

## 디지털 가상공장의 계층적 구축과 운영에 관한 연구

김유석\*(성균관대학교 대학원 산업공학과), 노상도(성균관대학교 시스템경영공학과),  
한상동(삼성중공업 생산기술연구소), 신종계(서울대학교 조선해양공학과)

### Hierarchical Constructions of Digital Virtual Factory and its Management

Yu Seok Kim (Department of Industrial Engineering, SungKyunKwan University), Sang Do Noh (Department of System management Engineering, SungKyunKwan University), Sang Dong Hah (Institute of Industrial Technology, Samsung Heavy Industries Co., Ltd.), Jong Gye Shin (Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Seoul National University)

#### ABSTRACT

Digital Virtual Manufacturing is a technology to facilitate effective product developments and agile productions by digital models representing the physical and logical schema and the behavior of real manufacturing systems including products, process, manufacturing resources and plants. A digital virtual factory as a well-designed and integrated environment is essential for successful applications of this technology. In this research, we constructed a sophisticated digital virtual factory of the shipbuilding company's section steel shop by 3-D CAD and virtual manufacturing simulation. This digital virtual factory can be applied for diverse engineering activities in design, manufacturing and control of the real factory.

**Key Words:** Digital Virtual Factory(디지털가상공장), Digital Virtual Manufacturing(디지털가상생산).

#### 1. 서론

한정된 시장에 많은 기업들이 새롭게 진입하고, 글로벌 경쟁이 치열해짐에 따라, 제품 개발 및 생산 비용과 기간 단축, 품질 향상, 신속한 시장 요구 대응, 다품종 소량 생산과 대량맞춤 등이 제조업의 해결과제로 대두되고 있으며, 시장 환경에서 경쟁 우위를 지키고, 다양한 제품을 신속하게 생산할 수 있는 새로운 생산 패러다임이 요구되고 있다. 1999년 CASA/SME 가 발간한 Next Generation Manufacturing 에 의하면, 향후 10 년 간의 생산 기술 발전은 생산시스템으로 하여금 적응력과 민감성을 갖춘 정보시스템을 보유하여 지식기반 관리를 수행하고, 시뮬레이션, 디지털 가상생산 등 체계적인 방법들을 활용하여 신속하게 제품, 공정들을 현실화하며, 효율과 유연성이 탁월한 신개념의 각종 장비, 공정들을 개발, 활용하고, 부품 공급자까지 확대된 글로벌 한 협동을 실현하게 될 것으로 전망된다.<sup>1)</sup>

디지털 가상생산은 생산시스템의 물리적, 논리적 구성 요소들과 거동을 엄밀하게 모델링하여 통합된 컴퓨터 모델을 구성하고, 3 차원 CAD, 시뮬레이션 등 다양한 정보기술(IT)들을 활용하여 제품, 공정, 제조자원, 공장에 대한 각종 오류의 사전 검증과 효율적인 의사 결정을 수행함으로써 신속하고 효율적인 제품 개발 및 생산을 실현하고자 하는 기술이다. 이를 통하여 기존 또는 신규의 생산, 관리 계획이나 정책, 기술 등을 디지털 환경에서 가상적으로 도입하여 사전에 적용해 볼 수 있으므로, 신규 라인을 계획, 설계하거나, 빈번한 상황 변화에 따라 불가피하게 발생하는 계획 수정으로 인한 비용과 시간의 낭비를 최소화할 수 있다.<sup>2)</sup>

일반적으로 디지털 가상생산 기술을 적용하면 장비, 시설과 각종 치/공구 등의 설계, 공정과 일정 계획의 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, 이를 통하여 제품 개발과 생산에 소요되는 시간과 비용을 크게 절감할 수 있다.<sup>2,3)</sup> 조선산업의 경우도 다른 제조업들과 마찬가지로 DMU(Digital Mock-up) 적용, 가상공장(virtual factory)의 구축과 운용, 가상작업(virtual operation) 수행과 가상시제품(virtual prototyping)의 구현 등 다양한 디지털 가상생산 기술을 적용, 활용하여 큰 효과를 볼 수 있을 것으로 기대되며, 이를 위하여 조선 업무 프로세스에 대한 이해와 체계적인 분석, 이에 기반한 효율적인 전략 수립과 효과 예측이 필수적이다.<sup>4)</sup>

본 논문에서는 CIM 모델의 하나인 NIST-AMRF 계층 모델을 적용하여, 디지털 가상공장의 체계적 구축 방법과 결과를 다루며, IDEF(Integration DEFinition) 방법론인 IDEF0, IDEF3 방법을 이용하여 제조 프로세스를 정의, 분석하였고, 가상생산 시뮬레이션을 통하여 디지털 가상공장을 구축, 활용하였다. 또한, 국내 한 조선소의 형강공장을 대상으로 이를 적용하여 디지털 가상공장을 구축, 활용한 사례를 소개한다. 본 논문에서는 이를 위하여 KBSI 사의 A0WIN 과 ProSim 과 IBM/Dassault System 사의 CATIA 와 Delmia IGRIP 을 이용하였다.

## 2. NIST-AMRF 계층적 모델

NIST-AMRF 모델은 NIST(National Institute of Standard and Technology)에 의해 제안되었으며, AMRF(Advanced Manufacturing Research Facility) 즉, 주로 컴퓨터로 통제되는 제조 시스템에 대한 하드웨어와 소프트웨어의 표준을 대상으로 하고 있다. <Fig. 1>은 NIST-AMRF 에서 제안하고 있는 CIM (Computer-Integrated Manufacturing) 모형을 보여준다.

이 모델은 모듈러(modular) 개념을 적용하여 동적으로 통제되는 제조 환경을 지원하며, 컴퓨터와 센서시스템을 활용하여 제조 작업을 계층적으로 계획하고 통제한다. 데이터는 하위 단계에서 실시간으로 처리되며, 데이터 처리의 투명성을 위해 모든 컴퓨터와 관련 장비가 통신 네트워크를 통해 상호 연결된다. 각각의 활동을 통해 발생하는 정보는 전자우편함(mailbox) 기능을 이용하여 전달되며, 발생된 정보는 가상메모리 영역에 저장된다.

NIST 모델을 통하여 제조업의 통제 시스템 구성을 용이하게 수행할 수 있으며, 특히 소규모와 중간 크기의 배치(batch) 작업에 유용하다. NIST 모델은 <Fig. 1>에서 알 수 있듯이, 경영 정보시스템, 통제 시스템, 설계 및 공정계획 시스템으로 구성된다. 경영 정보시스템은 전체 제조 공장을 조율하고 통제하며, 설계 및 공정 계획 시스템은 제조 지시

서를 관리한다. 통제 관련 정보는 시스템의 계층 중 최상위 단계로 수집, 정리되어 기업의 궁극적 목표와 장기적 전략 수립을 지원한다. 예를 들어, 공정 계획이 셀(cell) 레벨, 작업장(workstation) 레벨, 장비(machine) 레벨에서 작성되면, 해당 작업이 제어(control) 레벨을 통해 순차적으로 할당되고, 자재 선정, 가공 방법 및 순서의 결정, 가공 조건의 계산, 부품의 일정계획 등과 같은 제품 생산에 필요한 모든 정보들이 시스템에 의해 산출된다. 이러한 과정에서 경영 정보 시스템은 통제 사항의 우선 순위, 장비들의 상태와 가용 자재현황, 품질 등을 관리한다. 공장(shop) 레벨의 센서들은 실시간으로 제조 공정의 정보를 수집하고, 이 정보는 전 레벨에 피드백 되게 된다. 전체 시스템은 모듈러 개념으로 설계되어, 하드웨어와 소프트웨어 요소를 쉽게 추가하고 제거할 수 있으며, 중앙의 통합 데이터베이스는 언제나 공장의 실시간 데이터를 유지하고 있어서, 시스템은 제품 변경이나 고장에 즉시 대응할 수 있도록 구성된다.<sup>5)</sup>

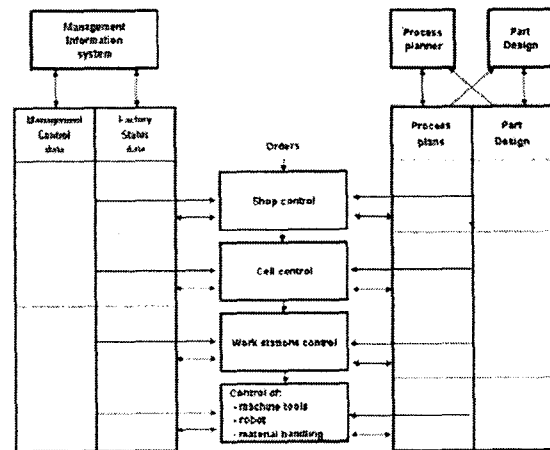


Fig. 1 The NIST-AMRF CIM architecture

## 3. 디지털 가상공장 구축 절차와 공정 분석

### 3.1 디지털 가상공장 구축 절차

본 논문에서 제안하는 디지털 가상공장의 구축 절차는 <Fig. 2>와 같다.

즉, 초기 단계에서 디지털 가상생산을 적용할 대상과 범위를 선정하고, 선정된 대상에 대해서 수행 목적과 계획, 상세 활용 계획, 그리고 3 차원 CAD 모델링의 상세수준 등에 대한 계획을 수립한 후, 디지털 가상공장 구축과 프로세스를 구현하기 위한 기초 데이터를 수집한다. 이때 기초 데이터는 각 설비 정보와 도면 데이터, 장비의 실측 데이터, 공장 레이아웃, 공정과 작업 내용 등을 말한다. 기

초 데이터 수집 후 현행(as-is) 공정을 분석하며, 이를 바탕으로 개선(to-be) 공정을 결정한다. 개선 공정이 작성되면, NIST-AMRF CIM 계층모델을 기반으로 공장(shop), 셀(cell), 작업장(workstation), 제어(control) 레벨에 대한 분석을 실시하며, 실제 공장을 구성하는 요소에 대해 계층을 정의한다. 계층 분석 완료 후에는 기초 데이터로 수집한 장비와 설비에 대한 도면 정보와 도면이 없는 경우 실측을 통해서 수집한 정보를 사용하여 공장의 설비와 레이아웃에 대한 3 차원 CAD 모델링 작업을 수행한다.

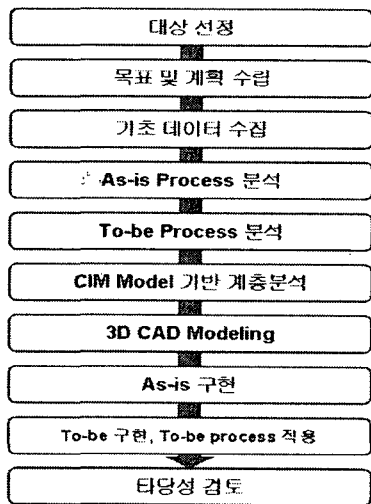


Fig. 2 Construction procedure of digital virtual factory

3 차원 CAD 모델링이 완료되면, 장비와 설비에 대한 정보에 따라 적절한 기구학적 연관 관계(kinematics)를 부여하고, 최종적으로 현행 공정에 대한 디지털 가상 공장을 완성하게 된다. 개선(to-be) 공정은 향후 도입될 새로운 장비, 설비나 공정 등을 구축된 현행 디지털 가상 공장에 적용하는 것으로, 이를 통해 개선 디지털 가상공장을 구축하여, 다양한 사전 검증에 활용하게 된다. 사전 검증 단계에서는 개선 공정이 적용된 디지털 가상공장을 운영하여 발생 가능한 문제점을 찾아내고 이를 사전에 해결하며, 실제 생산 현장에 적용하기 위한 데이터를 추출해내는 단계이다.

### 3.2 공정 분석

<Fig. 3>과 <Fig. 4>는 IDEF0와 IDEF3를 이용한 현행 공정 분석의 일부를 보여준다. 현행 공정 분석이 완료 되면, 개선 공정에 대한 분석을 진행한다. <Fig. 5>는 본 논문의 대상 개선 공정으로, 부재의 마킹(marking), 라벨링(labeling), 그리고 절단(cutting) 공정을 위한 자동화 설비의 도입이다.

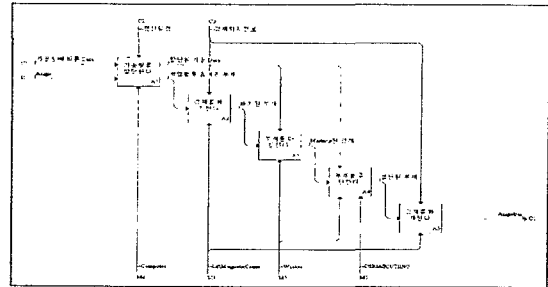


Fig. 3 The cutting process (as-is)

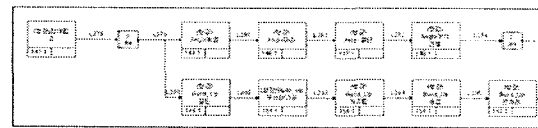


Fig. 4 A part of the as-is process

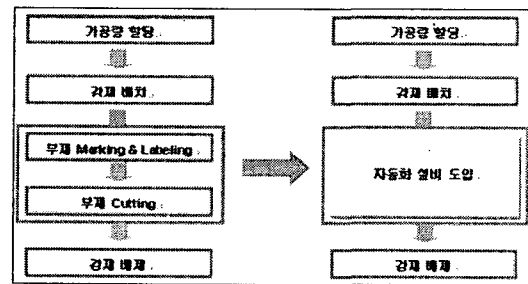


Fig. 5 Concepts of As-is and To-be process

### 4. 형강공장 계층 분석 및 디지털 가상공장 구축

본 논문에서는 NIST-AMRF CIM 모델을 바탕으로 형강공장의 계층 분석을 수행하였다. 형강공장의 주요 요소, 제조자원과 공정을 작업장 레벨, 제어 레벨, 셀 레벨, 공장 레벨의 네 가지 계층으로 나누었으며, 각 계층별 구성 요소에 대한 정보를 분석하여, 이를 디지털 가상공장 구축의 기본 자료로 활용 하였다.

계층 모델에 의한 분석을 통해서 구분한 형강공장의 각 요소들에 대해 도면 정보와 측정치 등을 이용하여 3 차원 CAD와 시뮬레이션 모델링을 수행하였다. 3 차원 CAD와 시뮬레이션 모델링은 분류된 계층을 고려하여 여러 작업장들의 결합체인 셀 레벨을 구축하고, 여기에 셀 제어 코드, 기구학과 수행 공정을 정의하는 제어 레벨을 추가하였다. 그 후, 각각의 셀 레벨 간의 관계를 정의하는 제어 레벨을 추가하여 최종적으로 공장 레벨을 완성하였다. <Fig. 6>은 CAD와 시뮬레이션 모델의 구축 절차를 그림으로 나타낸 것이다.

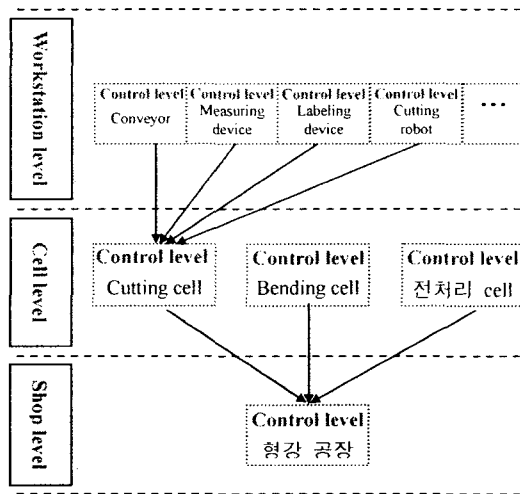


Fig. 6 Construct 3-D CAD and simulation model

#### 4.1 작업장 레벨

작업장 레벨은 로봇, 컨베이어 등 생산에 필요한 다양한 구조물 및 장비들로 정의하고, 장비에 대한 분석, 각 장비에 대한 용도와 사양에 대한 정보 수집을 수행하였다. <Table 1>과 <Fig. 7>은 본 논문에서 구현한 작업장 레벨의 CAD, 시뮬레이션 모델의 일부이다.

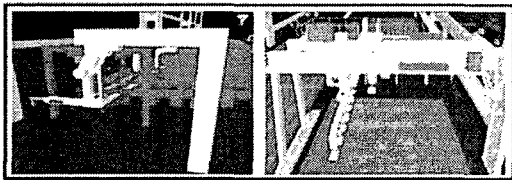


Fig. 7 3-D CAD and simulation model of workstation level

Table 1 Machines and their function of workstation level

Machine	용도
Feed conveyor static	부재를 지지함
Feed cross conveyor	Measuring device 로 이송
Feed in disk roller	절단로봇까지 이송
Measuring device	부재의 위치 인식, 이송
Labeling device	부재에 대한 라벨링작업
Cutting robot	부재의 절단
Discharging device	절단된 부재 이송
Discharging disk roller	절단부재 이송
Discharging cross conveyor	부재 적재
Control room	Cell 관리

#### 4.2 제어 레벨

제어 레벨에서는 장비들의 공정 수행에 대한 제어, 부품 및 자재 이송에 대한 제어를 다룬다. 각

장비와 설비에 대한 제어 영역으로 본 논문에서는 공정 구현 코드, 셀 제어 코드, 로봇 기구학 구현 코드의 영역으로 분류, 정의를 하였다. <Fig. 9>는 형강공장의 공정 수행과 기구학을 구현한 모습의 예를 보여준다.

```

ARB1 350 100 12 17 13900 Steel size [Wx Fx Wt Ft P] --- CUTTING WIP --- Robot Cutting
M3AC --- Measuring Machine Control --- SPEED/C 100
M3PM --- Command --- SPEED/C 100 --- Robot Speed Setting
752 --- SPEED/RDY
M3AK --- Steel Section Laser Sensing --- SPEED/C 30
M3AP --- Robot Moving --- MOVES P --- Robot Move to PFI
ZC --- SIG 1
M3AP --- WAIT(2) ?
S --- CONT 30
S --- MOVES/POL P01 --- Robot Move
S --- MOVES/POL P03 --- Robot Move
S --- MOVES/POL P04 --- Robot Move
S --- Robot Setting
S --- Robot Setting
S --- Robot Coordinate
S --- Robot Coordinate
S --- Robot Moving
S --- Robot Moving
S --- Point Setting
S --- FINISHING
S --- SIG -1
S --- SPEED/C 300
S --- SPEED/C 100
S --- DO/SIG SW/P9
S --- @END = 0
S --- END
  
```

Fig. 8 Example of cell control code

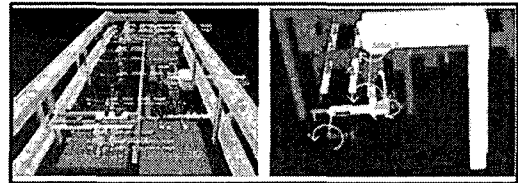


Fig. 9 3-D CAD and simulation model of control level

#### 4.3 셀 레벨

형강공장에서 수행하는 공정을 IDEF3로 분석하여 절단 셀(cutting cell), 벤딩 셀(bending cell), 전처리 셀로 분류하였으며, <Fig. 10>과 같이 IDEF3를 이용하여 각 셀의 작업 공정을 분석하였다. 분석된 셀에 작업장 레벨에서 구현한 모델들을 배치하고, 제어 레벨에서 정의한 공정 수행과 기구학 구현 코드를 부여하여 셀 레벨의 모델을 완성하였다. <Fig. 11>은 절단과 벤딩 셀에 대한 구현 결과를 보여준다.

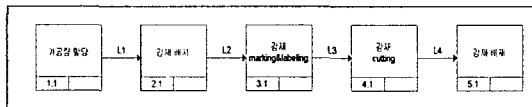


Fig. 10 Process flow of cutting cell

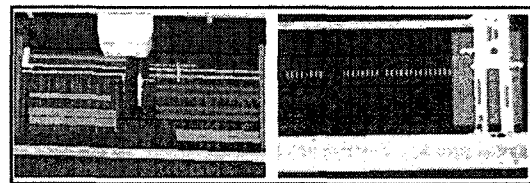


Fig. 11 3-D CAD and simulation model of Cell level

#### 4.4 공장 레벨

공장 레벨은 최상위 계층으로 모든 구성 요소들을 포함한다. 즉, 공장 레벨은 형강공장을 이루는 모든 제조자원, 레이아웃과 전체 공정으로 정의하였다. <Fig. 12>는 완성된 형강공장 모델로서, 다양한 엔지니어링 의사 결정에 활용될 수 있다.

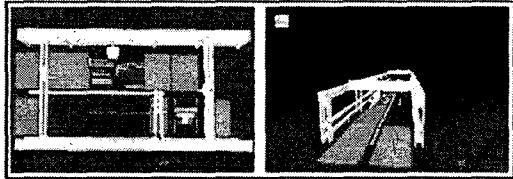


Fig. 12 3-D CAD and simulation model of Shop level

#### 4.5 디지털 가상공장과 셀 제어기 연계

완성된 디지털 가상공장을 통해 엄밀하고 신뢰성 있는 사전 검토가 가능하려면, 모델이 다양한 부재의 크기, 절단 형상 등 실제로 발생할 수 있는 다양한 조건들을 고려할 수 있어야 한다. 그렇지 못한 경우에는, 검토하고자 하는 상황이(신규 형강, 생산 조건 변경 등) 변경될 때 마다 셀 제어 레벨에서 모델과 코드를 수정하여야 하므로, 상당한 시간과 노력이 요구되며, 그 신뢰성도 낮아지게 된다.

본 연구에서는 셀 레벨과 실제 공장의 셀 제어 파일간의 직접적인 인터페이스를 구축하여 새로운 검토 상황에 대해 별도의 모델과 제어코드 수정작업 없이 디지털 가상공장에 반영, 검토가 가능한 효율적인 엔지니어링 환경을 구축하였다. <Fig. 13>은 구현된 셀 제어기의 파일 인터페이스 기능을 보여주며, <Fig. 14>는 셀 레벨의 하위 레벨인 장비 레벨의 공정이 자동으로 생성된 결과를 보여준다.

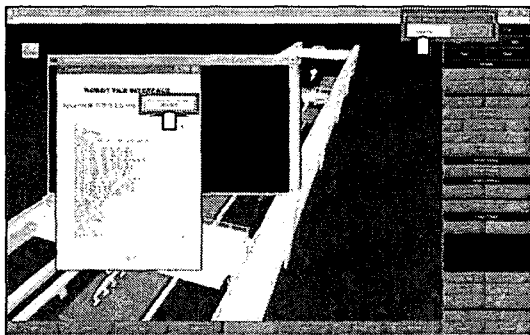


Fig. 13 Direct interface between digital virtual factory and cell controller

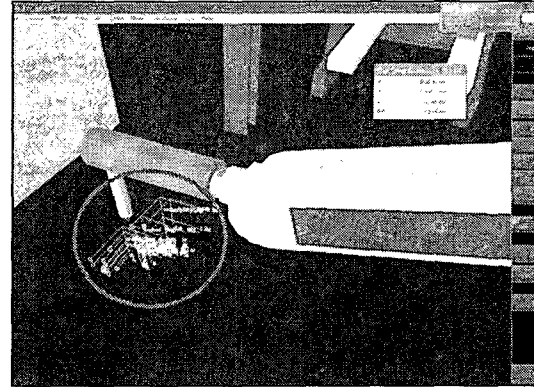


Fig. 14 Automatic generation of robot operations

### 5. 결론

본 연구에서는 CIM 계층 모델과 IDEF0, IDEF3 방법론을 이용한 공정, 공장에 대한 정보 수집, 정리와 분석을 통해 효과적으로 디지털 가상 공장을 구축하는 방법을 제시하였다. 또한, 조선 산업을 대상으로 디지털 가상 생산 기술을 적용한 사례를 소개하였으며, 다양한 상황에 대한 검토가 가능하도록 셀 레벨에서의 디지털 가상공장과 제어기의 인터페이스를 구축하였다.

### 참고문헌

1. Jordan, J. and Michel, F., 1999, Next Generation Manufacturing (NGM), CASA/SME Blue Book.
2. 노상도, 이창호, 한형상, "자동차 가상생산기술 적용(I) - 생산준비 업무분석 및 적용 전략 수립", IE Interface, 제 14 권 제 2 호, pp. 120-126, 2001. 6
3. 노상도, 박영진, "차체공장 디지털생산 기술 적용을 통한 신차 개발 생산준비 업무 수행", 한국자동차공학회논문집, 제 11 권 제 6 호, pp. 118-126, 2003. 11 월..
4. Tae Keun Park, Gun Yeon Kim, Sang Do Noh, Sang Dong Hahn, Jong Gye Shin, "Workflow Analysis and Strategic Planning of Shipbuilding for Digital Virtual Manufacturing?"
5. U. Rembold, B. O. Nnaji, A. Storr, 1993, "What Computer Integrated Manufacturing and Engineering?" Addison-Wiley, pp. 50-53.