

## 디지털 매뉴팩처링 기법을 이용한 절단기기의 검증된 가상 NC 시뮬레이터 구축

정호림<sup>†\*</sup>, 임현준<sup>\*\*</sup>, 이장현<sup>\*</sup>, 최양렬<sup>\*</sup>, 김호구<sup>\*\*\*</sup>, 신종계<sup>\*\*\*\*</sup>

서울대학교 해양시스템공학연구소<sup>\*</sup>  
홍익대학교 기계/시스템디자인공학과<sup>\*\*</sup>  
삼성중공업 주식회사 거제조선소<sup>\*\*\*</sup>  
서울대학교 조선해양공학과<sup>\*\*\*\*</sup>

### Construction of a Verified Virtual NC Simulator for the Cutting Machines at Shipyard Using the Digital Manufacturing Technology

Ho Rim Jung<sup>†\*</sup>, Hyun June Yim<sup>\*\*</sup>, Jang Hyun Lee<sup>\*</sup>, Yang Ryul Choi<sup>\*</sup>, Ho Gu Kim<sup>\*\*\*</sup>  
and Jong Gye Shin<sup>\*\*\*\*</sup>

Research Institute of Marine Systems Engineering, Seoul National University<sup>\*</sup>  
Dept. of Mechanical & System Design Engineering, Hongik University<sup>\*\*</sup>  
Geje Shipyard, Samsung Heavy Industries, Co., Ltd.<sup>\*\*\*</sup>  
Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Seoul National University<sup>\*\*\*\*</sup>

#### Abstract

Digital manufacturing is a technology to simulate the real manufacturing process using the virtual model representing the physical schema and the behavior of the real manufacturing system including resources, processes and product information. Therefore, it can optimize the manufacturing system or prevent the bottleneck processes through the simulation before the manufacturing plan is executed.

This study presents a method to apply the digital manufacturing technology for the steel cutting process in shipyard. The system modeling of cutting shop is carried out using the IDEF and UML which is a visual modeling language to document the artifacts of a complex system. Also, virtual NC simulators of the cutting machines are constructed to emulate the real operation of cutting machines and NC codes. The simulators are able to verify the cutting shape and estimate the precise cycle time of the planned NC codes. The validity of

the virtual model is checked by comparing the real cutting time and shape with the simulated results.

It is expected that the virtual NC simulators can be used for accurate estimation of the cutting time and shape in advance of real cutting work.

※Keywords: Cutting Shop (절단 공장), Digital Manufacturing (디지털 매뉴팩처링), Virtual NC Simulator (가상 NC 시뮬레이터)

### 1. 서론

조선 산업의 생산성 및 품질 향상을 위한 시도는 다양한 방법으로 진행되어 왔다. 기업의 전사적 자원 관리 (ERP: Enterprise Resource Planning), 설계 기술 개발, 일정 및 생산 계획 시스템 통합, 자동화 장비 개발, 6-Sigma 등 다양한 방법을 통한 예를 볼 수 있다. 자동차, 전기 전자, 기계 조립 산업 등과 같은 제조업은 다양해지는 소비자의 욕구에 보다 능동적으로 대처하고 단 기간에 고품질의 신제품 설계와 양산 (Mass Production)을 위한 시스템 및 프로세스를 갖추는 것이 중요하게 인식되고 있으며, 이를 위해 3 차원 설계 시스템, 제품 정보 관리 (PDM: Product Data Management) 시스템, 디지털 생산 시스템 (Digital Manufacturing System)을 활용하고 있다. 특히 디지털 생산 시스템은 통합 생산성 향상에 대한 효과는 매우 큰 것으로 보고 되고 있다 (Burkett 2001, lwata et al. 1997).

생산 시스템 통합과 설계 및 제품 정보의 표준화를 위한 제품 정보 모델에 대한 연구도 동일한 맥락에서 진행되어온 연구로 파악된다(유상봉과 이재원 1993, 윤덕영 등 1994).

조선 산업에서도 디지털 생산 시스템을 적용하기 위한 노력이 성형 공장 등을 중심으로 시도되어 그 가능성이 검토되고 있다(신동현 등 2002).

디지털 매뉴팩처링은 생산 시스템의 물리적, 논리적, 구성 요소들과 거동을 엄밀하게 컴퓨터상에서 모델링하여 통합된 디지털 모델을 구성하고 3 차원 CAD, 시뮬레이션, 인터넷 등 다양한 정보기술들을 활용하여 전체 생산 공정에 걸쳐 각종 오류의 사전 검증과 효율적인 의사 결정을 수행함으로써 신속하고 효율적인 제품 개발 및 생산을 실

현하고자 하는 기술로서 컴퓨터 각종 정보기술들을 활용하여 발생 가능한 각종 시행착오를 사전에 검증 하고 작업 계획 정보까지 제공함으로써 정확한 분석과 효율적인 의사 결정을 지원, 제품 생산에 소요되는 시간과 비용을 단축하고자 하는 하나의 생산 철학이라고 말할 수 있다. 이 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 의사 결정에 추가되는 비용과 시간의 낭비를 최소화할 수 있다(신종계 등 2002).

양산 산업의 경우 제품 설계가 수행되고 생산 자재 목록을 이용한 공정 및 작업 계획, 그리고 설비가 결정 되는 순차적인 검증 과정을 거쳐 확정되며 제품의 수명 주기 동안 반복되어 활용되는 특징을 가지고 있다. 그러나 선박 생산은 설계와 생산이 동시에 진행되며, 설계 및 생산 정보가 한 차례 또는 수 차례만 사용되므로 급격하게 변화하는 설계 및 생산 변화에 대응하여 빠르고 정확한 정보 생성이 중요하게 여겨진다.

본 연구에서는 이러한 관점에서 디지털 생산기술을 조선과 같은 주문형 제조방식에 적용하기 위한 방법론을 제시하고 조선 절단공정에 적용하여 투입 자재(강판)의 작업에 필요한 작업시간을 실시간으로 정확하게 추출하기 위한 모델을 구현함으로써 디지털 생산기술의 적용 가능성 및 효과를 검증하고자 한다. 절단 공장의 주요 기능은 강재 적치장(Stockyard), 전처리(Pretreatment) 공장에서 넘어온 강재를 조립하기 위한 절단 및 마킹 작업을 수행하는 것이다. 절단된 부품은 판넬 조립, 소조립, 중조립, 대조립 등의 조립 공정에 팔레트

(Pallet) 단위로 투입된다. 따라서 가공 공장은 강판의 대부분을 절단하며, 정확한 작업 시간 예측을 근거로 각 기기별로 적절한 물량을 배분해야 할 필요가 있다.

현재는 통계적 자료인 원단위(原單位, Basic unit)에만 의존하여 작업 시간을 추출하여 계획 정보로 활용하고 있으며, 이러한 방법은 정확한 절단 작업 시간 예측 및 검증이 어려운 단점이 있다. 이는 절단 공정의 일정 및 작업 계획, 물량 배분 업무에 가장 중요한 정보인 작업 시간이 부정확함을 의미한다. 본 연구에서는 절단 NC 코드 및 절단기의 기구학적 시뮬레이션을 통해 절단 시간을 정확하게 계산하고, 이를 가공 계획의 정확성과 부하 평준화를 위한 근거 정보로써 활용할 수 있는 방법론을 제시하고자 한다.

이러한 목적에서 절단 공장의 각 절단 기기가 가진 표준 프로세스(Process) 모델링, NC 프로세스 검증, 부품 및 공구 경로 검증, NC 시뮬레이션 방법 이용하여 NC 데이터, 가공 속도, 공구의 디지털 생산 모델을 구성하였다.

## 2. 절단 공정 프로세스 모델링

### 2.1 절단 자재, 기기 및 공정 특성

본 연구의 분석 대상은 조선소 내 가공 공정 중 절단 공정에 해당한다. 절단 공정은 운반된 부재를 필요한 작업 순서나 계열에 의해 선별하고 부재의 표면의 이물질 제거 및 변형 교정을 하는 전처리 공정을 거친 후 수행되게 된다. 그리고 후 공정인 조립 공정에서 사용될 부재의 형상으로 절단하는 작업 이외에도 조립될 위치의 마킹(Marking), 부재 및 계열 정보를 기입하는 라벨링(Labeling) 등 일련의 프로세스를 가지고 있다. Fig. 1은 A 조선소의 가공 공장 중 절단 NC 공정을 수행하는 공장의 Layout 과 자재 물류 특성을 보인 것이다.

절단에 투입되는 강판(steel plate)는 아래와 같이 두께와 부재의 종류에 따라 계열별로 구별되며, 각 계열에 따른 전문 절단기에 우선적으로 작업이 할당된다.

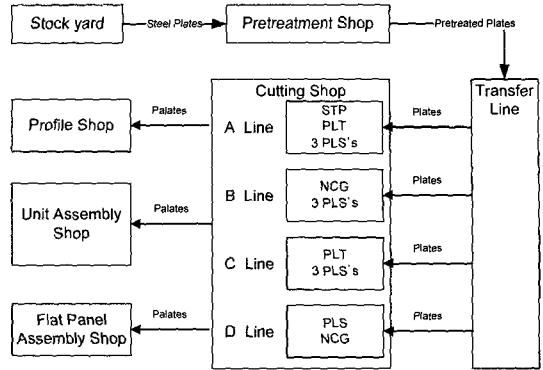


Fig. 1 Layout of the cutting shop

- FG 계열
  - 25t 이상의 평부재 (Flat Bar)
- FB 계열
  - 25t 이하의 평부재
- NP 계열
  - 25t 이하의 내부재
- NG 계열
  - 25t 이상의 내부재 및 조립 직송부재
- FL 계열
  - 25t 이하의 Panel Line 주판 부재

절단 NC 공정은 다음과 같은 공통적인 프로세스를 가지고 있다.

- 원점 인식(Sensing): 가공될 부재가 들어오면 현재 부재의 기준점 위치를 인식하기 위한 작업
- 마킹(Marking): 조립될 위치를 표시하고 가공 정보를 부재에 기입
- 절단(Cutting): 절단 작업 수행

각 절단기의 개별적인 특성에 따라 위의 프로세스를 선별적으로 수행하기도 한다. 각 절단 라인에는 아래와 같은 다섯 종류의 절단 장비 및 표준 공정이 있다.

- STP (Stripping Cutting Machine)
  - 25t 이상의 Flat Bar 절단 공정

- NCG (NC Gas Cutting Machine)
  - 25t 이상의 내부재 및 판넬 절단 공정
- PLS (Plasma Cutting Machine)
  - 25t 이하의 내부재 절단 공정
- PLT (Plasma Stripping Cutting Machine)
  - 25t 이하의 Flat Bar 절단 공정
- PLP (Plasma Planner Cutting Machine)
  - 판넬용 주판 절단 공정

2.2 절단 공장 객체지향 모델링

본 절에서는 절단 공장을 이루는 기계 자원(Resource), 공정(Process), 제품(Product) 정보를 논리적으로 기술하기 위한 방법으로 IDEF0(Integration DEFinition)과 객체 지향 모델링 기법(Object-Oriented Modeling Technique)인 UML(Unified Modeling Language) 방법을 사용하였다. 특히 공장 모델을 이루는 구성 요소를 PPR(Product, Process, Resource)로 가정하고 앞 절에서 언급한 조선 절단기기의 NC 공정들을 분석하였다.

IDEF0 방법론은 Fig. 2 와 같이 생산 시스템에 적용했을 시 기능(Function) 혹은 활동(Activity)은 어떠한 상황에서 무엇이 일어나는지에 관한 서술로 생산 시스템의 NC 공정(Process)을, 입력(Inputs)은 기능(Function)을 수행하는데 필요한 개체 혹은 데이터로서 생산 시스템의 제조 전 중간 제품(Interim Product) 나 원재료(Material)을, 출력(Output)은 기능(Function)이나 활동(Activity)의 결과로 산출되는 산출물로서 생산 시스템의 제조된 제품(Product) 또는 중간 제품(Interim Product)을, 매커니즘(Mechanisms)은 기능(Function)을 수행하는 사람 또는 개체 및 수행에 필요한 기자재 및 자원을 나타낸 것으로 생산 시스템의 설비 및 기계/인적자원(Resource)을 표현할 수 있다(Gary et al. 1993).

Fig. 3 에 PLS 공정의 기능특성을 IDEF0 방법으로 표현하였다. 기능 모델을 근거로 절단 NC 공정(Process)을 중심으로 분석한 시스템의 제품(Product), 설비 및 기계/인적 자원을 객체(Class)화하여 Process Class, Product Class, Resource Class 로 분류하였다. 객체간의 관계를 시간중심으

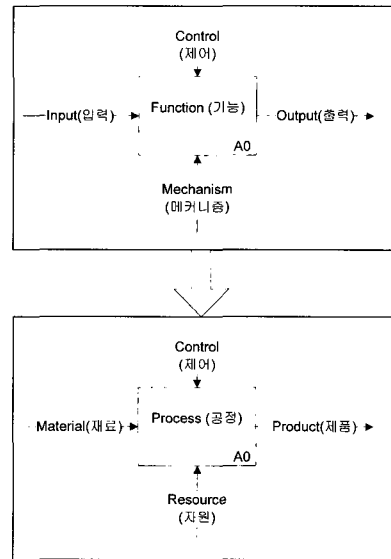


Fig. 2 IDEF0 model and objects in the cutting shop

로 표현한 순서도(Sequence Diagram) 과 상태도(State Chart Diagram), 객체간의 관계를 사건중심으로 표현한 협업도(Collaboration Diagram)를 정의하였다. 이는 객체지향 개념에 적합하게 시스템 내의 공정과 설비 및 자원, 제품뿐만 아니라 개념까지 객체화하고 이 객체를 활용하여 시스템을 구성함으로써 시스템의 설비 및 레이아웃 변경, 공정의 재 분류 등으로 야기되는 설계 모델 변경 시에 보다 능동적이고 효율적인 변경이 가능한 논리적인 모델로서 의미를 갖는다. Fig. 4 는 NP, FP, 및 FG 가공 계열과 절단공정에 투입된 컨베이어(SlatConveyor), 절단기(PlasmaNC, GasStrippingMC), 크레인(UnitMagneticCrane, SemiGantryMagneticCrane)의 객체도(Class Diagram)이다. Fig. 5 는 PLS 절단기의 행위(activity)에 따른 객체 상태도이다.

2.3 절단 공장의 정보 모델

현재의 절단 공정은 원단위를 적용하여 작업 시간을 예측하고 이를 정해진 가공 계열에 따라 절단기를 지정하여 작업을 수행한다. 따라서 정확한 작업 부하를 추정하여 부하를 평준화하고 작업계

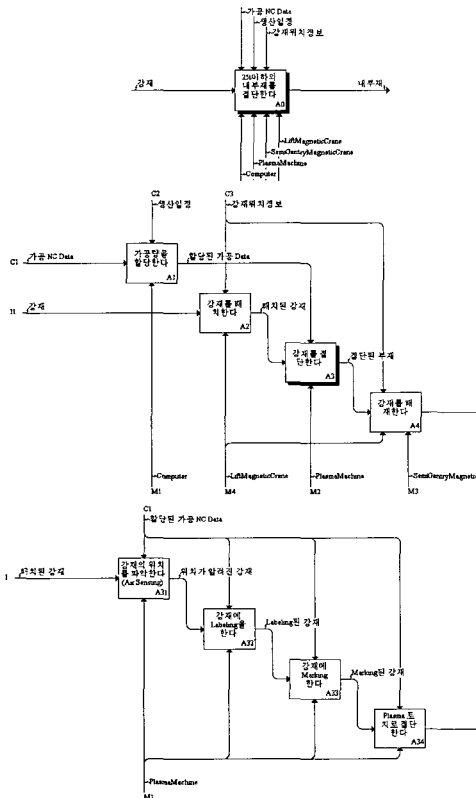


Fig. 3 IDEF0 functional model of PLS machine

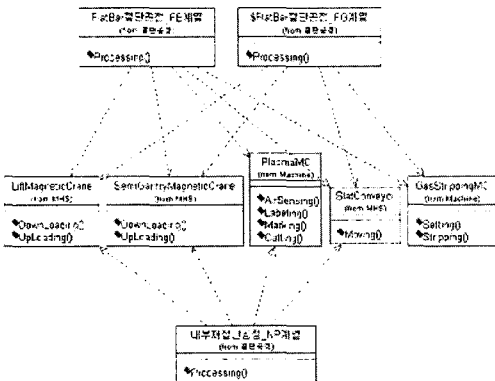


Fig. 4 Static class diagram of cutting shop

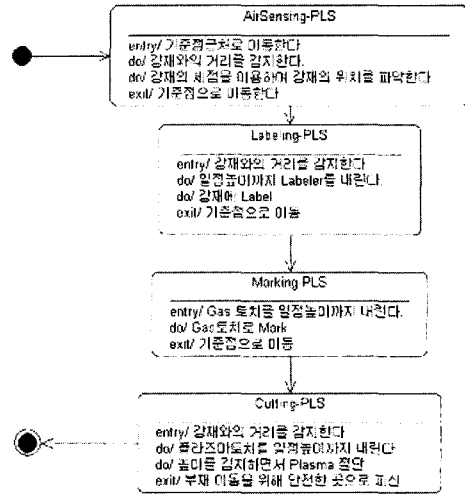


Fig. 5 State chart diagram of PLS machine

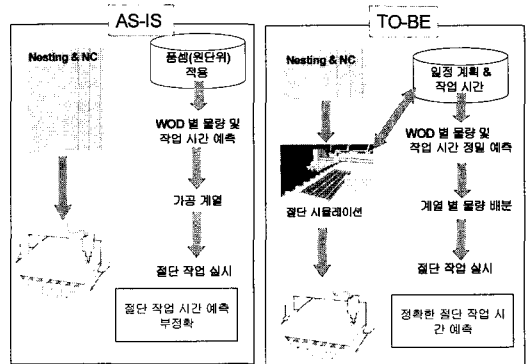


Fig. 6 AS-IS and TO-BE process model for cutting shop control

획을 수행하는 작업에 어려움이 있다. 본 연구에서는 절단 NC 정보를 이용하여 가상 절단 기계를 구동함으로써 정확한 작업 시간을 예측함으로써 계열별로 적절한 물량 배분을 하기 위한 근거를 마련하고자 한다(Fig. 6).

### 3. 가상 NC 시뮬레이터 구축 및 공정 검증

#### 3.1 가상 NC 시뮬레이터의 구성

앞장에서 제시한 절단 공정 시뮬레이션을 위하여 절단기 NC 모사 기술을 이용하였다. 시뮬레이

션을 위하여 DELMIA 사의 Virtual NC 를 이용하였다. 일반적인 NC 기기의 모델을 구성하기 위해서 Machine, Tool, Workpiece, Controller 로 구분하였다. Machine 은 실제 절단기기의 동역학적인 움직임을 가지는 몸체에 해당하며 기기의 이동 및 각종 공구의 이송, Tool 을 작업대상에 위치시키는 역할을 한다. Tool 은 절단기기의 절단 토치 부분으로 Machine 에 장착되어 Controller 의 제어에 의해 Workpiece 를 가공한다. Workpiece 는 가공 작업대상물 즉, 절단될 부재를 의미한다. 해당 절단기기의 형상은 3 차원 CAD 모델로 작성하였다.

NC 코드는 MIMIC 기법을 활용하였다. 이는 각 절단기의 수치 제어 코드(EIA)를 범용 NC Code 로 치환함으로써 실제 제어 코드를 시뮬레이션하는 기법이다. 이뿐만 아니라 GSL(Graphic Simulation Language), CLI(Command Line Interpreter) 을 통해 세밀한 동역학적 움직임과 사용자 고유의 기능까지 추가할 수 있어 일정 및 계획 정보 시스템으로부터 작업 계획(Work Order Data)와 NC 정보를 입력 받을 수 있는 사용자 기능을 추가하였다(Fig. 7).

3.2 NC Code 변환

MIMIC 언어는 Virtual NC 의 수치 제어기(Numerical Controller) 에 해당된다. 구체적인 수치 제어기의 함수들을 모사(emulation)한다. 이는 각 가공 기기의 고유 NC Code 를 MIMIC 함수로 사상(Mapping) 및 정의함으로써 가공 기기의 모든 동역학적 움직임을 구현할 수 있다.

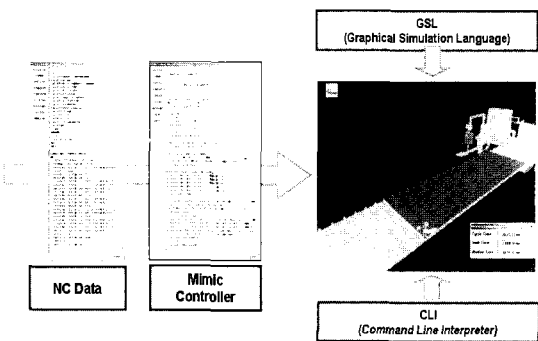


Fig. 7 Virtual NC simulator

따라서 아래와 같은 물리적 특성을 정량적으로 정확하게 구하거나 고려할 수 있다.

- 작업 사이클 타임
- 공구의 절삭속도
- 공구 위치
- 가감속도, 회전속도, 접근속도, 가속도
- 가공 깊이
- 공구 활용률

MIMIC 을 구성하는 형태는 각각의 NC Code 가 공을 위해 디자인된 고유한 함수들의 집합이다 (DELMIA 2004). 아래 Fig. 8 의 상단은 절단기 NC 코드의 일부를 보인 것이다. Code 중 위치 제어를 위한 G0 code 를 MIMIC 함수를 이용해서 절차(Procedure)로 모사한 예를 그림의 하단에 보았다. 모든 code 를 제어 함수로 재정의함으로써 NC code 를 대응하는 MIMIC code 로 사상하였다.

3.3 절단 데이터 흐름

가상 NC 시뮬레이터는 Fig. 9 와 같이 일정 및 계획 정보 시스템에서 작업 계획 (WOD) Data 와 NC Data 를 입력 정보로 받아들인다. 이 입력 정보를 받기 위해 일정 및 계획 정보 시스템과의 인터페이스로 NC 파일 복사 프로그램을 작성하였다. 이 프로그램을 통하여 시뮬레이션 하고자 하는 WOD 를 데이터 베이스(DB)로부터 읽어 들이고 이 WOD 에 해당하는 NC 파일을 서버로부터 복사

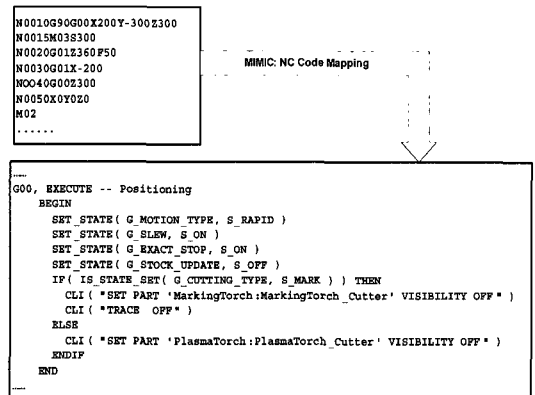


Fig. 8 NC emulation using MIMIC language

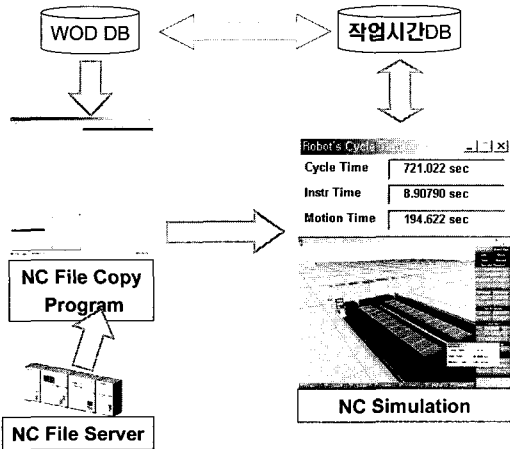


Fig. 9 NC data flow and simulation

해 온다. 그리고 공정 계열 별로 분류된 WOD 와 NC 리스트를 생성하여 시뮬레이터의 입력정보로 사용된다. 시뮬레이터에서는 추가된 사용자 함수에 의해 WOD 와 NC 리스트의 공정 계열 별로 NC 파일을 분류하여 시뮬레이션 함으로써 정확한 절단 작업 시간을 산출하여 DB 로 저장하게 된다.

3.4 가상 NC 공정의 검증

각각의 NC 공정에 대한 가상 NC 시뮬레이터의 검증은 현장 실측에 의해 수행하였다. 실측 및 시뮬레이션은 5 가지의 경우에 대해 이루어졌다. 절단기기의 동역학적 움직임, 가공 시간 그리고 가공 결과로 나누어 실측과 비교하였다. Table 1 은 실측과 시뮬레이션의 오차를 비교한 일부 예이며, Table 2 는 각 기기의 가공 결과와 NC 시뮬레이션 결과에 의한 절단 형상을 비교한 일부를 보인 것이다. 실제 가공에 필요한 작업 시간을 직접 측정 하였으며, 그 작업 시간을 시뮬레이션을 통해 예측한 작업 시간과 비교하였다. 각 기기의 가상 시뮬레이션을 통해서 얻어진 시간은 실측 시간과 최대 2.6 %이하의 오차로 측정되었다.

4. 결론

본 연구에서는 절단 NC 공정에 대하여 객체지향 모델링 기법인 UML 방법을 적용하여 절단 공

Table 1 Cutting time obtained by experiment and virtual simulation

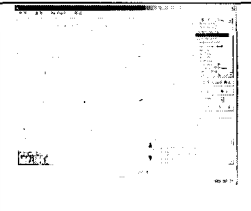
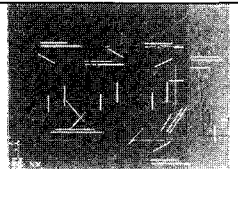
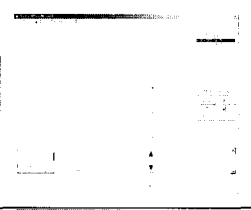
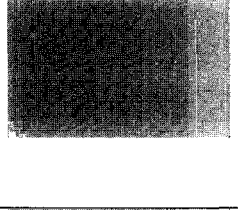
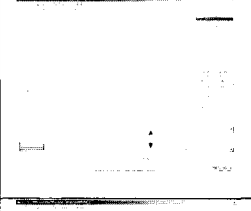
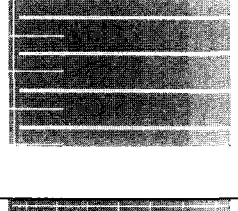
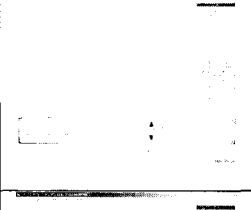
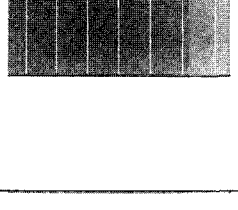
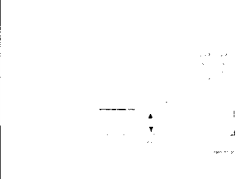

Name	Experiment (Measured)	Simulation (Estimated)	Error
PLS			
	Cutting time: 45.01 Min.	Cutting time: 43.86 Min.	2.58%
NCG			
	Cutting time: 88.00 Min.	Cutting time: 87.99 Min.	0.64%

정을 이루는 제품 정보, 공정 정보, 자원 정보를 분석하는 방법 및 사례를 보였다. 또한 IDEF 방법을 적용하여 절단 공정의 정적인(static) 정보의 흐름을 분석하였다. 이를 토대로 디지털 생산기술을 적용하여 조선 절단기기를 가상 기계로 모델링 하였으며, NC 정보를 모사 함으로써 가상 NC 시뮬레이터를 구축한 사례를 보였다. 이를 위하여 NC 절단기의 동적 특성, 제어 특성을 반영한 3 차원 디지털 모델을 구성하고, NC 정보를 모사하기 위한 프레임 워크를 구현하였다.

NC 시뮬레이터는 사용자가 원하는 작업 계획 기간의 NC 정보를 입력 받아 실시간으로 시뮬레이션 할 수 있고 각각의 강판 부재가 가진 정확한 절단 가공 시간을 산출하여 저장하도록 구성하였다. 그리고 실제 절단작업의 실측을 통해 NC 시뮬레이터의 결과를 검증하였다. 그러나 하나의 철판을 절단하는데 걸리는 전체시간을 정확하게 산출하기 위해서는 절단 전 준비작업, 절단 후 사상 작업 등에 걸리는 시간에 대한 산정도 필요하다. 그렇게 되면 일정 별, 부재 별, 계열 별, 블록 별 총 가공 시간을 산출하여 현장의 일정 및 계획에 재 반영할 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구에서 제시된 디지털 모델 구축 방법론을 사용하여 소조립, 판별 조립, 조립, 탑재 등 각 공장을 통합한 디지털 생산 모델의 구축에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

Table 2 Cutting shape obtained by experiment and virtual simulation

Name	Experiments	Simulation
PLS		
PLT		
STP		
NCG		
PLP		

- 신동헌, 우종훈, 이장현, 신종계, 2002, “ 적응 시스템 접근법을 이용한 조선소 가공공장 분석,” 대한조선학회 논문집, 제 39 권, 제 3 호, pp. 75-80.
- 신종계, 이장현, 우종훈, 김용균, 이종무, 2002, “ 디지털생산을 위한 초기 모델 개발 소개 - 조선소 성형공장을 중심으로-, ” 대한용접학회지 제 20 권, 제 1 호, pp. 10-17.
- 유상봉, 이재원, 1993, “ 선박의 설계 및 생산 정보의 통합을 위한 Product Model 의 구축,” 대한조선학회 논문집, 제 30 권, 제 2 호, pp. 1-12.
- 윤덕영, 조학중, 서흥원, 김기연, 고영화, 이원준, 김훈주, 임화규, 우일국, 송치봉, 1994, “ 조선 CIM 을 위한 제품 모델의 간명한 표현법,” 대한조선학회 논문집, 제 31 권, 제 1 호, pp. 42-49.
- Burkett, W. C., 2001, “ Product data markup language: a new paradigm for product data exchange and integration,” Computer-Aided Design, Vol. 33, pp. 489-500.
- DELMIA, 2004, VNC D5R13 User Manual, Tutorials Manual, DELMIA Co., Ltd.
- Gary J. Colquhoun, Ray W. Baines and Roger Crossley, 1993, “ A state of the art review of IDEF0,” International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol. 6, No. 4, pp. 252-264.
- 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, Vol. 46, No. 1, pp. 335-338.

후 기

본 연구는 “ 고부가가치 선박 개발용 디지털 통합건조 공법개발 ” 의 일환으로 수행되었으며, 산업자원부· 정보통신부의 연구비 지원에 감사 드립니다.





< 정호림 >



< 임현준 >



< 이장현 >



< 최양렬 >



< 김호구 >



< 신종계 >