위하여 3차원 CAD 모델링은 대상 회사에서 전사적으로 사용하고 있는 IBM/Dassault System의 CATIA v4, v5를 사용하였으며, 시뮬레이션으로는 가상생산 시뮬레이션 소프트웨어인 Delmia의 IGRIP과 QUEST를 사용하였다.

본 논문에서 구성, 운영된 가상 도장공장의 목표는 다음과 같다.

- 신차 개발시 기존 공장의 설비 및 구조물과 새롭게 설계되는 차체와의 간섭 등의 문제점 검토
- 새로 작성된 설비와 도장 공정의 적합성 사전 검증 및 문제점 사전 개선. 특히, Jig, 설비 등의 간섭 확인을 포함하는 공정과 설비들의 검증
- 계획 생산에 따른 도장 작업 수행 전/후 차체의 저장 공간 타당성 사전 검증 및 최적화
- 도장작업을 위한 로봇 OLP 수행을 통한 로봇 프로그램 시간 단축 및 비용 절감
- 공장의 건축, 설비 등의 가시화를 통한 작업자의 이해 증진
- 공장, 생산에 관련된 각종 정보 통합 관리 및 지식기반(knowledge base) 구축

3.3 도장 가상공장 CAD 모델의 구성

3.3.1 측정

도장공장 가상공장 구축을 위한 3차원 CAD 모델링에는 도

장공장의 구조물 및 안전 펜스 등 현장 맞춤으로 자주 변경되는 여러 설비들의 형상과 치수에 대한 엄밀하고 신뢰성 있는 측정작업이 필수적으로 요구된다. 특히, 측정작업이 진행되는 과정 중에 가장 문제가 되는 것은 도면이 아주 없거나 있더라도 현장맞춤 등으로 실제와 차이가 많이 발생하는 부분이다. 측정방법에 신뢰도를 높이기 위해 측정되는 각 구간에 대해서 3회 이상 반복하여 그 오차를 최소화하였으며, 기존 도면과 공장의 위치 기준점이 되는 주기등(main column)을 적극 활용하여, 측정이 어려운 구역에 대한 측정을 수행하였다. 또한 절대 좌표를 얻어내기 위하여 공장내의 주요 기둥들과 벽면, 그리고 공장 1층 바닥면을 사용하였다. 이러한 일련의 과정은 실제 현장과 바뀌지 않은 도면과의 대조를 통해 그 신뢰성을 확보하였다고 생각되며, 간섭여부 확인이 중요하지 않거나, 상대적으로 여유가 있는 구간을 제외함으로써 작업수행시간을 단축시킬 수 있었다. 또한, 위와 같은 방법으로 측정된 결과를 실제로 3차원 CAD로 모델링하는 과정에서 미심쩍은 부분은 또 다시 측정하여 그 정확성을 유지하였으며, 간섭 시뮬레이션을 하는 과정에서 나온 결과와 이미 측정된 결과에 차이가 나는 부분 역시, 재 측정하는 과정을 반복하여 수행하였다.

3.3.2 설비의 3차원 CAD 모델링

도장공장 가상공장 구축을 위한 3차원 CAD 모델은 CATIA v5를 주로 이용하고, 건축 구조부, 시설부, 설비별로 CATIA에서 제공하는 Mechanical Design & Structure Design Solution을 사용함으로써 단일한 환경에서 다양한 설비들에 대한 모델링 작업 수행과 활용이 가능하도록 하였다. <그림 3>은 3차원 CAD 모델링 결과의 예이며, 각 요소별로 수행한 모델링 작업 방법과 특성은 다음과 같다.

그림 3. 도장공장 설비 3차원 CAD 모델의 예(WBS 라인).

· 안전망(safety net)

안전망은 육안으로도 쉽게 많은 현장 맞춤이 있었음을 알 수 있었기 때문에 이를 실제와 동일하게 모델링하기 위해 여러 주요 위치에서의 높이와 폭 등을 다수 측정하였다. 안전망의 경우, 주요 형상의 면(surface)정보만으로도 간섭 여부를 확인을 충분히 할 수 있기 때문에 모델의 크기를 줄이고 모델링 작업을 보다 편리하게 하기 위하여 모든 구간을 면으로 모델링하였다.

· 기둥(column)

도장공장에서 간섭을 일으킬 수 있는 기둥들은 주로 안전망을 지지하는 비교적 작은 형태의 것이라고 할 수 있다. 그 생김새의 종류에 따라 I형, ㄷ형, L형 등으로 나뉘고 기둥별로 다양한 치수들이 사용된다. 따라서 각 형태에 따라 좌우 배치 등 모든 요소들을 실제와 동일하게 모델링하는 것이 필요하다. 기둥을 모델링하기 위해서 CATIA v5의 Structure Design Solution을 사용하였다.

· 배관(pipe) 및 덕트(duct)

배관과 덕트 중 운반설비 라인 상에 위치하여 간섭에 영향을 미칠 수 있다고 판단되는 것들은 모두 모델링하였다. 배관은 덕트와 달리 CATIA v5의 Solid Model의 sweeping 기능을 사용하여 모델링 하였다. 이는 배관 모델의 특성상 양 끝단의 포인트 정보만 있으면 배관 중간에서 변형이 없기 때문에 모델링 작업을 수월하게 할 수 있기 때문이며, 추후 모델의 수정 또한 용이하기 때문이다.

· 캐리어 라인(carrier line)

캐리어 라인은 간섭체크를 위해 가장 엄격한 정밀도가 요구되는 부분이다. 이 부분은 비교적 정확하게 도면과 일치하여, 기본적으로 도면을 바탕으로 모델링을 수행하였다. 그러나, 엄밀히 확인하기 위하여 실제 바닥면과 캐리어라인 간의 측정을 통하여 정확도를 확인하였다. 도장공장 3차원 CAD 모델에서 캐리어 라인과 안전망과의 거리는 가장 중요하게 고려한 부분이라고 할 수 있다. 캐리어 라인의 경우 곡선의 곡률 등은 실제로 측정할 수가 없었기 때문에 도면의 정보를 사용하였고,

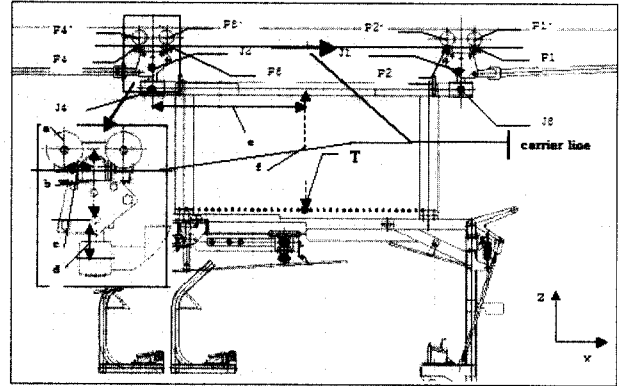


그림 4. 도장공장 carrier 모델.

현장맞춤이 다수 진행된 구간은 수 차례 측정을 통해 모델링을 수행하였다. 캐리어 라인의 경우, 그 곡선의 CATIA 파일을 IGES 파일로 전환하여 사용하였는데, 그 이유는 IGRIP에서 기본 포인트를 추출할 때, 호환이 용이하기 때문이다. 또한 이 과정에서 곡선은 B-Spline 곡선이어야만 한다. 이는 각 곡선들이 구간별로 나뉘어져 있는데 이를 IGRIP에서 JOIN 기능을 사용하여 하나의 곡선으로 만들기 위해서이다.

3.3.3 차체, 운반설비의 3차원 CAD 모델링

차체 3차원 CAD 모델은 설계 부서에서 작성된 최종 단계의 전체 모델을 사용하였고, 운반설비는 <그림 4>와 같이 도면을 중심으로 모델링 하였다. 운반설비의 경우 추후 동역학적 시뮬레이션을 수행하여야 하기 때문에 IGRIP을 이용하여 기구학적 모델링을 수행하였다. 하지만 본 도장 공장은 overhead conveyor line을 일괄된 수식으로 표현할 수 없고 여러 소구간 별로 나뉘어져 있다. 따라서, overhead conveyor의 동역학을 표현하기에는 여러 상용소프트웨어에는 한계를 가지고 있다. 이에 동역학을 실제와 동일하게 구현하기 위하여 범용 프로그램 언어를 사용하여 외부 응용프로그램의 개발이 필요하다.

차체 공장에서 완성된 car body는 <그림 5>와 같이 over head carrier에 장착되어 도장공장에서의 공정이 수행되어진다. 이때

그림 5. 운반설비의 기구학적 3차원 CAD 모델.

carrier line과 carrier 간의 정확한 운동역학을 정의하기 위해서는 다음과 같은 것들이 고려되어야 한다. 즉, carrier line의 정확한 수식이 절대적으로 필요하며, 1차 hanger에 있는 wheel과 carrier line의 curve간의 1 회전운동과 1 병진운동의 자유도 2의 조인트가 발생한다. 1차 hanger에는 총 8개의 wheel이 있으며, 4개 단위로 병진운동 방향은 일정하다고 가정할 수 있지만 각 조인트의 접점은 각기 다르다. 이와 비슷한 예로 자동차와 지면 간의 운동을 생각할 수 있다.

또한 지면을 XY평면이라고 가정했을 때, <그림 4>의 J1, J2의 XY평면과 수직인 회전운동을 고려해야 한다. 이때 회전할 수 있는 상한 및 하한이 존재하기 때문에 이를 반영해야 한다. 그리고 J3, J4의 Z축 중심의 회전운동이 있으며, 이동의 상, 하한을 갖는 자유도 1의 상, 하로의 병진운동을 고려해야 한다. 각각의 조인트는 상호 종속적이며, 이의 구속력은 각각의 조인트에 대한 운동역학을 해결하는데 도움도 되지만 강력한 제약조건으로 작용하는 경우가 대부분이다. 앞에서 언급한 carrier line의 수식은 하나의 function으로 정의할 수 없고, 각 구별로 각각의 수식으로 존재하기 때문에 1차 hanger의 wheel이 2개의 구간에 걸쳐서 지나가는 경우에는 그 운동역학 모델을 정의하기에 많은 어려움이 있다.

복잡한 운동역학을 갖는 모델을 IGRIP에서 모델링한 후 car body의 진행을 simulation하기 위해 tag point를 생성하는 것이 거의 불가능하다고 판단되어 범용 프로그램 언어를 사용하여 tag point를 찾아낼 수 있는 방법을 개발하게 되었다. 이는 carrier line curve를 discrete하게 고려하여, 탐색의 방법으로 carrier와 carrier line 간의 운동역학에 맞는 tag point를 추정하는 방법이라고 할 수 있다. 이를 위한 알고리즘은 다음과 같으며, <그림 6>은 차와 운반설비 모델을 통합한 결과이다.

- 1) <그림 4>의 점 P1에서 carrier line에 수직인 거리 a 인 점 P1'를 구한다. 이때 수직인 점을 찾기 위해서는 Z축과 평행하고 carrier line에 수직인 평면을 구해서, 이 평면을 supported plane으로 간주하면 점을 쉽게 찾을 수 있다.

- 2) P2를 raw points의 집합에서 찾는다. 즉, P2'가 P1'와의 거리가 c 거리의 두 배가 될 수 있는 P2를 찾는다.
- 3) P1', P2'를 통해 J1을 찾는다. 즉, P1', P2'가 이루는 직선에 수직방향으로 거리 b 인 이등분점을 찾는다.
- 4) 임의의 점 P3를 찾아 1) ~ 3)과 동일한 방식으로 J2를 찾는다. 이때, J1과 J2의 거리가 두 배의 e 가 될 수 있는 P3를 찾는다.
- 5) J1과 J2 그리고 d, e, f 를 통해 T값을 얻을 수 있다. 즉 J1, J2가 이루는 직선에 수직방향으로 $d + f$ 거리의 이등분점을 찾는다.
- 6) J1과 J2가 이루는 방향벡터는 점 T의 roll, pitch, yaw값으로 사용되게 된다.

3.4 도장공장의 간섭 여부 확인

구성된 3차원 CAD 모델들을 이용하여 신차 개발시 발생하는 기존, 또는 신규 설비와 차체 간의 간섭 여부를 사전에 신뢰성 있게 검토한다. 구성된 기구학적 모델은 컨베이어(overhead conveyor)의 레일과 접지점 8개와 6자유도 운동, 그리고 각 치수의 제약을 고려하고 있으며, 실제 컨베이어의 운동과 비교 검증한 결과 $\pm 5\text{mm}$ 이내의 오차로 만족할 만한 결과를 얻을 수 있었다. 시뮬레이션을 통한 차체, 설비 간의 간섭 사전 체크는 기존의 수작업을 통한 방법보다 검토 시점 단축 및 신뢰성 향상, 검토에 소요되는 시간과 비용 절감 측면에서 큰 효과를 얻을 수 있었다. <그림 7>, <그림 8>과 <그림 9>, <그림 10>은 차체와 설비 및 구조물 간의 간섭 체크(collision check) 시뮬레이션 수행과정을 보여주고 있다.

3.5 도장 가상공장 구축 및 운영 결과

본 논문에서 구축, 운영된 도장 가상공장의 구축 결과 및 적용 효과는 다음과 같다.

그림 6. 차체, 운반설비 결합 모델.

그림 7. 차체, 안전 펜스 간의 간섭확인.

mm 정도의 오차범위를 얻을 수 있었다. 일반적으로 간섭 확인을 위해서는 ± 10 mm 오차 범위를 요구하므로, 구성된 CAD 모델을 이용하여 차체, 설비간의 다수의 간섭 발생을 사전에 신뢰성 있게 검토할 수 있게 되었다. 또한, 구성된 가상공장의 CAD 모델들만을 가지고도 차체, 설비의 DMU 활용이 가능하였다.

3.5.2 차체, 설비 간 간섭확인

3차원 CAD 모델과 기구학적 시뮬레이션을 통하여 차체, 설비간의 간섭확인을 사전에 수행할 수 있었으며, 실제 측정을 통한 일부 구간의 정밀 측정 결과 시뮬레이션과 실제 동작의 차이는 ± 10 mm 오차 범위 내에서 있음을 검증할 수 있었다. 도장 가상공장에서 차체, 설비의 문제점을 사전에 신뢰성 있게 검토할 수 있게 됨에 따라, 신차개발시 설비 검토, 개조의 시점을 앞당길 수 있게 되어, 생산준비 시간을 단축시킬 수 있게 되었고, 공사에 들어가는 비용을 크게 절감할 수 있게 되었다. 예를 들어, 설비 개조에 있어서 기존에는 도면상에서 검증한 엔지니어링 결과에 대한 신뢰성 부족으로 미심쩍은 부분에 대한 불필요한 개조 공사를 다수 수행하였으나, 정확한 검토 결과를 바탕으로 꼭 필요한 공사만을 수행할 수 있게 되어 예산과 시간을 크게 절감할 수 있게 된 것이다. 또한, 실차를 이용한 간섭확인 절차가 불필요해져서 시작차 사용을 줄일 수 있게 되었다.

3.5.3 공장, 설비 시각화(visualization)

구성된 3차원 CAD 모델을 통하여 각종 건축 구조와 설비들의 실감나는 가시화로 신차종 생산을 위한 건축, 배관, 설비와 그 배치안 등의 초기 설계 및 사전검증을 용이하게 되었다. 또한 신차 개발시 새로운 설비의 설계 및 구축을 위하여 계약직 엔지니어나 일반 건축 기술자에게 보다 신속하고 확실한 참고 자료가 되었으며 이를 통하여 궁극적으로 보다 효율적인 설비 구축 및 새로운 생산 프로세스로의 전환이 가능하게 되었다.

3.5.4 시간 및 비용 절감

구성된 CAD 모델을 기반으로, 로봇으로 이루어지는 도색(painting) 작업에 대한 신뢰성 있는 작업셀 구성이 가능하였으며, 이를 통하여 생산준비시 상당한 시간과 비용을 차지하는 로봇 프로그래밍에서 OLP(off-line programming)을 적용하는 것이 가능해졌다. <그림 11>은 도장 가상공장에서 로봇을 이용하여 수행되는 가상 작업의 구축 예이다.

4. 결론

본 논문에서는 자동차 공장을 대상으로 생산준비 업무에 가상 생산기술을 적용하기 위하여 핵심 기반이 되는 가상공장을 구축하는 사례로서 국내의 한 자동차 회사를 대상으로 도장 가

3.5.1 CAD 모델의 적합성

구성된 3차원 CAD 모델에 대한 검증작업 결과 잦은 현장맞춤이 이루어지는 도장공장 설비들의 특성에도 불구하고 ± 5

참고문헌

그림 11. 가상 도장 작업 수행 예.

상공장을 구축, 운영한 사례를 소개하였다.

도장 공장의 각종 설비, 구조물의 치수 및 형상을 측정, 모델링하는 방법과 고려사항들을 설명하였고, 3차원 CAD 모델의 구성과 이를 활용한 기국학적 시뮬레이션 과정을 제시하였다.

개발된 가상 도장공장을 여러 엔지니어링 문제들의 해결에 적극 활용하고, 자동차의 주요 생산 공정인 프레스, 차체, 조립 공장을 대상으로 본 연구결과를 바탕으로 가상공장을 구축하고 활용함으로써 가상생산 기술의 적용 범위를 확대할 예정이다.

- Brown Associates, D. H. Inc.(1999), *Providing its Worth ; Digital Manufacturing's ROI*, <http://www.dhbrown.com>.
- Delmia (2002), *Case Studies - Daimler Chrysler*, <http://www.delmia.com>.
- Fumihiko Kimura (1993), Product and Process Modeling as a Kernel for Virtual Manufacturing Environment, *Annals of the CIRP*, 42(1), 147-150.
- IBM (2000), *Case Studies - Virtual Plant at Daimler Chrysler*, <http://www.ibm.com>.
- IBM (2002), *Case Studies - V-COMM at TOYOTA*, <http://www.ibm.com>.
- Iwata, K., Onosato, M., Teranoto, K. and Osaki, S. (1995), A modeling and Simulation Architecture for Virtual Manufacturing Systems, *Annals of the CIRP*, 44(1), 379-383.
- Iwata, K., Onosato, M., Teranoto, 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.
- Jang Hee Lee (2001), The Role of Digital Manufacturing in New Product Developments, *Journal of the KSME*, 41(10).
- Jordan, J. and Michel, Fed (1999), *Next Generation Manufacturing (NGM)*, CASA/SME Blue Book.
- Kyo Il Lee and Sang Do Noh (1997), Virtual Manufacturing System - a Test-bed of Engineering Activities, *Annals of the CIRP*, 46(1), 347-350.
- Sang Do Noh (1999), *Networked Virtual Manufacturing System for Collaborative Engineering*, Ph.D. Thesis of Seoul National University.
- Sang Do Noh, Chang Ho Lee and Hyung Sang Hahn (2001), Virtual Manufacturing for an Automotive Company(I)- Workflow Analysis and Strategic Planning of Manufacturing Preparation Activities, *IE Interface*, 14(2), 120~126.
- Sang Do Noh, Sung Won Hong, Duck Young Kim, Chang Young Sohn and Hyung Sang Hahn (2001), Virtual Manufacturing for an Automotive Company(II)- Construction and Operation of a Virtual Body Shop, *IE Interface*, 14(2), 127~133.