

## 중소조선용 철의장 가공자동화시스템 개발

류갑상<sup>1</sup>, 이원호<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>동신대학교 컴퓨터학과, <sup>2</sup>아주자동차대학 자동차계열

### An Automated Machining System for Steel Flat Bar Plasma Cutting in the Small Sized Shipbuilding Industry

Gab-Sang Ryu<sup>1</sup> and Won-Hoo Lee<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Division of Computer Science, DongShin University

<sup>2</sup>Division of Automobile, Ajou Motor College

**요 약** 조선업종은 숙련공의 감소와 노동력 부족을 해결하기 위해 자동화와 기계화가 필요하다. 특히 조선용 핸드레일 제조공정은 표준화된 타 분야와 달리 자동화가 낙후되어 있다. 본 연구에서는 조선용 핸드레일 제작에 사용할 수 있는 철의장 가공자동화시스템을 설계하고 개발하였다. 시스템의 기구부는 절단공정의 효율성, 생산성, 안정성 등을 고려하여 설계하였고, CATIA 와 ANSYS를 사용하여 구조물의 안정성을 확인하였다. 시스템 제어부는 개방성과 확장성을 제공하는 PCNC 콘트롤러를 사용하였고, 터치스크린 방식의 화면 조작을 통해 시스템의 제어 및 모니터링을 할 수 있도록 구축하였다. 개발된 철의장 가공자동화시스템은 수차의 구동테스트 및 가공테스트를 통해 성능의 우수성을 입증하여 실용단계에 있다.

**Abstract** The shipbuilding industry needs automation and mechanization to solve reduction of skilled workers and labor shortage. Ship manufacturing process is the lack of automation than standardized manufacturing field. In this paper, we design and development an process automation system for hand rail production. Mechanical parts of the cutting process was designed with efficiency, productivity and reliability, CATIA and ANSYS, the stability of the mechanical structure was confirmed. System control using a PCNC controller to provide an open and scalable, and operate using touch-screen display control and monitoring of the system was performed. The automatic system successfully passed the driving test and processing test, and it showed an excellent performance.

**Key Words** : Automatic manufacturing system, PCNC, Nesting, NC Cutting, Control system

### 1. 서론

핸드레일은 층계나 다리 등의 가장자리에 세워 낙상을 막고 장식의 구실도 하는 금속제의 살로서, 안전과 직접 연관되어 있다. 따라서 조선, 건설 그리고 산업기계 등 사회 각분야의 시설 및 구조물에 필수적으로 사용됨으로 그 수요와 시장의 규모가 크다. 특히 선박에 적용되는 핸드레일은 선박의 구조상 형상과 설치구역이 다르므로 규격화 되지 않아 자동화가 어렵고 수작업의 의존도가 높다. 그로인해 작업비용이 크게 소요되고 생산성 및 품질 확보가 작업자의 숙련 정도에 의존하는 등 여러 어려움이 있다.

표준화되지 않은 부품의 가공공정 자동화 개발은 범용 동작기계를 적용한 접근방법과 소재 및 가공할 부품의 특성을 고려한 전용 가공시스템 개발을 통한 접근방법으로 구분할 수 있다. 철의장 소재의 부품가공자동화는 소재의 공급, 절단가공공정 특성 그리고 자동화 공정에 투입될 작업자의 자동화시스템 운영능력 등을 고려할 때, 기존의 수작업자가 쉽게 접근할 수 있는 전용 가공시스템 개발이 보다 적절하다[1].

본 논문은 부품의 표준화가 되어 있지 않은 선박용 핸드레일 및 가드레일에 적용되는 지주(stanchion) 및 가로지지대(stay) 부품의 철의장 소재의 절단과 다양한 형상의 철판 가공공정을 자동화할 수 있는 전용의 철의장가

\*교신저자 : 이원호(wheel@motor.ac.kr)

접수일 10년 12월 14일

수정일 11년 01월 18일

게재확정일 11년 02월 10일

공 자동화시스템(이하, 철의장자동화시스템) 개발에 관한 것이다. 개발된 철의장자동화시스템 적용을 통하여 작업자의 작업환경을 개선하고 가공품질을 향상시키며 제조원가의 절감등을 통해 생산성을 증진시키는 효과를 얻을 수 있다.

본 논문에서는 철의장자동화시스템의 설계와 개발을 중심으로 제 2장에서는 시스템의 기구부 설계, 제 3장에서는 구조해석분석을 통한 철의장자동화시스템의 최적설계, 제 4장에서는 제어시스템 설계 및 제작, 제 5장에서는 현장적용 및 성능시험 그리고 결론을 기술한다.

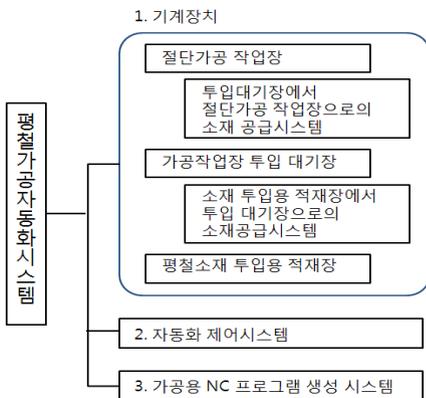
## 2. 시스템의 기구부 설계

### 2.1 자동화시스템 개발방법

자동화시스템 개발은 공학설계프로세스 또는 제품개발 방법론 등에서 제시되고 있는 다양한 개발 접근방법 뿐만 아니라 설계 단계에서 설계내용이 요구되는 개발사양의 충족 여부를 사전에 검증할 수 있는 CAE 도구기반의 설계검증 개발방법을 적용하고 있다[2,3]. 철의장가공 자동화시스템 개발을 위하여 적용할 수 있는 적절한 접근방법으로는 기존의 다양한 자동화 개발사례[4,5] 및 부품가공용 NC프로그램 생성용 전용 소프트웨어[6]에 대한 벤치마킹 및 역설계를 활용하였다.

또한 소재공급에서 부품 가공에 이르기 까지 자동화시스템에 대한 고객의 요구사항을 도출하고, 전통적인 순차적 개발프로세스를 활용하여 자동화시스템 개발을 진행하였다.

본 연구의 대상인 철의장 자동화시스템은 기계장치, 자동화제어시스템 그리고 NC프로그램 생성용 CAM으로 구성되었으며 이들 세부 구성요소를 도식화하면 그림 1과 같다.



[그림 1] 자동화시스템 구성요소

### 2.2 철의장 자동화시스템 개발사양

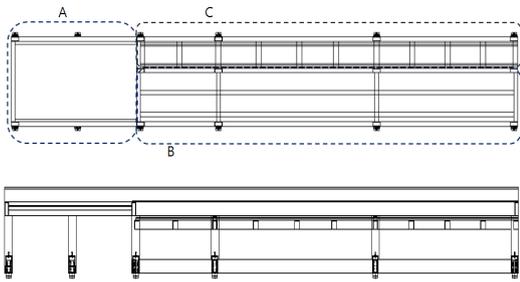
철의장 자동화시스템은 현장맞춤형으로 설계되어 중소조선제조현장에 적합하도록 설계하였다. 시스템을 구성하는 기계장치와 제어시스템의 개발사양을 정리하면 표 1과 같다.

[표 1] 기계장치 및 제어시스템 개발사양

순	항목	값	비고
1	적용 소재	철의장	
2	소재 크기	6000x65x16(mm)	길이x폭 x두께
3	소재적재 및 이송단위	40본/회	
4	절단 및 가공 작업장 수	2	기계장치
5	가공작업장의 소재 투입개수	8본	4본 /작업장
6	가공작업장에 소재투입단위	4본	4본/작업장 총 8본투입
7	절단용 공구	플라즈마 토치	
8	동작제어방식	PC-NC	
9	PC-NC 모델	HX-Deluxe	3축 제어
10	제어프로그램	○PC기반제어모듈 ○제어조작MMI ○네스팅/절단CAM	
11	전원	AC 3상	380V 60Hz

### 2.3 본체 프레임 구조물 설계

본체 프레임은 6000×65×16t 8본을 이송시킬 수 있도록 구성되어 있다. 본체 프레임은 플라즈마 유니트의 절단 테이블 역할에서부터, 소재 공급의 역할을 하기 때문에 가장 견고하며, 안정적인 설계가 요구된다. 본체 프레임은 공장바닥에 12개의 지지대를 통해 고정되도록 설계되었다. 이는 철의장의 하중을 안정적으로 견딜수 있도록 하기 위함이다. 그림 2에 나타난 바와 같이 본체 프레임은 역할에 따라 크게 3부분으로 나누어 질수 있다. A구간은 플라즈마 유니트의 절단 공간을 나타내며, B구간의 하부는 절단을 통해 발생하는 이물질을 효과적으로 처리할 수 있도록 이물질 반이를 설치할 수 있도록 설계하였다. C구간은 철의장 소재의 적재장소이며, 대차를 통해 이동된 철의장소재는 4개씩 B구간에 적재되어 플라즈마 절단구간에 공급되도록 설계되었다.

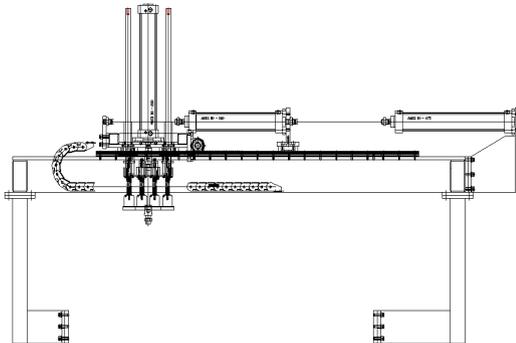


[그림 2] 본체 프레임 평면도 및 측면도

### 2.4 자동이송장치 기구설계

철의장 자동화시스템은 전자석과 공압실린더를 이용하여 자동으로 철의장을 이송시키며 본체 프레임에 안착시키는 기구를 설계함으로써 수동 소재공급 방식을 자동으로 전환하여 안전사고 및 작업자의 노동강도 최소화를 목표로 하였다. 철의장 소재 자동 공급 및 이송 장치는 호스트와 유사한 방식으로 대차부에 적재된 철의장을 한 사이클동안 4개씩, 두 사이클에 걸쳐 철의장 정렬 가이드 롤러부에 안착시킬 수 있도록 설계되어 있다. 기본 프레임은 본체 프레임에 연결되어 일체가 되며, 총 24개의 전자석을 이용하여 철의장을 고정할 수 있다.

전자석 고정부는 총 8개가 한 개의 공압실린더에 의해 상하로 움직이게 설계하였으며, 상하로 움직이는 공압실린더의 최대 스트로크는 249.7 mm이다. 그림 3은 철의장 자동 이송 장치의 정면도를 나타낸 것이다.

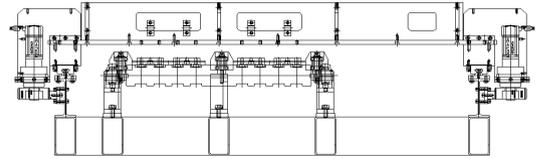


[그림 3] 자동 이송장치 정면도

### 2.5 소재 자동공급장치 기구설계

본체 프레임의 철의장 가이드 롤러에 안착된 철의장은 플라즈마 절단기 유닛 공간 안으로 일정간격 공급해주는 장치가 필요하게 된다. 철의장의 끝단부에서 절단이 가능한 공간까지 일정한 힘에 의해 공급되게 되는데, 단

순히 밀어주는 역할만 하게 되면 가이드 롤러에 의한 관성력 때문에 끝단부의 정확한 정렬상태를 보장하기 어렵다. 철의장 자동공급장치는 이러한 문제를 해결하고 안정된 철의장 공급을 통해 절단 신뢰성 및 원가절감을 할 수 있도록 설계되었다.

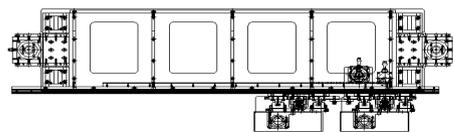


[그림 4] 철의장 자동공급장치 정면도

철의장 자동공급장치는 본체 프레임의 끝단에 설치되도록 설계되었으며, 두 개의 공압 모터에 의해 구동된다. 공압모터는 랙기어의 피치 값으로 구동되며, 정확한 길이의 철의장을 공급하기위해 동시에 작동된다. 랙기어와 피니언 사이의 백래쉬를 최소화 하기위해 정밀 설계되었으며, H형강에 설치되도록 설계된 랙기어는 철의장의 사용량을 최대한으로 하기위해 본체 프레임 전체에 걸쳐 설계하였다.

### 2.6 플라즈마 토치장착용 홀더장치 설계

플라즈마 절단 토치 장착용 홀더는 절단공정 중 토치의 흔들림 및 이탈을 방지할 수 있도록 견고하고, 안정적인 설계가 중요하다. 토치 장착용 홀더장치는 3축을 동시에 제어해야 하므로 3축 구동에 대한 설계가 필요하다. 본문에서 설계한 플라즈마 멀티 토치 장착용 홀더장치는 이러한 3축 구동을 위한 기구를 설계하여 두 개의 토치가 장착된다. 장착된 두 개의 토치는 서보 AC220V 4P 200W 공압모터에 의해 Y축으로 이동되도록 설계되었다. 그림 5는 플라즈마 멀티 토치 장착용 HOLDER 고정부를 나타낸 것이다.



[그림 5] 토치장착용 홀더장치 평면도

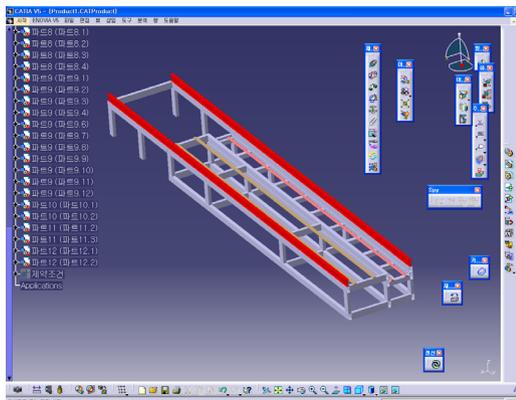
## 3. 설계최적화를 위한 구조해석

본체 프레임 및 대차부는 총 40개의 철의장소재가 탑

재된다. 이 철의장소재는 6000×65×16t의 크기이며, 무게는 약 3톤에 이른다. 본체 프레임은 사각파이프를 이용해 제작되도록 설계되었으나, 약 3톤에 해당하는 하중에 변형이 발생할 경우 본 시스템의 기능을 수행할 수 없다. 본 논문에서는 장치의 구조적 결함 등의 문제점을 사전에 방지하여 최적화된 구조를 지닌 장치를 설계·제작하고자 구조해석을 실시하였다. 모델링은 3차원 범용 설계 프로그램인 CATIA[7]를 이용하였으며, 상용해석 프로그램인 ANSYS[8]를 이용하여 효과적인 구조해석을 실시하였다.

### 3.1 본체 프레임 CATIA 모델링

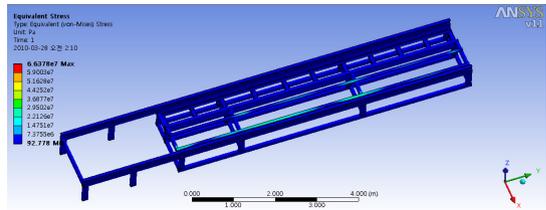
본체 프레임의 변형 및 응력분포를 확인하기 위해 AutoCAD에 의해 설계된 도면을 바탕으로 CATIA를 통해 3차원 모델링을 실시하였다. 그림 6은 CATIA를 이용한 철의장 자동화시스템의 본체 모델링과정을 나타내며, 왼쪽 상단은 본 자동화시스템의 트리구조를 나타내고 있다. 철의장 자동화 시스템의 본체 프레임은 총 61개의 부품으로 구성되는데 CATIA 프로그램의 조립설계기능을 사용하여 부품별 물성치를 입력하고 이들을 조립함으로써 실제형상을 모델링하였다.



[그림 6] 본체 물성치 입력과 질감표현

### 3.2 변형량 분석 및 응력분포 해석

철의장소재 번들이 탑재되는 대차 레일부를 ANSYS를 이용하여 구조해석을 실시하였다. 철의장소재 번들의 하중이 직접적으로 미치는 부분인 대차레일부의 응력분포 해석을 수행한 결과, 응력집중도는 3.5pa 이하로 상당히 안정적임을 확인할 수 있었다. 또한, 가공부에 공급되는 철의장 8본의 하중에 따라 변형 및 응력 분포에 대한 해석을 추가로 수행한 결과 철의장 공급부 Equivalent Stress의 최대값은 약29.5Mpa로 재질의 항복강도인



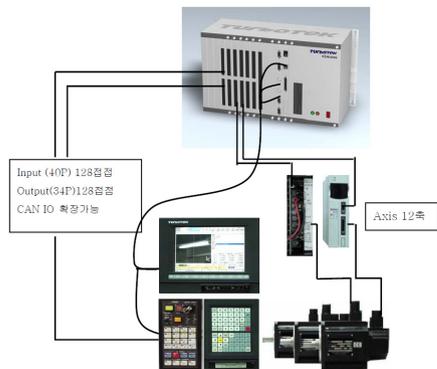
[그림 7] 철의장공급부의 응력분포 해석

250Mpa보다 현저히 작은 응력분포를 보였다. 이는 항복점이하의 응력으로 소성변형이 일어나지 않는 범위로 설계의 안전성을 충분히 확보하였음을 알 수 있다. 그림 7은 철의장 공급부의 응력분포 해석결과를 보인 것이다.

## 4. 제어시스템 설계 및 제작

### 4.1 동시제어 NC컨트롤러

기존 NC(Numerical Control) 장치는 특수 컴퓨터에 수 치만 지정해 NC 선반이나 머시닝센터 등 NC공작기계를 한정적인 프로그램 안에서 작동시킨다. 반면에 PCNC(Personal Computer based Numerical Control)는 개인용 컴퓨터를 이용하여 선반과 머시닝센터등 공작기계를 일괄 제어하는 장치를 말하며, 이는 공작기계를 제어하는 CNC 장치에 PC가 지닌 무한의 확장성과 개방성 그리고 사용자 위주의 편리성을 집결한 차세대 수치제어장치이다[9]. 본 논문에서는 범용 공작기계의 제어에 적용할 수 있는 개방성과 확장성을 보장하고, 고속/고정밀 제어를 가능하도록 PCNC를 철의장 자동화시스템의 NC컨트롤러로 설계하였다. 사용한 PCNC는 터보테크의 HX-Deluxe로 하드웨어 및 소프트웨어의 구성은 그림 8과 같다.



[그림 8] PCNC와 연결된 시스템 구성

## 4.2 제어시스템 제작

본 논문에서는 철의장시스템의 각 구성파트를 제어하고 가공 공정을 모니터링 하기 위한 제어장치를 설계하고 제작하였다. 제어장치는 크게 입출력부, 연산제어부, 서보제어부로 구성된다. 입출력부는 NC 프로그램 입력, 입력된 정보의 변환 및 배분, 기타 외부 입출력 신호의 처리 등을 수행한다. 연산제어부는 입출력부로부터 NC 프로그램을 받아서 위치결정, 이송속도, 보간 등의 연산을 수행하며, 마이크로프로세서와 각종 데이터 및 프로그램을 저장하는 메모리, 시퀀스 프로그램에 의해 기계를 작동시키는 PLC로 이루어진다. PLC는 CNC 장치와 공장 기계 사이의 인터페이스 역할을 하며, 기계의 동작제어를 CNC 측과 분담 처리한다. 서보제어부는 연산처리부로부터 이동지령을 받아서 서보모터를 제어하는 부분이다.



[그림 9] 시스템 제어기 외형

그림 9는 제작된 시스템 제어기의 모습을 보인 것이다. 제어기의 전원은 3상 AC 380V(60Hz)이며 기구부의 각 파트를 구동하기 위한 7개의 AC 서보모터 드라이버가 장착되고, 각종 전기적인 회로로 구성된다. 또한 메모리가 탑재되어 있어 가공 공정 및 구동을 위한 각종 조건을 저장하며, 필요 시 작업자에 의해 저장된 다양한 작업 조건을 불러올 수 있도록 구성되었다. 제어기 내에 탑재된 서보모터를 통하여 위치/속도제어, 속도/토크제어, 토크/위치제어와 제어방식을 전환하여 운전할 수 있도록 설계하여 고정밀도의 위치결정 및 원활한 속도제어가 가능하도록 설계하였다.

## 5. 현장적용 및 성능시험

철의장 자동화 시스템의 기구부 및 제어부를 통합하여 전체 시스템을 구성하였으며 이는 그림 10에서 보느냐와 같다.



[그림 10] 철의장 가공자동화시스템

철의장자동화시스템은 크게 기구부(본체 프레임, 소재 공급 및 이송부, 플라즈마 토치 홀더부 등)와 제어부로 이루어져 있으며 동시 절단/가공 공정을 위하여 두 대의 플라즈마 절단기(Inverter Tyle, 120A급)가 장착되어 있다.

실제 및 제작된 철의장 가공 자동화 시스템의 성능평가를 위하여 기초 구동테스트 및 절단/가공 테스트를 실시하였다. 구동테스트는 가공작업을 제외한 모든 장치의 구동성을 확인하기 위하여 수행되었으며, 컨트롤 패널의 수동제어를 통하여 각 파트의 구동을 검사하였다.



[그림 11] 구동테스트 및 가공테스트

테스트 결과, 소재의 정렬, 운반(탑재), 이송을 위한 각 기구부의 구동 및 제어 응답성이 매우 양호함을 확인하였다. 절단 공정을 위한 플라즈마 토치부의 상·하·좌·우 구동성 또한 반복적인 테스트를 통하여 검증한 결과 오류 발생 없이 정상가동함을 확인할 수 있었다. 아울러, 지주 및 가로지지대 외에 다양한 형상의 가공/절단 테스트를 통하여 개발된 시스템의 기능 및 활용도를 확인한 결과 오류 발생없이 정상적으로 작동함을 확인하였다. 그림 11은 개발된 시스템을 이용한 구동테스트 및 가공테스트 작업 현장을 보인 예이다.

개발된 시스템을 중소 선박제조현장에 설치하여 작업을 수행한 후 자동화시스템 개발 전과 후의 경제적인 효과를 분석하였다. 비교항목은 투입인원, 공정중 재고, 리드타임, 작업공간, 트랙타임을 주요 지표로 하였으며, 분석한 결과는 표 2와 같다.

[표 2] 개발 전,후의 생산성 비교

	항목	개발전	개발후	효과
1	인원 절감	5명	1명	인원절감; 4명
2	재공 감소	LOT수* 공정수	4개 흐름	공간 재공; 0
3	Lead Time 단축	LOT수*C/T	Tack Time과 동일	리드타임단 축; 3일
4	작업 공간 축소	15M*10M(150 ㎡) 5공정	3m*15m (45㎡)1라인	작업공간 축소; 1/3
5	Tack time 단축	32초(1개/1인)	8초(4개 동시작업)	생산성; 300%이상

## 6. 결론

선박에 적용되는 핸드레일 및 가드레일은 선박의 구조상 형상과 설치구역이 다르고, 다른 분야의 핸드레일과는 달리 형상이 규격화 되지 않아 자동화가 어렵고 수작업의 의존도가 높다. 따라서 작업비용이 크게 소요되고 생산성 및 품질확보가 작업자의 숙련 정도에 의존하는 등 여러 어려움이 있다. 따라서 본 논문에서는 중소 선박제조업체의 애로를 해결하기 위해 현장맞춤형 철의장 자동화시스템을 설계하고 개발하게 되었다.

개발된 철의장자동화시스템의 기구부는 절단공정의 효율성, 생산성, 안정성 등을 고려하여 설계하였고, CATIA 와 ANSYS를 사용하여 구조물의 안정성을 확인하였다. 자동화시스템 제어부는 개방성과 확장성을 제공하는 PCNC를 사용하였고, 터치스크린 방식의 화면 조작을 통해 시스템의 제어 및 모니터링을 용이하도록 구축하였다.

철의장 자동화시스템은 선박제조 현장에 투입되어 작업자의 작업환경을 개선하고 가공품질을 향상시키며 제조원가의 절감등을 통해 생산성을 증진시키는 효과를 거두고 있다. 앞으로 자동네스팅시스템과 연동하여 판재류 절단용 자동화 분야에 활용할 수 있도록 기능들을 개선해 양산체제를 구축할 계획이다.

## 참고문헌

[1] 차지엽, “조선 기자재 표준화의 발전방향”, 대한조선학회지, Vol.46, No.2, pp.10-16, 2009.  
 [2] Hatamura, Yotaro, "The Practice of Machine Design",

Oxford Science Publications, 1999.

[3] 서남표, “Axiomatic Design”, 동명사, 2002.  
 [4] 이성근 외, “대형 특수차량용 독립현가형 액슬 스루 드라이버 개발을 위한 역설계 및 설계검증 적용 연구”, 한국산학기술학회논문지, Vol. 10, No. 9, pp.2210-2220, 2009.  
 [5] 이종선, “PCB 다축드릴머신의 구조해석 및 설계”, 한국산학기술학회논문지, Vol. 6, No. 5, pp.412-417  
 [6] Alma, ACT CUT, www.almacam.com. 6, 2005.  
 [7] Dassault Systems, "CATIA V5", http://www.3ds.com  
 [8] Ansys, "ANSYS", http://ansys.com  
 [9] 이종선, “PCB 다축드릴머신의 구조해석 및 설계”, 한국산학기술학회논문지, Vol. 6, No. 5, pp.412-417, 2005.

### 류 갑 상(Gab-Sang Ryu)

[정회원]



- 1983년 2월 : 전남대학교 계산통계학과(이학사)
- 1985년 2월 : 전남대학교 전산학과(이학석사)
- 2006년 2월 : 고려대학교 컴퓨터과학과(이학박사)
- 1996년 3월 ~ 현재 : 동신대학교 부교수

<관심분야>

융합보안, 생산자동화, 유무선통신, 소프트웨어공학

### 이 원 호(Won-Ho Lee)

[종신회원]



- 1992년 2월 : 아주대학교 전자계산학과(공학사)
- 1994년 2월 : 아주대학교 전자계산학과(공학석사)
- 1998년 2월 : 아주대학교 전자계산학과(박사수료)
- 1998년 3월 ~ 현재 : 아주자동차대학 부교수

<관심분야>

정보화 경영체제, 홈네트워크, 정보보호 자동차임베디드 시스템, 자동차 네트워크