

자동차 조립 라인의 디지털 생산 구축 사례연구

최무웅*, 한승택*, 서정훈**, 우종훈***, 이춘재****, 최양렬****

Digital Manufacturing Strategy & Case study of Automotive General Assembly

Choi, M. W.*, Han, S. T.*, Seo, J. H.**, Woo, J. H.***,
Lee, C. J.**** and Choi, Y. R.****

ABSTRACT

In this paper, a digital simulation model for an automotive assembly line is constructed by adapting a digital manufacturing methodology. Applied methodology is a simulation for a plant level of the assembly production line. The first significance of this methodology is a validation of the production planning based on various scenarios. The second is pre-verification for the new production plan or production method. The third is a visualization of the production process. Several models were implemented and those models were verified. Then, it was possible to find a most efficient production scenario and production method.

Key words : Digital, Digital Manufacturing, Model, Utilization, Worker, Assembly line, Scenario, Conveyor, Tack time, Pitch

1. 서 론

최근 제조업의 생산시스템은 새로운 국면을 맞이하고 있다. 컴퓨터 기술을 활용한 3차원 CAD(Computer Aided Design), CIMS(Computer Integrated Manufacturing System), FMS(Flexible Manufacturing System), 셀(Cell) 방식의 생산기법 등이 생산 시스템에 이미 실현되었으며, 인터넷 기반에서 운용되는 정보 통합형 생산 시스템이 활발하게 요구되고 있다. 특히, 생산시스템이 신속하게 제품을 생산할 수 있도록 개방된 정보시스템을 요구할 뿐만 아니라 생산활동에 관여하는 모든 구성 요소들을 정보화해야 할 필요가 생겼다. 많은 제조 업체에서 전사적으로 ERP(Enterprise Resource Planning), SCM(Supply Chain Management), CRM(Customer Relationship Management), MES(Manufacturing Execution System) 등을

중심으로 기업의 활동을 유기적으로 통합하려는 시도가 그 예라고 할 수 있다.

이러한 제조업체의 최근의 IT 기술에 발맞추어 최근 새로운 패러다임으로 대두되고 있는 개념이 PLM(Product Life-Cycle Management)이다. PLM은 제품의 개발, 기획부터 시제품, 생산, 소멸까지의 제품 생명주기와 그것을 조율하고 조합하는 업무 프로세스를 포함하는 제품 개발 관리를 의미한다^[1]. PLM은 기업이 비즈니스 환경변화에 신속히 대응하기 위해 혁신적인 제품 개발을 하여, 실제 투자를 하기 전에 제품의 라이프사이클 전체를 시뮬레이션 할 수 있도록 지원하는 것이다^[2]. PLM의 목표는 모든 제조업이 추구하는 바가 그러하듯 제품을 만드는 과정에 있어서 또는 어떠한 서비스를 제공하는 일에 있어서 가장 빠른 시간에 가장 적은 비용을 이용하여 가장 정밀/정확한 제품/서비스를 제공하는데 있다고 할 수 있다.

이러한 PLM 방법론을 구성하는 축은 크게 3가지가 있다. 하나는 제품에 대한 정보 생성에 관련된 CAD(Computer Aided Design), 다른 하나는 그러한 제품 정보 및 그에 관련된 제품 Life Cycle 동안의 모든 정보를 관리하는 PDM(Product Data Management), 그리고 또 다른 하나가 디지털 생산이다.

*현대자동차 트럭생산기술
**나쏘시스템즈 한국지사
***학생회원, 서울대학교 박사과정
****지노스(주)
- 논문투고일: 2004. 10. 27
- 심사완료일: 2005. 01. 24

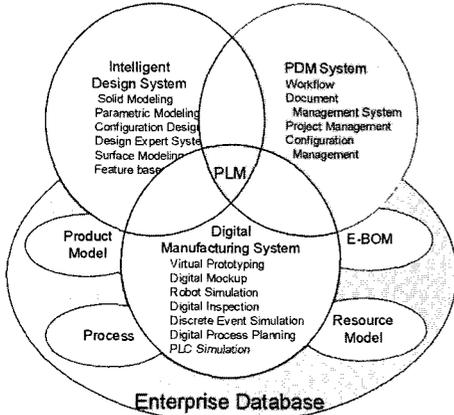


Fig. 1. PLM의 구성요소 및 디지털 생산.

PDM은 관련된 연구도 방대하게 이루어져 왔고 국내, 국외의 많은 제조 업체에서 이미 도입하였고 현재는 구축 및 안정화 단계에 와 있다고 할 수 있다. 그에 비해 국내의 디지털 생산은 아직 초기적인 적용 단계에 머물고 있다. 국내 많은 제조업체에서는 디지털 생산에 대한 효용성과 필요성은 가지고 있으면서도 정착 도입 및 활용에는 부정적인 반응을 보여 온 것이 현실이다. 현재 국내 자동차 OEM 업체나 자동차 부품 공급 업체, 그리고 조선, 항공 등 많은 제조 업체에서 디지털 생산에 대한 투자에 많은 고민을 하고 있는 이유 중에 하나는 투자에 대한 ROI(Return On Investment)가 명확하지 않고 투자비 회수에 대한 확신이 없었기 때문이라고 할 수 있다. 디지털 생산을 도입했을 경우 생산 업무 및 설계/생산 협업에 개선이 이루어질 것이라는 확신을 가지면서도 상대적으로 높은 디지털 생산 도입 및 정착 비용에 대한 부담을 느끼고 있는 것이 현실이다. 그러한 투자 부담에도 불구하고 해외의 여러 선도 제조 업체에서는 이미 PLM 및 디지털 생산에 상당한 기간 동안 막대한 연구 투자를 통하여 이미 도입에 따른 효과를 보고 있다. 일본 도요타의 경우 VCOMM 프로젝트를 통해 설계 부서, 생산 기술 센터, 생산 현장의 엔지니어들이 스크린 상에 있는 3차원 모델을 검토하고 조립과 생산 프로세스를 정의함으로써 시작차 제작 기간의 4분의 1로, 설계 사양 확정 후 양산 시작까지의 기간을 24개월에서 18개월로 줄이고 특히 설계 변경 건수를 획기적으로 감소시키는 성과를 이루었다. 님러 크라이슬러는 '디지털 시뮬레이션으로 검증되지 않은 생산 설비는 도입하지 않겠다'라고 선언을 하고 전사적으로 설계부터 생산 계획에 이르는 모든 업무에 디지털 생산 방법론을 도입하고 있고 2005년까지 완료함으로써

써 생산 계획에 관련된 비용 40% 절감 및 품질 확보를 목표로 하고 있다. 그 밖의 유수의 자동차 OEM 업체들(GM, AUDI, OPEL 등)과 부품 공급 업체들(BOSCH, VALEO, Honeywell 등)에서도 일찌감치 PLM 및 디지털 생산 도입을 통해 생산 준비 기간 단축 및 비용 절감이라는 공통의 구체적인 ROI를 발표하고 있다. Fig. 2에서는 CIMDATA에서 2002년에 발표한 디지털 생산의 효과에 대해 정량적 분석결과를 보이고 있고, Fig. 3에서는 디지털 생산 기법을 적용하여 개선한 업체의 사례에 대한 정량적 개선 효과를 보이고 있다. 최근에는 국내에서도 IT 기술 투자에 선도적인 제조 업체들도 이러한 디지털 생산의 필요성을 인식하고 이에 대한 사전 검토 및 연구/투자에 노력을 기울이고 있다⁴⁾.

본 논문에서는 디지털 생산에 대한 개념 및 적용 방법론과 디지털 생산 기법을 도입한 현대 자동차의 트럭 조립 라인 시뮬레이션 연구에 대해 소개하고자 한다.

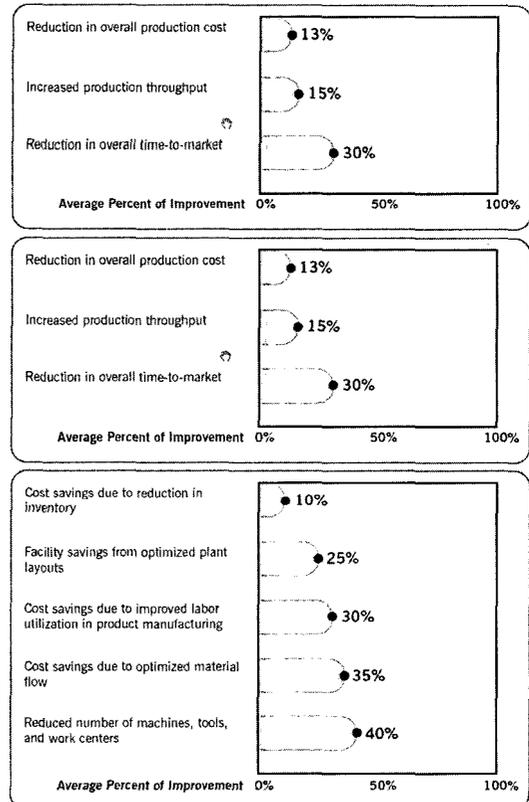


Fig. 2. 디지털 생산의 효과 -Top: 전반적인 효과, Middle: 공정 계획에서 기대되는 효과, Bottom: 작업 계획과 생산에서 기대되는 효과.

회사명	영역	시간 단축	생산성, 절감
IBM	설계 변경지 자체 선택 재고질소, 모델업	79%	35% · 2억\$
보잉사	BOM 부족정보 정확도 활동간 보 설계 변경시간	65% → 99.7%	5,000 HR (6개월) → 100 HR
ROVER (美)	고객제품 변경요구 시스템 재조직 개선	45일 → 18일 → 5일	
General Dynamics	설계시간	21% ↓	
	설계비용 품질미로	73% ↓ 94% ↓	
HP	제품 출시 지연 전세계 제품일표 (1000만\$/월, 2주)	3주 → 1일	

Fig. 3. 디지털 생산을 도입한 해외 업체의 효과(2002 Korea Catia Forum 자료 발췌).

2. 디지털 생산 개념 및 적용 방법론

2.1 디지털 생산의 개념

디지털 생산이란 제품 및 공정, 설비의 3차원 모델에 기반하여 제품 생산 시 행해지는 모든 일들을 컴퓨터를 이용하여 시뮬레이션을 수행함으로써 잠재된 문제점들을 해결하고, 최적의 프로세스를 구축하는 것이다. 디지털 생산의 궁극적인 목표는 전사적 차원에서 제조 대상에 대한 디지털 공장을 구축하는 것이다.

2.2 디지털 생산 방법론

디지털 생산 각 분야의 방법론은 제조 생산에 관련

되는 제조 프로세스를 지원하고 기존 프로세스에서 문제가 되고 보자라는 부분을 보완하여 궁극적으로 기존의 AS-IS 업무 프로세스를 개선한 TO-BE 업무 프로세스를 정립하는데 그 목적을 갖는다. Table 1에서는 EDAG(www.edag.com)에서 정의한 디지털 생산의 세부 적용 항목에 대한 방법론 및 기대 효과를 보고 있다.

3. 연구 목적 및 추진 방안

3.1 프로젝트 개요 및 추진 목적

Fig. 4에서 일반적인 자동차의 제조 공정에 대한 흐름을 보이고 있다. 본 연구에서는 자동차의 대표 공정 중 가장 마지막 부분인 최종 조립 공정을 대상으로 디지털 생산 방법론 중 물류 시뮬레이션을 적용한 연구 내용을 소개하고자 한다.

자동차의 최종 조립 공정은 최종 완성품을 생산하는 부분으로, 조립 라인의 생산 능력에 대한 신뢰도에 의해 공장의 생산 능력이 결정된다. 특히, 오늘날 자동차 생산의 추세가 각 조립 라인 별로 단차종을 생산 하던 방식에서 한 조립라인에서 복수차종을 생산하는 혼류 생산 방식으로 전환되고 있어 라인의 생산 능력에 대한 검증 및 라인의 구간별 작업자 수나 컨베이어

Table 1. 디지털 생산 적용 방법론^[7]

	Method	Results
Material Flow for Logistic	Illustration of complete process chains up to system limit Definition of interfaces to neighboring systems Definition of input data Modeling of at least 2 steps	Sensitivity testing Structural requirements for the planning Testing and Optimization of planning contents
Simulation	Verification of assembly sequence Testing of critical nodes	Delivery selection of guns which is suitable for the process for one weld spot Requirement: Weld gun library Definition of ergonomic design parameters like component assembly, etc.
Process Simulation (Robot)	Dynamic or static verifications of separate processes and/or production facilities "Online" - view on nodes and bottlenecks Collisions checks Verification of time-dependent production processes	3D-Geometry for cell layout Specification of package restrictions for production equipment design Secured processes for each station Offline-programming
Process Simulation (Ergonomics)	Compilation of relevant components of work place Determination and adjustment of the man-model to be studied Checking of all accessibilities Checking of windows	Evaluation of specific view on working places Detailed Capacity analysis of special operation situations with different Capacity proceedings (NIOSH, OWAS, Burandt-Schultetus) Determination of times according to the MFM-proceeding Descriptive documentation for operator instructions

속도에 대한 의사 결정이 어려워지고 있다.

본 연구에서는 위와 유사한 배경을 가지고 있는 현대 자동차 상용 트럭 조립 라인을 대상으로 디지털 생산을 구현함으로써 현행 체계(AS-IS)와 목표 체계(TO-BE)에 대한 물류 검증, 생산 능력의 극대화, 신차 생산 준비에 대한 의사 결정의 신뢰성 극대화를 통해 신차 생산 준비 기간을 단축시키고 트럭 조립 라인의 생산 능력을 향상 시키는데 목적이 있다

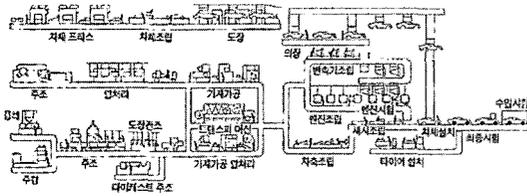


Fig. 4. 자동차 완성 업체 제조 공장 흐름(출처: 쌍용 자동차).

3.2 추진 방법론

본 연구의 추진 방안은 과학적/체계적 라인 계획을 통해 신뢰성 높은 생산 준비 및 검증을 수행하고 궁극적으로 최적의 트럭 조립 생산 라인에 대한 의사 결정을 수행하는 것이다. 세부 추진 방안은 다음과 같다.

3.2.1 AS-IS 분석

생산 공정의 현황을 파악하고 분석하는 단계이다. 이 단계에서는 주로 생산 계획 및 생산을 담당하고 있는 실무자의 역할이 중요시 된다. 본 연구에서는 현대 자동차 트럭 조립 라인에 대한 현황 분석을 통하여 생산 절차 및 생산 준비 계획에 필요한 정보를 획득하였다. 분석 방법론으로는 정적 분석을 위한 UML(Unified Modeling Language)과 동적 분석을 위한 IDEF(Integration Definition)을 사용하여 Fig. 5, Fig. 6과 같이 분석을 수행하였다.

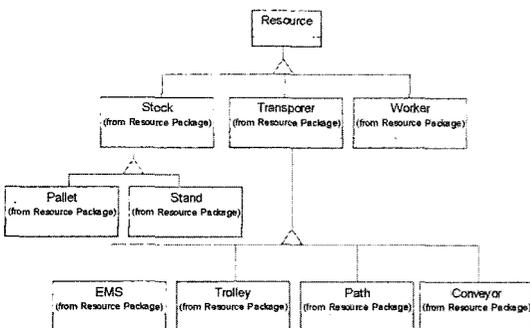


Fig. 5. 정적 분석: Process에 대한 UML Class Diagram 예.

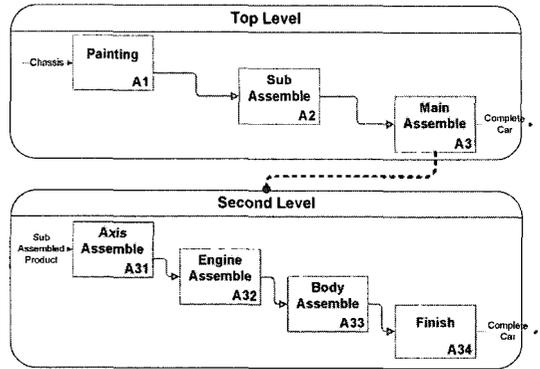


Fig. 6. 동적 분석: 조립 Process에 대한 IDEF 0 Diagram 예.

3.2.2 Master Planning

현황 분석을 통하여 문제점을 파악하고 디지털 생산 방법론이 적용 가능한 요소를 추출하여 중장기적 전략을 수립하게 된다. 디지털 생산의 일반적인 중장기 전략은 일반적으로 다음의 3단계로 이루어진다. 1 단계에서는 생산 공정의 전체적인 흐름 파악을 위하여 생산/자재 물류 관점에서 생산 시스템을 분석한다. 2 단계에서는 보다 세부적인 공정에 대한 분석을 수행한다. 자동화 레벨이 높은 대상에 대하여는 작업 Cell 단위에서의 자동화 설비 및 자동화 라인에 대한 분석을 수행하고 주로 작업자에 의해 수행되는 조립 공정 대상에 대해서는 인간 공학 관점에서의 작업자 분석을 수행한다. 마지막 3단계에서는 1, 2단계에서 수행된 모델들을 통합 환경에서 연계를 통하여 디지털 생산을 위한 디지털 공장을 구축한다. 본 연구에서는 중장기 전략 중 1단계로서 생산 공정의 전체적인 흐름 파악을 위한 분류 분석에 초점을 두고, Table 2와 같이 현황 분석 및 적용 가능한 디지털 생산 방법론이 적용될 수 있는 항목을 분석한 후 우선 순위에 의해 대상 공정을 선택하였다.

3.2.3 우선 순위 선정

현황 분석 및 master planning에 의한 결과를 토대로 의사 결정권자와의 의견 조율을 통하여 프로젝트의 효과가 가장 극대화 될 수 있는 대상을 선정한다. 또한 선정된 대상 내에서도 특히 초점을 맞추어야 할 요소들에 대한 우선 순위를 배정한다. 본 연구에서는 Table 2의 공장들 중 생산 라인 변경 및 운영 시나리오에 대한 검증 필요로 하고 있는 조립 공정을 디지털 생산 방법론 적용을 위한 우선 순위 대상으로 선정하였다. 이에 따라 본 연구에서는 효율적으로 분석될 수 있는 여러 가지 생산 시나리오에 따른 조립 라인의

Table 2. 자동차 완성 업체 분체점 파악 및 업무별 디지털 생산 적용 가능 사례

	공정 업무	문제점	디지털 생산 적용
프레스 및 금형	프레스 가공은 자동차의 외형을 만드는 패널을 만드는 공정으로서 코일 형태로 입고된 철판을 필요한 크기로 자르고 여기에 금형을 장착한 프레스 기계로 찍어서 일정한 성형의 철판조각 (Panel)을 만든다	전체 제품개발 프로세스에 대한 낮은 이해 의사결정이 집중화되어 있으며, 낮은 권한위임, 신뢰성 향상 및 지속적인 개선을 위한 전사차원의 문제해결/학습조직의 부재	Template 구축을 통한 신속 설계(설계 자동화) 제품설계와 동시공학적 성형 및 제작 능력 사전 시뮬레이션(Flange, Hole) MBOM, 제품, 공정, 금형 및 설비, 생산 Concept, Cost, 공수계산의 가상공정계획 및 재활용 Press Line의 Line Balancing, 총 생산량, 분류 시뮬레이션 검증 Press Line내 반송장치와 금형의 기구학적 동작의 간섭검증 Press Line의 PLC 사전 시뮬레이션
차체	차체 조립 공정은 차체 각 부분 패널을 용접, 실러, 납땜, 볼트, 헤밍, 마무리 작업으로 조립해 차의 모양을 만들어내는 공정이다. 차체 조립을 위한 용접 포인트가 대략 수 천점에 이르기 때문에 공정 자동화의 최우선 고려 대상이 된다.	프로젝트 및 제품원가 관리의 부재 종이중심의 분산화 및 수작업 관리시스템 제대로의 팀 삭임이 아닌 검토회의에 의한 관리, 커뮤니케이션이 어려움	MBOM, 제품, 공정, Robot, Jig, Gun, 생산 Concept, Cost, 공수계산의 가상공정계획 차체 Line 시뮬레이션 및 Line Balancing 공정 Cycle Time, PLC 시뮬레이션 검증 공정계획과 통합된 차체조립, Jig, Gun 설계검증 및 Robot Off-Line Programming의 동시화 가상 차체공장
도장	도장 공정은 전처리 공정, 전착 공정, 실러 공정, 언더 코팅 공정, 중도 공정, 상도 공정, 마무리 공정으로 구성된다.	프로젝트 및 제품원가 관리의 부재 종이중심의 분산화 및 수작업 관리시스템 제대로의 팀 삭임이 아닌 검토회의에 의한 관리, 커뮤니케이션이 어려움	가상공정계획에 의한 공정, 설비, 도료, 생산 Concept, 원가, 공수관리 도장 Line 전체 구상, 총 생산량, 물류 시뮬레이션 PLC 시뮬레이션 도장작업자의 인간공학작업분석 및 Cycle Time 분석 자체반송 및 물류의 3차원 시뮬레이션 공정 Layout 시뮬레이션
차량 조립	도장된 차체에 전장 부품과 유닛 류를 조립 하며 배선 작업을 하여 차량을 완성하는 최종 공정이다. 생산성은 컨베이어의 속도에 따라 변하는데 이는 차종 변동에 따라 전환 되기도 한다. 또 하나의 라인에서 복합 차종을 혼합 생산하여 수요의 불균형에 탄력적으로 대응할 수도 있다.	형상관리의 부재 엔지니어링 관련 관리 지표의 전반적인 부재	MBOM, 제품, 공정, 설비, 생산 Concept, Cost, 공수의 가상공정계획 및 재활용 조립 Line 전체 구상 및 Line 공용화 시뮬레이션 인간공학작업자 동작분석, Cycle Time 분석 조립용 Robot Off-Line Programming 설비 및 반송장치 3D 설계 방법론 구축 및 간섭검증 조립 Line의 자체반송 및 물류의 3차원 시뮬레이션 가상조립 시뮬레이션, 가상 동영상 작업지시서

생산량, 작업자 분배율 및 전체적인 자재 물류의 분석에 대한 연구를 목표로 하였다.

3.2.4 단계별/분야별 디지털 모델 구축 및 결과 분석
실무 단계인 디지털 모델 구축에서는 분석/결정/배정을 통한 결과물 산출을 위하여 대상 모델을 체계적으로 구축해 나간다. 그리고 모델의 검증 및 활용을 통하여 모델의 유효성을 확보하고 시나리오 생산 계획에 대한 결과를 분석한다.

3.3 사용된 물류 시뮬레이션 패키지 모델링 절차 방법론

제조 시스템의 물류 분석을 위한 시뮬레이션 소프트

트웨어 패키지에는 Arena, Witness, AutoMod, ProModel, Quest 등 현재까지 많은 상용 제품들이 출시되어 있다. Table 3에서는 AutoMod, ProModel, QUEST에 대한 비교 Matrix를 보이고 있다.

이러한 시뮬레이션 소프트웨어 패키지 분석에 따라 본 연구에 사용된 프로그램은 QUEST이다. QUEST는 자체 시뮬레이션 로직언어인 SCL(Simulation Control Language)을 통해 생산 물류 및 자재 물류 분석을 위한 BOM 입력, 정교한 물류 로직 구현, 결과 분석 등에 있어 유연한 확장성을 제공한다. 본 연구에서도 데이터 입출력 및 물류 로직 구현을 위하여 SCL을 이용한 프로그래밍을 수행하였고, 이를 통해 생산 라인의 생산과 자재에 대한 물류 로직 및 자재

Table 3. 시뮬레이션 소프트웨어 비교 Matrix^[8]

	AutoMod	ProModel	QUEST
Run-time Version	Yes	Yes	No
Add-ons	Simulator-template for capacity planning AutoStat-enhanced analysis during experimentation Model Communication – send/receive data between models and third party applications	Optimization suite: SimRunner – allows automatic scenarios to be run Stat::Fit – distribution fitting software	Batch Control Language – batches simulation runs automatically for optimization Simulation Control Language – used to define custom behavior, distributions
Software Type	Manufacturing – oriented Simulation Language	Manufacturing – oriented Simulator	Manufacturing – oriented Simulation Language
Model Building Capabilities	Graphical, Programming, Run – time Debug, Output analysis	Graphical, Programming, Input distribution fitting Run- time debug, Output analysis	Graphical, Programming Input distribution fitting, Run- time debug, Output analysis, Code reuse, Run multiple models
Animation	True 3D graphics, Real-time animation, Import IGES format	2D graphics, CAD drawings as clipart, 3D perspective layouts, CAD layout drawings for model background	True 3D Graphics and Real- time animation, Integral CAD package, Import from IGES, DXF, CATIA, Pro/E, Unigraphics, IGRIP models and cycle times can be directly imported
Inputs/ Outputs	Data input through tables, Reports, Tabular and Graphical outputs, AVI output using AutoView	Interactive input and output of data, Read/export data from external text or spreadsheet files. Textual reports and Graphical outputs, uses MS Visual Basic and ActiveX for external model creation and execution	Interactive input and output of data, Read/export data from external text or spreadsheet files, MS Project, Excel, Access, and Visual Basic, Import simulation models from Delmia products, ASCII files and Graphical outputs, 3D or 2D CAD Geometry files, AVI, MPEG movie output, Synchronous communication

물류를 실제와 거의 유사하게 표현할 수 있었다. 또한 향후 타 시스템과 연동되어 계획 검증을 가능하게 해 주는 동기화 모듈에 의한 커스터마이징이 가능하기 때문에 시스템 확장 면에서 타 소프트웨어에 비해 유리하다고 할 수 있다.

물류 시뮬레이션 모델링은 Fig. 7과 같은 절차를 통해 구축된다. 필요한 시뮬레이션 데이터의 제공이 가능해진 후 대상 공장에 대한 정식화를 통해 추상적 모델링을 수행하고 세부 물류 흐름을 고려한 요소 모델과 물류 로직을 작성한다. 작성된 요소 모델, 물류 로직을 통합하여 전체 통합 물류 모델이 완성되면 테스트를 통해 모델이 정상적으로 구동하는 것과 모델의 실제 현상에 대한 반영도를 지속적으로 체크한다. 테스트 과정을 거쳐 모델이 안정화 되면 생산 스케줄링을 위한 검증 도구로서 사용이 가능하다. 이는 전미 학술 연구회의 (National Research Council)에서 시뮬레이션 모델링 어플리케이션과 시뮬레이션 모델에 대한 Verification(검증), Validation(비준), Accreditation

(인가)의 인증 단계의 표준 확립에 대한 제언을 따르고 있다.

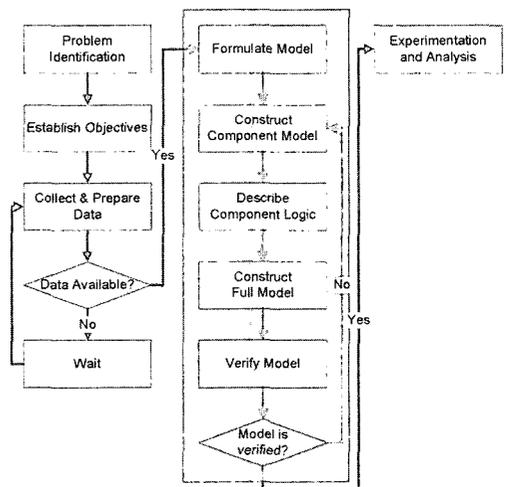


Fig. 7. 모델링 절차.

4. 트럭 조립 라인의 운영 조건 · 시뮬레이션 입력 정보

4.1 운영 조건

대상이 되는 조립 라인은 직영으로 운영되는 중형과 대형의 두 조립 라인이다. 중형과 대형은 각각 서브 조립 라인과 메인 조립 라인으로 나뉘어 지고 서브와 메인 라인은 캐리어로 운송이 되도록 레일로 연결되어 있다. 그리고 중형과 대형 라인 사이에는 서로에 영향을 미치는 공정이 발생하지 않는다. 이를 고려하여 본 연구에서는 중형과 대형 라인은 별도의 시뮬레이션 모델로 구축하였다 조립 라인의 레이아웃과 차종 및 라인에 대한 일반 운영 조건은 다음과 같다.

Table 4. 생산 제품 운영 조건

차종		사양 및 서열에 의한 세부 변종수
중형	중형1	수십 개의 세부 변종
	중형2	수십 개의 세부 변종
대형		십여 개의 세부 변종

Table 5. 생산 라인 운영 조건

구분	Line의 구성	공정(Station) 수	
중형	병렬	중형 A Sub Line	##
		중형 B Sub Line	##
	직렬	중형 혼류 Sub Line	##
		중형 혼류 Main Line	##
대형	Sub Line	##	
	Main Line	##	

4.2 입력 정보

시뮬레이션을 위한 정보는 조립 라인에서 사용하고 있는 정보들을 주로 스프레드시트 형태의 정보로 분석을 수행하였다. 생산 정보는 시간 정보와 제품 정보로 나뉘어지고 제품 정보는 다시 차종의 사양과 조립 단계 별 제품 정보와 차량을 이루는 부품 사양 제품 정보로 분류된다.

본 연구에서 사용하는 시뮬레이션 패키지인 QUEST에서는 이러한 정보들에 대한 스프레드시트에 대한 직접적인 인터페이스 기능이 없기 때문에 각 공정의 시간과 제품 정보를 로딩하기 위하여 스프레드시트 포맷을 CSV(Comma-Separated Values file) 포맷으로 변환하고 CSV 파일을 일괄적으로 모델에 로딩하기 위하여 SCI 프로그램을 통해 매크로를 작성하였다. Fig. 8, Fig. 9에서 각각 시간, 제품, 부품에 대한 입력 정보의 스프레드시트 예제를 보이고 있다. 이러한

조립공수		인공편성									
번	점미	단조	공정 A 작업편성			공정 B 작업편성					
			직업편성		RH	LH		RH			
			인원	부조	점미	인원	부조	점미	인원		
245.1	245		70		123						
205	205		103		105						
173	134	39					67	30	37	20	
157	137	5					54	0	54	0	
0	0	0									
72	58	12					29	6	29	6	
33	17	7					77	7			
83	73	5									
772	167	265	228	0	228	0	520	44	521	143	
			1명	226	명	226	1명	208	1명	208	683

Fig. 8. 공정 시간 입력 정보 예제.

P/NO	종 명	업체	장차 공정	공정 좌,우	STOCK 위치	유,무	Box 수량	지계차
21881-59100	C BRKT ASSY-ENGINE MFS	V681	3705					
21881-59170	C BRKT ASSY-ENGINE MFS	V681	3705					
21881-59309	C BRKT ASSY-ENGINE MFS	V681	3705					
21897-59000	C BOLT-ENGINE MFG PIP	S122	3706					
21897-59001	C COVER ASSY-ENGINE SL	R086	3707					
21897-59020	C LOWER ASSY-ENGINE SL	R086	3708					
21897-59021	C COVER ASSY-ENGINE SL	R086	3709					
21897-59040	C COVER ASSY-ENGINE SL	R086	3710					
21870-59020	C COVER ASSY-ENGINE SL	R088	3711					
21870-59021	C COVER ASSY-ENGINE SL	R088	3712					
25000-59020	C COOLING MODULE	SE22	3713					
25000-59021	C COOLING MODULE	SE22	3714					
25212-21310	C V-BELT	P068	3715					
25232-77000	C SLP-OVER FLOW HOSE	UC26	3716					
25375-59002	C HOSE-ENGINE LIFTS MFG	MC03	3717					
25412-59002	C HOSE-EXHAUSTOR LIFTS	MC07	3718					
25412-59005	C HOSE-EXHAUSTOR LIFTS	MC07	3719					
25412-59400	C HOSE-EXHAUSTOR LIFTS	MC07	3720					
25441-59310	C CLAMP-TIE TAPPE	AS18	3721					
25441-59310	C CLAMP-TIE TAPPE	AS18	3722					
25441-59101	C HOSE-EXHAUSTOR TO RES	UC27	3723					
25441-59201	C HOSE-EXHAUSTOR TO RES	UC27	3724					
25441-59100	C HOSE-EXHAUSTOR TO RES	UC27	3725					
27810-59450	C PIPE-INTERCOOLER IN	UC07	3726					
27810-59451	C PIPE-INTERCOOLER IN	UC07	3727					
27820-59450	C PIPE-INTERCOOLER OUT	UC07	3728					
27820-59451	C PIPE-INTERCOOLER OUT	UC07	3729					
47801-59151	C BRKT-PIPE	R085	3730					
47801-59150	C BRKT-PIPE	R085	3731					
58100-58929	C IAR CLEANER ASSY	S834	3732					

Fig. 9. 조립 Item 입력 정보 예제.

파일들은 수정 작업을 거쳐 시뮬레이션을 위한 파일로 변환하고 작성된 매크로 프로그램을 통하여 모델에 입력하였다.

5. 디지털 시뮬레이션 적용 내용

5.1 적용 모델

본 연구에서는 조립 라인에 대한 물류 디지털 모델을 구축하였다. 모델은 대상 조립 라인을 중형 제품과 대형 제품에 대해 독립적인 모델로 구축을 하였다.



Fig. 10. 중형 생산 라인 디지털 모델.

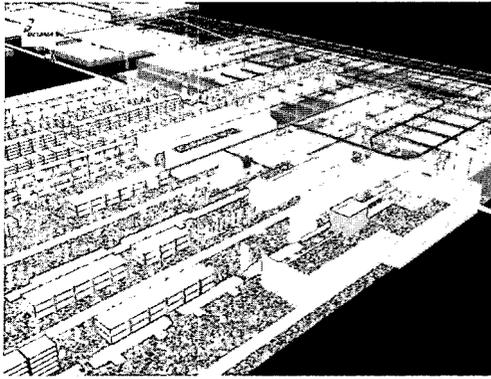


Fig. 11. 대형 생산 라인 디지털 모델.

Fig. 10, Fig. 11에 중형 라인과 대형 라인에 대해 구축한 디지털 물류 모델을 보이고 있다. 모델링 절차는 Fig. 7에 보이고 있다.

5.2 모델의 기능

구축된 각 모델은 가동률, 생산량, 단위 시간당 생산량, 공정 상태 등의 통계적 결과를 출력한다. 이러한 일반적인 결과물과 더불어 프로그램을 통해 구현된 각 모델의 결과물 및 이를 위해 입력된 정보를 5.2.1과 5.2.2에 보이고 있다.

5.2.1 입력 정보

- 시뮬레이션 시작 시 조립라인에 기 배치되어 있는 차종 및 사양에 대한 정보
- 투입 차종 및 사양
- 공정 별 작업 편성
- 공정 별 조립품 리스트
- 부품 별 할당 지게차

5.2.2 출력 정보

- 목표 UPH(Unit Per Hour; 단위 시간당 생산량)에 의한 각 Conveyor 속도 최적화
- 각 공정 별 작업 편성률
- 각 공정 별 필요 작업자 수
- 지게차 이동 거리, 이동 회수, 운용률
- 시간에 대한 각 공정의 부품 사양 수 변동 내용 추적

6. 디지털 시뮬레이션 결과 분석

6.1 조립 라인 운영 시나리오에 대한 결과 분석

구축된 물류 모델을 이용하여 향후 계획하고 있는

생산 계획에 대한 검증을 수행하였다. 중형 라인에 대해서는 UPH, 생산 혼류비율, 시브 조립 라인의 형태, 메인 라인 언로딩의 피치 형태에 대한 조합으로 총 8가지 시나리오를 작성하였고 그에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 대형 라인에 대해서는 3가지 UPH 계획과 생산 실적 정보를 입력으로 하는 시뮬레이션을 수행하였다. 본 논문에서는 중형 조립 라인에 대한 결과를 소개하고자 한다. 중형에 대한 생산 시나리오를 Table 6에 보이고 있다.

Table 6. 중형 조립 라인 생산 시나리오.

Scenario No.	UPH	혼류비 (Mighty : 5t)	Sub Line Type	Pitch Type	비고
1	18	2:1	병렬	가변	
2				고정	
3			직렬	가변	
4				고정	
5	16	3:1	병렬	가변	
6				고정	
7			직렬	가변	
8				고정	

이러한 시나리오들에 대한 시뮬레이션을 통해 각 시나리오들에 대한 생산량, 생산 물류, 자재 물류에 대한 검증을 수행하였고, 라인 별, 공정 별 작업 편성률과 필요 작업 인원의 정량적 결과의 비교를 통해 시나리오들에 대한 평가를 수행할 수 있었다.

본 논문에서는 위의 각 시나리오에 대한 결과를 Table 7, Table 8에 결과를 보이고 있다. 이를 통해 경우 작업 편성률(높은 시나리오 선호)과 작업 인원(적은 시나리오 선호) 측면에서 중형 차종을 18 UPH로 생산할 시나리오 2가 가장 유리하고 16 UPH로

Table 7. 중형 18UPH 시나리오에 대한 분석 결과

Scenario	Line	평균작업편성률(%)
Scenario 1 병렬가변피치	Main Line	68.1520 (3)
	Sub Line(중형A)	84.6791 (1)
	Sub Line(중형B)	72.5578 (3)
Scenario 2 병렬고정피치	Main Line	80.4282 (1)
	Sub Line(중형A)	84.6791 (1)
	Sub Line(중형B)	72.5578 (3)
Scenario 3 직렬가변피치	Main Line	68.0080 (4)
	Sub Line	71.6710 (4)
Scenario 4 직렬고정피치	Main Line	80.3139 (2)
	Sub Line	80.5230 (2)

Table 8. 중형 16UPH에 시나리오에 대한 분석결과

Scenario	Line	평균작업편성율(%)
Scenario 5 병렬가변피치	Main Line	75.7201 (4)
	Sub Line (중형A)	84.7320 (1)
	Sub Line (중형B)	82.3766 (1)
Scenario 6 병렬고정피치	Main Line	80.6101 (1)
	Sub Line (중형A)	84.7320 (1)
	Sub Line (중형B)	82.3766 (1)
Scenario 7 직렬가변피치	Main Line	75.6684 (3)
	Sub Line	76.2660 (2)
Scenario 8 직렬고정피치	Main Line	80.5334 (2)
	Sub Line	76.2660 (2)

Table 9. 지게차이동거리/회수/운용률 검증예제 [중형 조립 라인 시나리오 1]

담당	이동거리 (km)	이동회수	운용률 (%)
지게차1	15.23	69	7.61445
지게차2	111.79	510	55.89371
지게차3	53.22	360	26.61192
지게차4	26.33	245	13.16361
지게차5	0.34	5	0.1714937
지게차6	73.94	467	36.97231
지게차7	0.00	0	0
지게차8	26.52	127	13.25876
지게차9	5.10	64	2.55074

생산할 경우 시나리오 6이 가장 유리하다는 결론을 내릴 수 있었다.

또한, 모델의 기능인 지게차 별 이동 거리/회수/운용률에 대한 결과 도출이 가능하였다. 이에 대한 결과를 Table 9에 보이고 있다.

6.2 중형 라인에 대한 고찰

중형 조립 라인은 Table 10과 같이 두 가지 특성에 대한 검증은 필요로 하고 있다. 본 논문에서는 이러한 조건에 대하여 TO-BE에 대한 검증을 위하여 시뮬레이션 모델을 이용하였고 두 가지 특성에 대한 분석 및 개선안을 제시하였다.

Table 10. 중형 라인 분석 조건

	AS-IS	TO-BE
서브 조립 라인	UPH만을 고려한 조립 라인 컨베이어 속도 결정	시뮬레이션 방법론을 이용한 컨베이어 속도의 최적화
메인 조립 라인	고정 피치	가변 피치

6.2.1 서브 조립 라인 컨베이어 속도 최적화

현재 운영중인 서브 조립 라인이 두 개로 분리된 형태의 병렬로 이루어져 있기 때문에 두 개의 서브 조립 라인이 만나는 부분에서 언로딩 하는 시점이 정확하게 계획되지 않는다면 장시간 라인을 가동했을 경우에 어느 한 서브 라인에서 지체되는 시간의 누적에 의해서 라인에 병목이 발생되어 생산 계획에 차질을 가시울 수 있다. 이러한 문제의 해결을 위해서 시뮬레이션 모델을 이용하여 제약 조건이 되는 모델 변수의 조정을 통해 정체가 발생되지 않도록 하는 최적의 컨베이어 속도를 도출했다. 컨베이어 속도 도출 과정은 다음과 같다.

조립 라인의 속도는 다음의 식에 의해 정해진 UPH에 따라 설정된다.

$$\text{Conveyor 속도} = \text{평균 Pitch} / \text{Tact time}$$

$$\text{평균 Pitch} = \text{Pitch의 평균}$$

$$\text{Tact time} = 3600 / \text{UPH}$$

서브 조립 라인의 속도를 결정하기 위해서는 다음의 두 가지 단계를 통한다.

1. 두 개의 서브 라인 중 어느 하나의 서브 라인 속도를 위의 계산식에 의해 결정한다.
2. 나머지 한 라인에 대해 위의 계산식을 사용하여 초기 속도를 가정한 후, 두 개의 조립 라인이 만나는 부분의 버퍼에서 제품이 대기하는 시간의 변화량이 최소가 될 때까지 시뮬레이션을 반복하여 속도를 결정한다(Table 11, Fig. 12).

Table 11. 중형 서브 라인 컨베이어 속도 결정

	초기값	최적값
라인 속도 (mm/sec)	23.3333	23.4270
C/T (sec)	300.00	298.80
Pitch (m)	7000	7000

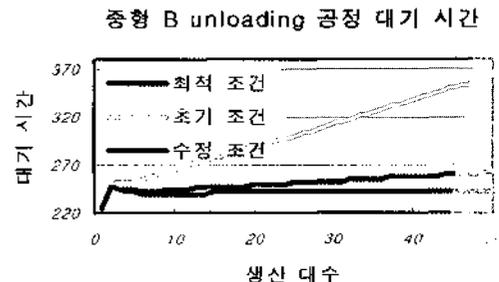


Fig. 12. 시뮬레이션을 통한 대기 시간의 감소

6.2.2 메인 라인 피치에 대한 의사 결정

본 연구가 진행 중일 때 중형 조립 라인의 메인 라인 시작 부분에서는 차체를 메인 컨베이어에 로딩할 때 선행 차체와의 간격을 고정 간격으로 할 것인가변 간격으로 할 것인가에 대한 논의가 진행되고 있었다. 이에 대한 의사 결정 지원을 위해 다음과 같은 고찰이 가능하였다.

1. 피치 간격 고찰에 대한 우선적인 선행 조건을 다음과 같다.
2. Tact time은 피치와 라인 속도에 의해 결정되고 Pitch와 Tact time은 비례 관계에 있다.
3. 고정 피치의 경우 Tact time의 기준은 공장 간 길이로 정해진다.
4. 가변 피치에서 Tact time의 기준은 Pitch는 짧은 차체 길이가 된다.

따라서 가변 피치가 고정 피치에 비해 공정 별 Tact time이 짧아지게 되고 이는 작업자수의 증가로 이어진다. 가변 피치에서 Tact time의 기준을 단축 차체의 길이로 선택한 이유는 긴 차축 차종 또는 평균 피치(단축과 장축)로 선택할 경우 어떠한 경우에도 단축의 축 길이보다 길기 때문에 공정이 연속적으로 진행이 불가능하다.

가변 피치의 경우 라인 속도 및 Tact time은 UPH 및 Pitch의 정의에 따라 결정되고, 따라서 UPH가 결정되면 Pitch의 선택에 따라 우선적으로 라인의 속도가 계산이 되고 최적으로 Tact time이 결정된다. 이론적으로는 유연 생산 방식의 적용에 따라 공정간의 엄격한 구분 없이 작업자가 조립 차종에 대해서 가변 피치에 의한 계획대로 작업을 수행할 수 있다면 가변 피치에 의한 공정 계획이 고정 피치에 의한 공정 계획에 대하여 비교 우위의 장점을 가질 수 있다. 따라서, 이는 현장에서 실제로 조립 작업을 수행하는 작업자들이 가변 피치 계획에 대한 이해를 가지고 작업을 수행한다면 현행의 고정 피치에서 가변 피치로 생산 방식을 전환하는 것이 유리하다고 할 수 있다는 판단 근거를 제시한다.

7. 결론 및 향후 계획

본 연구에서는 디지털 생산에 대하여 최근의 연구 동향 및 수행 현황을 고려했던 정의 및 방법론에 대하여 제시하고 적용 사례로서 현대 자동차 트럭 조립 라인에 대한 시뮬레이션 모델을 구축하고, 운영 시나리오들에 대한 분석을 수행하였다.

이를 통해 향후 계획되고 있는 방안에 대한 여러 시나리오에 대하여 예측을 하고 분석함으로써 보다 신뢰성 있는 의사 결정 방안을 마련할 수 있었고, 또한 특정 생산 방법에 대한 검증 및 문제점 발견을 통해 다양한 생산 방법에 대한 제시를 하였다.

감사의 글

본 연구에 도움을 주신 현대 자동차 임직원 여러분께 감사 드립니다.

참고문헌

1. 신종계, 이장현, 우종훈, "디지털 선박생산(Digital Shipbuilding) 개념", 대한조선학회논문집, 제38권, 제1호, pp. 54-62, 2001.
2. 신종계, "Introduction to Digital Shipbuilding", 한국 CAD/CAM 학회 Workshop 자료집, 한국 CAD/CAM 학회, pp. 299-340, 2001.
3. PLM Network Vol. 18, 5-6, Sep, 2003.
4. 노상도, 이교일, 손창영, 한형상, 박영진, "가상생산 기술 적용을 위한 자동차 가상플랜트 구축 및 활용", 대한기계학회논문집, 제25권, 제10호, pp. 1627-1635, 2001
5. 문덕희, 김하석, 송 성, 김경완, "자동차 도장공장의 Color Rescheduling Storage 설치를 위한 시뮬레이션 분석", 대한산업공학학회지, Vol. 16, No. 2, pp. 211-221, 2003.
6. CIMDATA, "The Benefit of Manufacturing", White paper, December, 2002.
7. Dipl.Ing. Joachim Schwab, "From Production Simulation to Digital Factory", Fellbach, September 2001
8. Kenneth R. Fast, "Development of a Shipbuilding Simulation Process Modeling Database", National Shipbuilding Research Program - Final Report, June 2000.

최 무 용

현대 자동차 트럭 생산 기술 과장

한 승 택

현대 자동차 트럭 생산 기술 부장

서 정 훈

다쏘 시스템 한국 지사 델미아팀 부장

우 중 훈

1998년 서울대학교 조선해양공학과 학사
2000년 서울대학교 조선해양공학과 석사
2000년~現 서울대학교 조선해양공학과
박사과정
관심분야: 디지털 생산, PLM

이 춘 재

1997년 홍익대학교 기계공학과 학사
2002년 홍익대학교 기계공학과 석사
2002년~現 지노스(주) 선임연구원
관심분야: 디지털 생산, PLM



최 양 렬

1988년 서울대학교 조선해양공학과 학사
1990년 서울대학교 조선해양공학과 석사
2001년 서울대학교 조선해양공학과 박사
2002년 국립 목포대학교 기계선박해양 공
학부 교수
2002년~現 지노스(주) 대표이사 상무
관심분야: PLM, 디지털 생산, APS,
PDM

