

시스템엔지니어링 기반 선체 곡가공 자동화 시스템 프로토타입 개발

노재규* · 오대균**†

* 군산대학교 조선공학과, ** 목포해양대학교 해양시스템공학부

Prototype of the Automated Curved Hull Forming System based on Systems Engineering Process

Jac-Kyou Noh* · Dae-Kyun Oh**†

* Department of Naval Architecture, Kunsan National University, Kunsan, 573-701, Korea

** Division of Ocean System Engineering, Mokpo National Maritime University, Mokpo, 530-729, Korea

요약 : 선박의 건조 공정 중 병목공정에 해당하며 전적으로 숙련자의 수작업으로만 이루어지는 공정이 곡가공 공정이다. 이러한 곡가공 공정을 자동화 하고자 산업계와 학계의 많은 노력이 경주되었다. 기존의 곡가공 자동화 시스템 개발은 산업계와 학계에서 오랜 동안 연구되어 왔음에도 불구하고 실제로 생산현장에 투입되어 성공적으로 운영되는 사례는 없었다. 본 연구는 이러한 기존 곡가공 자동화 시스템 개발의 문제점을 파악하고 이를 해결할 수 있는 대안으로 요구사항 정의, 시스템 설계, 하부시스템 및 구성요소의 구현, 시스템 통합 및 검증의 4단계 시스템 엔지니어링 기반의 시스템 개발방법론을 제안하였다. 제안된 개발방법론을 기반으로 선체 곡가공 자동화 시스템 프로토타입 개발에 적용하고 결과를 고찰하여 기존 곡가공 자동화 시스템 개발에서의 문제점을 해결할 수 있는 대안이 될 수 있음을 확인하였다.

핵심용어 : 시스템엔지니어링, 선체 곡가공, 시스템 유지보수, 프로토타입, 생산 자동화

Abstract : One of the major technology issues in the ship production processes is the curved hull forming process that is a bottle neck and performed by experienced workers. In order to automate the curved hull forming process, there are a lot of attempts to develop the automation system by many shipbuilding companies and academic labs. However they have some problems which put the developed system in the difficulties to be used and maintained in the yard. In this paper, the problems are formed and solved by using tailored Systems Engineering Process which consists of four steps, those are requirement definition, system design, implementation of subsystem and components, and system integration and verification. A prototype for the proposed system development methodology is implemented. From the consideration of the prototype implemented, it is verified that this methodology can be an alternative to solve the problems.

Key Words : SE(Systems Engineering), Automated Curved Hull Forming System, System Maintenance, Prototype, Automation

1. 서 론

선박의 선체 외관은 적게는 30%에서 많게는 70%가 곡면을 가지고 있다. 이러한 곡외관은 현재 숙련된 작업자의 경험에 의존하여 가스 토치와 냉각수를 사용하는 수작업으로 가공되고 있다. 따라서, 생산성 향상, 작업 통제, 작업자의 신장 변동에 따른 작업 일정 불안정성을 해결하기 위하여 곡가공 자동화 시스템의 개발에 대한 지속적 요구가 있었다.

이를 위하여 곡가공 자동화에 관한 연구는 크게 2분야로 나뉘어 진행되었다. 한 분야는 주로 가열 알고리즘(Shin et al., 2004; 신 등, 1992; Ueda et al., 1994)이나 가열장치(우와 신,

2002; 김과 장, 2003), 측정장치와 알고리즘 등에 관한 세부요소 기술 중심으로 수행되었다. 그리고 다른 한 분야는 가열 알고리즘과 소프트웨어, 하드웨어, 시스템 운용 프로세스를 모두 포함하는 곡가공 자동화 시스템 개발과 관련된 연구(Shin et al., 2003; 대우조선공업주식회사, 1999)가 수행되었다.

그런데 곡가공 자동화 시스템은 특성상 곡가공 관련 알고리즘의 성능 향상 및 새로운 곡가공 알고리즘의 개발, 가열 관련 하드웨어 기술 발달, 측정 장치와 관련된 하드웨어 기술의 발달 및 측정 알고리즘의 성능 향상 및 새로운 측정 알고리즘의 개발과 같은 곡가공 자동화 시스템의 하부 시스템 및 구성요소의 지속적인 수정, 교체, 추가 등의 요구가 발생한다.

하지만 기존의 곡가공 자동화 관련 연구는 세부요소 기술에 관한 연구만 수행하거나, 시스템 개발에 관한 연구라 할지라도 관련된 다양한 분야의 연구개발자의 경험과 시행착오에 의존하

* 대표저자 : 정희원, snucurl@kunsan.ac.kr, 063-469-1855

† 교신저자 : 종신회원, dkoh@mmu.ac.kr, 061-240-7275

여 수행되었을 뿐이고 곡가공 자동화 시스템의 이러한 특성을 만족시킬 수 있는 체계적 대처 및 해결 방안에 관한 연구가 이루어진 적이 없다.

본 연구에서는 곡가공 자동화 시스템이 가지는 특성인 지속적인 시스템의 업그레이드 요구에 대처할 수 있도록 다양한 분야의 개발 관련자 및 팀들의 시스템 목적을 달성하기 위한 시스템에 대한 이해도 향상과 일관된 이해가 가능한 체계적인 시스템엔지니어링 기반 곡가공 자동화 시스템 개발 프로세스를 제안하고, 이를 기반으로 프로토타입을 개발하여 문제 해결의 대안이 될 수 있음을 확인하였다.

2. 선체 외판 곡가공 공정

2.1 대상 곡가공 공정 정의

선체 외판 곡가공 공정을 시작하기 위해서는 생산설계부서의 도면 전달, 절단공장의 평판 공급, 가공형상을 평가할 수 있는 나무로 만든 모형(Template)을 제작 및 공급하는 모형공장이 필요하다. 곡가공 공정은 이러한 도면, 평판, 모형을 가지고 실린더형상의 1차 곡형상을 가공하는 냉간 롤벤딩 1차 곡가공 공정, 가스토키와 냉각수를 이용하여 볼록(오목)형상이나 말안장형상의 2차 곡형상을 가공하는 열간 2차 곡가공 공정으로 이루어진다.

이러한 곡가공 공정은 대형, 중소형조선소와 곡블록 제작공장, 곡외판 제작공장 등이 모두 동일한 공정으로 작업하고 있다. 1차 곡가공과 2차 곡가공으로 이루어진 곡가공 공정은 Fig. 1에 나타내었다.

본 연구에서는 열간 작업으로 이루어지는 2차 곡가공 공정에 대한 자동화 시스템의 프로토타입 개발로 한정지어 연구를 수행하였다.

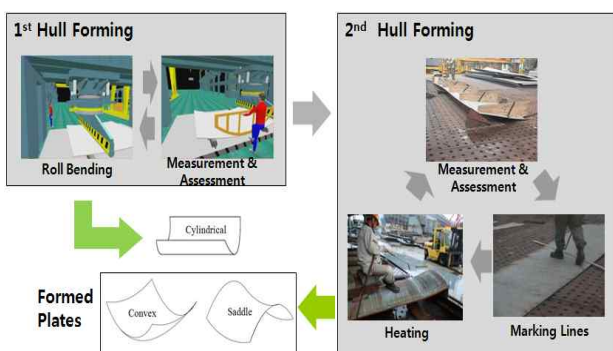


Fig. 1. Hull curved plates forming process.

2.2 기존 곡가공 자동화 시스템 개발 방법 분석

본 연구에서는 기 개발되었으나 현장에 적용되지 못하고 있다고 알려진 대형조선소, 중소형조선소와 대학의 곡가공 자동화 시스템에 대하여 문헌조사를 통하여 사례를 분석하였다. 곡가공 자동화 시스템 개발에 관한 연구(Shin et al., 2003; Ishiyama and Tango, 2000; 이, 1996; 대우조선공업주식회사,

1999)는 문헌상으로 활발하게 수행되지 않은 것으로 조사되었다. 이는 시스템 개발이 다양한 학문분야가 포함되고 개발비용이 크고 일정이 장기간 소요되므로 활발하게 연구가 수행되기는 어려운 환경이나 곡가공 자동화와 관련된 세부요소기술 관련 연구는 비용과 연구기간 면에서 유리하여 세부요소기술 위주로 연구가 수행되었기 때문으로 판단된다.

곡가공 자동화 공정 및 시스템의 특성상 전체 시스템, 하부시스템, 구성요소 등의 기능이나 물리적 장치들의 점진적 수정, 교체, 추가에 대한 요구가 발생한다. 현재까지는 해당 분야의 요구를 만족시키기 위해서 관련된 분야의 팀들이 회의를 통하여 경험과 시행착오를 바탕으로 해결하는 수 밖에 없었다. 따라서, 비용과 일정이 많이 소요되는 전체 시스템 재설계의 방법이 주로 논의 되었다. 이는 다양한 분야의 팀 들간의 이해를 전체 시스템 관점에서 균형적으로 조정할 수 있는 체계적인 개발 프로세스가 없기 때문이다.

본 연구에서는 이러한 문제를 해결할 수 있는 대안으로 다학제간 시스템 개발에 있어 그 유효성을 인정받은 시스템엔지니어링을 기반으로 하여 곡가공 자동화 시스템 개발에 적용가능한 점진적, 순환적 방법론을 연구하고, 이를 이용한 곡가공 자동화 시스템의 프로토타입을 개발하고자 한다.

3. 시스템엔지니어링 기반 시스템 개발 방법론

3.1 시스템엔지니어링(SE)

시스템엔지니어링에 대한 정의나 프로세스는 아주 다양하게 제시되어 있기 때문에 모든 정의나 프로세스를 본 연구에서 다 검토할 수는 없으나 다양한 시스템 엔지니어링에 대한 정의나 프로세스 중에서 널리 사용되는 표준과 이론을 바탕으로 곡가공 자동화 시스템 개발 방법론을 연구하였다.

표준은 군용 표준과 상업용 표준으로 크게 나눌 수 있는데 상업용 표준들도 결과적으로 군용 표준이 그 기원을 이루고 있음을 알 수 있다. 주요 표준으로는 MIL-STD-499B, EIA/IS 632, ANSI/EIA 632, IEEE 1220, ISO/IEC 15288을 들 수 있다.

3.2 곡가공 자동화 시스템 개발 프로세스 정의

본 연구에서는 "Vee"프로세스 모델(Buede, 2000)에 기반하고, 미국방성의 SE 표준으로 요구사항 분석, 기능적 분석 할당 및 종합으로 이루어진 MIL-STD 499B와 EIA/IS 632에서 사용하고 있는 시스템 설계 프로세스를 공리적 설계를 이용한 시스템 설계 프로세스를 포함하도록 조정(Tailoring)하여 Fig. 2와 같은 곡가공 자동화 개발 프로세스를 정립하였다.

정립된 개발 프로세스(Fig. 2)는 요구 정의, 요구사항 정의, 요구사항 분석, 기능 분석 및 할당, 설계 종합, 상세설계 및 하부시스템 구현, 하부시스템 및 구성요소 검증, 시스템 통합, 시스템 검증, 시스템 확인의 초기 버전 프로세스를 가지면서, 곡가공 자동화 시스템이 가지는 특성인 지속적 업그레이드가 가능한 개발 프로세스를 제공할 수 있도록 향후 시스템의 수정,

교체, 추가 등의 요구가 발생할 경우에 정립된 개발 프로세스와 프로세스 활동들을 연속적으로 적용하여 이전의 시스템 결과물이 다음 시스템의 수정, 교체, 추가 작업 시의 입력으로 사용되어 좀 더 상세하고 완성도가 높은 결과물을 만들어 낼 수 있는 순환적 프로세스의 적용이 되도록 정의하고, 점진적 접근법을 적용하였다.

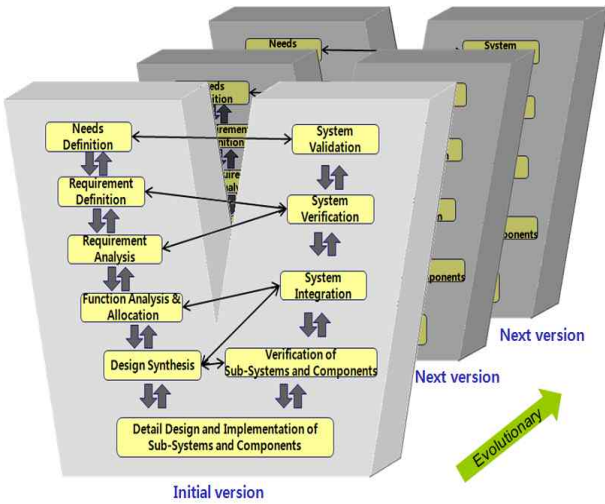


Fig. 2. The proposed development process of the automated curved hull forming system based on SEP.

최종 버전의 총체적인 능력을 시스템 개발을 시작하는 시점에 이미 알 수 있으나 최초 버전에서는 제한된 능력 또는 시스템 개발 시점에 구현 가능한 기술만으로 구성되는 시스템을 개발하고 지속적으로 새로운 버전을 제시할 수 있도록 하였다.

또한, 전체의 상세한 개발 프로세스(Fig. 2)를 Fig. 3과 같이 요구사항 정의, 시스템 설계, 하부시스템 및 구성요소의 구현, 시스템 통합 및 검증의 4단계의 대표적 프로세스로 분리하여 각 프로세스 내에서의 활동들을 통하여 곡가공 자동화 시스템의 개발 활동이 이루어 질 수 있도록 하였다.

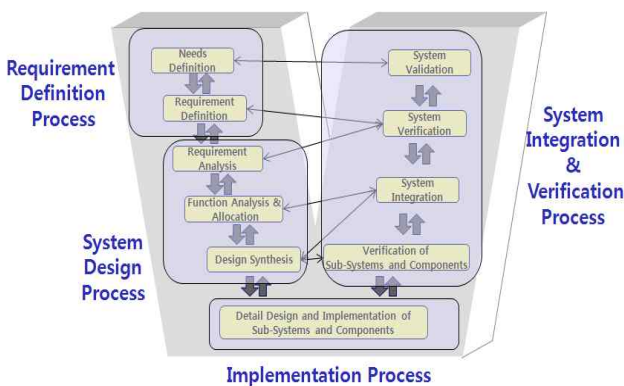


Fig. 3. Four process category of the proposed development process.

4. 프로토타입의 개발

4.1 요구사항 정의 프로세스

요구사항 정의 프로세스는 Fig. 4에서와 같이 곡가공 자동화 시스템의 이해당사자에 대한 식별 및 요구를 정의하고, 시스템의 목적과 운용을 결정하며 이를 바탕으로 시스템 수준의 요구사항을 정의하는 순서로 이루어진다.

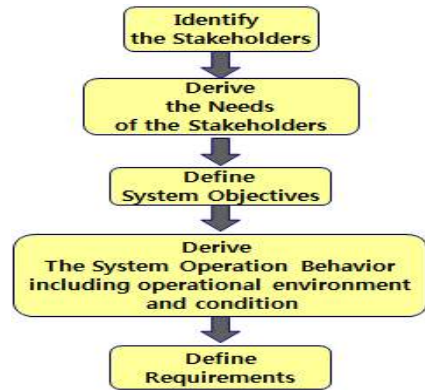


Fig. 4. Requirement definition process.

본 연구에서는 곡가공 자동화 시스템의 이해당사자로 (1) 곡가공 자동화 시스템의 요구자 또는 구매자, (2) 곡가공 자동화 시스템의 사용자, (3) 곡가공 자동화 시스템 개발, (4) 그 외 곡가공 자동화 시스템 관련자와 같이 4가지로 분류하였다.

		Column#					Competitive Analysis (0=Worst, 5=Best)		
		1	2	3	4	5	This System	Competitor	
Max Relationship Value in Row	Direction of Improvement: Minimize (▼), Maximize (▲), or Target (x)	X	X	X	X	X			
	Quality Characteristics (a.k.a. "Functional Requirements" or "How's")	Healing Path Algorithm	Comparison Algorithm	Measure Algorithm	Working Machine	Information Sharing Server			
	Demanded Quality (a.k.a. "Customer Requirements" or "What's")								
	Weight / Importance								
9	66.7	2.0	Quantify the Knowledge of Workers	⊖	⊖	⊖	⊖	5	3
9	16.7	0.5	Control motions of Workers			⊖	⊖	3	1
9	16.7	0.5	Collaborate with systems				⊖	3	1
Difficulty (0=Easy to Accomplish, 10=Extremely Difficult)		10	7	7	5	3			
Max Relationship Value in Column		9	9	9	9	9			
Weight / Importance		1.0	0.5	0.5	0.5	0.3			
Relative Weight		35.7	17.9	17.9	17.9	10.7			

Fig. 5. Requirements definition for automated curved hull forming system using QFD(Level 1).

이러한 이해당사자는 조선소, 블록제작업체, 곡가공 전문업체, 곡가공 작업자, 생산설계자, 목형제작 작업자, 절단 작업자, 연구개발자, 외주 개발업체 등으로 선정하였다.

이해당사자의 요구는 상기 식별된 이해당사자 별로 조사하였으며, 조사된 이해당사자의 요구를 기반으로 곡가공 자동화

시스템의 요구사항을 도출하기 위하여 곡가공 자동화 시스템의 목적을 다음과 같이 3가지로 정의하였다. (1) 작업자의 경험적 지식을 정량화한다. (2) 작업자의 작업 동작을 기계화한다. (3) 현재의 곡가공 작업과 같이 곡가공 자동화 시스템이 여러 베이에서 동시에 작업을 수행할 수 있어야 한다.

곡가공 자동화 시스템의 운용은 시스템의 목적인 작업자의 경험을 정량화하는 역할을 담당하는 계산 서버와 작업자의 동작을 기계화하는 곡가공 기계가 여러 대 곡가공 작업장에서 운용되고 있는 상황에 맞춰 도출하였다.

도출된 이해당사자의 요구와 요구로부터 정의된 시스템의 목적과 목적 달성을 위한 시스템의 거동을 외부 환경과 운용 조건 등을 배경으로 작성한 시스템의 운용도를 이용하여 이해당사자의 요구로부터 기술특성으로 대체할 수 있는 운용적, 기능적 요구사항을 2 단계 수준의 품질기능전개(QFD)를 사용하여 정의하였다. Fig. 5에는 1 단계 수준에 해당하는 정의된 요구사항을 나타냈. 품질기능전개의 행에는 상기 시스템의 3가지 목적을 나타내고 있고, 열은 이를 해결할 수 있는 기능인 가열선 알고리즘, 비교 알고리즘, 측정 알고리즘, 작업 기계, 정보 공유 서버를 표시한다. 품질기능전개 내부의 붉은 동그라미는 약한 상관관계를, 점을 가진 붉은 동그라미는 강한 상관관계를 의미한다.

4.2 시스템 설계 프로세스

곡가공 자동화 시스템의 설계 프로세스는 MIL-STD-499B, EIA/IS 632에서 제시하는 시스템 설계 프로세스를 변형하여 요구사항 분석, 기능분석 및 할당, 설계조합, 시스템 분석 및 최적화의 4단계가 반복적 적용과정으로 이루어진다.

곡가공 자동화 시스템 설계를 위한 요구사항 분석은 초기 요구사항의 타당성 분석, 요구사항의 조정 및 확립, 제약조건의 결정, 시스템의 운용 시나리오 및 경계 정의 활동으로 구성된다.

기능 분석 및 할당 단계의 목적은 하드웨어, 소프트웨어와 운용에 대한 기능과 하부기능의 할당을 통하여 시스템 아키텍처를 정의하는데 기초가 되는 기능 아키텍처를 만들어 내는 것이다. 본 연구에서는 Fig. 6에 나타난 것과 같이 공리적 설계의 지그재그 분해 방법과 The Hierarchical Technique 방법을 동시에 적용하여 기능 아키텍처를 구성하였다. 이는 기능과 물리적 또는 논리적 설계 대안의 1대1 사상에 상위레벨의 기능에 대응하는 물리적 또는 논리적 설계 대안을 하나 선택하는 의사결정을 수행한 다음 선택된 물리적 또는 논리적 설계 대안으로부터 하위레벨의 기능으로 분해하는 방법을 보조적으로 사용하는 방법이다. Fig. 7의 상단 그림은 시스템의 3가지 목적에 해당하는 기능 아키텍처이며, 하단 그림은 이를 해결할 수 있는 물리적 아키텍처를 의미한다. 그림에서 숫자는 레벨 수준과 해당하는 기능 및 물리 장치를 나타낸다. 이러한 숫자를 해석할 수 있는 표는 본 논문에서는 생략하였다.

이러한 기능 분석을 통하여 시스템 목적을 달성할 수 있는 하부 시스템은 경험정량화 시스템, 동작기계화 시스템, 협업 시스템의 3가지 하부시스템으로 분류하였다.

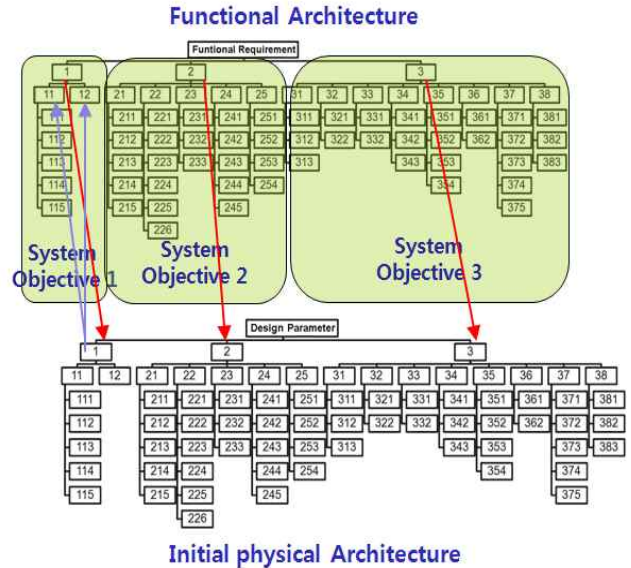


Fig. 6. Function analysis and allocation.

본 연구에서는 MIL-STD-499B, EIA/IS 632에서 제시하는 설계조합 활동의 기본적인 활동 내용은 차용하되 일관되고 정형적인 설계를 수행하기 위해서 공리적 설계 방법을 사용하여 설계조합 활동을 정의하였다. 공리적 설계 방법은 설계의 대상을 기능적 영역(Functional Requirements, FRs)과 물리적 영역(Design parameters, DPs)으로 구분하고, 이들 영역간의 사상 과정을 통하여 독립공리와 정보공리에 기반하여 의사결정 과정을 진행하는 설계방법이다(Suh, 1997).

곡가공 자동화 시스템에 관하여 기능요구사항의 독립성을 유지하는 독립공리를 적용하여 요구되는 설계의 특성인 기능적 영역의 독립된 기능 요구사항의 집합과 물리적 영역의 설계 파라미터 집합 사이의 사상 과정을 수학적으로 표현한 설계방정식과 이러한 설계방정식으로 구성되는 설계행렬을 구하였다.

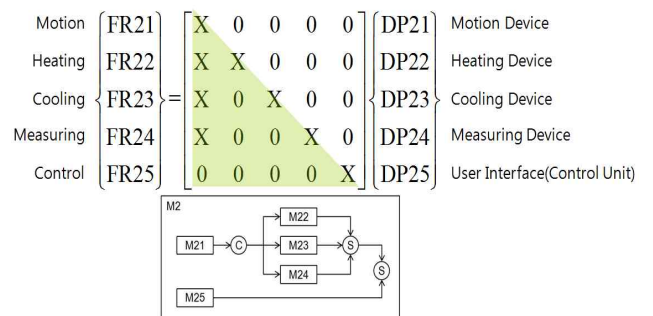


Fig. 7. Design matrix and function flow diagram of worker's behavior automation system.

전체 시스템에 관한 설계행렬과 기능흐름도는 그 양이 방대하여 표현하기가 곤란하므로 본 논문에서는 Fig. 7에 설계 예로서 동작기계화 시스템인 로봇의 레벨2에서의 설계방정식으로 이루어진 설계행렬과 기능흐름도를 나타내었다. 기능흐름도는

설계행렬을 작성하고 나서 설계행렬을 기반으로 기능 요구사항 중에서 하위 레벨의 기능 요구사항을 가지지 않는 리프(Leaf) 기능 요구사항을 최하위의 모듈로 정하고 이러한 모듈들의 계층적 관계와 흐름을 다이어그램으로 나타낸 것으로, 모듈(M), 독립적 기능을 의미하는 S(Summation) 접합점과 기능의 순서가 존재하는 C(Control) 접합점으로 표현된다.

도출한 설계행렬에 의하면 협업시스템, 동작의 기계화 시스템, 경험정량화 시스템의 순서로 개발하는 것이 독립공리에 적합한 시스템 설계 방법임을 알 수 있었다.

곡가공 자동화 시스템 설계를 분석하고 최적화 하는 단계는 다음과 같다. 먼저, 본 연구에서 사용하는 개념인 최적화는 일반적 공학에서의 최적화의 의미가 아니라 요구사항을 만족시킬 수 있는 초기 물리적 아키텍처에 따른 물리적 구성요소들이 형성할 수 있는 대안 중에서 정보공리에 의해 가장 효율적으로 구성요소의 개수를 줄일 수 있는 대안이라는 의미이다. 따라서, 시스템을 구성하는 물리적 구성요소들이 많으면 많을수록 시스템이 복잡해지므로 물리적 구성요소의 수를 감소시키는 것이 정보공리를 만족시키는 것이라고 정의하였다. 초기 물리적 아키텍처에서 동시에 기능을 수행하지 않는 동일한 종류의 물리적 구현체 들을 하나의 물리적 구현체로 구현하도록 정의함으로써 시스템의 물리적 구성요소의 개수를 최소화 할 수 있도록 구성하여 정보공리를 만족시키는 최적화된 최종 물리적 아키텍처를 Fig. 8과 같이 구성하였다. 최종 물리적 아키텍처(Fig. 8)는 계산매니저는 하나이며, 측정 매니저, 비전 시스템, 기계 매니저 및 작업 기계는 각 유닛 별로 하나 씩 세트로 구성되며, 시스템 매니저, 허브 스위치가 전체 네트워크의 형태로 연결된다.

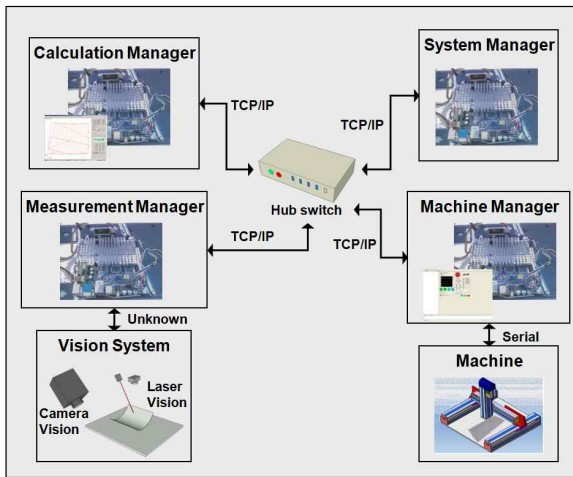


Fig. 8. Final physical architecture.

그리고 도출된 기능 요구사항 및 제약조건, 기능 아키텍처와 최종 물리적 아키텍처에 기반하여 전체 곡가공 자동화 시스템의 구조와 상호작용을 나타내는 시스템 아키텍처를 Fig. 9와 같이 완성하였다. 이러한 시스템 아키텍처(Fig. 10)는 정량화를 담당하는 알고리즘이 탑재되는 응용서버와 DB, 생산설계 데이

터와 DB와의 연결, 작업장에서의 여러 대의 작업 유닛은 각 유닛 제어부와 모션제어, 측정 제어, 비전 시스템, 갠트리 로봇으로 구성되어지는 단위 작업 유닛의 집합으로 구성되며 이는 모두 네트워크로 연결된다.

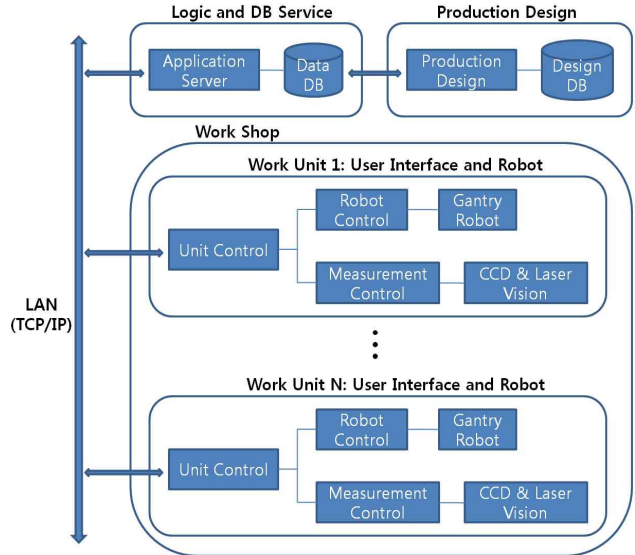


Fig. 9. System architecture.

4.3 하부시스템 및 구성요소 구현 프로세스

본 연구에서는 비용과 일정 등의 제약으로 인하여 실제 곡가공 자동화 시스템을 개발하기에 앞서 프로토타입을 개발하였다. 곡가공 자동화 시스템 프로토타입을 구성하는 하부시스템은 크게 협업시스템, 동작 기계화시스템, 경험정량화 시스템으로 구성된다. 도출된 설계순서에 의하여 먼저 협업시스템을 구현하였으며, 동작기계화 시스템, 경험정량화 시스템 순으로 하부시스템을 구현하였다.

3개의 하부 시스템 모두 윈도우즈 XP 환경 하에서 시스템 거동을 담당하는 응용프로그램을 작성하였다. 협업 시스템은 MS-SQL Server 6.0을 사용하여 작업정보공유 서버로 구현하였다.

동작기계화 시스템은 작업자 인터페이스에 해당하는 유닛 제어기(Fig. 10)와 가열 및 냉각 장치 에플레이션 장치, CCD 카메라 및 레이저 스캐너, 모션구동장치 등으로 구성된 3축 갠트리 로봇(Fig. 11)과 로봇 모션 제어기(Fig. 12)로 구현하였다. 로봇 제어기는 제어를 담당하는 전용의 임베디드 보드와 디지털 출력 보드로 구성되고, 제어 명령을 담당하는 소프트웨어는 모션 제어, 가열, 냉각, 측정 장치의 On/Off 제어, 측정 데이터 프로세싱의 기능을 담당하도록 프로그래밍 하였다. 작업자 인터페이스인 유닛 제어기의 하드웨어는 PC이며 소프트웨어(Fig. 10)는 좌측에 설계형상 뷰, 우측에 가열선 뷰, 아래에 상태로그 뷰의 세가지 뷰와 관련 메뉴 및 작업자가 명령을 내릴 수 있는 인터페이스인 컨트롤로 구현하였다.

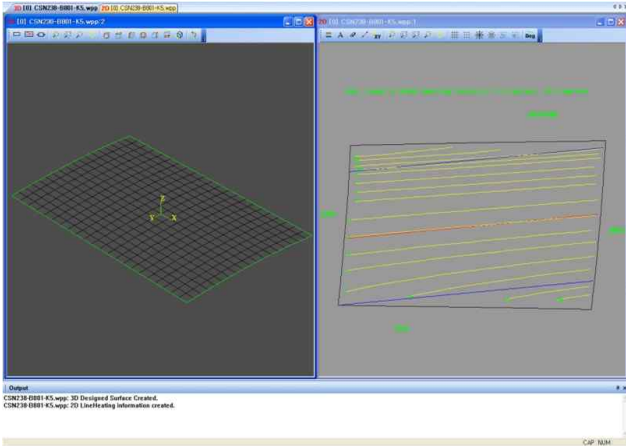


Fig. 10. User interface in work unit.



Fig. 11. Gantry robot equipped with CCD Camera, Laser Scanner, and Heating Emulation Device.



Fig. 12. Gantry robot control unit.

경험정량화 시스템은 알고리즘 계산 서버로 구현하였다. 알고리즘 계산 서버의 기능을 담당하는 곡면 모델링(NURBS, Coon's Patch), 곡면전개(변형 기하 해석 기반 수학적 정식화 전개법), 선상가열(변형 기하 해석 기반), 곡면비교(Iterative Closest Point) 알고리즘을 탑재하였다.

4.4 시스템 통합 및 검증 프로세스

시스템 통합 및 검증 프로세스는 하부 시스템의 검증으로부터 상향식으로 통합되어짐에 따라 검증하였다. 협업 시스템은 특정 작업 유닛이 일정을 고려하여 할당된 작업 대상판을 선택하여 가열 작업을 수행할 수 있도록 13,000 DWT 화학운반선의 실선 데이터를 사용하여 작업 유닛의 ID, 작업 대상판 ID, 작업 일정 등의 데이터로 입력하고 이를 유닛 제어에서 호출하여 작

업이 수행되도록 시험하여 정상적으로 작동되고 있음을 확인하였다.

동작기계화 시스템은 가열장치와 냉각장치는 디지털 출력 보드에 레이저 다이오드를 연결하여 가열, 냉각 작업 시에 정상적으로 작동하고 있음을 시연(Demonstration)으로 확인하였고, 가열, 냉각 모션제어는 경험정량화 시스템인 계산용 서버로부터 계산된 가열선과 가열속도 정보를 이용하여 가열, 냉각 모션이 생성된 정보와 동일함을 가시화하여 시연함으로써 확인하였다. 측정 장치와 측정 모션제어는 시험형상으로 안장형상과 오목형상을 쾌속조형(Rapid prototype) 시편을 제작하여 측정함으로써 검증하였다.

경험정량화 시스템은 13,000 DWT 화학운반선의 실선데이터를 생산설계 CAD인 TRIBON M3로부터 추출하여 각 모듈 별로 시험한 결과 수용할 만한 가열정보인 가열선 위치, 속도를 산출하고 있음을 검증하였다.

검증된 하부 시스템들을 모두 통합하여 전체 곡가공 자동화 시스템 프로토타입으로 구현한 것을 Fig. 13에 나타내었다.



Fig. 13. Integrated prototype of automated curved hull plates forming system.

통합된 곡가공 자동화 시스템의 검증을 위한 프로시저는 Fig. 14에 나타내었다. 검증 시나리오는 먼저 작업 유닛 제어부에서 정보 공유 서버에 작업 관련 설계 형상 정보를 요청하고, 전달받은 설계 정보를 계산 서버에 보낸다. 계산 서버는 계산된 결과를 작업 유닛 제어부에 전송하고, 작업 유닛 제어부는 로봇 제어부에 가열 정보를 전송하며, 로봇 제어부는 측정과 가열 작업을 수행한다. 작업이 완료되면 로봇 제어부는 작업 유닛 제어부에 작업 완료를 통보하고 작업 유닛 제어부는 정보 공유 서버에 해당 작업이 완료되었음을 통보한다. 일련의 검증 시나리오 대로 시연하여 설계된 기능을 수행하고 있음을 검증하였다.

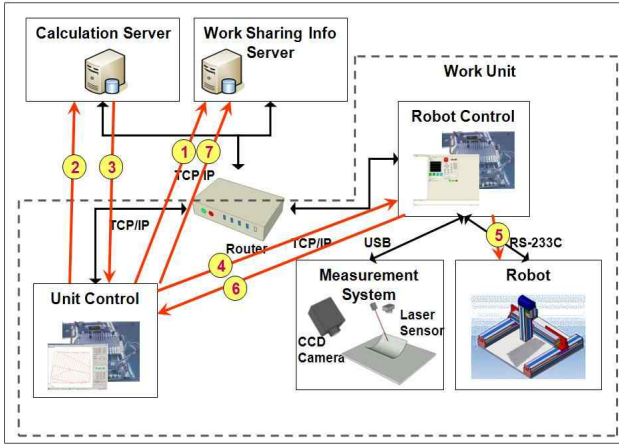


Fig. 14. Verification procedure of integrated prototype of automated curved hull plates forming system.

5. 결론

본 연구에서는 시스템엔지니어링을 기반으로 곡가공 자동화 시스템 개발 프로세스를 제안하고 프로토타입의 개발을 수행하였다. 기존의 곡가공 자동화 시스템에 대한 문헌조사 및 분석을 통하여 곡가공 자동화 시스템의 특성인 지속적 시스템 요구사항의 변경을 문제화 하여 이를 해결할 수 있는 일관되고 체계적인 대처가 가능한 곡가공 자동화 시스템 개발 프로세스가 필요함을 밝혔다.

다학제간 복합시스템 개발에 적합한 시스템엔지니어링 프로세스를 조정(Tailoring)하여 점진적, 순환적 개발 및 변경이 가능한 곡가공 자동화 시스템 개발 프로세스를 제안하고 개발 프로세스의 요구사항 정의, 시스템 설계, 하부시스템 구현, 통합 및 검증의 순서에 따라 프로토타입의 개발을 통하여 문제 해결의 대안이 될 수 있음을 검증하였다.

다만, 본 연구는 실제 곡가공 자동화 시스템의 개발에 적용된 것이 아니라 연구실 수준의 프로토타입의 개발에 적용된 것이므로 향후 실제 곡가공 자동화 시스템의 개발에 적용하는 연구가 추가로 필요할 것이다.

사 사

본 연구는 한국과학재단 도약연구지원사업(선박 선체성형 미래기술)의 지원으로 수행되었습니다. 그리고 본 논문의 일부는 한국과학재단 중견연구자지원사업(다중의 수중 로봇 제어를 위한 센서 네트워크 구축 및 분산협력제어 알고리즘 개발과 개별 로봇의 지능형 자율 주행 구현을 위한 센서 융합 기술 개발)의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

[1] 김호경, 장창두(2003), 고주파 유도 가열에 의한 선상가열

시뮬레이션, 한국해양공학회지, 제17권 제1호, pp. 80-85.
 [2] 대우조선공업주식회사(1999), 선상가열에 의한 곡판 가공 자동화 장치 개발 과제 보고서. pp. 30-31.
 [3] 신종계(1992), 선상가열(Line Heating)에 의한 평판 가공 Simulator 연구, 대한조선학회논문집, 제29권, 제1호, pp. 191-200.
 [4] 우중훈, 신종계(2002), 선상 가열을 위한 가스 토치와 강판 사이의 열유동 해석, 대한조선학회논문집, 제39권, 제2호, pp. 28-33.
 [5] 이주성(1996), 선상가열법에 의한 강판의 곡가공 자동화 시스템(II), 대한조선학회논문집, 제33권, 제3호, pp. 81-93.
 [6] Buede, D.(2000), The Engineering Design of Systems, John Wiley & Sons, U.S., pp. 81-85.
 [7] Ishiyama, M., and Y. Tango(2000), Advanced Line-Heating Process for Hull-Steel Assembly, Journal of Ship Production, Vol. 16, No. 2, pp. 121-132.
 [8] Shin, J. G., C. H. Ryu, J. H. Lee and W. D. Kim(2003), User-Friendly, Advanced Line Heating Automation for Accurate Plate Forming, Journal of Ship Production, Vol. 19, No. 1, pp. 8-15.
 [9] Shin, J. G., C. H. Ryu and J. H. Nam(2004), A Comprehensive Line-Heating Algorithm for Automatic Formation of Curved Shell Plates, Journal of Ship Production, Vol. 20, No. 2, pp. 69-78.
 [10] Suh, N. P.(1997), Design of Systems, Annals of the CIRP, Vol. 46, No. 1, pp. 75-80.
 [11] Ueda, K., H. Murakawa, A. M. Rashwan, Y. Okumoto, and R. Kamichika(1994), Development of Computer-aided Process Planning System for Plate Bending by Line Heating(Report 1)-Relation between Final Form of Plate and Inherent Strain, Journal of Ship Production, Vol. 10, No. 1, pp. 59-67.

원고접수일 : 2011년 05월 30일

원고수정일 : 2011년 08월 08일

게재확정일 : 2011년 09월 22일