제 출 문

건설교통부 장관 귀하

이 보고서를 “국토교통기술 연구개발 사업에 관한 연구”과제의 보고서로 제출합니다.

2015. 05.

주관연구기관명 : KL TECH
주관연구책임자 : 이성규
연 구 원 : 이성건
″ : 김병수
″ : 배현옥
″ : 소범식
″ : 신동우
″ : 이경동
″ : 김진호
″ : 최창환
″ : 신유정

보고서 요약서

과제고유번호	14CHUD-C061978-03	해 당 단 계 연 구 기 간	2012.04.10.~2015.02.09./2014.03.01.~2015.02.09	단 계 구 분	(해당단계)/(총 단 계)
연 구 사 업 명	국토교통기술촉진연구사업				
연 구 과 제 명	최 상 위 과 제 명	공장가공방식을 위한 철근가공시스템 개발			
	단위과제명				
연 구 책 임 자	이성규	총연구기간 참 여 연구원수	총 : 12명 내부 : 12명 외부 : 명	총연구비	정부 : 855,000 기업 : 286,000 계 : 1,141,000 (단위: 천원)
연구기관명 및 소 속 부 서 명	KL TECH		참여기업명		
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		

요약	보고서면수	

■ 수치제어 적용 절곡 테스트베드 구축
- 철근가공관련 문헌 및 사례조사
- 수치제어적용을 위한 기능별 모듈 개발
- 절곡 메커니즘 개발 및 시스템 설계/제작
- 수치제어 적용 절곡 시스템 성능 평가

■ CAD시스템 기반 철근가공정보 자동매핑 기술개발
- CAD파일의 도형정보 추출
- 철근가공정보 자동매핑

■ 절곡 가공 수치정보 자동생성기술 개발
- 수치제어 적용을 위한 가공정보 생성

■ 절단 및 절곡 하이브리드 시스템 개발
- 절단 연동을 위한 가공 메커니즘 개발
- CNC기반 절단/절곡 시스템 설계/제작
- 수치제어 가공에 따른 가공성능 안정화 및 평가

■ 철근 절단 및 절곡 가공코드 자동생성기술 개발
- 가공 코드 생성 소프트웨어 사용자 인터페이스 설계
- 최적 철근 절단 스케줄링 및 철근 절단 및 절곡 G코드/M코드 자동생성기술 개발

■ 자동 Loading/Unloading 적용 스마트 철근가공 시스템 개발
- 개별 Loading/Unloading 장치 제작
- 절단/절곡 시스템 연동 및 운영 시스템 통합

■ 최적 철근 절단 스케줄링 및 철근 손실 시뮬레이션 및 가공코드 원격지 전송 기술개발
- 철근 손실 시뮬레이션 기술개발
- 가공 통합 운영 소프트웨어 개발
- 원격지 가공코드 전송 기술 개발

색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	철근, 공장가공, 절곡, 수치제어, 자동절단
	영 어	rebar, factory manufacturing, bending, numerical control, auto cutting

4. 요약문

Ⅰ. 공장가공방식을 위한 철근가공시스템 개발

Ⅱ. 연구개발과제 개요

가. 최종 목표

(1) 공장가공방식을 위한 원격 철근가공시스템 개발

(가) 최적 철근가공계획 시스템 개발

○ CAD시스템 기반 철근가공정보 매핑 기술 개발

○ 최적 철근 절단 스케줄링 및 철근 손실 시뮬레이션 기술 개발

(나) 최적 철근 가공 시스템 개발

○ Auto Loading System 개발

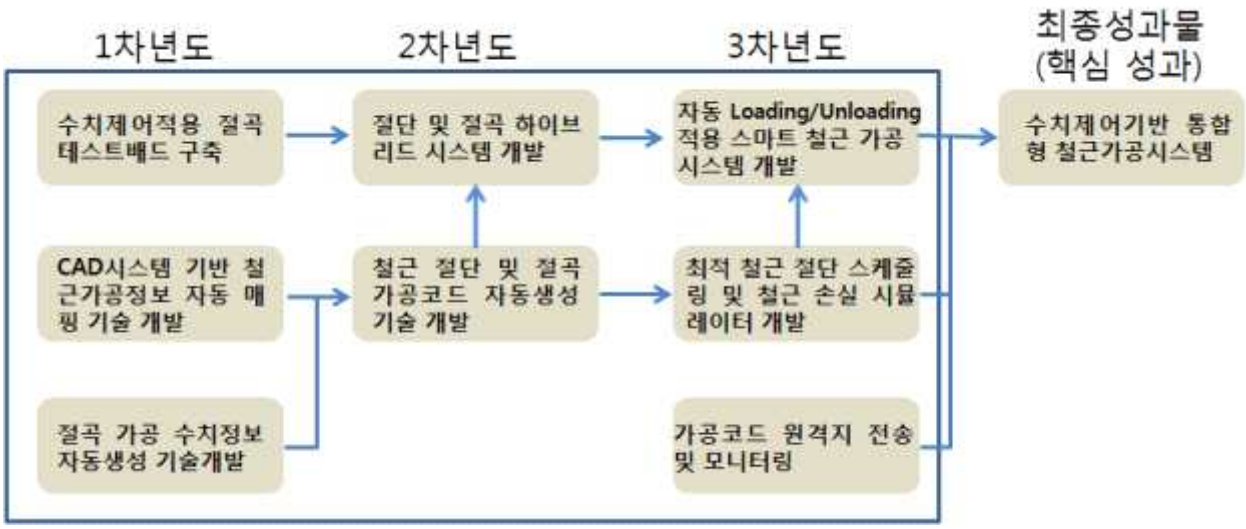
○ 절단 및 절곡 하이브리드 시스템 개발

○ Unloading System 및 적재 시스템 개발

(다) 철근 가공프로그램 생성 및 원격 지원을 위한 네트웍 시스템 개발

○ 철근 절단 및 절곡 가공코드 자동생성기술 개발

○ 가공코드 원격지 전송 기술 개발



< 핵심 성과 로드맵 >

나. 연구개발 필요성

○ 정부주도 공사발주 시 발주처에서 표준화된 시스템에 의한 고품질의 철근공사 요구

○ 자동화 가공설비에 의한 정확한 규격의 철근가공 요구

○ 사전계획에 의한 선가공이 가능하여 대형공사 시공 시 철근의 가공시간을 줄임으로

서 공기단축

○ 산재된 현장의 경우 총괄적 주문, 가공, 납품으로 자재관리가 용이함

○ 도심지 작업시 발생할 수 있는 민원 등과 현장 작업시 발생할 수 있는 각종 환경규제 등을 피할 수 있음.

○ 현장관리가 어려워 소모되는 스크랩의 100% 재활용



다. 연구개발의 정의, 범위, 특징

(1) 정의

○ CAD시스템 기반으로 철근가공정보를 생성하고 Loading, 절단, 절곡, Unloading 등을 통합하여 철근을 가공할 수 있는 통합형 철근가공시스템

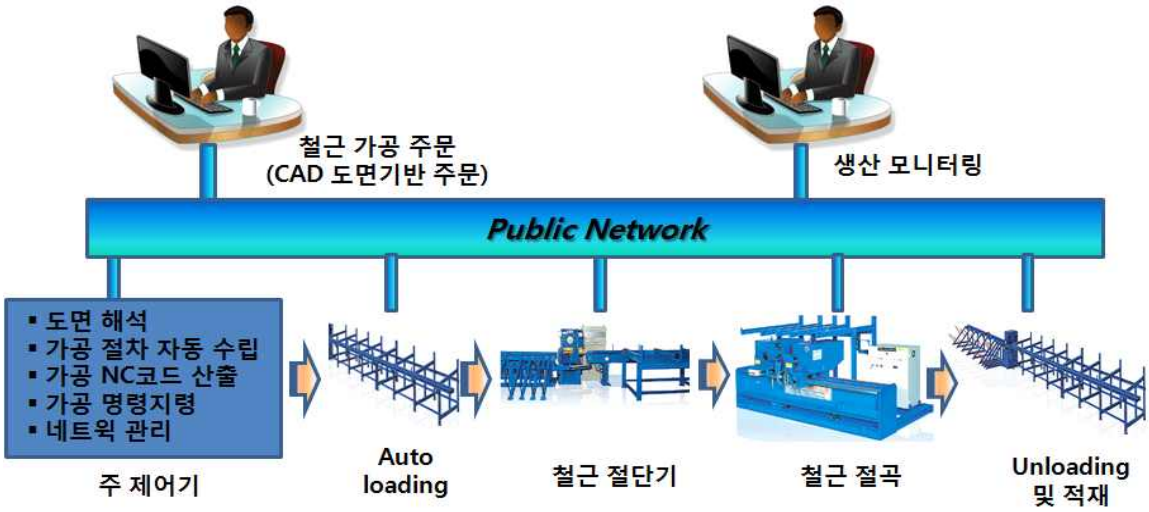
(2) 범위

○ 본 기술 개발은 건설현장에서 필요한 형태와 규격의 철근으로 가공하기 위해 주어진 여러 다발의 철근을 최적 스케줄링 하는 소프트웨어, 최적 스케줄링에 따라 절단 및 절곡을 진행하는 가공 프로그램 생성, 생성된 가공 코드를 각 각의 수치연산 컨트롤러에 전송시켜주는 전송시스템, 철근을 필요한 수만큼 절단기로 이송시켜주는 Loading장치, 철근을 원하는 형상으로 가공하기 위한 절단/절곡기, 가공된 철근을 자동 배출하는 Unloading장치로 구성되어 있음.

(3) 특징

◯ 수치제어 기반의 통합형 철근 가공시스템은 아래와 같은 특징을 가짐.

- 절곡 각도 : 180°
- 절곡가능본수(D16기준) : 5EA
- 작업대 이송 속도 : 5m/min
- 절곡 속도 : 4sec/180°
- 철근 절단 최적 스케줄링 및 최소 손실 시뮬레이션 가능
- 데이터 원격 전송 가능


철근 가공 주문
(CAD 도면기반 주문)
생산 모니터링
Public Network
▪ 도면 해석
▪ 가공 절차 자동 수립
▪ 가공 NC코드 산출
▪ 가공 명령지령
▪ 네트웍 관리
주 제어기
Auto
loading
철근 절단기
철근 절곡
Unloading
및 적재

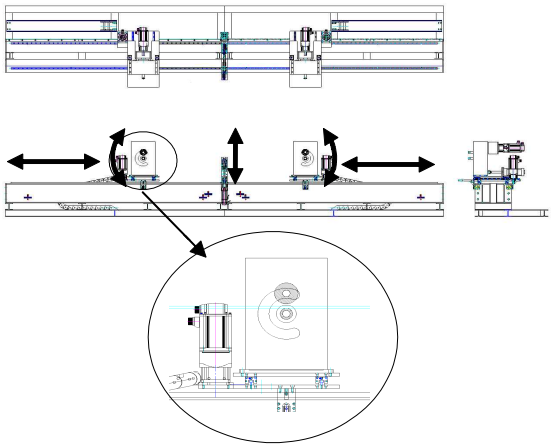
< 전체 시스템 구성도 >

Ⅲ. 연구개발 수행내용 및 결과(연구수행과정, 연구수행결과 등을 기술)

가. 수치제어 적용 절곡테스트 베드 구축

○ 본 과제에서 최종 개발하고자하는 수치제어기반 통합형 철근 가공시스템은 CAD/CAM 시스템에서 철근 공급계획/철근 공급/절단/굽힘/배출까지 자동화된 시스템으로써 이를 구현하기위해 수치제어를 적용한 절곡테스트 베드를 먼저 구축하였다.

○ 수치제어를 적용한 절곡기는 프레임부, 밴딩부, 철근 고정부로 구성된다. 프레임부는 좌우로 이동할 수 있는 벤딩헤드가 두 개 있으며 철근형상에 따라 두헤드가 움직이며 절곡을 하게 된다. 또한 중간에는 절곡되는 철근을 지지해주며 철근의 절곡방향에 따라 상하로 이동할 수 있는 구조의 철근고정부가 있다. 헤드가 두개인 타입의 벤딩기의 장점은 간소하면서도 원하는 모션을 만들 수 있어 이 타입을 선정했다. 하단의 확대사진을 보면 아래로 절곡할때는 회전롤러가 고정롤러의 상단에서 하단으로 절고하며 위로 절곡할때는 고정롤러가 철근을 잡은 상태에서 벤딩헤드가 뒤로 빠졌다가 철근이 아래로 위치하면 회전롤러가 고정롤러 아래로 위치한 뒤 벤딩헤드가 앞으로 나와서 철근을 벤딩하는 구조이다.





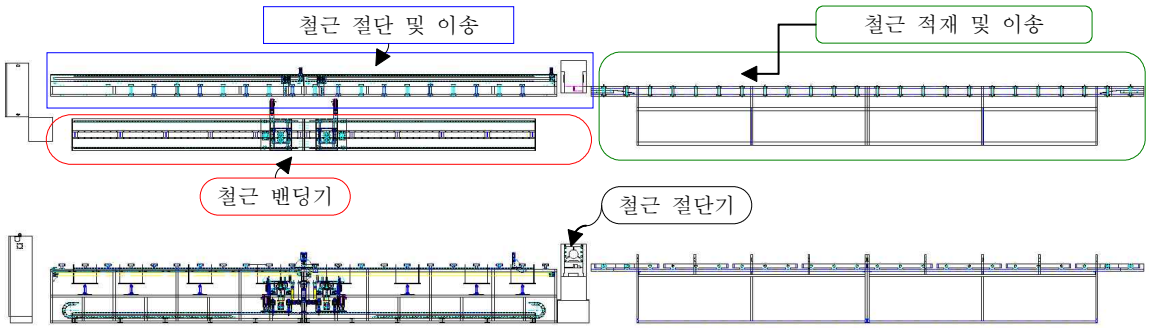
< 수치제어를 적용한 절곡테스트 베드 설계도 및 제작 사진 >

○ 개발된 수치제어 적용 절곡기는 PC기반의 제어기와 서보시스템을 이용한 제어로 절곡헤드의 이송속도가 25m/min, 이송대 반복정밀도가 0.013mm로 기존 절곡기에 비해 월등히 뛰어난 성능을 가지고 있다. 그래서, PC에서 자동 생성된 가공 코드에 맞추어 절곡을 빠른시간에 정확히 할 수 있어 생산성과 정밀도 향상에 기여할 수 있을 것이다.

나. 절단 및 절곡 하이브리드 시스템 개발

○ 절단 및 절곡 하이브리드 시스템은 수치제어 적용 절곡기와 자동 절단장치를 연동한 것으로써, 수동 로딩된 철근을 이송과 절단 다시 이송 절곡 그리고 배출등의 일련의 작업을 자동으로 생성된 가공코드에 맞추어 이루어질 수 있게 개발하였다.

○ 철근 가공 시스템은 크게 철근 적재 및 이송부, 철근 절단 및 이송부, 철근 밴딩기부로 나누어진다. 철근 적재 및 이송부는 철근 적재역할과 철근 절단 및 이송부로 철근을 이송시킨다. 철근 절단 및 이송부는 밴딩에 필요한 철근 길이에 맞게 절단을 하며 철근을 밴딩부 중심으로 이송을 시키며, 철근 로딩 대기위치로 철근을 이동시킨다. 철근 밴딩기는 절곡 형상에 맞게 철근을 절곡한다.





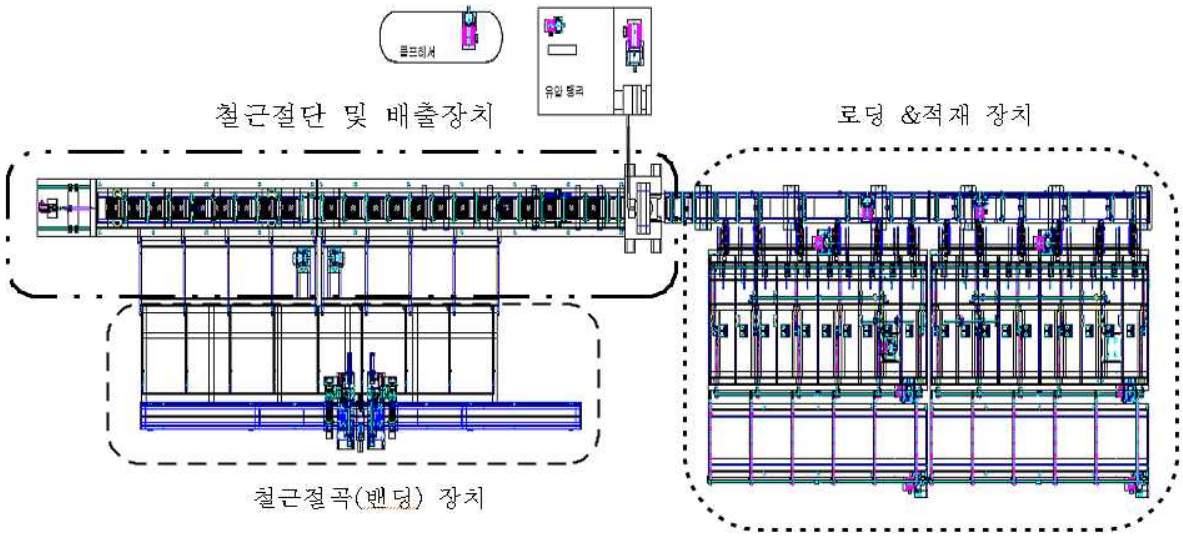
< 절단 및 절곡 하이브리드 시스템 설계 및 제작 >

다. 수치제어기반 통합형 철근 가공시스템 개발

○ 수치제어기반 통합형 철근 가공시스템은 PC에서 생성된 절단과 절곡의 가공코드에 따라 철근의 자동 로딩에서 이송 절단 및 절곡이 자동으로 이루어진다. 필요한 수 만큼의 Loading된 철근을 절단기로 보내주는 Auto Loading 시스템과 절단기의 연동 시스템 개발 철근을 절단하고 절단된 철근은 그 제품이 절단제품인지 절곡제품인지를 구분하여 분류하고 Unloading 부와 절곡부로 자동이송되는 시스템으로 바로 현장에 적용하여 생산 가능함.

○ 철근가공시스템의 구성은 크게 철근계단식로딩&적재장치, 철근이송 및 절단장치, 철근절곡(밴딩)장치로 크게 세부분으로 나누어진다.

- 철근계단식로딩&적재장치는 적재대, 계단식 로딩장치, 철근이송장치로 구성되며, 적재대는 작업초기 사용될 철근이 적재되어 있는 장치로 철근을 자동 로딩하기위해 철근을 대기시키는 부분이며, 계단식 로딩장치는 필요 개수에 맞게 하나씩 이송대로 로딩시켜주는 장치이며 이송장치는 로딩된 철근을 받아 철근 절단의 위치로 이송시켜주는 역할을 한다.
- 철근절단 및 배출장치는 철근을 지시된 길이로 절단 및 지정된 위치로 배출하는 장치이며, 절단(커팅)장치, 철근배출장치, 철근컨베이어로 구성된다.
- 철근절곡(밴딩)장치는 철근 가공장치로써 목적에 맞게 철근을 절곡하는 장치로 적재대, 로딩장치, 클램핑장치, 밴딩헤드로 구성된다.



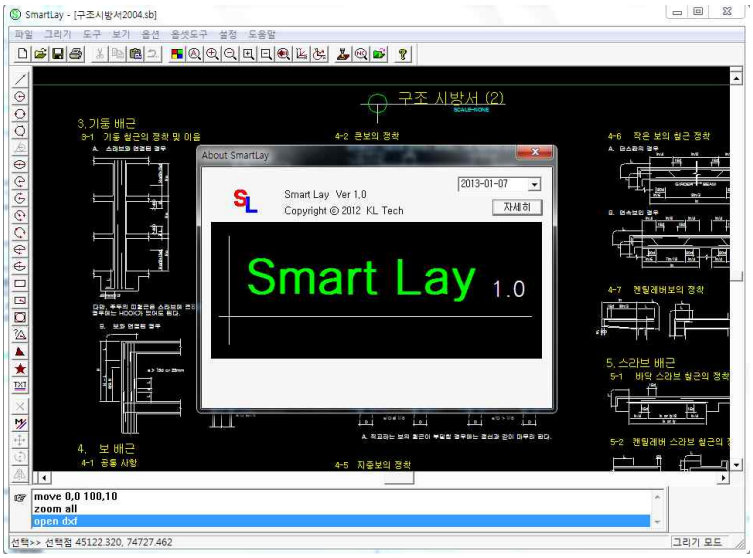


< 수치제어기반 통합형 철근 가공시스템 설계 및 제작 >

라. CAD시스템 기반 철근가공정보 자동 매핑 기술개발

○ CAD파일의 도형정보 추출을 위한 2차원 CAD 시스템 개발

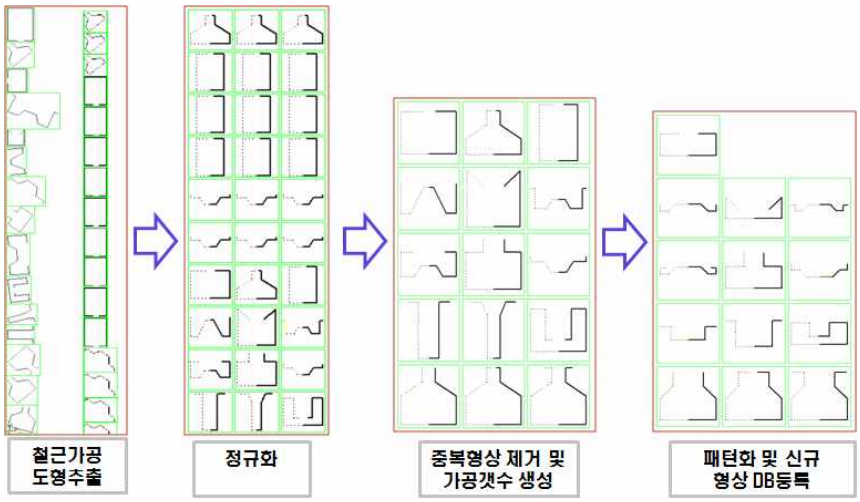
본 과제에서는 기존의 도로잉 정보에서 자동으로 도형정보를 추출하고 편집하도록 하기 위해 필요한 철근가공 전용 CAD시스템을 개발하였다. 개발된 CAD시스템은 자체적으로 도형을 생성시킬 수 있으며, 사용자 직관에 따라 쉽게 편집할 수 있다. 또한 자주 자용하는 도형은 템플릿으로 정의 등록하여 파라메터 입력만으로 도형을 생성할 수 있도록 하였으며, 외부의 CAD 시스템과 데이터 호환이 가능하도록 하여 기존 CAD 시스템과 연계가 가능하도록 하였다. 뿐만아니라 치수설정을 통해 도면 형태의 편집이 가능하며 출도를 가능하게 하였다. 본 과제에서 개발된 CAD 시스템은 기존 상용 CAD 시스템의 기능을 대부분 동일하게 구현하였으며, 본 과제의 데이터 관리를 위한 메인 플랫폼으로 활용되도록 하였다.



<개발된 CAD 시스템 Smart Lay>

○ 철근가공정보 자동매핑 기술개발

기존에는 철근가공을 위해 Bar리스트를 수작업으로 생성해야 하는 반면, 본 연구에서는 CAD 데이터에서 가공철근으로 활용할 수 있는 형상을 자동으로 추출하고 패턴화하여 Bar 리스트를 매우 효과적으로 생성할 수 있도록 하였다. 이를 위해 철근 형상 패턴을 자동으로 데이터베이스화 하도록 하였으며, 실제적으로 형상 가공의 가능성 유무를 판별하여 가공철근형상에서는 불가능한 형상은 자동으로 제거되도록 하였다.

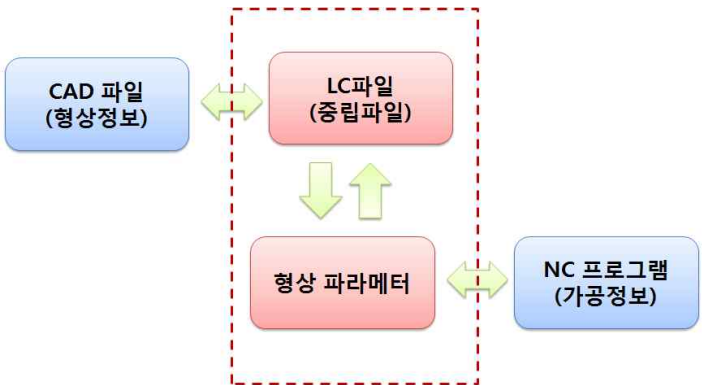


<형상정보 D/B 등록 프로세스>

마. 절단/절곡 수치정보생성 및 가공코드 자동생성 기술개발

○ 수치제어 적용을 위한 가공정보 자동생성 기술개발

기존에는 형상 가공을 위해 가공 장비에 익숙한 작업자가 특정 부위에 절곡이 가해질 수 있도록 절곡축과 고정대를 현장에서 직접 조정하면서 생산하였으나, 본 과제에서는 가공형상을 기계 동작 좌표에 따라 자동으로 데이터를 변환하여 기계가공에 필요한 수치정보를 자동으로 생성하였다. 이를 위해 수치정보를 정의하기 위한 중립파일 데이터와 형상파라메터 데이터구조를 개발하였다.



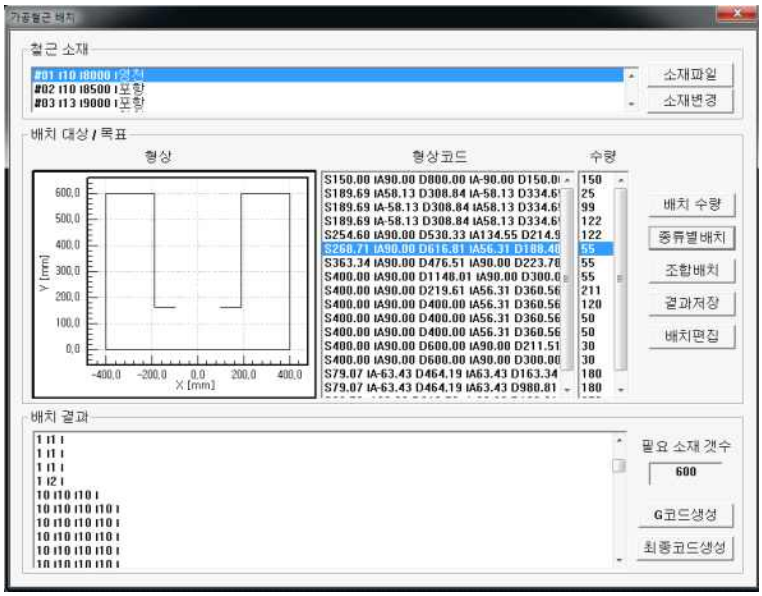
< 정보의 연동 및 변환 절차 >

○ G코드/M코드 자동생성기술 개발

기계동작의 ISO코드인 G코드는 기계의 동작축의 동작을 수치화하여 나타낸 것으로 본 과제에서는 철근가공에 적용될 수 있도록 하기 위해 기존의 G코드 형식에 특수하게 필요한 M코드를 가공기의 특수성에 부합하도록 정의하였으며, G코드 프레임에 필요한 특수 M코드를 자동으로 배치하도록 함으로써 전체 가공코드를 자동으로 생성토록 하였다. 즉, G코드 동작 이벤트 전후에 특수코드를 변수 문자열과 함께 D/B 형식으로 배치시킬 수 있도록 코드 생성 맵을 정의 하였으며, 이러한 방식으로 가공코드를 일반화 하는 기술은 본 과제를 통해 처음으로 개발 적용되었다.

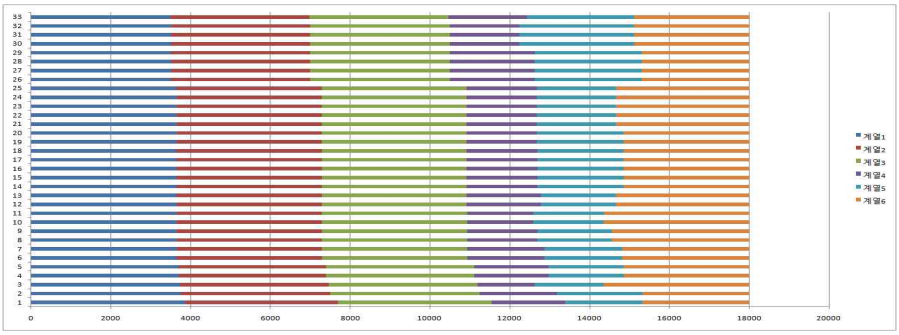
바. 최적 철근 절단 스케줄링 및 철근 손실 시뮬레이터 개발

실제 현장에서 생산성을 가장 많이 좌우하는 것은 잔재를 최소화 하는 철근의 절단 배치이다. 기존에는 숙련자의 수작업에 의존하고 있으며, 배치를 위한 시간이 소요될 뿐 아니라 일정크기보다 작아서 버려지는 잔재가 많아 생산성을 저하시키는 요인이 되고 있다. 본 과제에서는 정수화 된 메모리 맵 알고리즘을 통해 배치 효율을 극대화 시키는 최적배치 모듈을 개발하였으며, 이를 통해 최적의 철근 절단 스케줄링을 가능하게 하였다.



<가공형상철근별 배치설정 및 자동배치>

절단 철근의 배치는 작업자에 따라 또한 재고 철근 유무에 따라 철근을 배치하는 다양한 조건들이 존재한다. 본 과제에서는 이러한 다양한 조건들을 반영하여 가공할 철근들을 최적으로 배치하고 다양한 조건에 따라 손실량을 시뮬레이션 할 수 있도록 하였으며, 이를 통해 효과적인 생산계획과 배치를 가능하게 하였다.



<18000 장철근 절단 배치결과 : 99.7% = 손실율 0.3%>

※ 배치 종류가 많고 철근길이가 배치 철근에 비해 수배 이상 클수록 배치율은 99% 이상 급격히 증가.

○ 손실율 계산 : 100 - 배치율

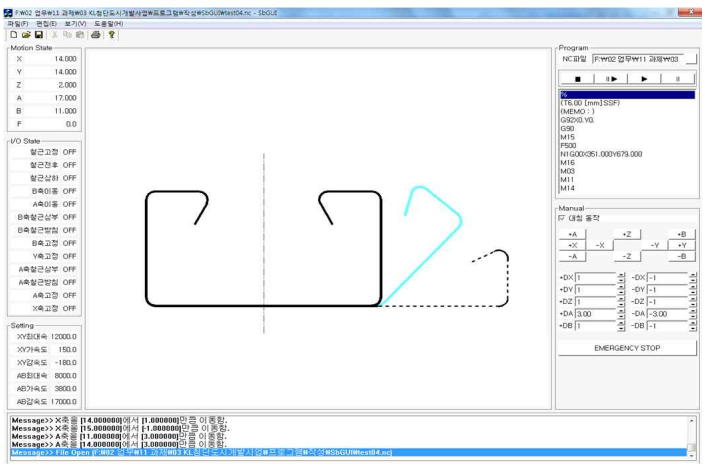
○ 손실율 비교 결과 (현장 데이터 VS 배치 시뮬레이션 결과 데이터)

현장 가공 시트	현장배치 손실율	자동배치 손실율	향상(%)
가공리스트 #01	7%	4.95%	141.4
가공리스트 #02	4.62%	0.31%	1,490.3
가공리스트 #03	7.69%	4.17%	184.4
가공리스트 #04	6.67%	2.73%	244.3
가공리스트 #05	3.54%	1.09%	324.8

사. 가공 통합 운영 소프트웨어 개발

○ 가공코드에 따른 가공기 제어프로그램 개발 및 데이터 전송기술 개발

실제 기계를 동작하기 위해서는 연속프로그램 뿐 아니라 현장에 필요한 비상정지, 부분 가공, 개별 동작 등이 가능해야하며, 이를 위해 기계를 동작시키기 위한 별도의 대화형 제어 프로그램을 개발하였으며, 장비의 컨트롤 모니터링 터치패드를 통해 작업자가 관리할 수 있도록 하였다. 또한 LAN통신 및 RS232C를 통해 자동으로 생성된 가공 코드가 전송될 수 있도록 전용 데이터 전송모듈도 함께 개발하였다.



<장비 제어프로그램>

Ⅳ. 최종 연구성과 및 적용실적

○ 연구개발 핵심성과

연번	핵심성과명	핵심성과 설명	성과유형 ※	성과달성 책임	해당연차
1	수치제어기반 통합형 철근가공시스템	CAD시스템 기반으로 철근가공정보를 생성하고 Loading, 절단, 절곡, 배출 등을 통합하여 철근을 가공할 수 있는 통합형 철근가공시스템	장비·장치	KL TECH	2012.04.10 ~ 2015.02.9 (2년10개월)

정 의	CAD시스템 기반으로 철근가공정보를 생성하고 Loading, 절단, 절곡, Unloading 및 적재 등을 통합하여 철근을 가공할 수 있는 통합형 철근가공시스템
목 적	통합형 철근가공시스템을 개발하여 수입대체 및 자재손실 절감 효과 측면에서 우수하며, 연구 성과 달성시 국내 자동화 철근가공시스템 수요를 충족시키기 위함.
성능목표	구분 / 건우기계 / 토요 / 성능 목표 절곡각도 / 180 / 180 / 180 절곡가능본수 (D16기준) / 3 / 3 / 5 작업대 속도 / 5.49m/min / 5.4m/min / 5m/min 절곡 속도 / 4sec/180° / 4.47sec/180° / 4sec/180° ※기존 시제품 성능을 기준으로 성능 목표를 설정함.

○ 논문게재 성과

게재연도	논문명	저자			학술지명	Vol.(No.)	국내외 구분	SCI 구분
		주저자	교신저자	공동저자				
2013.8	철근 공장가공화를 위한 철근 스프링 백에 대한 수치적 연구	최창환	김진호	이성규	한국산학기술학회	제14권 8호	국내	
2014.10	A Numerical Study of the Spring-Back Phenomenon in Bending with a Rebar Bending Machine	최창환	김진호	전준수, Lawrence Kulinsky	Advances in Mechaninal Engineering	제 2014 권	국외	SCI-E

○ 학술대회 발표 성과

발표일	발표명	저자	학술대회명	국내외 구분
2013.05	철근가공정보 생성을 위한 CAD시스템 개발	이경동	2013한국정밀공학회 춘계학술대회	국내
2014.02	스프링 백 현상을 고려한 철근 굽힘 공정에 대한 수치적 연구	최창환	대한기계학회 2014년도 신뢰성부문 춘계학술대회	국내
2014.09	철근 가공시스템의 자동화를 위한 철근 업로딩 시스템의 해석	신동우	한국생산제조시스템학회 2014년도 추계학술대회	국내
2014.11	철근 밴딩기 롤러의 피로파괴 CAE 해석	신유정	2014년 한국기계가공학회 추계학술대회	국내
2014.12	Fatigue Analysis of Roller of Rebar Bending Machine using DAFUL	김진호	2014 Tokyo international Conference on Engineering and Applied Science	국외
2015.02	일차원 부재의 효과적인 배치알고리즘 에 관한 연구	소범식	2015 한국 CAD/CAM 학회 동계학술대회	국내

○ 특허 성과

출원된 특허의 경우				
출원연도	특허명	출원인	출원국	출원번호
2012	원격 철근가공 방법	이성규	대한민국	10-2012-0157788
2013	부품 적재용 파레트	이성규	대한민국	10-2013-0007811
2014	양호한 확장성을 갖는 CAN 네트워크기반 철근가공시스템	이성규	대한민국	10-2014-0008138
2015	수치제어기반 통합형 철근가공시스템 및 처리방법	이성규	대한민국	10-2015-0018491

Ⅴ. 연구목표 달성 및 효과

가. 연구개발 최종 달성도

성과목표			성과지표	측정방법	목표치	달성치	달성도
1차년도	질적성과	수치제어 적용 절곡 테스트 베드 구축	작업대 이송 반복정밀도	레이져 트래커	3mm이내	0.013㎜	100%
			작업대 속도	레이져 트래커	3m/min이상	25m/min	100%
			절곡 작업 속도	절곡 속도 측정	7sec/180°이하	6sec/180°	100%
			절곡 각도	각도 측정기	130° 이상	144°	100%
		CAD시스템 기반 철근가공정보 자동매핑 기술개발	도형 추출 자동기능 유무	S/W 구동, 자동처리 테스트	자동추출	자동추출가능	100%
		절곡 가공 수치정보 자동생성기술 개발	수치제어 적용 가능한 수치정보 생성 유무	S/W 구동, 정보생성 테스트	제어가능 수치정보 제공	수치정보제공	100%
	양적성과	특허 출원/등록	국내외 지적재산권 확보건수	출원/등록증사본	1건	1건	100%
		시제품제작	시제품 제작 건수	시제품 건수	1건	1건	100%
2차년도	질적성과	절단 및 절곡 하이브리드 시스템 개발	절단기 작업대 위치 반복정밀도	레이져 트래커	3㎜이내	0.34㎜	100%
			절단 후 절곡부 이송시간	타임 체크	30초이내	23초	100%
			절곡 가능본수(D16 기준)	외부공인기관입회 시험	5개이상	5개	100%
			절곡 각도	각도 측정기	180 ° 이상	239.3 °	100%
		철근 절단 및 절곡 가공코드 자동생성기술 개발	NC코드 생성 유무	NC프로그램 확인	NC코드생성	NC프로그램 확인	100%
	양적성과	절단 및 절곡 하이브리드 시스템 개발	국내외 지적 재산권 확보	출원/등록증사본	1건	2건	100%
			개발기술 적용에 따른 경제성 평가	보고서 건수	1건	1건	100%
			기술비교분석, 로드맵 및 시장동향 분석	보고서 건수	1건	1건	100%
			개발제품 성능평가 보고서	보고서 건수	1건	1건	100%
			국내 학술발표 논문 게재 건수	국내 학술발표 논문 게재 건수	1건	1건	100%
			국내 학술지 게재 논문	국내 학술지 게재 논문 건수	2건	2건	100%
			시제품 건수	시제품 건수	1건	1건	100%
		철근 절단 및 절곡 가공코드 자동생성기술 개발	프로그램 개발 건수	프로그램 개발 건수	1건	1건	100%
			운영 소프트웨어 평가 보고서	보고서 건수	1건	1건	100%
			국내 학술발표 논문 게재 건수	국내 학술발표 논문 게재 건수	1건	1건	100%

3차년도	질적성과	자동 Loading /Unloading 적용 스마트 철근가공 시스템 개발	절단 후 절곡부 이송 시간	타임 체크	20초이내	19.25초	100%
			작업대 이송 반복정밀도	레이져 트래커	0.2㎜이내	0.157㎜	100%
			작업대 속도	레이져 트래커	5m/min이상	6.9m/min	100%
			절곡 작업 속도	레이져 트래커	4sec/180°이하	3.177 sec/180°	100%
			절곡 각도	레이져 트래커	180°이상	201°	100%
			절곡가능본수	가공시험	5 (D16기준)	5	100%
			가공치수정밀도 (절단길이기준)	길이측정 (시료5개이상 평균)	±4mm 이하	±3.3mm	100%
			절곡각도정밀도	각도측정 (시료5개이상 평균)	±2°이하	±0.7°	100%
			기존대비 철근 생산성	기존 개별 절단/절곡장비 대비 생산성 향상정도	30%이상 향상	달성	100%
		최적 철근 절단 스케줄링 및 철근 손실 시뮬레이션 및 가공코드 원격지 전송 기술개발	철근배치 손실 시뮬레이션 유무	시뮬레이션결과유무	자재 손실 시뮬레이션/예측 가능	시뮬레이션 결 과 유	100%
			가공 데이터 원격지 전송 유무	전송활용테스트	데이터 원격지 전송가능	원 격 지 전송가능	100%
	양적성과	자동 Loading /Unloading 적용 스마트 철근가공 시스템 개발	국내외 지적 재산권 확보	특허 출원 및 등록건수	1건	1건	100%
			국내 학술발표 논문 게재 건수	국내 학술발표 논문 게재 건수	1건	1건	100%
			국내 학술지 게재 논문	국내 학술지 게재 논문 건수	3건	3건	100%
			성능평가 보고서	보고서 건수	1건	1건	100%
			현장활용 평가보고서	보고서 건수	1건	1건	100%
			시제품 건수	시제품 건수	1건	1건	100%
		최적 철근 절단 스케줄링 및 철근 손실 시뮬레이션 및 가공코드 원격지 전송 기술개발	프로그램 개발 건수	프로그램 개발 건수	2건	2건	100%
			국내 학술발표 논문 게재 건수	국내 학술발표 논문 게재 건수	1건	1건	100%

나. 연구개발 효과 분석

(1) 기술적 효과

○ 철근 가공 자동화를 위한 전체 시스템의 핵심 기술 국산화

○ 현 시장의 요구사항 충족(구조물의 초고층화, 대형화, 특수화에 따른 재료 가공 품질 개선 및 성능 향상)

○ 수작업 공정 감소로 인한 가공 효율 증대

(2) 경제적 효과

○ 자재 손실 최소화 및 효율적 주문 관리

○ 생산 비용 절감(잔재 최소화 및 장비 운용 시간 절감)

○ 작업 환경 개선 및 인력 절감(노동 기피현상 해소)

○ 철근 로스율 절감으로 인한 가공업체의 수익성 증대

(3) 정책적 효과

○ 철근 로스율 감소로 인한 철근 가공업계의 수익성 증대와 높은 재활용율로 인한 정부의 친환경 정책과도 부합할 수 있음.

○ 안전규제 강화와 저급의 불량 철근으로 인한 정부의 철근 품질 향상 및 품질 확보에 기여할 수 있음.

○ 공정 자동화 및 최적 절단 스케줄링 프로그램으로 인한 고효율, 에너지 절감 정책에 부합할 수 있음.

Ⅵ. 연구성과 활용계획

가. 기술실시계획

(1) 관련특허 동향

○ 철근가공 분야에서 과거 미국, 일본 중심에서 한국 중심으로 기술의 중심이 옮겨오고 있음

○ 해외에서는 쇠퇴기를 맞이하고 있으나 오히려 국내에서는 성숙기 이전의 성장기를 맞이하고 있음

○ 국내의 "공장철근가공방식"의 법제화에 따른 기술수요가 늘어남을 확인함

(2) 특허 경쟁력

○ 관련기술로 한국건설기술원과 제품생산, 수입기업에서 기술을 확보하고 있음

○ KLTECH에서 추구하는 철근가공계획 분야에서는 오히려 공백기술로 표기됨

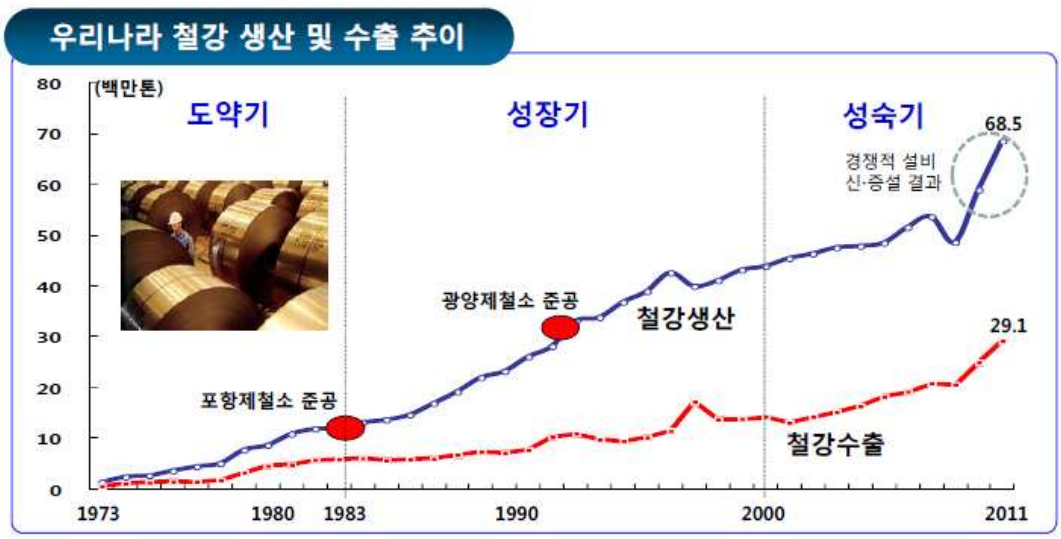
○ 국내의 철근가공 기술에 대한 수요가 많은 만큼 공백기술을 중심으로 기술선점을 통해 기술실시를 통한 로열티 확보가 가능할 것으로 보임

나. 판매계획

(1) 시장 현황

○ 최근은 한국과 중국을 중심으로 지배력이 증대되고 있음

○ 조강 생산은 '73년 124만톤에서 '11년 6,852만톤으로 55배 증가



○ 철근 가공업계 관계자들에 의하면 국내에서 철근 가공산업이 시작된 것은 대략 15년 전이며 연간 총 철근수요를 1,000만톤으로 봤을 때, 가공철근의 비중은 20~30% 정도로 볼 수 있음.

구분(연간)	건 축	토 목
철근 / TON	약 180만 / TON	약 120만 / TON
공장가공 생산 / TON	약 36만 / TON	약 84만 / TON
비율	20%	70%
기계식이음(커플러)	약 120만 개소	약 180만 개소

(2) 매출계획

○ 내수의 경우 정부출연 연구소, 철근가공관련 기업 및 기업부설연구소 등의 루트로 판매예정이며, 수출의 경우 KOTRA 등 수출관련 지원기관을 통한 유럽, 북/남미 등 해외 수요처 발굴 단계적으로 판매를 확대해 나아갈 예정임.

○ 매출추정을 위한 주요 가정은 철강산업의 최근 3년 평균성장률을 감안하고 기업의 내부적인 영업/수주 목표를 참고하여 판매대수를 조정함.

단위 : 천원

제품명	매출구분	2016년	2017년	2018년
KL Iron system	내수	1,392,560	2,047,063	2,763,535
	개발자금			
	수출	306,363	643,363	1,013,296
	총계	1,698,923	2,690,426	3,776,832
total	평균단가	141,577	149,468	157,368
	수량	12	18	24
(1) 내수	단가	139,256	146,219	153,530
	수량	10.0	14.0	18.0
(2) 수출	단가	153,182	160,841	168,883
	수량	2.0	4.0	6.0

판매처/국가	예상 판매단가 (백만원)	5년후 기준 예상연간판매량 (개)	5년후 기준 예상연간 총판매금(백만원)
국내 (정부/지자체 출연 연구소등)	130~150 (기능개선에 따른 점진적 단가조정)	5대	768
국내 (철근가공 기업체/연구소)	130~150 (기능개선에 따른 점진적 단가조정)	13대	1,996
'해외 (철근가공 업체/기관 등)	143~165 (수출제반비용 반영 및 기능개선에 따른 점진적 단가조정)	6대	1,013

다. 사업화 추진방안

(1) 철근가공 최적스케줄링 소프트웨어 : CAD의 추가 프로그램 및 Excel연동 프로그램으루 추가적으로 개발하여 단독적으로 철근형상과 가공방향, 수량등을 자동으로 관리하는 프로그램으로 개발할 계획임

(2) 가공프로그램 생성 : G코드를 생성하여 동시에 절곡/절단 등이 가능한 사황이며 향후 CNC와의 연동을 준비하고 있음

(3) Loading에서 절단 절곡 및 Unloading이 가능한 하이브리드 철근 가공 시스템 : Auto Loading 시스템과 절단기의 다양한 연동이 가능한 시스템으로 개발된 형태이며, 향후 작업불량률 개선을 위한 신뢰성 향상 작업이 진행중임

(4) 전송 및 모니터링 소프트웨어 : 컨트롤러를 통해 진행상황 및 통계정보를 실시간으로 모니터링 할 수 있는 시스템으로 구성되어 있으나 무선통신, 모바일 단말기 지원을 추진중에 있음

라. 기존 연구 및 타연구와의 연계

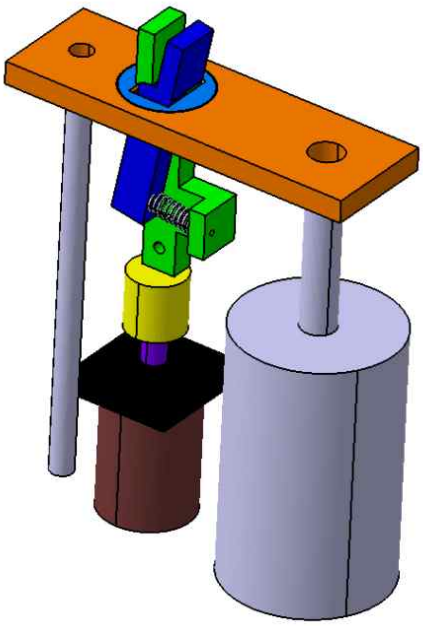
(1) 신규사업 추진

○ 사업명 : 산학연 첫걸음 기술개발사업

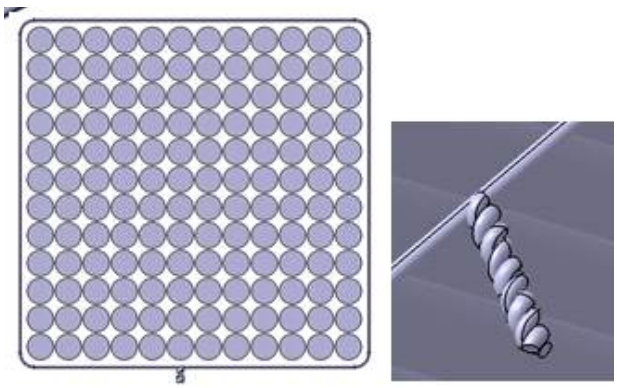
○ 과제제목 : 철근 가공품의 묶음 처리를 위한 Twist Ties 개발

○ 주관기관 : (재)경북하이브리드부품연구원

○ 사업내용 : 철근의 Twist Ties 장비 개발



<Twist Ties 장치 설계(안)>



<Twist Ties>

5. 영문 요약서

SUMMARY

Development of the rebar manufacturing system for factory manufacturing method

A. Research Purpose

(1) Development of Remote-control bending system for Factory manufacturing

(a) Development of Optimized Rebar bending planning

○ Mapping technology of rebar bending data based on CAD system

○ Optimization of rebar cutting schedule and simulation of rebar loss

(b) Development of optimized rebar bending manufacturing system

○ Development of Auto Loading System

○ Development of Hybrid system of Cut-off and Bending

○ Development of Unloading and loading system

(c) Network Systems for rebar processing computer program and Remote support

○ Automated Generation of manufacturing code for Rebar cut-off and rebar bending

○ Transmission technology of manufacturing code and remote support

B. Need of Research and development

○ Demand of high-quality rebar bending based on the standardized system

○ Requirement of exact specifications by automatic processing equipment of rebar

○ Pre-processing by prior planning which results in short construction duration

○ Easy materials management due to whole order, processing and delivery in the case of scattered construction sites,

○ Reduction of public complaints due to noise which can happen if rebar processing is done in downtown

○ Scrap consumed that are difficult to manage on-site can be 100% recycled

C. Definition, Range and Characteristics of Research and development

(1) Definition

Create of Rebar processing information based on CAD system;

Integration system of rebar loading, cut-off and bending

(2) Range

- This technology to process the rebar into the required format at construction site
- Optimal scheduling software for processing of several rebar bundles
- Processing program for the cutting and bending process in accordance with the optimal scheduling
- Transmission system of generated processing code to each of the numeric operation controller
- Automated unloading and loading system

(3) Characteristics

○ Integrated rebar processing system based on numerical control has the following features

- Bending angle : 180°
- Number of Lines can be bending (D16 standard) : 5EA
- Worktable conveyance speed : 5m/min
- Bending speed : 4sec/180°
- Optimization of rebar cutting scheduling and simulation for minimum loss
- Data remote transmission possible

Ⅲ. Results

A. Construction of Bending test bed by applying the numerical control

B. Cutting and bending hybrid system development

C. Development of integrated rebar processing system based on numerical control

D. Development of Automatic mapping technology of rebar processing information based on CAD system

○ Development of 2D CAD System for extracting shape information of the CAD file

○ Development of Automated mapping technology of rebar processing information

E. Development of Cutting / bending numerical information generation and automated generation of processing code

○ Automated generating system of processing code for numerical control applications

○ Development of Automated generation of G code/M code

F. Development of Optimization of rebar cutting schedule and simulation technology of rebar loss

○ Algorithm development of optimization for rebar cutting schedule

○ Simulation of rebar loss

G. Development of Integrated process operating software

○ Control system of processing machine according to the processing code and data transmission

6. 영문 목차

CONTENTS

PART ONE Outline of R&D ····· 1

Chapter 1 Purpose and Need of R&D ····· 1

1. Research purpose ····· 1

2. Need of R&D ····· 4

3. Significance of R&D ····· 9

Chapter 2 Definition, range and characteristics of R&D ····· 10

Chapter 3 Technology development of interest world trend in domestic and foreign situation ····· 11

1. Industry analysis ····· 11

2. Domestic technique and industrial trend ····· 24

3. Foreign technique and industrial trend ····· 25

4. Domestic industrial site analysis (HyupShin Iron and Steel) ····· 25

5. Japanese industrial site analysis (ToYo) ····· 31

6. Patent trend ····· 37

PART TWO Performance detail and result of R&D ····· 40

Chapter 1 Strategy and methodology of research perform ····· 40

Chapter 2 Process and performance of research perform ····· 42

1. Construction of Bending test bed by applying the numerical control ····· 42

2. Cutting and bending hybrid system development ····· 99

3. Development of integrated rebar processing system based on numerical control ····· 178

4. Development of Automatic mapping technology of rebar processing4information based on CAD system ····· 243

5. Development of Cutting / bending numerical information generation and65 automated generation of processing code ····· 286

6. Development of Optimization of rebar cutting schedule and simulation technology of rebar loss ····· 322

Chapter 3 Result and verification of research perform ····· 358

PART THREE Final achievement of R&D and application actual result 402

Chapter 1 A name of research : Development of integrated rebar processing system based on numerical control ····· 402

1. Research result (Key performance) explanation ····· 402

2. Core technology result ····· 404

3. Main research result ····· 409
4. Execution of technique and application example ····· 411
5. Prospect in domestic and industrial market of result of R&D ····· 440

PART FOUR Achievement and effect of research purpose ····· 446
Chapter 1 Final achievement of R&D ····· 446
1. First year achievement ····· 446
2. Second year achievement ····· 447
3. Third year achievement ····· 448
Chapter 2 Technical effect analysis of R&D result ····· 449
1. Technical effect ····· 449
2. Application plan of R&D result ····· 450
Chapter 3 Financial effect analysis of R&D result ····· 451
1. Financial effect ····· 451
2. Main expected demand field ····· 451
3. Project economic feasibility analysis ····· 454
Chapter 4 Policy effect analysis of R&D result ····· 458
1. Policy effect ····· 458
2. Governmental support policies present condition ····· 458

PART FIVE Application plans of R&D and Need of additional research 460
Chapter 1 Future plans of R&D result ····· 460
1. Execution of technique plan ····· 460
2. Sales plan ····· 463
3. Progress plan of Commercialization ····· 475
4. Liaison between the existing research and other research ····· 488
5. Differentiation of domestic and foreign similar device ····· 493
Chapter 2 Need of additional research ····· 498
1. Need of additional research ····· 498

목 차

제 1 장 연구개발과제 개요 ····· 1

제 1 절 연구개발의 목적 및 필요성 ····· 1

1. 연구개발 목적 ····· 1

2. 연구개발 필요성 ····· 4

3. 연구개발 중요성 ····· 9

제 2 절 연구개발의 정의, 범위, 특징 ····· 10

제 3 절 관련분야의 국내외 기술개발 현황 ····· 11

1. 산업분석 ····· 11

2. 국내 기술 및 산업 동향 ····· 24

3. 국내외 기술 및 산업 동향 ····· 25

4. 국내 산업현장 분석(협신철강) ····· 25

5. 일본 산업현장 분석 (토요) ····· 31

6. 특허 동향 ····· 37

제 4 절 연구개발 결과가 관련분야에서 차지하는 위치 ····· 38

1. 연구개발 결과의 우수성 ····· 38

2. 연구개발 결과의 차별성 ····· 39

제 2 장 연구개발 수행 내용 및 결과 ····· 40

제 1 절 연구수행 전략 및 방법론 ····· 40

제 2 절 연구수행 과정 및 내용 ····· 42

1. 수치제어 적용 절곡테스트 베드 구축 ····· 42

가. 철근 밴딩부 전산해석을 위한 모델 단순화 및 선행 시뮬레이션 ····· 42

나. 절곡 메커니즘 개발 및 시스템 설계 ····· 47

다. 절곡시스템 시제품 제작 ····· 65

라. 수치제어 적용 절곡테스트 베드 제어기 개발 ····· 72

2. 절단 및 절곡 하이브리드 시스템 개발 ····· 99

가. 철근밴딩 공정시 스프링 백 현상 및 밴딩기 형상 최적화 전산해석 ····· 99

(1) 철근밴딩 공정시 스프링백에 대한 수치 분석 ····· 99

(2) 철근 밴딩기 형상 최적화 전산해석 ····· 121

나. 절단 및 절곡 메커니즘 개발 및 시스템 설계 ····· 135

다. 절단 및 절곡 하이브리드 시스템 제작 ····· 155

라. 절단 및 절곡 하이브리드 시스템 제어기 개발 ····· 164

3. 수치제어기반 통합형 철근 가공시스템 개발 ····· 178
가. 통합형 철근 가공시스템을 위한 전산해석 ····· 178
(1) 철근 밴딩기 롤러의 피로파괴 해석 및 재설계 ····· 178
(2) 철근가공시스템의 자동화를 위한 철근 업로딩해석 ····· 189
나. 통합형 철근 가공시스템 메커니즘 개발 및 설계 ····· 205
다. 수치제어기반 통합형 철근 가공시스템 제작 ····· 221
라. 수치제어기반 통합형 철근 가공시스템 제어기 개발 ····· 228
4. CAD시스템 기반 철근가공정보 자동 매핑 기술개발 ····· 243
가. CAD파일의 도형정보 추출 ····· 243
나. 철근가공정보 자동매핑 ····· 270
5. 절단/절곡 수치정보생성 및 가공코드 자동생성 기술개발 ····· 286
가. 수치제어 적용을 위한 가공정보 생성 ····· 286
나. G코드/M코드 자동생성기술 개발 ····· 287
6. 최적 철근 절단 스케줄링 및 철근 손실 시뮬레이터 ····· 322
가. 최적 철근 절단 스케줄링 알고리즘 개발 ····· 322
나. 시뮬레이션 결과 및 손실 평가 ····· 325
7. 가공 통합 운영 소프트웨어 개발 ····· 347
가. 가공코드에 따른 가공기 제어프로그램 개발 ····· 347
나. 가공코드 원격지 전송 기술 개발 ····· 351
제 3 절 연구수행결과 및 결과의 검증 방법 ····· 358
1. 수치제어 적용 절곡 시스템 성능 평가 ····· 358
2. 절단 및 절곡 하이브리드 시스템 성능 평가 ····· 367
3. 수치제어기반 통합형 철근 가공시스템 성능평가 ····· 383
4. 개발 소프트웨어 평가 ····· 400
제3장 최종 연구성과 및 적용 실적 ····· 402
제 1 절 개별 연구성과명 : 수치제어기반 통합형 철근가공시스템 ····· 402
1. 개별 연구성과(핵심성과) 설명 ····· 402
2. 핵심요소기술별 성과물 ····· 404
3. 주요연구성과 ····· 409
4. 기술 실시 및 적용사례 ····· 411
5. 기술개발 성과의 국내외 시장 전망 ····· 440
제4장 연구목표 달성 및 효과 ····· 446
제 1 절 연구개발 최종 달성도 ····· 446
1. 1차년도 ····· 446

2. 2차년도 ····· 447
3. 3차년도 ····· 448
제 2 절 연구개발 성과의 기술적 효과 분석 ····· 449
1. 기술적 효과 ····· 449
2. 연구개발 성과의 활용방안 ····· 450
제 3 절 연구개발 성과의 경제적 효과 분석 ····· 451
1. 경제적 효과 ····· 451
2. 주요 예상 수요처 ····· 451
3. 사업 경제성 분석 ····· 454
제 4 절 연구개발 성과의 정책적 효과 분석 ····· 458
1. 정책적 효과 ····· 458
2. 정부지원정책 현황 ····· 458
제5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성 ····· 460
제 1절 연구성과 향후 활용방안 ····· 460
1. 기술실시계획 ····· 460
2. 판매계획 ····· 463
3. 사업화 추진 ····· 475
4. 기존 연구 및 타연구와의 연계 ····· 488
5. 국내외 유사장비와의 차별성 ····· 493
제 2절 추가 연구의 필요성 ····· 498
1. 추가연구의 필요성 ····· 498

8. 본문

제1장 연구개발과제 개요

제 1 절 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구개발 목적

가. 최종 목표

(1) 공장가공방식을 위한 원격 철근가공시스템 개발

(가) 최적 철근가공계획 시스템 개발

○ CAD시스템 기반 철근가공정보 매핑 기술 개발

○ 최적 철근 절단 스케줄링 및 철근 손실 시뮬레이션 기술 개발

(나) 최적 철근 가공 시스템 개발

○ Auto Loading System 개발

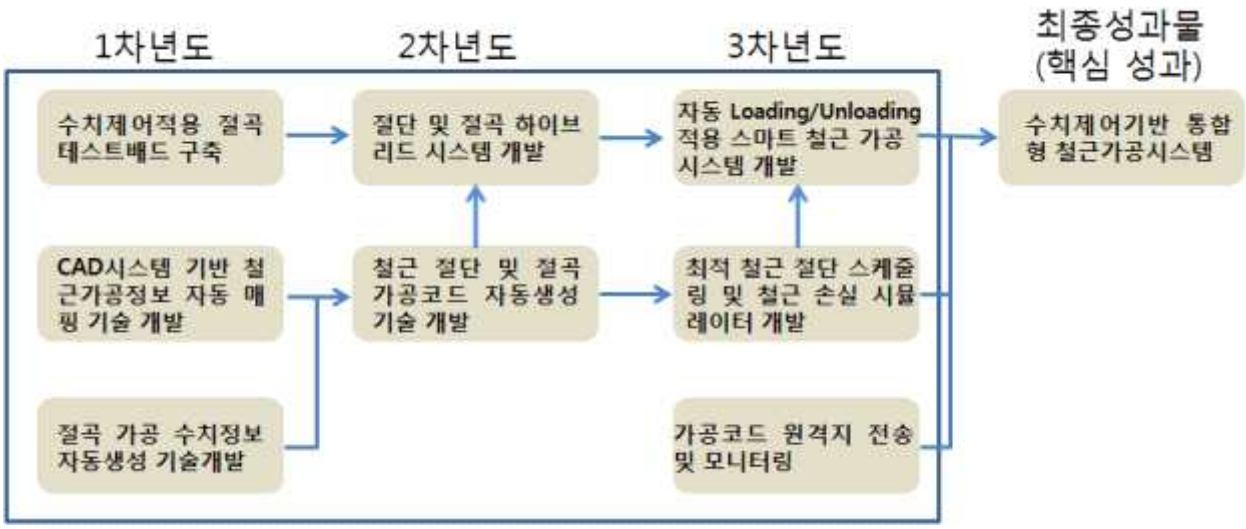
○ 절단 및 절곡 하이브리드 시스템 개발

○ Unloading System 및 적재 시스템 개발

(다) 철근 가공프로그램 생성 및 원격 지원을 위한 네트워 시스템 개발

○ 철근 절단 및 절곡 가공코드 자동생성기술 개발

○ 가공코드 원격지 전송 기술 개발



< 핵심 성과 로드맵 >

나. 연차별 연구목표 및 내용

연 차	연구목표	주요 연구내용
1차년도	■ 수치제어 적용 절곡 테스트 베드 구축	■ 철근가공관련 문헌 및 사례조사 ■ 현장 적용성 분석 검토 ■ 수치제어적용을 위한 기능별 모듈 개발 ■ 절곡 메커니즘 개발 및 시스템 설계/제작 ■ 수치제어 적용 절곡 시스템 성능 평가 ■ 철근 운송/패킹 기술 개발
	■CAD시스템 기반 철근가공정보 자동매핑 기술개발	■ CAD파일의 도형정보 추출 ■ 철근가공정보 자동매핑
	■절곡 가공 수치정보 자동생성 기술 개발	■ 수치제어 적용을 위한 가공정보 생성
2차년도	■ 절단 및 절곡 하이브리드 시스템 개발	■ 절단 연동을 위한 가공 메커니즘 개발 ■ CNC기반 절단/절곡 시스템 설계/제작 ■ 수치제어 가공에 따른 가공성능 안정화 및 평가
	■ 철근 절단 및 절곡 가공코드 자동생성기술 개발	■가공 코드 생성 소프트웨어 사용자 인터페이스 설계 ■최적 철근 절단 스케줄링 및 철근 절단 및 절곡 G코드/M코드 자동생성기술 개발
3차년도	■ 자동 Loading/Unloading 적용 스마트 철근가공 시스템 개발	■개별 Loading/Unloading 장치 제작 ■절단/절곡 시스템 연동 및 운영 시스템 통합
	■최적 철근 절단 스케줄링 및 철근 손실 시뮬레이션 및 가공코드 원격지 전송 기술개발	■철근 손실 시뮬레이션 기술개발 ■통합 운영 소프트웨어 개발 ■원격지 가공코드 전송 기술 개발

다. 정량적 성과목표

연차	성과목표	성과지표	측정방법	목표치	가중치
1차년도	(질적지표) 수치제어 적용 절곡 테스트 베드 구축	작업대 이송 반복 정밀도	레이저 트래커	3mm이내	25
		작업대 속도	레이저 트래커	3m/min이상	15
		절곡 작업 속도	절곡 속도 측정	7sec/180°이하	15
		절곡 각도	각도 측정기	130°이상	15
	CAD시스템 기반 철근가공 정보 자동매핑 기술개발	도형 추출 자동기능 유무	S/W 구동, 자동처리 테스트	자동추출	15
	절곡 가공 수치정보 자동 생성기술 개발	수치제어 적용가능한 수치정보 생성 유무	S/W 구동, 정보생성 테스트	제어가능 수치정보 제공	15
	소 계				100%
	(양적지표) 특허 출원/등록	국내외 지적재산권 확보건수	출원/등록증 사본	1	40
	시제품제작	시제품 제작 건수	현장 시연	1	60
	소 계				100%
2차년도	(질적지표) 절단 및 절곡 하이브리드 시스템 개발	절단기 작업대 위치 반복정밀도	레이저 트래커	3mm이내	15
		절단 후 절곡부 이송 시간	타임 체크	30초이내	30
		절곡 가능본수(D16기준)	외부공인기관입회시험	5개이상	20
		절곡 각도	각도 측정기	180°이상	15
	철근 절단 및 절곡 가공코드 자동생성기술 개발	NC코드 생성 유무	S/W 구동, 테스트	NC코드생성	20
	소 계				100%
	(양적지표) 특허 출원/등록	국내외 지적재산권 확보건수	출원/등록증 사본	1	25
	시제품제작	시제품 제작 건수	현장 시연	1	50
	국내 학술대회 논문투고	국내 학술대회 논문 건수	학술대회 논문 표지	1	25
	소 계				100%
3차년도	(질적지표) 자동 Loading /Unloading 적용 스마트 철근가공 시스템 개발	절단 후 절곡부 이송 시간	타임 체크	20초이내	30
		작업대 이송 반복정밀도	레이저 트래커	0.2mm이내	20
		작업대 속도	레이저 트래커	5m/min이상	15
		절곡 작업 속도	절곡 속도 측정	4sec/180°이하	15
	최적 철근 절단 스케줄링 및 철근 손실 시뮬레이션 및 가공코드 원격지 전송 기술개발	자재 손실 시뮬레이션 유무	S/W 구동, 테스트	자재 손실 시뮬레이션/예측 가능	20
					100%
	(양적지표) 특허 출원/등록	국내외 지적재산권 확보건수	출원/등록증 사본	1	25
	시제품제작	시제품 제작 건수	현장 시연	1	50
	현장 적용 및 검증	현장 적용 건수	현장 적용	1	25
	소 계				100%

2. 연구개발 필요성

가. 연구개발 필요성

○ 철근공사는 구조물의 안전성과 내구성 및 공사기간에 많은 영향을 미치고 원가측면에서도 매우 중요한 공사임에도 불구하고 실행예산을 편성하기 위한 물량 산출단계에서부터 시공 및 관리방식에 이르기까지 노동 집약적인 특성과 과거의 관리방식을 그대로 유지하고 있어 철근자재의 손실에 따른 원가 상승, 관리방식의 부실에 의한 품질문제 등 다양한 잠재적인 문제가 있음.

○ 철근을 이용한 공사는 보다 다양해진 설계로 인하여 복잡하며, 특히 도심지 내의 건설현장은 협소한 가공장소 확보의 어려움과 각종 환경규제로 인해 현장 내 철근 가공작업 시 많은 문제점이 대두되고 있음.

○ 또한 현재 정부주도 공사발주 시 발주처에서 고품질의 철근공사 및 자동화 가공설비에 의한 정확한 규격의 철근 가공이 요구되고 있으나, 기존의 현장철근가공방식에서는 이러한 요구를 충족시킬 수 없음.

○ 이와 같은 문제점을 보완하고 향상시키기 위해서는 공장자동화 철근가공확대 및 관련기술 개발이 현 시점에서 시급히 추진되어야 함.

나. 철근 공장가공 개요 및 가공방식의 변화



< 철근 가공 방식의 흐름도 >

○ 철근에서 공장가공이란 설계 및 구조도면을 근거로 철근 전문가공업체의 전문 가공 설비를 이용하여 공장에서 철근을 가공한 후 가공된 철근을 현장에 반입하는 방식을 말하며, 이와 반대로 현장가공이란 현장에서 설계 및 구조도면을 근거로 필요에 따라 현장 내에서 수작업의 가공기계를 이용하여 가공하는 것을 말함.

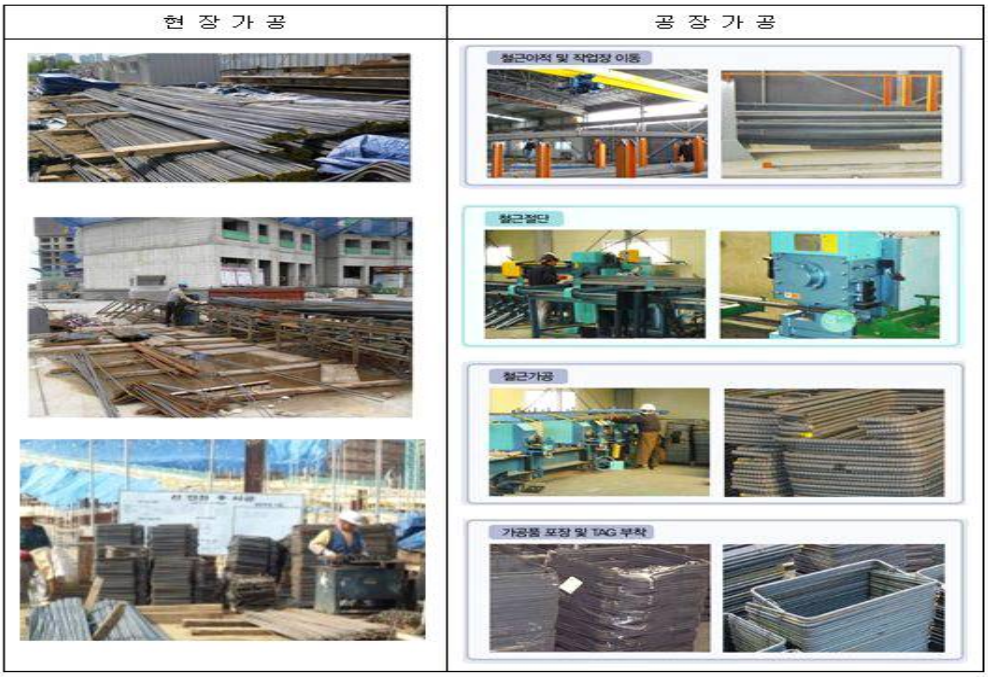
○ 철근 가공방식은 1990년대 이전까지는 현장인력으로만 가공 조립이 이루어져왔으나, 이후 기계가공 방식이 처음으로 도입이 되었으며, 현재에는 현장에 철근가공장을 설치하고 가공하는 방식과 전문 철근 가공공장에서 가공을 하는 방식으로 점점 변화되고 있음. 그러나, 아직까지 공장가공은 전체 철근공사의 20%정도로 타 선진국에 비해 활성화되지 못하고 있음.

다. 철근 공장가공 특징 및 현장가공과의 비교

○ 현장가공방식은 철근가공조립도 작성 작업을 철근숙련공의 경험에 의존하여 물량을 집계하고 수작업으로 가공도를 작성함에 따라 철근형상을 잘못 가공하는 오류가 자주 발생하기 때문에 철근손실이 과다하게 발생하여 관리 작업에도 많은 시간이 소요됨.

구분	현장가공	공장가공
장점	▪ 현장 여건 변화 시 대처 용이 ▪ 가공조립을 동시에 시행하여 하도급 시공 용이	▪ 정밀 가공으로 LOSS절감 ▪ 기계화 자동화 시공으로 생산성 향상 ▪ 부실공사 방지 ▪ 공사지연 방지 ▪ 철근 손실 최소화로 철근가공비 절감 ▪ 재고 및 제품 관리 ▪ 다양한 형상의 복잡가공 처리 가능
단점	▪ 현장 야적장 및 도심지 가공 작업장 확보가 힘듦 ▪ 자재 LOSS율 증가 및 자재 관리 비용 발생 ▪ 작업자의 기능도에 따라 가공 품질이 변함 ▪ 기능공의 인원 부족, 노임단가 상승 ▪ 장비 부족에 의한 소규모 생산성 ▪ 부실한 철근 관리 ▪ 기상 악화시 작업 불가	▪ 현장 여건 변화에 따른 대처 지연 ▪ 초기 설비 투자금액 높음 ▪ 2차 운반에 따른 비용 발생 ▪ 공장의 영세성으로 인한 안전성 확보 어려움

< 현장 가공과 공장 가공의 장단점 >

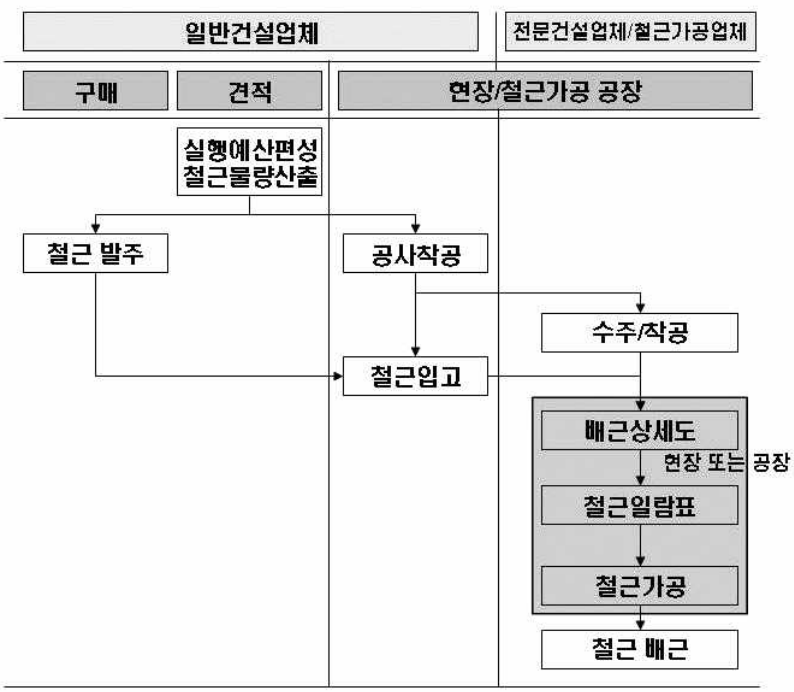


<철근의 현장가공 및 공장가공>

○ 반면, 철근 공장가공은 가공된 철근의 품질이 우수하고, 또한 철근가공 조립도작성을 전산 프로그램을 이용하여 작성하기 때문에 시공 정밀도 향상에 기여할 뿐만 아니라, 현장작업을 줄여줌으로써 공기단축과 현장노무인력의 감소를 가져다 줄 수 있는 장점이 있으며, 특히 공장가공방식은 기존의 현장가공에서 필요했던 철근 야적장 확보가 필요 없기 때문에 최근에는 공장가공에 대한 수요가 급격히 증가하는 추세에 있음.

라. 철근 공장가공 프로세스와 문제점

○ 철근가공 프로세스는 크게 현장가공과 공장가공으로 나눌 수 있으며, 기계에 의한 공장가공은 다음 그림과 같이 “철근가공일람표”와 “철근절단” 그리고 “철근절곡” 단계로 나눌 수 있음.



< 공장 가공 프로세스 >

○ 철근의 공장가공방식은 효율측면에서 이와 같은 많은 이점에도 불구하고 효과적인 자동화와 소프트웨어적인 운영이 부족한 경우 이러한 이점을 전혀 활용할 수 없음.

○ 즉, 철근의 기계화가공 시스템은 설계도면 단계부터 현장조립 단계까지 하나의 축으로 이루어져 있기 때문에 시스템 진행과정 중 실수나 오류가 있을 경우 오히려 수작업에 의한 현장가공보다 효율이 저하됨.

마. 공장가공방식을 위한 스마트 철근가공시스템 개발

○ 최근에는 구조물의 복잡화, 대형화 설계에 대응할 수 있는 재료 성능향상, 구조 및 설계기술개발 및 시공능력 향상을 요구하고 있음.

○ 이를 위해서는 철근의 올바른 가공 및 정확한 철근 배근 철근시공도(샵 드로잉)과련 CAD화 기술 확보와 철근 가공 자동화 시스템 기술 확보, 국내 철근 자동화 기계 기술력 확보 등이 필요함.

○ 그러나 국내의 건설 현장 철근가공은 철근반장이나 현장 경험이 많은 사람이 설계도면에 의존하여 가공도를 작성/가공을 하고 공사후 대부분 철근가공도는 폐기되는 등 가공에 대한 정확한 정보의 보존이 이루어 지지 않으며, 작업자 숙련도의 차이에 따른 품질의 차이를 해결하지 못하고 있음.

○ 따라서, 이러한 문제를 근본적으로 해결하기 위해서는 철근시공도에 맞추어 생성된 최적 철근 절단 스케줄링을 기반으로 최적 철근가공계획을 세우고 이 계획에 따라 철근가공프로그램을 통해 가공하는 일관된 시스템이 필요하며, 이에 대한 기술개발이 시급히 추진되어야 함.

3. 연구개발의 중요성

○ 철근의 공장가공 방식과 이를 위한 스마트 철근가공시스템 기술은 철근 가공의 생산성 뿐 아니라 고품질 가공철근을 통한 구조물의 안정성과 현장가공 최소화를 통해 공사기간도 단축시킬 수 있는 파급효과가 큰 기술임.

가. 기술적 측면

○ 공장가공방식을 위한 스마트 철근가공기술은 현재 구조물의 초고층화, 대형화(장지간 교량, 극저온 탱크, 체육관) 그리고 특수화(해양, 지하공간 구조물, 원자력구조물 등)경향이며 이에 상응하는 재료 성능향상, 구조 및 설계기술개발 및 시공능력 향상 요구를 충족시킬 수 있음.

○ 현재의 철근가공설계와 작업은 대부분 수작업으로 이루어지고 있으며, 공장 가공 도입의 진행속도에 비해 관련 소프트웨어 기술이 매우 낮아 시급히 개발할 필요가 있으며, 소프트웨어 기술이 가공의 프로세스와 생산성을 좌우하는 중요하고 핵심적인 요소중 하나임.

나. 경제/산업적 측면

○ 경제적 측면에서 볼 때 스마트 철근가공기술은 자재를 미리 시뮬레이션 하여 최적화 함으로써 자재 손실율을 최소화 하고 주문을 효율적으로 관리할 수 있음.

○ 특히, 대규모 물량이 가공되는 공장가공에서는 잔재를 최소화와 장비운용 시간을 최적화를 통한 비용 절감이 매우 큼.

다. 사회문화적 측면

○ 도면에 의한 정확한 데이터를 기반으로 전문가의 구조계산에서 현장 변형없이 시공가능하므로 건축에서 발생하는 근본적인 설계-시공-감리 3요소 비리 문제를 해결 할 수 있음.

○ 무거운 철근의 이송으로 인한 철근가공의 기피현상으로 국내 기술자 수요가 부족하여 외국인 노동자를 많이 고용하는 실정이여서 고용 및 환경측면에서도 문제시되고 있으나 스마트철근가공시스템을 통해 생산 현장의 환경을 개선할 수 있음.

제 2 절 연구개발의 정의, 범위, 특징

1. 수치제어 기반 통합형 철근가공시스템

가. 정의

○ CAD시스템 기반으로 철근가공정보를 생성하고 Loading, 절단, 절곡, Unloading 및 적재 등을 통합하여 철근을 가공할 수 있는 통합형 철근가공시스템

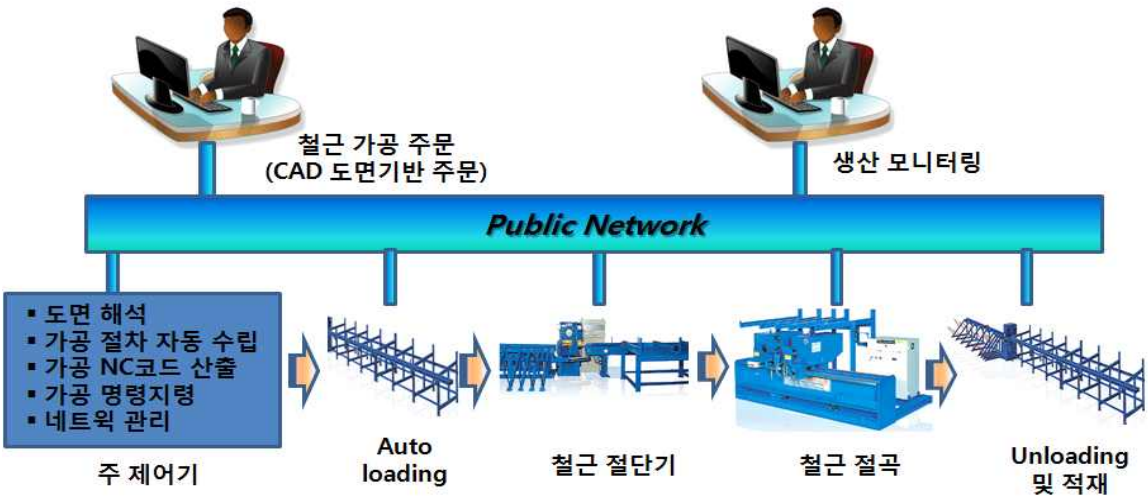
나. 범위

○ 본 기술 개발은 건설현장에서 필요한 형태와 규격의 철근으로 가공하기 위해 주어진 여러 다발의 철근을 최적 스케줄링 하는 소프트웨어, 최적 스케줄링에 따라 절단 및 절곡을 진행하는 가공 프로그램 생성, 생성된 가공 코드를 각 각의 수치연산 컨트롤러에 전송시켜주는 전송시스템, 철근을 필요한 수만큼 절단기로 이송시켜주는 Loading장치, 철근을 원하는 형상으로 가공하기 위한 절단/절곡기, 가공된 철근을 자동 배출하는 Unloading장치로 구성되어 있음.

다. 특징

○ 수치제어 기반의 통합형 철근 가공시스템은 아래와 같은 특징을 가짐.

- 절곡 각도 : 180°
- 절곡가능본수(D16기준) : 5EA
- 작업대 이송 속도 : 5m/min
- 절곡 속도 : 4sec/180°
- 철근 절단 최적 스케줄링 및 최소 손실 시뮬레이션 가능
- 데이터 원격 전송 가능



< 전체 시스템 구성도 >

제 3 절 관련분야의 국내외 기술개발 현황

1. 산업분석

가. 특허 로드맵

(1) 동향분석 결과 및 시사점

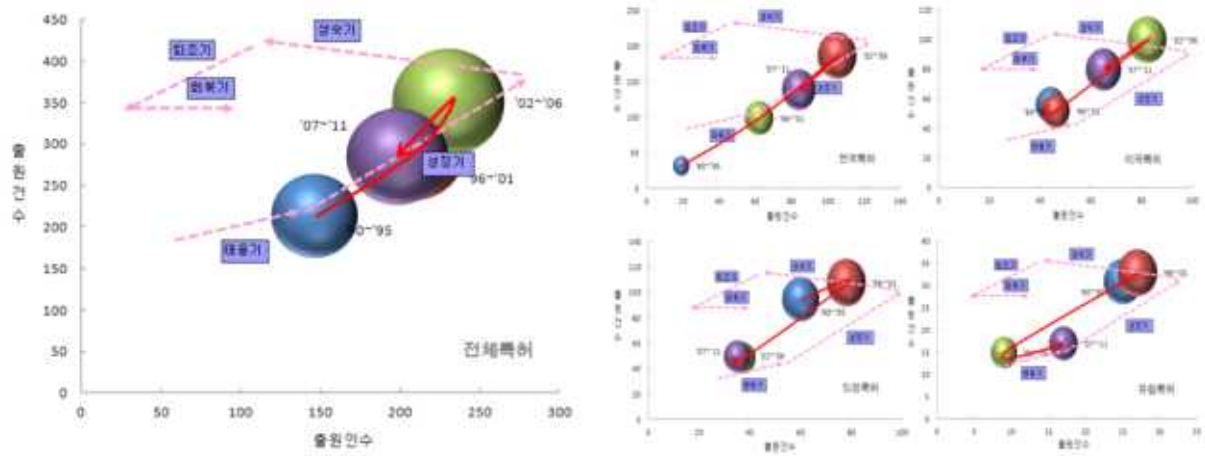
○ 철근 가공 시스템 기술에 대해 특허출원 동향을 분석한 결과, 전체 특허의 연도별 출원 동향은 2001년, 2003년, 및 2009년에 80건 내외의 피크치를 기록하며 1990년대에 비해 활발한 특허 활동이 이뤄진 것으로 나타남. 한편, 2007~2008년도와 2010~2011년도 다시 소폭 출원건수의 하락세를 보인 것으로 조사됨(그림1)



※분석구간 : ~2011(출원년도)

< 철근 가공 시스템 기술 특허의 연도별 동향 >

○ 이를 출원인수와 출원건수를 통해 도출한 기술 위치(그림2)로 살펴보면, 전체적으로 1구간에서 3구간(1990년~2006년)에 걸친 성장기를 지나 4구간(2007년~2011년)에서 기술발전의 정체를 겪고 있는 것으로 분석되며, 이는 글로벌 금융위기와 함께 2000년대 후반부터 현재까지 지속되고 있는 세계 철강 산업의 불황과 맞물린 시장 흐름이 반영된 것으로 사료됨



※ 분석구간 : '90~' 95, '96~'01, '02~'06, '07~'11 (출원년도)

※ X축: 출원인수(특허권자수), Y축: 출원건수(특허건수)

<포트폴리오로 본 기술발전도>

○ 그러나, 국가별 기술 위치에서 일본과 유럽이 기술발전의 정체를 지나 4구간(2007년~2011년)의 회복기에 접어들어 있는 점을 고려하면, 전체 기술의 위치도 현재의 퇴조기를 벗어나 회복기에 들어설 것으로 전망됨

○ 전체 특허에 대해 다출원인은 한국건설기술연구원(KR), TOYO KENSET -SU KOKI(JP), 김광호(KR), 현대제철(KR), MAX(JP), SHIMIZU(JP), 동방엔지니어링(KR), 이창남(KR), AAKITEKKU(JP), 이세원(KR) 등으로 집계되며, OGURA(JP), OSCAM(IT), Smart Structures(US), CONSEC(JP), OHBAYASHI(JP) 등의 출원인도 철근 가공 시스템 기술 분야에서 활발한 특허활동을 벌이고 있는 것으로 나타남

○ 철근 가공 시스템 기술은 각 국가별로 자국 업체 및 개인에 의한 출원활동이 두드러진 기술로 파악되며, 미국과 일본에 비해 상대적으로 한국과 유럽에서 개인에 의한 출원활동이 활발한 것으로 나타남. 일본과 유럽의 출원인은 미국 내에서도 활발한 특허활동을 전개하고 있음

○ 세부기술별 출원동향을 살펴보면, 철근 가공 시스템 분야가 67%(784건)로 가장 많은 비중을 차지하고, 철근 가공 계획 시스템 분야가 24%(278건), 철근 가공 프로그램 생성 및 네트워크 시스템 분야가 9%(103건)로 나타남



※분석구간 : ~2011(출원년도)

<세부기술별 출원동향>

○ 특허 점유율 및 증가율로 본 포트폴리오(그림4)에서, 철근 가공 계획 시스템 분야와 철근 가공 프로그램 생성 및 네트워크 시스템 분야는 점유율 및 증가율이 모두 평균에 미치지 못하여 초창기 기술인 것으로 나타났으며, 특히, 철근 가공 프로그램 생성 및 네트워크 시스템 분야가 점유율이 보다 낮고 더 큰 폭의 마이너스 증가율을 보이고 있어 기술개발이 시작된 지 얼마 되지 않아 발전이 더디게 진행되고 있는 도입 기술인 것으로 분석됨



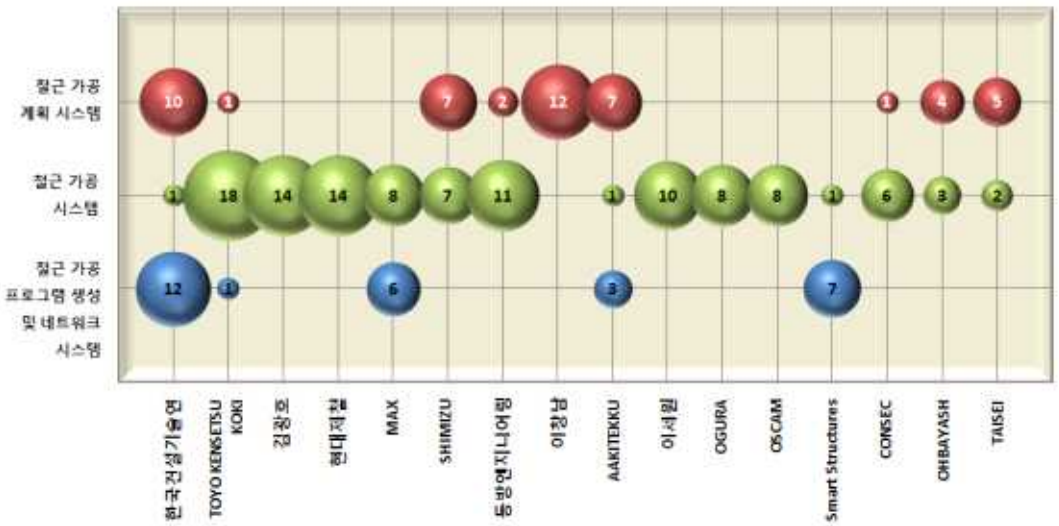
1. 제 1출원인 기준
2. 분석구간: '01~ '10(출원년도)
3. X축: 100%/기술분야 개수, Y축: 분석구간의 연평균 증가율의 기하평균값
4. 분석의미: 1사분면- 지속적으로 특허출원이 활발, 2사분면- 최근 특허출원이 활발
3사분면- 초창기(도입기) 기술, 4사분면- 최근 특허출원이 감소추세

<특허점유율 및 증가율에 따른 포트폴리오 분석(중분류별)>

(2) 심층분석 결과 및 시사점

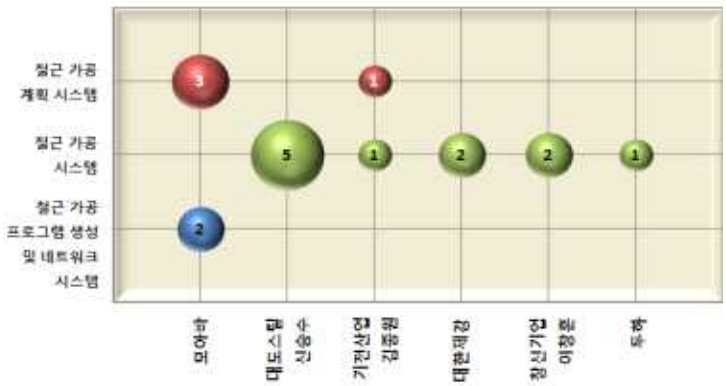
○ 철근 가공 시스템 기술의 주요출원인들(한국건설기술연구원, TOYO KENSETSU KOKI, 김광호, 현대제철, MAX, SHIMIZU, 동방엔지니어링, 이창남, AAKITEKKU 등)은 철근 가공 시스템 분야에서는 모두 활발한 특허 활동을 전개하고 있는 반면, SHIMIZU, 동방엔지니어링, 이창남, AAKITEKKU, OHBAYASH, TAISEI 는 철근 가공 계획 시스템 분야에서만 역점을 두어 특허 출원하고 있으며, 한국건설기술연구원을 비롯하여, MAX, AAKITEKKU, Smart Structures 는 철근 가공 프로그램 생성 및 네트워크 시스템 분야에 역점을 두어 특허 출원하고 있는 것으로 나타남

○ 철근 가공 시스템 분야가 높은 특허 장벽을 형성하고 있는 데 반해, 철근 가공 계획 시스템 분야와 철근 가공 프로그램 생성 및 네트워크 시스템 분야는 특허건수 및 주요 출원인의 수가 적어 특허 기술에 있어 공백을 형성하고 있는 것으로 분석됨



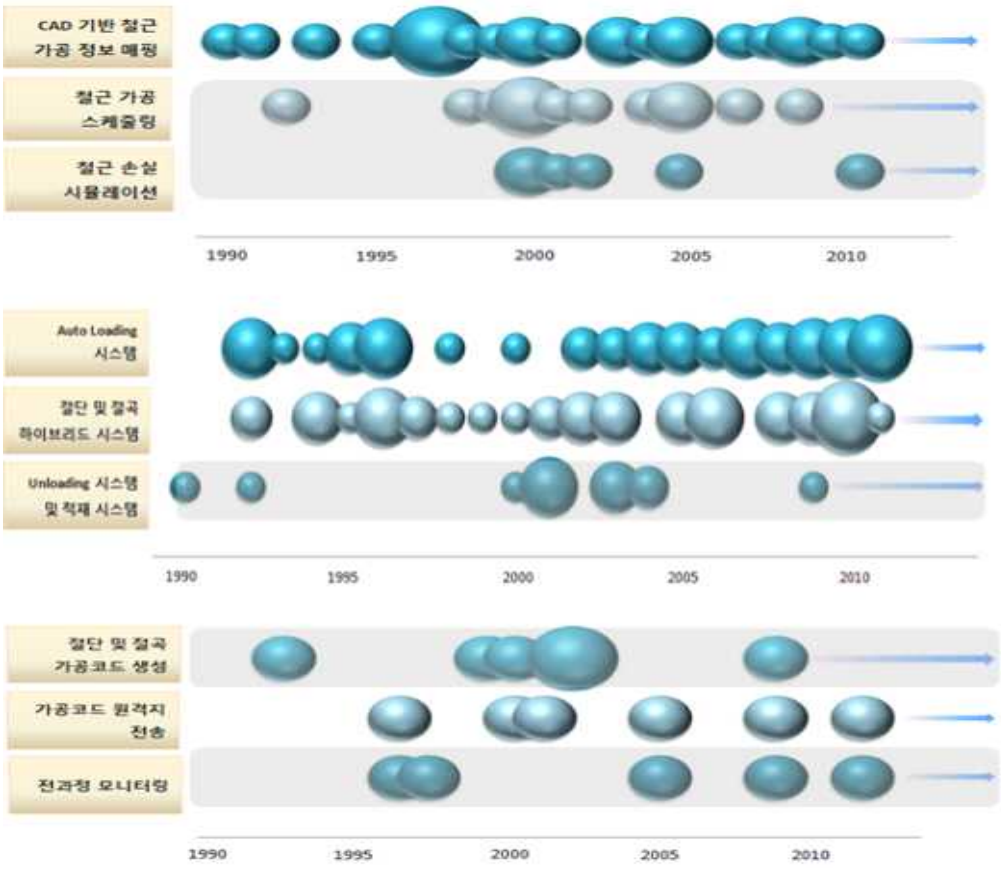
<주요출원인의 역점분야 및 공백기술>

○ 철근 가공 시스템 기술의 주요 경쟁업체로 선정된(시장동향 참조) 대도스틸(출원인: 신승수), 기전산업(출원인: 김종원), 대한제강, 창신기업(출원인: 이창훈), 두하는 철근 가공 시스템 분야에 역점을 두어 특허 출원하고 있는 것으로 나타났으며, 선정된 경쟁업체 중 모아바는 철근 가공 계획 시스템과 철근 가공 프로그램 생성 및 네트워크 시스템 분야에 역점을 두어 출원하고 있는 유일한 업체로 파악됨



<경쟁업체의 역점분야 및 공백기술>

○ 따라서, 철근 가공 계획 시스템 분야와 철근 가공 프로그램 생성 및 네트워크 시스템 분야는 신규 특허 확보에 유리한 기술 분야로 파악되며, 특히, 철근 가공 계획 시스템 분야 중 철근 손실 시뮬레이션 기술과 철근 가공 스케줄링 기술, 또한, 철근 가공 프로그램 생성 및 네트워크 시스템 분야 중 절단 및 절곡 가공코드 생성 기술과 전과정 모니터링 기술은 향후 원천특허 및 핵심특허의 확보를 위해 더욱 집중 개발되어져야할 기술로 판단됨



<세부기술별 시계열적 흐름도>

나. 시장 동향분석

(1) 철강산업 최근동향

- 2013년 글로벌 경기는 제한적인 성장에 그칠 것으로 전망되고 있고, 글로벌 철강재 소비량 증가율 미미할 것으로 전망되고 있음.
- 반면 중국 신규 철강설비가 가동되기 시작하면서 공급과잉 폭은 오히려 현재 수준보다도 확대될 수 있음.
- 하지만 10여 년간 급등했던 원료 가격이 하향 안정화되면서, 철강산업 패러다임의 변화가 예상됨.
- 공급과잉 환경 속에서 주력 수출 시장마저 비슷한 중국산 저급재와의 경쟁이 심화될 수 있으며, 내수 시장에서도 중국산과의 경쟁에서 자유롭지 못한 상황임.
- 2010년 이후 철강업 부진 원인을 살펴보면 서브프라임 사태로 인한 글로벌 금융위기를 시작으로 철강산업 업황 측면에서는 2009년부터 4년째 불황이 이어지고 있음.
- 철강 수요산업 회복 지연. GDP 핵심을 이루고 있는 조선, 가전, 기계 산업 등 본격적인 제조업 회복이 지연되고 있음.
- 전 세계 철강수요의 약45%를 차지하는 중국의 성장이 정체를 보이고 있음. 자동차생산이 다소 증가세를 유지하고 있는 가운데 철강수요의 50% 이상을 차지하는 건설업은 규제 완화조치 미흡으로 회복이 둔화되고 있고 조선산업, 가전산업 역시, 부진한 상황을 보이고 있음.
- 10여 년간 이어진 철강 원료가격 슈퍼사이클에 변화가 올 수 있음.

  철강 원료가격 급등으로 철강산업에 구조적 변화가 다시 한 번 나타날 수 있다고 판단함.

- 신규 광산에서의 철광석 증설과 함께, 원료사의 다변화와 광산 개발 지역 다변화도 중요한 요소이며 철광석을 독점하고 있는 원료 Big3사의 신규 증설 물량도 여전히 높은 비중을 차지하고 있지만, Big3사 이외 업체들의 물량도 큰 폭으로 늘어날 예정임.
- 직접적인 원료 투자에 부정적이었던 일본 철강사들 역시 자급률 개선을 위해 노력중
- 대규모 설비 증설로 국내 철강산업 생산능력 증가

(2) 철강 가공산업의 최근동향

(가) 개요 및 공장가공 필요성

- 오늘날 건설공사 중 철근공사는 보다 다양해진 설계로 인하여 복잡 다양해 지고 있음.
- 특히 도심지 내의 건설현장은 협소한 가공장 확보의 어려움과 각종 환경규제로 인하여 현장 내에서의 철근 가공작업 시 많은 문제점이 발생하고 있음.
- 이러한 문제점을 보완하고 향상시키기 위해서는 철근시공도의 표준화 및 이와 관련된 공장자동화 철근가공 기술을 바탕으로 자재절감, 인력절감 및 품질과 생산성의 향상을 기하여 공기단축 및 경제성 향상 등 효율을 높임으로서 국내 건설시장의 해외 개방화에 대비한 경쟁력 강화로 건설기술의 선진화를 이룰 수 있어야 함.
- 철근 시공도에 의한 정밀시공 시 정밀가공 작업이 선행조건 임
- 정확한 시공도 및 가공도 추출
- 최적의 정척도출로 자재의 Loss 최소화
- 인력 및 자재절감을 통한 경제성 확보
- 자동 가공설비에 의한 정밀 가공납품
- 자동화로 인하여 숙련된 기능공 부족 해결
- 철근시공도의 표준화 기반구축
- 철근공사 공정의 전문화 및 계획적인 시공관리
- 철근 가공조립의 시공성 향상 및 조립 시 문제발생 요인 감소
- 정부주도 공사발주 시 발주처에서 표준화된 시스템에 의한 고품질의 철근공사 요구
- 자동화 가공설비에 의한 정확한 규격의 철근가공 요구
- 사전계획에 의한 선가공이 가능하여 대형공사 시공 시 철근의 가공시간을 줄임으로서 공기단축
- 산재된 현장의 경우 총괄적 주문, 가공, 납품으로 자재관리가 용이함
- 도심지 작업 시 발생할 수 있는 민원 등과 현장 작업시 발생할 수 있는 각종 환경규제 등을 피할 수 있음.
- 현장관리가 어려워 소모되는 스크랩의 100% 재활용

(나) 철근 공장자동화 가공산업 최근 동향

- 가공철근의 비중은 20~30% 정도로 볼 수 있으며 최근 현장가공에 비해 공장가공이 늘고 있다는 점은 누구나 인정하는 부분임.
- 한편 한국철근가공업협동조합(이사장 유제철)의 조사에 의하면 조합 소속 업체는 전국에 30여 개, 조합 비소속 업체는 전국에 90여 개가 분포해 약 120여 개 업체가 철근

가공시장에서 사업을 영위하는 것으로 알려졌음.
- 일본은 이미 철근 가공산업이 대세로 자리 잡았음.

(다) 철강가공산업 주요 업체동향
- 기전산업 : 이태리 슈넬사의 최신 가공설비의 경우 가공속도가 기존설비에 비해 4배 이상 빠르고, 보다 다양한 형상으로 가공이 가능함.
- 극동산업 : 현장별 아이디와 패스워드로 현장 내 가공현황 파악 용이 국내 최대용량의 절단기 도입(22mm의 철근 20본 동시 절단 가능)
- 모아바 : EasyBar는 철근가공관리를 위한 어플리케이션으로서 클라이언트/서버 형태로 개발되어 네트워크 상에서 다수의 사용자가 동시에 업무를 수행 할 수 있슴. 특히 통합 데이터베이스는 네트워크를 통해 철근가공과 관련된 모든 정보를 실시간으로 제공하고 있어 효율적인 업무 수행이 가능. (Barlist의 자동 추출, 최적의 정적도출, 다양한 보고서 창출가능)
- 창신기업 : 최소의 인원으로 보다 많은 철근을 짧은 시간에 안전하고 균일하게 작업함을 목적으로 설계(철근투입 CONBEYER (UNLODING CONVEYER), CUTTING M/C (HYDRAULIC REBAR SHIEALING M/C), 소재 CONVEYOR (FEEDING CONVEYOR W/T 10M), BENDER M/C 35Φ, 45Φ, 60Φ)
- 대도스틸 : 공사 및 고객 관리, 바-리스트 자동 산출 , 최적의 가공을 위한 정적 도출, 일일 생산계획 및 생산 실적관리, 생산계획 이월, TAG 출력, 출하 및 반품 관리, 입고, 투입에 대한 재고 관리, 가공비, 운송비 등의 기성산출 등의 관리시스템
- 디피피아 : 업계 최초, 가공관리시스템(BMS:Bar Management System) 개발. 디바피아의 신규 관리프로그램인 BMS는 기존의 단순 물량산출 수준에서 벗어나 원자재 입고에서부터 완성품 출하까지 전 공정을 관리하는 전산프로그램임. Bar Code System을 적용하여 정확한 물량출하와 송장생성이 가능 가공진행 상황의 모니터링, 전 공정의 진행상황을 모든 고객이 웹에서 확인 가능
- 대한제강 : 철근 생산에서 가공・배송・현장관리까지 일괄 처리하는 시스템으로서 건설현장의 철근 공급경로는 일반적으로 건설사의 도면설계→도급업자의 시공상세도(Shop Drawing・실질적으로 시공을 위해 부분별로 상세하게 그린 도면) 작성→건설사의 철근 주문 →제강사의 철근 생산 →가공업체 작업→현장 조립
- 린건설 (웹 기반 분산형 린건설 정보시스템 개발) 건설 프로젝트에서 자재조달과정은 개선이 필요한 대표 프로세스라 할 수 있으며, 철근공사는 금액비중이 크고, 공정 측면에서도 주공정(Critical Path)에 속해 시설물의 구조적 안전성과도 직결되는 주요 관리대상임. 공장가공 환경에서 철근공사 관련 주체들이 요구하는 업무지원시스템을 개발

다. 사업 타당성(경제성) 분석

(1) 과제의 개요

- 본 과제는 수진업체의 연구개발과제 철근가공시스템에 대한 경제성분석을 위한 용역으로 시장성, 사업의 매력도, 재무계획 및 현금흐름 등을 토대로 종합적인 판단을 실시하였음.
- 사업화 추진을 위한 내,외부적 환경에 대한 전반적인 전략적 판단의 기초 자료로 유용하게 활용할 수 있음.

(2) 회사의 개요 및 역량

- 수진기업은 2002년 설립하여 우수한 연구개발인력을 바탕으로 연구/교육/의료용 로봇 및 산업용설비 등을 연구개발, 제조하는 기업으로서 연매출 13억 내외로 지속적인 성장을 하고 있는 기업임.
- 벤처기업, ISO 9001, ISO 14001, 연구개발전담부서인증, 클린사업장 및 다수의 특허, 실용신안을 보유하고 있음.
- 수진기업은 지속적이고 상호 윈윈이 가능한 우수한 산학협력 Network 체제 구축되어 있으며 다양한 연구개발 과제 수행경험이 있고 석,박사급 우수한 연구개발 인력을 확보하고 있음. 특히, 로봇 및 자동화 시스템 관련 경험과 노하우가 많으며 급변하는 시대 조류에 부응하는 신규 아이템 연구개발 및 사업화 능력이 뛰어남.

(3) 계획사업의 개요

- ‘공장가공방식을 위한 원격 철근가공시스템 개발’ 은 현장가공방식의 애로사항을 해소할 수 있는 시스템으로서 공사발주 시 발주처에서 표준화된 시스템에 의한 고품질의 철근공사 요구되고 있으며, 자동화 가공설비에 의한 정확한 규격의 철근가공이 필요하고 사전계획에 의한 선가공이 가능하여 대형공사 시공 시 철근의 가공 시간을 줄임으로서 공기를 단축시킬 수 있는 혁신적인 시스템임.
- 본 시스템의 완성 및 사업화 시 국내외 정부/지자체 출연 연구기관 및 철근가공관련 기업과 기업부설연구소 등을 주된 대상으로 판매가 가능함.

(4) 시장개요

- 철강산업은 최근 한국과 중국을 중심으로 지배력이 증대되고 있으며 특히 한국은 철강산업은 불모지에서 비약적 성장을 하였음.
- 철강산업은 한국 산업발전의 초석(‘70~’ 80년대 초고속 성장)이며 세계 유례없는 고속 성장을 이루어 내었고 특히, 자동차, 조선 등 철강수요산업과 동반 성장을 이루었음.

- 철강은 기능이 다양하고 친환경적인 소재로서 뛰어난 기계적 특성, 가공성, 내식성 등으로 다양한 산업분야에 광범위하게 적용 가능하며 타 소재에 비해 재활용성이 가장 우수함.
- 국가별 세계 생산(조강기준) 및 수출(최종재)에서 6위 점유하고 있으며, 고부가가치 판재류 제품에서 높은 경쟁력 확보하고 있음.
- 철강의 생산과 소비량은 중국이 1위를 차지하고 있으며 한국의 경우 1인당 연간 철강소비량이 세계 1위(2011년, 1,165Kg)를 차지하고 있음.
- 환경관련된 철강산업 이슈를 살펴보면, 철강산업에 대한 온실가스 규제 현실화되어 있음.
-환경 Cost 부담 지속 증가 가운데, 철강사간 주요 경쟁요소로 부상함.
- 글로벌 경제는 저성장 국면이 지속되고, 철강재 수요 부진도 2013년까지 이어질 전망.
- 반면 중국 공급과잉 폭은 더욱 늘어나고, 국내 역시 철강사들의 대규모 설비 증설이 마무리되면서 2013~14년 에 수급 불균형이 다시 나타날 가능성이 높음.
- 철강 수요가 소폭 증가하고 2012년 노후화된 생산 시설이 일부 정리 되었음에도 불구하고 개발도상국을 중심으로 한 신규 생산 시설의 증가로 글로벌 철강산업의 공급 과잉은 1년 전에 비해 더 늘어난 것으로 나타났슴.
- 2013년 철강기업들이 직면한 가장 큰 도전과제는 기업가치와 비용 경쟁력을 유지하는 것이며 이를 위해서는 새로운 운영 환경에 대비하기 위한 최적의 준비가 되어있는지 평가하고 대응해야 함.

(5) 사업매력도

- 높은 기술력이 필요한 진입장벽이 높은 산업으로서 연구개발 성공적 완수 시 철근가공산업에서의 파급효과는 클 것으로 판단됨(산업매력도 上)

성장성	수익성	안정성	종합
최근 성장이 다소 둔화되었으나 2000년대 이후 성숙기 진입에도 불구, 중국 효과로 고성장을 유지하고 있음.	경제성 분석결과 당기순이익 기준 1차년도 16%에서 5년후 25%로 상당히 높은 수준으로 개선예상	철근의 현장가공상 제반 문제점을 해결하고 시/공간적인 효율성 증대에 따른 수요창출 가속화 예상	철근가공결과를 미리시뮬레이션하고 최적화하며 원격가공을 통한 편의성 확보가 가능한 파급효과가 큼
중	상	상	상

(6) 사업수행 능력평가

- 우수한 시스템 연구개발 능력을 바탕으로 철근가공시스템의 개발 및 시제품화의 역량 확보 및 국책연구개발 과제를 통한 연구개발 사업화 추진 中
- 기술개선을 위한 학,연 Network 체제 마련잠재고객에 대한 예비수요조사 및 의견반영 등의 사전 활동
- 1차 양산 이후에도 향후 지속적인 기능/성능개선의 업그레이드를 통한 고객의 편의성을 지속적으로 증대해 나아갈 계획
- 시장 진입 시 잠재고객이 수용 가능한 가격경쟁력의 확보
- 다만, 연구개발 사업화 추진을 위한 신규사업 추진 투자비용 다소 부족한 편임
- 개발기술에 대한 기술적 진입장벽 형성을 위한 지적재산권의 출원
- 현재 영업시스템은 대표자와 연구소장 등 주요 임원을 중심으로 직접 영업을 수행하고있음. 향후 개발완료 후 사업화 연도부터 전문 영업인력의 채용 및 체계적인 영업/홍보 및 수주활동을 전개해 나아갈 예정
- 제품컨셉, 판매대상, 단가 등 마케팅 활동에 대한 기본적인 방향과 아이디어는 정립되어는 있으나 구체적인 STP 및 4P전략은 다소 미비한 편이며 개선이 필요함.
- 시장을 좀 더 세분화하여 잠재고객 대상을 명확히 설정하고 각 사업화 연도별 Target과 접근경로 및 4P 전략의 구체화 필요함.
- 특히 촉진전략(광고, 홍보 및 수요촉진을 위한 온/오프라인상 다양한 홍보전략이 필요함)

비즈니스 모델	연구개발 및 사업화	영업/마케팅
현장가공의 제반 단점을 극복하고 수주, 검토에서부터 가공 및 납품까지의 전과정을 시스템화 된 공장가공을 통해 실시간 모니터링과 피드백이 가능한 효율적이고 생산적인 비즈니스 모델임	개발제품의 사업화를 위한 연구개발 역량과 개발환경은 우수한 편임. 다만, 사업화를 위한 전문인력의 확보, 신규사업 초기 투자비용의 확보 등이 주된 해결 과제임	개발기술의 제품화와 성공적인 사업화를 위해서는 향후 전문 영업인력의 확보 및 세부적인 마케팅전략의 보완이 필요할 것으로 판단됨.
상	중상	현재 하 => 향후 상

(7) 재무계획

○ 요약

- 매출, 투자, 상각, 원가, 판관비 및 손익계획과 추정 BS 주요 항목을 요약내용

구분(천원)	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년	비고
매출액	390,000	816,790	1,698,923	2,690,426	3,776,832	손익계산서참조
순현금흐름	60,797	187,720	866,942	866,942	1,800,374	자금수지표참조
매출원가	280,170	585,270	1,198,710	1,812,150	2,435,760	손익계산서참조
판관비	35,068	58,738	66,398	102,792	115,447	손익계산서참조
영업이익	74,762	172,782	433,816	775,484	1,225,624	손익계산서참조
순이익	63,899	144,023	350,109	618,428	972,283	손익계산서참조
자산	513,058	405,723	701,233	1,581,861	2,652,944	재무상태표참조
부채	420,157	168,800	114,200	376,400	475,200	재무상태표참조
자본	92,901	236,923	587,033	1,205,461	2,177,744	재무상태표참조

○ 계획재무비율

- 경영기본부문(자산, 매출액 증가율, 이익률지표 및 효율성지표) 우수하게 나타남.
- 재무부문(회전율 및 이익률 각 지표) 우수하게 나타남
- 생산, 판매 관련 각 지표 역시 우수하게 나타남
- 기업체질분석결과 수익력, 지불능력, 활력, 지구력, 성장력 각 부문별 지표 우수하게 나타남
- 계획 BEP의 경우 BEP율 (계획매출대비 BEP 매출수준)은 3개년 모두 50% 미만으로 나타났으며 특히 사업화 년차가 늘어날수록 매출액 증가에 따른 공헌이익의 증가로 손익분기점율이 지속적으로 감소하는 추세로 나타남.
- 따라서 안전여유율도 60%내외로 상당히 높게 나타남.

(8) 경제성분석

- 자금수지 : 자금수지분석 결과 향후 사업화 5개년 동안 (+)의 순현금흐름을 나타내며 점차 상승할 것으로 예상됨.
- 현재가치법(NPV) 결과 : 5년간 순현금흐름의 현가는 14억 수준으로 (+)값을 나타

내 경제성이 있음으로 판단함.
- IRR분석 결과 : IRR = 6% 로 (+)값을 나타나 신규사업의 경제성이 있는 것으로 판단함

(9) 종합의견

- 회사는 미래 성장동력인 철근가공시스템의 개발 및 공급사업을 통해 향후 지속가능한 고성장이 예상되며, 매출과 손익이 지속적으로 증대, 개선되는 재무구조가 예상됨.
- 현재가치법과 내부수익률법을 이용한 신규사업에 대한 투자안의 경제성 분석결과 사업에 대한 경제성과 타당성이 있는 것으로 나타남.
- 다만, 중견기업 및 대기업과 납품관계 구축 시 거래에 적용할 단가 책정 시 협상에서 밀려서 불리한 단가를 책정 받게 될 경우 매출 및 손익에 상당한 변화를 초래할 수 있으므로 이 부분에 대한 철저한 준비가 선행될 필요가 있음.

2. 국내 기술 및 산업 동향

가. 국내 건설 철근가공 산업동향

○ 철근 콘크리트 공사 중 철근공사는 거푸집공사와 더불어 구조물의 안전성과 내구성 및 공사기간에 많은 영향을 미치고 원가측면에서도 매우 중요한 공사임에도 불구하고, 실행예산을 편성하기 위한 물량산출단계에서부터 시공 및 관리방식에 이르기까지 노동집약적인 특성과 과거의 관리방식을 그대로 유지하고 있어 철근자재의 손실에 따른 원가상승 등의 문제가 심각하다고 할 수 있음.

○ 이러한 현실을 바탕으로 철근공사의 원가를 절감하기 위해 철근 공장가공, 선조립 철근 및 철근 적시공급시스템 개선 등이 진행되어 왔으나, 여전히 철근공사는 철근 자재 손실, 배근 생산성 저하 등과 같은 고질적인 문제점이 개선되지 못하고 있는 실정임.

○ 철근 공장가공은 철근의 절단 및 절곡작업을 자동화 시설을 갖춘 공장에서 실시하여 현장에 반입하는 것으로 가공된 철근의 품질이 우수하고, 도심지와 같이 야적장이 부족한 환경에 유리할 뿐 아니라, 현장 작업을 줄여줌으로써 공기단축과 현장노무인력의 감소를 가져다 줄 수 있어 향후 숙련된 노무 인력의 부족과 도심지 재개발에 따른 도심지 공사 증가가 예상되기 때문에 철근 공장 가공 수요는 더욱 증대될 것으로 예상됨.

○ 2007년 기준으로 전체 철근 공사 중 약 15~20% 정도가 철근 가공 공장에서 가공되는 것으로 추정되며, 2008년 12월 현재 국내 85개의 철근 전문가공 공장이 있으며, 대부분 단순 수동 가공기계를 갖춘 소규모 가공업체임.

○ 최근에는 철근 가공에 대한 관심이 고조되면서 GS건설 등 대형 건설사에서 철근 가공설비를 구축하여 사업을 추진하고 있으며, 대한 주택공사의 가공 발주량의 증가에 따라 제강사의 가공사업 진출도 지속적으로 검토되고 있어, 향후 급격한 수요 확대가 예상됨.

나. 철근가공 연구 및 기술개발 동향

○ 철근의 공장가공과 관련하여 기존 연구는 철근가공 형상 표준화, 배근시공도 작성 및 철근가공형상표 산출 업무 전산화, 배근작업의 표준화, 철근자재 추적시스템 등에 초점을 맞추어 수행되었으나, 이들 대부분의 국내 연구들은 정성적인 분석을 통하여 정책이나 방향을 제안하는 정도이며, 실제적인 정량적 연구는 거의 찾아보기 어려움.

○ 철근가공과 관련한 최근의 기술개발은 (주)건우기계에서 로봇을 이용한 복합가공기를 개발하였으며, 태연기계(주)에서 절단과 절곡을 동시에 수행할 수 있는 복합 자동화 시

스템을 개발하고 있음.

○ 그러나, 이러한 연구나 기술개발은 정책적 제안으로만 제시되거나 단순 하드웨어적인 기계장치 개발중심으로만 추진되고 있으며, 이는 철근 가공이 건설업체와 감리, 시공사 등 복합적인 이해관계와 철근가공을 위한 소프트웨어적인 최적화 기술, 철근의 자재관리 등의 관리 시스템 등 종합적인 측면에서 볼 때, 향후 개선해야할 문제점이 많음.

3. 국외 기술 및 산업 동향

○ 일본의 경우, 공장가공방식의 비율이 현저히 높으며, 네트워크를 통한 시스템이 뛰어나 가격 경쟁력 및 시스템의 효율을 유지하고 있음.

○ 일본은 이미 철근 가공산업이 대세로 자리잡고 있으며, 연간 총 철근수요의 (한국은 20%정도임에 반해) 90%가 가공철근이며, 일본을 포함한 선진국에서는 정부 관리화에 따른 공장 가공이 정착되어 있으며, 실제로 현장 타설 말뚝이나 일부 토목공사를 제외하고는 대부분 공장 가공철근을 사용하고 있음.

4. 국내 산업현장 분석(협신철강)

가. 기업정보

○상　　호 : ㈜협신철강 가공센타

○주　　소 : 경북 영천시 대창면 사리리687번지

○ 홈페이지 : http:// ezhssteel.co.kr

○ 부　　지 : 총5,000평

○ 제조시설 : 공장동 3개동 900평

○ 사 무 동 : 100평 -야적부지 : 4,000평

○ 생산능력 : 가공 약 6,000톤/月 약 250톤/日, 커플러 약 25,000Set/月

○ 주요실적

- 토목 : 고속철도, 고속도로, 국도, 지하철, 교량(ILM,FSM,MSS등), 터널,전력구, 통신구, 수수시설 등

- 건축 : 주상복합, 상가, 마트, 아파트, 변전소, 공공시설, 공장



<협신철강 전경>



<협신철강 장비 및 생산능력>

○ 가공공장 설비현황 : 해외산(이테리, 일본)설비 및 국산설비의 장점을 적절히 MIX하여 최적의 가공시스템을 구축하여, 품질 및 납기, 가격경쟁력을 높이고 있음



<협신철강 가공품 TAG>

SD철근 입 출고 현황 및 재고 현황

일 자 : 2009-04-01

규 격	M	입 고	반 출	전월수모현황 SD철근	창형재고(kg)	출 고	잔 량
HD10	5	597,831		536,068	61,763	520,454	15,614
	6				0		
계		597,831		536,068	61,763	520,454	15,614
HD13	7				0	901,293	27,038
	7.3	52,832		32,716	20,116		
	8	603,580		557,474	46,086		
	9	338,692		333,927	4,723		
	10	107,460		104,214	3,246		
	11				0		
	12				0		
계		1,002,562	0	928,331	74,171	901,293	27,038
HD16	7				0	324,841	9,148
	7.8	25,298			25,298		
	8	100,356		93,094	13,260		
	8.5	55,720		49,133	6,587		
	9	103,194		102,742	452		
	9.5	26,688		26,688	0		
	10	80,496		42,532	38,164		
	11				0		
	12				0		
계		397,751	0	313,689	83,762	324,841	9,148
HD19	7	52,576		39,009	13,567	1,331,831	39,953
	8	292,320		243,390	48,930		
	9	78,901		74,886	4,015		
	10	1,038,060		960,840	77,220		
	11	53,460		53,460	0		
	12				0		
계		1,515,317	0	1,371,584	143,733	1,331,831	39,953
HD22	7	26,000		26,569	-1,569	824,673	24,746
	8	369,687		363,112	6,575		
	9	130,548		130,157	391		
	10	288,469		285,501	2,968		
	11				0		
	12	33,190		44,080	-10,890		
계		867,094	0	849,619	17,475	824,673	24,746
HD25	7				0	0	0
	8				0		
	9				0		
	10				0		
	11				0		
	12				0		
계		0	0	-	0	0	0
HD25 (SD500)	7	80,240		54,162	26,078	838,058	18,242
	8	159,953		81,530	78,423		
	9	101,303		93,225	8,078		
	10	240,700		239,135	1,565		
	11	78,548		73,578	4,970		
	12	102,306		84,670	17,636		
계		763,168	0	626,298	136,870	838,058	18,242
총 계		5,143,663	0	4,625,589	517,774	4,491,150	134,739

<재고관리표>

가공 출하 명세서 10

출하일자			작성일자	2009-01-10
관리번호		가공부호		화신철강
거래처명		구조물명		
현 장 명		출하방법	- -	

No	Type	모양기호	종별	H	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	중량(kg)	본수	총량	가공불량
10			HD		4000	210												3.973	12	96	
20			HD		5700	210												5.665	8	56	
30			HD		1160	210												1.153	12	8	
40			HD		8000	210												7.950	12	96	
50			HD		5300	210												5.268	8	56	
60			HD		3300	210												3.281	20	40	
70			HD		4200	210												4.175	12	4	
80			HD		3500	210												4.175	8	16	
90			HD		6000	210												7.155	8	32	
100			HD		9000	210												8.943	12	8	
110			HD		1700	210												2.028	4	4	
120			HD		7200	210												7.155	14	16	
130			HD		2000	210												1.987	12	12	
140			HD		8300	210												8.247	14	32	
150			HD		2700	210												2.683	4	12	
160			HD		8000	210												7.950	8	16	
170			HD		4000	210												4.773	16	48	
180			HD		5100	210												5.069	12	32	
190			HD		4000	210												4.773	8	32	
200			HD		600	210												1.193	8	8	
210			HD		3100	210												3.081	8	8	
220			HD		8000													9.550	3.786	12.324	

	총 계	마감수	전 량	15,078	Loss	13,470

직경	중량	Loss	직경	중량	Loss	직경	중량	Loss
H10	13,078	13,470						

출 하	장비	크기	고장	부장

<가공출하명세서>

나. 생산프로세스
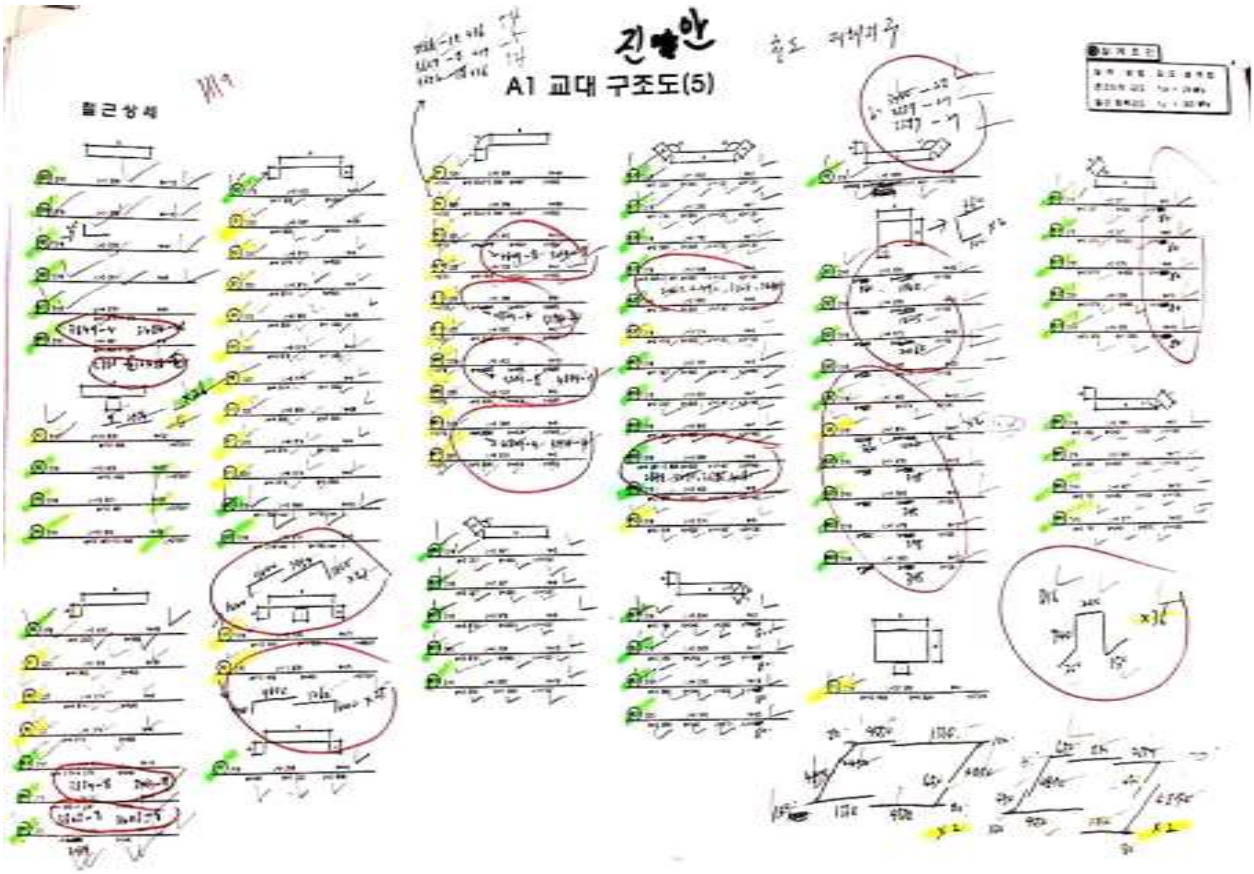


<(주)협신철강 생산프로세스>

다. 특징

○ 자동화의 어려움

○ 3D 프로그램의 문제점

○ 다양한 소프트웨어의 부재 (대부분 CAD 프로그램만을 활용하고 있음)



<(주)협신철강 철근 재료표>

(1) 생산설비의 특징

(가) OSCAM RED LINE

○ 이탈리아 OSCAM 절단기로 한번에 D32 12본 동시 절단가능 일 200TON 절단가능

○ (D13소밴딩 60본 절단, D60 5본 절단가능)

○ 치수입력 방식으로 한철근에 최대 10번 원터치 절단가능




<OSCAM RED LINE>

(나) OSCAM FUTURA

○ 컴퓨터에 형상, 치수, 각, 규격, 개수 등을 입력하면 모니터에 가공 드로잉이 생성됨

○ D60까지 2가닥 가공가능 (최대 10곡 가능)

○ 헤더다운 방식으로 정, 역 방향 한번에 가공가능 (세계유일)





<OSCAM FUTURA>

(다) OSCAM 일반 절곡기

○ 쉬운 DIA 교체가능 각, 개수 입력바방식 최대 10곡 점각 입력가능

○ 도요 大 알 밴딩기 (D41까지 가공가능)




<OSCAM 일반 절곡기>　　<인력에 의한 절근 수동 피딩공정>

(라) 태연 절단기, 절곡기

○ TYC-HD60 절단기 : D60까지 가공 가능

○ TAB-HD25(A) 절곡기 : D25까지 가공가능, 5헤드 방식으로 한 번에 5곡점 가공가능



<TYC-HD60>



<TAB-HD25(A)>

마. 장단점 분석

(1) 국내 생산 대응

○ 주요 거래 기업이 대구-경북 관련 기업으로 생산 대응이 빠르게 대응하고 있음

○ 비록 수작업이긴 하지만 생산 공정을 최적화 하여 다른 업체에 비해 빠른 생산속도를 보이고 있음

(2) 생산현장 분석

○ 생산현장은 가공업체의 특성상 청결성은 떨어지는 것이 일반적이지만 소재의 적재공간 및 작업공간이 부족함

○ 생산 후 소재 적제에 대한 체계적이 부족하며 가공을 위한 철근 피딩을 사람의 손에 의존하고 있기 때문에 이러한 부분은 외국인 근로자를 통해 진행하고 있음

5. 일본 산업현장 분석 (토요)

가. 기업정보

○ TOYO社는 반세기 동안의 독창적인 최고의 기술력과 품질로 고효율/고생산성의 철근가공기를 제작/판매하는 업체로 일본에서 점유율 1위를 달성하고 있음.

○ 동경영업점을 포함하여 7개의 영업점을 보유하고 있으며, 동경가공소를 포함하여 4개의 철근가공공장을 보유하고 있음.

○ 철근 절단기, 절곡기, 이송기, 자동절단/절곡기를 제작하여 전 세계로 수출하는 일류 기업임.



< TOYO社 공장 생산라인 >

나. 생산프로세스

○ TOYO社는 철근가공기를 생산/판매하는 동시에 독립적인 4개의 철근가공공장을 두어 철근을 가공하고 있으며, 생산성 및 작업 효율성, 공장의 규모, 작업 물량, 작업자 수에 따라 크게 3가지 생산 프로세스를 갖추고 있음.

○ 1일/23톤 생산라인 : 절단 가공시 철근자동절단기 TFC-S-H를 중심으로 범용절단기 MC-41과 얇은 철근, 굵은 철근을 필요 본수로 나누어 가공하며, 벤딩 가공은 철근자동절곡기 TRM-2A를 중심으로 가공을 진행하고, 자동절곡기로 가공 할 수 없는 난형상 가공은 범용 절곡기를 따로 배치하여 가공을 진행함.

○ 이 생산라인은 작은 규모의 공장에 적합하고, 4~5명의 작은 작업인력으로 1일 23톤 규모의 철근을 가공할 수 있음.

○ 또한 장비 역시 비교적 저가의 라인으로 구성되어 소량/다형상 철근 가공에 유리.



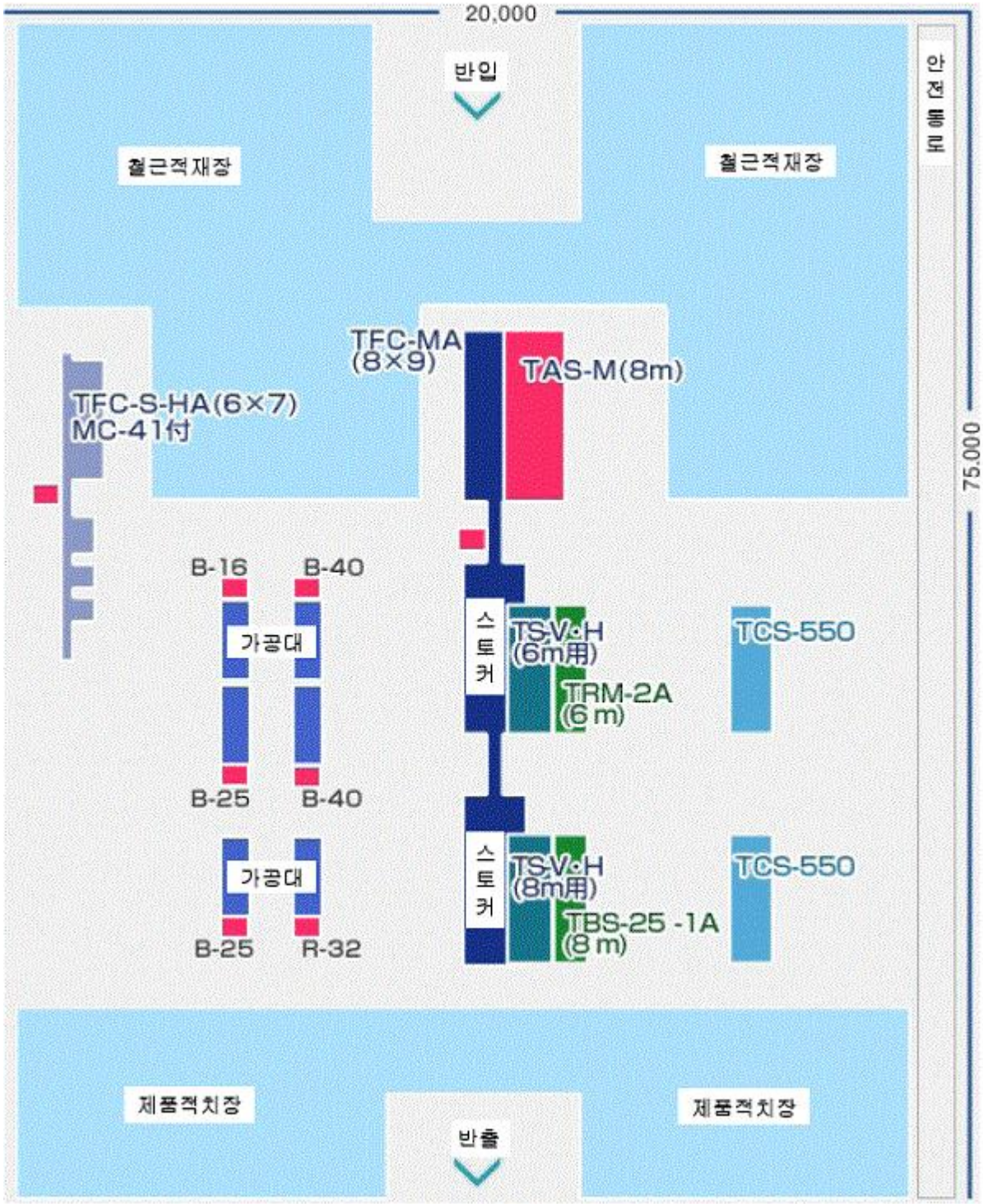
< 1일 / 23톤 생산 프로세스 >

○ 1일/45톤 생산라인 : 철근자동절단기 TFC-MA부터 시작되는 라인으로 절단된 철근이 컨베이어를 통해 자동절곡기 TRM-2A로 보내지고, 고강도의 철근이나, 밴딩 각이 큰 가공은 자동절곡기 TAS-25-1A로 보내져 가공.

○ 추가 컨베이어 TLC-M이나 공급 장치 TS-V, H가 구성되어 있어, 대부분의 철근 업로딩 시스템이 자동화되어있음.

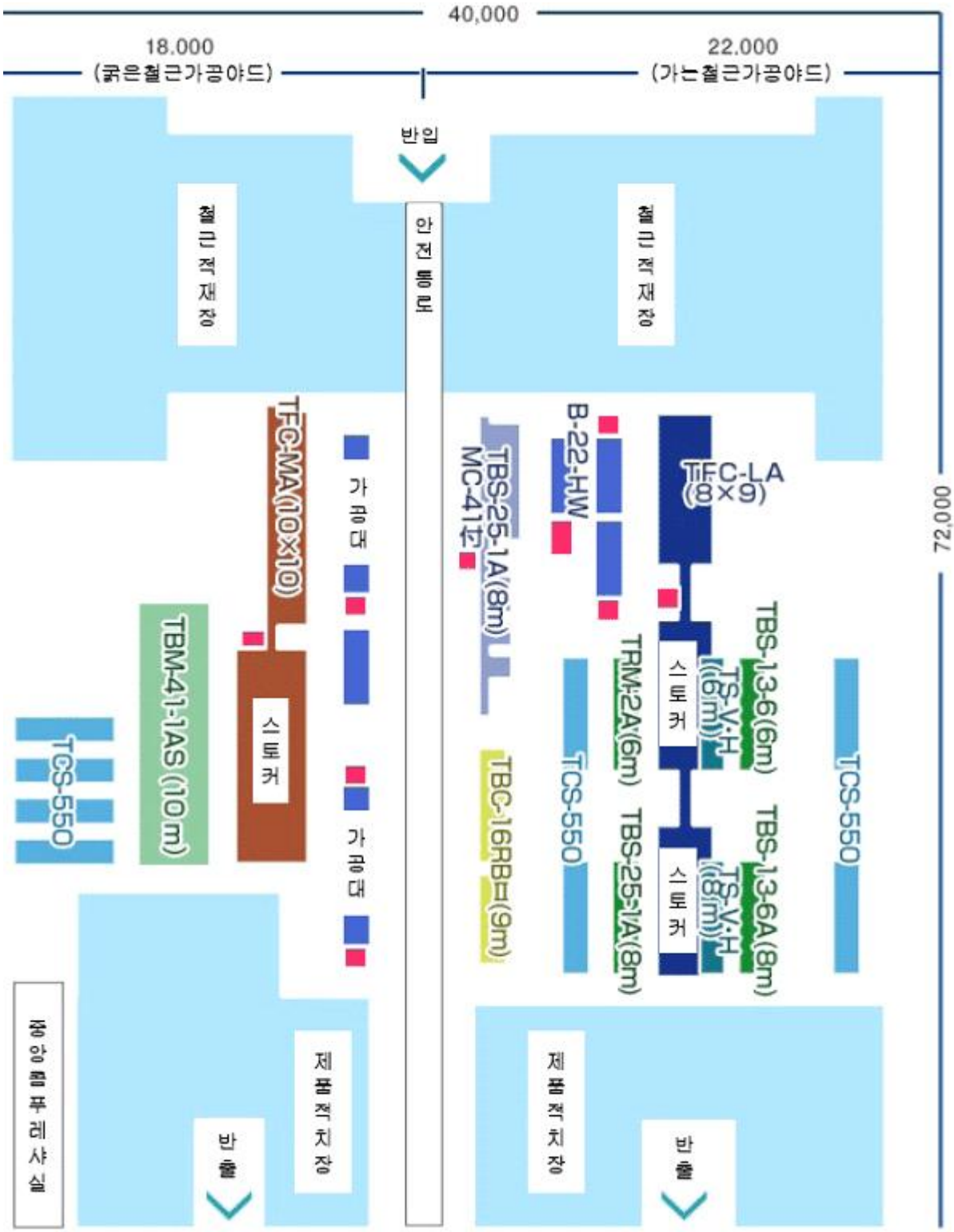
○ 만약 자동절곡기로 가공 할 수 없는 난형상의 가공에는 범용 절곡기로 철근 이송 시스템을 나누어 작업이 가능하기 때문에 효율성 및 생산량이 크게 증가하고, 모든 종류의 철근을 다양한 형상과 치수로 가공이 가능함.

○ 중규모의 가공공장에 적합한 시스템으로 대량 및 소량 생산에 모두 적합하고, 자동 철근 업로딩 시스템이 구축되어 1일 45톤의 철근을 가공할 수 있으며, 9명의 작업자만으로 이 모든 생산라인을 운영할 수 있는 장점이 있음.



< 1일 / 45.5톤 생산 프로세스 >

○ 1일/91톤 생산라인 : 해당 라인은 굵은 철근 가공라인과 얇은 철근 가공라인으로 구분하여 배치하여, 굵은 철근 가공라인에는 고강도 철근 대비 주근자동절곡기 TBM-41-1AS로 보내어 가공하며, 얇은 철근 가공시에는 철근자동 절단기 TFC-LA를 거쳐 자동 절곡기인 TBS 시리즈로 보내어 가공함.



< 1일 / 91톤 생산라인 >

○ 또한, 해당 라인에는 철근 자동 분리 및 이송기가 있어, 현장 인력 감소 및 생산성/경제성을 확보한 라인임.

○ 대규모 공장에 적합한 생산 라인으로 철근 생산량/경제성 파악 후 이러한 배치가 이루어져야 함.

다. 특징

○ 철근 자동 절단/절곡기

제품명	특 징
 < TBC 시리즈 >	• 자동 업로딩 시스템 구축 • 재료 공급 속도 : 54.6m/min • 이송 속도 : 최대 2580mm/min • 밴딩 속도 : 187rpm • 절단 속도 : 최대 0.8초 • 가공 가능 길이 : 4~12m • 가공 가능 철근직경 : D10~16 • 반복 정밀도 : 가공치수 ± 1.5mm • 반복 정밀도 : 벤딩 각도 : ± 1°

○ 철근 자동 절단기

제품명	특 징
 < TFC 시리즈 >	• 자동 업로딩 시스템 구축 • 재료 공급 속도 : 54.6m/min • 밴딩 속도 : 187rpm • 절단 속도 : 최대 0.8초 • 가공 가능 길이 : 0.5~8m • 가공 가능 철근직경 : D10~32

○ 철근 자동 절곡기

제품명	특 징
 < TBS 시리즈 >	• 가공가능 밴딩각도 : 15~180° • 밴딩 회전 속도 : 2.5~7.5rpm • 밴딩 이동 속도 : 1.1~13.4m/min • 가공 가능 길이 : 0.5~8m • 가공 가능 철근직경 : D10~25 • 동시가공본수 : 9EA

○ 철근 공급 장비

제품명	 < TAS 시리즈 >	 < TS 시리즈 >
특징	• 철근 자동 분리/공급 장치 • 사용 가능 길이 : 0.5~9m • 사용 가능 철근직경 : D10~32	• 철근 자동 공급 장치 • 절단 제품을 절곡기로 자동 공급하는 장치 • 사용 가능 철근직경 : D10~32 • 이송 속도 : 5.9~7.1m/min

라. TOYO社 기업 동향

○ 자동화 철근가공공장이 점차 늘어남에 따라 이미 오래전부터 철근가공기의 자동화 시스템에 대한 연구를 거듭하여 2000년대에 들어 철근자동절단/절곡기를 제작/판매 중에 있으며, 내구성 및 효율성, 생산성을 점차 높이고 있음.

○ 세계적으로 철근 가공기를 수출하는 기업으로 판매량을 살펴보면, 단순 절단기/절곡기는 점차 줄거나 성장세가 없는 반면, 자동철근절단/절곡시스템의 경우 점차 판매량이 증가하는 추세에 있어, 근래에 들어 자동화시스템에 대한 고객의 요구가 증가하고 있는 실정임.
○ 근래에 개발한 TAS 시리즈 철근 자동 Uploding 시스템의 경우 기존 철근 Uploding 시스템의 현장인력 2명에 해당하는 역활을 담당하게 되어 고객의 호응이 좋아 판매량이 증가하고 있음.

○ 또한 데이터 통신화 기능을 추가하여, 사무실에서 가공 데이터를 원격으로 기계 패널에 송신하는 기능을 가지고 있어 작업 효율 및 데이터 입력 효율을 극대화한 기기임.
○ 철근가공 최적스케줄링/업&언 로딩시스템을 현 개발 장비의 조합으로 만들 경우 고가이며, 장비의 설치 면적이 커지는 단점이 있으며, 점차 증가하는 고객의 요구조건(난형상, 생산 효율 등)을 수용하기가 현 기술로는 어려움.



<TAS 철근정렬 자동 공급장치>



<철근 자동 분리장치>

○ 일본은 지진등 자연재해가 빈번히 발생하는 국가로 내진 설계로 인한 철근의 수요가 많고 다양한 형태의 철근가공형상을 요구함에 있어 절곡/절단기의 기술력은 확보되어 있으나, 업로딩/언로딩 시스템의 수요는 근래에 발생하여 현재 지속 개발 중에 있음.

6. 특허 동향

가. 철근 절단 및 절곡기의 4헤드-철근자동이송장치

○ 출원/등록번호 : 특허등록 10-0943532

○ 주요 내용 : 한번에 많은 양의 철근을 동시에 절단/절곡하기 위한 멀티헤드 철근 자동 이송장치에 관한 것으로, 이는 특정 장치에 적용될 수 있는 형태로만 제안된 특허임.

나. 철근 절단 및 절곡기의 3헤드-철근자동이송장치

○ 출원/등록번호 : 특허등록 10-0948373

○ 주요 내용 : 한번에 많은 양의 철근을 동시에 절단/절곡하기 위한 멀티헤드

다. 철근 절곡장치

○ 출원/등록번호 : 특허등록 10-0970499

○ 주요 내용 : 철근의 절곡장치에 관한 것으로 단순절곡 뿐 아니라 절곡 시스템에 철근의 안착과 운반 그리고 보관 및 배치를 위한 장치를 포함하고 있음. 그러나, 관련 특허는 특정 철근의 절곡에 대해서만 적용할수 있는 적용 범위가 좁은 문제가 있음.

제 4 절 연구개발 결과가 관련분야에서 차지하는 위치

1. 연구개발 결과의 우수성

○ 본 과제는 철근가공 자동화 단일장비가 아닌 전체 시스템 기술개발임.
- 철근가공에 수치제어가 적용된 기술개발 사례는 아직까지 국내에는 전무하며, 일본에서 개발된 사례가 있으나 단일장비 중심이며, CAD/CAM 스템에서 철근 굽힘/절단/공급/패킹까지 자동화 된 시스템은 현재까지 없음.
- 본 기술개발을 통해 공장가공방식의 철근가공자동화를 위한 전체 시스템의 핵심기술을 국산화 할 수 있으며,
- 이를 통해 최근 국내 관심이 집중되고 있는 철근 공장가공방식을 활성화 하는데 일조할 수 있음.

○ 현재 구조물의 초고층화, 대형화(장지간 교량, 극저온 탱크, 체육관) 그리고 특수화(해양, 지하공간 구조물, 원자력구조물 등)경향이며 이에 상응하는 재료 성능향상, 구조 및 설계기술개발 및 시공능력 향상을 요구에 부응 가능함

○ 자재를 미리 시뮬레이션 하여 주문을 효률적으로 관리 가능하여 비용 절감효과를 볼 수 있음.

○ 철근가공시 잔재를 최소화 하고 장비운용 시간을 최적화하여 비용을 절감할수 있음.

○ 철근시공도(샵드로잉)의 표준화 및 이와 관련된 공장자동화 철근가공 기술을 바탕으로 자재절감, 인력절감 및 경제성 향상 등 효율을 높임으로 국내 건설시장의 해외 개방화에 대비한 경쟁력 강화로 건설기술의 선진화에 기여함..

○ 철근가공 현장의 기피현상으로 외국인 노동자를 많이 고용하여 품질면에서도 문제시되고 있으나 전자동화가 이루어지면 생산 현장의 환경이 향상되며 제품의 질적향상을 가져오게 됨.

○ 최근 일본 토요사 등에서 CNC 도입을 통한 절단-굽힘 자동화 개발하여 시판중이며 국내에서는 100%수입에 의존하고 있어 수입대체효과를 볼 수 있음.

2. 연구개발 결과의 차별성

○ 기존의 건설현장에서 사용되는 철근의 절단과 절곡 복합 자동화 시스템은 절단장비와 절곡장비를 하나의 기능으로 동작할 수 있는 시스템으로 이를 운영하는 소프트웨어는 기존의 별도 모듈을 각각 사용하고 있어 수작업 형태의 운영을 완전히 벗어나지 못하고 있음.

○ 또한, 기존의 계단식 철근 분리 기술을 이용한 고효율 철근 자동공급 장치는 철근 가공에서 필요한 철근의 안정된 이송장치에 관한 것으로 철근 절단에 들어가는 로딩시스템에 적용 하였으나, 언로딩 시스템과 절단/절곡 연결 공급 기능이 아닌 부분적인 로딩 기능으로만 개발되었기 때문에 전체 자동화 시스템 적용에는 한계가 있음

○ 본 연구 개발의 핵심 성과인 수치제어 기반 통합형 철근 가공시스템은 철근의 적재 및 이송, 절단, 절곡, 배출 등의 철근 가공 H/W와 이를 운영하는 S/W를 통합하여 제작하여 철근 가공 전 과정에 있어 자동화가 가능한 장점이 있음.

○ 또한, 본 개발기술의 가장 두드러진 차별성 중 다른 하나는 설계에서 최종 가공까지 필요한 핵심 소프트웨어 통합 개발함으로써 가공 데이터의 자동 생성에서 버려지는 철근 잔재를 최소화하는 철근 절단계획, 원격 가공 모니터링 및 가공데이터 전송시스템 등 공장가공의 생산성을 높일 수 있는 시스템을 개발하는 것임.

제2장 연구 개발 수행 내용 및 결과

제 1 절 연구수행 전략 및 방법론

연구범위	연구수행방법 (이론적·실험적 접근 방법)
철근가공관련 문헌 및 사례조사	- 기술자료조사 : 특허청, 논문검색 - 현장자료 : (위탁기관 공동) 현장 기업체 방문
수치제어적용을 위한 기능별 모듈 개발	- PC-NC방법 채택 - G코드 인코더/디코더는 위탁기관 개발자료 공유
절곡 메커니즘 개발 및 시스템 설계/제작	- 베드 설계 - 굽힘관련 핵심부품은 전산해석으로 주요 설계 치수 결정
수치제어 적용 절곡 시스템 성능 평가	- 현장 테스트 실험
CAD파일의 도형정보 추출	- 철근설계/가공 전용 CAD 소프트웨어 개발 - 자체 개발 CAD 환경에서 타CAD파일 임포팅
철근가공정보 자동매핑	- 세부 S/W의 기능으로 개발하면서 자체 개발한 CAD환경하에서 개발/테스트 추진 - 형상 파라메터로부터 철근 가공 계획 산출
수치제어 적용을 위한 가공정보 생성	- NC 프로그램 자동 생성 기능 개발 - 제어용 프로그램 제작 및 기계 적용

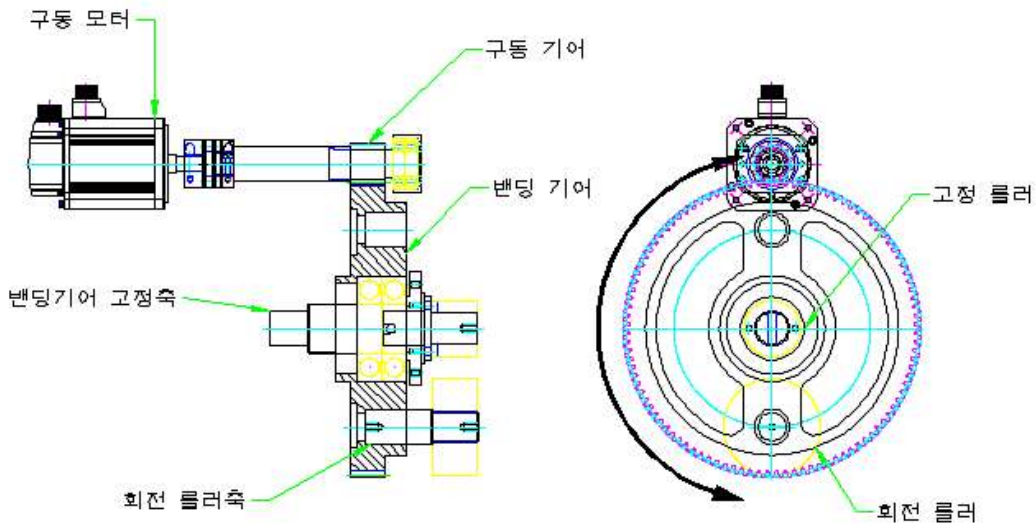
연구범위	연구수행방법 (이론적·실험적 접근 방법)
절단 연동을 위한 가공 메커니즘 개발	- 하드웨어 : G코드를 통한 수치제어가 가능한 서보 전장시스템 구축 - 소프트웨어 : 가공기기와 연동이 가능한 소프트웨어 개발 완료 - 성능 및 유효성 검증 : 장비 및 소프트웨어에 대한 외부 공인기관의 평가
CNC기반 절단/절곡 시스템 설계 및 제작	- G코드와 M코드를 통한 작업 명령이 가능한 시스템 구축 - 철근의 디자인과 설계가 제작을 위한 G코드 M코드가 동시에 생성이 가능한 통합 S/W 개발 완료
수치제어 가공에 따른 가공성능 안정화 및 평가	- 테스트 베드를 통한 가공 정밀도 측정 - 가공속도를 통한 장비의 생산성 검증 - 외부 기관 입회시험을 통한 공증성 확보
가공코드 생성 소프트웨어 사용자 인터페이스 설계	- 철근설계/가공 전용 CAD 소프트웨어 개발 - CAD 소프트웨어에서 G코드와 M코드가 동시에 생성 가능하도록 구성 - 외부 기관 입회시험을 통해 신뢰성 및 유효성 확보
최적 철근 절단 스케줄링	- 개발된 CAD 소프트웨어에서 디자인된 철근을 잔제 최소화 조건에 맞추어 철근 배치 - 벤딩시간과 절단시간을 고려한 최적 절단 스케줄링 기능 구현
철근 절단 및 절곡 G/M코드 자동생성기술 개발	- CAD 소프트웨어와 하드웨어가 연동되는 통합 시스템 구현 - PC와 제어기와의 연동기능 구현 - NC 코드의 G코드와 M코드에 대한 정의 확정 - 외부 기관 입회 시험을 통한 신뢰성 및 유효성 확보

제 2 절 연구수행 과정 및 내용

1. 수치제어 적용 절곡테스트 베드 구축

가. 철근 밴딩부 전산해석을 위한 모델 단순화 및 선행 시뮬레이션

(1) 밴딩 장치 간략화 도면



(2) 밴딩 장치 모델링 및 해석

○ 위의 개략도 및 사진과 같이 본 연구의 벤딩장치는 두 개의 롤러 (고정롤러 및 회전롤러) 및 철근의 세 개의 object 존재

○ 고정롤러 주위를 회전롤러가 공전하며 철근을 벤딩하는 원리임

○ 즉, 동역학적인 요소 (회전롤러의 공전운동, 고정롤러 및 회전롤러 자전) 및 재료역학적 요소 (철근의 벤딩)가 동시에 존재

○ 따라서, MFBD (Multi Flexible Body Dynamics) 해석이 가능한 소프트웨어가 요구됨

○ 본 연구에서는 우리나라 Virtual Motion 이라는 회사에서 개발한 DAFUL 이라는 소프트웨어를 사용

○ DAFUL의 특징은 다음과 같음

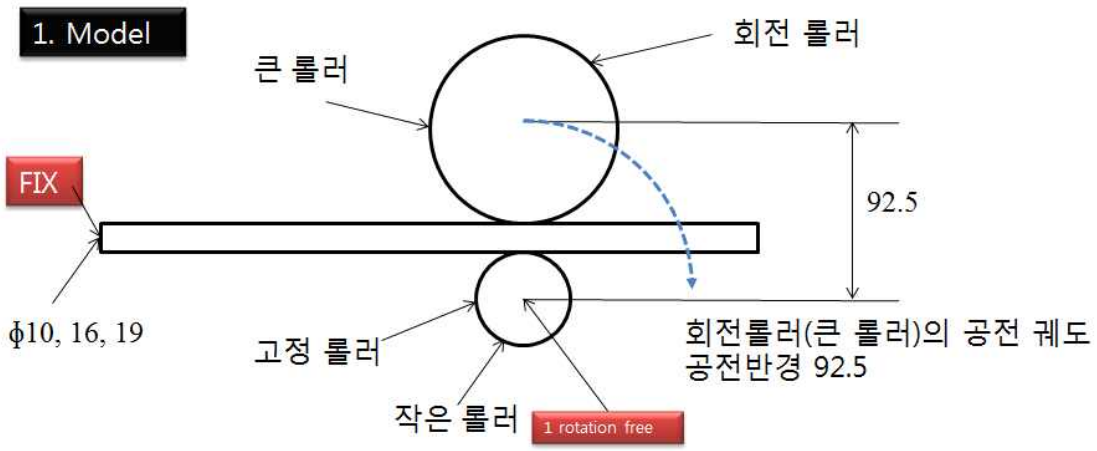
- DAFUL은 기존의 다물체 동역학 해석 엔진에 FEM 기술을 완벽하게 하나의 솔버로 통합하여 시스템의 동적 거동과 유연체의 변형 사이의 상호작용이 매우 중요한 기계 시스템의 동적거동 해석이 가능함

- 기구 동역학해석에서, 구조해석, 진동해석, 피로해석등 많은 산업 분야에서 활용

- 역학 해석을 통해 기계 시스템의 전반적인 운동을 먼저 검증하고 상세 해석이 요구되는 파트만 FEM 모델로 변경하여 짧은 시간 내에 동 응력 및 기계 성능을 산출하여 내구-피로해석을 수행할 수 있는 기능보유

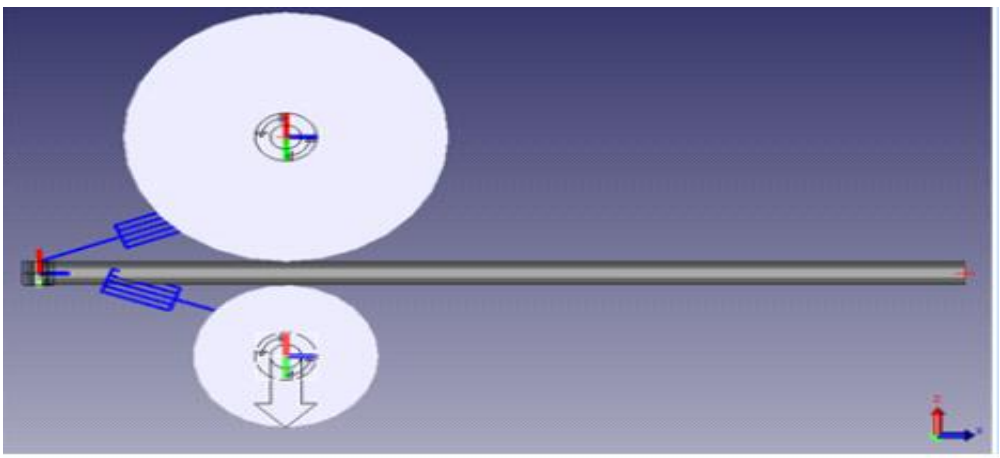
○ 두 개의 롤러는 강체로 가정하고, 철근은 유연체로 가정하여 해석을 수행

(3) 밴딩 장치 모델



	철근지름	큰 롤러지름	작은 롤러지름	*Revolute Joint
Case 1	10mm	105mm	60mm	Free
Case 2	10mm	105mm	60mm	Fixed
Case 3	16mm	99mm	54mm	Free
Case 4	16mm	99mm	54mm	Fixed
Case 5	19mm	96mm	51mm	Free
Case 6	19mm	96mm	51mm	Fixed

- Revolute Joint: 큰 롤러의 회전을 구속하는 Joint



(4) 해석조건

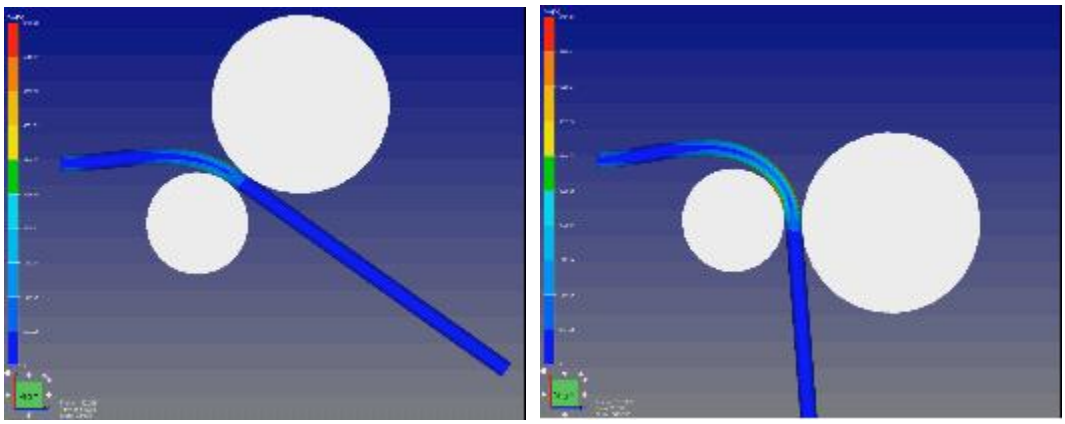
System Information	
Joint	Fixed Joint : 1
	Rotate Joint : 3
Contact	Flex to Rigid : 2
Motion	Y Rotation : 2*pi/8 rad/s
시스템 DOF	12300
해석 장비 (WorkStation)	CPU : Intel core i7
	RAM : 32G
해석 시간 / CPU time	26H

- 큰 롤러가 45deg/s 의 속도로 작은 롤러의 중심축을 기준으로 회전
- 해석시간 4초 총 180deg 회전
- 작은 롤러의 Revolute Joint는 Free상태
- 철근의 재질 : 일반 건축용 철근, 전체길이 8m
- 철근의 왼쪽 부분 고정

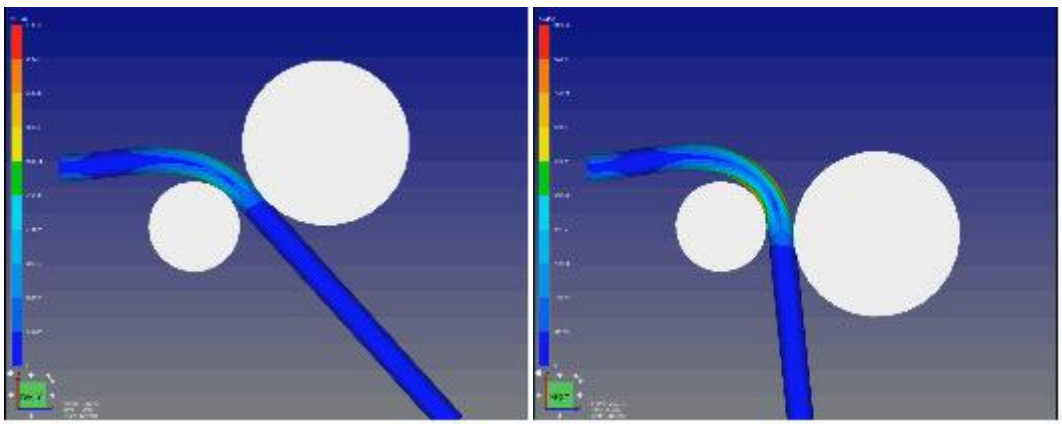
(5) 해석결과

- 큰 롤러의 회전을 구속하는 Revolute Joint에서의 반력
- 1초당 45도씩 증가하여 총 180도 회전(X축)
- 철근의 두께가 두꺼워 질수록 반력은 비례하여 증가
- 철근의 회전방향 안쪽에 휘는 현상이 생기나 지지점을 추가하니 평평하게 됨을 알 수 있다.

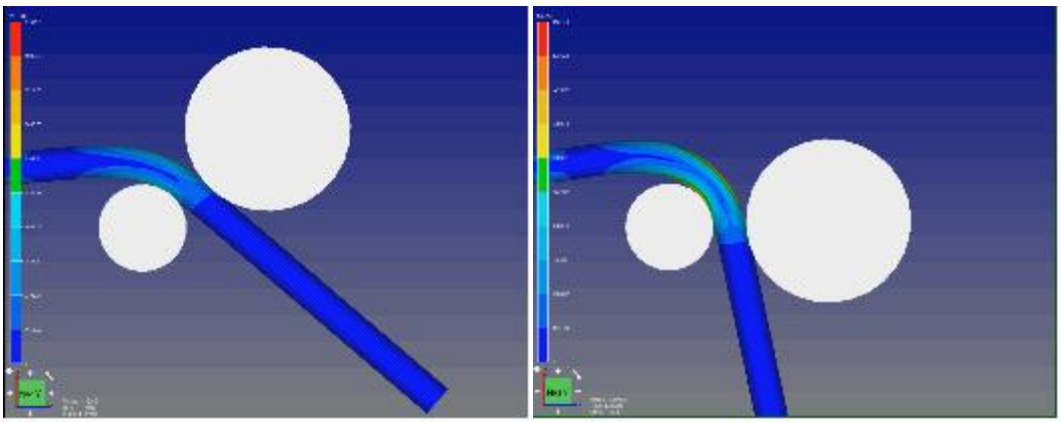
□ 10 mm 철근



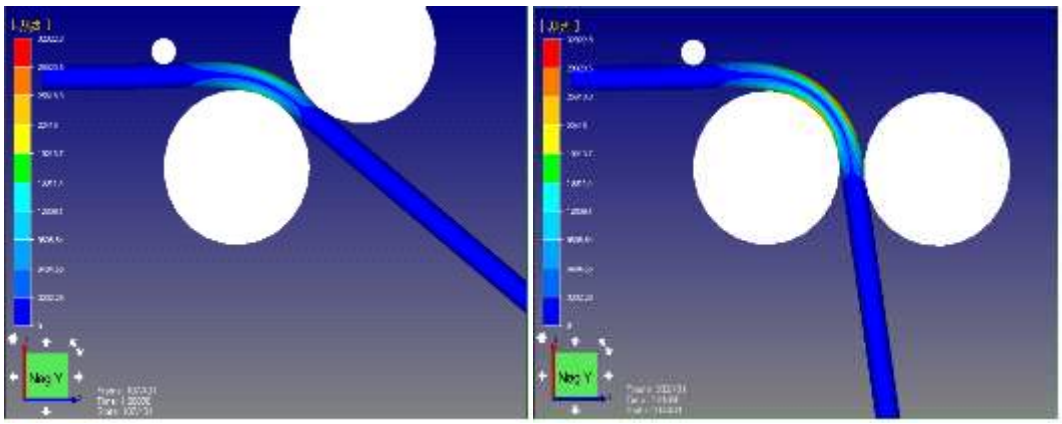
□ 16 mm 철근



□ 19 mm 철근



□ 지지대를 포함한 16 mm 철근 벤딩 시뮬레이션

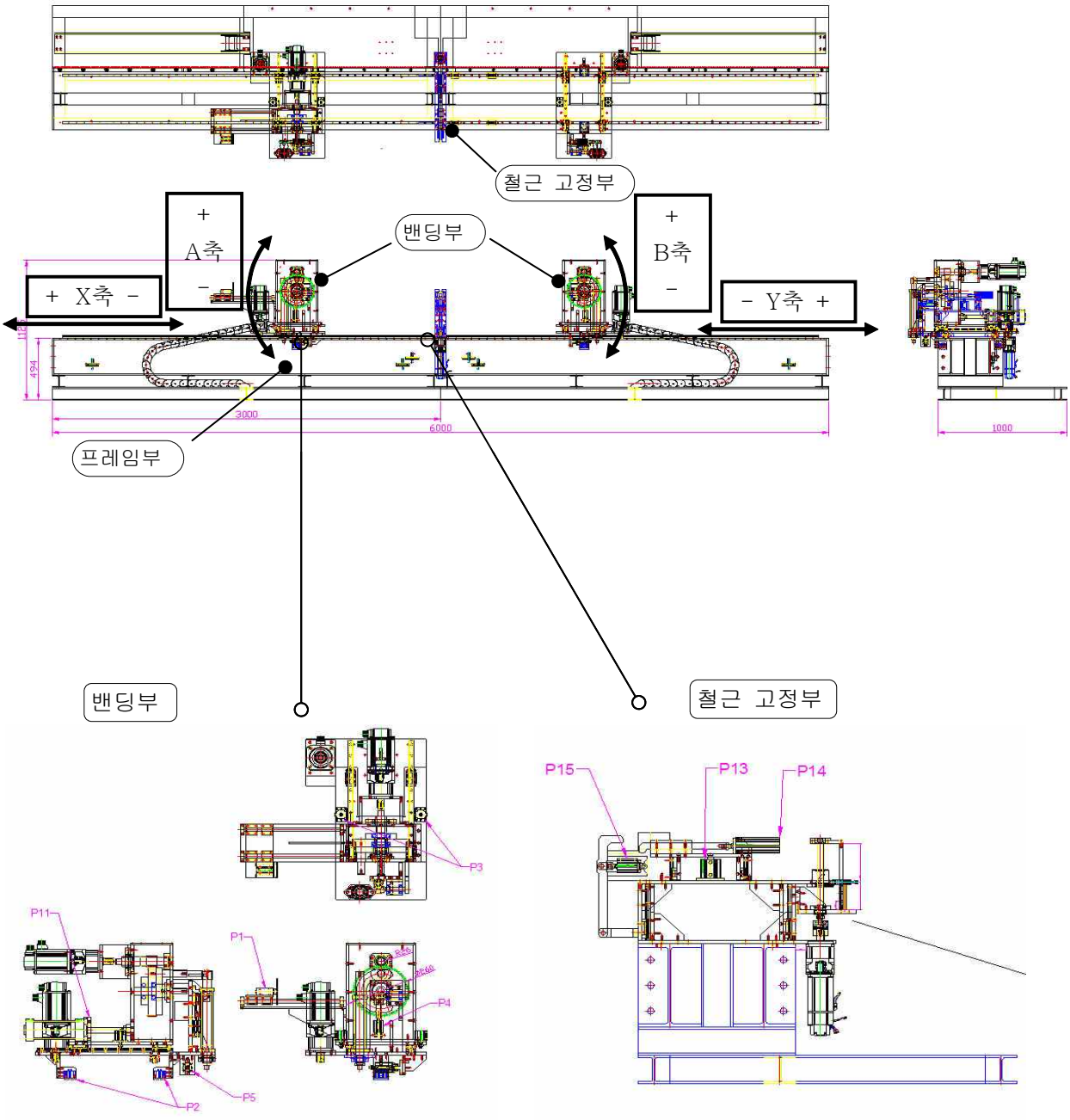


나. 절곡 메커니즘 개발 및 시스템 설계

(1) 절곡시스템 설계

(가) 전체시스템 구성

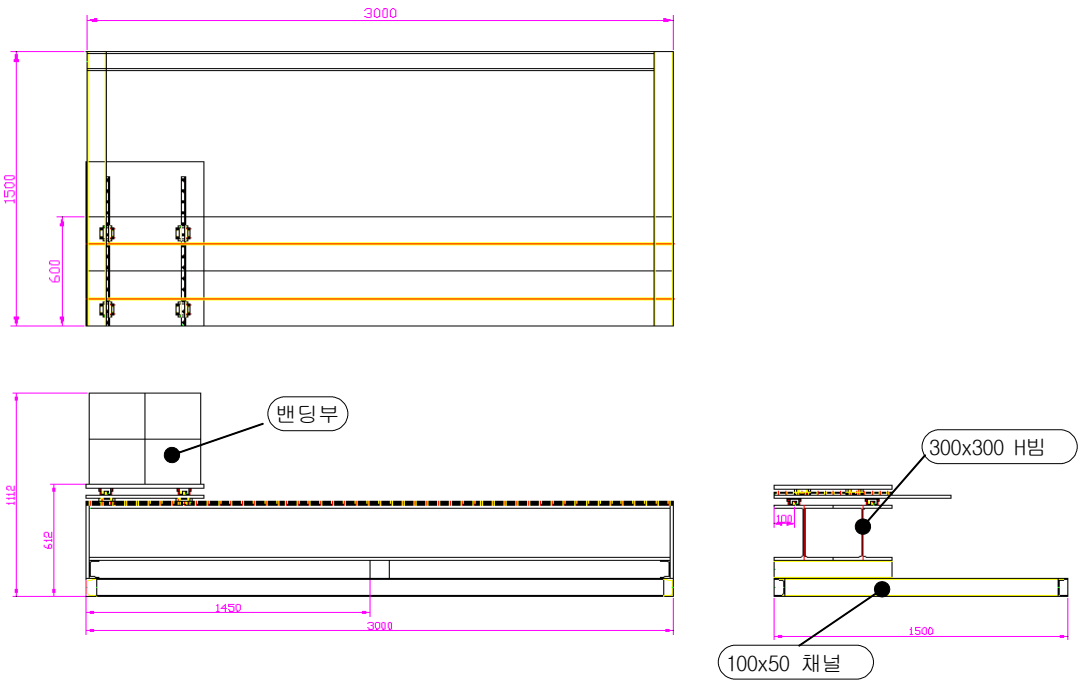
철근 밴딩기는 프레임부, 밴딩부, 철근 고정부로 구성된다. 프레임부에는 벤딩 위치를 결정하는 X축과 y축으로 구성되며, 밴딩부는 좌측의 회전축인 A축과 우측의 회전축인 B축으로 구성되며 중간의 철근 고정부는 철근의 회전 방향에 따라 상하로 이동되는 Z축으로 구성된다.



< 철근 밴딩기 전체 조립도 >

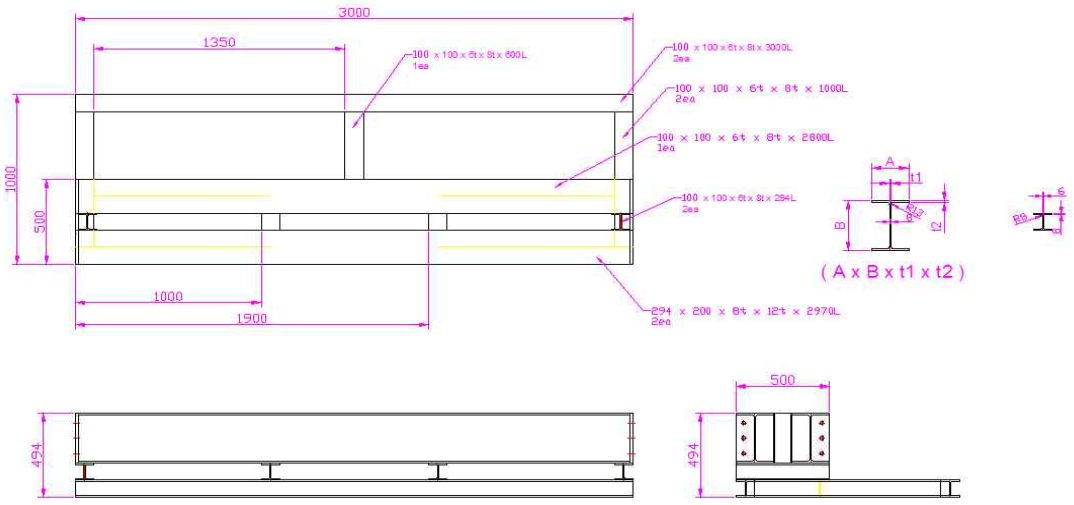
(나) 프레임부 설계

프레임부는 X축 프레임, Y축 프레임으로 구성되며, 대칭구조이다. 프레임은 H빔으로 제작되며, 길이는 각3m이다.



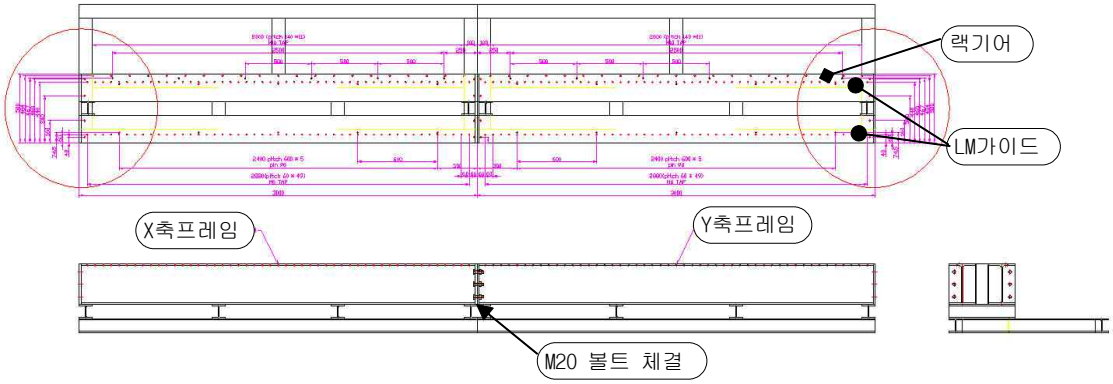
< 초기 프레임 설계 >

초기 프레임은 100x50 채널을 기초로 두고, 300x300 H빔 용접하여 제작이 된다. 하지만 부피가 불필요로 커 운반 및 가공에 어려움을 줘 다음 사이즈를 축소한다. 다음 그림과 같다.



< 변경 프레임 설계 >

변경된 프레임은 100x100 H빔을 기초로 사용하여, 초기 프레임에 비해 높은 강도로 설계 하고, 300x300 H빔을 200x300(294) H빔으로 변경하여 무게를 줄인다. 작아진 크기와 무게로 인해 운반 및 가공에 작업 소요 시간을 단축한다.

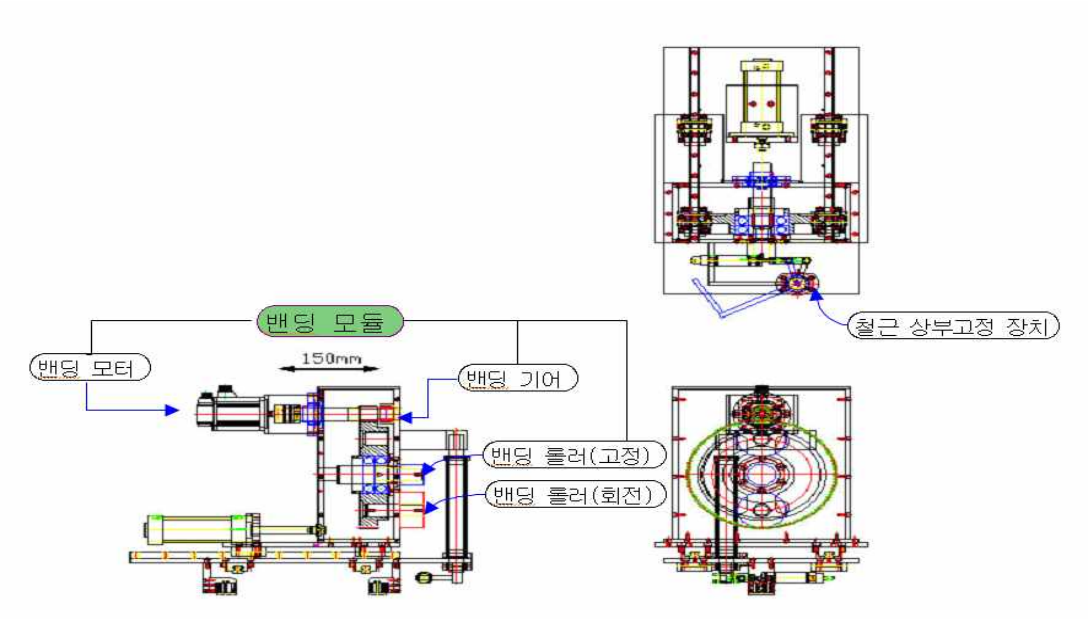


< X,Y축 프레임 가공 및 조립 >

최종 결정된 프레임은 H빔을 용접가공 하였고, 밴딩부의 이송으로 LM가이드와 랙기어를 채택한다. 그리고 프레임 윗면을 대형 프레너 가공한다. 또한 LM가이드 및 랙기어 체결시 용이하게 하며 맞춤핀 hole을 설계도면에 추가 한다.

(다) 밴딩부 설계

밴딩부는 A,B축 밴딩모듈(밴딩모터, 밴딩기어, 밴딩롤러등)와 철근상부고정 장치로 구성된다. 모듈 고정 장치, 철근 받침 장치는 추가구성 되었다.

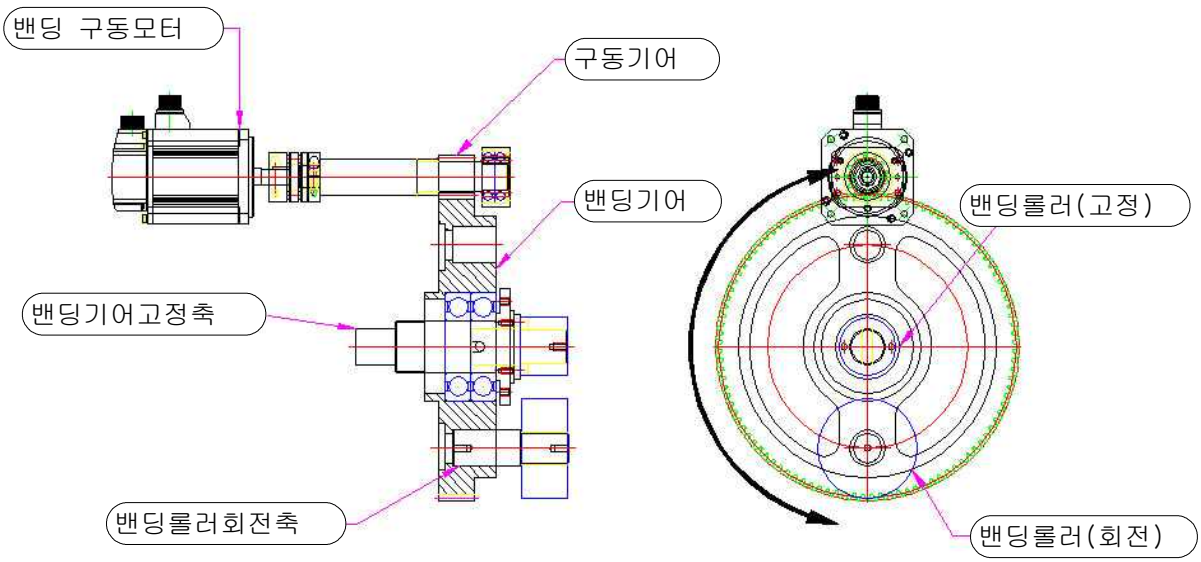


<벤딩부 초기 설계>

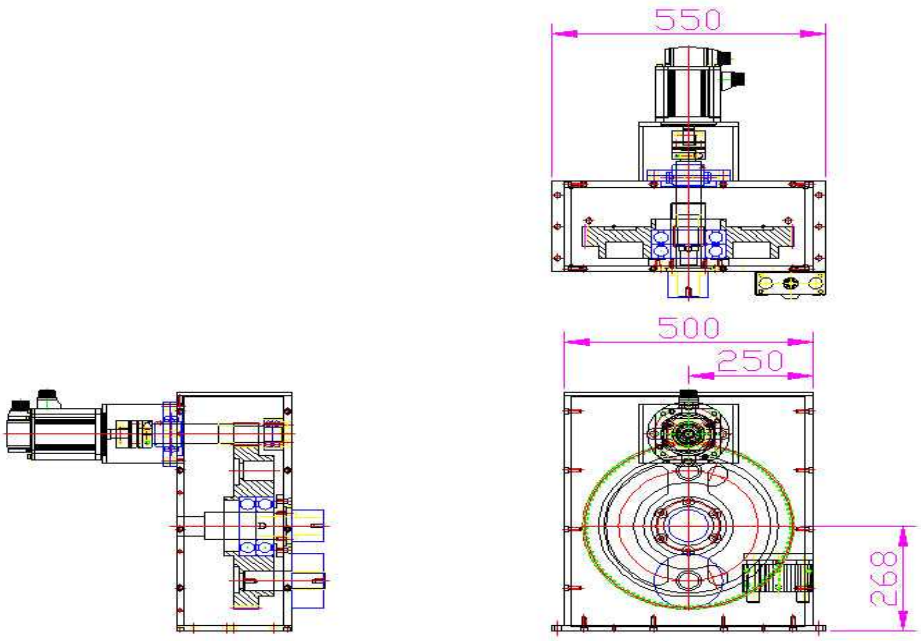
밴딩모듈(A,B축)은 밴딩 모터, 밴딩구동기어, 밴딩 기어, 밴딩기어 축 밴딩 롤러(고정), 밴딩 롤러(회전) 등으로 구성된다.

구동기어는 모듈3 잇수13이며, 밴딩 기어도 모듈3 잇수 104로 감속비는 1:8이다. 기어 이 표면을 고주파 열처리 하여 강도를 높인다. 밴딩 롤러(고정), 밴딩 롤러(회전)는 재질 SCM21(SCM415)를 사용되며 가공 후 침탄열처리를 하여 강도를 높인다.

철근 밴딩 작업의 방향은 밴딩기어 고정축을 중심으로 ±90°로 움직인다.

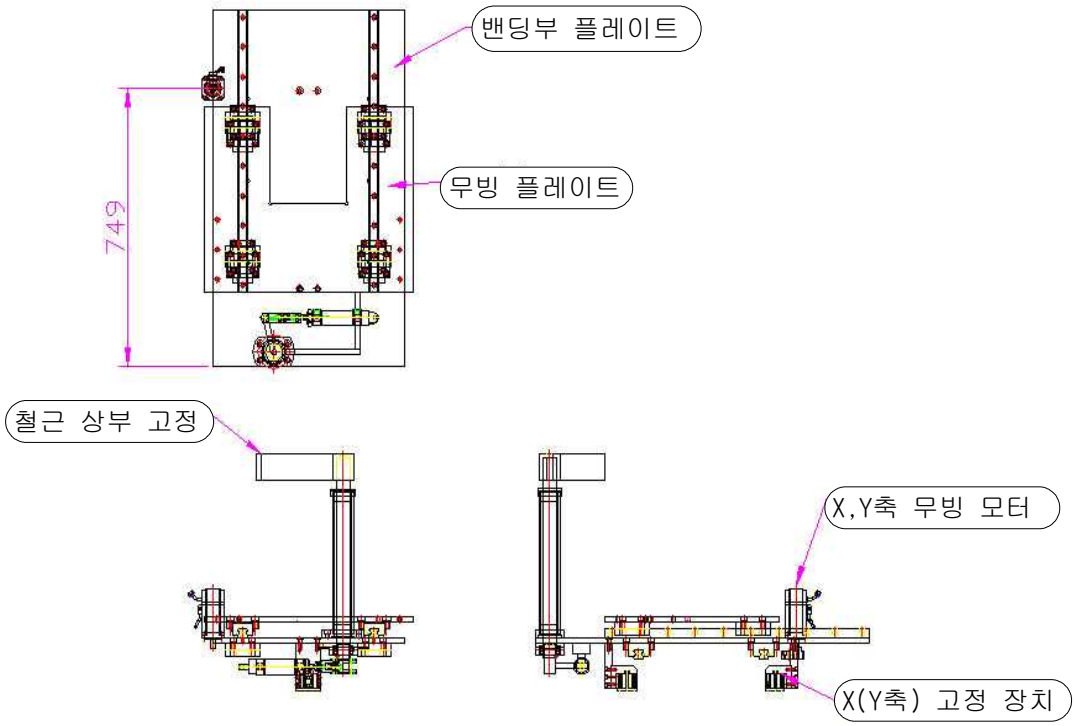


< 밴딩 모듈 초기 개략 >



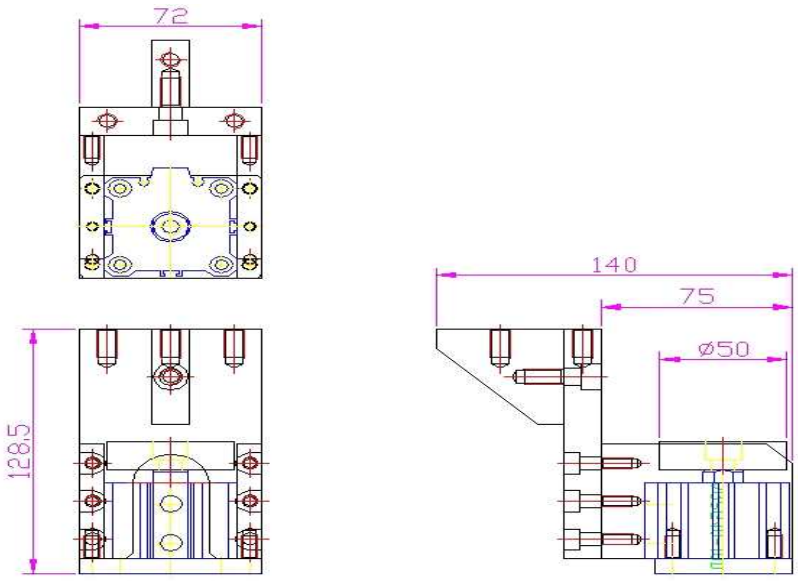
< 밴딩 모듈 초기 외형 >

설계 용이성을 위해 밴딩모듈을 밴딩모듈(A,B축)과 밴딩모듈 이송(A,B축) 으로 세분화 한다. 형상은 아래 그림과 같다.



< 철근 상부 고정 및 X(Y)축 고정 장치 >

X(Y)축 고정 장치는 밴딩부(A,B축)가 X(Y)반향으로 지정된 위치로 이동 후 밴딩부와 프레임부를 클램핑 시킴으로써 밴딩작업시 밴딩부 밀림과 같은 형상을 억제 시킨다. 위 그림 <철근 상부 고장 및 X(Y) 고정 장치>에서 확인 할 수 있다.

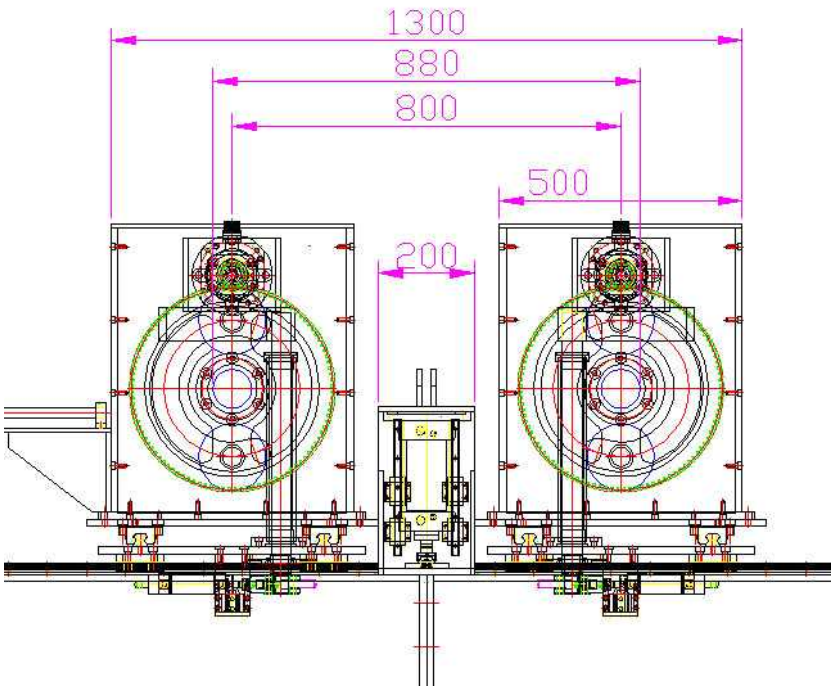


< X(Y) 고정 장치 >

밴딩 모듈(A.B 축) 이송은 철근의 밴딩방향 변경 및 제거시 간섭을 피하기 위해 에어 실린더를 사용하여 밴딩모듈을 전후로 이동을 시킨다.

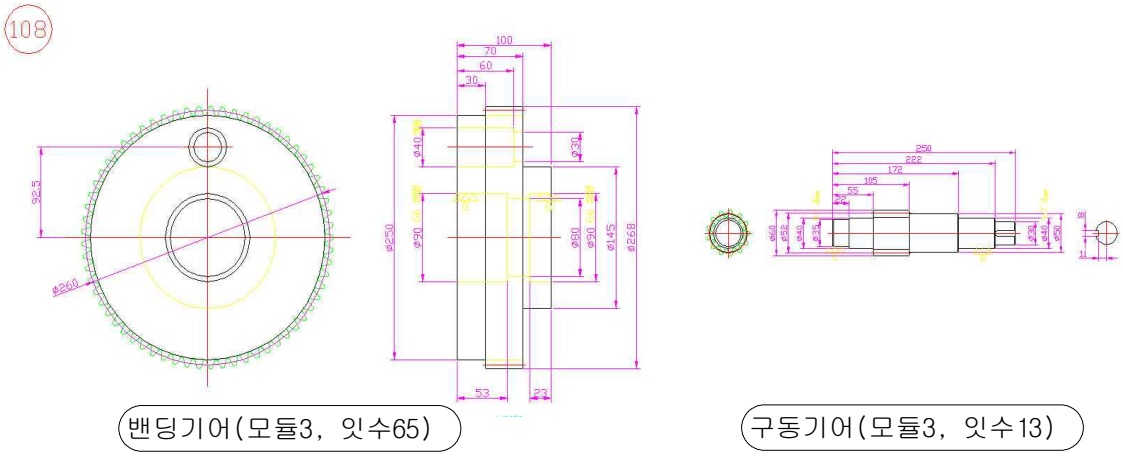
X,Y축 이송 모터는 서보모터를 사용하며 프레임부의 랙기어에 적용되는 피니언기어 장착되어 밴딩부를 (X 축) 지정된 위치로 이송된다. 지정된 위치(X축 방향)에 이송된 밴딩부가 프레임에 고정되도록 X축 고정 장치를 둔다. 엑추에이터는 에어실린더를 사용한다.

철근 상부고정 장치 또한 에어 실린더가 사용되며 철근의 하향 밴딩시 철근을 받쳐주는 역할을 한다. 밴딩부를 프레임과 체결된 형상은 아래 그림과 같다.



< 초기 X,Y축 밴딩부 설계 최소거리 >

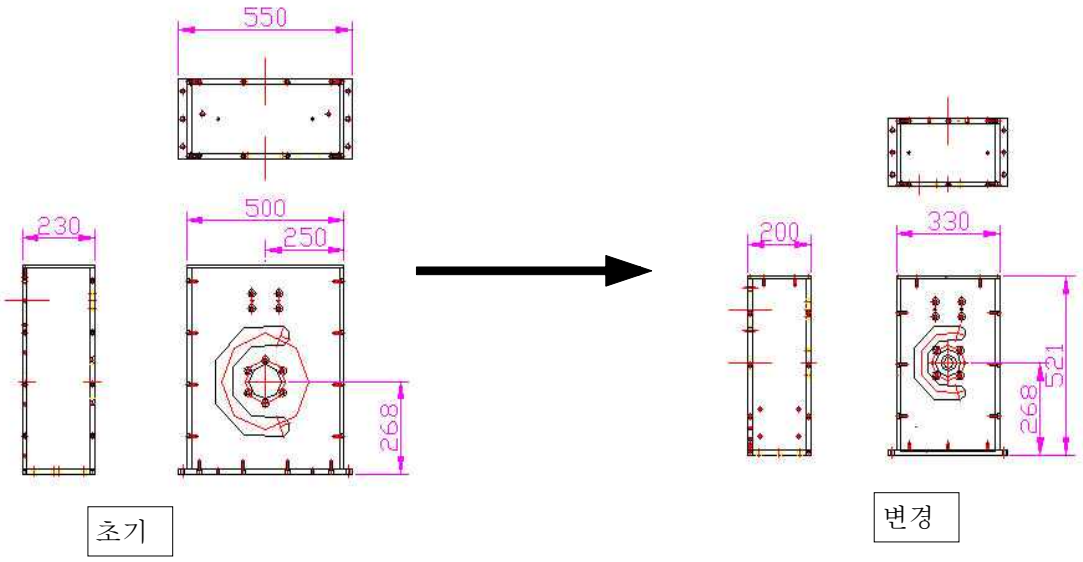
그림 <초기 X,Y축 밴딩부 설계 최소거리>과 같은 사이즈로 제작될시 밴딩부(좌우)의 밴딩기어 축간거리가 800mm가 나오며, 밴딩롤러(고정)의 끝면에서 반대끝면까지의 거리는 880mm로 다양한 형상의 형태를 밴딩에 어려움이 있다.그렇기 때문에 축간거리 값을 줄일 필요성이 있다고 판단, 밴딩 모듈의 형태는 유지하며 기어비를 조절하여 밴딩 모듈의 크기를 수정한다.



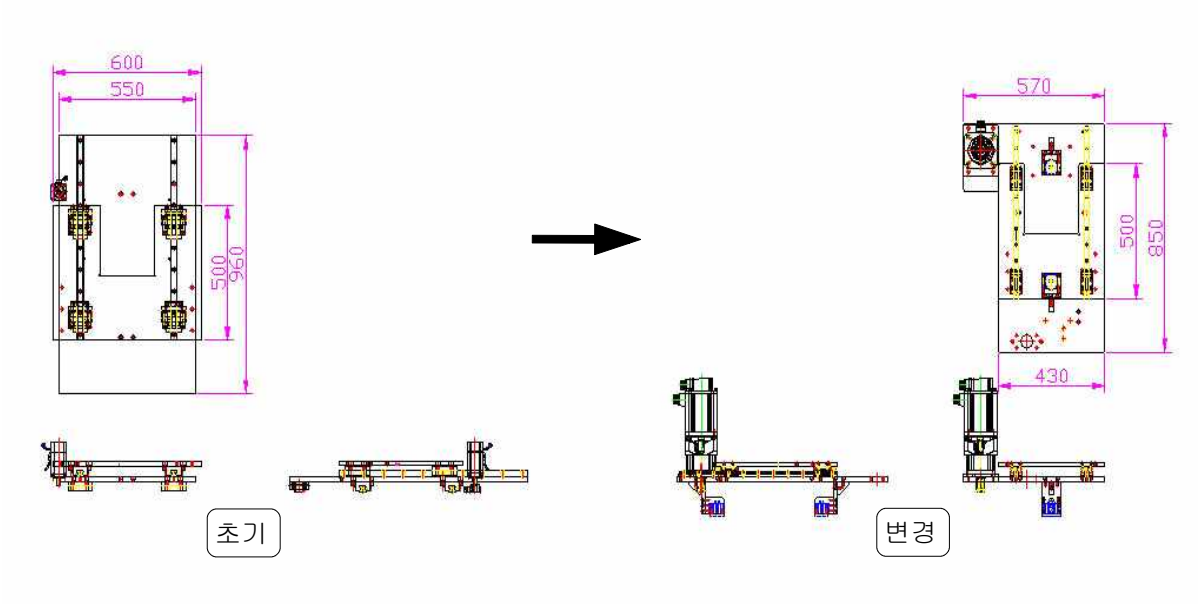
< 변경된 밴딩기어 형상 >

위 그림과 같이 밴딩기어의 기어 잇수를 변경하여 밴딩기어의 크기를 축소됨과 동시에 밴딩모터(서보모터)에 감속기를 추가 장착한다. 감속기의 감속비는 고토크를 위해 1:25로 선정한다.

밴딩기어의 축소로 인해 밴딩기어케이스 및 밴딩 모듈 이송판의 크기 또한 변경 된다. 아래의 그림과 같다.



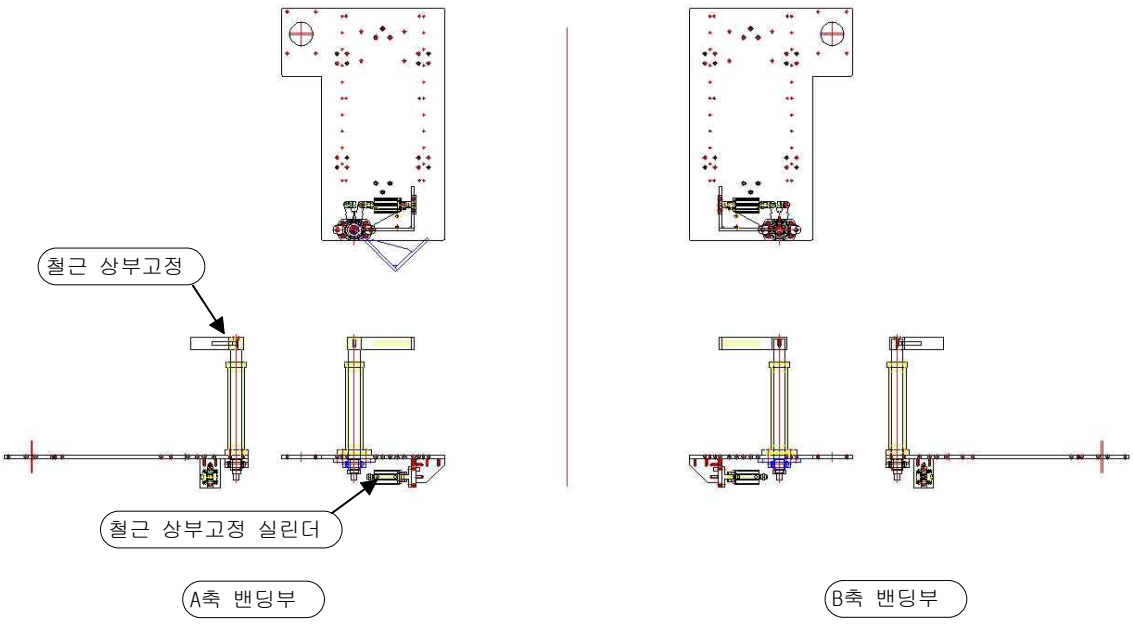
< 밴딩기어 케이스 >



< 밴딩 모듈(A,B 축) 이송부 >

다음으로 추가 구성된 장치를 설명한다. 추가 구성된 장치로는 철근 상부고정 장치, 철근 하부 받침대(고정), 밴딩 모듈(A,B축) 고정 장치, 철근 들어올림 받침대 장치가 있다.

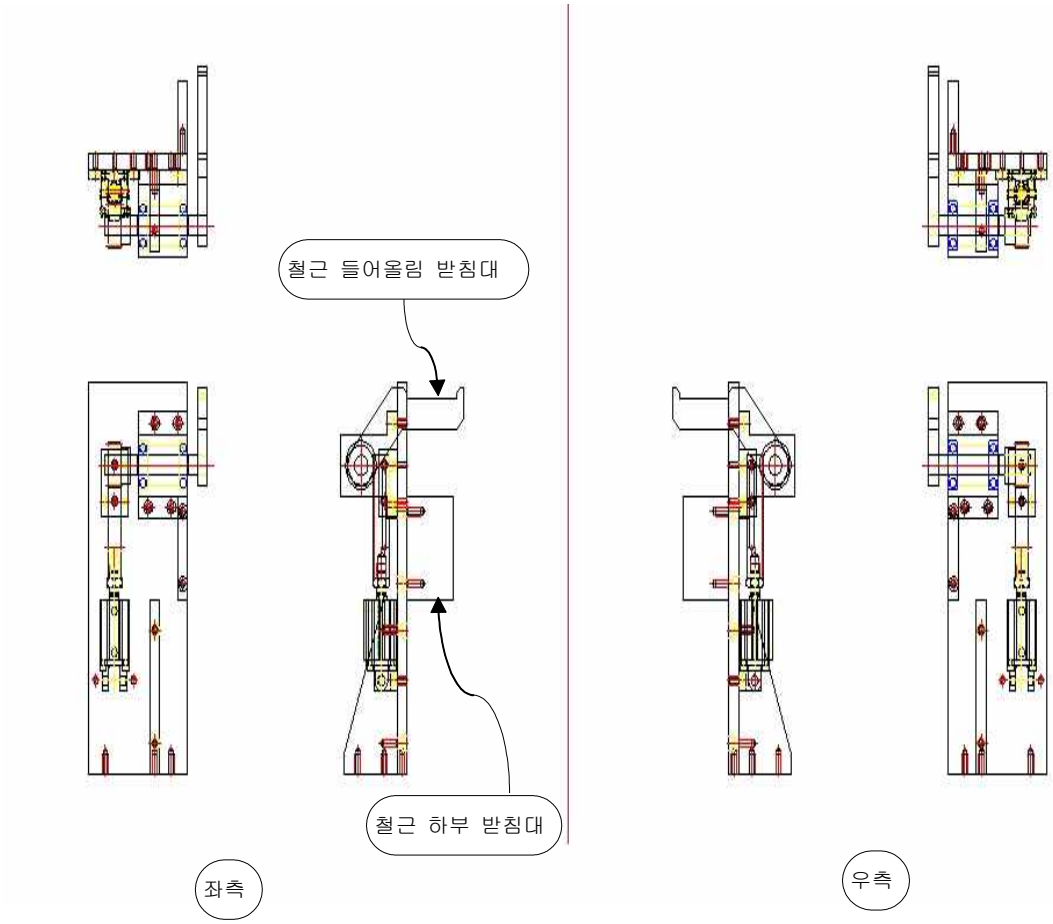
철근 상부 고정 장치는 초기 설정도면에도 존재 했지만 철근 하향밴딩시 밴딩롤러에서 이탈할 경우가 존재하므로 최단거리로 수정한다.



< 철근 상부고정 장치 >

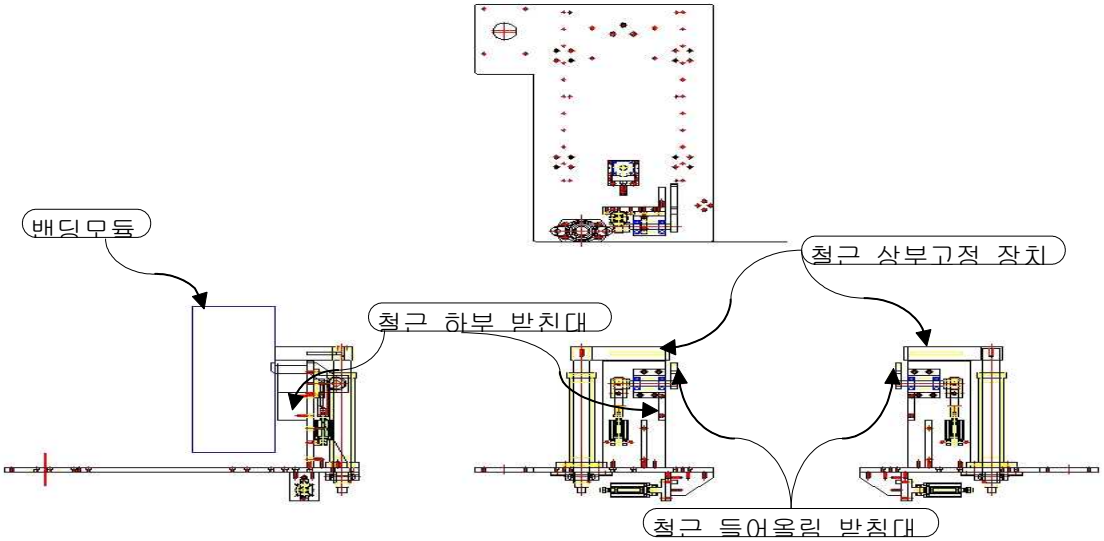
철근 하부 받침대(고정)은 철근 상부고정 장치와 같은 기능으로 밴딩 롤러(고정)에 최단거리에 위치하며, 상향 밴딩시 이상적인 밴딩이 되도록 도와주는 장치이다.

철근 들어올림 받침대는 철근 고정장치로 철근을 파지 했을 때 철근의 휨이 발생하여 밴딩부의 밴딩 롤러(고정)과 밴딩 롤러(회전)사이에 위치하기 어려움으로 철근 들어올림 받침대를 둬 밴딩 롤러 사이에 철근이 들어가도록 도와주는 역할을 한다. 다음 그림과 같다.



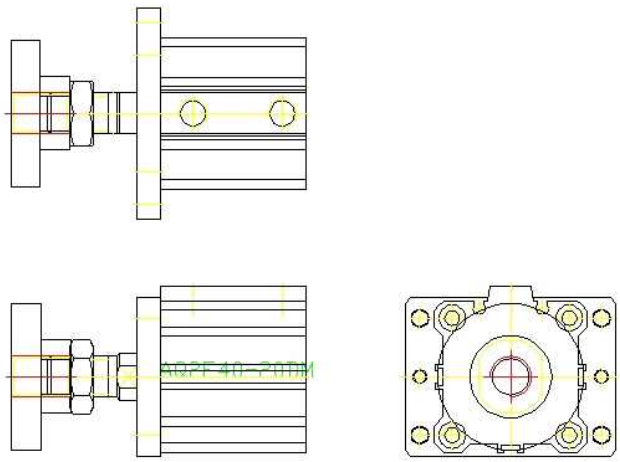
< 철근 들어올림 받침대 및 철근하부 받침대(고정) >

철근 상부고정 장치 와 철근 들어올림 받침대 및 철근 하부 받침대는 밴딩 모듈(y 축) 이송 장치에 앞쪽에 위치하며 형태는 다음 그림과 같다.



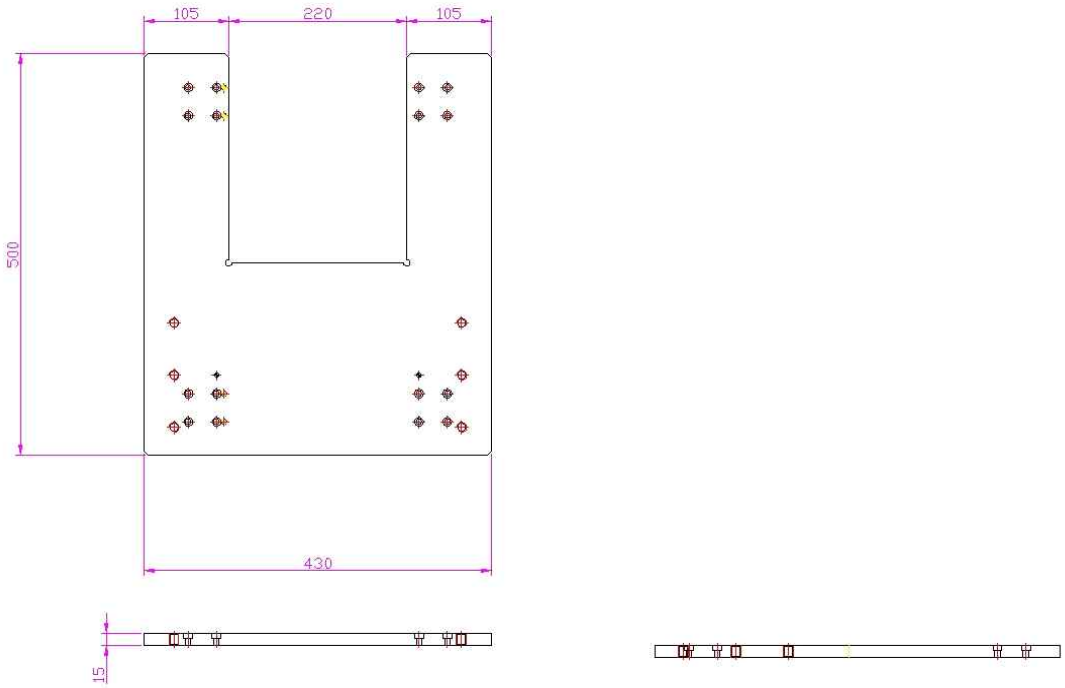
< 철근 상,하부 받침대 체결도 >

밴딩 모듈(A,B축) 고정 장치는 X(Y)축 고정 장치와 같은 형식으로 밴딩 모듈(A,B축)을 전후로 작동 완료 후 클램핑 시킴으로써 밴딩시 밀림과 같은 현상을 억제한다. 아래 그램과 같은 형상이다.

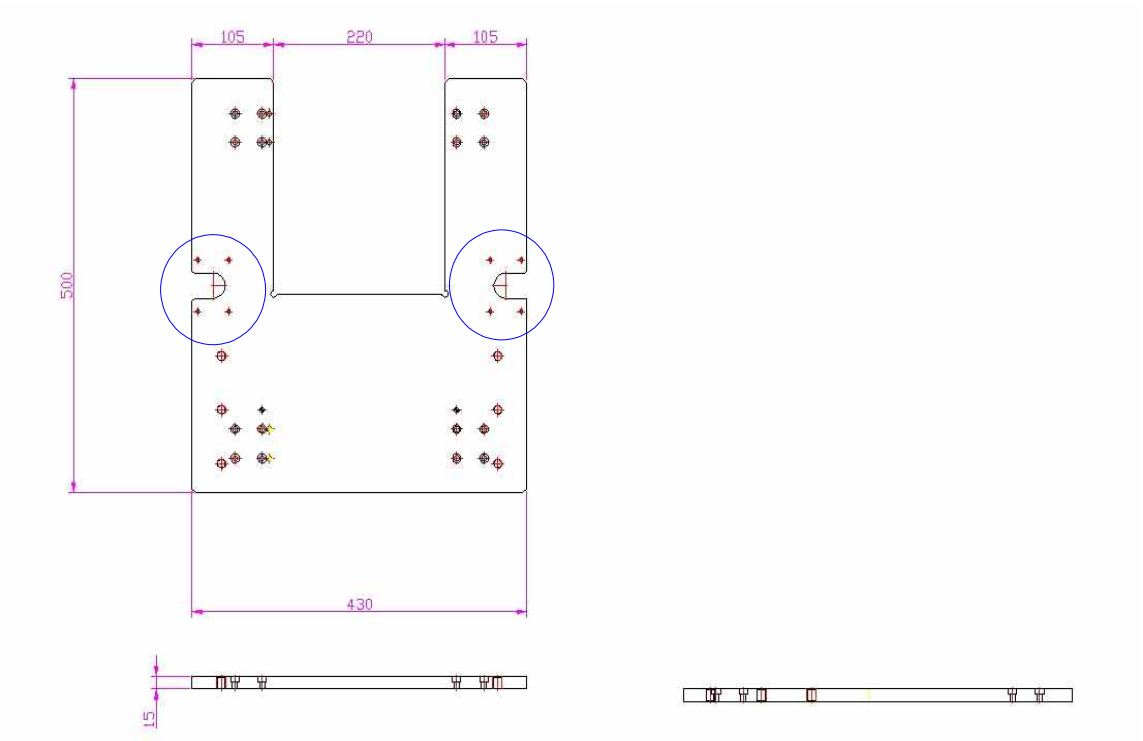


< 밴딩 모듈(A,B축) 고정 장치 >

밴딩 모듈(A,B축) 고정 장치를 장착하기 위해 무빙 플레이트를 수정한다.

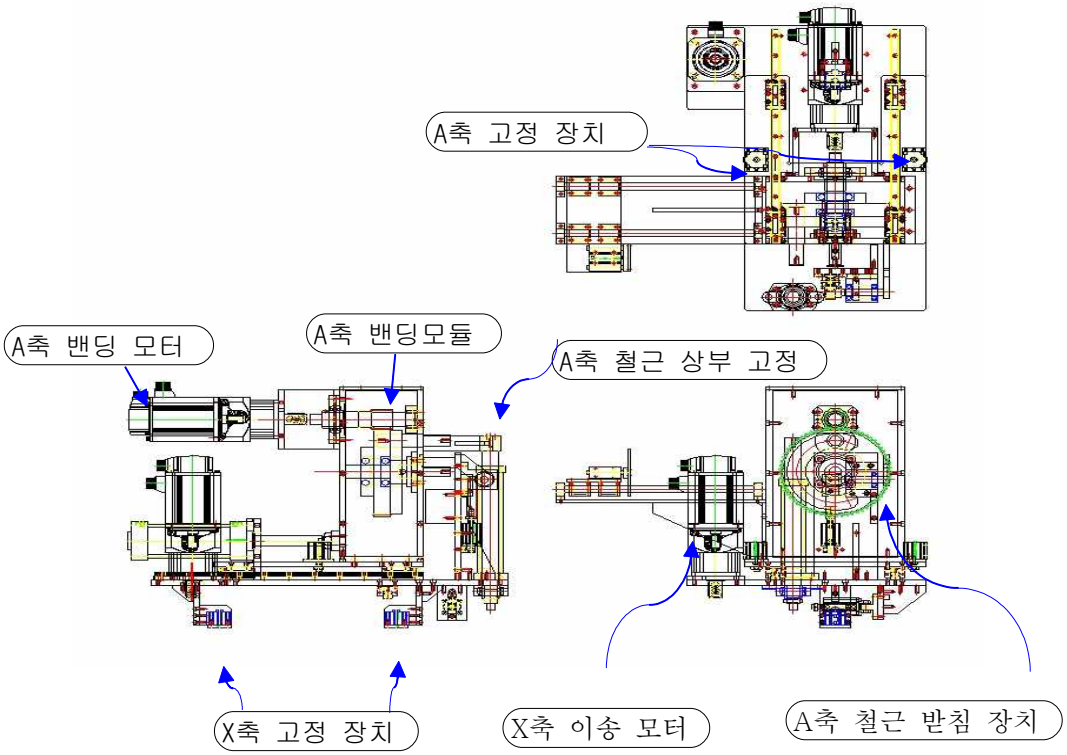


< 무빙 플레이트 수정 전 >

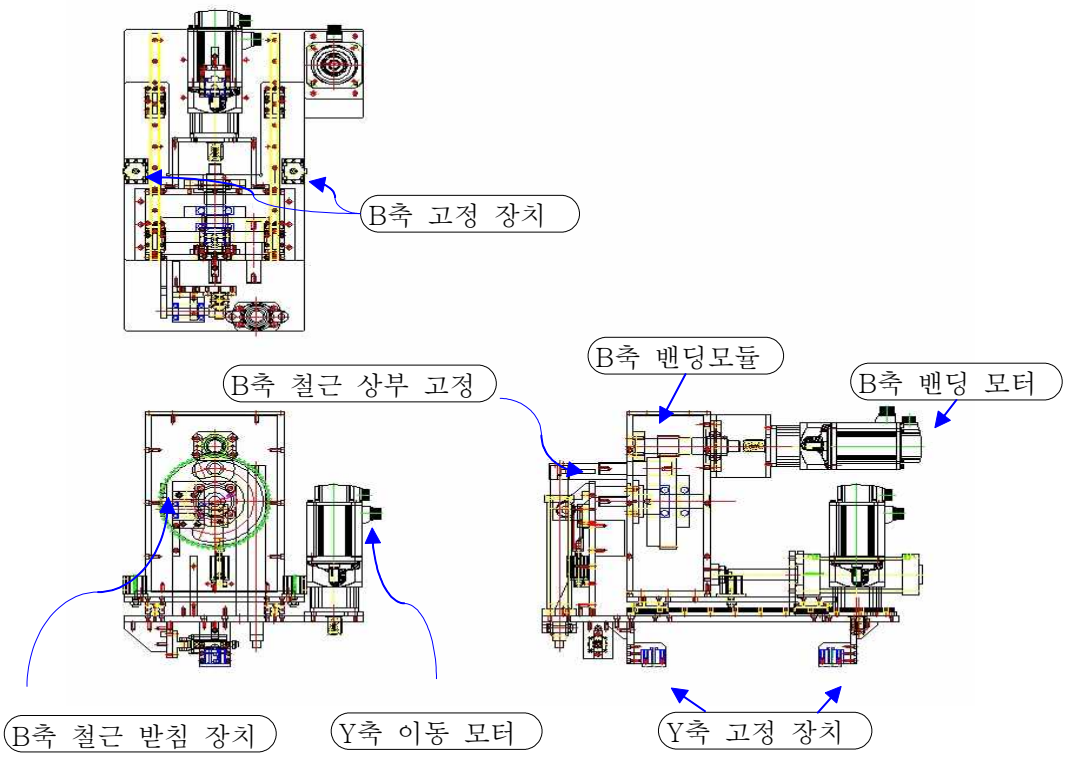


< 무빙 플레이트 수정 후 >

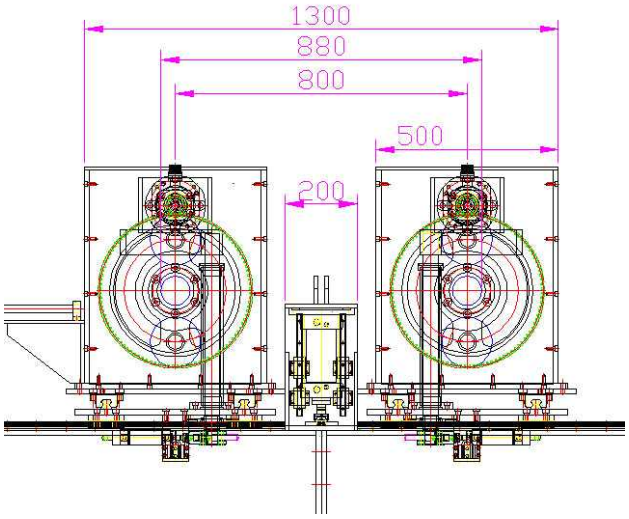
위의 추가사항과 수정내용을 종합하여 구성하면 다음과 같은 형상이 된다.



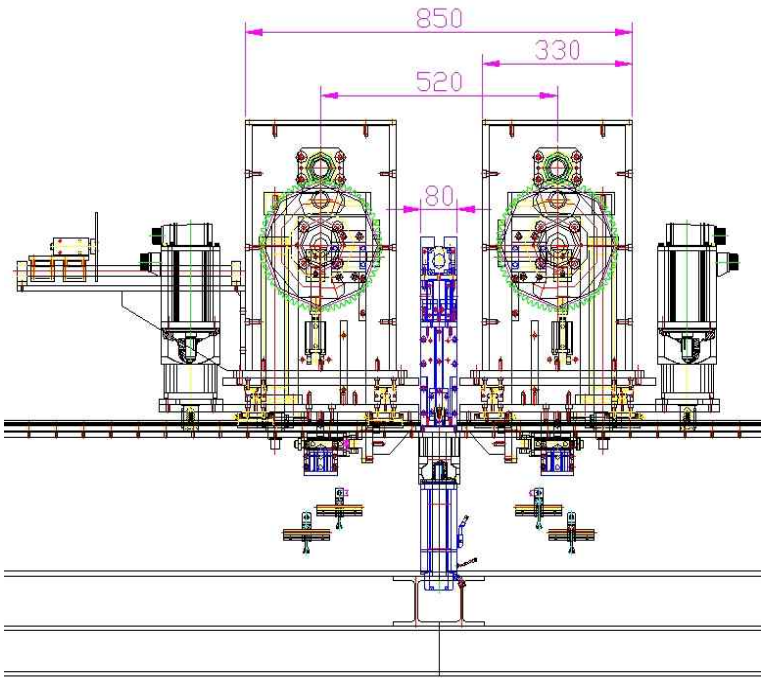
< X축 밴딩부 >



< Y축 밴딩부 >



< 초기 X,Y축 밴딩부 설계 최소거리 >

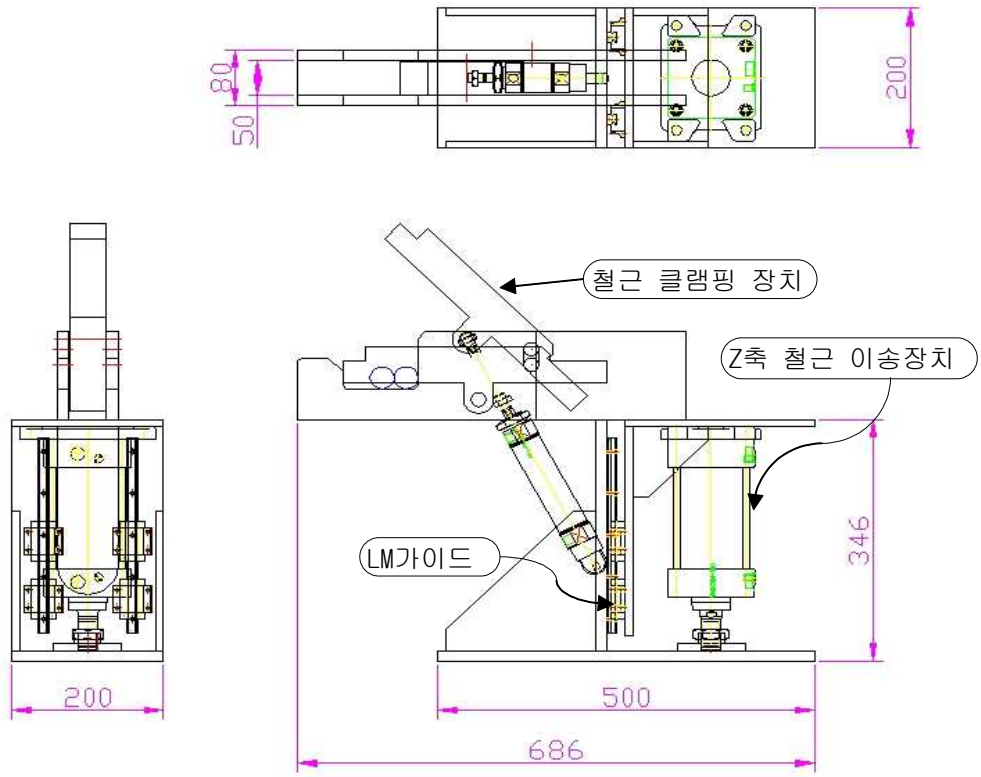


< 변경 X,Y축 밴딩부 설계 최소거리 >

위의 그림과 같이 비교하면 A축 밴딩 모듈 과 B축 밴딩 모듈의 축간거리가 초기 800mm에서 변경 520mm 로 280mm를 줄여 상대적으로 초기 설계에 비해 짧은 간격의 밴딩도 할 수 있다.

(라) 철근 고정부 설계

철근 고정부는 철근 클램핑 장치와 Z축 철근 이송장치로 나누어 진다.



< 초기 철근 고정부 설계 >

※역할 및 수정사항

○ 철근 고정부는 철근 밴딩기의 중간지점에 위치하며, 철근 고정 및 정해진 위치 이동의 역할을 한다.

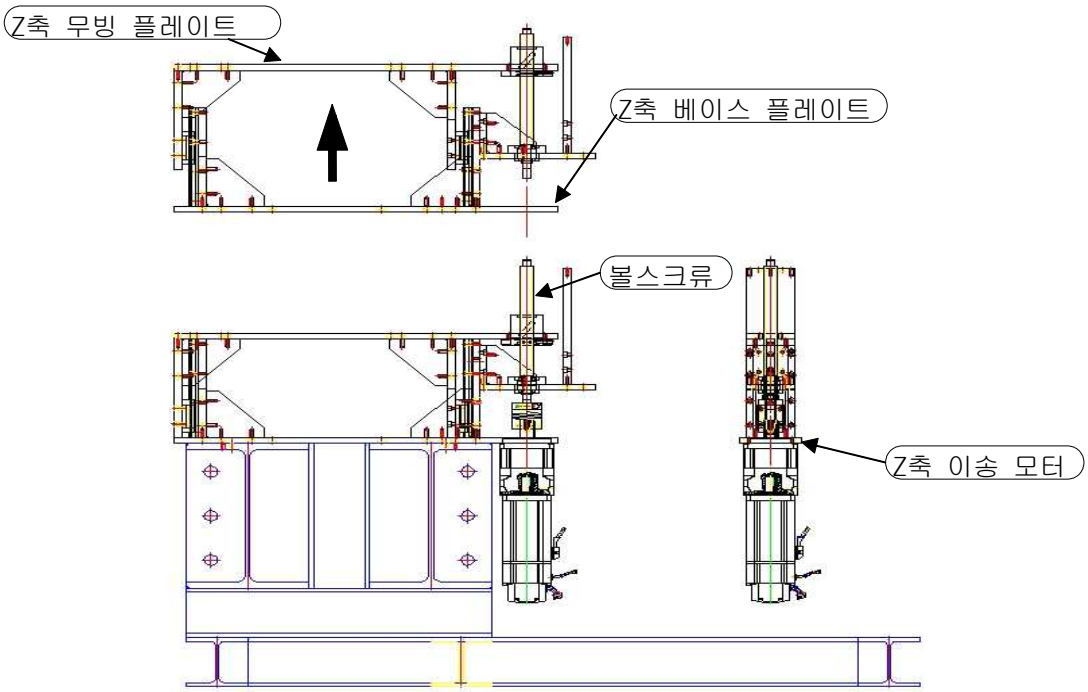
○ 철근 고정부의 장비 전체의 폭은 200mm로 밴딩부에서 언급했듯이 좁은 폭의 밴딩을 하기 위해 폭을 축소 시킬 필요가 있는 것으로 판단된다.

-최소적용 가능한 폭 80mm 선정

○ 에어실린더를 사용한 Z축 이송은 특정한 값으로만 이동이 가능하므로 볼스크류를 사용한 서보모터로 변경한다.

1) Z축 철근 이송 장치

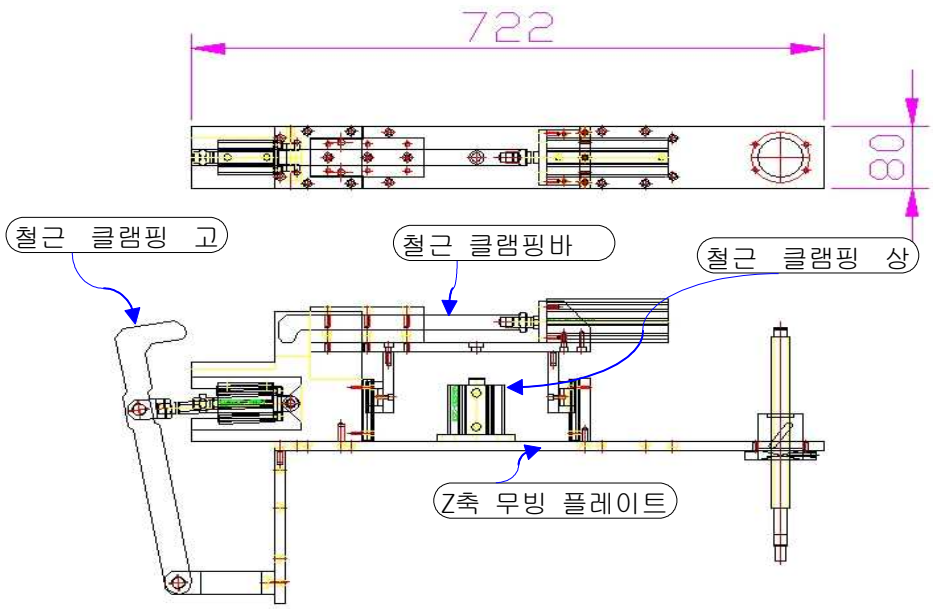
Z축 철근 이송 장치는 Z축 이송 모터(서보모터), Z축 베이스 플레이트,Z축 무빙 플레이트로 구성되며, Z축 베이스 플레이트와 Z축 무빙 플레이트는 LM가이드를 사용하여 구속되며, 볼스크류로 설정값까지 이동한다. 형상은 다음 그림과 같다.



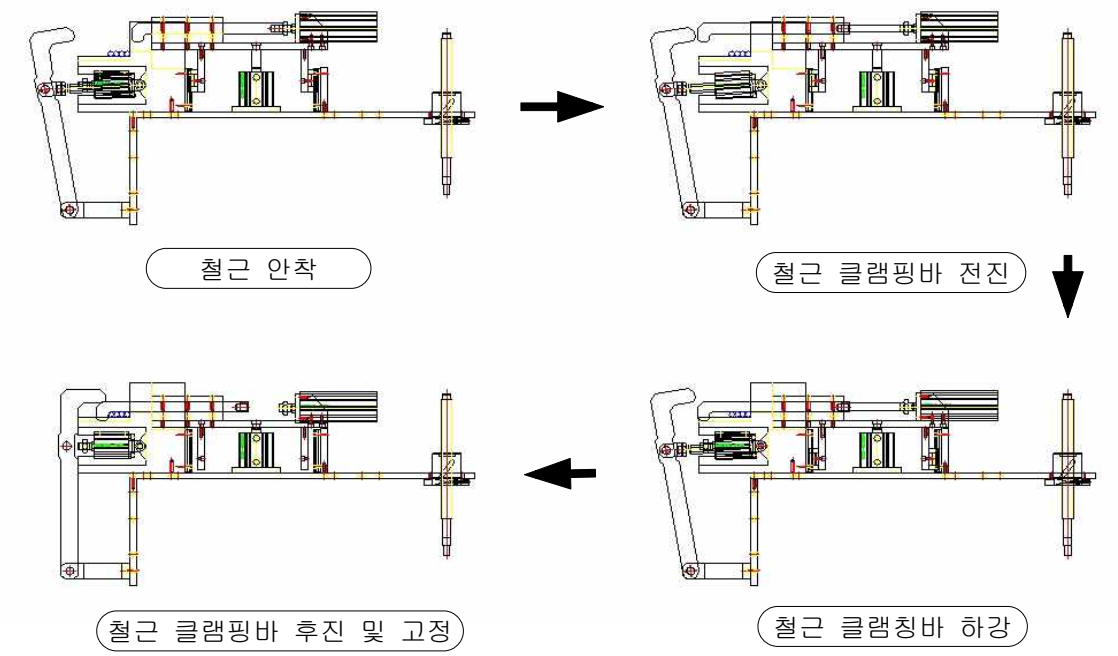
< Z축 철근 이송 장치 >

2) 철근 클램핑 장치

철근 클램핑 장치는 철근 클램핑바, 철근 클램핑 고정, 철근 클램핑 상하 장치로 구성되며, 작동 엑츄레이트는 모두 에어 실린더이다. 다음 그림과 같다.

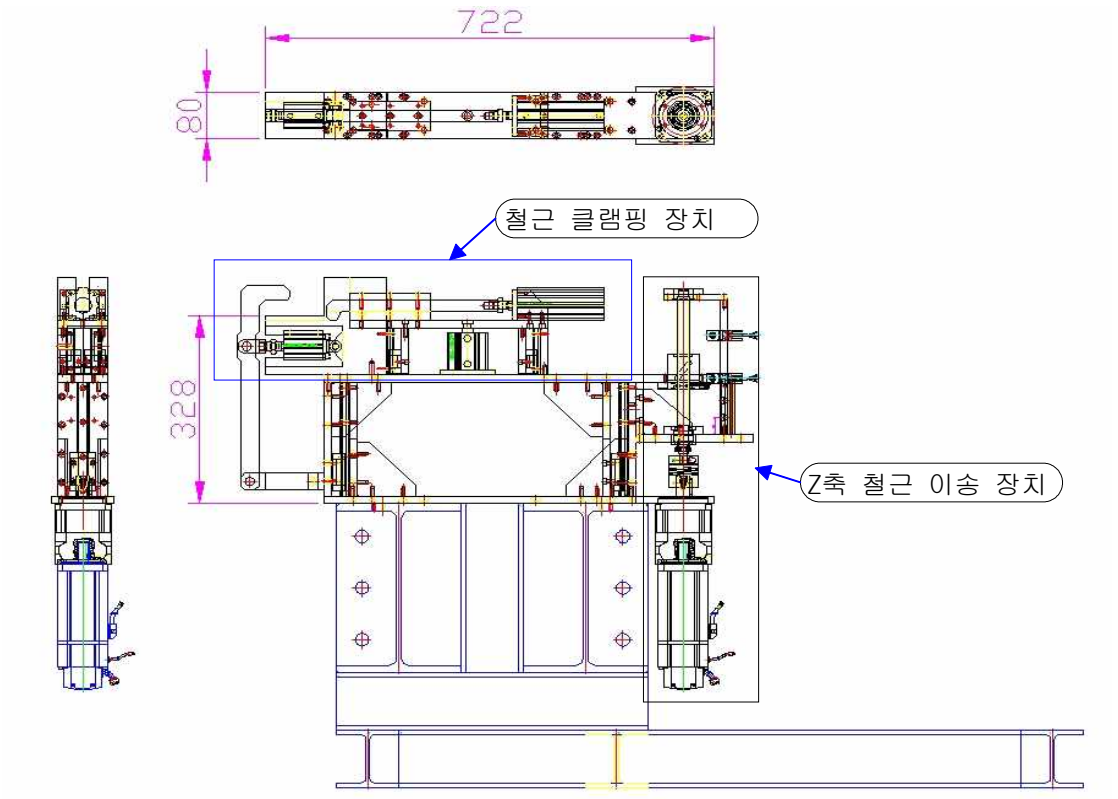


< 철근 클램핑 장치 >



< 철근 클램핑 형상 순서 >

위 그림과 같은 순서로 철근 클램핑이 이루어지며, 클램핑 해제는 역순으로 된다. 최종 철근 고정부는 아래와 같은 형상이 된다.

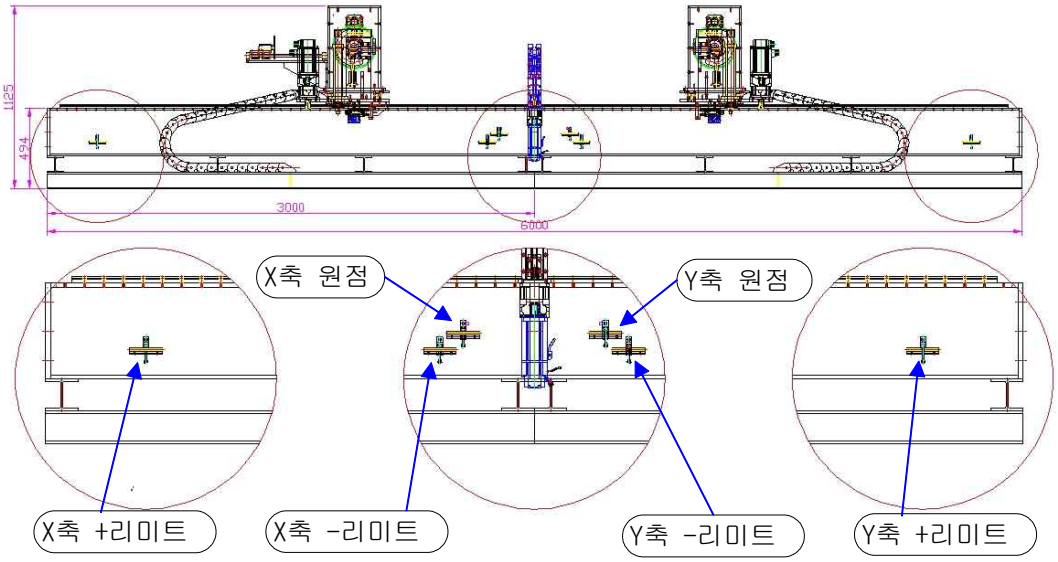


< 최종 철근 고정부 설계 >

(마) 기타 설계 (센서 위치 설계)

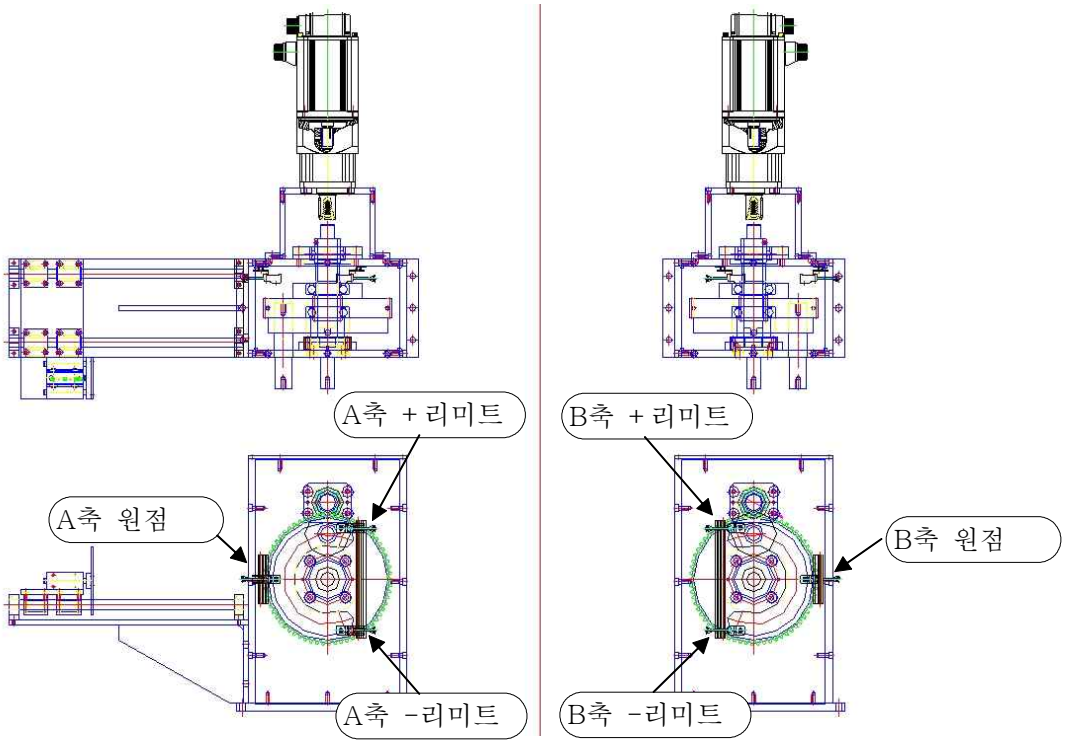
센서는 X축,Y축,Z축,A축,B축에 설치되고 에어 실린더 센서의 설명은 제외한다. 각3개의 센서가 존재하며 +리미트, -리미트, 원점센서로 동일한 구성이다.

1) X,Y축 프레임



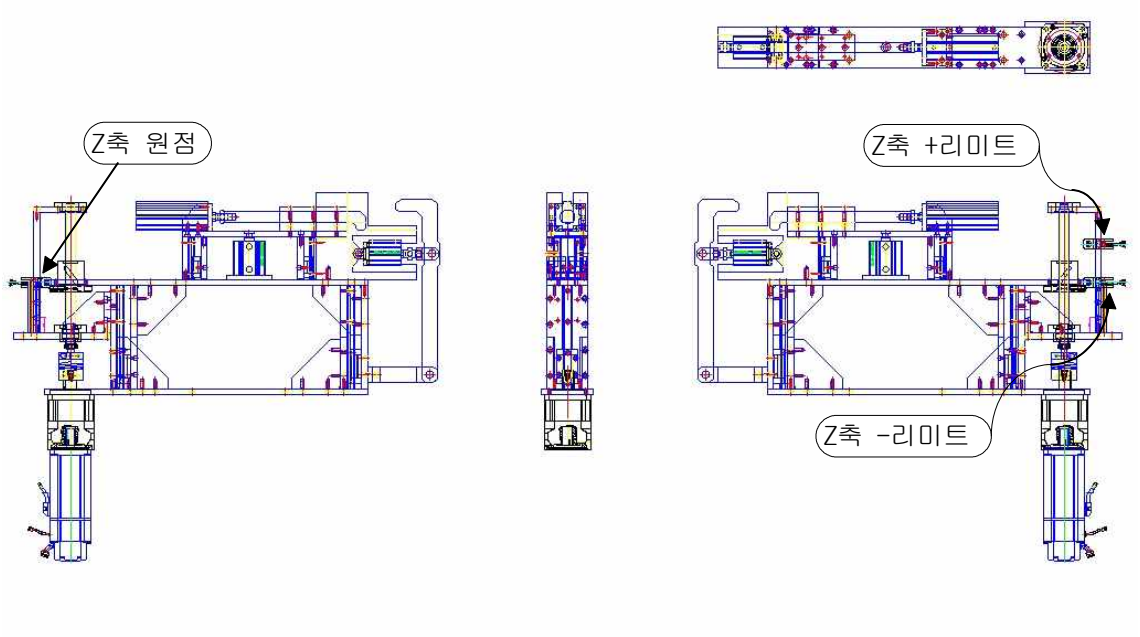
< X,Y 축 센서 위치 >

2) A,B축 밴딩 모듈



< A,B 축 센서 위치 >

3) Z축 철근 고정부

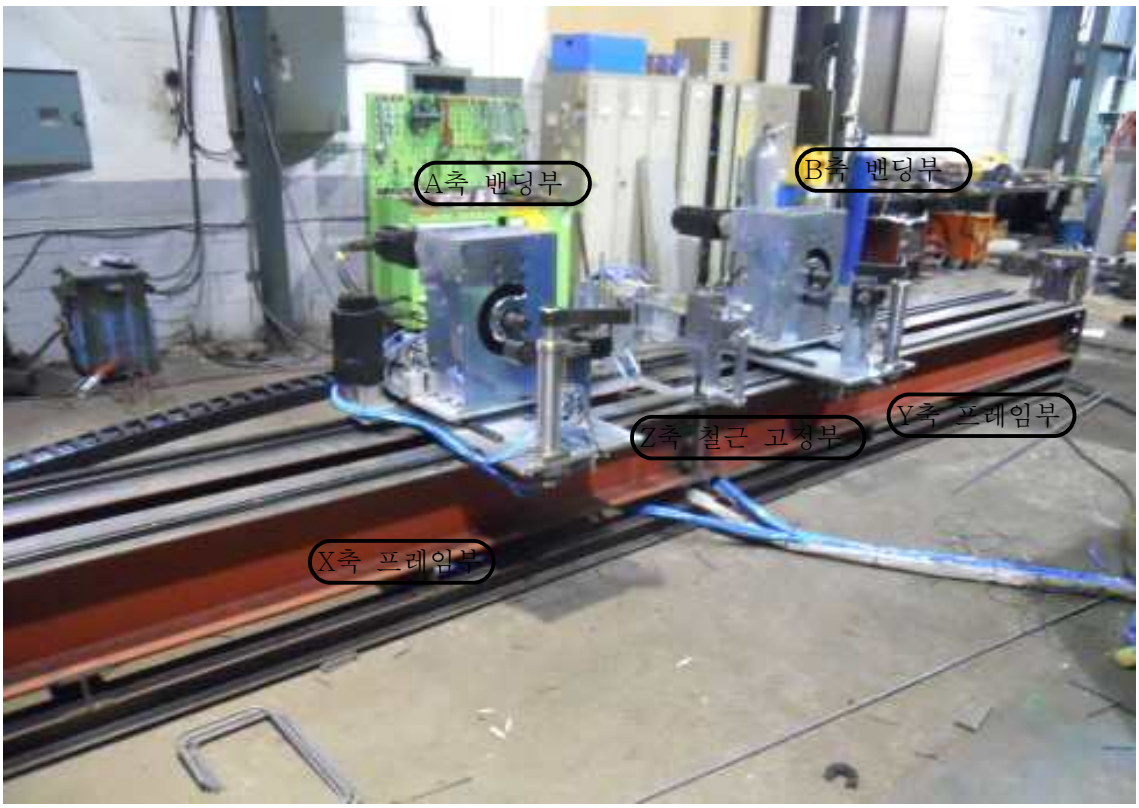


< Z축 센서 위치 >

다. 절곡시스템 시제품 제작

(1) 전체 시스템 구성

철근 밴딩기는 프레임부 (X축,y축), 밴딩부 (A축,B축), 철근 고정부로 구성된다.



< 철근 밴딩기 사진>

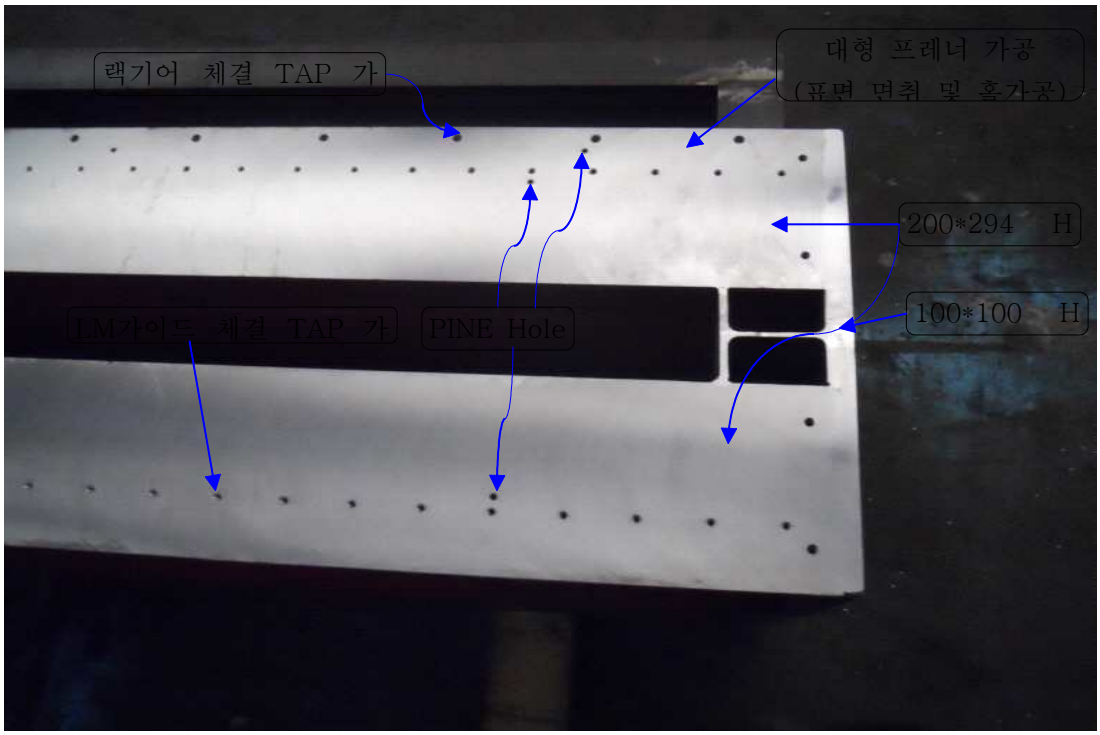
철근 밴딩기의 크기는 1125*1000*6000 (mm)이며, 가공 제작의 용이성을 위해, 1125*1000*3000 (mm)로 이등분하여 제작하였다. 대칭적인 구조를 띈다.

밴딩부 이송 및 밴딩작업을 서보모터를 사용하여 높은 토크와 반복 작업의 동일성을 목표로 한다.

(1) 시스템 세부 내용

(가) 프레임부

프레임부는 크게 X축 프레임과 Y축 프레임으로 나누어진다. 대칭구조로 제작되므로 X축 프레임에 대해서 설명하며, Y축 프레임은 생략한다. X축 프레임은 H빔으로 제작된 프레임과 LM가이드, 랙기어로 이루어지며, 형상은 아래 그림과 같다.



< 프레임 >

LM가이드와 랙기어를 체결하기 위해 대형 프레너로 표면을 가공하며, 체결시 평행성과 직진성을 맞추기 위해 맞춤핀을 이용한다.



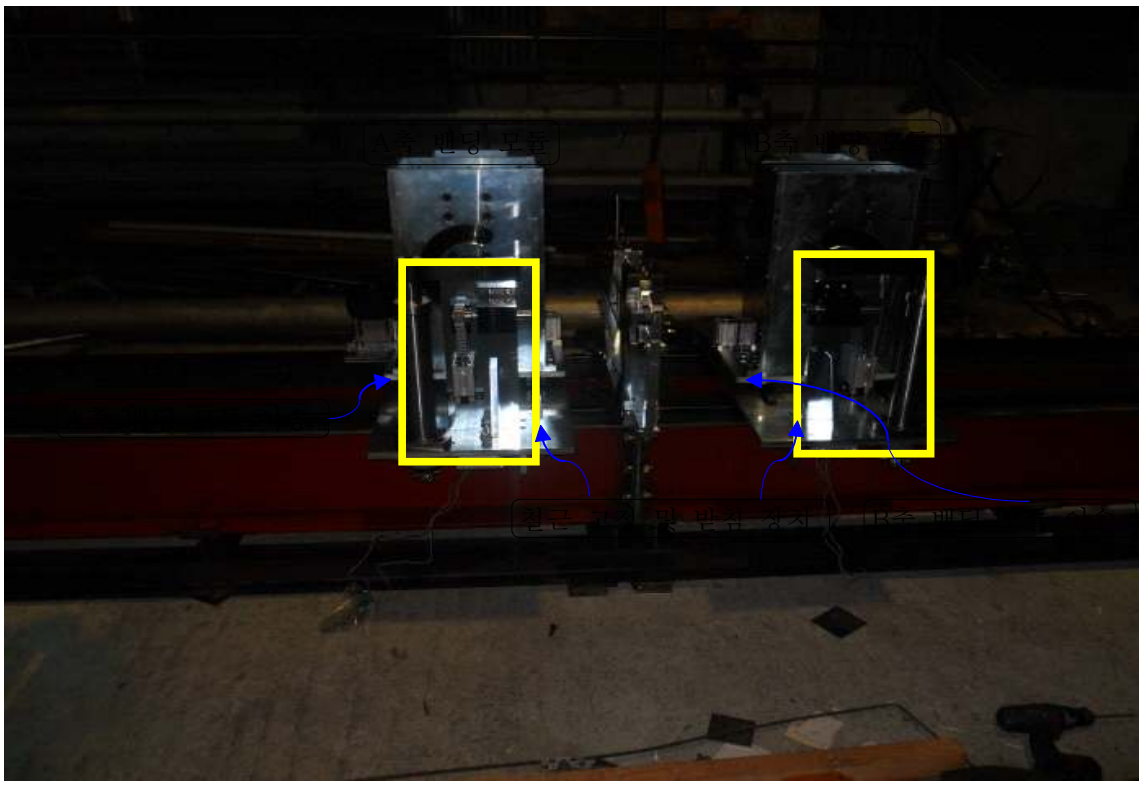
<프레임 LM가이드 체결>



<프레임에 렉기어 체결>

(나) 밴딩부

밴딩부는 A,B축 밴딩 모듈과 A,B축 밴딩 모듈 이송,X(Y),A(B) 고정 장치 그리고 철근 고정 및 받침 장치로 나누어진다.



< A,B축 밴딩부 사진>

밴딩부 또한 A축과 B축은 대칭구조이며 밴딩 모듈은 구동기어,밴딩기어, 밴딩기어축, 밴딩 롤러 축(고정),밴딩 롤러 축(회전), 밴딩 롤러로 구성된다. 구동기어와 밴딩기어는 모듈(M)4로 S45C 고주파열처리로 가공 제작되었으며, 잇수는 각각 13개와 65개로 1:5의 기어비이다. 밴딩 롤러는 SCM 재질로 침탄열처리 가공 제작하여 강도를 높였다.

철근 고정 및 받침 장치는 철근 상,하부 고정 장치와 철근 상부 받침대로 나누어지며, 철근 상,하부 고정 장치는 밴딩시 철근을 밴딩모듈에서의 이탈을 잡아준다. 그리고 철근 상부 받침대는 마이너스(-)방향 밴딩시 철근 고정부가 철근의 플러스(+)방향으로 들어 올리면 철근의 처짐을 보상해준다.



< 구동기어와 밴딩기어 >



< 밴딩기어 축>



< 밴딩 롤러(고정)축 >



< 밴딩 롤러(회전)축 >

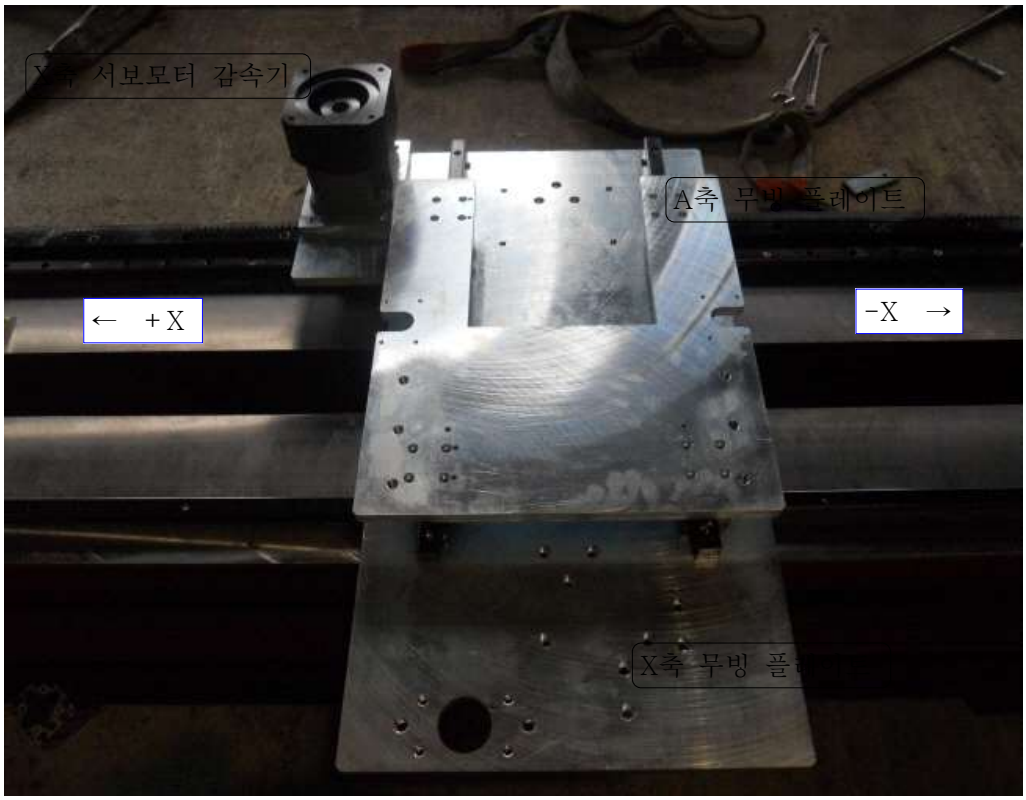


< 밴딩 롤러(고정) >



< 밴딩 롤러(회전) >

다음은 A축 밴딩 모듈 이송판(전후 방향)와 X축 이송판(좌우방향)의 사진이다. A축 밴eld 모듈 이송판 또한 LM가이드를 사용하고, 이송거리가 조절 될 필요 없으므로 엑추에이터를 에어 실린더를 사용한다.



< A축 밴딩 모듈 이송과 X축 이송 플레이트 사진 >

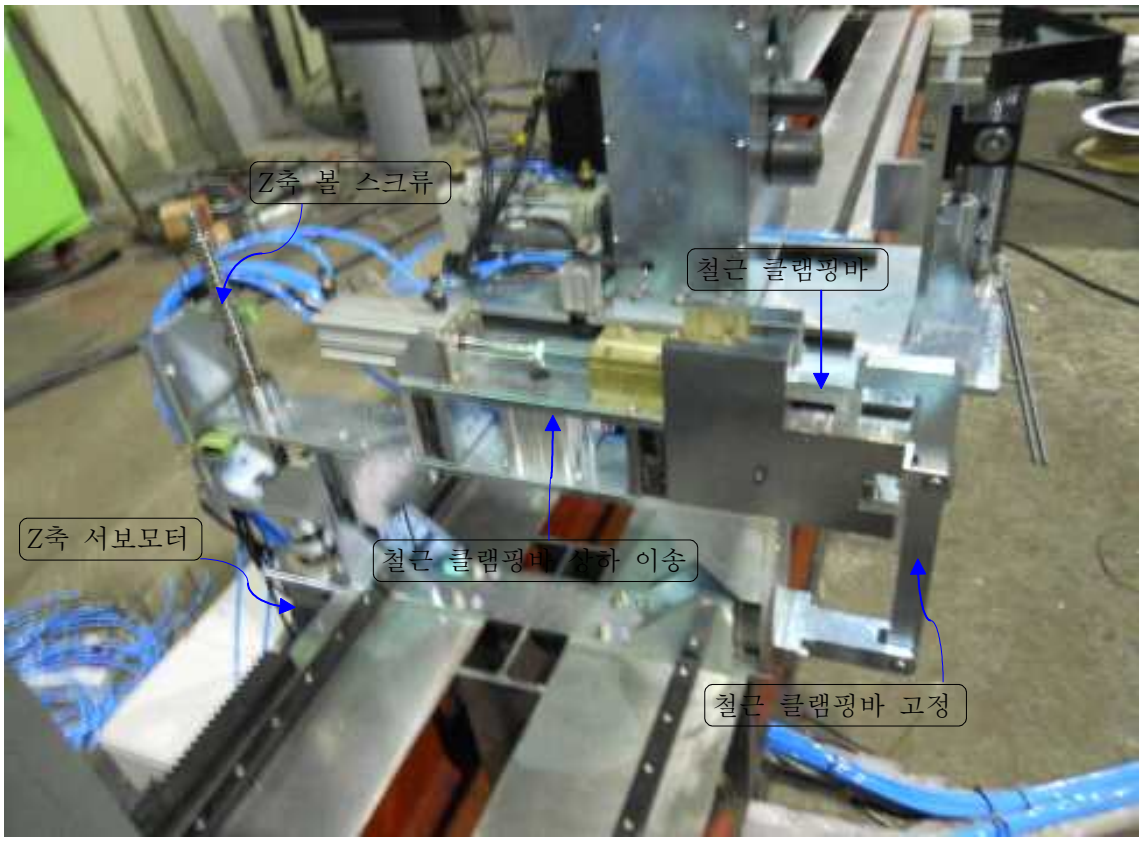
X축 고정 장치는 X축 무빙 플레이트 하부에 장착되어 X축방향으로 이동 후 정지시 프레임과 밴딩부를 고정하는 역할을 한다. A축 고정 장치 또한 X축 고장장치와 같은 역할은 한다.



< X(Y)축 고정 장치 >

(다) 철근 고정부

철근 고정부는 철근 클램핑 장치와 Z축 철근 이송 장치로 구성된다. 철근 클램핑 장치는 철근 클램핑바, 철근 클램핑 상하 이송, 철근 클램핑바 고정 장치로 세분화 되며, 엑추에이터는 에어실린더를 사용한다.



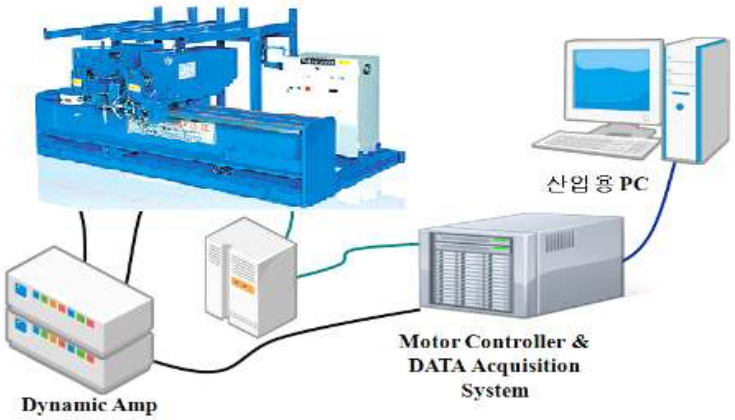
< 철근 고정부 >

Z축 철근 이송 장치는 Z축 서보모터와 볼스크류로 구성으로 Z축 고정 플레이트는 서보모터와 고정되고, 볼스크류는 Z축 무빙 플레이트와 고정된다. 그리고 철근 클램핑 장치가 Z축 무빙 플레이트와 고정되어 있다. 이로써 철근 클램핑 장치로 철근을 고정을 시키고 Z축 철근 이송 장치로 철근을 특정 위치로 이송 시킨다.

라. 수치제어 적용 절곡테스트 베드 제어기 개발

(1) 제어 시스템

제어시스템은 산업용 PC, 컨트롤러, 서보모터, 서보드라이브로 구성된다. 시스템 제어를 위해 절곡 테스트 베드는 서보모터를 이용하여 구동하며 X축 이송을 위해 서보2축을 사용하였고 절곡을 위한 회전도 서보 모터를 이용하여 정밀한 제어를 할 수 있게 했다. Y축 이송은 에어실린더를 사용하여 절곡방향이 달라질 때 자동절곡이 가능하게 하였다. 수치제어를 위해 산업용 PC에서 얻은 이송정보를 제어기로 보내고 제어기에서는 각축의 드라이버로 제어신호를 보내 원하는 위치로 이송이 가능하게 한다. 다음은 제어시스템의 전체 구성을 나타낸다.



< 제어시스템 구성 >

아래그림은 절곡 테스트 베드용 제어시스템과 전기장치를 나타낸다.



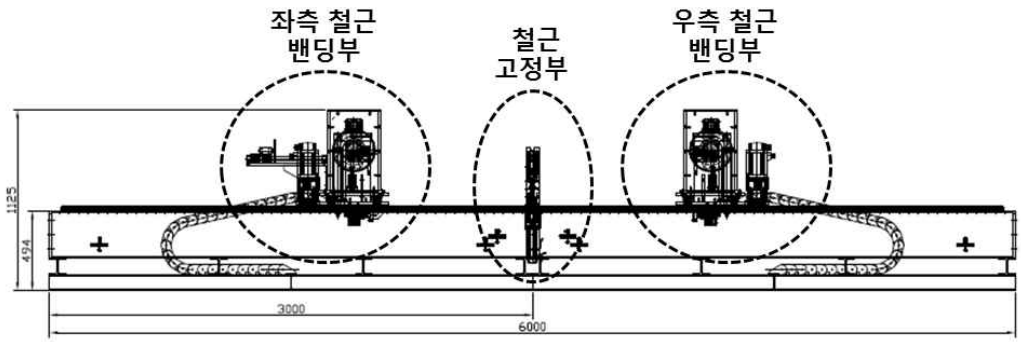
<산업용 PC를 이용한 제어시스템>



<모터 드라이브외 전기장치>

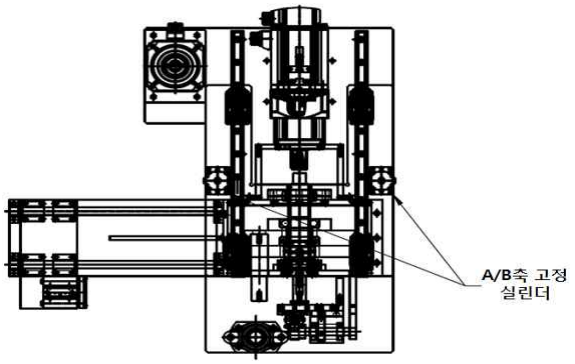
(2) 센서/ 실린더 설계 배치

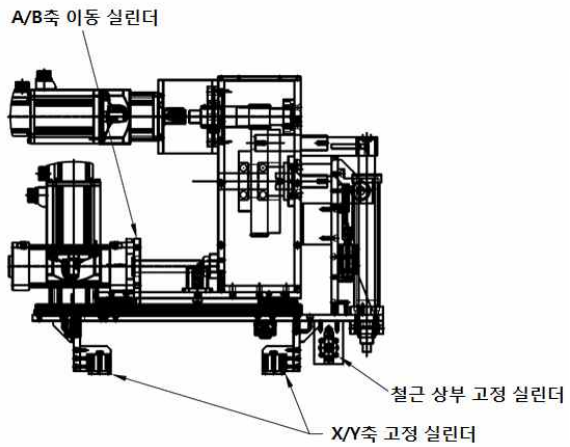
본관제의 철근 밴딩기는 다음과 같이 좌측 철근 밴딩부, 우측 철근 밴딩부, 철근 고정부 3 부분으로 나뉘어 진다.

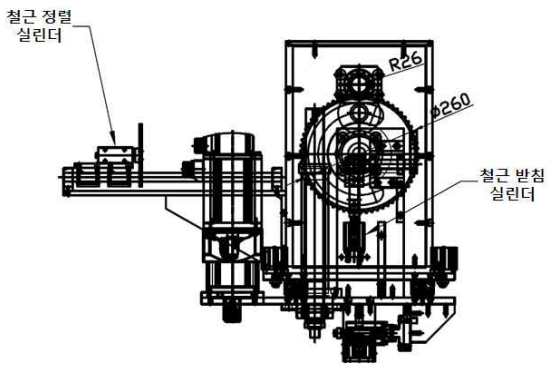


다음은 밴딩부 실린더 및 모터를 나타낸다.

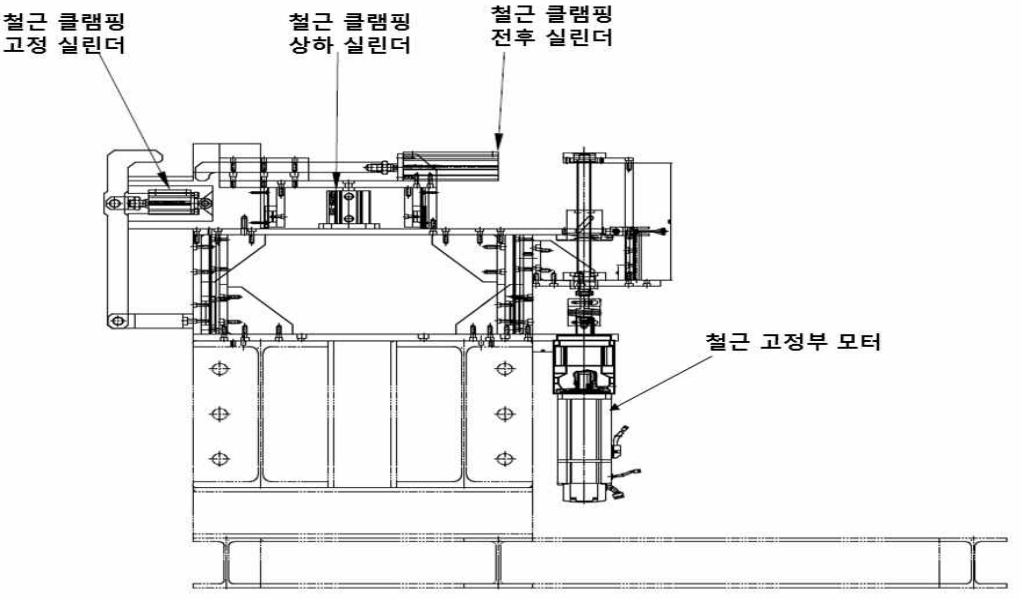
○ 밴딩부 도면





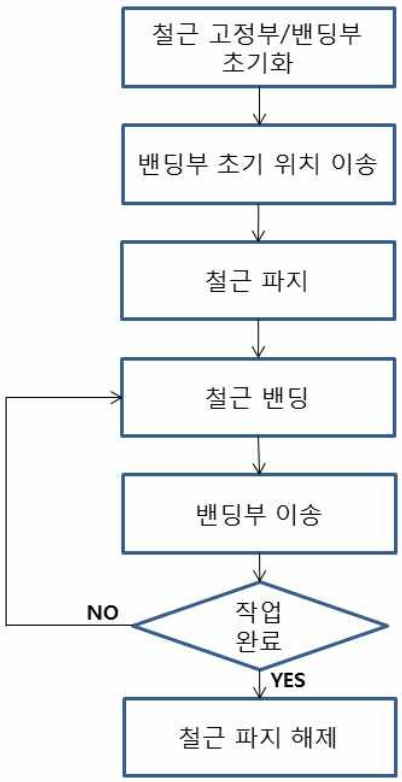


다음은 철근 고정부의 실린더 및 모터를 나타낸다.

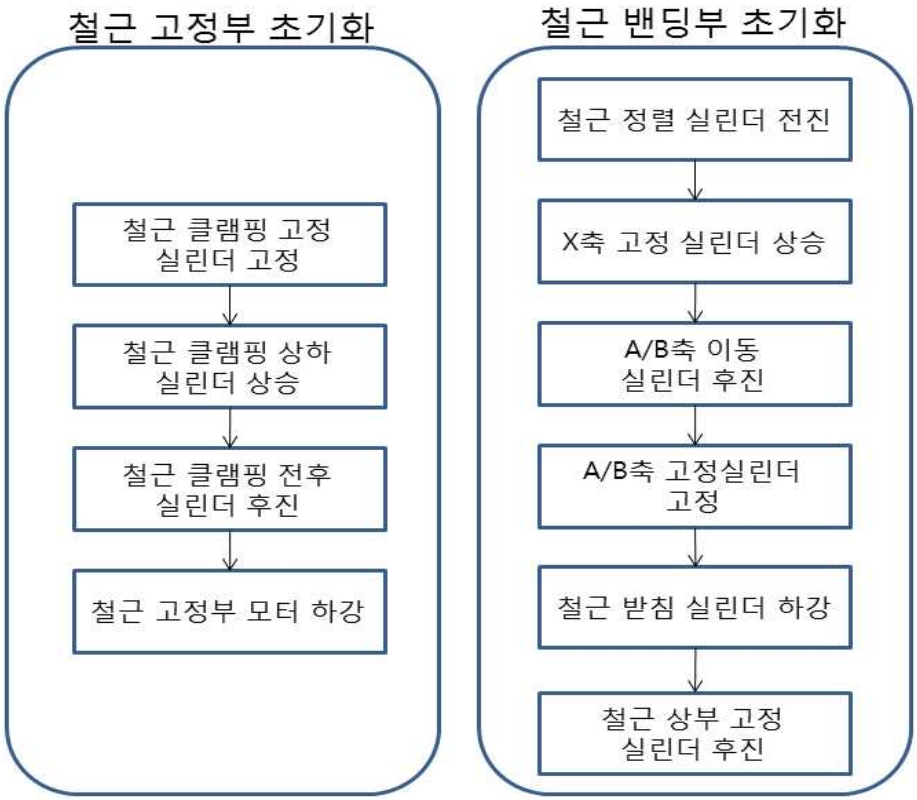


(3) 수치제어

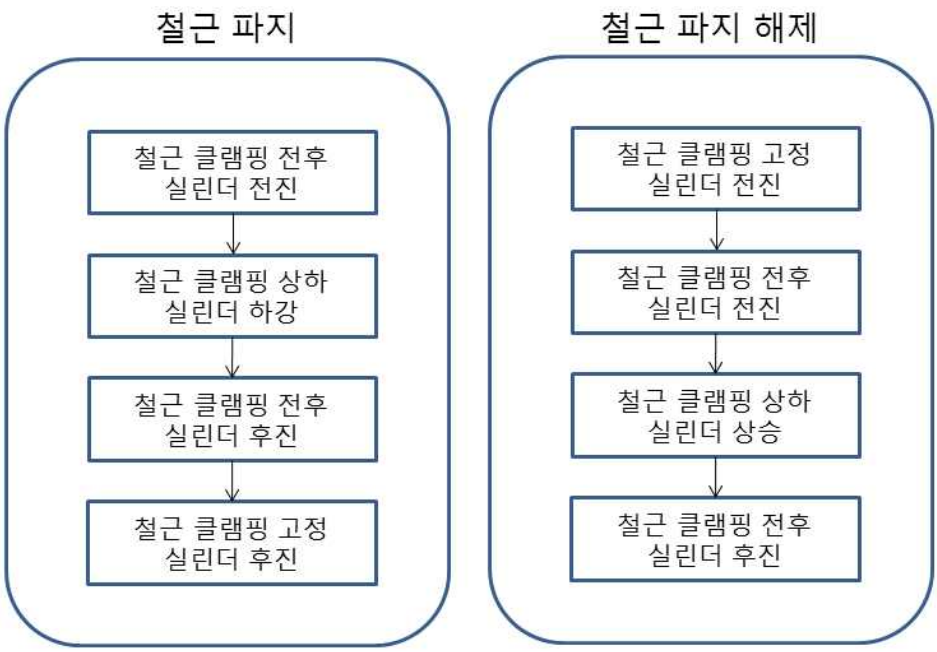
다음은 밴딩 작업 시퀀스를 나타낸다.



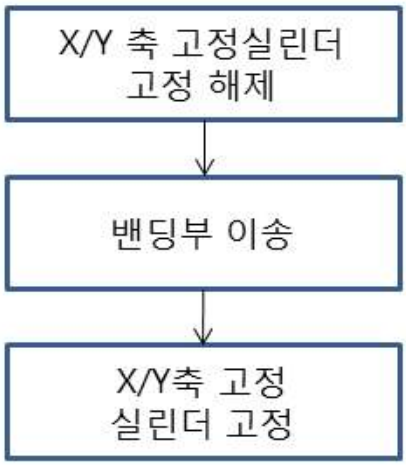
다음은 위 밴딩 시퀀스 중 철근 고정부와 밴딩부 초기화 시퀀스를 나타낸다.



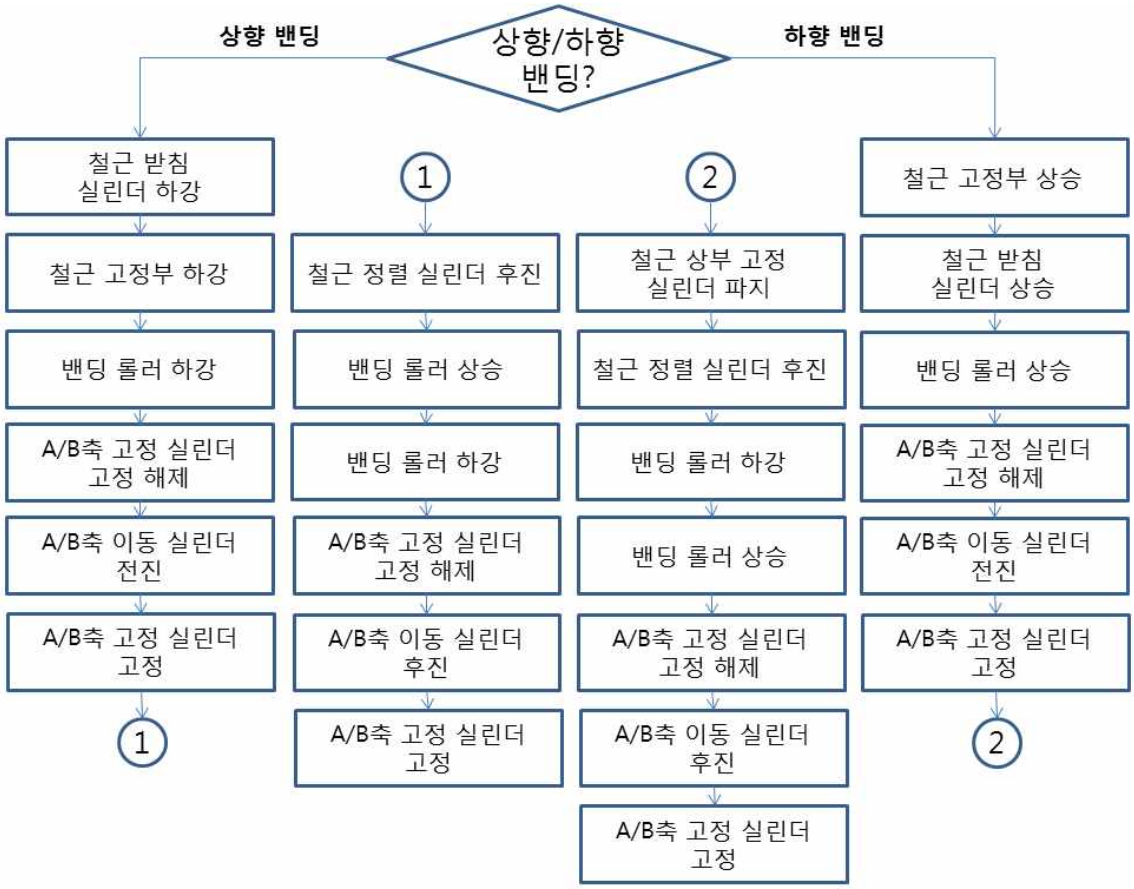
다음은 위 밴딩 시퀀스 중 철근 파지와 해제 시퀀스를 나타낸다.



다음은 위 밴딩 시퀀스 중 밴딩부 이송 시퀀스를 나타낸다.

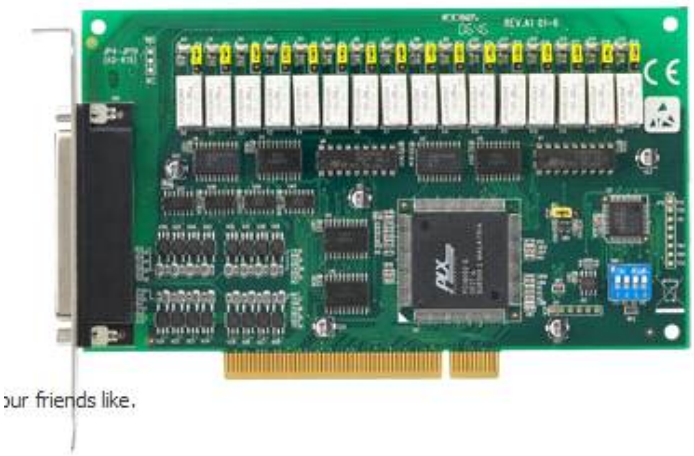


다음은 위 밴딩 시퀀스 중 밴딩부 밴딩 시퀀스를 나타낸다.



(4) IO 설계

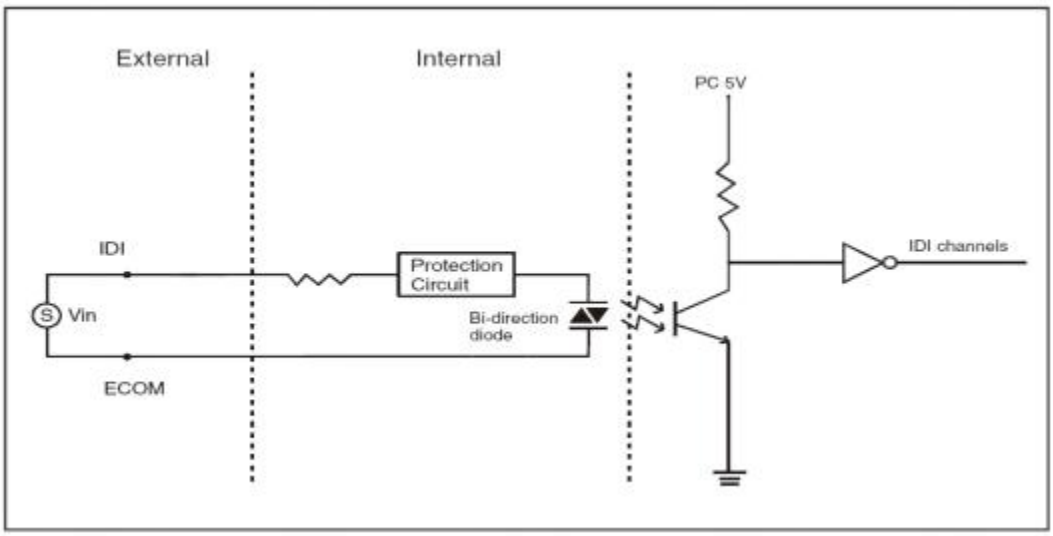
다음 그림은 본 과제에서 사용한 디지털 입출력 보드를 나타낸다.



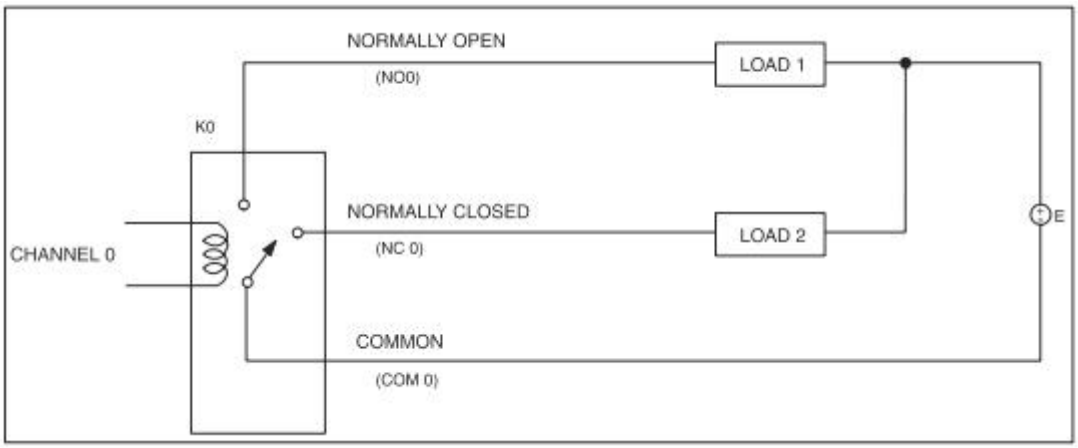
위 디지털 입출력 보드는 디지털 입력 16채널, 출력 16널을 가진다. 입력과 출력은 외부 신호와 분리시키기 위해 입력은 포토 커플러를 출력은 릴레이를 사용하였다. 본 과제에서는 위 디지털 입출력 보드를 2장을 사용하여 입력, 출력 각각 32채널을 사용하였다. 위 보드의 사양은 다음과 같다.

Isolated Digital Input		Relay Output	
항목	값	항목	값
Channels	16	Channels	16
Input Voltage	Logic 0 : 3V max Logic 1 : 10V min 50V max	Relay Type	SPDT
Interrupt Capable Channel	2	Contac Rating	0.25 A@250 V_{AC}, 2 A@30 V_{AC}
Isolation Protection	2,500 V_{DC}	Max. Switching power	62.5 VA, 60W
Overvoltage Protection	70 V_{DC}	Max. Switching Voltage	250 V_{AC}, 220 V_{DC}
Opto-Isolator Response	25 μs	Max. Switching Current	5A
Input Resistance	4.7 $k\Omega$	Min. Switching Load	100 μV
		Operate/Release Time	Typ. 3/2ms, max. 5/4 ms
		Resistance	Contac : 50 $m\Omega$ Insulation : 1 $G\Omega$

각 디지털 입력 채널은 10~50V dc 전압 입력이 가능하다. 그리고 이 dc 전압 입력은 양 방향이 가능하다. 이 입력 채널에 각 실린더에 장착된 센서들을 입력한다. 다음 그림은 외부 센서들을 이 입력 채널에 연결하는 방법을 도시 하였다.

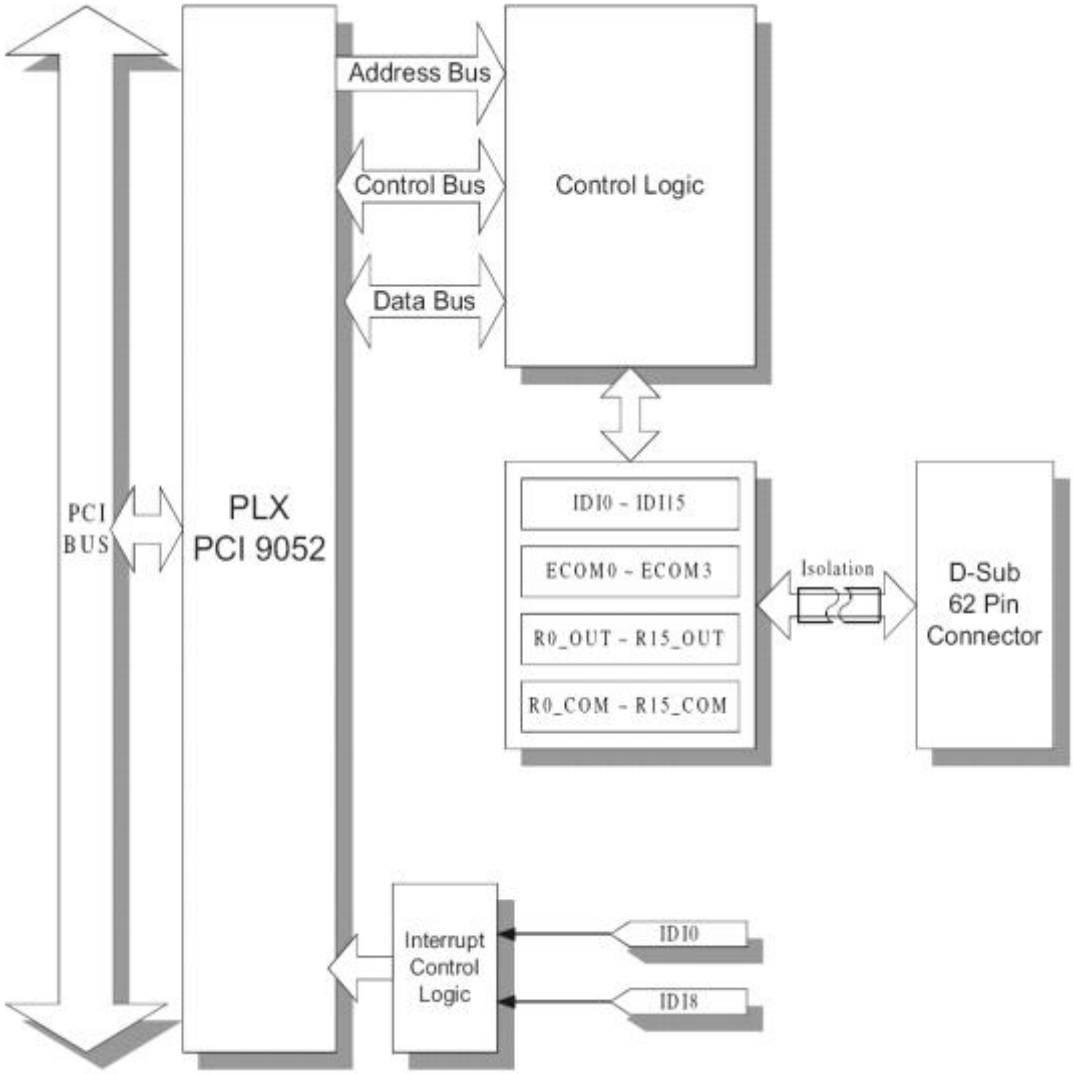


다음 그림은 릴에이 출력의 초기 상태와 외부 부하와 연결법을 도시 하였다.



위 그림에서 NO는 NORMALLY OPEN의 약자로서 초기 상태에 OPEN 상태인 A접점 단자를 나타내로 NC는 NORMALLTY CLOSED의 약자로써 초기 상태가 CLOSE인 B접점 단자를 나타낸다.

다음 그림은 디지털 입출력 보드의 전체 블록도를 나타낸다.

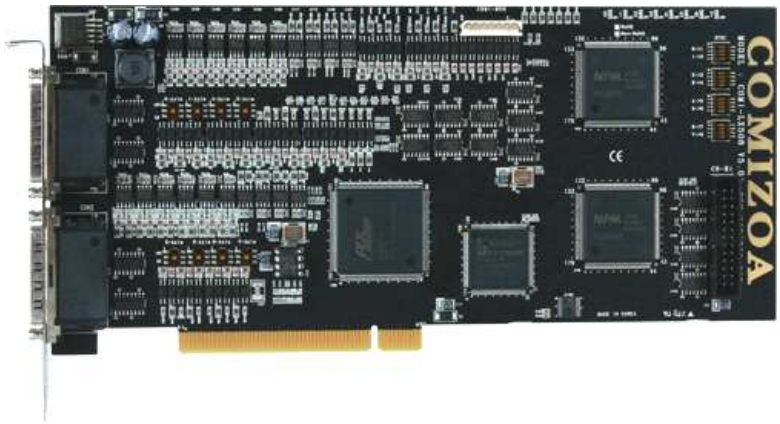


다음은 각 구동기의 출력 및 센서 입력을 나타낸다.

실린더	상태	출력 IO	입력 IO
철근 클램프 고정 실린더	고정	OUT1	IN24
	해제	OUT0	IN25
철근 클램프 전후 실린더	전진	OUT2	IN28
	후진	OUT3	IN29
철근 클램프 상하 실린더	상승	OUT4	IN30
	하강	OUT5	IN31
B축 이동 실린더	전진	OUT6	IN26
	후진	OUT7	IN27
A축 이동 실린더	전진	OUT8	IN11
	후진	OUT9	IN10
철근 상부 고정 실린더	고정	OUT16	IN19
	해제		IN18
철근 받침 실린더	상승	OUT17	IN20
	하강		IN21
B축 고정 실린더	고정	OUT18	IN23
	해제		IN22
Y축 고정 실린더	고정	OUT19	IN16
	해제		IN17
철근 상부 고정 실린더	고정	OUT20	IN02
	해제		IN03
철근 받침 실린더	상승	OUT21	IN05
	하강		IN04
A축 고정 실린더	고정	OUT22	IN06, IN09
	해제		IN07, IN08
X축 고정 실린더	고정	OUT23	IN01, IN13
	해제		IN00, IN12
철근 정렬 실린더	전진	OUT24	IN14
	후진		IN15

(5) 서보 시스템

다음 그림은 본 과제에서 사용한 모션 제어 보드를 나타낸다.



< 모션 보드 >

위 모션 보드의 사양은 다음과 같다.

Performance

▷ Number of controllable axes: 8 axes.

▷ Pulse rate setting range : 0.1 PPS ~ 6.55 MPPS

▷ Velocity profile : Linear, Trapezoidal, S-Curve velocity profile drive.

▷ Internal reference clock: 20 MHz

▷ Position pulse setting range: -134,217,728~ +134,217,728 pulses.

▷ Up / down counter counting range: 0~268,435,455 (28-bit) or －134,217,728 to +134,217,727

I/O Signals

▷ Input/Output Signals for each axis

▷ All I/O signal are optically isolated with 2500Vrms isolation voltage

▷ Command pulse output pins: OUT and DIR.

▷ Incremental encoder signals input pins: EA and EB.

▷ Encoder index signal input pin: EZ.

▷ Mechanical limit/switch signal input pins: ±EL, SD/PCS and ORG.

▷ Servomotor interface I/O pins: SVON, RDY, INP, ALM and ERC.

▷ Position latch input pin: LTC

▷ Position compare output pin: CMP.

▷ Pulser signal input pin: PA and PB.

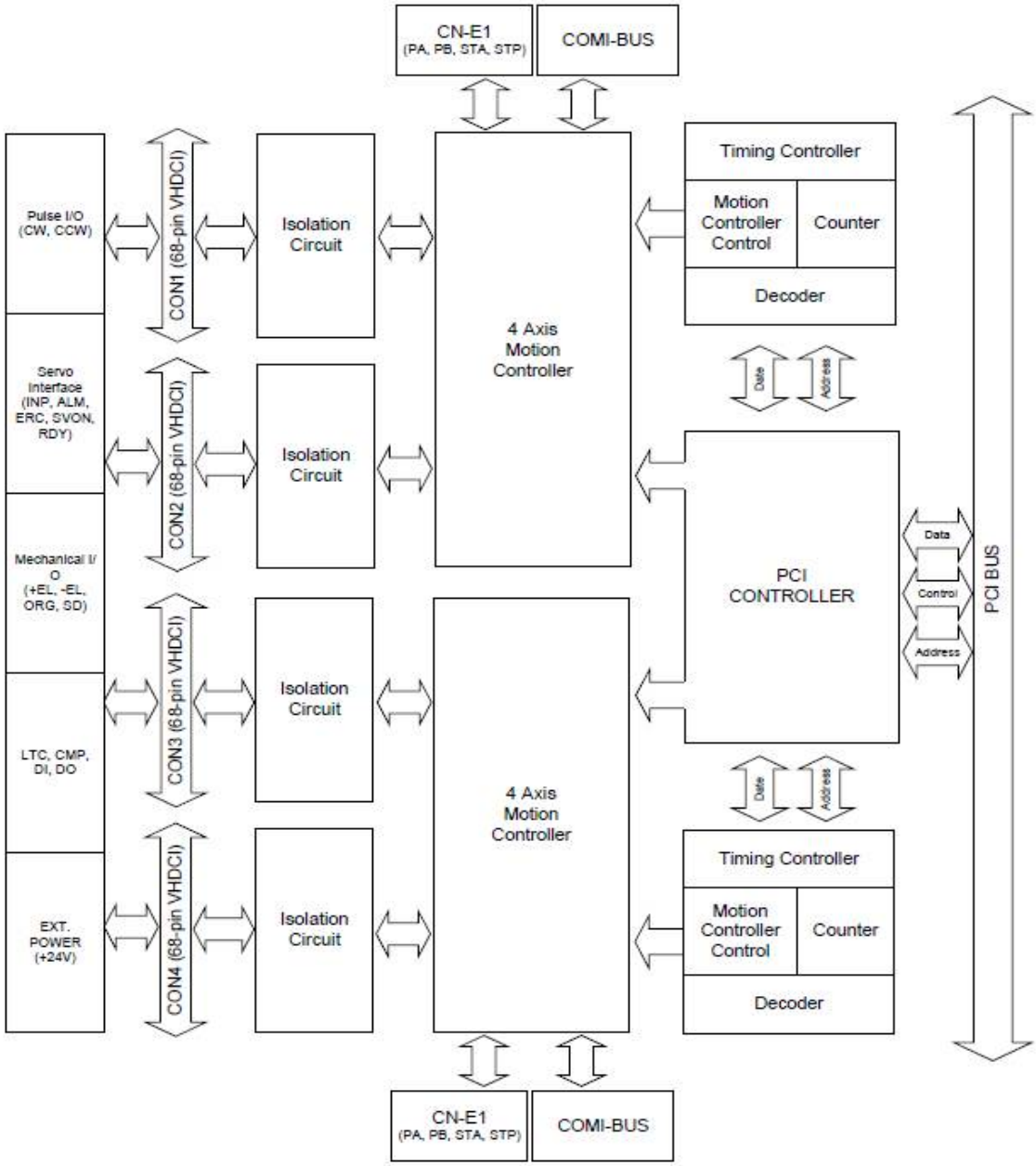
▷ Simultaneous Start/Stop signal I/O pins: STA and STP.

General-Purposed Digital In/Out

▷ 12 채널 Isolated Digital Input

▷ 12 채널 Open Collector Digital Output

다음은 모션 보드의 블록도를 나타낸다.

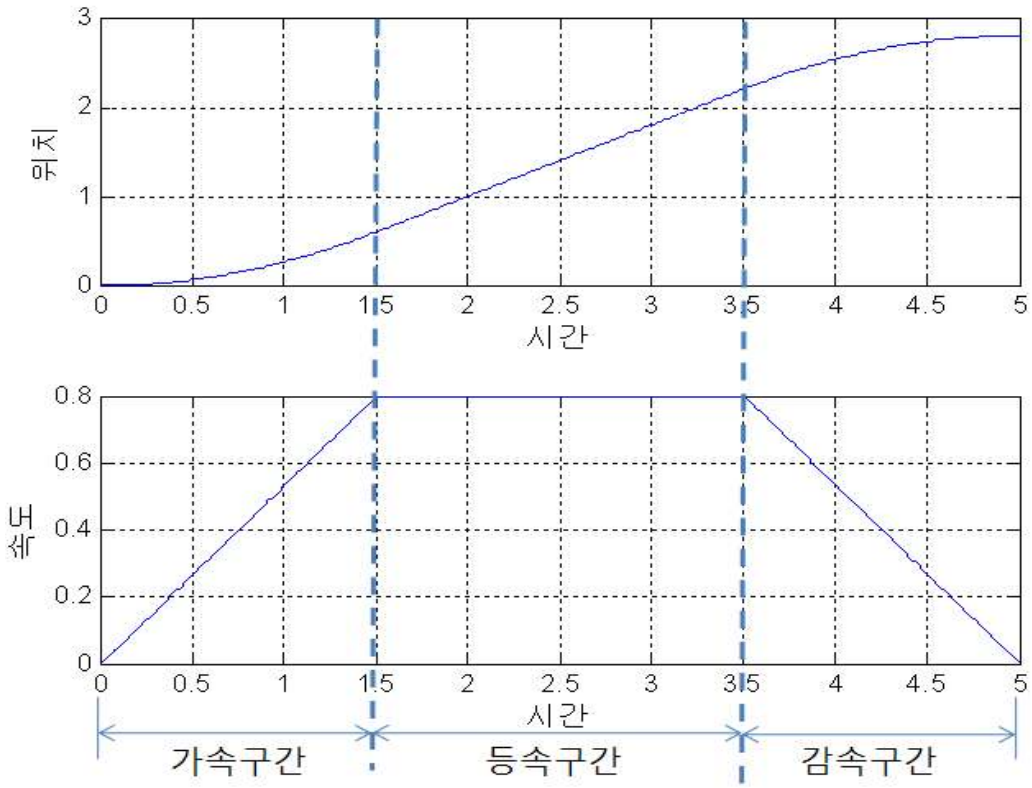


위 모션 보드에서 밴딩부 이송과 밴딩을 위한 회전 모터의 속도 프로파일은 사다리꼴 속도과 S-곡선 속도 프로파일을 사용한다. S-곡선 속도 프로파일은 3차, 5차, 7차 속도 프로파일이 존재한다.

(가) 사다리꼴 속도 프로파일

속도 프로 파일이 사다리꼴 형상인 프로파일은 계산이 간단하여 저가의 제어기에도 구현이 가능하며 구동시간이 짧은 편이어서 널리 사용된다. 하지만 가감속 구간의 시작점과 끝점에서는 커다란 저크가 발생하므로 큰 다이내믹 에러가 발생할 수 있다. 따라서 PTP(Point To Point) 또는 CTC(Continuous Tracking Control) 구동에서는 이러한 불연속적인 저크의 생성을 막기 위해 계산량이 많더라도 보다 부드러운 프로파일(3차,5차,7차 프로파일)을 개발하여 사용한다. 다음은 사다리꼴 속도프로파일의 위치 프로파일을 나타낸다.

$$S(t)=\begin{cases} S_i+\dfrac{1}{2}a_c t^2 & 0\le t\le t_c \\ S_i+a_c t_c(t-t_c/2) & t_c<t\le t_f-t_c \\ S_f-\dfrac{1}{2}a_c(t_f-t)^2 & t_f-t_c<t \end{cases}$$



(나) 3차 방정식을 응용한 구동 프로파일

다음의 식 (2.1)의 도함수들인 식(2.2)과 (2.3)은 다음과 같다.

$$y = a + bt + ct^2 + dt^3 \qquad (2.1)$$

$$y' = b + 2ct + 3dt^2 \qquad (2.2)$$

$$y'' = 2c + 6dt \qquad (2.3)$$

위 식(2.1),(2.2),(2.3)은 각각 위치, 속도, 그리고 가속도 프로파일을 나타낸다. 구동 프로파일을 유도할 때는 표준화된 방정식(Normalized equation)으로 구하는 것이 디지털 제어기에서 프로그램하기가 편리하다.

위식(2.1)은 3차식이므로 여기서 결정해야 할 미지수는 4개이다. 따라서 4개의 경계조건을 적용하여 미지수들을 구할 수 있다. 우선 시간이 0인 시점에서 위치와 속도는 모두 0이고, 시간이 1일 때 우치는 1 그리고 속도는 역시 0이 되어야 한다는 기초적인 4개의 경계조건을 고려하면 다음과 같다.

$$y(0) = 0,\ y(1) = 1 \qquad (2.4)$$

$$y'(0) = 0, y'(1) = 0 \qquad (2.5)$$

경계조건들을 식(2.1),(2.2)에 대입하면

$$a = 0, b = 0 \qquad (2.6)$$

$$c + d = 1,\ 2c + 3d = 0 \qquad (2.7)$$

위 연립방정식을 풀면 c=3, d=-2가 되고 이를 식(2.1)에 대입하면 최종 표준화된 위치 프로파일은 다음과 같다.

$$y = 3t^2 - 2t^3 \qquad (2.8)$$

이렇게 표준화된 위치 방정식(Normalized position equation)을 디지털 제어기에서 구현하기 위해 쉬운 형태로 바꾸어 주면 다음과 같이 식(2.9)에서 식(2.12)으로 표기할 수 있다.

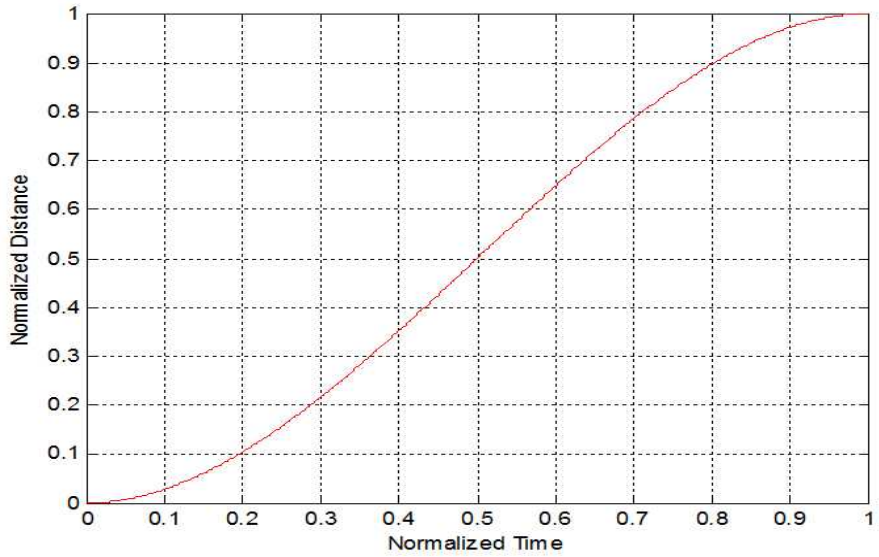
$$y(\frac{t}{T}) = [3(\frac{t}{T})^2 - 2(\frac{t}{T})^3]S \qquad (2.9)$$

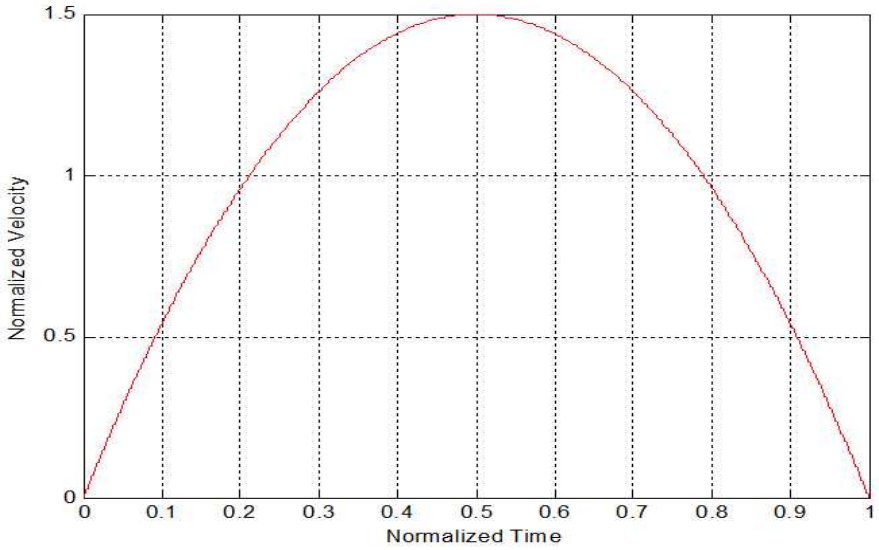
$$y'(\frac{t}{T}) = [(\frac{6}{T})(\frac{t}{T}) - (\frac{6}{T})(\frac{t}{T})^2]S \qquad (2.10)$$

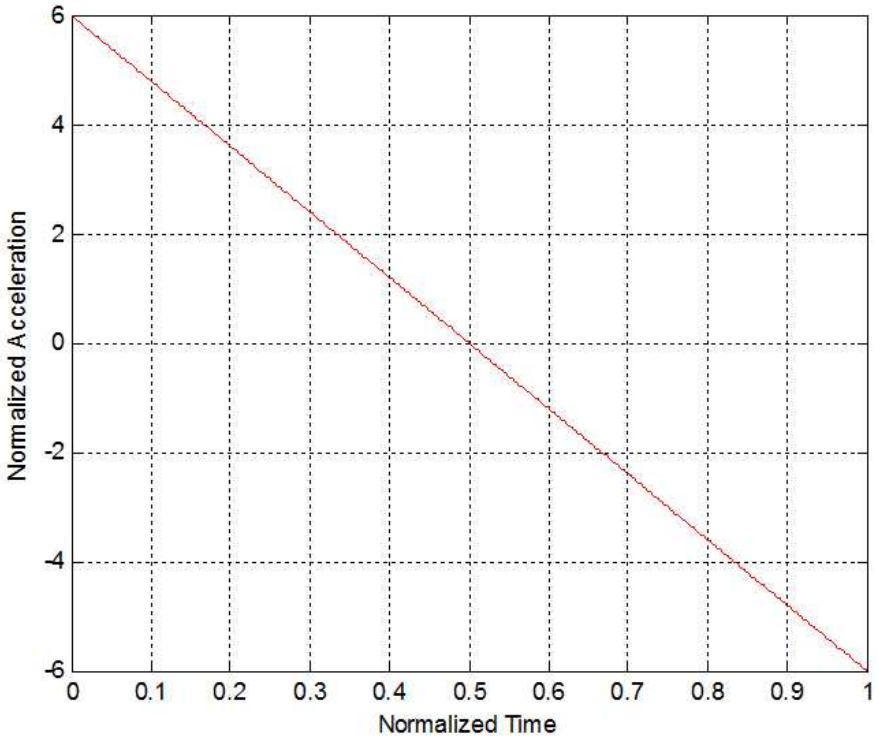
$$y''(\frac{t}{T}) = [(\frac{6}{T^2}) - (\frac{12}{T^2})(\frac{t}{T})]S \qquad (2.11)$$

$$y'''(\frac{t}{T}) = -(\frac{12}{T^3})S \qquad (2.12)$$

여기서 S는 이동거리, T는 구동 시간이다. 다음 그림은 표준화된 3차 위치, 속도, 가속도 프로파일을 각각 나타낸다.







(다) 3차 모션 프로파일의 구동시간 결정

모션 프로파일 방정식이 결정된 후 밴딩부의 구동을 위해 가장 먼저 결정되어야 하는 것이 구동 시간이다. 즉, 얼마나 빠른 시간 내에 밴딩부가 정해진 거리로 이동 시킬 것인가를 먼저 결정하여야 한다. 일반적으로 정해진 거리에 대한 구동 시간은 빠르면 빠를수록 좋은 경우가 많다. 하지만 주어진 파라메터 이내에서 가능한 가장 빠른 구동 시간을 선택해야 한다. 특정 시스템에서 정해진 거리에 대한 최소 구동시간은 몇가지 시스템의 한계에 의해 결정된다. 갠트리 테이블의 최소 구동 시간을 결정짓는 가장 대표적인 파라메터 3가지는 시스템의 최대 허용 속도, 최대 허용 가속도 및 최대 허용 저크(jerk)이다.

1) 최대 허용 속도

서보 시스템 구도의 최대 허용속도는 주로 엔코더의 최대 출력 주파수(Maximum Encoder Output Frequency)와 엔코더 카운터부의 최대 입력 주파수에 의하여 결정되는 경우가 많다. 리니어 엔코더 경우에는 정현파를 출력하는 엔코더 헤드(Head)부, 정현파를 잘게 쪼개어 미세한 해상도를 얻어내는 엔코더 채배기 그리고 디지털 펄스로 출력되는 위치신호를 저장하는 카운터 등 3가지 주요 모듈을 동시에 고려하여야 한다.

엔코더의 헤드부에서 출력되는 정현파는 광 다이오드로 구성되어 속도가 빨라짐에 따라

그 신호의 크기가 줄어들기 때문에, 속도가 0일때의 신호 크기를 기준으로 -3dB(선형 좌표계로 신호의 크기가 0.707배가 되는)되는 주파수를 일반적으로 최대 출력 주파수로 규정한다. 본 연구에서 사용한 엔코더로써 최대 속도 대역폭은 10m/s로 규정하고 있다.

카운터의 입력 주파수의 한계

일반적으로 DSP 보드나 제어기 보드의 경우, 카운터는 FPGA 또는 CPLD등으로 설계하는 것이 보편적이다. 그리고 보통의 카운터 쪽의 입력부에 4체배 로직을 설계하여 이전단의 채배기에서 나온 펄스 신호를 마지막으로 4채배를 더해주는 것이 일반적인 형태이다. 따라서 FPGA또는 CPLD의 동작 클록 주파수가 구동부가 최대 속도로 움직일 때의 채배기 출력 펄스 주파수의 4배 이상이 되어야 4채배 로직이 정상적으로 동작하게 된다.

2) 최대 허용 가속도

최대 허용 가속도는 주로 서보를 구동하는 모터가 발휘할 수 있는 최대 힘과 부하의 크기에 의해서 결정되므로, 결과적으로 부하, 모터 상수 그리고 앰플리파이어가 낼수 있는 최대 전류에 의하여 결정된다.

3) 최대 허용 저크

최대 허용 저크의 결정은 시스템의 제어 주파수(인터럽트 주파수), 모터 amplifier의 전류 제어 밴드폭, 모터의 전기적인 시정수(Electrical time constant), 모터의 공급 전압, 기계적인 강성, D/A 출력 및 Op amp의 밴드폭 등의 제어 시스템 전체의 성능에 따라 결정되는 파라미터로써 고속 시스템의 경우 이 최대 허용 저크를 얼마나 높일 수 있느냐에 따라 시스템의 운동시간에 대한 성능이 좌우 된다. 최대 허용 저크는 주로 실험에 의하여 결정되고, 검증되어야한다. 최대 허용 저크는 시스템의 전체적인 성능 지표라 볼 수도 있다.

위와 같은 사항을 고려하여 최대 속도, 가속도, 저크가 결정되었다면 최대 이동 시간을 계산하여야 한다.

최대 속도 고려

표준화된 3차 속도 프로파일의 속도는 표준화된 시간 $\frac{t}{T}=0.5$에서 최대 값을 갖는다. 따라서 다음과 같은 방정식을 만족하여야 한다.

$$y'_{\max}(0.5) = [(\frac{6}{T_V})(0.5) - (\frac{6}{T_V})(0.5)^2]S \qquad (2.14)$$

여기서 T_V는 최대 속도를 고려할 경우 이동 시간, S는 이동거리이다. 위 식을 T_V에 대해 정리하면 다음과 같다.

$$T_V = 1.5 \times \frac{S}{y'_{\max}} \qquad (2.15)$$

최대 허용 가속도 고려

표준화된 3차 가속도 프로파일에서 양 끝단 즉 표준화된 시간 $\frac{t}{T}=0$와 $\frac{t}{T}=1$에서 최대 가속도가 발생한다. 따라서 다음과 같은 방정식을 만족하게 된다.

$$y''_{\max}(0) = [(\frac{6}{T_A^2}) - (\frac{12}{T_A^2})(0)]S \qquad (2.16)$$

여기서 T_A는 최대 가속도를 고려할 경우 최대 이동 시간을 나타낸다. 이동 시간은 위식에서 T_A에 대해 다시 정리 하면 다음과 같다.

$$T_A = \sqrt{\frac{6S}{y''_{\max}}} \qquad (2.17)$$

최대 허용 저크 고려

표준화된 3차 저크 프로파일의 표준화 된 시간$\frac{t}{T}=0$에서 최대 저크가 발생한다. 따라서 다음과 같은 방정식을 만족한다.

$$y'''_{\max}(0) = (\frac{12}{T_J^3})S \qquad (2.18)$$

여기서 T_J는 최대 저크를 고려할 경우 최대 이동 시간을 나타낸다. 이동 시간은 위식에서 T_J에 대해 다시 정리 하면 다음과 같다.

$$T_J = \sqrt[3]{\frac{12S}{y'''_{\max}}} \qquad (2.19)$$

(라) 모션 프로파일 구현

고속 이송 시스템의 경우 제어의 샘플링 주파수가 높아지게 된다. 따라서 위치 제어를 위한 모션 프로파일을 계산하는 시간 또한 감소하게 된다. 실제 디지털 제어기에서 이러한 계산 시간을 줄이기 위해 표준화된 모션 프로파일 데이터를 위해 유한한 사이즈를 가지는 해쉬 테이블에 저장하여 사용하게 된다. 갠트리 테이블의 구동 시간과 디지털 제어기의 시스템 샘플링 주파수가 결정된다면 제어에 필요한 샘플링 주파수 개수는 다음과 같이 계산될 수 있다.

필요한 샘플링 주파수 개수 = 구동시간 x 시스템 샘플링 주파수

위와 같이 필요한 샘플링 주파수 개수가 결정되면 표준화된 모션프로파일 해쉬 테이블의 참조 인덱스 폭은 다음과 주어진다.

테이블 참조 인덱스 폭 = 테이블 사이즈/필요한 샘플링 주파수 개수

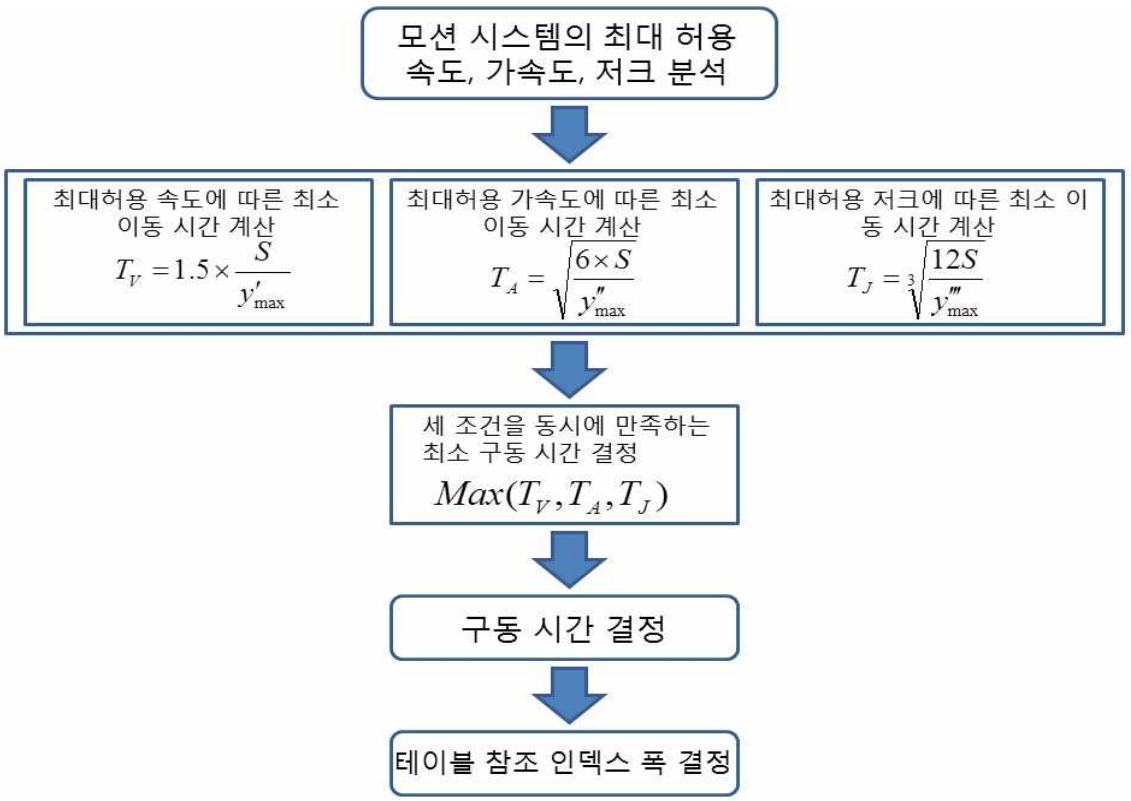
아래 그림은 구동시간이 결정되어 테이블 참조 인덱스 폭이 주어지면 각 샘플림 타임때마다 테이블 참조 포인터를 테이블 참조 인덱스 폭 만큼 이동시키면서 표준화된 위치 값을 얻는 방법을 나타내고 있다.



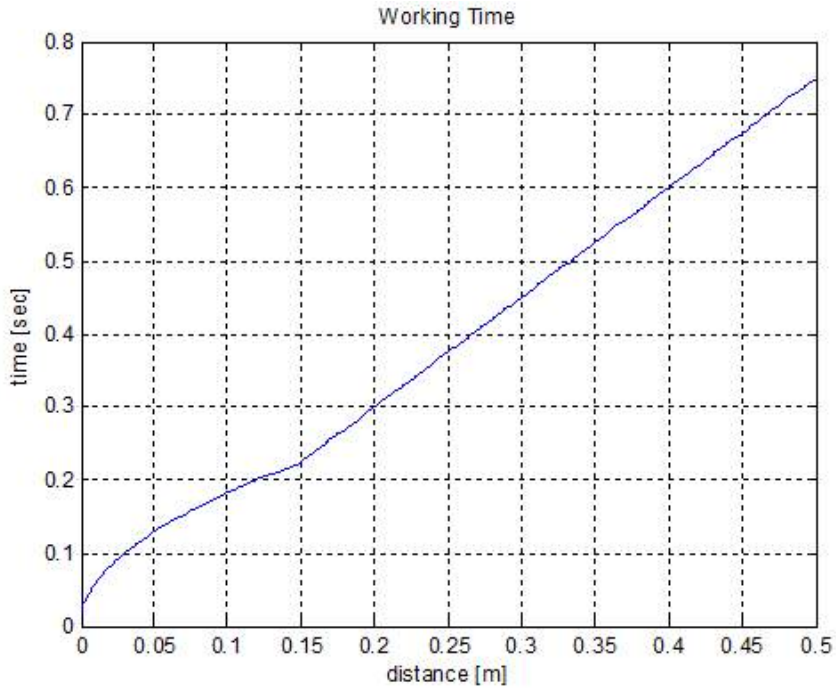
테이블 사이즈(N)=필요한 샘플링 주파수 개수 X 테이블 참조 인덱스 폭

< 테이블 참조와 테이블 참조 포인터 이동>

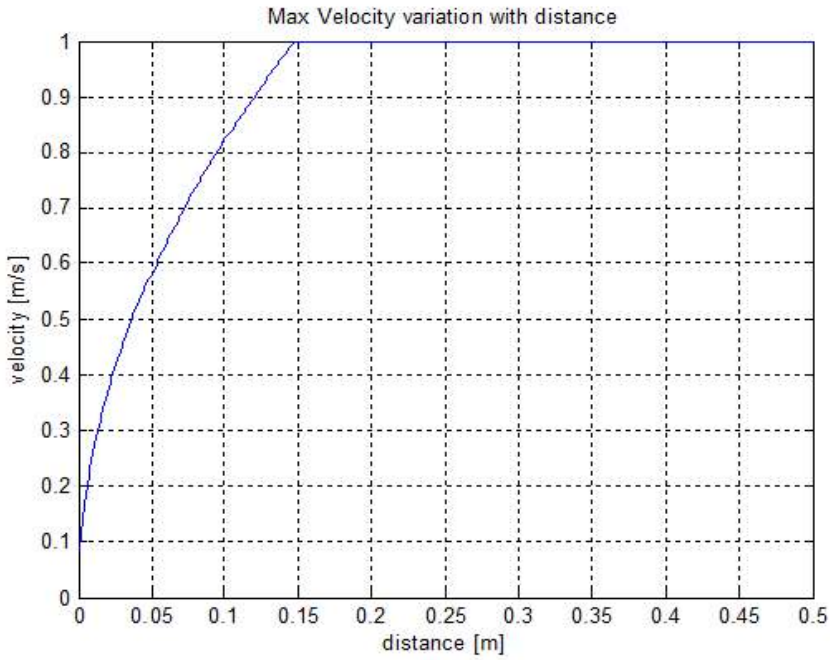
다음은 위에 설명한 것처럼 테이블 참조 인덱스 폭을 결정하기까지의 전과정을 도시 하였다.



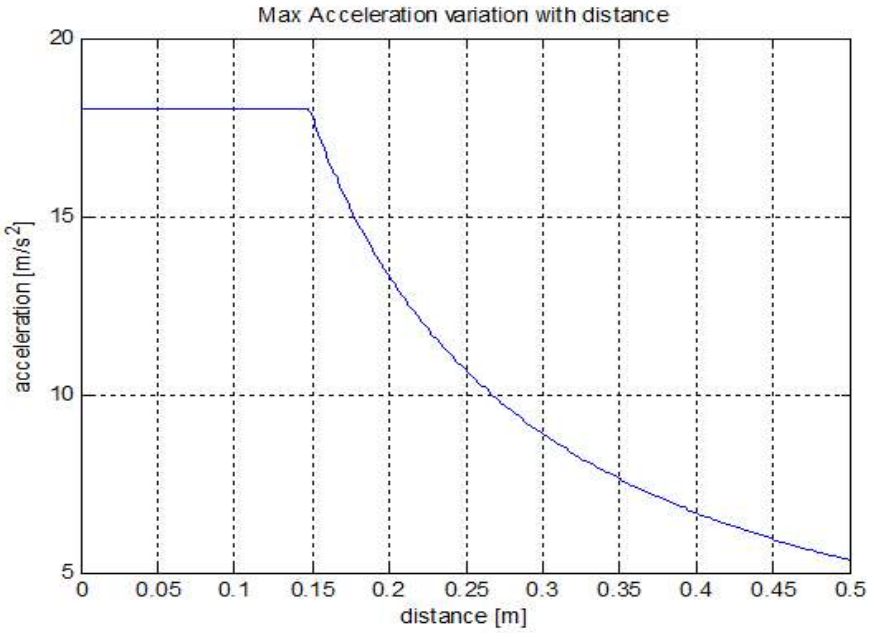
<3차 모션 프로파일의 최소 구동시간 결정>



< 3차 모션 프로파일의 거리에 따른 구동 시간 Vmax=1m/s, Amax=18m/s^2>



< 3차 모션 프로파일의 거리에 따른 최대 속도, Vmax=1m/s, Amax=18m/s^2 >



< 3차 모션 프로파일의 거리에 따른 최대 가속도, Vmax=1m/s, Amax=18m/s^2 >

위 그림 중 거리에 따른 구동 시간 그래프를 보면 구동 거리가 약 0.15m 부근에서 최소 시간이 정해지는 병목 구간이 바뀌는 것을 알 수 있다. 0.15m를 기점으로 하여, 이것보다 짧은 거리는 최대 가속도에 의한 제한이 걸리다가 0.15m보다 먼 거리를 구동 할 때는 속도에 의해 제한이 걸리는 것을 알 수 있다.

(마) 5차 방정식을 응용한 구동 프로파일

위에서 설명한 3차 모션 프로파일은 고속의 서보 시스템에서는 사용하기에 부족하다. 식(2.12)에서 볼 수 있듯이 시작점과 끝점에서 저크의 변화가 매우 크고, 전 구간에서 상수 값의 경직된 저크 프로파일이 생성되므로 기구물의 큰 강성과 넓은 앰플리파이어의 제어 밴드 폭을 요구하기 때문이다. 이러한 이유로 좀 더 부드러운 저크 곡선을 위해 5차 모션 프로파일을 생성한다.

다음의 식과 5차 방정식과 그 도함수들인 식은 다음과 같다.

$$y = a + bt + ct^2 + dt^3 + et^4 + ft^5 \quad (2.20)$$

$$y' = b + 2ct + 3dt^2 + 4et^3 + 5ft^4 \quad (2.21)$$

$$y'' = 2c + 6dt + 12et^2 + 20ft^3 \quad (2.22)$$

위식(2.20)은 5차식이므로 여기서 결정해야 할 미지수는 6개이다. 따라서 6개의 경계조건을 적용하여 미지수들을 구할 수 있다. 우선 시간이 0인 시점에서 위치와 속도는 모두 0이고, 시간이 1일 때 위치는 1 그리고 속도와 가속도 역시 0이 되어야 한다는 기초적인 6개의 경계조건을 고려하면 다음과 같다.

$$y(0) = 0, y(1) = 1 \quad (2.23)$$

$$y'(0) = 0, y'(1) = 0 \quad (2.24)$$

$$y''(0) = 0, y''(1) = 0 \quad (2.25)$$

경계조건들을 식(2.20),(2.21),(2.22)에 대입하면

$$a = 0,\ a + b + c + d + e + f = 1 \quad (2.26)$$

$$b = 0,\ b + 2c + 3d + 4e + 5f = 0 \quad (2.27)$$

$$2c = 0, 2c + 6d + 12e + 20f = 0 \quad (2.28)$$

위 6개의 연립방정식을 풀면 각 미지수들은 다음과 같다.

$$a = 0, b = 0, c = 0$$

$$d = 10, e = -15, f = 6$$

위 미지수 값들을 식(2.20)에 대입하면 최종 위치,속도, 가속도, 저크 프로파일은 다음과 같다.

$$y = 10t^3 - 15t^4 + 6t^5$$
$$y' = 30t^2 - 60t^3 + 30t^4$$
$$y'' = 60t - 180t^2 + 120t^3$$
$$y''' = 60 - 360t + 360t^2$$

이렇게 구한 위치 방정식을 디지털 제어기에서 구현하기 위해 표준화된 방정식(Normalized position equation) 형태로 바꾸어 주면 다음과 같이 식(2.29)에서 식(2.32)으로 표기할 수 있다.

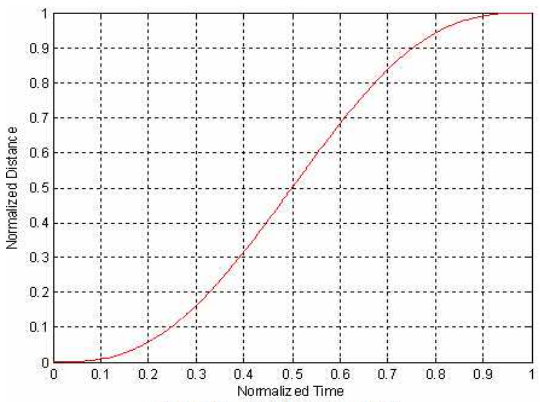
$$y(\frac{t}{T}) = [10(\frac{t}{T})^3 - 15(\frac{t}{T})^4 + 6(\frac{t}{T})^5]S \qquad (2.29)$$

$$y'(\frac{t}{T}) = [\frac{30}{T}(\frac{t}{T})^2 - \frac{60}{T}(\frac{t}{T})^3 + \frac{30}{T}(\frac{t}{T})^4]S \qquad (2.30)$$

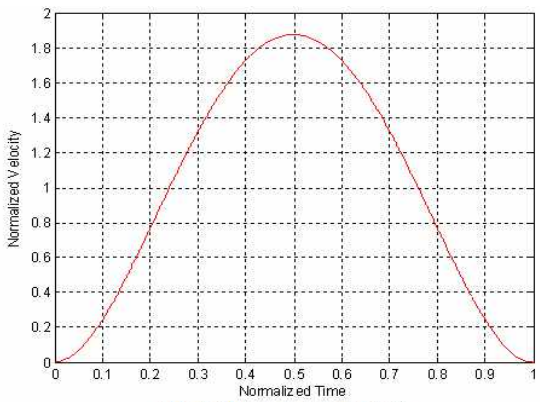
$$y''(\frac{t}{T}) = [\frac{60}{T^2}(\frac{t}{T}) - \frac{180}{T^2}(\frac{t}{T})^2 + \frac{120}{T^2}(\frac{t}{T})^3]S \qquad (2.31)$$

$$y'''(\frac{t}{T}) = [\frac{60}{T^3} - \frac{360}{T^3}(\frac{t}{T}) + \frac{360}{T^3}(\frac{t}{T})^2]S \qquad (3.32)$$

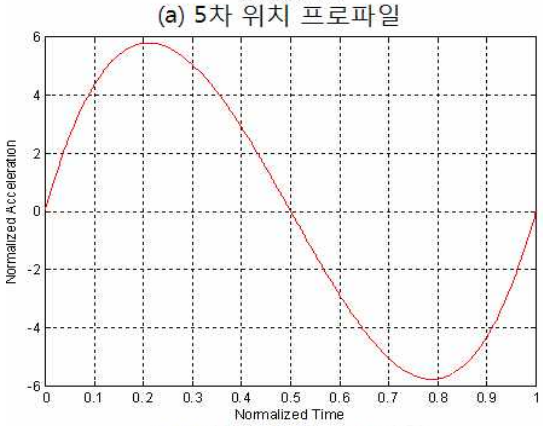
다음 그림은 표준화된 5차 위치, 속도, 가속도, 저크 프로파일을 각각 나타낸다.



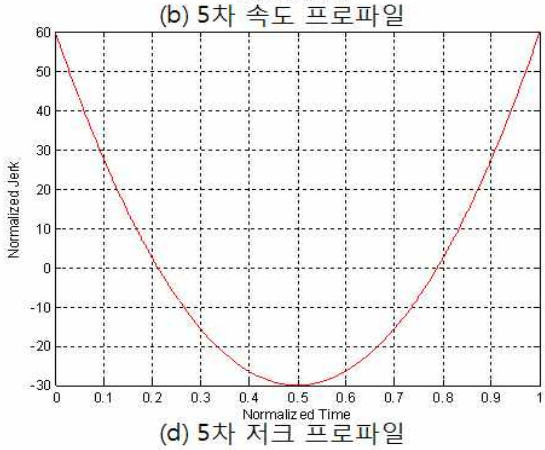
(a) 5차 위치 프로파일



(b) 5차 속도 프로파일



(c) 5차 가속도 프로파일



(d) 5차 저크 프로파일

1) 최대 허용 속도 고려

표준화된 5차 속도 프로파일의 속도는 표준화된 시간 $\frac{t}{T}=0.5$에서 최대 값을 갖는다. 따라서 다음과 같은 방정식을 만족하여야 한다.

$$y'_{\max}(0.5)=[\frac{30}{T_v}(0.5)^2-\frac{60}{T_v}(0.5)^3+\frac{30}{T_v}(0.5)^4]S \qquad (3.33)$$
$$\therefore T_v=1.8750\times\frac{S}{y'_{\max}}$$

2) 최대 허용 가속도 고려

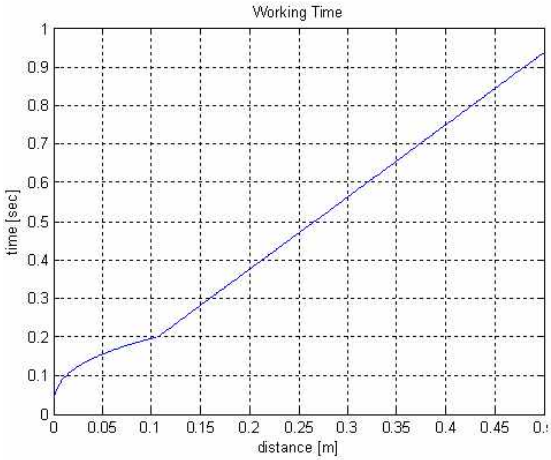
표준화된 5차 가속도 프로파일은 저크 프로파일 $y'''(\frac{t}{T})=0$인 표준화된 시간 $t/T=0.2113$에서 발생한다. 따라서 다음과 같은 방정식을 만족하여야 한다.

$$y''(0.2113)=[\frac{60}{T_A^2}(0.2113)-\frac{180}{T_A^2}(0.2113)^2+\frac{120}{T_A^2}(0.2113)^3]S \qquad (3.34)$$
$$\therefore T_A=\sqrt{\frac{5.7735S}{y''_{\max}}}$$

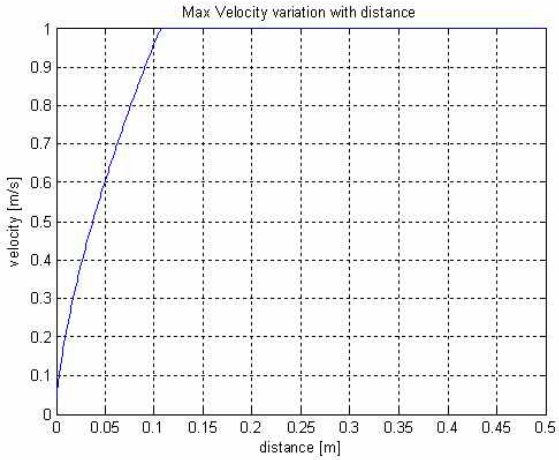
3)최대 허용 저크 고려

표준화된 5차 저크 프로파일은 $y''''(\frac{t}{T})=0$인 표준화된 시간 $t/T=1$에서 발생한다. 따라서 다음과 같은 방정식을 만족하여야 한다.

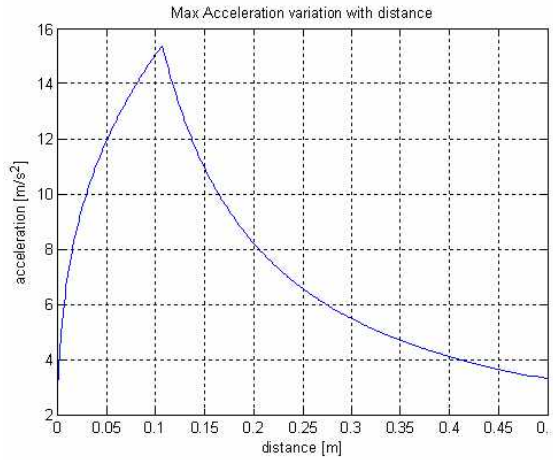
$$y'''(1)=[\frac{60}{T_J^3}-\frac{360}{T_J^3}(1)+\frac{360}{T_J^3}(1)^2]S \qquad (3.35)$$
$$\therefore T_J=\sqrt[3]{\frac{60S}{y'''_{\max}}}$$



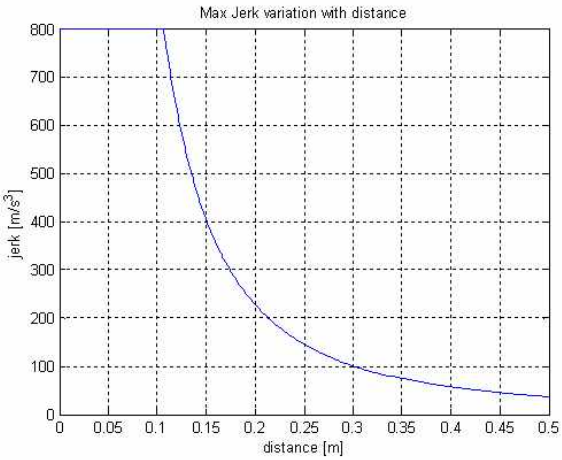
(a) 5차 위치 프로파일의 거리에 따른 구동 시간
(Vmax=1m/s, Amax=18m/s^2,Jmax=800m/s^3)



(b) 5차 위치 프로파일의 거리에 따른 최대 속도
(Vmax=1m/s, Amax=18m/s^2,Jmax=800m/s^3)



(c) 5차 위치 프로파일의 거리에 따른 최대 가속도
(Vmax=1m/s, Amax=18m/s^2,Jmax=800m/s^3)



(d) 5차 위치 프로파일의 거리에 따른 최대 저크
(Vmax=1m/s, Amax=18m/s^2,Jmax=800m/s^3)

위 그림 중 거리에 따른 구동 시간 그래프를 보면 구동 거리가 약 0.1m 부근에서 최소 시간이 정해지는 병목 구간이 바뀌는 것을 알 수 있다. 0.1m를 기점으로 하여, 이것보다 짧은 거리는 최대 저크에 의한 제한이 걸리다가 0.1m보다 먼 거리를 구동 할 때는 속도에 의해 제한이 걸리는 것을 알 수 있다.

(바) 7차 방정식을 응용한 구동 프로파일

위에서 설명한 5차 모션 프로파일보다 좀 더 부드러운 모션프로파일 곡선을 위해 7차 모션 프로파일을 생성한다.

다음의 식과 7차 방정식과 그 도함수들인 식은 다음과 같다.

$$y = a + bt + ct^2 + dt^3 + et^4 + ft^5 + gt^6 + ht^7 \qquad (2.36)$$

$$y' = b + 2ct + 3dt^2 + 4et^3 + 5ft^4 + 6gt^5 + 7ht^6 \qquad (2.37)$$

$$y'' = 2c + 6dt + 12et^2 = 20ft^3 + 30gt^4 + 42ht^5 \quad (2.38)$$

$$y''' = 6d + 24et + 60ft^2 + 120gt^3 + 210ht^4 \quad (2.39)$$

위식(2.36)은 7차식이므로 여기서 결정해야 할 미지수는 8개이다. 따라서 8개의 경계조건을 적용하여 미지수들을 구할 수 있다. 우선 시간이 0인 시점에서 위치와 속도는 모두 0이고, 시간이 1일 때 위치는 1 그리고 속도와 가속도, 저크 역시 0이 되어야 한다는 기초적인 8개의 경계조건을 고려하면 다음과 같다.

$$y(0) = 0, y(1) = 1 \quad (2.40)$$

$$y'(0) = 0, y'(1) = 0 \quad (2.41)$$

$$y''(0) = 0, y''(1) = 0 \quad (2.42)$$

$$y'''(0) = 0, \; y'''(1) = 0 \quad (2.43)$$

경계조건들을 식(2.36),(2.37),(2.38),(2.39)에 대입하면

$$a = 0, \; a + b + c + d + e + f + g + h = 1 \quad (2.44)$$

$$b = 0, \; b + 2c + 3d + 4e + 5f + 6g + 7h = 0 \quad (2.45)$$

$$2c = 0, 2c + 6d + 12e + 20f + 30g + 42h = 0 \quad (2.46)$$

$$6d = 0, 6d + 24e + 60f + 120g + 210h = 0 \quad (2.47)$$

위 8개의 연립방정식을 풀면 각 미지수들은 다음과 같다.

$$a = 0, b = 0, c = 0, d = 0$$
$$e = 35, f = -84, g = 70, h = -20$$

위 미지수 값들을 식(2.36)에 대입하면 최종 위치,속도, 가속도, 저크 프로파일은 다음과 같다.

$$y = 35t^4 - 84t^5 + 70t^6 - 20t^7 \quad (2.48)$$

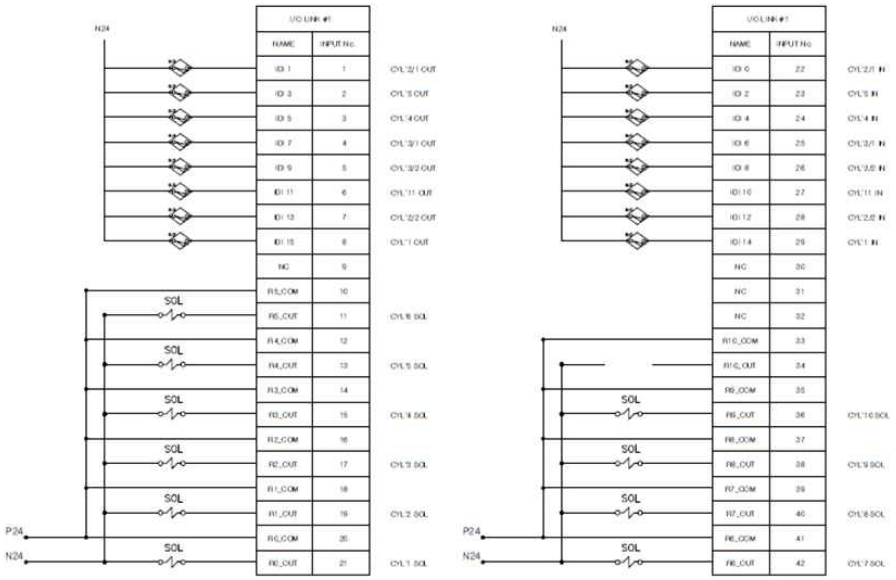
$$y' = 140t^3 - 420t^4 + 420t^5 - 140t^6 \quad (2.49)$$

$$y'' = 420t^2 - 1680t^3 + 2100t^4 - 840t^5 \quad (4.50)$$

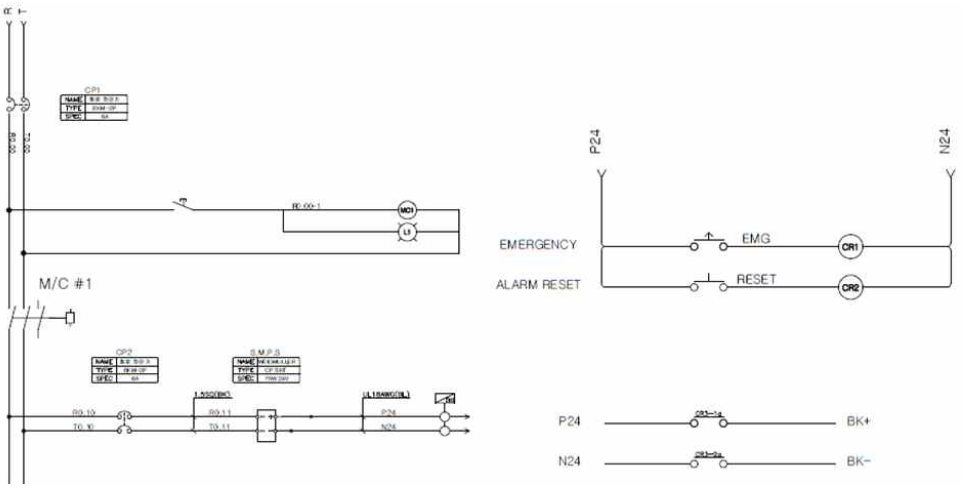
$$y''' = 840t - 5040t^2 + 8400t^3 - 4200t^4$$

(6) 배전 설계

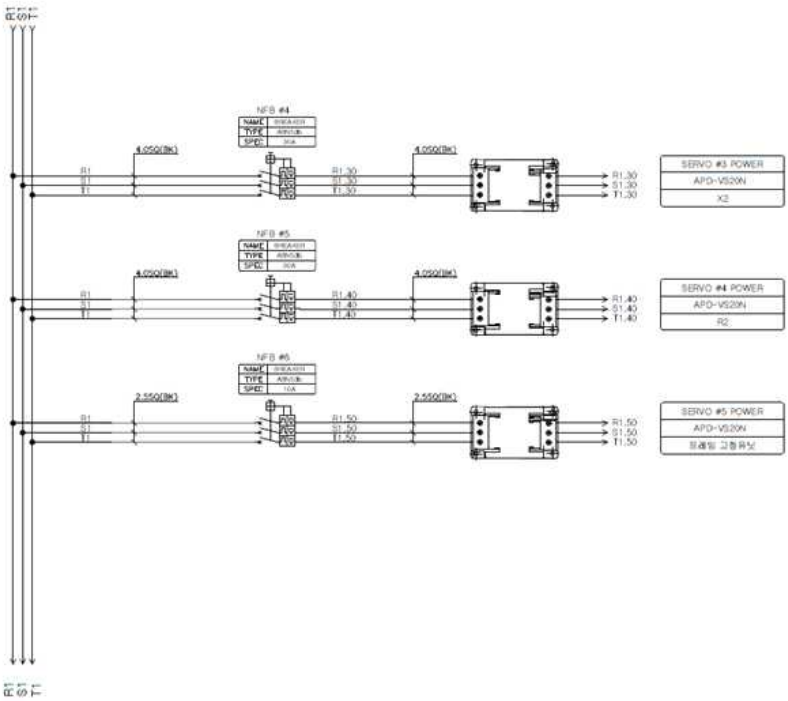
다음은 배전함의 센서와 솔레노이드(실린더 구동)의 배선도를 나타낸다.

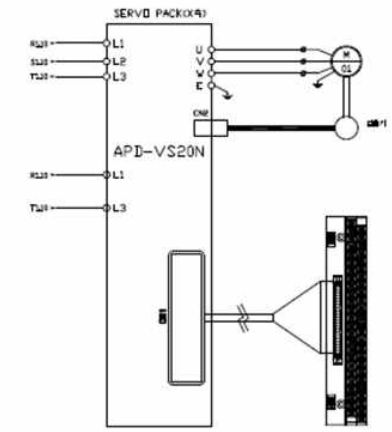


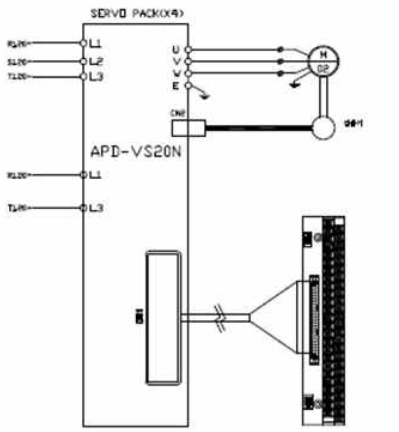
다음 그림은 24V 전원과 비상정지 및 리셋 버튼의 배선 회로를 나타낸다.



다음 그림은 서보 모터 드라이브의 전원부와 서보 모터의 연결 배선을 나타낸다.


NFB #4
4.0SQ(BK)
R1
S1
T1
R1.30
S1.30
T1.30
SERVO #3 POWER
APD-VS20N
X2
NFB #5
4.0SQ(BK)
R1.40
S1.40
T1.40
SERVO #4 POWER
APD-VS20N
R2
NFB #6
2.5SQ(BK)
R1.50
S1.50
T1.50
SERVO #5 POWER
APD-VS20N


SERVO PACK(X4)
L1
L2
L3
U
V
W
E
APD-VS20N
L1
L3


SERVO PACK(X4)
L1
L2
L3
U
V
W
E
APD-VS20N
L1
L3

2. 절단 및 절곡 하이브리드 시스템 개발

가. 철근밴딩 공정시 스프링 백 현상 및 밴딩기 형상 최적화 전산해석

(1) 철근밴딩 공정시 스프링백에 대한 수치 분석

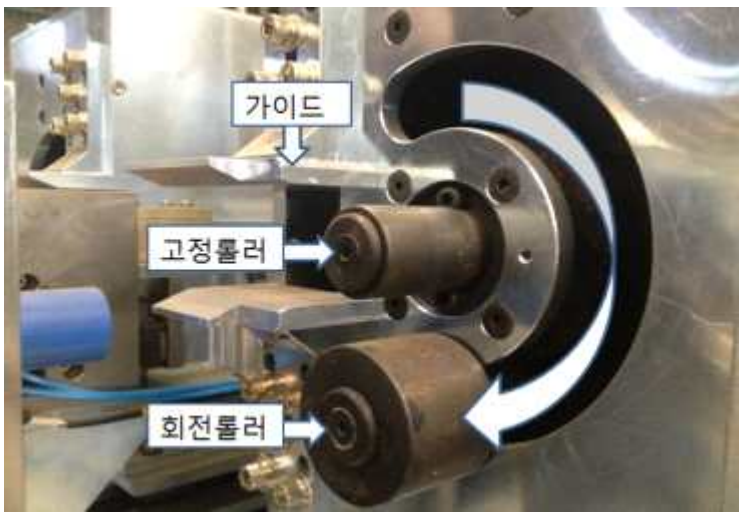
(가) 연구 목표

- 철근 굽힘 가공은 철근에 항복점 이상의 응력을 가해 소성변형 일어나게 하는 가공
- 소성가공에서 중점적으로 논의해져야할 부분은 가공 직 후 철근에 가해지는 하중이 제거됨에 따라 재료가 가지는 복원력(탄성력)에 의해 처음 가공된 형상에서 벗어나는 현상이 발생하는 문제점
- 이 현상을 스프링 백 현상이라 하며 굽힘 각도, 굽힘 반경, 철근의 직경에 영향에 받음. 따라서 굽힘 각도, 굽힘 반경, 철근의 직경을 스프링 백 현상에 영향을 미치는 인자로 정하고 상용 동역학 해석 프로그램인 “DAFUL”을 이용한 유한요소해석을 통해 스프링 백 현상에 대해 분석
- 또한 철근 공장가공화의 자동화를 위한 가공 프로그램에 적용해야할 각 인자별 스프링 백 관계식을 만들어 적용하는데 목적을 가짐.

(나) 연구 수행 내용

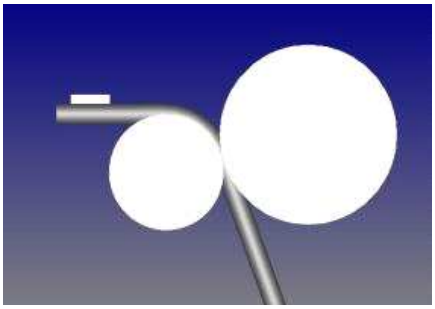
1) 상용 동역학 해석 프로그램“DAFUL"을 이용한 스프링 백 현상 분석

○ 아래의 그림은 현재 제작 중인 철근 밴딩 기계의 밴딩부이다. 밴딩부는 크게 회전롤러, 고정 롤러, 가이드로 구성되어 있다.

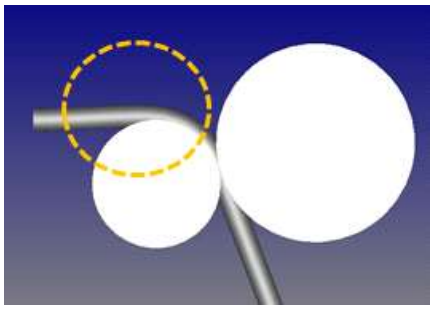


< 철근 밴딩 핵심 모듈 >

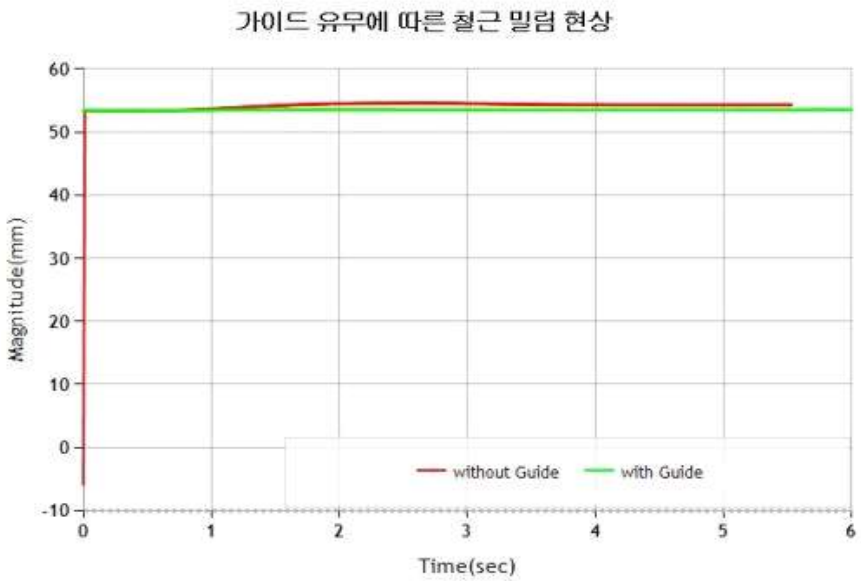
○ 철근 굽힘 공정은 철근 고정부에 의해 고정된 철근이 고정롤러를 중심으로 공전하는 회전 롤러에 의해 굽힘 가공이 이루어진다. 하지만 아래의 그림(a)과 같이 철근이 약 80° 이 후 뒤로 밀리는 현상에 발생하여 가이드가 설치하여 그림(b)와 같은 모델링으로 수정하여 변위 값이 발생하지 않는 결과(c)를 얻을 수 있었다.



(a) 가이드 有



(b) 가이드 無



(c)가이드 유무에 따른 철근밀림 현상 그래프

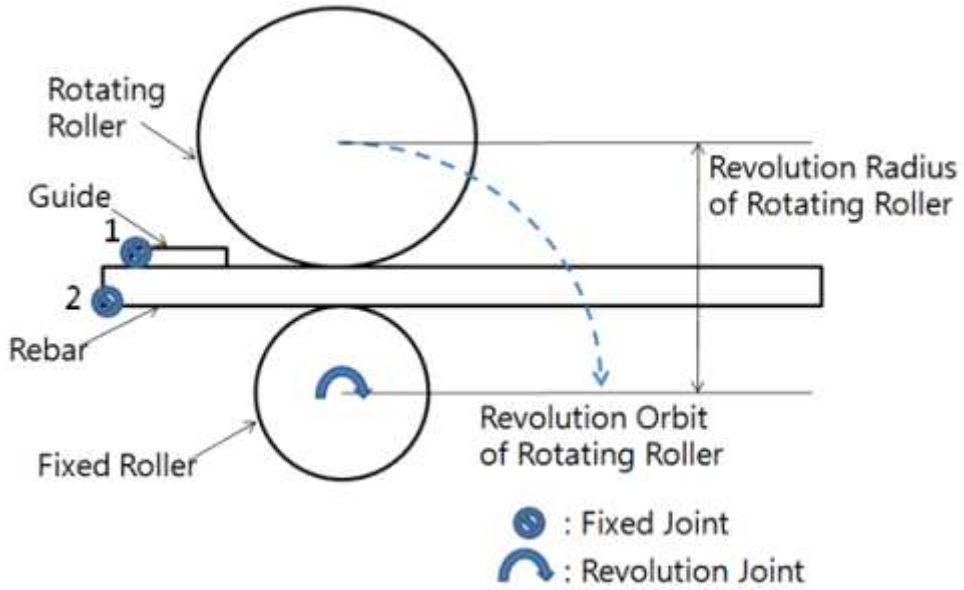
< 가이드 유무에 따른 철근의 밀림 현상 >

2) 유한 요소 모델링

○ 유한 요소 모델링 시스템 - Rigid body & 구속 조건

- 아래의 그림은 해석 시간 단축을 위해 철근 굽힘 장치의 밴딩부를 단순화한 계략도. 실제 밴딩부의 주요 요소인 회전, 고정 롤러 및 가이드로 구성이 되어 있으며 재질은 굽힘 소재인 철근보다 높은 강성을 가지는 침탄 SCM415을 사용

- 따라서 이 3가지 요소는 변형이 일어나지 않는다고 가정하여 강체(Rigid body)로 가정하여 모델을 정의



< 철근 밴딩기의 계략도 >

표 FEM 모델링의 구속 조건

	Rotation Joint	Fixed Joint-1	Fixed Joint-2
Base body	Fixed Roller	Ground	Ground
Action body	Rotating Roller	Guide	The node on Rebar

- 이 모델의 기계적 거동을 위해 고정롤러를 중심으로 회전 롤러가 공전하기 위해 Rotating Joint을 주었고 가이드의 한쪽 모서리와 철근 끝부분의 노드에 Fixed Joint를 주어 구속조건을 주었음.

- 접촉 조건은 철근이 가이드와 롤러의 접촉면에 침투되지 않는 강성인 10000N/m를 주었고 밴딩 과정에서 철근의 밀림현상을 방지하기 위해 마찰계수는 0.3을 주어 굽힘 공정간 탄성에 의해 철근이 뒤로 밀리는 현상을 방지

- 또한 해석 옵션 중 Simulation scenario을 이용하여 굽힘 공정이 끝난 직 후 철근과 회전 롤러의 접촉 조건을 해지하여 하중이 제거되는 모션을 구현

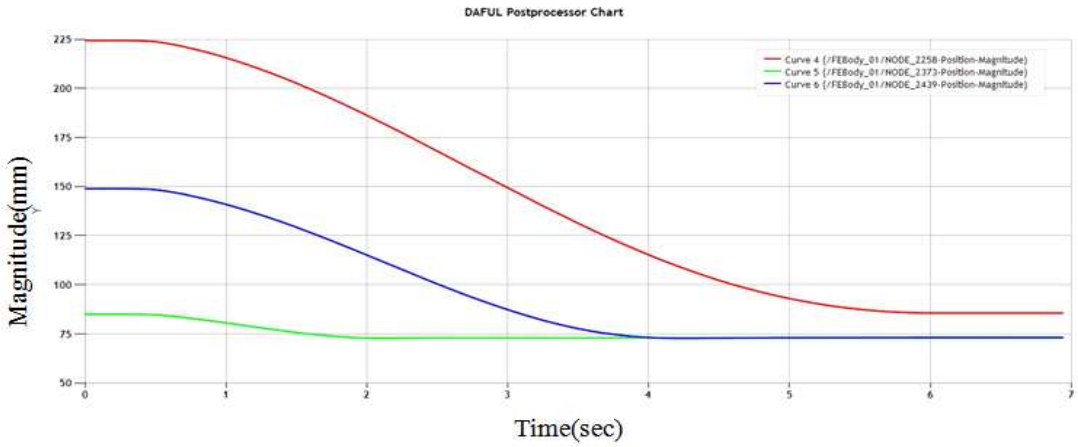


< 스프링 백 현상을 구현하기 위한 simulation scenario >

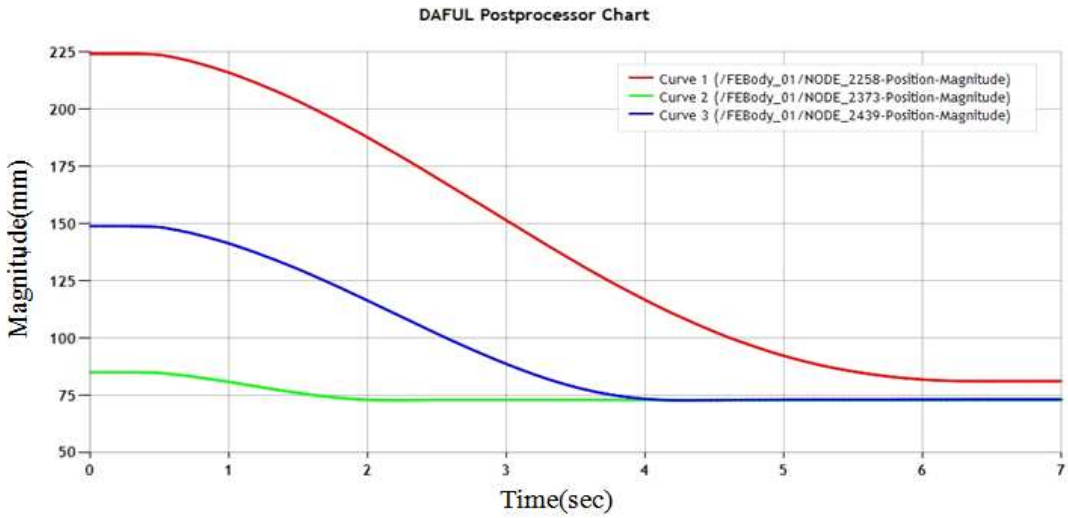
○ 마찰계수를 달리하여 철근 밀림현상을 분석

- 아래그림은 마찰계수를 달리하여 철근 밀림현상을 분석한 그래프임.

- 0.3과 0.5 두 조건 다 이 현상을 방지한 결과를 확인하였으며 해석시간을 단축하기 위해 마찰계수를 0.3으로 설정



(a) 마찰계수=0.3일 때의 노드의 변위



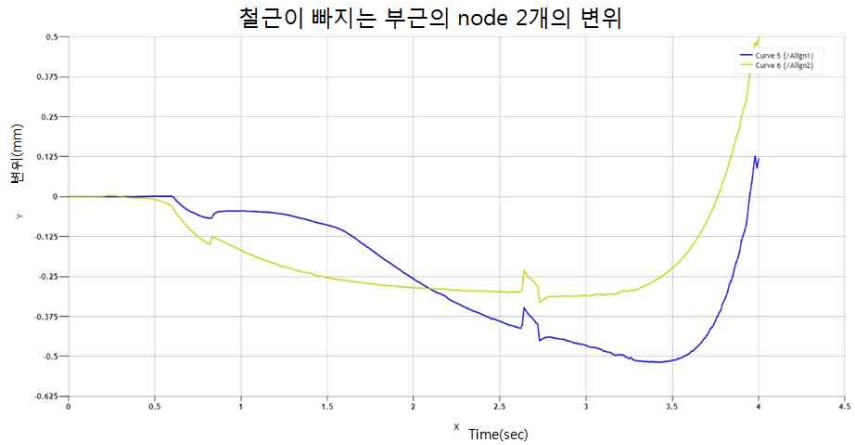
(b) 마찰계수=0.5일 때의 노드의 변위

< 마찰계수 0.3, 0.5에 대한 밀림현상 분석 >

- 가이드를 이용하여 철근이 뒤로 밀리는 현상을 방지

- 하지만 FEM 모델링 상 철근을 단순화한 형상은 실린더. 단면적이 원형인 모델에 Mesh가 들어가면 회전롤러에 의해 수직 힘만을 받더라도 정확하게 좌우대칭으로 Mesh가 들어가지 않아 회전롤러의 축 방향으로 철근이 이동하는 현상이 나타남.

- 아래의 그림은 이 현상으로 인해 철근이 옆으로 빠지는 변위를 나타낸 그래프

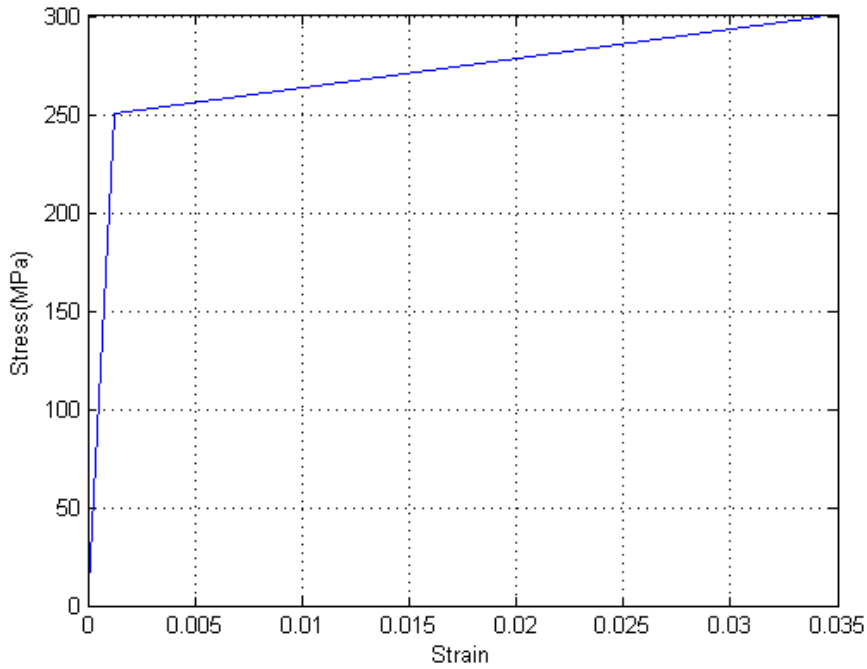


< Mesh 문제로 인한 철근의 이탈 현상 >

○ 유한 요소 모델링 시스템 - Flexible body & material type setting

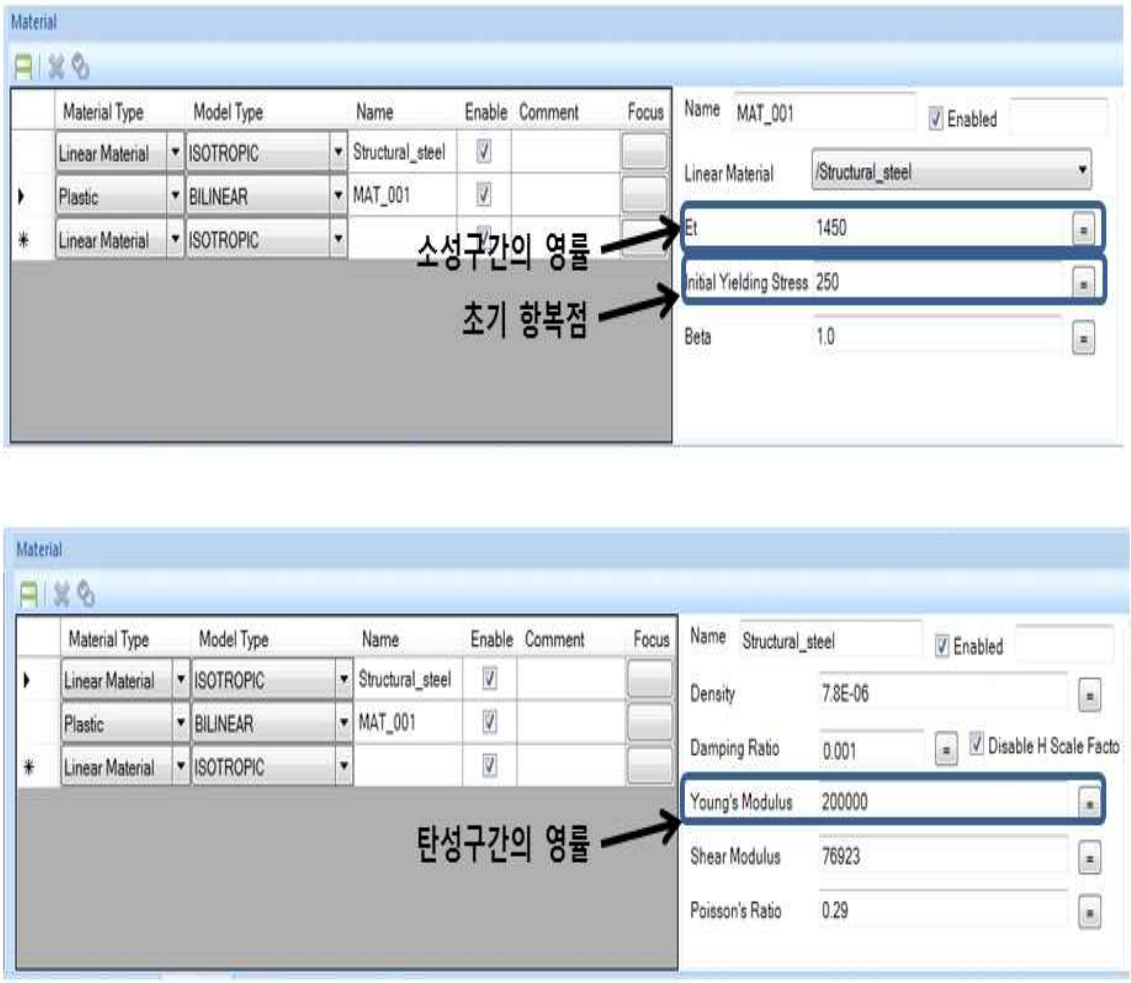
- 위 시스템은 철근의 소성가공을 위한 모델링으로 FEM해석을 위해 변형이 일어나는 철근에 Mesh를 주어 Flexible body로 정의 하였으며 재질은 철근의 일반적인 재질과 동일한 구조용강의 물성치를 적용하여 유한요소해석을 수행

- 아래의 그림은 구조용강(structural steel)의 변형률-응력선도 그래프



< 구조용강의 물성치를 나타내는 변형률-응력 선도(bi-linear type) >

- 아래 그림은 DAFUL에서 소성 재질을 정의하기 위해 Bi-linear 타입으로 물성치를 입력한 데이터. Bi-linear 타입으로 선도를 나타내면 초기 항복응력(0.25GPa)을 기준으로 탄성 구간의 영률(200GPa)과 소성 구간의 영률(1.45GPa)로 나타낼 수 있음



< 철근의 소성재질에 대한 데이터 입력 >

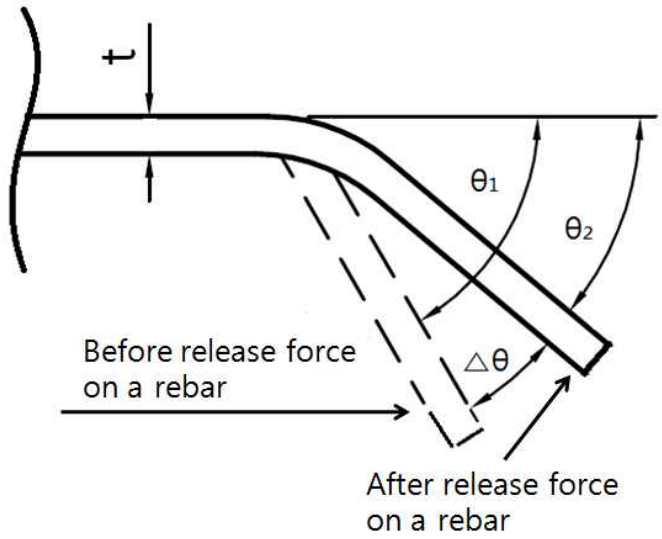
3) 스프링 백 각도 정의

○ 철근 굽힘 가공에서 굽힘 각 변화 따른 해석

- 굽힘 각도를 10°씩 90°~180°, 굽힘 반경을 30mm, 40mm 철근의 직경 ϕ10mm, ϕ16mm로 나누어 유한요소 해석을 각각 수행

- 아래 그림은 굽힘 공정 간의 측정 되어야 하는 각도를 표기한 그림으로 θ_1은 입력각도에 따라 회전 롤러에 의해 재료가 가공된 각도이며, θ_2은 재료에 대한 하중이 제거되어 스프링 백 현상이 발생한 이후의 각도를 나타냄

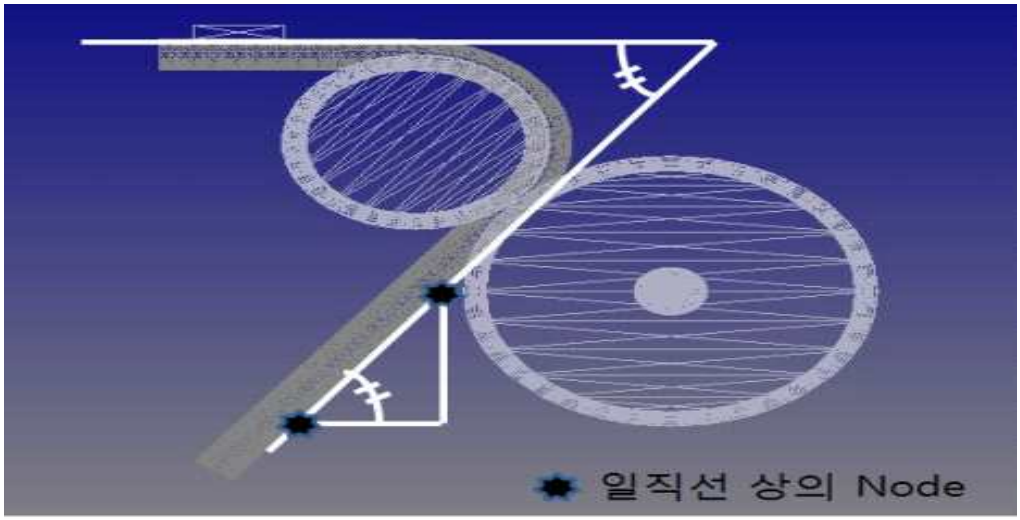
- 이 두 개의 각도를 이용하여 스프링 백 비를 θ_2/θ_1로 정의하였으며 스프링 백 비는 스프링 백 현상을 고려한 가공에서 필요한 각도를 좀 더 간편하게 구하기 위해 정의



t : diameter of a rebar
θ_1 : angle before release force
θ_2 : angle after realease force
$\triangle\theta$: spring back angle

< 스프링 백 각도 정의 >

- 측정 방법은 철근의 일직선상의 2개의 노드를 선택하여 구해지는 x, y의 좌표를 이용
- 아래의 그림은 스프링 백 각도를 측정하는 하나의 예시이며 철근 고정부에 의해 고정된 철근의 각도를 0°로 가정하고 굽힘 공정 이 후 수평선과 가공된 각도를 이용하여 측정한 방법

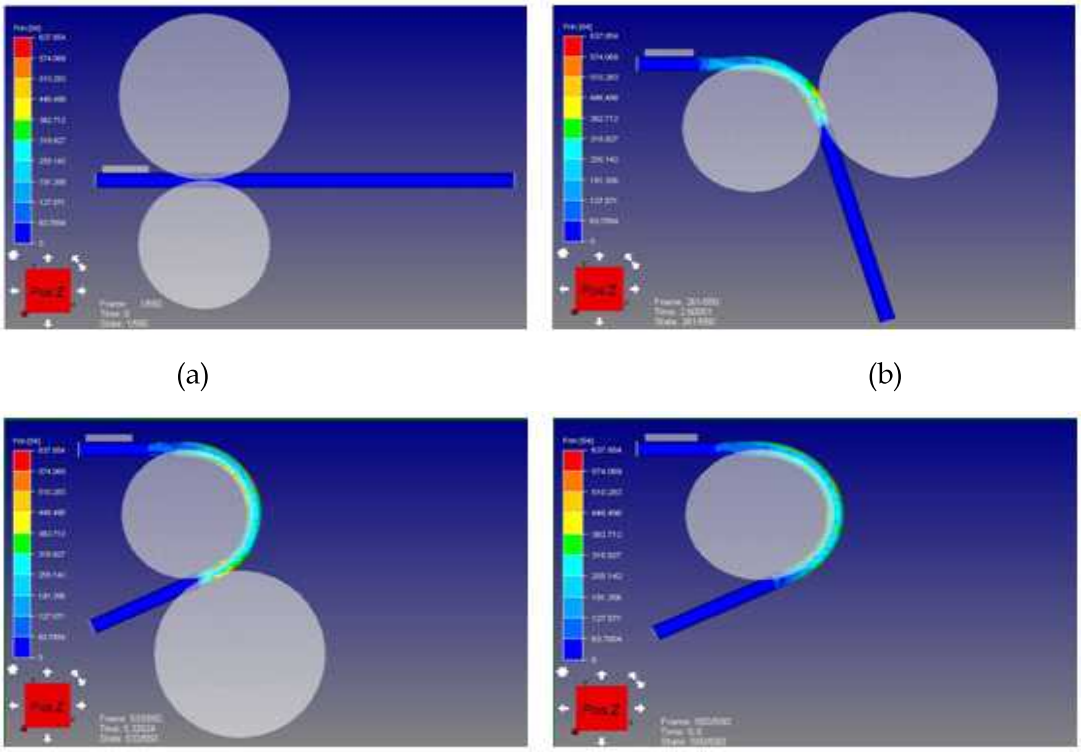


< 절곡 각도 측정 방법 >

- 아래의 그림은 밴딩과정과 철근에 가해지는 응력 및 공정 과정을 보여주는 DAFUL의 해석창

- (a)는 밴딩이 시작되는 전, (b)는 중간 과정, (c)는 굽힘 공정이 끝난 후 하중이 제거되기 전, (d)는 하중이 제거되어 스프링 백 현상이 발생한 모습

- 하중 제거 전 (c)에서의 굽힘 각도 θ_1와 하중제거 후 (d)에서의 굽힘 각도 θ_2를 이용하여 스프링 백 각도를 측정



(a) (b)

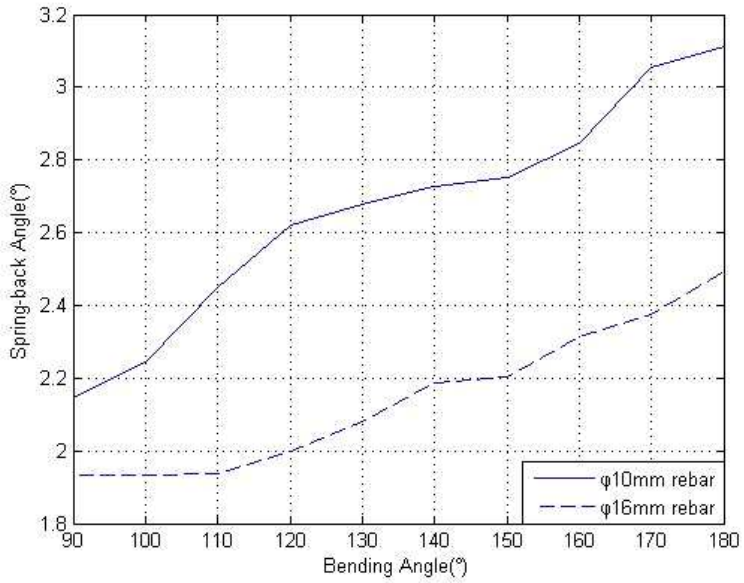
(c) (d)

< 굽힘 가공 간의 철근이 받는 응력 및 과정 >

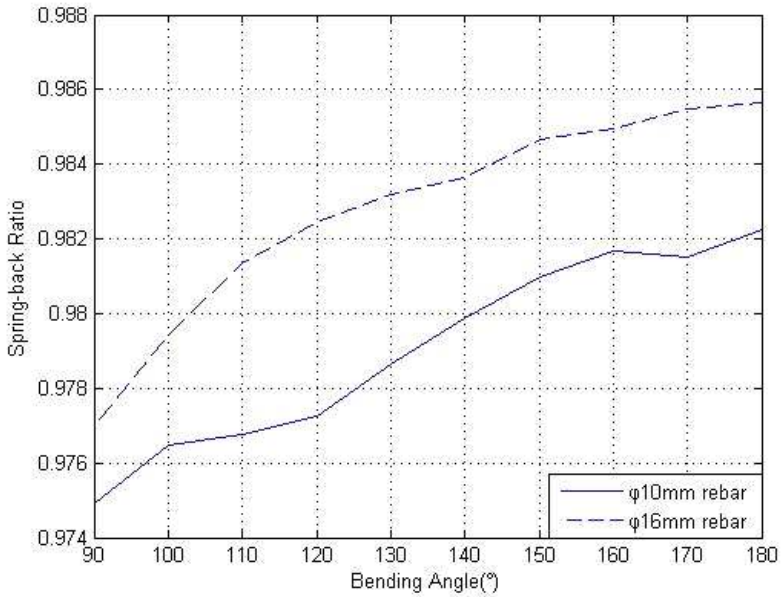
4) 스프링 백 해석 결과

○ 철근의 직경에 따른 스프링 백 현상

- 굽힘 반경을 30mm으로 설정 후 직경 Φ10mm, 16mm의 철근을 이용하여 굽힘 해석
- 아래의 그림은 직경이 다른 두 철근의 스프링 백 현상 각도 및 스프링 백 비를 보여주며 철근의 직경이 클수록 스프링 백 각도가 작게 나타나는 것을 확인 할 수 있었으며 두 철근사이의 90°~100° 두 구간을 제외한 나머지 구간에서는 약 0.6°의 차이를 보임



< 철근 직경에 따른 스프링 백 각도 >



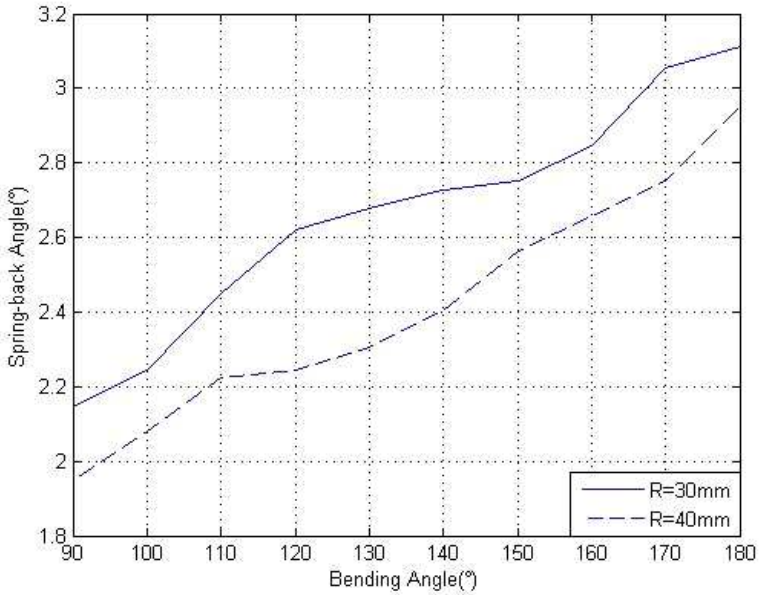
< 철근 직경에 따른 스프링 백 비 >

○ 굽힘 반경에 따른 스프링 백 현상

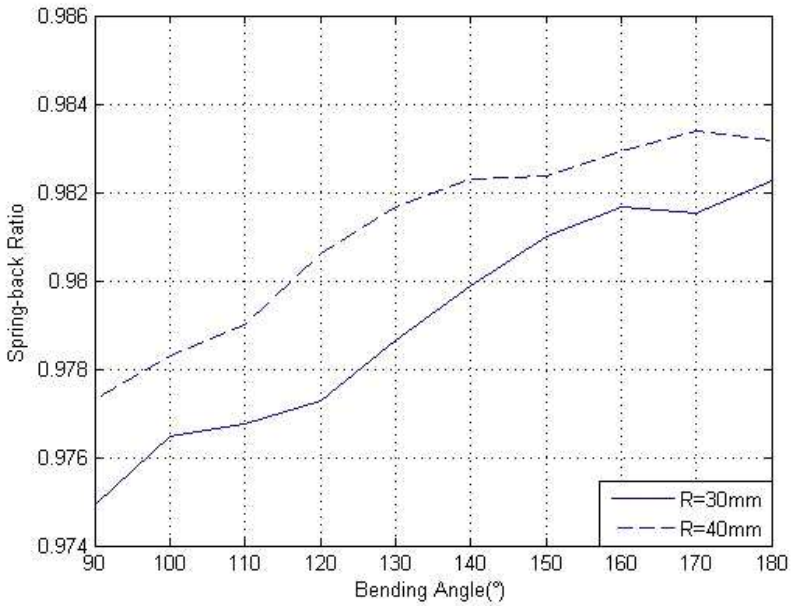
- 철근의 직경 Φ10mm을 이용하여 굽힘 반경 30mm, 40mm 두 가지 굽힘 해석

- 아래의 그림의 각도 변화량을 보면 굽힘 반경이 작을수록 스프링 백 각도가 크게 나타나며 평균적으로 약 0.2°의 차이를 보임

- 스프링 백 비를 보여주는 그래프에서는 스프링 백 각도에 비해 반대의 경향성을 보여주고 이는 굽힘 각도의 증가비보다 스프링 백 각도의 증가비가 작게 나타남에 따라 아래와 같은 그래프가 나옴



< 굽힘 반경에 따른 스프링 백 각도 >



< 굽힘 반경에 따른 스프링 백 비 >

5) 가공 프로그램 생성을 위한 스프링 백 관계식 유도관계식 유도

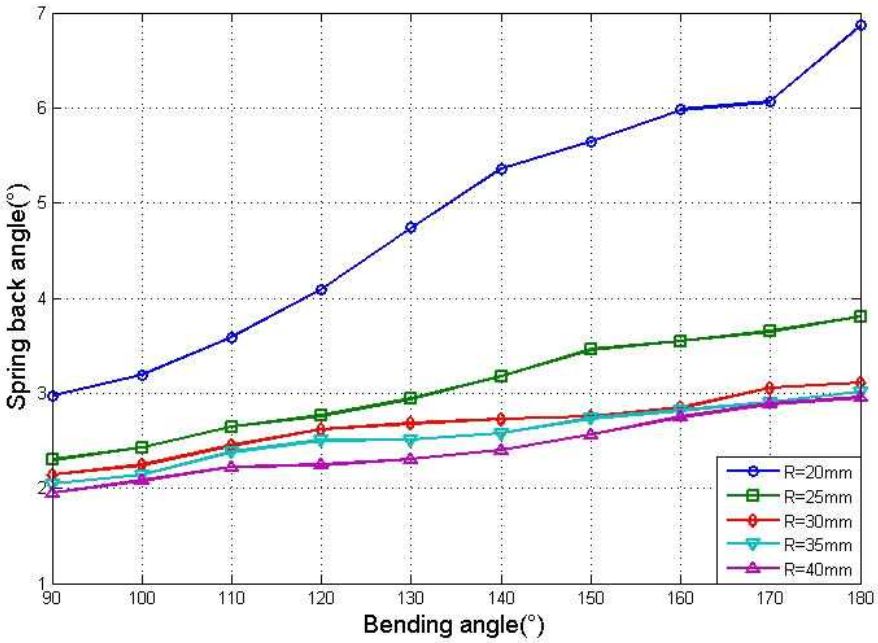
○ 최소 자승법

- 철근 가공 프로그램에 적용해야할 관계식을 유도하기 위해 앞서 행한 유한요소해석의 결과의 데이터가 부족하다 판단하여 굽힘 반경을 기존의 30mm, 40mm에서 20mm, 50mm, 60mm 3가지의 굽힘 반경을 추가하여 해석을 수행하였고 이 해석 결과를 이용하여 관계식을 유도하기 위해 최소 자승법을 이용

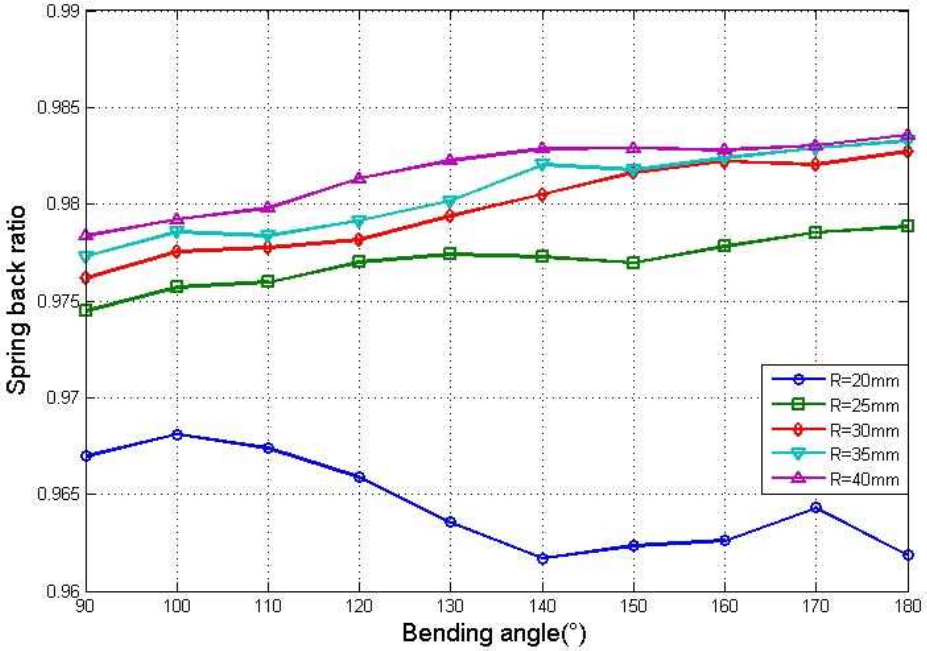
- 최소자승법은 독립변수에 대해 주어진 데이터 값과 추정 값의 차의 제곱 값들의 합이 최소인 그래프를 찾아 관계식을 유도하는 방법

$$X^2 = \min\left(\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}(z_{ij} - z'_{ij})\right)^2$$

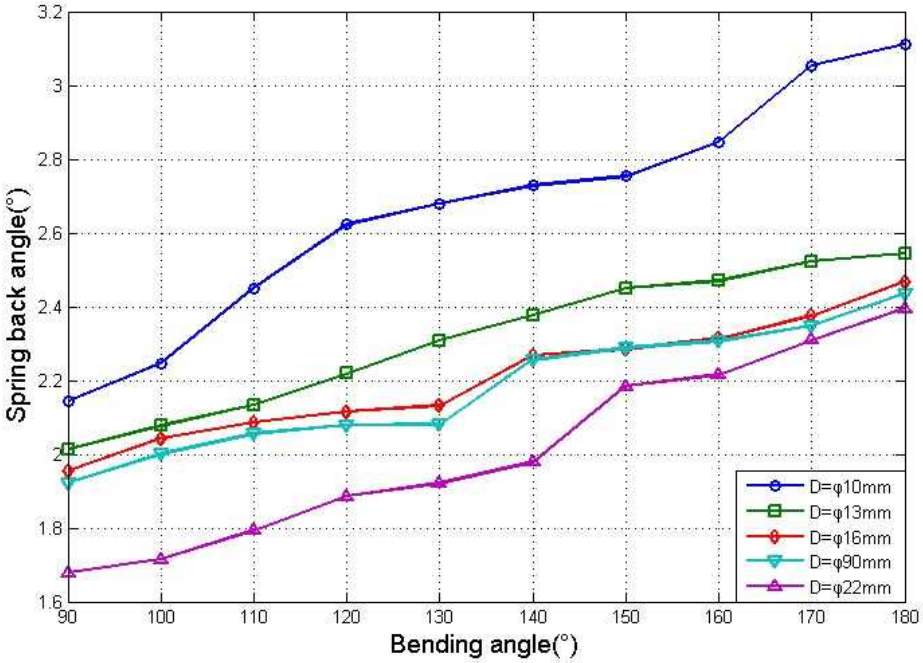
z_{ij} : 시뮬레이션 데이터
z'_{ij} : 유도되는 관계식
R : 굽힘 반경
θ : 굽힘 각도



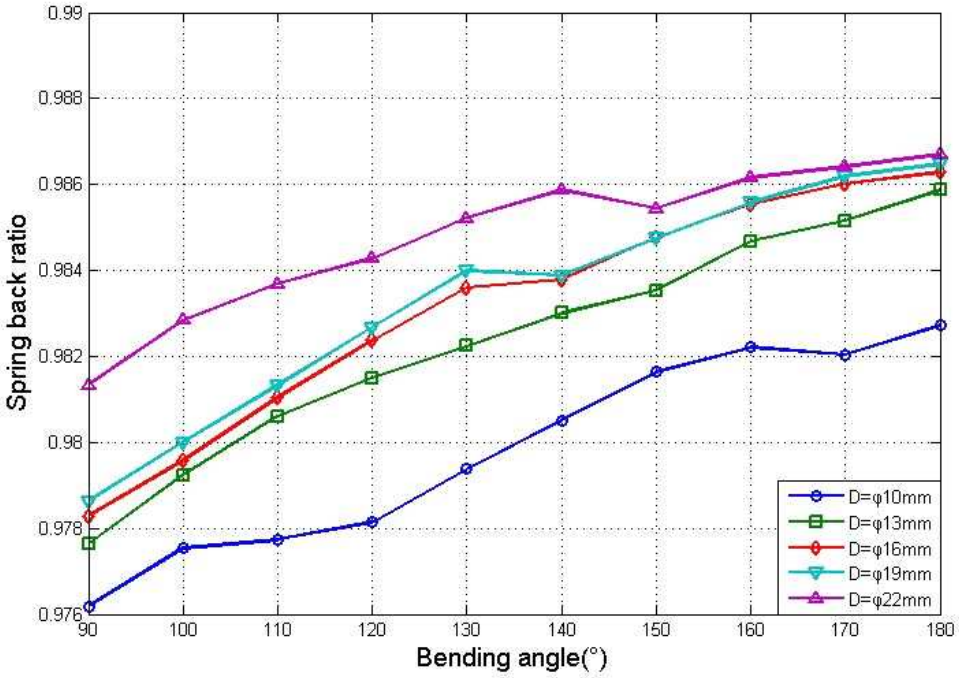
< 굽힘 반경에 따른 스프링 백 각도 >



< 굽힘 반경에 따른 스프링 백 비 >



< 철근 직경에 따른 스프링 백 각도 >

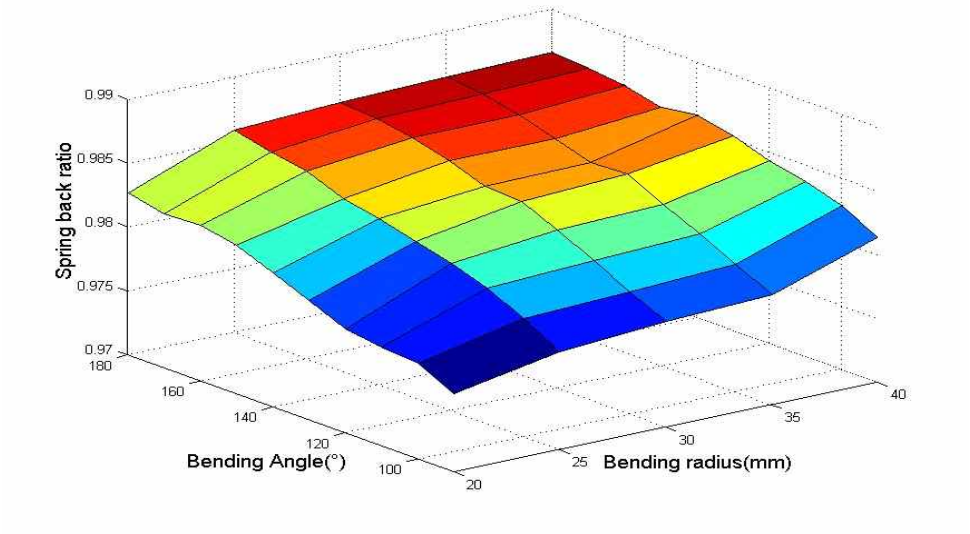


< 철근 직경에 따른 스프링 백 비 >

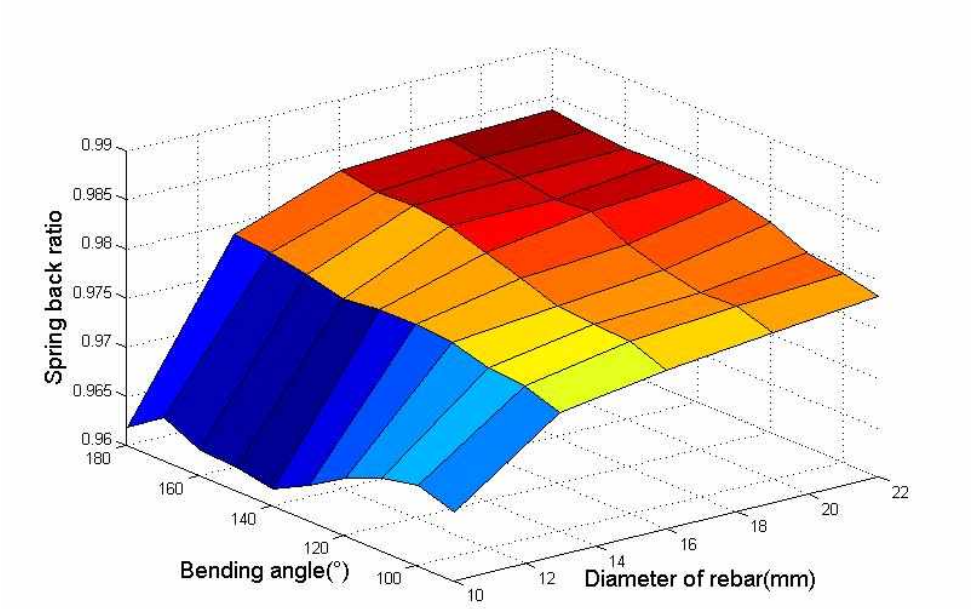
○ 각 인자에 대한 스프링 백 관계식 유도

- 아래의 그림은 굽힘 각도 90～180°, 굽힘 반경 20～60mm에 따른 유한요소해석 결과 그래프

- 2개의 Parameters에 의한 스프링 백 각도를 나타낸 그래프는 평평한 면이 아닌 곡면으로 이루어져 있으므로 유도될 관계식은 2차 이상의 관계식임을 확인



< 굽힘 반경, 굽힘 각도에 따른 스프링 백 비 - 시뮬레이션 >



< 철근 직경, 굽힘 각도에 따른 스프링 백 비 - 시뮬레이션 >

○ 2,3,4차 관계식 유도 과정

-관계식 유도 과정에서 행렬을 이용하기 때문에 역행렬을 가지는 최대 차수인 4차 관계식으로 가정하여 식을 유도

- 아래의 식은 가정한 4차 관계식 "$ax_i^4+bx_i^3+cx_i^2+dx_i+ey_j^4+fy_j^3+gy_j^2+hy_j+i$"을 이용

$$=aM\sum_{i=1}^{N}x_i^8+bM\sum_{i=1}^{N}x_i^7+cM\sum_{i=1}^{N}x_i^6+dM\sum_{i=1}^{N}x_i^5+e\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}x_i^4y_j^4+f\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}x_i^4y_j^3+g\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}x_i^4y_j^2$$
$$h\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}x_i^4y_j+iM\sum_{i=1}^{N}x_i^4-\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}x_i^4z_{ij}=0$$

$$\frac{\partial X^2}{\partial b}=\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}2(z_{ij}-ax_i^4-bx_i^3-cx_i^2-dx_i-ey_j^4-fy_j^3-gy_j^2-hy_j-i)\times(-x_i^3)=0$$

$$=aM\sum_{i=1}^{N}x_i^7+bM\sum_{i=1}^{N}x_i^6+cM\sum_{i=1}^{N}x_i^5+dM\sum_{i=1}^{N}x_i^4+e\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}x_i^3y_j^4+f\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}x_i^3y_j^3+g\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}x_i^3y_j^2$$
$$h\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}x_i^3y_j+iM\sum_{i=1}^{N}x_i^3-\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}x_i^3z_{ij}=0$$

$$\frac{\partial X^2}{\partial c}=\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}2(z_{ij}-ax_i^4-bx_i^3-cx_i^2-dx_i-ey_j^4-fy_j^3-gy_j^2-hy_j-i)\times(-x_i^2)=0$$

$$=aM\sum_{i=1}^{N}x_i^6+bM\sum_{i=1}^{N}x_i^5+cM\sum_{i=1}^{N}x_i^4+dM\sum_{i=1}^{N}x_i^3+e\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}x_i^2y_j^4+f\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}x_i^2y_j^3+g\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}x_i^2y_j^2$$
$$h\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}x_i^2y_j+iM\sum_{i=1}^{N}x_i^2-\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}x_i^2z_{ij}=0$$

$$\frac{\partial X^2}{\partial d}=\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}2(z_{ij}-ax_i^4-bx_i^3-cx_i^2-dx_i-ey_j^4-fy_j^3-gy_j^2-hy_j-i)\times(-x_i)=0$$

$$=aM\sum_{i=1}^{N}x^5+bM\sum_{i=1}^{N}x_i^4+cM\sum_{i=1}^{N}x_i^3+dM\sum_{i=1}^{N}x_i^2+e\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}x_iy_j^4+f\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}x_iy_j^3+g\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}x_iy_j^2$$
$$h\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}x_iy_j+iM\sum_{i=1}^{N}x_i-\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}x_iz_{ij}=0$$

$$\frac{\partial X^2}{\partial e}=\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}2(z_{ij}-ax_i^4-bx_i^3-cx_i^2-dx_i-ey_j^4-fy_j^3-gy_j^2-hy_j-i)\times(-y_j^4)=0$$

$$=a\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}x_i^4y_j^4+b\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}x_i^3y_j^4+c\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}x_i^2y_j^4+d\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}x_iy_j^4+eN\sum_{j=1}^{M}y_j^8+fN\sum_{j=1}^{M}y_j^7+gN\sum_{j=1}^{M}y_j^6$$
$$+hN\sum_{j=1}^{M}y_j^5+iN\sum_{j=1}^{M}y_j^4-\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}y_j^4z_{ij}=0$$

$$\frac{\partial X^2}{\partial f}=\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}2(z_{ij}-ax_i^4-bx_i^3-cx_i^2-dx_i-ey_j^4-fy_j^3-gy_j^2-hy_j-i)\times(-y_j^3)=0$$

$$=a\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}x_i^4y_j^3+b\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}x_i^3y_j^3+c\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}x_i^2y_j^3+d\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}x_iy_j^3+eN\sum_{j=1}^{M}y_j^7+fN\sum_{j=1}^{M}y_j^6+gN\sum_{j=1}^{M}y_j^5$$
$$+hN\sum_{j=1}^{M}y_j^4+iN\sum_{j=1}^{M}y_j^3-\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}y_j^3z_{ij}=0$$

$$\frac{\partial X^2}{\partial g}=\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}2(z_{ij}-ax_i^4-bx_i^3-cx_i^2-dx_i-ey_j^4-fy_j^3-gy_j^2-hy_j-i)\times(-y_j^2)=0$$

$$=a\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}x_i^4y_j^2+b\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}x_i^3y_j^2+c\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}x_i^2y_j^2+d\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}x_iy_j^2+eN\sum_{j=1}^{M}y_j^6+fN\sum_{j=1}^{M}y_j^5+gN\sum_{j=1}^{M}y_j^4$$
$$+hN\sum_{j=1}^{M}y_j^3+iN\sum_{j=1}^{M}y_j^2-\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}y_j^2z_{ij}=0$$

$$\frac{\partial X^2}{\partial h}=\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}2(z_{ij}-ax_i^4-bx_i^3-cx_i^2-dx_i-ey_j^4-fy_j^3-gy_j^2-hy_j-i)\times(-y_j)=0$$

$$= a\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M} x_i^4 y_j + b\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M} x_i^3 y_j + c\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M} x_i^2 y_j + d\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M} x_i y_j + eN\sum_{j=1}^{M} y_j^5 + fN\sum_{j=1}^{M} y_j^4 + gN\sum_{j=1}^{M} y_j^3$$
$$+ hN\sum_{j=1}^{M} y_j^2 + iN\sum_{j=1}^{M} y_j - \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M} y_j z_{ij} = 0$$

$$\frac{\partial X^2}{\partial i} = \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M} 2(z_{ij} - ax_i^4 - bx_i^3 - cx_i^2 - dx_i - ey_j^4 - fy_j^3 - gy_j^2 - hy_j - i)\times(-1) = 0$$

$$= aM\sum_{i=1}^{N} x_i^4 + bM\sum_{i=1}^{N} x_i^3 + cM\sum_{i=1}^{N} x_i^2 + dM\sum_{i=1}^{N} x_i + eN\sum_{j=1}^{M} y_j^4 + fN\sum_{j=1}^{M} y_j^3 + gN\sum_{j=1}^{M} y_j^2$$
$$+ hN\sum_{j=1}^{M} y_j + iNM - \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M} z_{ij} = 0$$

- 관계식 유도 MATLAB CODING

```
clear all clc

N=5; M=10;
x=[10:3:22], y=[90:10:180];

z=[2.144     2.0133   1.9543   1.9228   1.6797;                    %%시뮬레이션
데이터
    2.246123     2.07684  2.04254  2.000937     1.715856;
    2.449215     2.133785     2.085875     2.054626     1.793054;
    2.62261  2.21963  2.11534  2.079887     1.88616;
    2.679839     2.308841     2.132015     2.080196     1.920698;
    2.727765     2.377988     2.2688779    2.256135     1.978898;
    2.753251     2.469212     2.285259     2.287494     2.184217;
    2.847167     2.450563     2.312804     2.306161     2.215587;
    3.053073     2.523291     2.376192     2.347577     2.309124;
    3.111037     2.544141     2.468452     2.434782     2.394855];

q8=sum(x.^8); q7=sum(x.^7); q6=sum(x.^6); q5=sum(x.^5); q4=sum(x.^4);
q3=sum(x.^3);
q2=sum(x.^2); q=sum(x);

w8=sum(y.^8); w7=sum(y.^7); w6=sum(y.^6); w5=sum(y.^5); w4=sum(y.^4);
w3=sum(y.^3); w2=sum(y.^2); w=sum(y);


q4w4=sum(sum(x.^4'*y.^4)); q4w3=sum(sum(x.^4'*y.^3));
q4w2=sum(sum(x.^4'*y.^2)); q4w=sum(sum(x.^4'*y));
q3w4=sum(sum(x.^3'*y.^4)); q2w4=sum(sum(x.^2'*y.^4)); qw4=sum(sum(x'*y.^3));
q3w3=sum(sum(x.^3'*y.^3)); q3w2=sum(sum(x.^3'*y.^2)); q3w=sum(sum(x.^3'*y));
q2w3=sum(sum(x.^2'*y.^3)); q2w2=sum(sum(x.^2'*y.^2)); q2w=sum(sum(x.^2'*y));
qw3=sum(sum(x'*y.^3)); qw2=sum(sum(x'*y.^2)); qw=sum(sum(x'*y));

q4e=sum(x.^4*z'); q3e=sum(x.^3*z'); q2e=sum(x.^2*z');
  qe=sum(x*z');
  w4e=sum(y.^4*sum(z')'); w3e=sum(y.^3*sum(z')');
  w2e=sum(y.^2*sum(z')');
  we=sum(y*sum(z')');
  e=sum(sum(z));


X=[M*q8 M*q7 M*q6 M*q5 q4w4 q4w3 q4w2 q4w M*q4;
    M*q7 M*q6 M*q5 M*q4 q3w4 q3w3 q3w2 q3w M*q3;
    M*q6 M*q5 M*q4 M*q3 q2w4 q2w3 q2w2 q2w M*q2;
    M*q5 M*q4 M*q3 M*q2 qw4 qw3 qw2 qw M*q;
    q4w4 q3w4 q2w4 qw4 N*w8 N*w7 N*w6 N*w5 N*w4;
    q4w3 q3w3 q2w3 qw3 N*w7 N*w6 N*w5 N*w4 N*w3;
    q4w2 q3w2 q2w2 qw2 N*w6 N*w5 N*w4 N*w3 N*w2;
    q4w q3w q2w qw N*w5 N*w4 N*w3 N*w2 N*w;
    M*q4 M*q3 M*q2 M*q N*w4 N*w3 N*w2 N*w N*M];



Y=[q4e q3e q2e qe w4e w3e w2e we e]';
R=45;

QQ=inv(X)*Y;
```

- 유도된 관계식 데이터와 시뮬레이션 데이터 비교 MATLAB CODING

```
clear all clc

 %%%% 데이터 %%%%%%
z1=[0.976177778 0.97763 0.978285556 0.978635556 0.981336667;
0.97753877  0.9792316   0.9795746   0.97999063  0.98284144;
0.977734409 0.980601955 0.9810375   0.981321582 0.983699509;
0.978144917 0.981503083 0.982372167 0.982667608 0.984282;
0.979385854 0.982239685 0.983599885 0.983998492 0.9852254;
0.980515964 0.983014371 0.983793729 0.98388475  0.985865014;
0.981644993 0.983538587 0.98476494  0.98475004  0.985438553;
0.982205206 0.984683981 0.985544975 0.985586494 0.986152581;
0.982040747 0.985157112 0.9860224   0.986190724 0.986416918;
0.982716461 0.985865883 0.986286378 0.986473433 0.98669525];
 %%%% 관계식 %%%%%%
z=[0.975584 0.978084328 0.978928411 0.979094522 0.980564897;
0.976887    0.979387465 0.980231549 0.980397659 0.981868035;
0.978027    0.980527189 0.981371273 0.981537383 0.983007759;
0.979019    0.981519301 0.982363384 0.982529495 0.983999871;
0.979879    0.9823796   0.983223684 0.983389794 0.98486017;
0.980623    0.983123888 0.983967972 0.984134082 0.985604458;
0.981267    0.983767965 0.984612049 0.984778159 0.986248535;
0.981827    0.984327631 0.985171715 0.985337826 0.986808201;
0.982318    0.984818688 0.985662772 0.985828882 0.987299258;
0.982756    0.985256935 0.986101019 0.986267129 0.987737505];



[x,y]=meshgrid(10:3:22,90:10:180);
plot3(x,y,z,'linewidth',3)
grid on
axis([10 22 90 180 0.975 0.988])

surf(x,y,z)
grid on
axis([10 22 90 180 0.975 0.988])

hold on

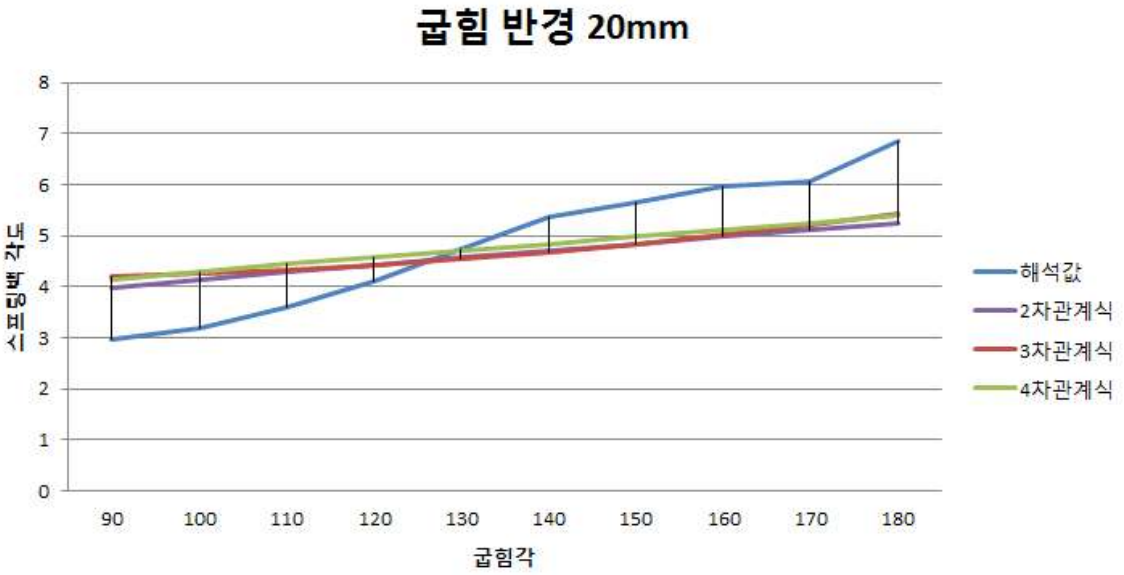

[x,y]=meshgrid(10:3:22,90:10:180);
plot3(x,y,z1,'linewidth',3)
grid on
axis([10 22 90 180 0.975 0.988])

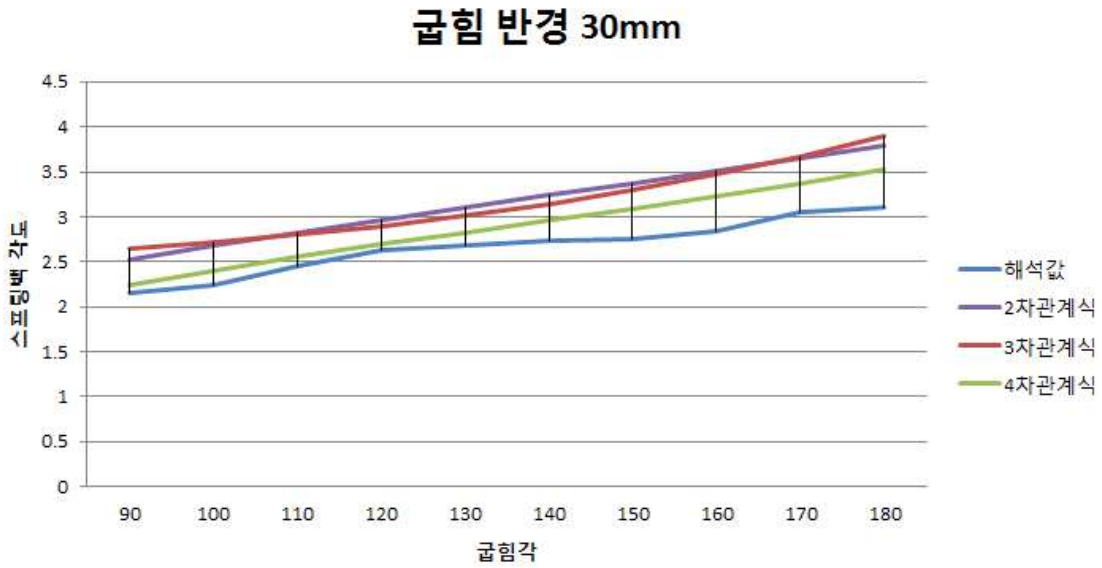
surf(x,y,z1)
grid on
axis([10 22 90 180 0.975 0.988])
```

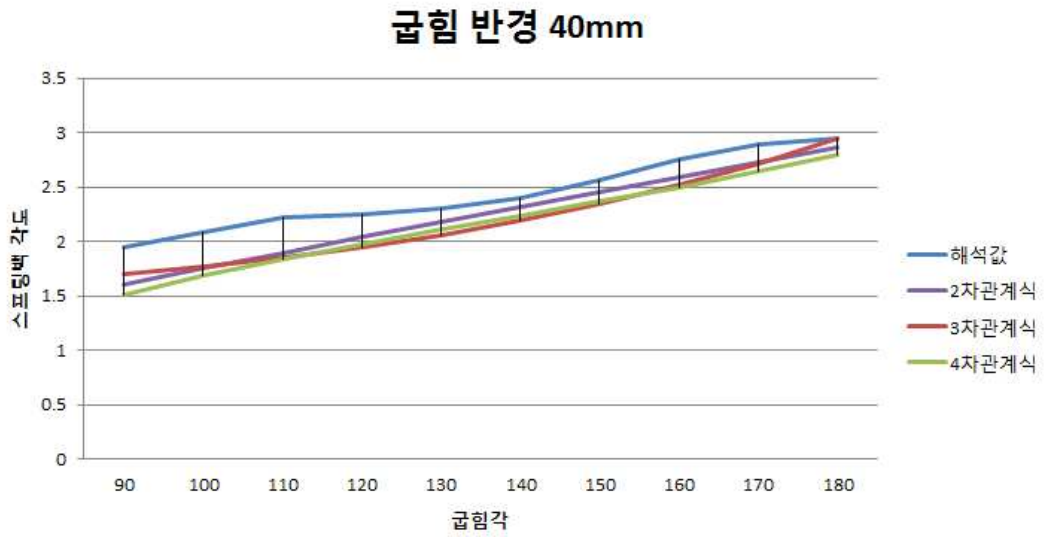
- 2, 3, 4차로 가정하여 관계식을 유도

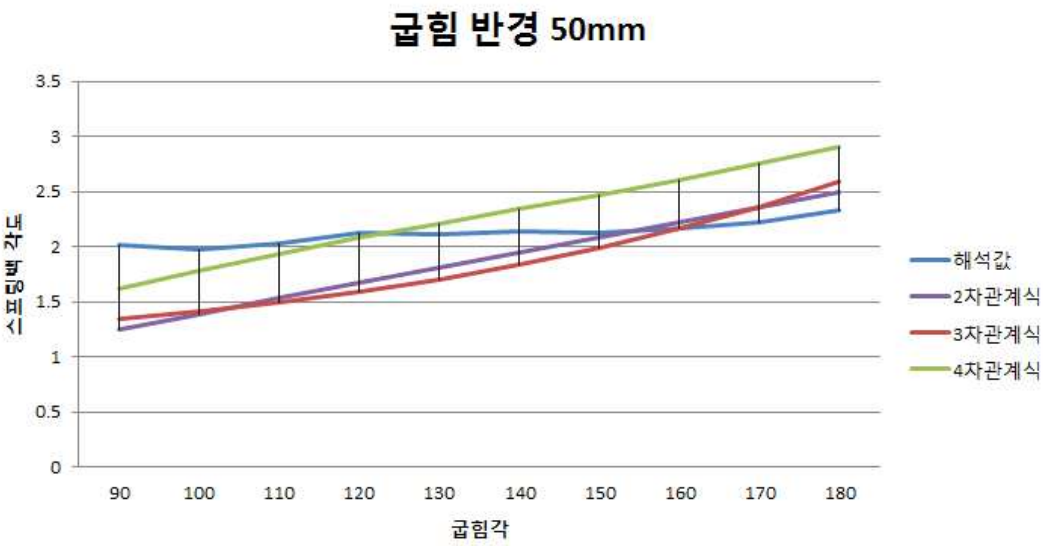
- 2차를 제외한 3차관계식과 4차 관계식을 해석데이터와 비교하였을 시 3차식은 평균 약 0.25°의 오차를 가졌으며, 4차식은 평균 약 0.23°의 오차를 확인

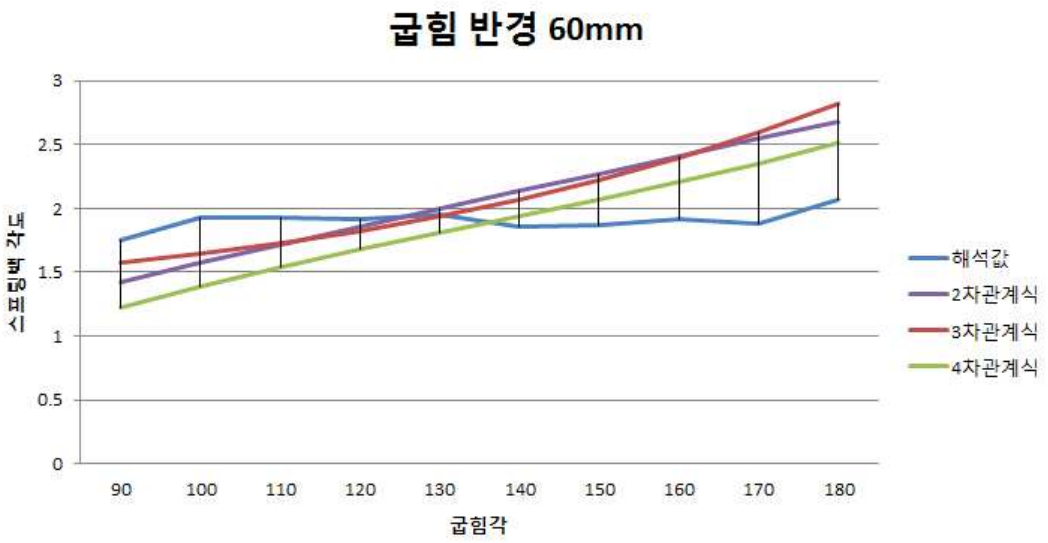
- 4차 관계식의 경우 역행렬을 이용하여 식을 만드는 과정에서 행렬이 singular에 가깝단 경고메세지가 떴음에도 4차식이 3차식보다 정확한 결과 값을 보여줌


굽힘 반경 20mm
스프링백 각도
굽힘각
해석값
2차관계식
3차관계식
4차관계식


굽힘 반경 30mm
스프링백 각도
굽힘각
해석값
2차관계식
3차관계식
4차관계식


굽힘 반경 40mm
스프링백 각도
3.5
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
90
100
110
120
130
140
150
160
170
180
굽힘각
해석값
2차관계식
3차관계식
4차관계식


굽힘 반경 50mm
스프링백 각도
3.5
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
90
100
110
120
130
140
150
160
170
180
굽힘각
해석값
2차관계식
3차관계식
4차관계식

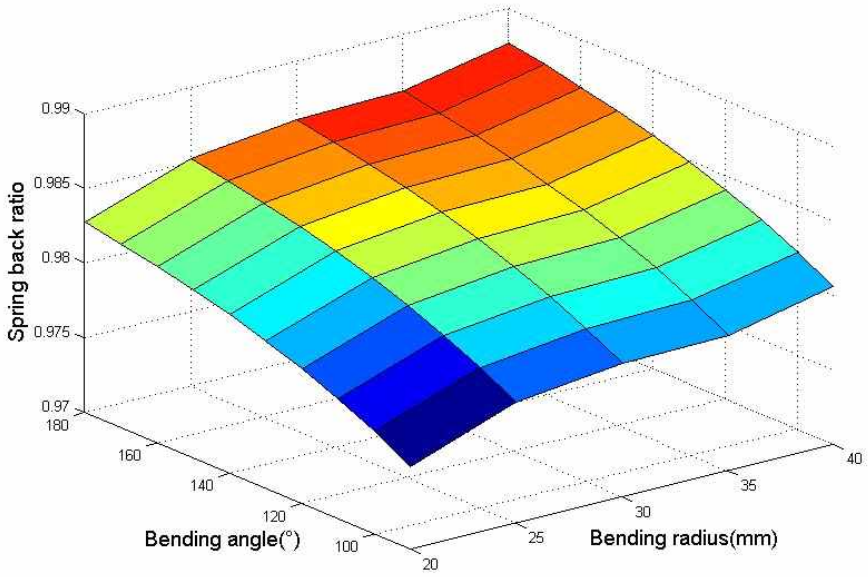

굽힘 반경 60mm
스프링백 각도
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
90
100
110
120
130
140
150
160
170
180
굽힘각
해석값
2차관계식
3차관계식
4차관계식

○ 굽힘 반경, 굽힘 각도에 따른 스프링 백 비 관계식 유도

$$SB_{ratio} = (1.94\times10^{-6})R^4 - (9.5\times10^{-5})R^3 + (1.29\times10^{-3})R^2 + (8.86\times10^{-9})R$$
$$- (3.99\times10^{-9})\theta^3 - (1.7\times10^{-6})\theta^2 + (2.8\times10^{-4})\theta + 0.894846$$

R : Bending radius, θ : Bending angle

- SB_{ratio}는 최종적으로 4차 관계식으로 가정하여 유도한 관계식 이다. 이 식을 이용하여 시뮬레이션과 동일한 인자 값을 적용하여 아래와 같은 그래프를 확인할 수 있었다.



< 굽힘 반경, 굽힘 각도에 따른 유도한 관계식 값 >

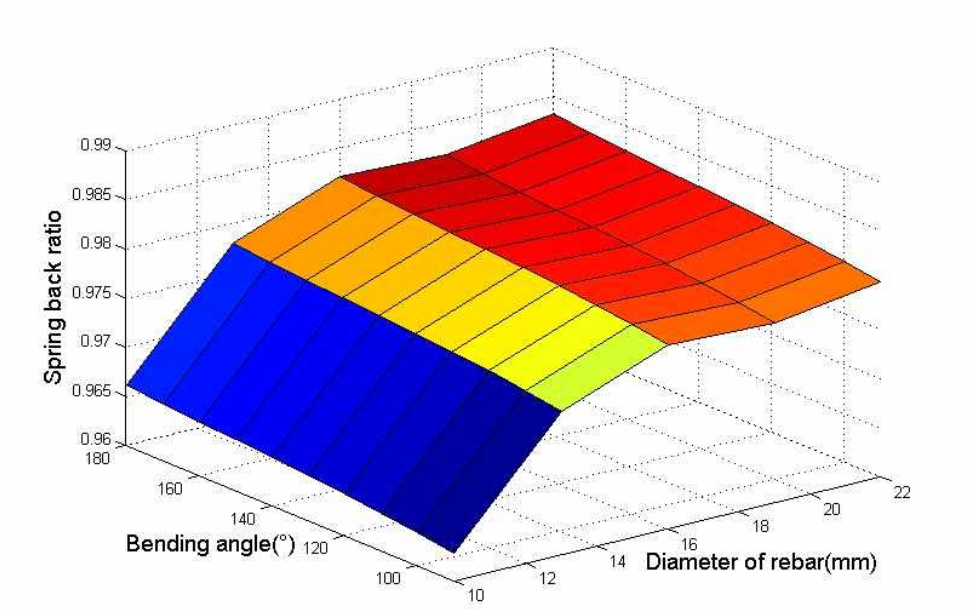
- 그 결과 시뮬레이션 데이터와 유도한 관계식의 값을 비교하면 평균 오차는 0.00177008로 확인

○ 철근 직경, 굽힘 각도에 따른 스프링 백 비 관계식 유도

- 위 유도한 관계식과 동일하게 아래와 같은 식을 유도 및 관계식 그래프를 만듦

$$SB_{ratio} = (5.162\times10^{-7})D^4 - (2.39\times10^{-5})D^3 + (3.12\times10^{-4})D^2 + (1.3672\times10^{-9})D \quad (3)$$
$$- (2.633\times10^{-9})\theta^3 - (1.6707\times10^{-6})\theta^2 + (3.642\times10^{-3})\theta + 0.9414$$

D : Diameter of rebar, θ : Bending angle



< 철근의 직경, 굽힘 각도에 따른 유도한 관계식 값 >

○ 유도한 관계식의 검증

- 유도한 관계식에 대한 검증을 하기 위해 기존에 사용하지 않은 입력 값을 이용
- 철근의 직경의 경우 12mm, 15mm, 18mm을 입력하였으며 각각의 철근의 직경에 95°, 135°, 175°의 굽힘 각도을 이용. 이 각각의 입력값을 이용하여 유도한 관계식의 데이터와 FEM을 통해 획득한 데이터를 확보
- 첫 번째 관계식인 철근의 직경과 굽힘 각도에 대한 관계식은 시뮬레이션 결과 값의 오차는 0.0070557이었으며 두 번째 관계식인 굽힘 반경과 굽힘 각도에 대한 관계식은 0.005573의 오차를 확인하여 유도한 관계식의 검증함
- 아래의 표는 2개의 식에 대한 결과 값을 비교한 표이다.

표 유도한 철근의 직경 굽힘 반경에 따른 유도식의 결과 값과 시뮬레이션 결과 값

철근의 직경	굽힘 반경	유도한 관계식 값	시뮬레이션 값	오차
Φ12mm	95°	0.97812723	0.97803211	0.00009512
	135°	0.98213518	0.98010298	0.0020322
	175°	0.98441335	0.98421297	0.00020038
Φ15mm	95°	0.97946434	0.98092632	0.00146198
	135°	0.98347229	0.98298676	0.00048553
	175°	0.98575045	0.98531709	0.00043336
Φ18mm	95°	0.97968575	0.98062316	0.00093741
	135°	0.98369370	0.98452650	0.0008328
	175°	0.98597187	0.98654816	0.00057629

표 유도한 철근의 직경 굽힘 반경에 따른 유도식의 결과 값과 시뮬레이션 결과 값

굽힘 반경	굽힘 반경	유도한 관계식 값	시뮬레이션 값	오차
22mm	95°	0.968814653890687	0.948167	0.020647
	135°	0.970446521265127	0.956575	0.013872
	175°	0.971694006511567	0.963852	0.007842
27mm	95°	0.977361307652994	0.976063	0.001298
	135°	0.978993175027434	0.978004	0.000989
	175°	0.980240660273874	0.980768	0.00053
32mm	95°	0.979105739727361	0.977647	0.001459
	135°	0.980737607101801	0.981806	0.00107
	175°	0.981985092348241	0.984443	0.00246

(2) 철근 밴딩기 형상 최적화 전산해석

(가) 연구목표

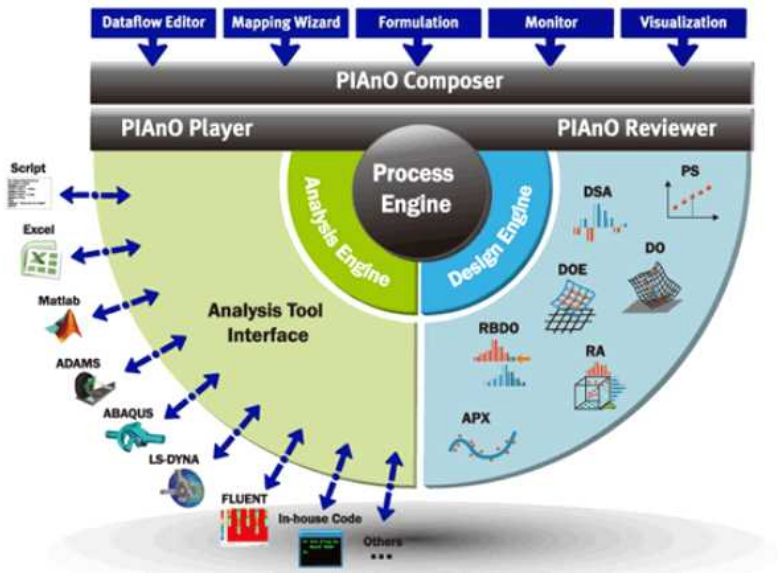
- 앞장의 밴딩후 발생하는 스프링백 현상에 대한 수치적 연구는 굽힘 공정에서의 시뮬레이션을 통한 데이터 확보 및 최소자승법을 이용한 스프링 백 현상의 수학적 모델링을 제시

- 하지만 이번 절에서는 스프링 백 현상을 분석하기 보다는 상용 동역학 해석프로그램 “DAFUL" 및 상용 최적설계 프로그램 "PIAnO"을 이용하여 철근 밴딩기의 형상을 최적

화함으로써 스프링 백 현상을 줄여 공정 간의 오차를 최소화하는데 연구의 목적을 가짐

(나) 상용 최적화 프로그램 "PIAnO" 소개

- PIAnO는 순수 국내 기술로 개발된 세계 수준의 PIDO툴로서 국내 산업체, 연구소, 대학은 물론, 해외 유수 대학에서도 이미 그 기술력을 인정받고 있으며 PIAnO는 기본적으로 CAE와 관련된 해석절차를 통합, 자동화하며, 이렇게 자동화된 해석절차에 DOE, Optimization, RA 등 최신의 설계기법을 적용하여 다분야 통합최적설계 솔루션을 제공



< PIAnO 프로그램의 계략도 >

(다) PIAnO 툴을 사용하기 전 형상 최적화를 위한 문제의 정식화

- PIAnO툴은 사용하기 위해서는 그 시스템이 가지는 목적함수, 제한조건, 설계인자의 상한, 하한을 결정하는 정식화가 우선적으로 행해져야하며 목적함수는 시스템내의 최소 또는 최대화할 문제의 요점이며 제한 조건은 재료의 물성치, 가공의 가능성 등 목적함수의 경계점을 결정짓는 요소이며 설계인자의 상한, 하한을 결정하는 정식화가 우선적으로 행해져야함
- 목적함수는 시스템내의 최소 또는 최대화할 문제의 요점이며 제한 조건은 재료의 물성치, 가공의 가능성 등 목적함수의 경계점을 결정짓는 요소이며 설계인자의 상한, 하한 또한 제한 조건에 의해 결정
- 이 3가지의 절차에 따라 실험계획표가 만들어지며 실험점이 선택

○ 목적함수

- 철근 밴딩기의 형상 최적화에서 목적함수는 공정간 오차를 발생시키는 스프링 백에 대한 최소화
- 아래의 식에서 f는 하중이 제거되기 전 굽힘 각도 이며 f'는 스프링 백 현상이 발생한 후 변형된 굽힘 각도

$$\text{minimization for } f = \theta - \theta'$$

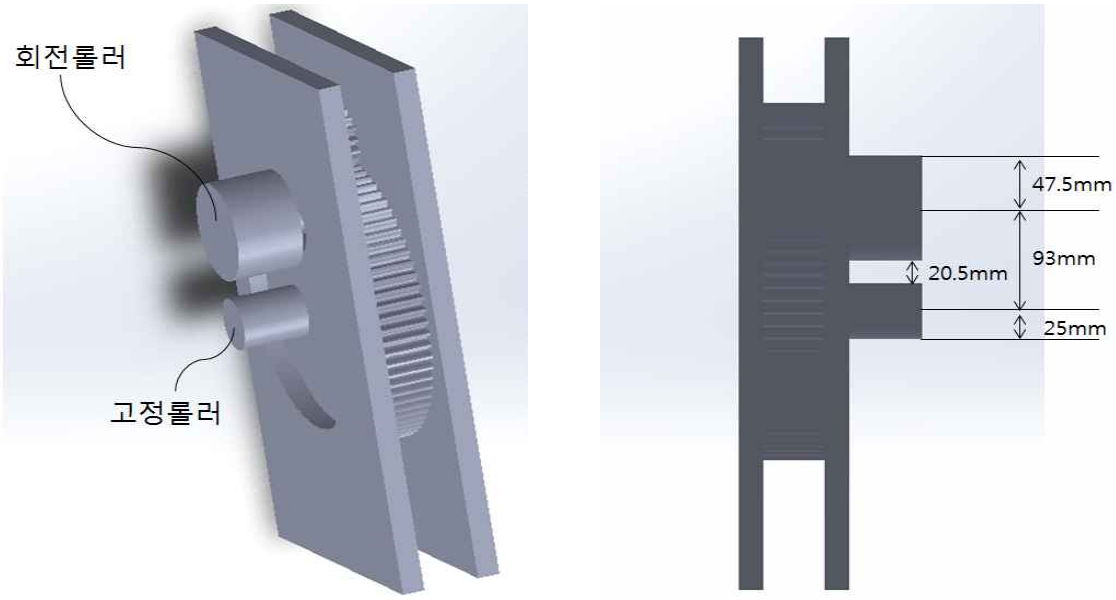
○ 설계 인자 결정
- 앞서 스프링 백 현상에 대한 수학적 모델링을 행하며 이 현상에 영향을 미치는 요소로 굽힘 반경, 굽힘 각도, 철근의 직경으로 나누어있지만 철근 밴딩기의 형상 최적화를 위해서는 굽힘 각도과 철근의 직경은 제외
- 이는 철근밴딩기의 형상을 결정짓는 요소가 굽힘 공정에 영향을 미치는 요소이기 때문이고 따라서 굽힘 반경 외 다른 요소들이 스프링 백 현상에 영향을 미침
- 아래의 그림은 굽힘 공정 직전의 철근 밴딩기 모델이고 그림을 보면 철근과 회전롤러 사이의 공극이 또 하나의 설계 인자일 가능성이 있음
- 따라서 이 연구에서는 굽힘 반경과 철근 & 회전롤러 사이의 공극을 설계 인자로 결정

○ 구속조건
- 굽힘 공정은 재료가 가지는 항복점 이상의 응력을 가해야 재료의 영구 변형이 일어남
- 하지만 이 응력이 재료의 최대 전단 응력 보다 높게 발생할 경우 재료는 영구 변형을 넘어선 파단에 이르게 되고 따라서 굽힘 공정간 철근이 받는 응력은 철근의 최대 전단응력이 MPa 보다는 낮아함
- 아래의 식은 첫 번째 구속 조건에 대한 관계식

$$\sigma_{\max-bending} < \sigma_{rebar's\,\max imum}$$

- 위에서 언급한 두 가지의 변수에 대한 관계식은 아래와 같이 표현
- 회전롤러와 고정롤러는 직경이 수정될 수 있지만 각 각의 중심축은 고정. 따라서 그림. 과 같이 두 롤러의 중심축 간의 거리인 L은 상수로 나타나며 그 사이에 있는 고정롤러의 반경(R_2), 철근과 회전롤러 사이의 공극L_{gap} 그리고 이번 형상최적화에 사용한 Φ 10mm 철근의 합은 L보다 작거나 같은 값을 가져야함

$$h \geq R_2 + L_{gap} + 10 \qquad (unit = mm)$$



< 철근 밴딩기와 중요 부분의 사이즈 >

- 철근 굽힘 공정에서 철근의 굽힘 반경은 아래의 표와 같이 명시. 철근 밴딩기에서 굽힘 반경을 결정짓는 요소는 고정롤러의 반경이 되고 따라서 철근의 굽힘 반경은 20mm

$$R_2 \geq 20$$

그 림							
철근종류	철근직경	롤러 최소반경		여 장			
		조 건	A	조 건	B	조 건	C
D10	9.53	2d	20	6d	60	6d or 60mm	60
D13	12.7		30		80		80
D16	15.9				100		100
D19	19.1				120		120
D22	22.2	3d	70	12d	280		140
D25	25.4		80		320		160

최소 굽힘 반경

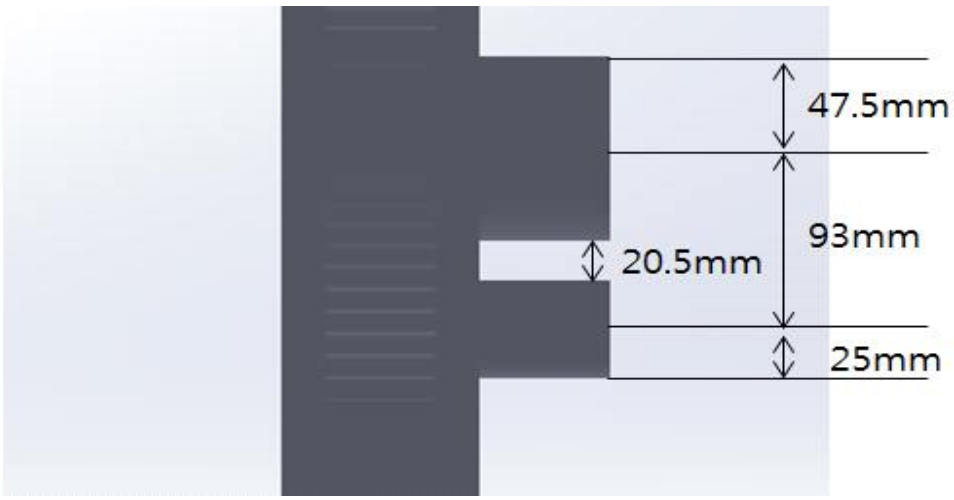
< 굽힘 공정간 최소 굽힘 반경 및 여장 길이 >

- 스프링 백 현상에 인해 굽힘 각도가 줄어들기 때문에 스프링 백 각도는 피아노 프로그램의 오류를 방지하기 위해 0 또는 양의 값을 가져야함

$$f = \theta - \theta' \geq 0$$

○ 설계 변수의 상한 하한

- 설계 변수로 결정한 고정롤러의 반경 과 철근과 고정롤러 사이의 공극의 초기 값은 제작된 철근 밴딩기의 사이즈에서 초기 값을 결정
- 상한과 하한은 구속조건에 의해 결정. 첫 번째 설계 변수인 고정롤러의 반경의 경우 최소 굽힘 반경에 의해 하한이 20mm로 결정되며 상한의 경우 공극L_{gap}이 0 일 경우 35.5mm로 결정. 두 번째 설계 변수인 공극의 거리 L_{gap}의 하한은 0이며 상한은 굽힘 반경의 최소반경인 20mm와 철근의 직경 10mm을 빼면 상한은 25.5mm로 결정



< 실제 제작된 밴딩기의 실측 사이즈 >

표 설계 변수의 초기 값, 상한과 하한

design variables	lower bound	initial	upper bound
L_{gap}	0	10.5	25.5
R_2	20	25	45.5

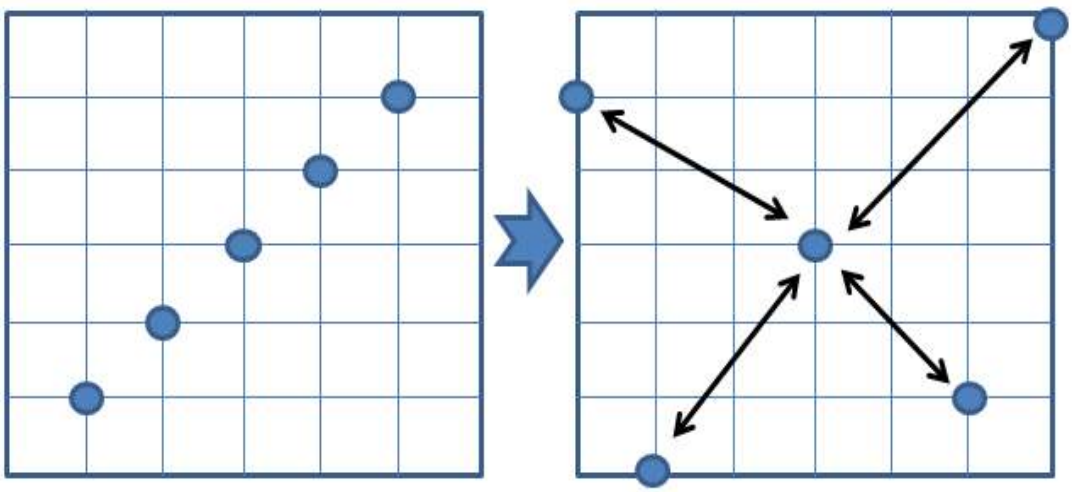
(다) 피아노를 이용한 스프링 백 현상에 대한 근사 모델 수립

○ 근사 모델 수립을 위한 실험점 결정

- 피아노 프로그램을 이용하여 철근 밴딩기의 형상 최적화를 하기 위해서는 실험계획표를 이용하여 근사모델을 수립

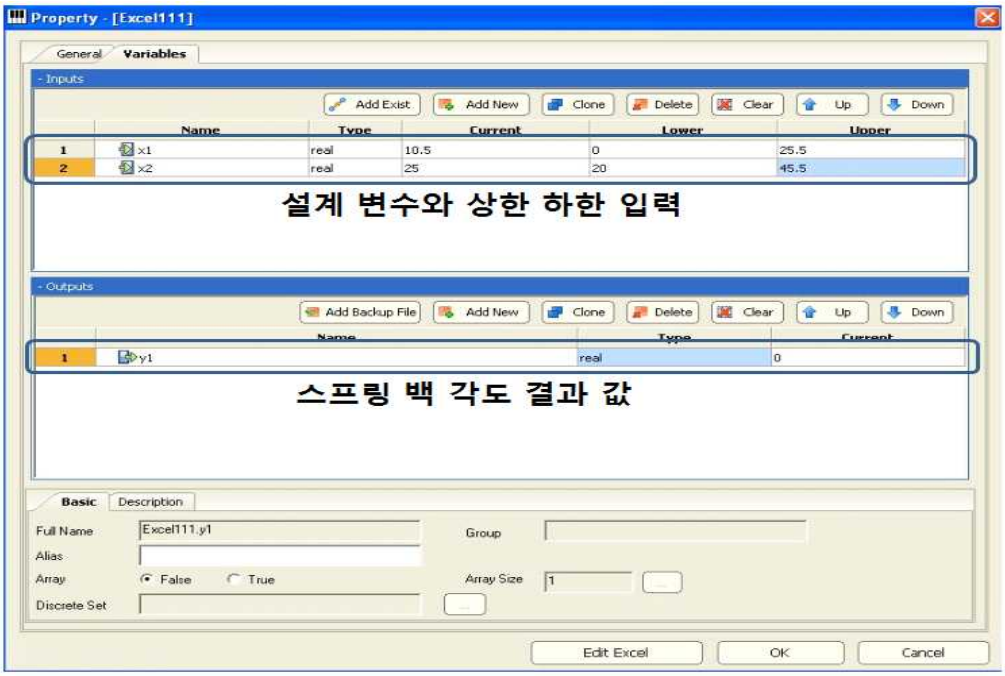
- 실험계획표를 만드는 방법은 Orthogonal Array(OA), Central Composite Design(CCD), Latin-Hypercude Design(LHD), Optimal Latin-Hypercube Design(OLHD) 등 여러 가지 종류가 있다. 이번 실험설계획표를 만들기 위해 OLHD를 이용

- OLHD는 아래의 그림과 같이 각각의 실험점을 최대한 멀리 떨어지게 하여 골고루 퍼트려 충진(Space-filling) 성능을 향상시켜주는 방법

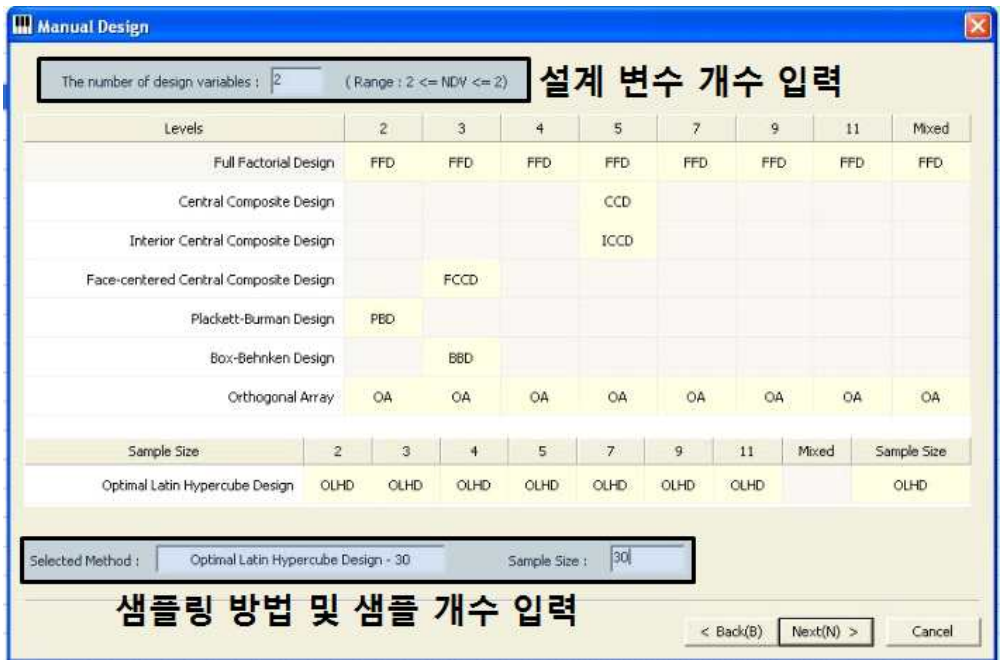


< OLHD를 이용한 실험점 결정 >

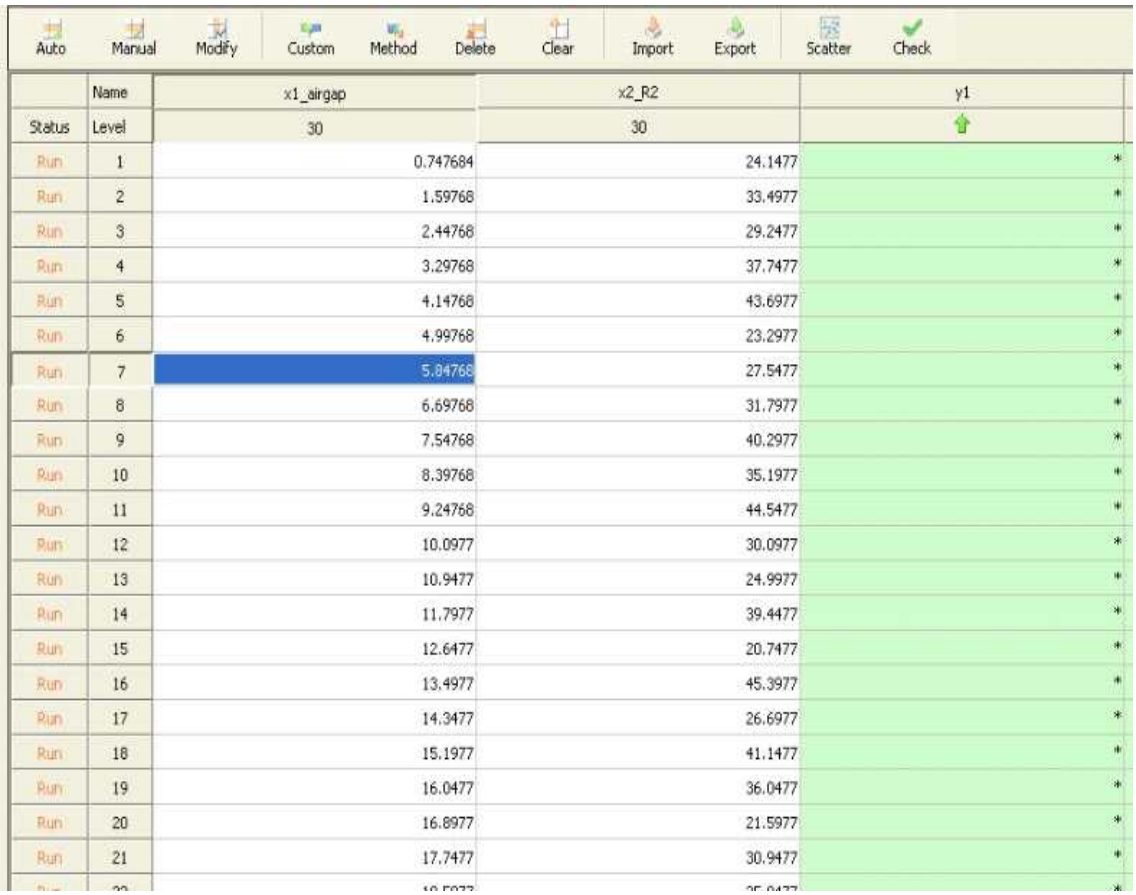
- 피아노프로그램에서 실험계획표를 만들기 위해 변수의 개수를 입력을 입력하고 위에 언급한 OLHD를 선택하여 30개의 실험점을 선택. 아래는 실험계획표를 작성하는 과정을 보여주는 그림



< 설계 변수의 초기 값, 상한, 하한 및 결과 값 입력 >



< 설계변수 실험점 개수와 샘플링 방법 입력 >



Auto | Manual | Modify | Custom | Method | Delete | Clear | Import | Export | Scatter | Check

	Name	x1_airgap	x2_R2	y1
Status	Level	30	30	
Run	1	0.747684	24.1477	*
Run	2	1.59768	33.4977	*
Run	3	2.44768	29.2477	*
Run	4	3.29768	37.7477	*
Run	5	4.14768	43.6977	*
Run	6	4.99768	23.2977	*
Run	7	5.84768	27.5477	*
Run	8	6.69768	31.7977	*
Run	9	7.54768	40.2977	*
Run	10	8.39768	35.1977	*
Run	11	9.24768	44.5477	*
Run	12	10.0977	30.0977	*
Run	13	10.9477	24.9977	*
Run	14	11.7977	39.4477	*
Run	15	12.6477	20.7477	*
Run	16	13.4977	45.3977	*
Run	17	14.3477	26.6977	*
Run	18	15.1977	41.1477	*
Run	19	16.0477	36.0477	*
Run	20	16.8977	21.5977	*
Run	21	17.7477	30.9477	*

< 1,2 단계에서 입력한 값에 의해 결정된 48개의 실험점 결과 >

○ 근사모델 수립을 위한 유한요소해석

- 유한요소해석은 앞서 스프링 백에 대한 수치적 연구에서 행했던 모델링을 그대로 사용하여 설계 변수인 굽힘 반경(R_2)와 철근과 회전롤러 사이의 공극(L_{gap})을 수정하며, 굽힘 반경은 시간적인 측면을 고려하여 90°만을 입력하여 48개의 모델링을 수행
- 아래의 표는 48개의 실험점에 대한 결과 값을 보여주는 테이블

표. 1~36개의 실험점에 대한 유한요소해석 결과 값

R_2 (mm)	L_{gap} (mm)	H (mm)	Maximum stress (MPa)	Spring back angle (°)
20.74768	12.647	33.39468	714.714	5.22452
21.36393	8.75825	30.12218	755.559	5.177574
21.59768	16.897	38.49468	670.002	4.998133
22.44768	21.997	44.44468	648.875	5.114713
22.59643	24.78075	47.37718	668.226	5.340613
23.29768	4.997	28.29468	720.992	4.313415
23.82893	14.92075	38.74968	680.584	4.644202
24.14768	0.747	24.89468	684.74	4.039359
24.99768	10.947	35.94468	687.79	4.550694
25.06143	7.52575	32.58718	724.291	4.215968
25.84768	18.597	44.44468	642.88	4.389535
26.29393	2.59575	28.88968	718.568	3.766937
26.69768	14.347	41.04468	641.438	4.39203
27.52643	9.99075	37.51718	730.302	4.114238
27.54768	5.847	33.39468	658.425	3.80548
28.39768	22.847	51.24468	622.647	4.206824
28.75893	16.15325	44.91218	670.699	3.825156
29.24768	2.447	31.69468	639.922	3.658544
29.99143	19.85075	49.84218	644.179	3.82978
30.09768	10.097	40.19468	624.881	3.625425
30.94768	17.747	48.69468	595.243	3.799164
31.22393	13.68825	44.91218	635.745	3.517239
31.79768	6.697	38.49468	608.237	3.345794
32.45643	21.08325	53.53968	619.259	3.671385
32.64768	24.547	57.19468	665.566	3.952565
33.49768	1.597	35.09468	1474	3.033191
33.68893	11.22325	44.91218	654.58	3.327478
34.34768	19.447	53.79468	643.242	3.407473
34.92143	3.82825	38.74968	603.565	2.978419
35.19768	8.397	43.59468	575.951	3.235061
36.04768	16.047	52.09468	550.66	3.287608
36.15393	12.45575	48.60968	579.608	3.139624
36.89768	23.697	60.59468	559.54	3.509223
37.38643	6.29325	43.67968	581.068	2.876151
37.74768	3.297	41.04468	573.722	2.668604
38.59768	20.297	58.89468	569.197	3.199739

표 37~48개의 실험점에 대한 유한요소해석 결과 값

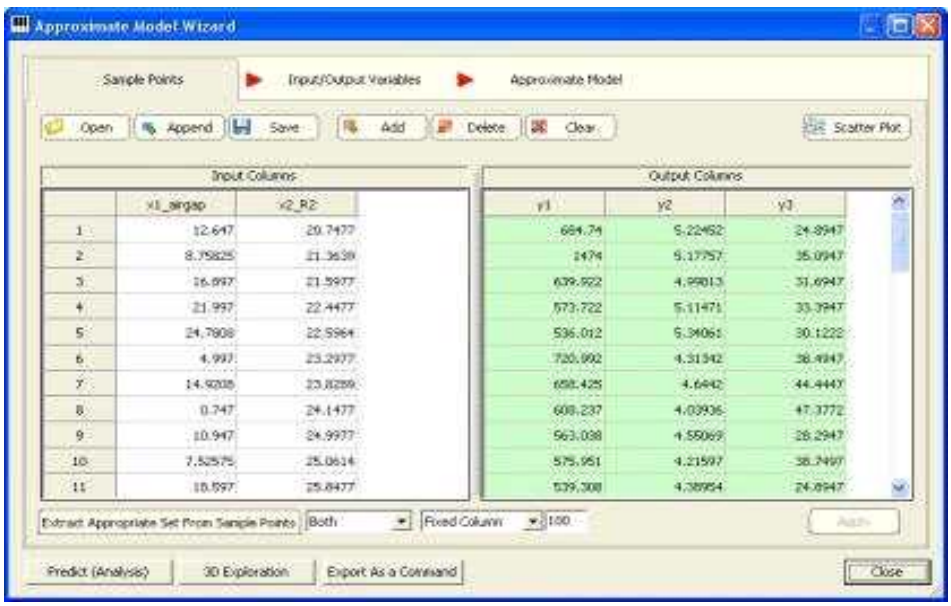
R_2 (mm)	L_{gap} (mm)	H (mm)	Maximum stress (MPa)	Spring back angle (°)
38.61893	17.38575	56.00468	566.331	3.145748
39.44768	11.797	51.24468	563.843	3.015663
39.85143	22.31575	62.16718	557.541	3.304259
40.29768	7.547	47.84468	563.038	2.832019
41.08393	5.06075	46.14468	557.425	2.595986
41.14768	15.197	56.34468	552.648	2.813273
41.99768	25.397	67.39468	561.298	3.0922
42.31643	1.36325	43.67968	560.68	2.333151
42.84768	21.147	63.99468	547.472	2.968259
43.69768	4.147	47.84468	536.012	2.404567
44.54768	9.247	53.79468	539.308	2.634435
45.39768	13.497	58.89468	534.557	2.568577

○ 근사 모델 수립 과정 (Approximate Model)

▶ step.1

- 실험계획표에 따라 생성된 실험점에 대한 결과 값을 아래 그림과 같이 입력

- 2개의 설계 변수인 철근과 회전롤러 사이의 공극(L_{gap})와 굽힘 반경(R_2)와 에 대한 데이터를 x1, x2에 입력하고 유한요소해석을 통해 얻은 철근이 받는 응력과 스프링 백 각도를 y1, y2에 각각 입력



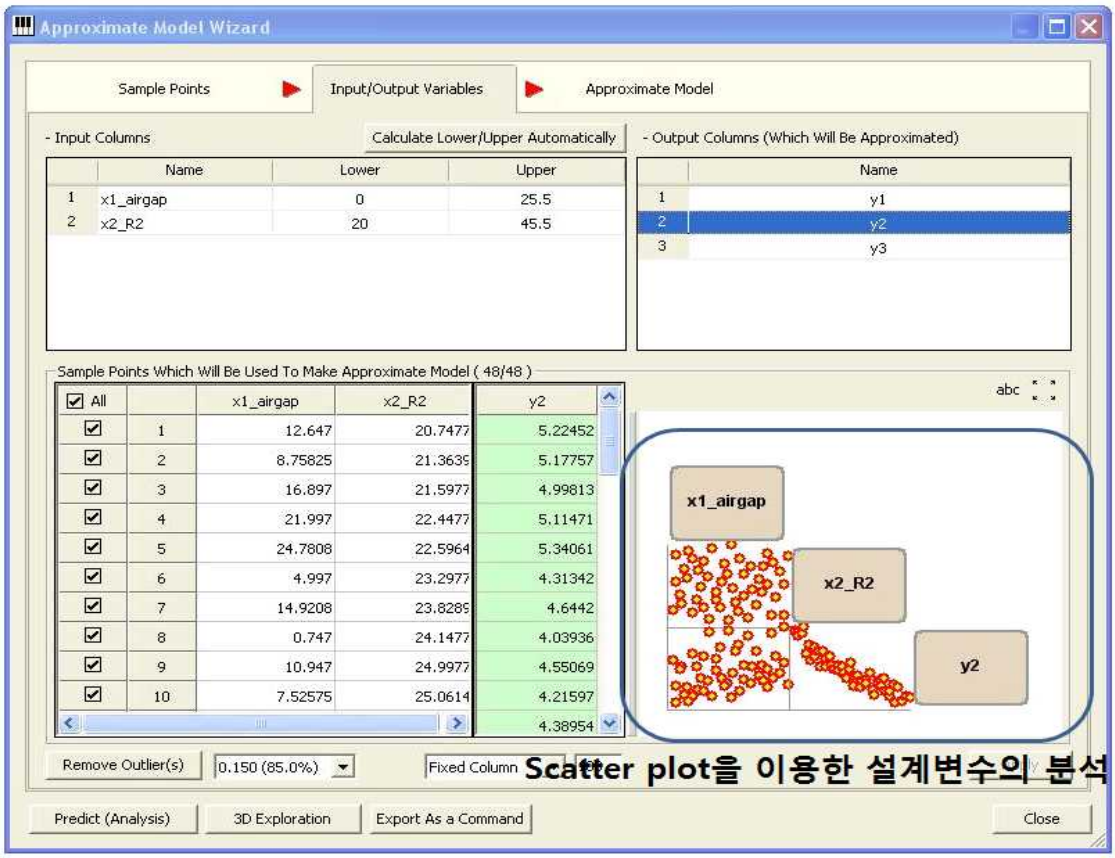
< DOE를 통해 정한 실험점에 대한 데이터를 입력 >

▶ step.2

- 실험점에 대한 데이터를 입력하고 apply를 하면 Input/output variables와 Approximate Model이 활성화됨

- Input/output variables를 통해 근사모델을 만들시 불필요한 점을 outliner기능을 통해 삭제하여 근사모델을 만들시 정확도를 올려주고 또한 Scatter plot을 통해 각 인자별 목적함수인 스프링 백 현상에 어떤식으로 영향을 미치는지 알아 볼 수 있음

- x1인 철근과 회전롤러 사이의 공극(L_{gap})은 비선형성을 띄었으며 굽힘 반경인 R_2는 스프링 백 현상에 선형적인 설계인자인 것을 확인

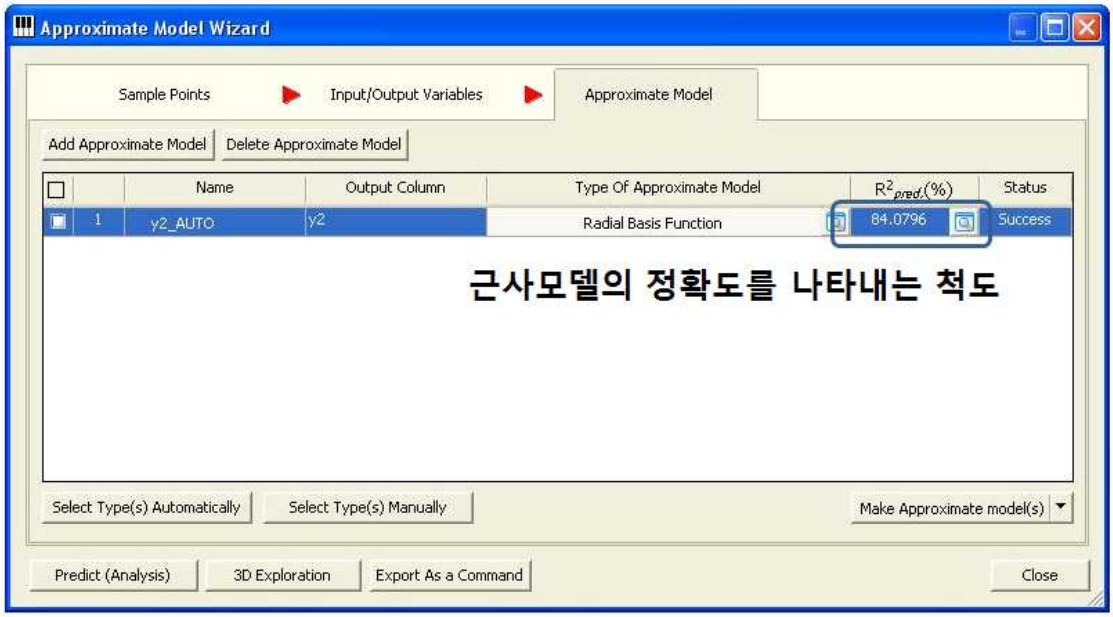


< 설계변수와 목적함수와의 관계를 확인과 근사모델을 만들기 위한 작업 >

▶ step.3

- 마지막 단계로 근사모델을 만드는 과정. 근사모델을 만드는 방법으로는 Kriging과 Radial basis function이 사용되며 근사모델의 추정식을 어느 정도 예측할 수 있다면 1차, 2차, 3차식 이상의 옵션을 선택하여 근사모델을 만들 수 있음. 이 과정을 통해 근사모델을 수립하였으며 아래 그림의 R^2은 만들어진 근사모델의 정확도를 나타내는 척도

- 현재 만들어진 모델의 R^2은 약 84%인 것을 확인

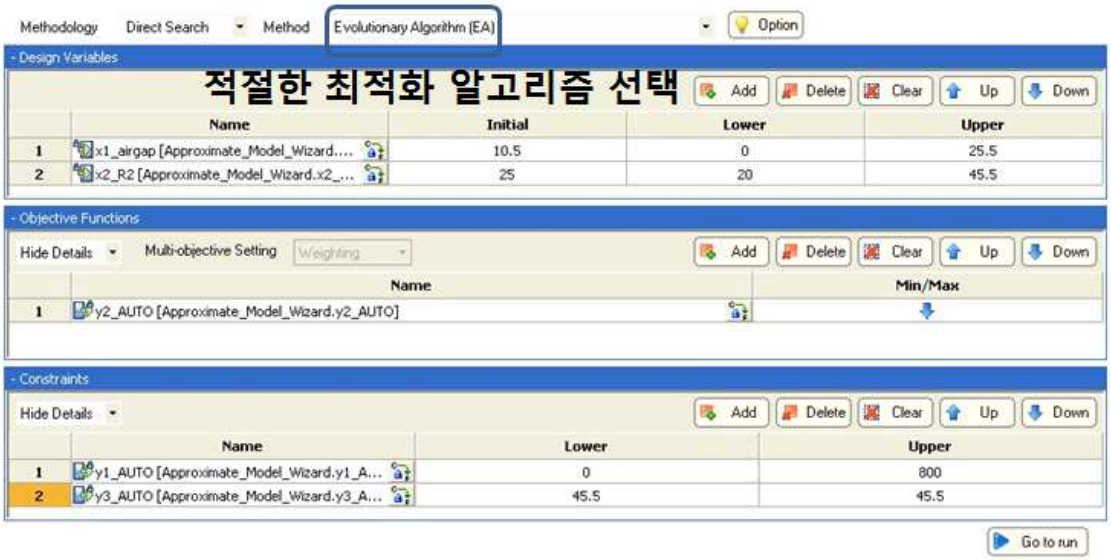


< Radial basis function을 이용하여 만든 근사모델과 그에 대한 정확도 >

(마) 설계 최적화 (Design Optimization)

▶ step.1

- 위 과정을 완료한 후 Design Optimization을 통해 목적함수에 대한 최적화를 하여함.
- 각각의 Input, output, constraints를 입력하고 목적함수에 알맞은 알고리즘인 Evolutionary Algorithm을 선택하여 최적점을 도출

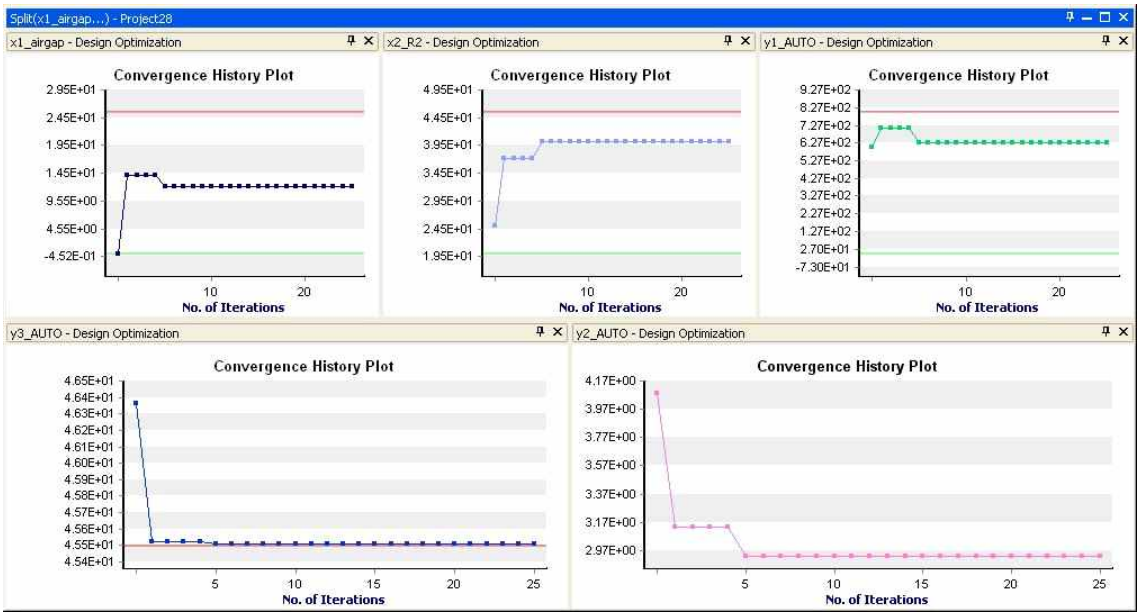


< Design Optimization의 첫 번째 단계인 최적화 알고리즘 선택 >

▶ step.2

- 모든 정보 및 알고리즘을 선택하여 최적화 기능을 실행하면 아래그림과 같이 설계변수가 초기값으로부터 최적점을 찾아가는 과정을 확인 할수 있으며 이 과정이 끝나면 최종적으로 원하는 최적점에 대한 설계변수의 값을 확인 할 수 있음

- 굽힘 반경인 R_2는 36.078mm이며 철근과 회전롤러사이의 거리L_{gap}은 8.229mm



< 설계변수의 초기점으로부터 최적점으로 찾아가는 과정 >

Initial vs Optimal Table - Project28

최적점

		Lower	Initial	Optimal	Upper
Design Variables	x1_airgap	0.000	10.500	8.229	25.500
	x2_R2	20.000	25.000	36.078	45.500
Objective	y2_AUTO		4.517	3.118	
Constraints	y1_AUTO	0.000	581.206	593.513	800.000
	y3_AUTO	45.500	30.697	45.473	45.500

< 최종 설계변수의 값 >

(바) 최적점에 대한 검증을 위한 해석

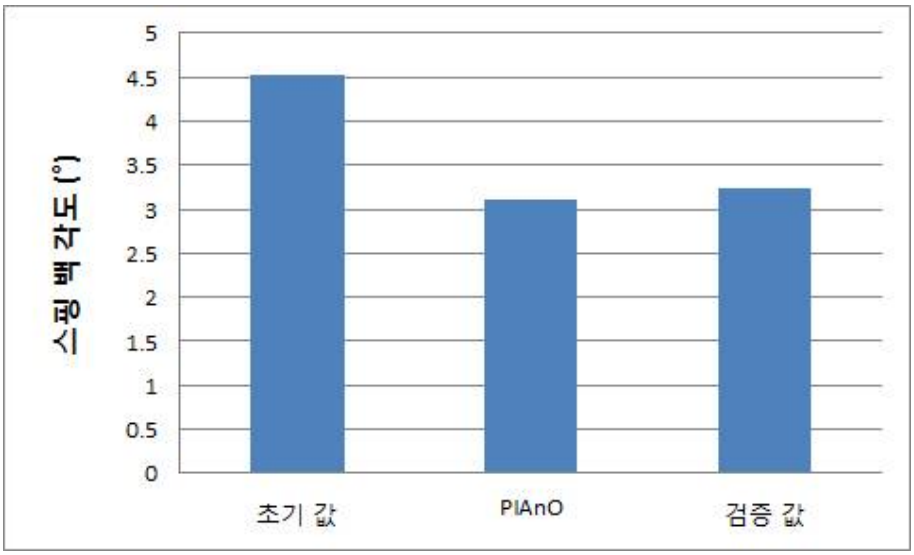
○ PIAnO를 이용하여 스프링 백을 최소화할 수 있는 철근 밴딩기의 형상 최적화

- 결과 값을 위의 그림에서와 같이 굽힘 반경 R_2는 36.078mm 이며 철근과 회전롤러사이의 거리L_{gap}은 8.229mm로 나왔으며 또한 이 설계변수 값을 사용했을 시 최소 스프링

백 각도는 3.118°가 나옴

- 이 결과 값에 대한 검증을 하기 전 R_2, L_{gap}을 1/10mm 단위로 맞추기 위해 R_2를 36.5mm, L_{gap}를 8.5mm 설정하여 검증을 위한 시뮬레이션을 진행

- 결과 값을 아래 그래프로 나타내었으며 초기의 설계변수를 사용했을 시 스프링 백 각도는 4.517°, PIAnO를 통해 구한 최적점에 대한 스프링 백 각도는 3.118°, 최적화를 통해 획득한 최적점을 사용했을 시 3.245° 나옴



< 초기 값, 피아노를 이용한 최적화 값과 검증값 비교 >

(마) 결 론

- 본 연구를 통해 철근 밴딩 공정 중 오차를 발생시키는 스프링 백 현상에 대한 형상 최적화를 진행. 스프링 백 각도에 대한 수학적 모델링 또한 오차를 줄이기 위한 방법으로 좋은 방법이지만 수학적 모델링을 수립하기 위해서는 최적화를 통한 방법보다 훨씬 많은 시간이 소요되어야함. 따라서 철근 밴딩기의 형상 최적화는 수학적 모델링에 비해 상대적으로 짧은 시간이 걸리므로 공정간 오차를 줄일 수 있는 좋은 방법론이라고 말할 수 있음

나. 절단 절곡 메커니즘 개발 및 시스템 설계

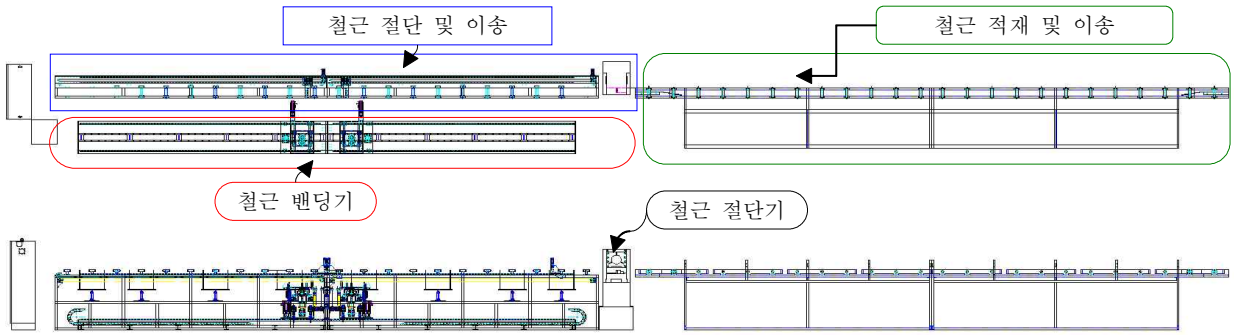
(1) 개념설계

o 철근 가공 시스템은 크게 철근 적재 및 이송부, 철근 절단 및 이송부, 철근 밴딩기부로 나누어진다.

o 철근 적재 및 이송부는 철근 적재역할과 철근 절단 및 이송부로 철근을 이송시킨다.

o 철근 절단 및 이송부는 밴딩에 필요한 철근 길이에 맞게 절단을 하며 철근을 밴딩부 중심으로 이송을 시키며, 철근 로딩 대기위치로 철근을 이동시킨다. 철근 밴딩기는 절곡 형상에 맞게 철근을 절곡한다.

o 철근 가공 시스템의 전체 계략도는 아래 그림과 같다.

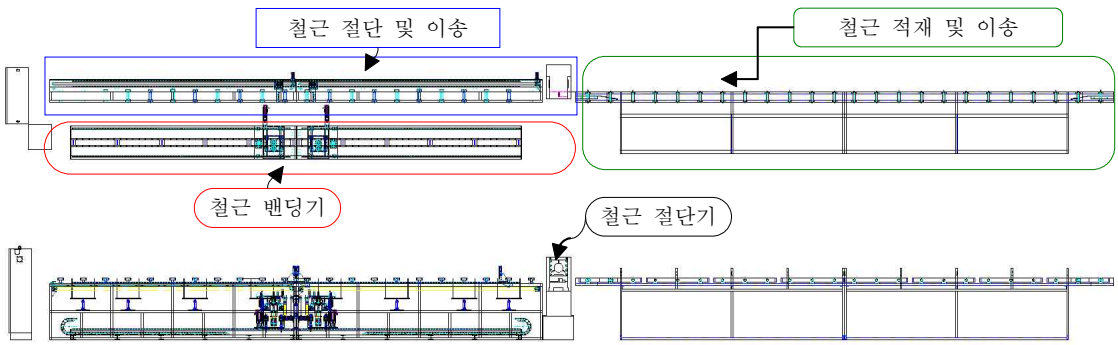


< 철근 밴딩 시스템 개념도 >

(2) 상세설계

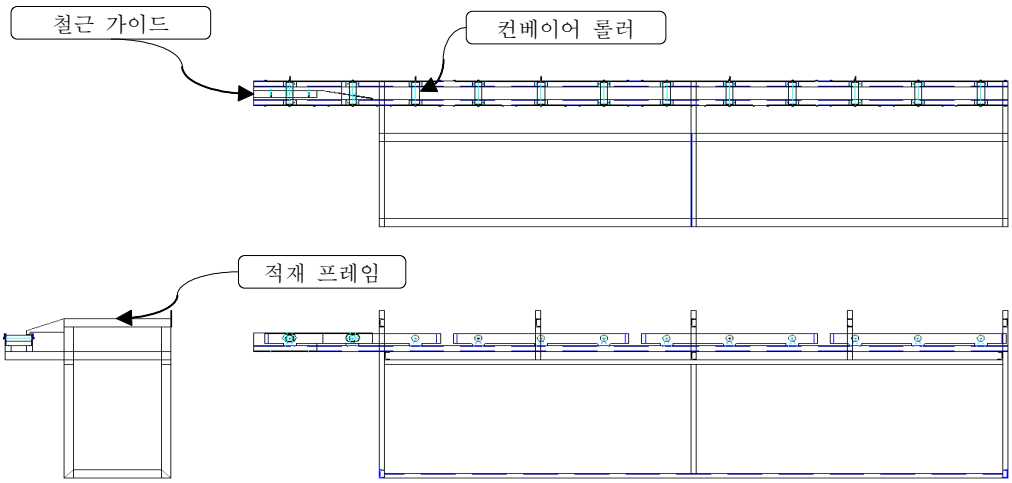
(가) 전체시스템 구성

o 철근 가공 시스템은 철근 적재 및 이송부, 철근 절단 및 이송부, 철근 밴딩기부로 이루어진다.



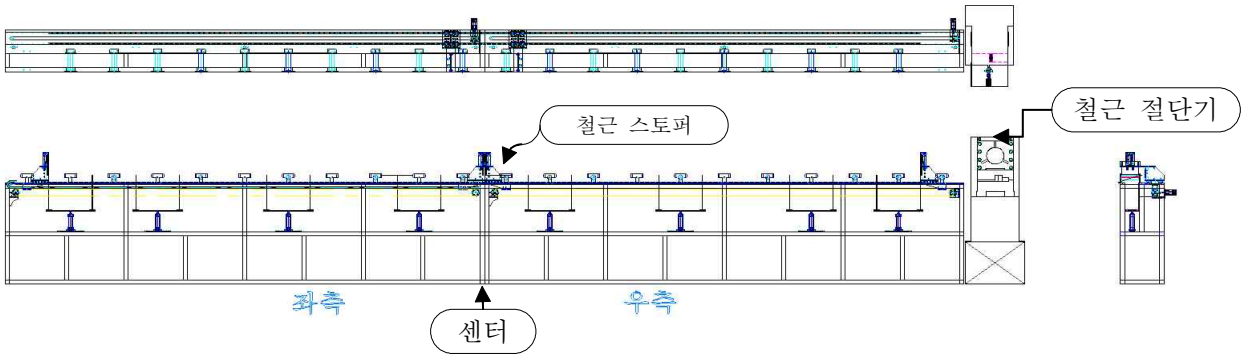
< 철근 밴딩 시스템 전체 도면 >

o 철근 적재 및 이송부는 다음 그림과 같다.

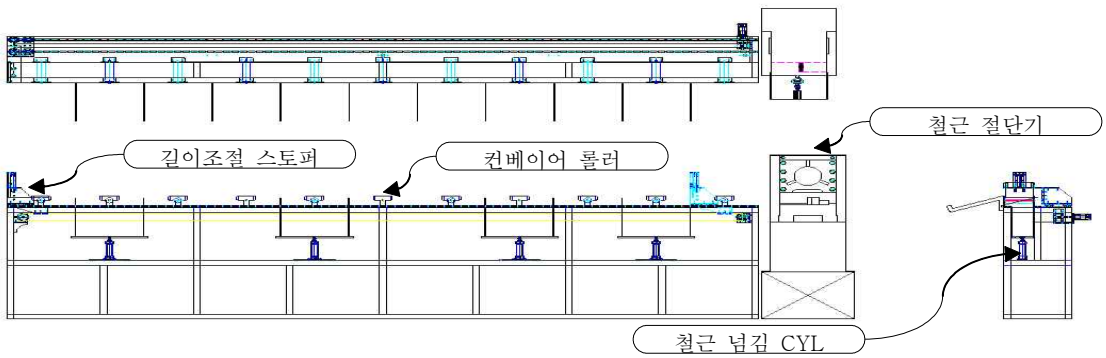


< 철근 적재 및 이송부 >

o 철근 절단 및 이송부는 아래 그림과 같다.

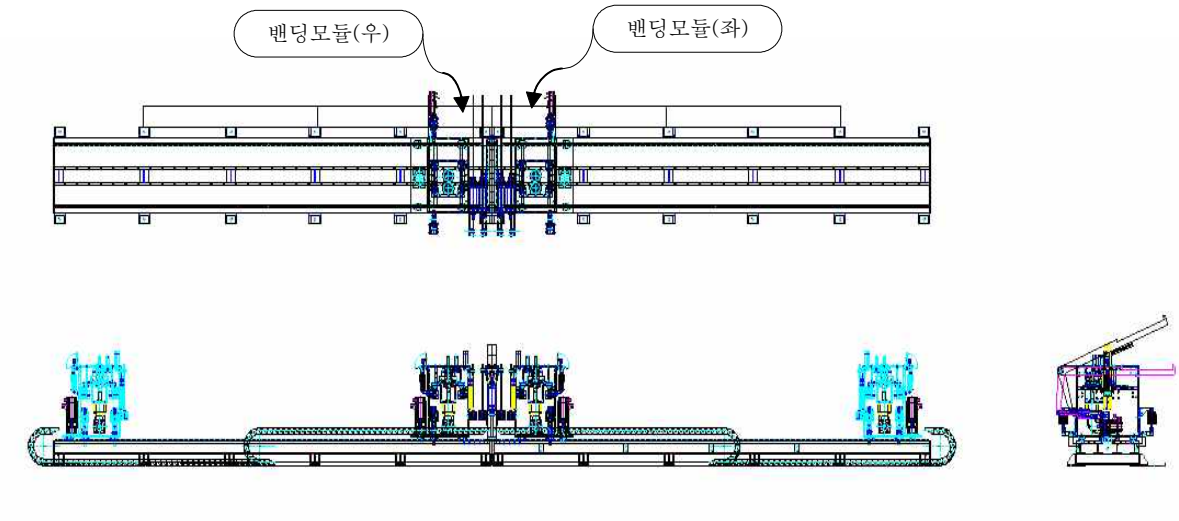


< 철근 절단 및 이송부 전체 >

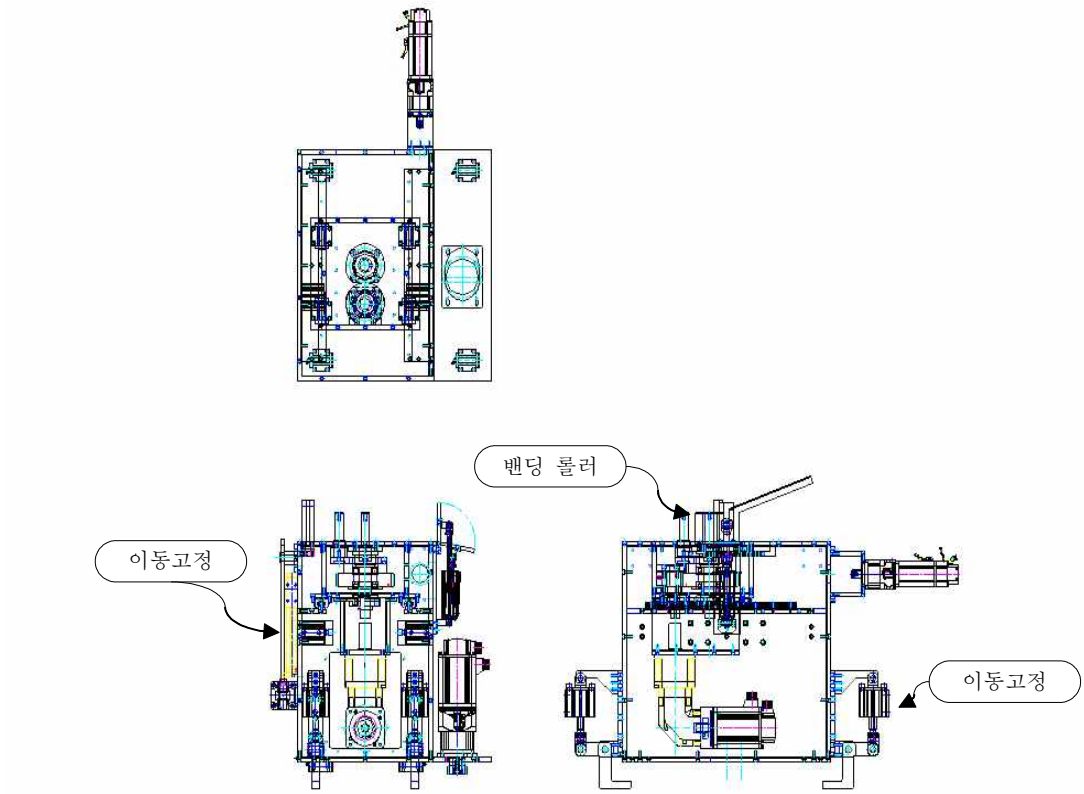


< 철근 절단 및 이송부 좌측 >

o 철근 밴딩기부는 아래 그림과 같다.



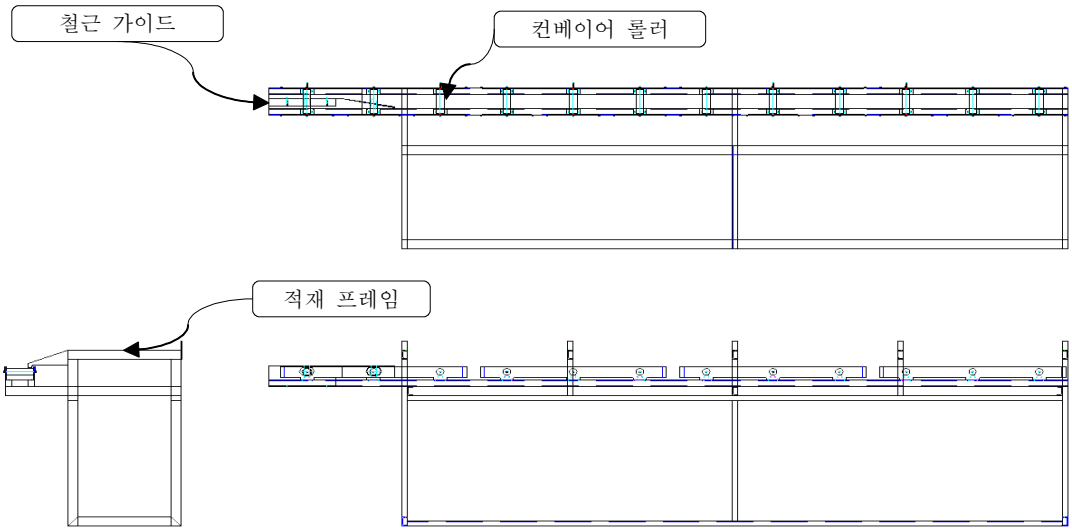
< 철근 밴딩기 전체 >



< 밴딩 모듈 >

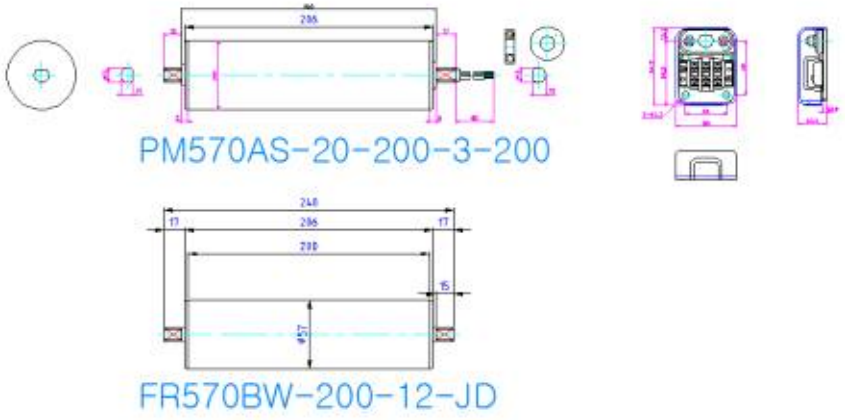
(나) 철근 적재 및 이송부 설계

o 철근 적재 및 이송부는 적재 프레임, 컨베이어 롤러로 구성된다. 그리고 좌우 대칭구조로 제작한다.

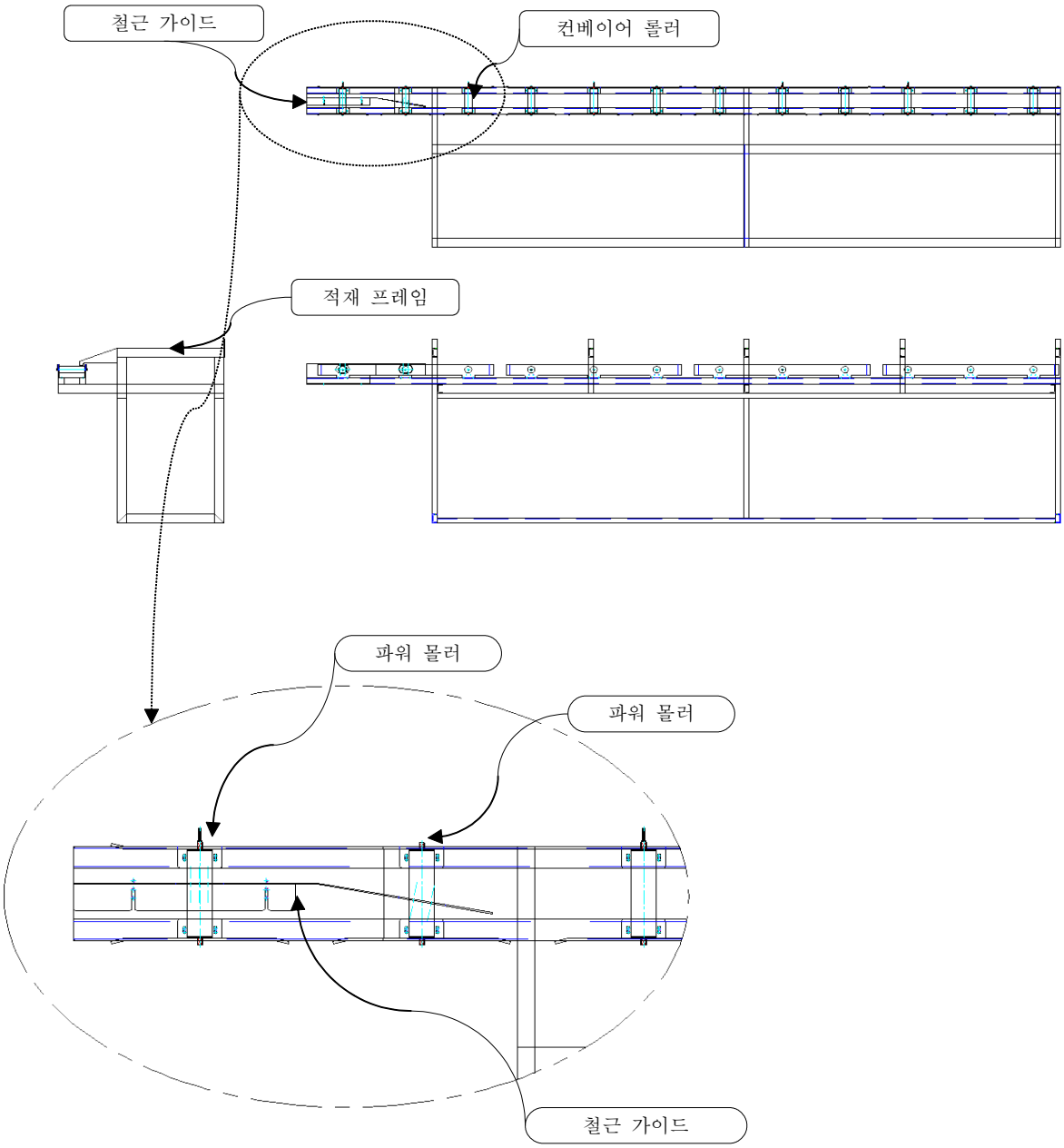


< 철근 적재 및 이송부(우측) >

o 컨베이어 롤러는 다수의 아이들 롤러와 다수의 구동롤러(파워몰러)로 이루어지며, 다수의 구동롤러를 분산 설치하고 하나의 인버터를 사용하여 같이 동작하여 원할한 이송력을 꾀한다. 롤러의 형상은 아래의 그림과 같다.



< 컨베이어 롤러 형상-파워몰러 및 아이들롤러 >



<철근 적재 및 이송부 가이드형상>

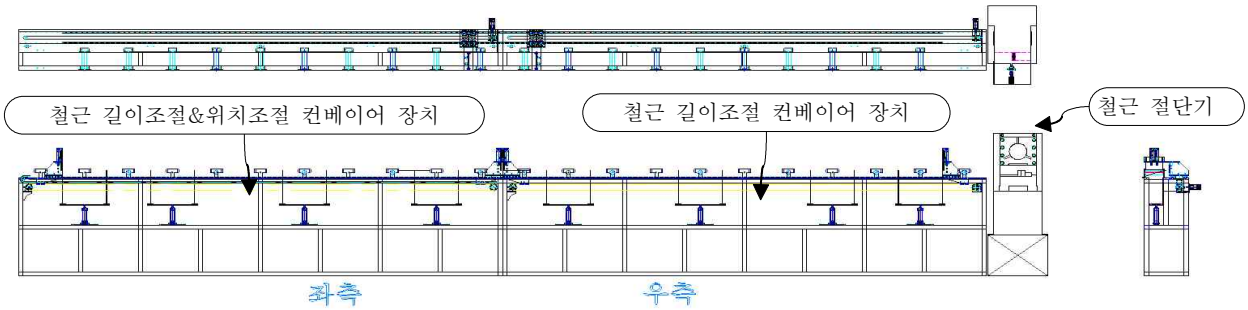
o 위 그림과 같이 철근 가이드를 설치하여 철근 절단 및 이송부로 철근이 진입시 가지런히 모으도록 하며, 수동 조절을 하도록 설계 한다.

(다) 철근 절단 및 이송부

o 철근 절단 및 이송부는 크게 철근 절단장치, 철근 길이조절 컨베이어 장치, 철근 길이조절 및 위치 조절장치 및 컨베이어 롤러로 구성된다.

o 단. 컨베이어 롤러는 앞서 설명한 철근 적재 및 이송부에서 설명됐으며, 이송장치의 기본 시스템이므로 추가 설명 및 중복 설명은 하지 않는다.

o장비 크기는 약 1300*500*11000 (단위mm)로 제작 된다.



< 철근 절단 및 이송부 >

1) 철근 절단기

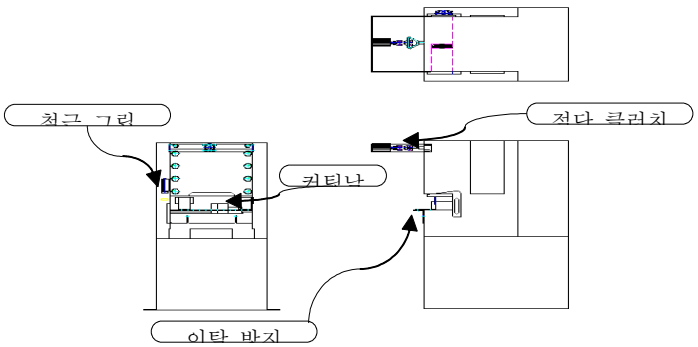
철근 절단기는 절단장치(커팅날 외),절단 클러치 레버, 철근 그립, 이탈방지 가이드로 구성된다. 철근 절단능력은 D16 5EA 이하이다.

- 절단 클러치레버 : 절단 클러치레버의 주목적은 원활한 절단력을 공급하기 위함이다. 절단기의 동력은 3.7Kw AC 모터를 사용하였고, 클러치 레버 및 플라이휠을 장착하며, 절단시 클러치레버를 작동하여 모터 구동중 절단이 이루어지게 한다.

철근 그립은 철근 절단시 충격으로 인해 철근의 튐 현상이 발생할 수 있으므로, 이를 방지하기 위해 설치한다.

- 이탈방지 가이드 : 이탈장지 가이드는 철근 그립과 같이 절단시 충격으로 인해 철근이 절단기로부터 이탈현상이 발생할수 있으므로 미연에 방지하고자 설치한다.

o 철근 절단기는 다음 그림과 같은 형상과 같다.

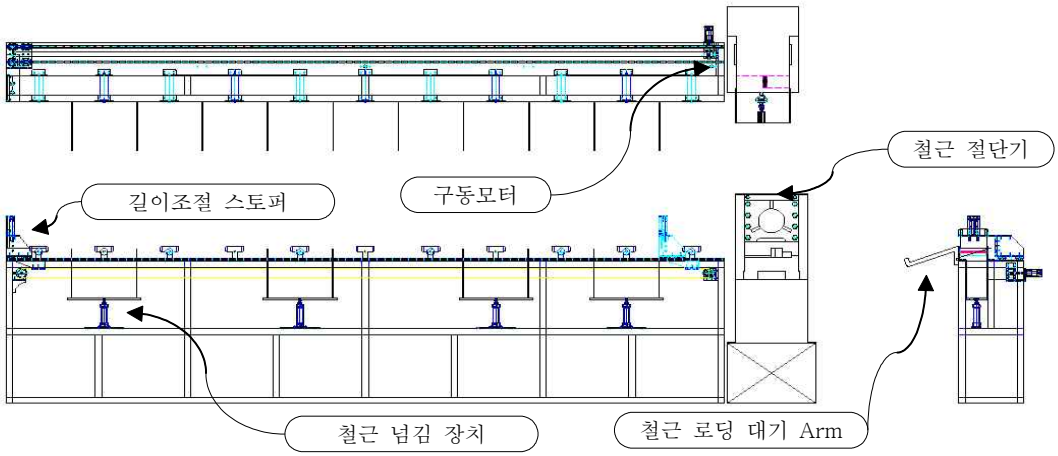


< 철근 절단기 >

2) 철근 길이조절 컨베이어 장치

o 철근 길이조절 컨베이어 장치는 프레임, 길이조절 스토퍼, 철근 넘김 장치로 구성 된다. 철근 커팅기 미포함 5.5m 길이로 제작된다.

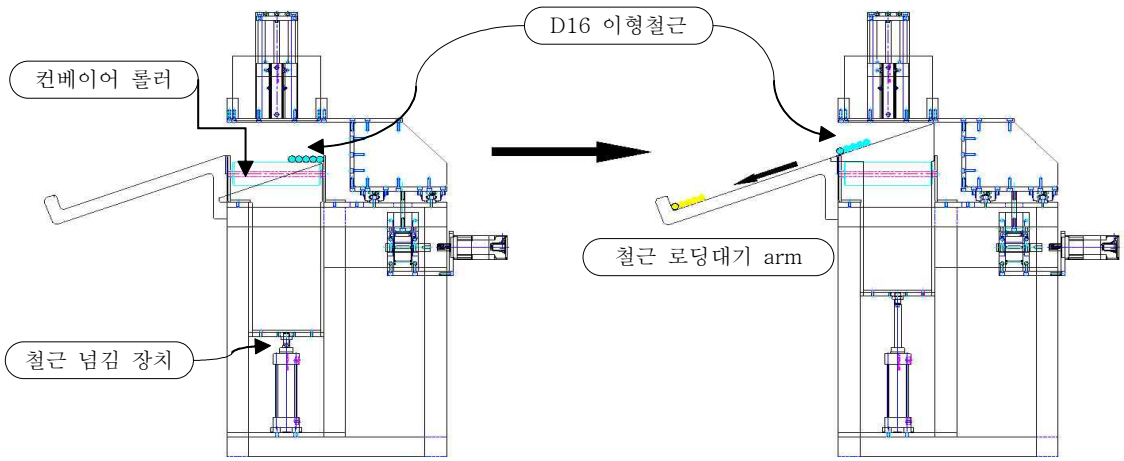
o 형상은 아래의 그림과 같다.



< 철근 길이조절 컨베이어 장치 >

- 길이조절 스토퍼 : 길이조절 스토퍼는 밴딩할 패턴은 철근 길이를 산출하여 5M 이하인 경우에 작동되며, 5M 이상이 될시 철근 길이조절& 위치조절 장치의 스토퍼를 사용하여, 정해진 길이만큼 철근을 절단하기 위한 장치 이다. 구동은 서보모터와 타이밍벨트를 사용하여 작동되며 스트록크는 약 5M이다.

- 철근 넘김 장치 및 철근 로딩 대기 Arm

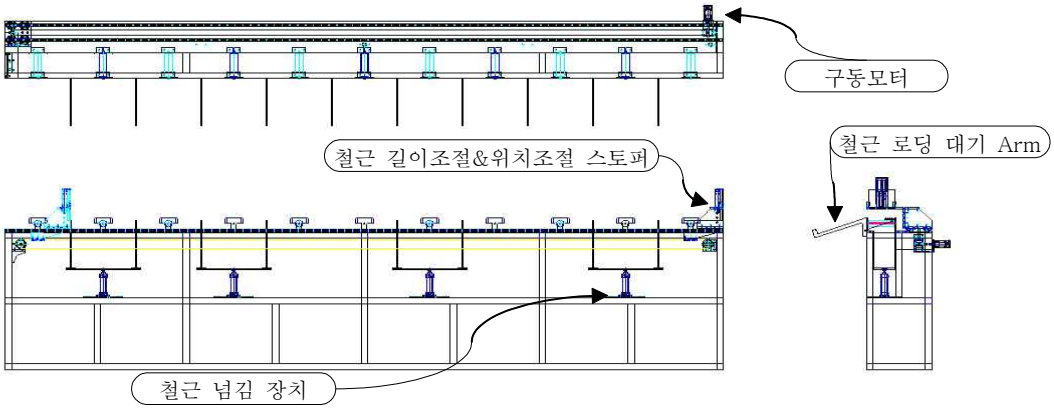


< 철근 넘김 장치 및 철근 로딩 대기 Arm >

o 철근 넘김 장치 및 로딩대기 Arm은 위 그림과 같이 적용된다. 절단 및 위치이송까지 완료된 상태에서 밴딩기로 투입되기 전(前)상태이며, 철근 길이조절 및 길이조절 컨베이어장치에도 적용된다.

3) 철근 길이조절 및 위치조절 컨베이어 장치

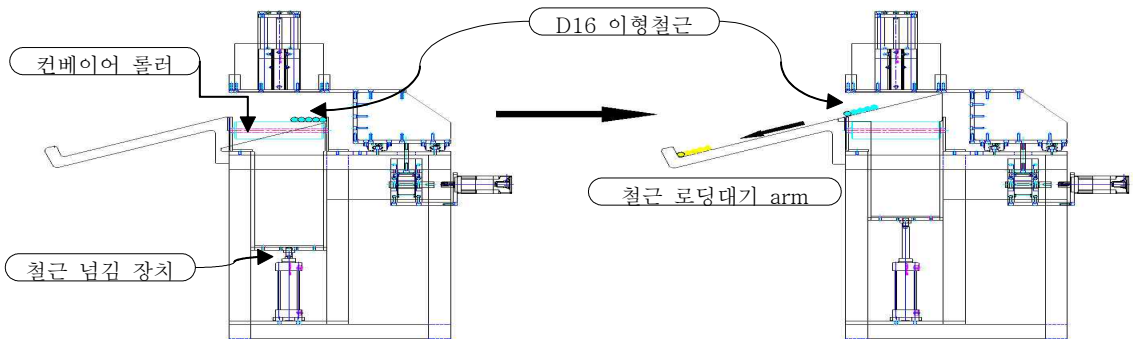
o 철근 길이조절 및 위치조절 장치는 구성은 앞의 철근 길이조절 컨베이어장치와 동일한 구조이며, 프레임, 철근 길이조절& 위치조절 스토퍼, 철근 넘김 장치 구성된다.



< 철근 길이조절 및 위치조절 컨베이어 장치 >

- 철근 길이조절 & 위치조절 스토퍼 : 철근 길이조절 & 위치조절 스토퍼의 주목적은 절단된 철근을 밴딩기로 투입 되기전 밴딩기의 중심 또는 임의의 위치에 두기 위함이며, 부가적인 기능으로 철근 절단 길이가 약 5M이상일시 길이조절 스토퍼 역할을 수행한다. 작동범위는 약 5M로 철근의 절단 길이는 최대 10M 이하이다.

- 철근 넘김 장치 & 철근 로딩 대기 Arm : 철근 넘김 장치는 앞서 설명한 철근 길이조절 컨베이어 장치와 동일하며, 아래 그림으로 작동 및 형상을 이해 하도록 한다.



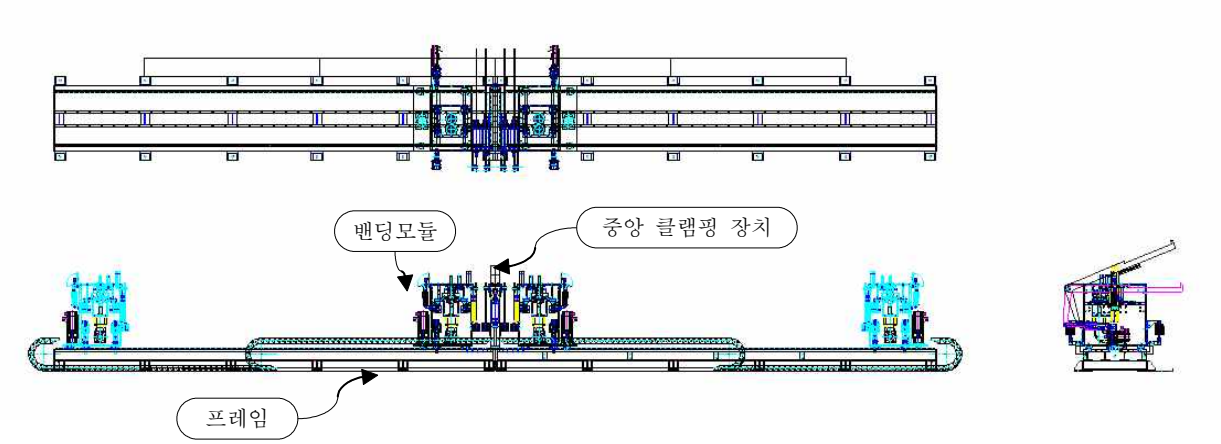
[하강] [상승]

< 철근 넘김 장치 및 철근 로딩 대기 Arm >

(라) 철근 밴딩기부

o 철근 밴딩기부는 크게 프레임, 밴딩모듈, 중앙 클램핑 장치로 구성된다.

o 형상은 아래 그림과 같다.

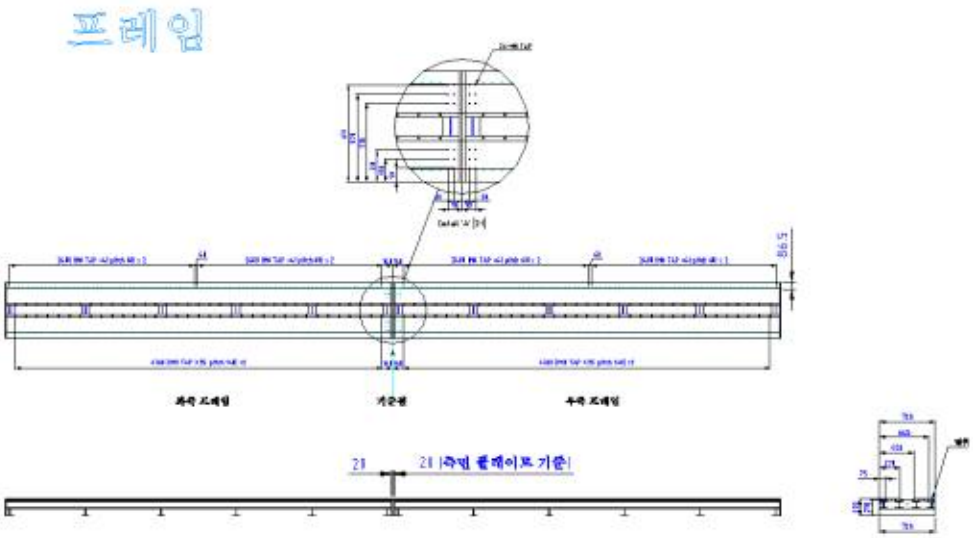


< 철근 밴딩기 >

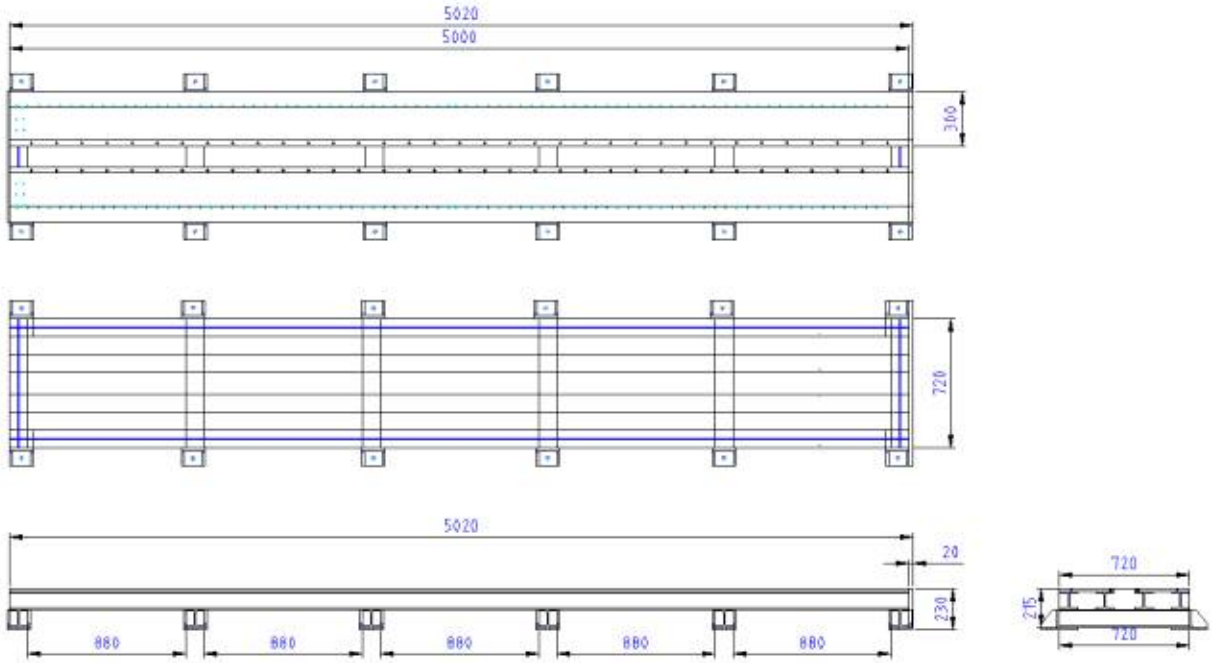
1) 프레임

o 프레임은 철근 밴딩기의 베이스로 밴딩 모듈등 기타 장치들이 고하중으로 작용되므로, 높은 하중을 견뎌기 위해 H빔을 사용 한다. 그리고 리니어장치(LM가이드)를 적용하여 직진성을 꾀하였다. 또한 하중을 분산하기위해 높이 조절좌를 12개(앞뒤6개씩)를 사용한다. 다수의 높이 조절좌(종발이)로 인해 상이한 지형에서도 셋팅이 용이할 것으로 판단된다.

o 형상은 다음그림과 같다.



< 철근 밴딩기부 프레임 프레나 가공도면 >

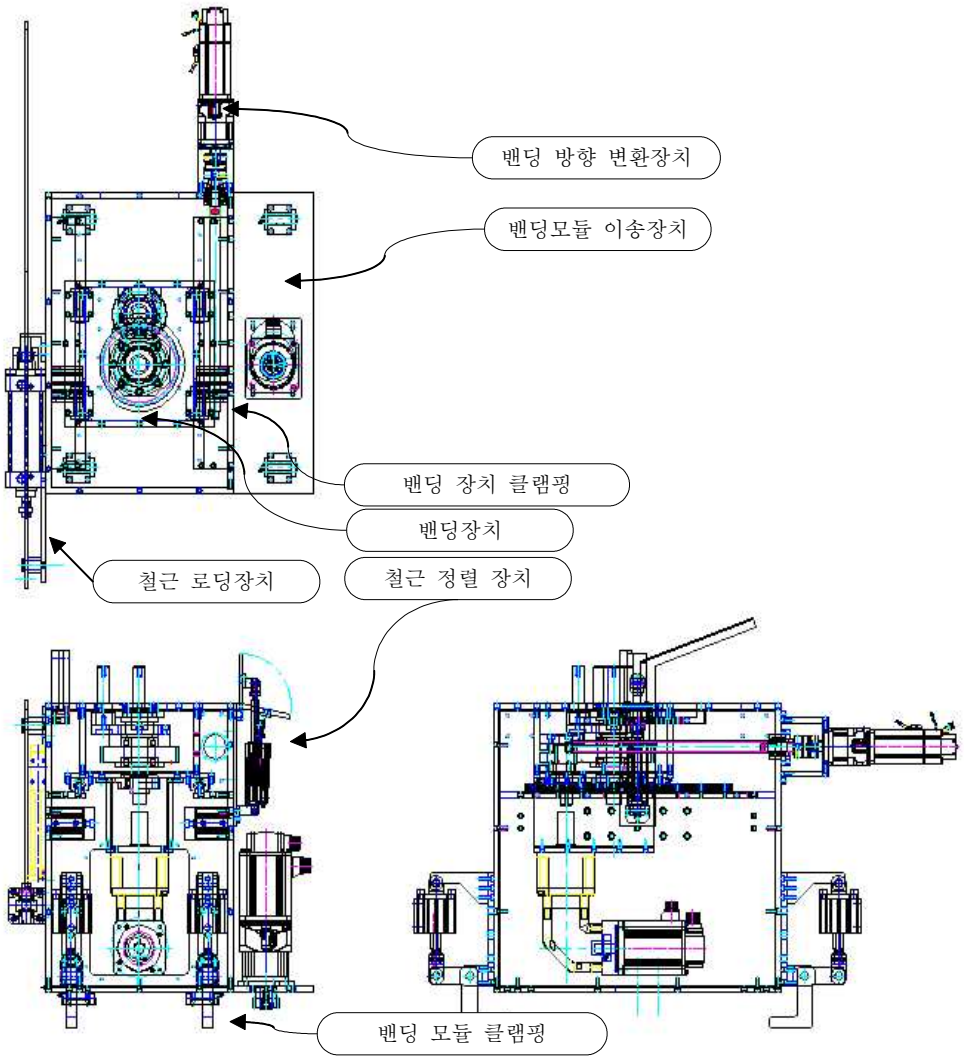


< 프레임 >

o 5M 사이즈로 좌우 대칭으로 제작되며, 총 길이는 약 10M이다. 밴딩 높이가 높으므로 프레임을 높이 사이즈를 낮추어 100*100(단위mm) H빔으로 제작되며 높은 강도가 약하므로 상부면을 20t 철판을 용접하여 LM 가이드와 랙기어 체결하기 위해 프레나 가공을 한다.

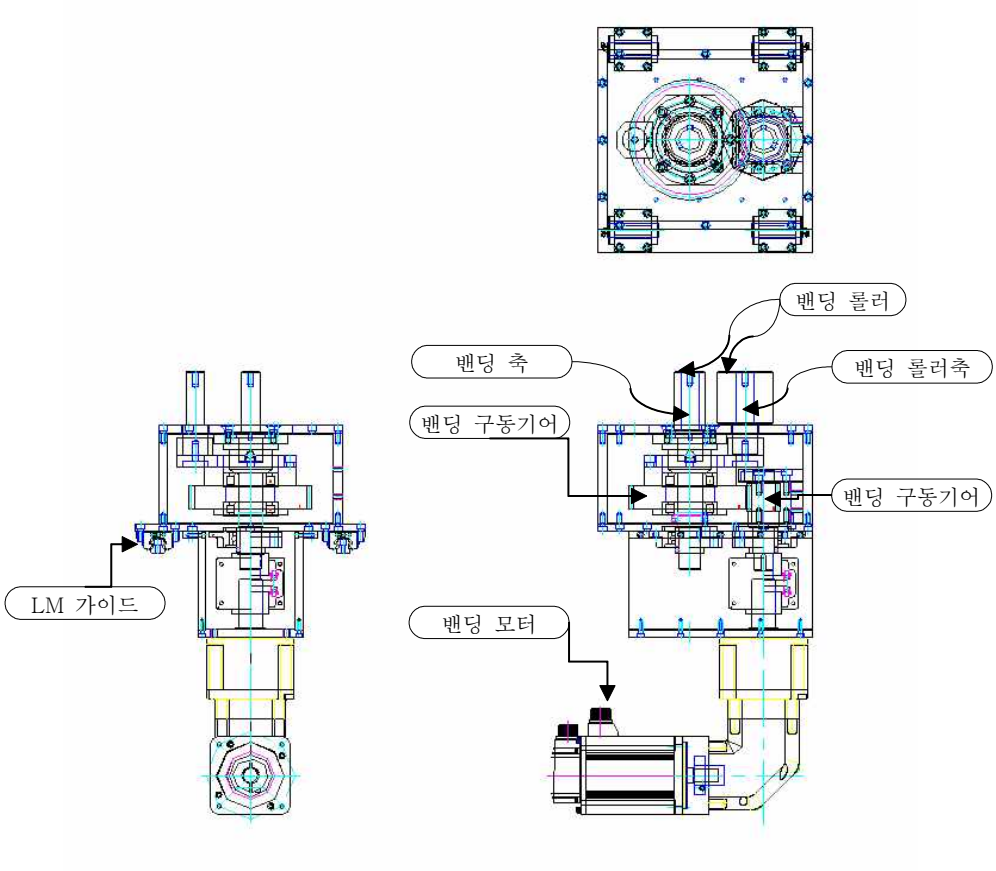
2) 밴딩모듈

o 밴딩모듈은 A(B) 밴딩장치, 밴딩 방향 변환장치, X(Y) 밴딩 모듈이송장치, 철근 로딩장치, 철근 정렬장치로 구성된다.



< 밴딩 모듈 (우측) >

- 밴딩 장치 : 밴딩장치는 밴딩 구동기어, 밴딩 기어, 밴딩 축, 밴딩 롤러 축으로 구성된다. 기어박스 형태이며, 형상은 다음 그림과 같다.



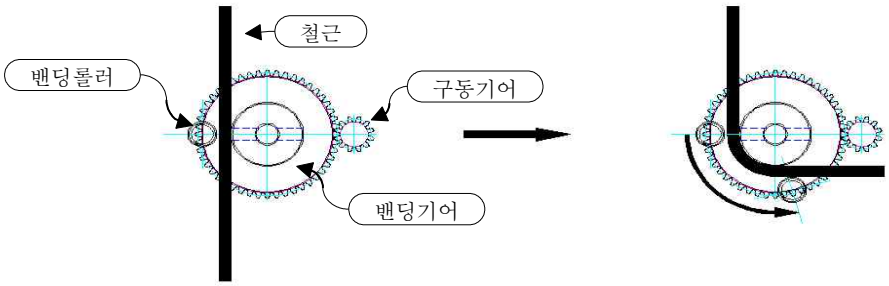
< 밴딩 모듈 >

o 밴딩 장치는 좌우 대칭구조로 제작되며, 유저가 바라보는 정면기준으로 A축(좌측),B축(우측)으로 구분된다.

o 밴딩축을 하늘 방향을 바라보고 있으며, 밴딩은 수평으로 이루어진다. 이처럼 수평 밴딩 방식일 때 방향변환에 문제가 발생된다. 해결방법으로는 모듈을 수직 상하강 시키며 방향변환하는 것과 철근을 상하강 시키며 방향변환하는 방법이 있으며 상대적으로 철근이 가벼움으로 후자를 선택한다. 자세한 설명은 밴딩 방향 전환 장치에서 기술한다.

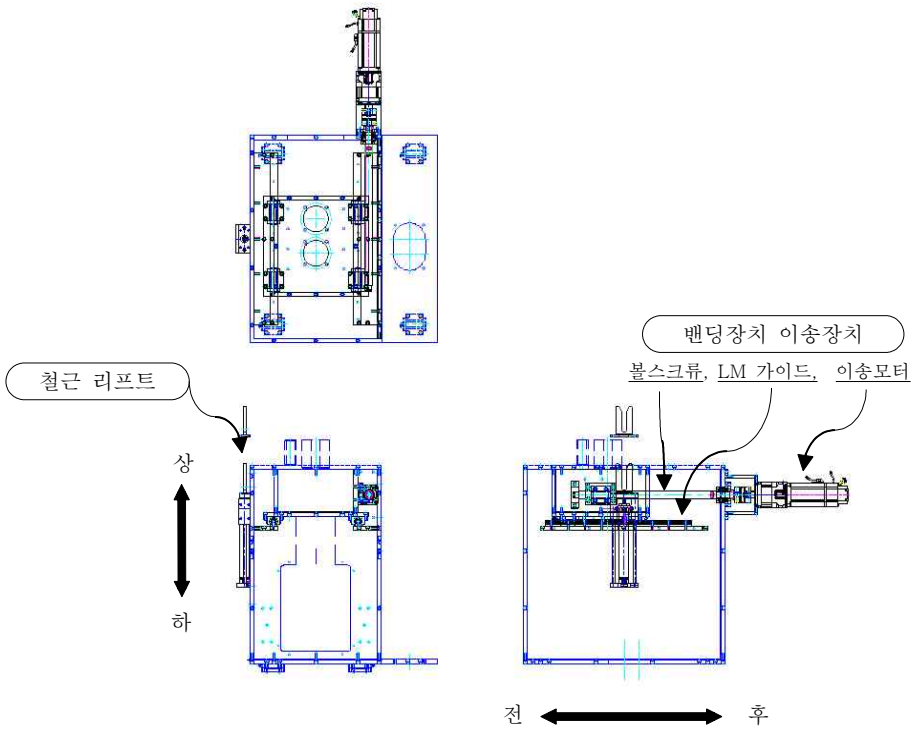
o 밴딩기어는 구동기어와 밴딩기어로 나누어지며, 구동기어는 모터의 동력을 밴딩기어로 전달한다. 밴딩기어는 밴딩축에 베어링을 통해 장착이 되고, 밴딩롤러 축이 결합된다. 밴딩축은 고정축이며, 밴딩롤러 축은 밴딩기어의 회전에 의해 같이 회전하여 밴딩이 이루어진다.

o 철근 밴딩 형상은 아래 그림과 같다.



< 철근 절곡 형상 예상 >

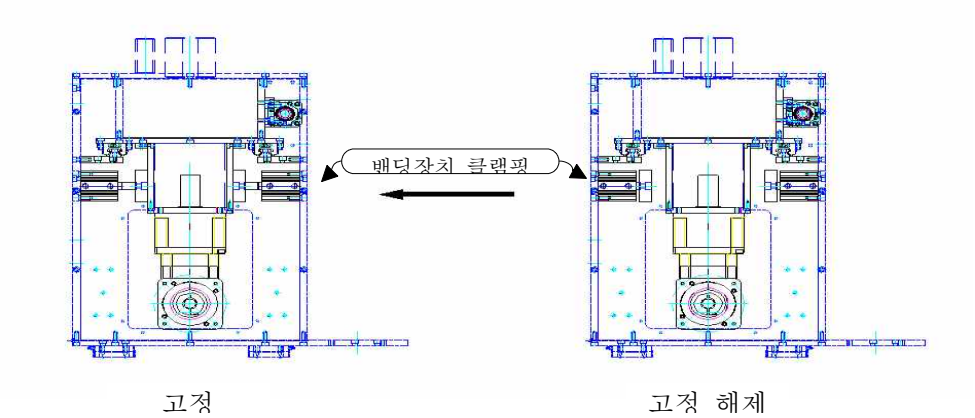
- 밴딩 방향 변환 장치 : 밴딩 방향 변환 장치는 밴딩 장치의 방향변환을 위해 필요한 장치로써 철근 리프트와 밴딩장치 이송장치로 구성된다. 형상은 아래 그림과 같다.



< 밴딩 방형 변환 장치 >

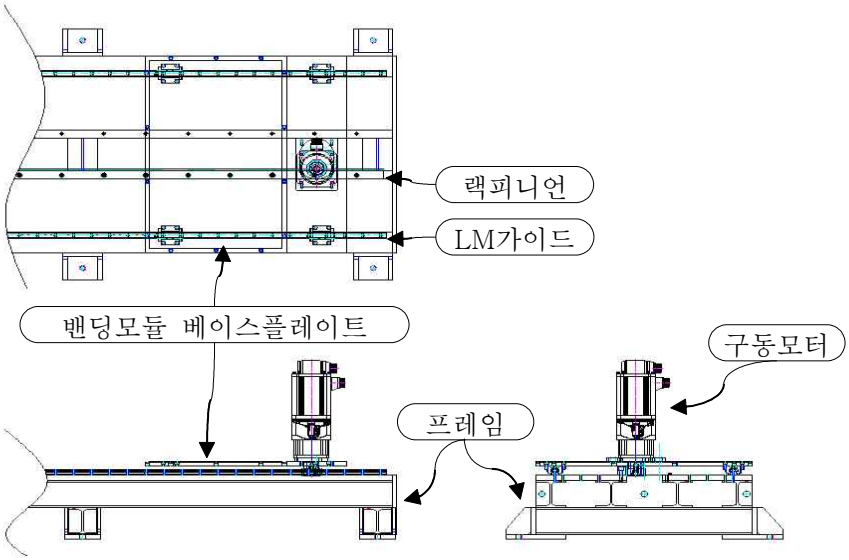
o 밴딩 방향 변환시 철근 리프트 장치로 철근을 상승 시켜 밴딩장치의 밴딩 롤러에 간섭을 피하며, 밴딩장치 이송장치를 사용하여 밴딩장치의 위치를 변화 시킨다. 밴딩장치 이송장치의 구성은 볼스크류, LM가이드, 이송모터로 구성된다.

o 또한 밴딩장치의 위치변화에 따른 클램핑장치가 존재 하며, 밴딩시 밴딩장치의 밀림 현상을 방지한다. 형상은 다음 그림과 같다.



< 밴딩장치 클램핑 >

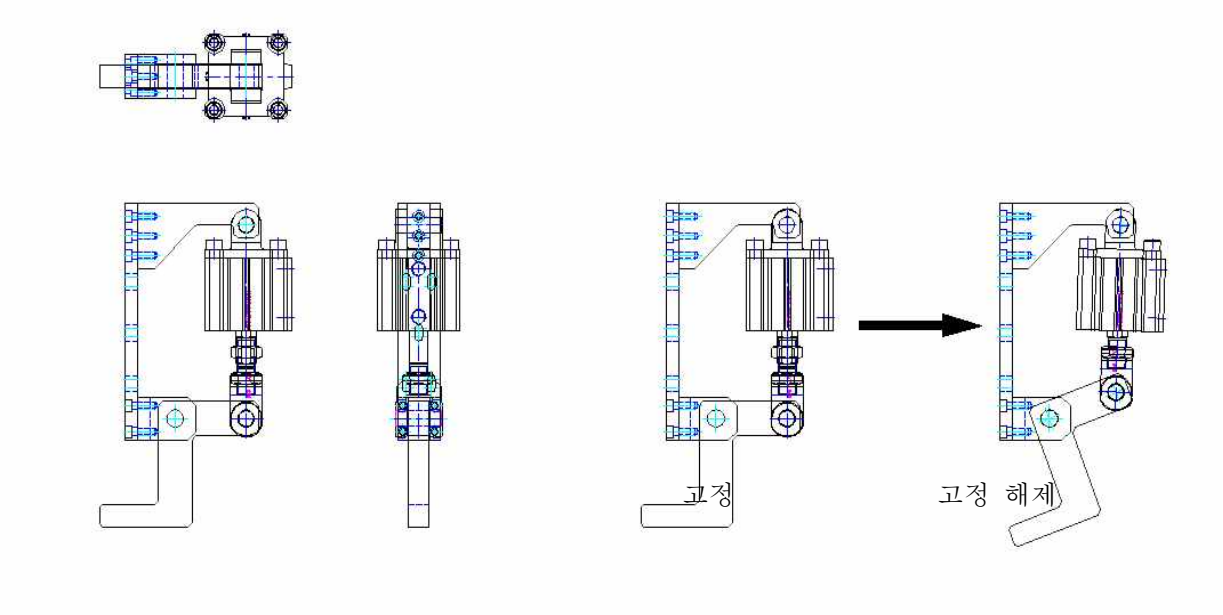
- 밴딩모듈 이송장치 : 밴딩모듈 이송장치는 랙피니언기어, LM가이드 및 구동모터로 이루어진다. 랙기어와 LM가이드는 철근 밴딩기의 프레임에 설치가 되며, 피니언기어 및 구동모터는 밴딩모듈의 베이스 플레이트에 체결된다. 형상은 아래 그림과 같다.

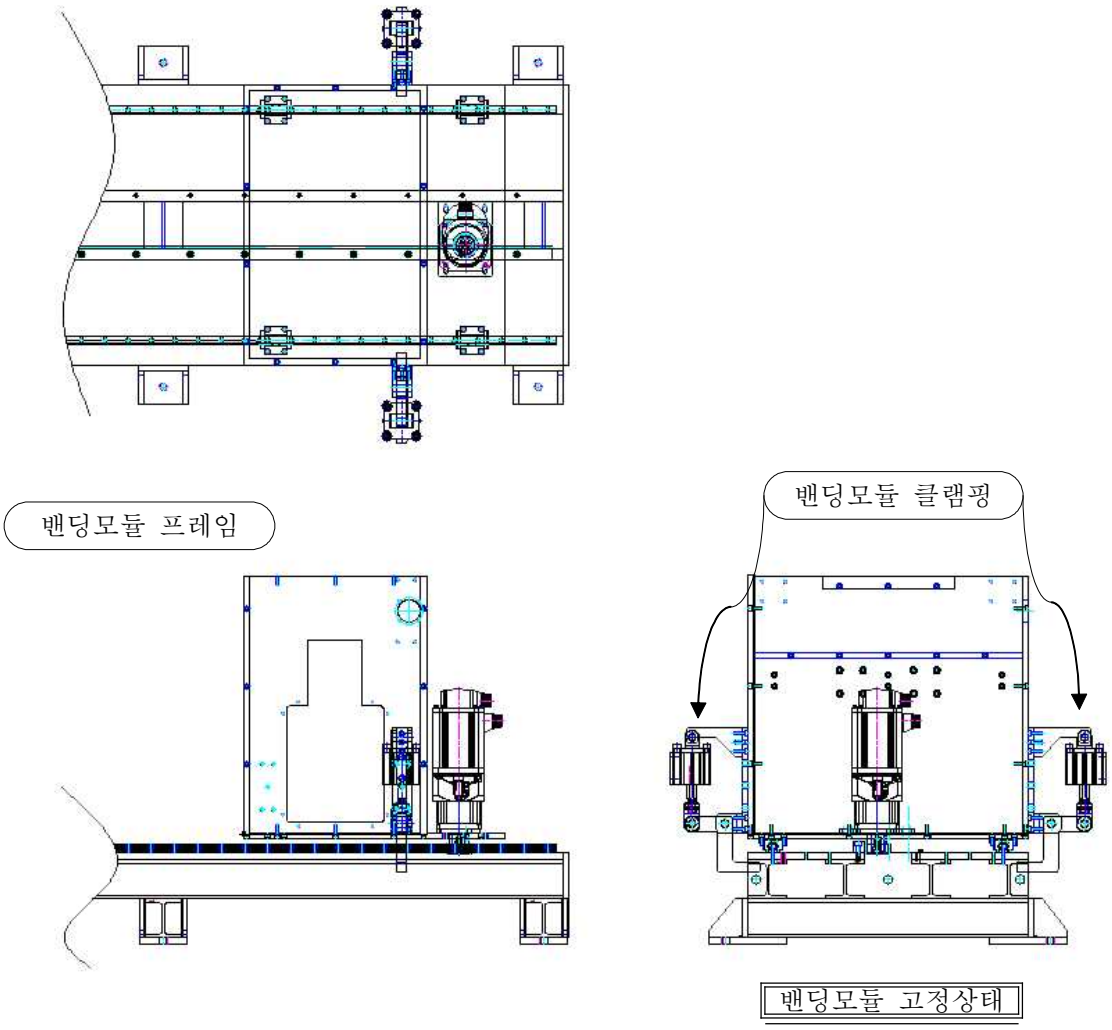


< 밴딩모듈 이송장치(우측) >

o 구동모터의 동력이 피니언기어를 통해 랙기어로 전달이 되며, LM 가이드를 따라 밴딩모듈 베이스 플레이트가 직선 운동을 하게 된다.

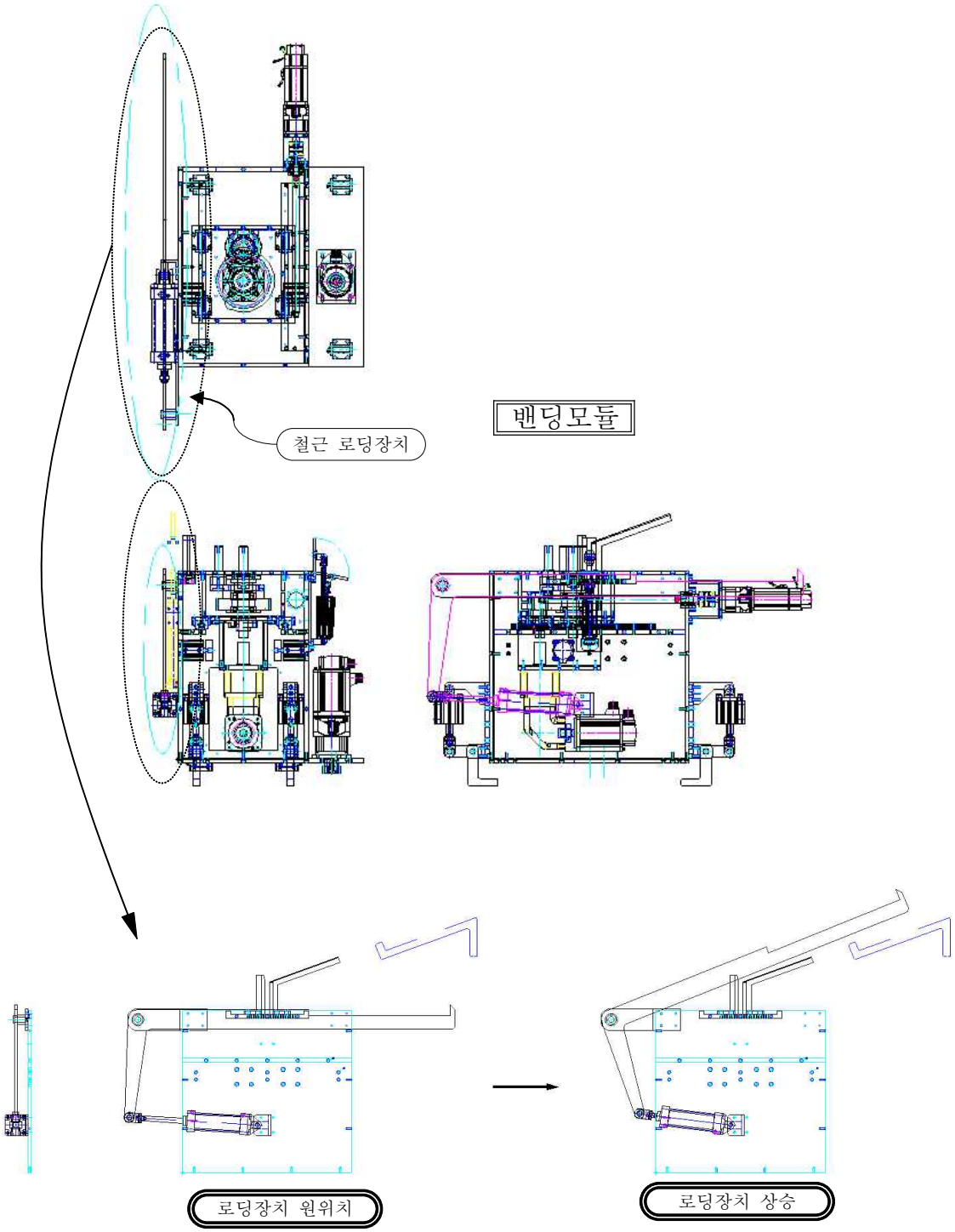
o 또한 밴딩시 밴딩모듈도 고정 되어야 하므로 밴딩모듈 클램핑 장치를 장착하여 최종 위치 이동시 고정된다. 형상은 다음 그림과 같다.





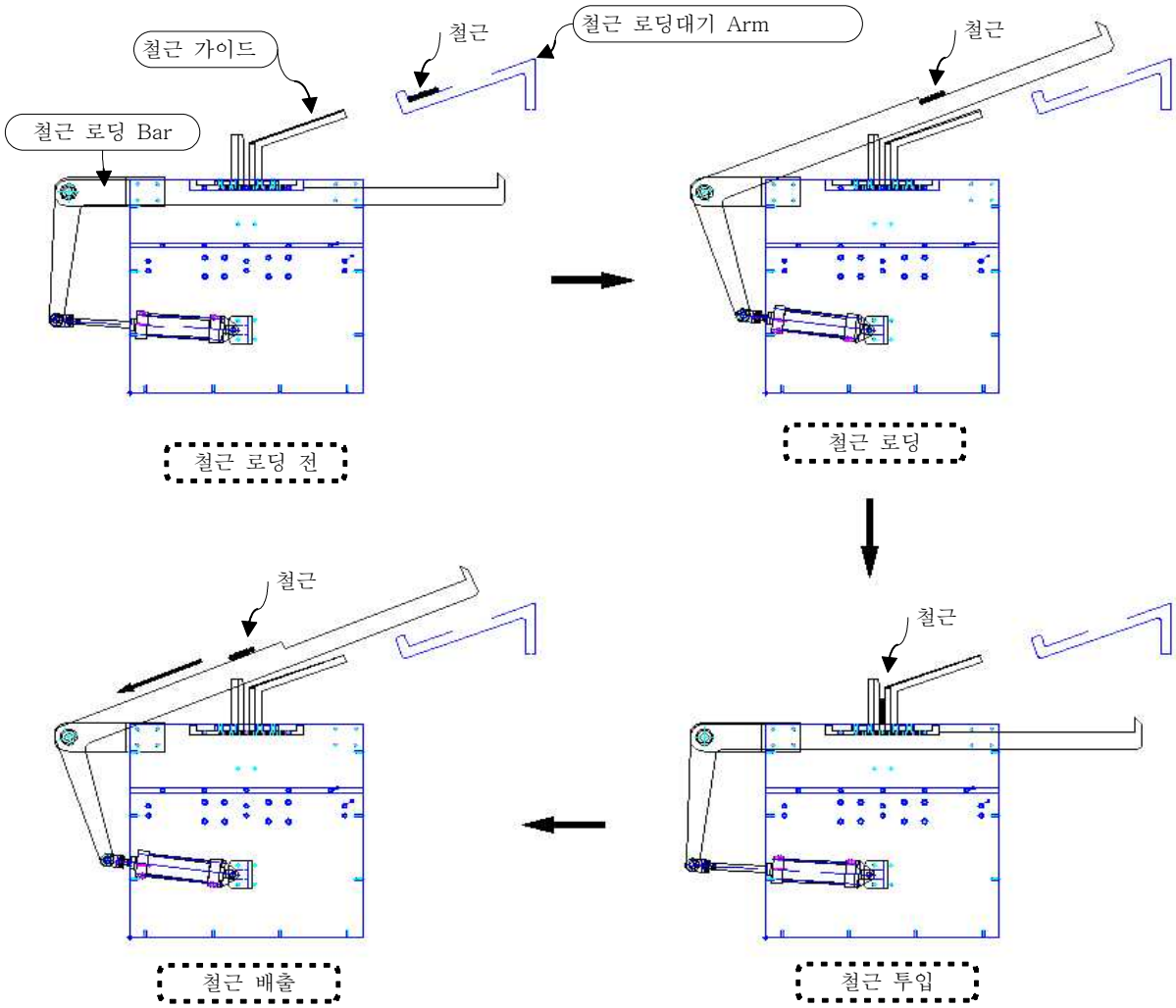
<밴딩 모듈 클램칭 장치-1 >

- 철근 로딩장치 : 철근 로딩장치는 철근 철단 및 이송부의 철근 로딩대기 Arm에 위치한 철근을 밴딩기로 투입하는 장치로써 밴딩모듈 안쪽면(유저 기준)에 위치한 장치이며, 형태와 작동 방식을 아래의 그림들과 같다.



< 철근 로딩 장치 >

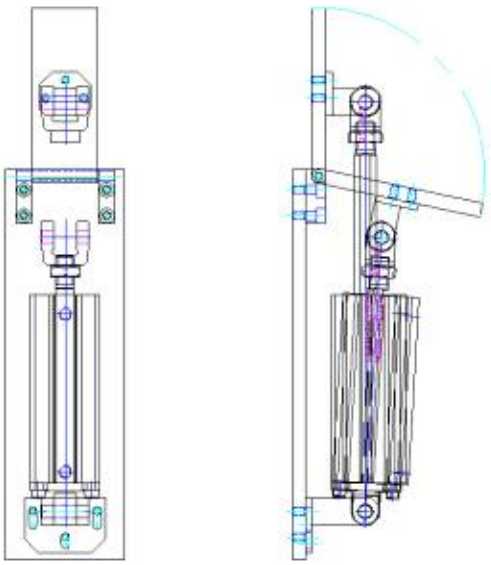
o 철근 철근의 로딩 방식은 단순 링크구조로 철근 로딩 Bar의 위치변화에 따른 철근의 위치가 바뀐다. 아래 그림으로 순서를 확인한다.



< 철근 로딩 순서 >

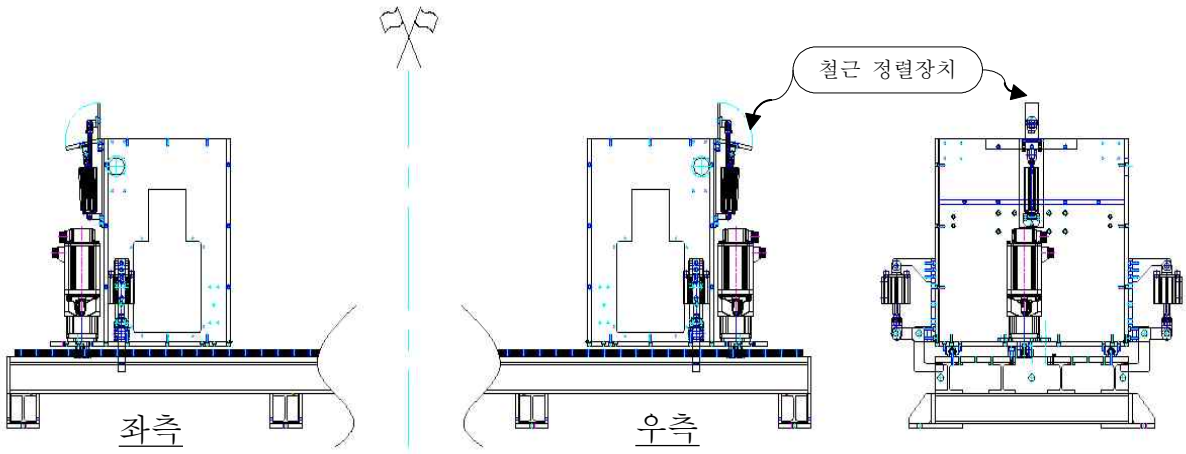
o 메인 철근 로딩 장치는 중앙 클램핑 장치에 있으며, 밴딩 패턴에 따라 긴 기장의 철근을 로딩시 처짐 발생이 우려되어 양쪽 밴딩모듈에 장착하여 원활한 철근 투입을 꾀하였다.

- 철근 정렬장치 : 철근 정렬장치는 철근이 밴딩기로 투입과정에서 철근의 흐트러짐이 발생되므로 밴딩 시작 전 가지런히 정렬하는 장치이다. 형상은 아래 그림과 같다.



< 철근 정렬 장치 >

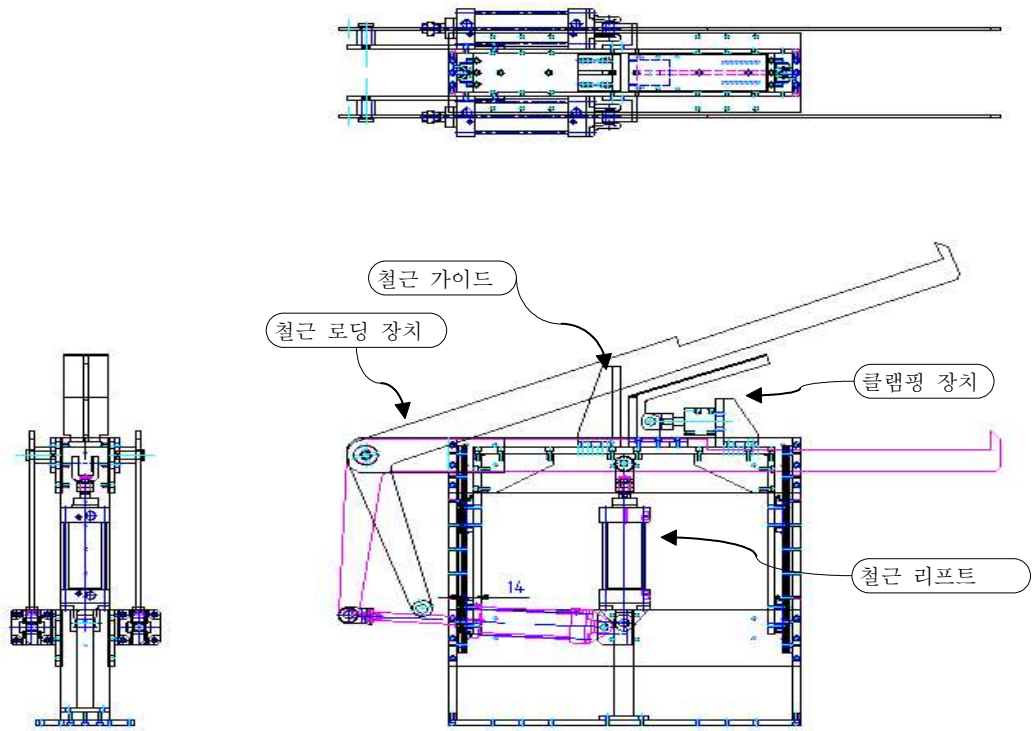
o 장착위치는 밴딩기 양쪽 바깥면(유저 기준)에 장착이 되다.



< 철근 정렬기 장착 위치 >

3) 중앙 클램핑 장치

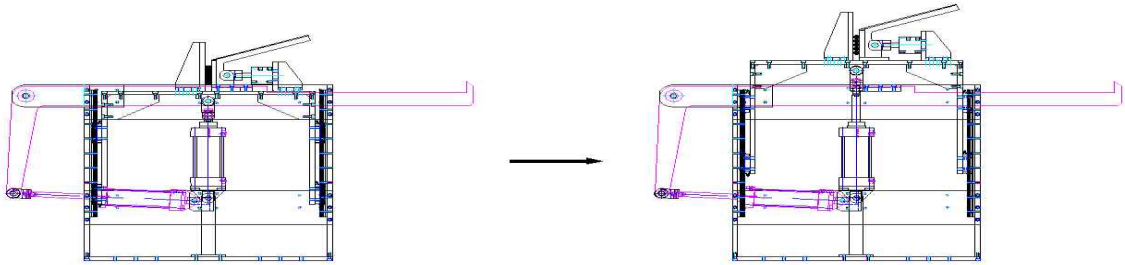
o 중앙 클램칭 장치는 클램핑(유압 실린더)장치, 철근 로딩 장치로 구성된다. 주 역할을 밴딩시 철근을 고정시키는 것과 밴딩 방향 전환시 철근 상승 그리고 철근 로딩이다. 형상은 아래 그림과 같다.



< 중앙 클램핑 장치 >

o 클램핑 장치는 밴딩시 철근이 임의의 밴딩모듈 방향으로 움직일 수 있으므로, 높은 파지력을 위해 유압을 사용한다. 공압의 경우 최대 0.99Mpa을 사용할 수 있으며, 같은 힘을 얻기 위해서는 실린더의 크기가 매우 커지므로 합당하지 않다.

- 철근 리프트 : 철근 상승 장치는 앞서 설명된 밴딩 방향변환 장치의 철근 리트프와 같은 역할을 수행한다. 밴딩 방향변환을 위해 철근과 밴딩장치의 밴딩롤러와 간섭을 피하기 위해 밴딩장치의 중량에 비해 상대적으로 가벼운 철근을 들어 올림으로써 밴딩 방향변환을 자유로이 할 수 있다.



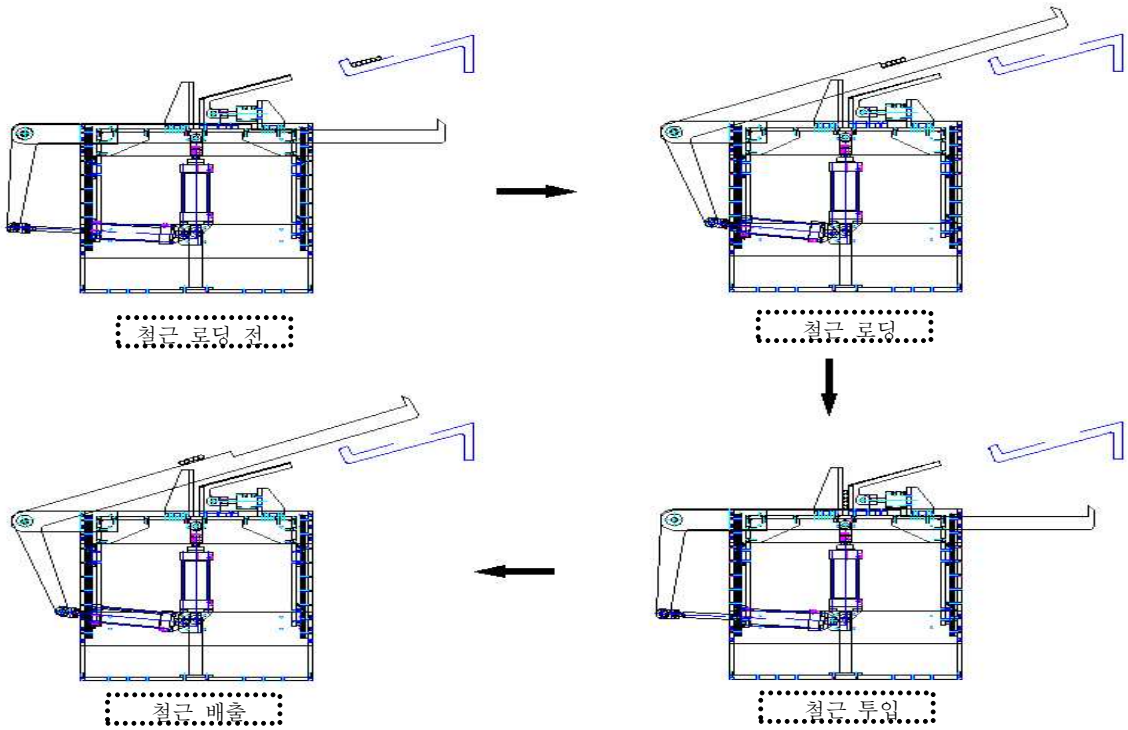
(평상 & 밴딩) (밴딩 방향 변환)

< 중앙 클램핑장치 -철근 리프트 방식 >

- 철근 로딩 장치 : 중앙 클램프 장치의 철근 로딩은 앞서 설명된 밴딩 모듈의 로딩장치와 동일한 구조이며, 동일한 역할을 수행한다.

또한 중앙 클램프 장치의 철근 로딩과 밴딩모듈의 철근 로딩이 같이 동작 되므로 철근의 처짐으로 인해 오작동을 미연에 방지한다.

작동 방식은 다음 그림으로 설명한다.

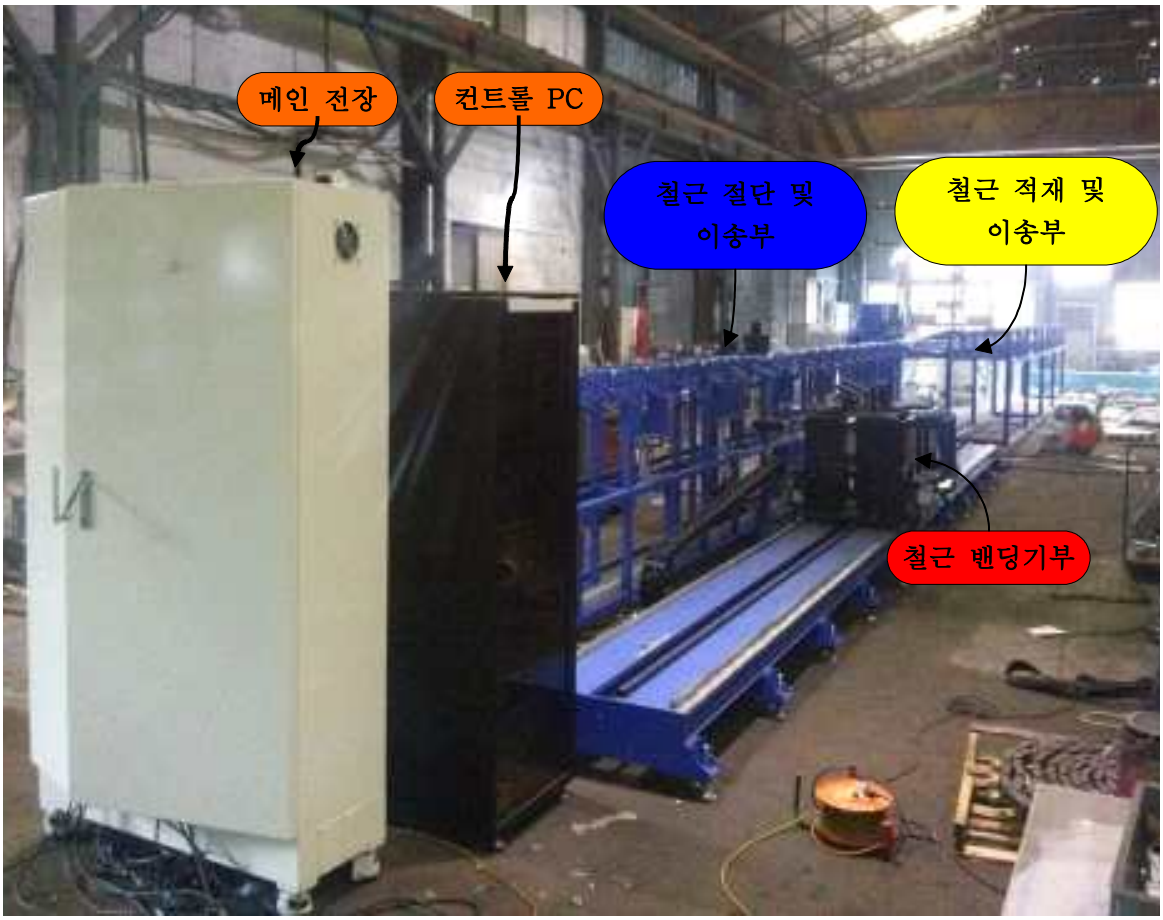


< 중앙 클램핑 장치의 철근 로딩 >

다. 절단 및 절곡 하이브리드 시스템 제작

(1) 전체 시스템구성

o 철근 가공 시스템은 철근 적재 및 이송부, 철근 전단 및 이송부, 철근 밴딩기부로 구성된다.



< 철근 가공 시스템 전체 사진 >

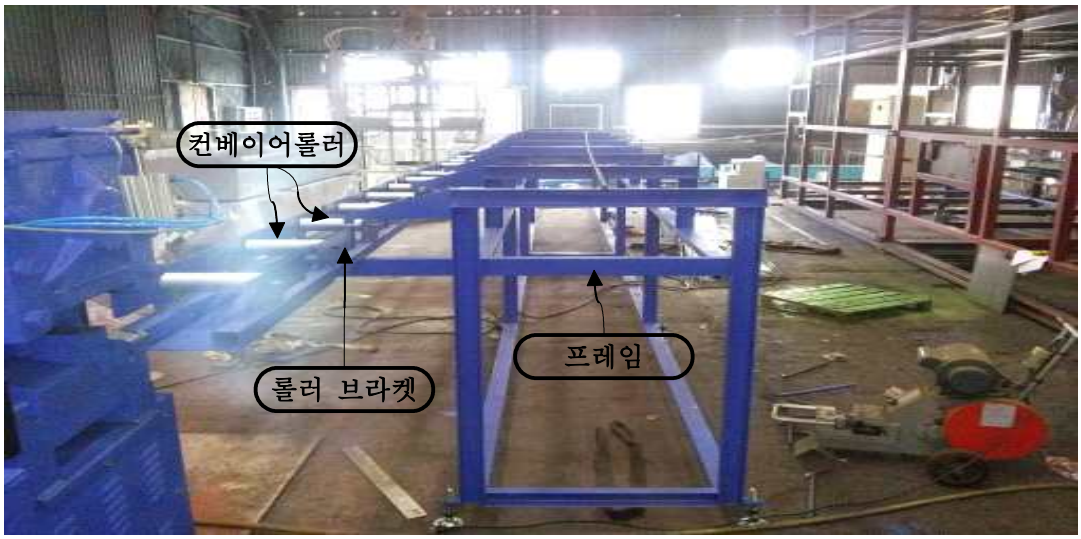
o 철근 가공 시스템은 약 1300*2000*24500 (단위mm)이며, 가공 및 장비 위치 이동의 편의성을 위해 양단 분리식으로 제작하였고 각개 구분 시스템별로 대칭구조이다.

o 또한 대부분의 결선을 커넥터형식으로 처리하여 장비 위치변경시 보다 쉽게 분해 및 재조립이 가능하도록 시스템을 구상하였다.

(2) 시스템 세부 내용

(가) 철근 적재 및 이송부

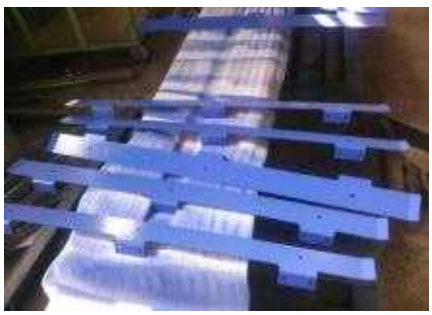
o 철근 적재 및 이송부는 좌우대칭으로 제작이 된다. 구성품은 프레임, 컨베이어롤러 (파워몰러-19ea 15w, 아이들롤러-23ea), 컨베이어 브라켓이다.



< 철근 적재 및 이송부 >



< 프레임 >



< 컨베이어롤러 브라켓 >



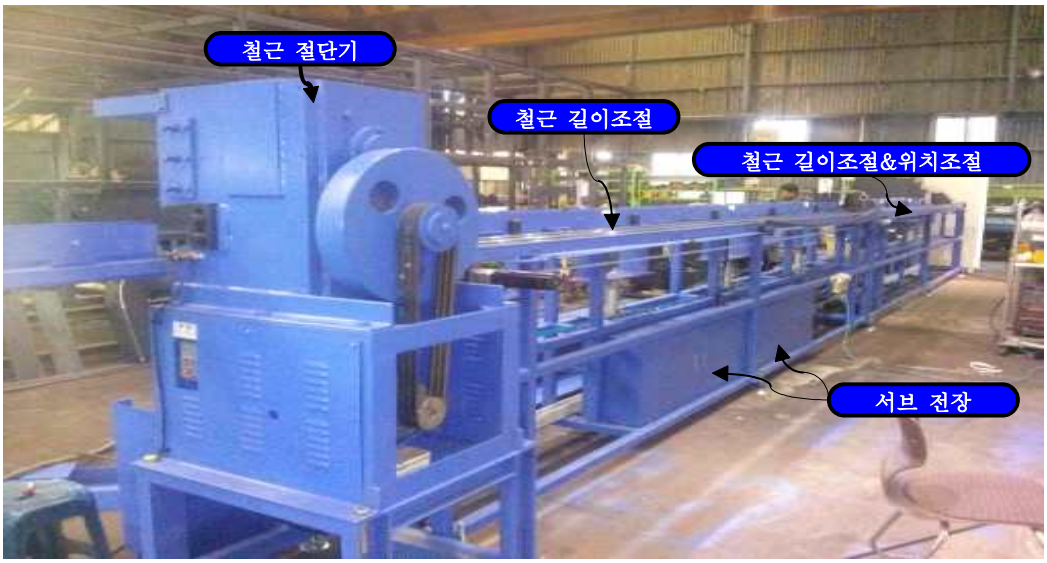
< 컨베이어롤러-아이들 >



< 컨베이어롤러-파워몰러 >

(나) 철근 절단 및 이송부

o 철근 절단 및 이송부는 500x1300x11000 (단위mm) 크기로 제작되며, 양단 분리로 중심에서 이등분된다. 구성은 철근 절단기, 철근 길이조절부, 철근 길이조절 & 위치조절부로 이뤄진다. 철근 길이조절부와 철근 길이조절 & 위치조절부는 같은 형식으로 제작된다. 철근 절단기의 모터 용량은 3.7Kw 이며, D16 철근 5개이하 절단 가능하다.



< 철근 절단 및 이송부 후면 >



< 길이조절 스토퍼 >



< 길이조절 스토퍼 하부 >



< 길이조절 스토퍼 구동모터 >



< 철근 로딩 대기 Arm >

(다) 철근 밴딩기부

o 철근 밴딩기부는 프레임, 밴딩모듈, 중앙 클램핑으로 구성되며, 좌우대칭구조로 제작된다.



< 철근 밴딩기 >

- 프레임 : 철근 밴딩기의 프레임은 고하중을 견뎌야함으로 H빔으로 제작 되었으며, 밴딩 모듈의 위치이동시 직진성을 갖추기 LM 가이드를 사용한다. 그리고 20t(두께) 철판을 상부면에 용접하여 강성을 높였으며, LM가이드 및 랙기어의 체결위치를 프레나 가공을 하여 기준면이 존재해 쉽게 조립할 수 있다.

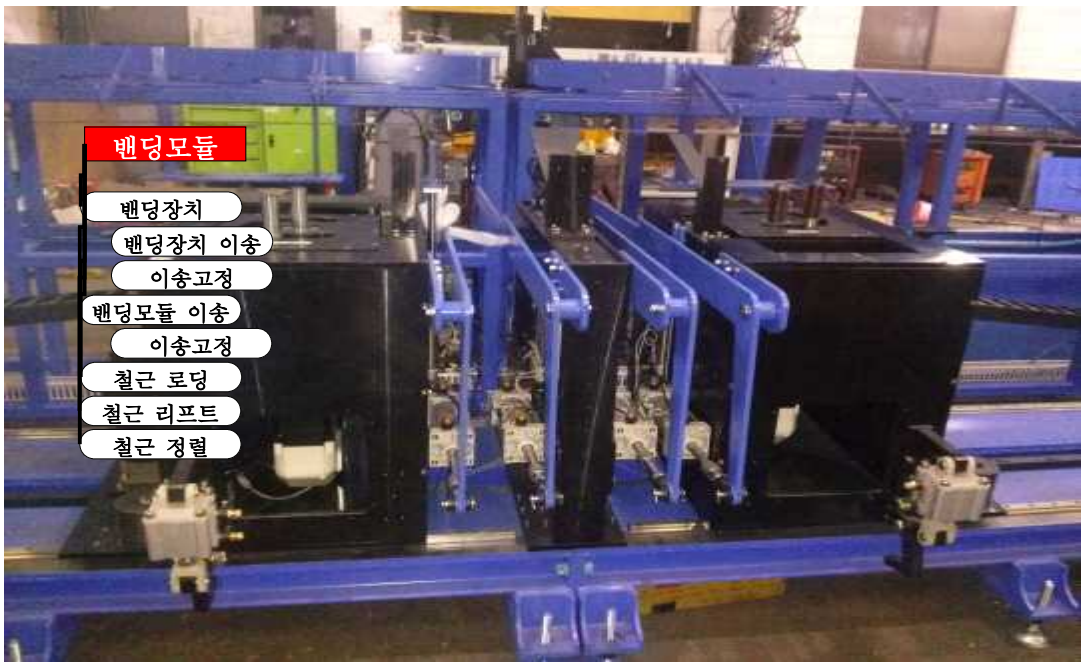


< 프레임 랙기어 조립 >



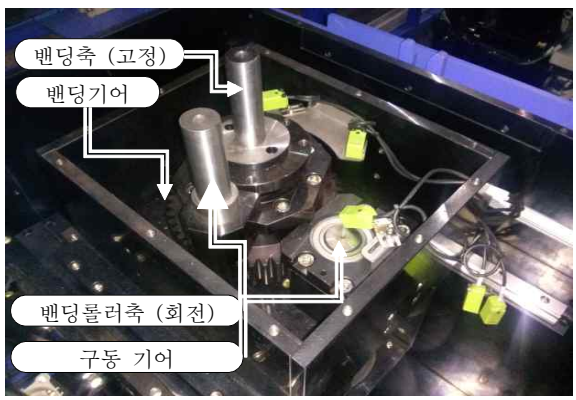
< 프레임 LM가이드 >

- 밴딩 모듈 : 밴딩 모듈은 크게 밴딩장치, 밴딩모듈 이송, 철근 로딩, 철근 리프트, 철근 정렬로 구분된다.

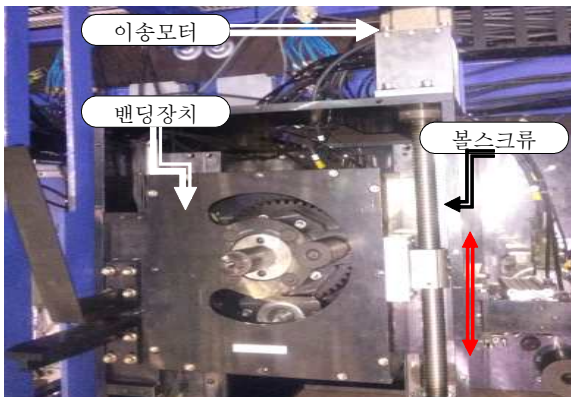


< 밴딩 모듈 >

o 밴딩장치 및 이송장치 & 고정장치 : 밴딩장치는 서보모터(2.2kw), 구동기어(M4), 밴딩기어(M4)로 구성된다. 1/25로 감속된 모터의 동력을 커플링을 통해 구동기어로 전달되며, 밴딩기어로 전달되는 과정에서 1/4 감속이 이루어진다. 그러므로 구동모터에서 밴딩롤러로 총 1/100 감속이 된다.



< 밴딩장치 구조 >



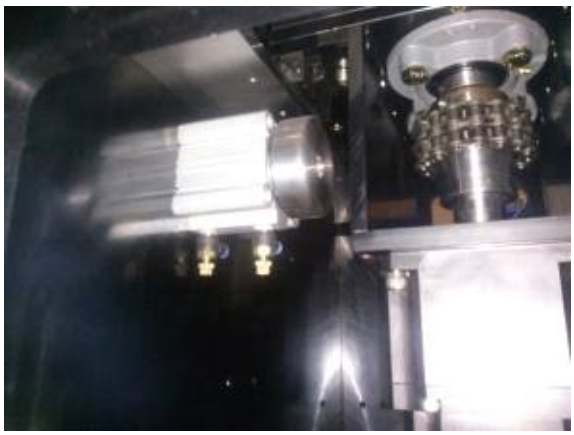
< 이송장치 구조 >

o 위 그림 <이송장치 구조>에서 보듯이 밴딩 방향변경을 위한 밴딩장치 이송은 서보모터(800w 브레이크타입), 볼스크류를 이용한 장치이다. 이송모터로 임의의 위치이동 완료 후 브레이크를 잡음으로써 1차 클램핑이 이루어진다. 또한 회전운동을 직선운동으로 변환하는 장치는 전조나사, 볼스크류가 있다. 이중 전조나사는 볼스크류에 비해 정도가 낮

고 너트와는 면접촉을 한다. 볼스크류는 볼스크류 너트와는 점접촉(구름점촉)을 하기 때문에 전조나사에 비해 볼스크류가 받는 부하가 적어 후자인 볼스크류를 채택한다.



< 밴딩장치 고정 유닛 top view>

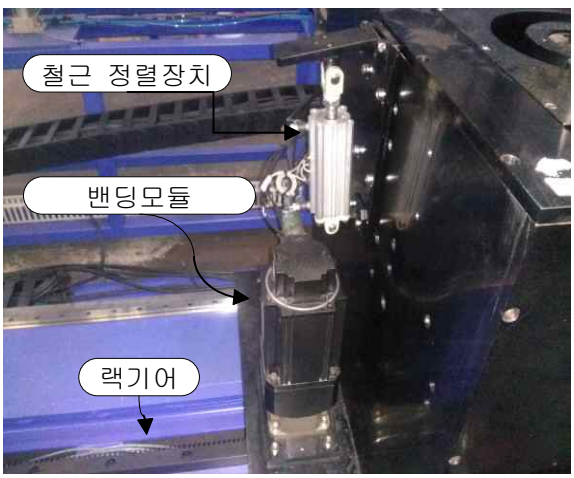


< 밴딩장치 고정 유닛 Front view >

o 밴딩장치 고정 유닛은 에어실린더를 사용하여 밴딩장치에 채결된 모터브라켓 양쪽 측면을 파지하여, 밴딩장치를 고정하는 2차 클램핑 장치이다. 철근 밴딩시 밴딩장치의 위치변화에 따른 밴딩 형상 및 밴딩 각도의 정확도가 떨어지므로 위와 같이 설치한다.
밴딩모듈 이송 및 고정장치 : 밴딩모듈 이송장치는 서보모터(2.2Kw), 랙피니언기어로 이루어진 장치이다.



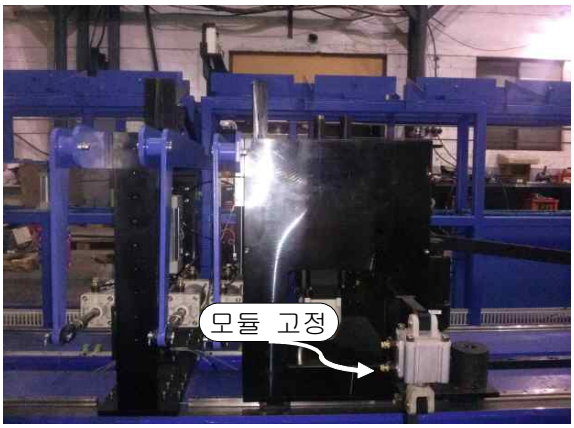
< 랙기어 >



< 밴딩모듈 이송 >

o 서보모터는 밴딩모듈 베이스 플레이트에 장착이 되며 랙기어는 프레임, 모터 축에는 피니언기어가 결합되어 회전운동을 직선운동으로 변환하여 밴딩모듈을 임의의 값(밴딩 포인트)로 이송하게 된다.
o 밴딩시 밴딩모듈의 위치변화가 생기면 밴딩 패턴의 형상과 달라질 수 있으므로 밴딩

장치 이송 고정장치와 같은 이유로 인해 고정장치를 설치하여 밴딩모듈 이송후 클램핑 한다. 에어 실린더를 사용하였으며 전면과 후면에 각각 설치하여 밴딩 방향에 따른 밴딩모듈의 움직임을 최소화 또는 없애는 것이 목적이다.

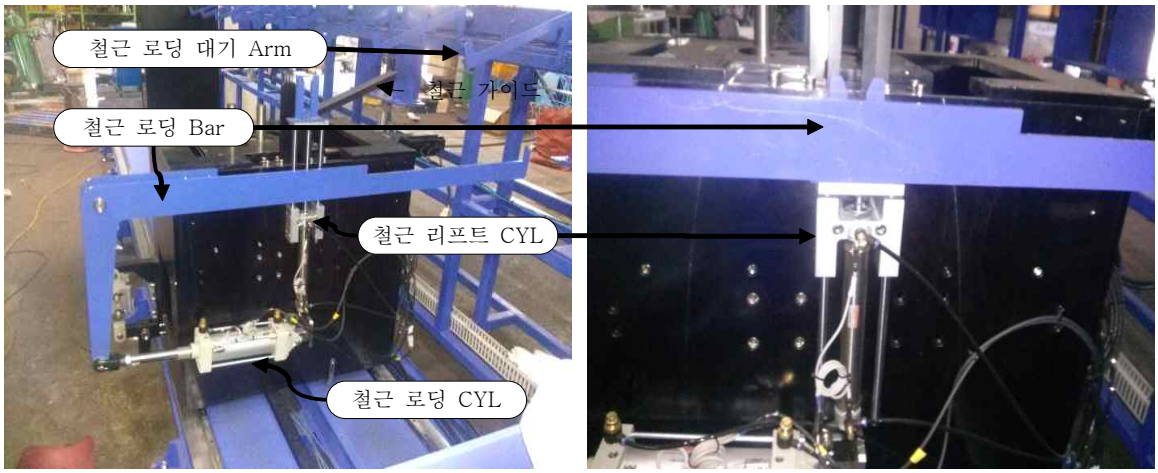


< 밴딩모듈 고정 Front view >



< 밴딩모듈 고정 Rear view >

- 철근 로딩 및 철근 리프트 : 철근 로딩 장치는 철근 절단 및 이송부의 철근 로딩 대기 Arm에 위치한 철근을 밴딩기부로 이송시키는 장치이다. 에어 실린더와 철근 로딩 Bar로 구성된 단순 링크 구조로 제작한다.



< 철근 로딩 및 철근 리프트 >

o 철근 로딩 실린더(CYL)가 로드기준으로 - 방향(실린더 로드 들어감) 동작될 때 철근 로딩 Bar는 반 시계방향(좌측 사진 기준)으로 약 20°회전하게 되면서 철근 로딩 대기 Arm에 위치한 철근을 로디 Bar로 이동한다. 그리고 로딩 실린더가 + 방향으로 동작 되면 로딩바는 시계 방향으로 회전하여 원위치 한다. 이때 철근은 철근 가이드를 통해 밴딩장치로 투입되게 된다.

o 철근 리프트는 밴딩장치의 밴딩방향 변경시 철근의 간섭을 피하도록 제작한다. 전자의 경우 밴딩장치의 무게가 상대적으로 철근에 비해 고중량이므로 후자를 선택한다. 에어실린더 로드 부위에 U 형태의 철근 가이드 블록을 장착하여 철근을 상승 시킴으로써 간섭을 피하는 구조이다.

- 철근 정렬장치 : 철근 정렬장치는 철근이 밴딩기로 로딩 및 투입시 철근이 흐트러질 수 있다. 그러므로 밴딩모듈 양끝부위에 정렬장치를 설치하여 철근을 가지런히 정렬한다.- 동작은 실린더 로드 + 방향(수직상승)으로 동작하면 링크된 정렬 블록이 밴딩장치 기준 직각을 이루게 된다. 이후 밴딩모듈을 움직여 철근을 정렬한다.



< 철근 정렬장치 장착 위치 >

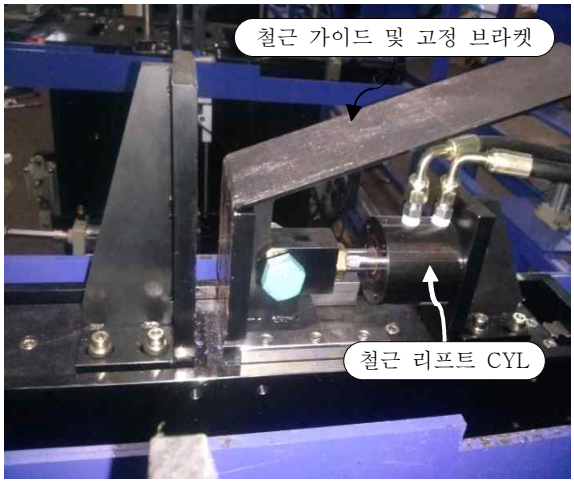


< 철근 정렬장치 (우측) >

- 중앙 클램핑 장치 : 중앙 클램핑 장치는 철근을 클램핑, 로딩, 리프팅 하는 역할을 하며, 주 목적은 클램핑이다. 철근을 로딩, 정렬 완료후 철근 고정하여 밴딩시 철근이 밴딩롤러 쪽으로 딸려가는 현상과 밴딩으로 인한 무게중심 변화로 회전되는 것을 방지 한다.



< 중앙 클램핑 장치 >



< 철근 클램핑 >

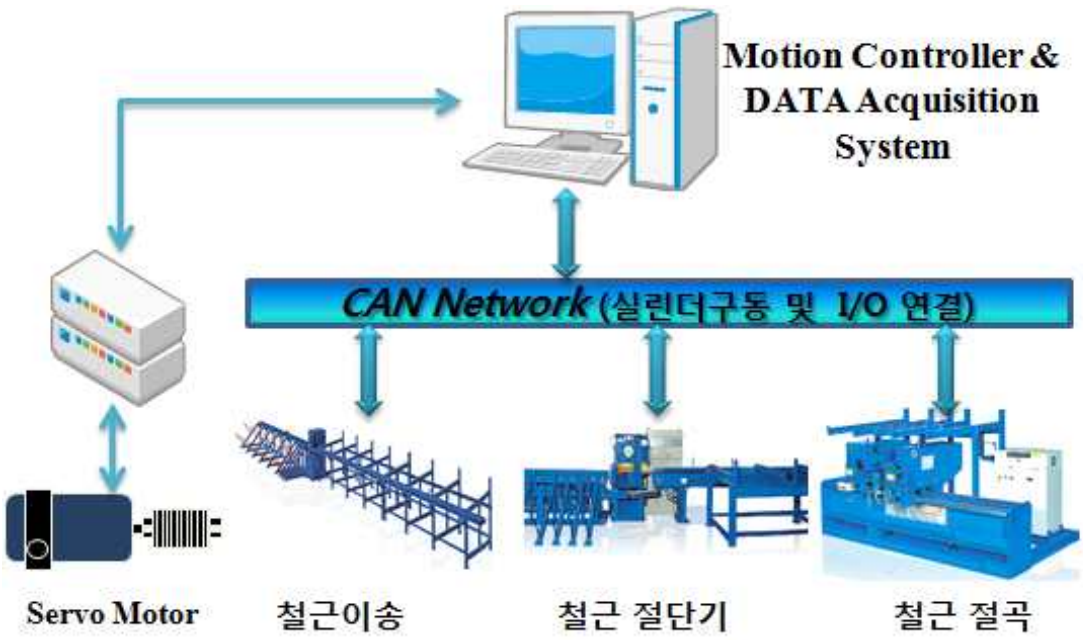
o 철근 가공 시스템의 클램핑을 제외한 엑추에이터는 에어 실린더를 사용해도 무방하지만 클램핑의 경우 강한 파지력이 필요 하므로 유압 실린더를 사용한다. 에어 실린더의 경우 최대 0.99Mpa (bar,9.9Kgf/cm^2)을 사용가능하며, 통상 0.4Mpa (4Kgf/cm^2)을 사용한다. 유압을 경우 12.7Mpa(127Kgf/cm^2)을 사용 할 수 있어 에어 실린더에 비해 적은 체적에 큰 힘을 얻을 수 있고 에어 실린더를 유압 실린더와 같은 힘을 얻기 위해 큰 체적이 필요함으로 크기가 너무 커지므로 부적합하다.

라. 절단 및 절곡 하이브리드 시스템 제어기 개발

(1) 수치제어적용을 위한 기능별 모듈 개발

(가) 제어시스템

o 제어시스템은 산업용 PC, 컨트롤러, CAN Network, 서보모터, 서보드라이브로 구성된다. 시스템 제어를 위해 절곡부와 철근 이송 정렬부는 서보모터를 이용하여 구동하며 벤딩기의 벤딩모듈 이송축인 X,Y축 이송을 위해 서보2축을 사용하였고 절곡을 위한 A,B축의 회전도 서보 모터를 이용하여 정밀한 제어를 할 수 있게 했다. A,B축 이송은 절곡방향이 달라질 때 전방과 후방으로 위치조절만하면 되지만 철근의 굵기에 따라 이송위치가 달라지므로 이역시 서보를 사용하여 제어를 하여 자동절곡이 가능하게 하였다. 철근이송부에서는 절곡기 쪽으로 이송시켜 줄 때 철근 길이에 따라 정렬위치가 달라지므로 U,V축도 서보모터로 제어를 하였다. 수치제어를 위해 산업용 PC에서 얻은 이송정보를 제어기로 보내고 제어기에서는 각축의 드라이버로 제어신호를 보내 원하는 위치로 이송이 가능하게 한다. 다음은 제어시스템의 전체 구성을 나타낸다.



< 제어시스템 구성 >

o 아래그림은 절곡 테스트 베드용 제어시스템과 전기장치를 나타낸다.



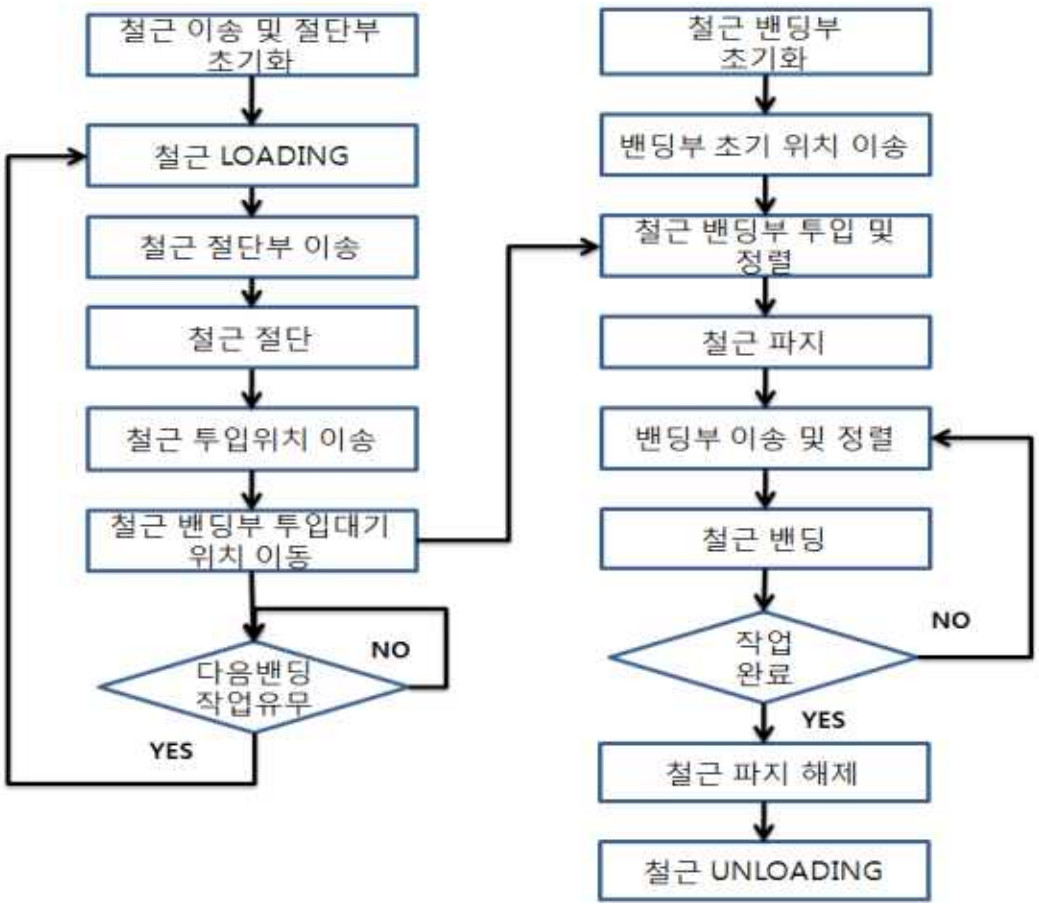
<산업용 PC를 이용한 제어시스템>



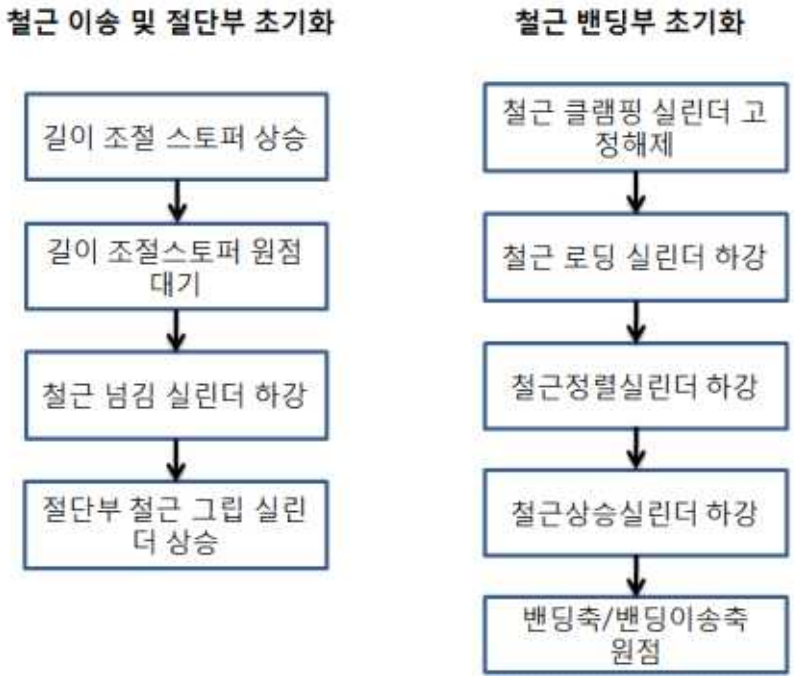
<모터 드라이브외 전기장치>

(나) 수치제어

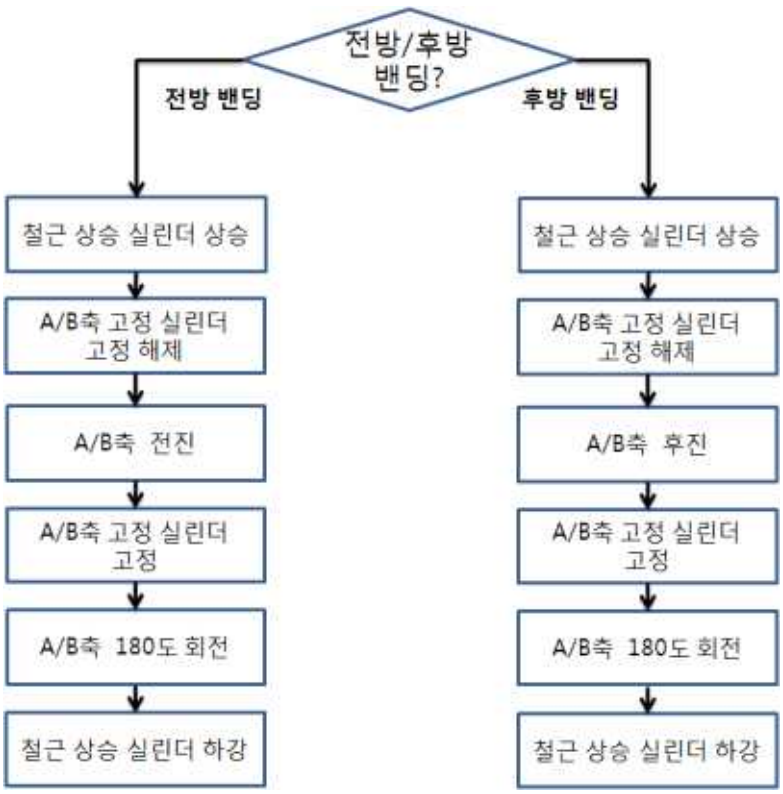
o 다음은 절단 이송 및 밴딩 작업 시퀀스를 나타낸다.



o 다음은 위 밴딩 시퀀스 중 철근 이송 및 절단부 초기화와 밴딩부 초기화 시퀀스를 나타낸다.



o 다음은 위 밴딩 시퀀스 중 밴딩부 밴딩 시퀀스를 나타낸다.



(다) 서보 시스템

o 다음 그림은 본 과제에서 사용한 모션 제어 보드를 나타낸다.



< 모션 보드 >

▷ Number of controllable axes: 8 axes.

▷ Pulse rate setting range : 0.1 PPS ~ 6.55 MPPS

▷ Velocity profile : Linear, Trapezoidal, S-Curve velocity profile drive.

▷ Internal reference clock: 20 MHz

▷ Position pulse setting range: -134,217,728~ +134,217,728 pulses.

▷ Up / down counter counting range: 0~268,435,455 (28-bit) or －134,217,728 to +134,217,727

▷ Input/Output Signals for each axis

▷ All I/O signal are optically isolated with 2500Vrms isolation voltage

▷ Command pulse output pins: OUT and DIR.

▷ Incremental encoder signals input pins: EA and EB.

▷ Encoder index signal input pin: EZ.

▷ Mechanical limit/switch signal input pins: ±EL, SD/PCS and ORG.

▷ Servomotor interface I/O pins: SVON, RDY, INP, ALM and ERC.

▷ Position latch input pin: LTC

▷ Position compare output pin: CMP.

▷ Pulser signal input pin: PA and PB.

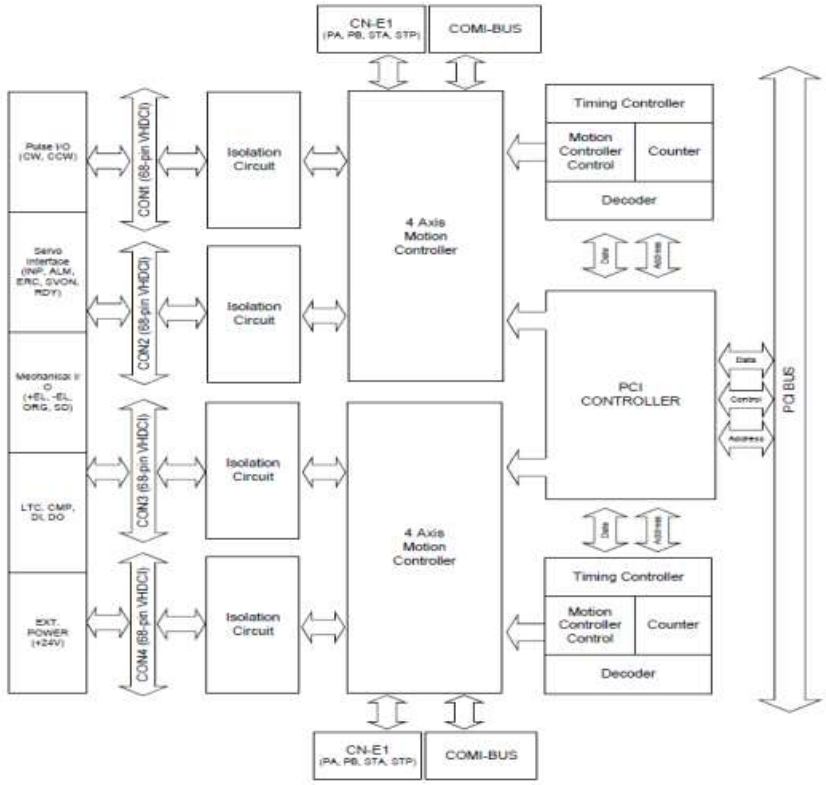
▷ Simultaneous Start/Stop signal I/O pins: STA and STP.

General-Purposed Digital In/Out

▷ 12 채널 Isolated Digital Input

▷ 12 채널 Open Collector Digital Output

o 다음은 모션 보드의 블록도를 나타낸다.



위 모션 보드에서 밴딩부 이송과 밴딩을 위한 회전 모터의 속도 프로파일은 사다리꼴 속도과 S-곡선 속도 프로파일을 사용한다. S-곡선 속도 프로파일은 3차, 5차, 7차 속도 프로파일이 존재한다.

1) 사다리꼴 속도 프로파일

o 속도 프로 파일이 사다리꼴 형상인 프로파일은 계산이 간단하여 저가의 제어기에도 구현이 가능하며 구동시간이 짧은 편이어서 널리 사용된다. 하지만 가감속 구간의 시작점과 끝점에서는 커다란 저크가 발생하므로 큰 다이내믹 에러가 발생할 수 있다. 따라서 PTP(Point To Point) 또는 CTC(Continuous Tracking Control) 구동에서는 이러한 불연속적인 저크의 생성을 막기 위해 계산량이 많더라도 보다 부드러운 프로파일(3차,5차,7차 프로파일)을 개발하여 사용한다.

2) 모션 프로파일 구현

o 고속 이송 시스템의 경우 제어의 샘플링 주파수가 높아지게 된다. 따라서 위치 제어를 위한 모션 프로파일을 계산하는 시간 또한 감소하게 된다. 실제 디지털 제어기에서 이러한 계산 시간을 줄이기 위해 표준화된 모션 프로파일 데이터를 위해 유한한 사이즈

를 가지는 해쉬 테이블에 저장하여 사용하게 된다. 갠트리 테이블의 구동 시간과 디지털 제어기의 시스템 샘플링 주파수가 결정된다면 제어에 필요한 샘플링 주파수 개수는 다음과 같이 계산될 수 있다.

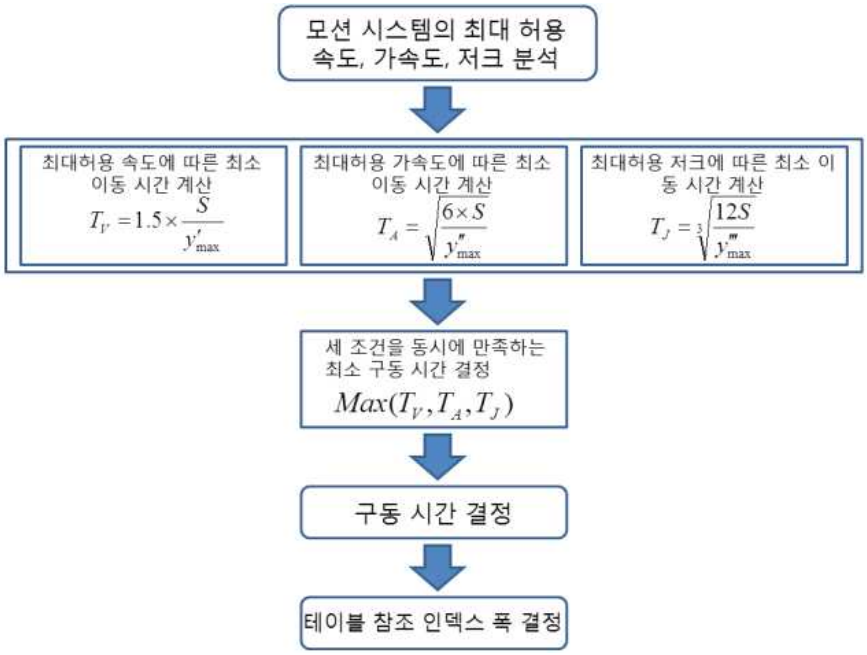
o 필요한 샘플링 주파수 개수 = 구동시간 x 시스템 샘플링 주파수
o 위와 같이 필요한 샘플링 주파수 개수가 결정되면 표준화된 모션프로파일 해쉬 테이블의 참조 인덱스 폭은 다음과 주어진다.
o 테이블 참조 인덱스 폭 = 테이블 사이즈/필요한 샘플링 주파수 개수
o 아래 그림은 구동시간이 결정되어 테이블 참조 인덱스 폭이 주어지면 각 샘플림 타임 때 마다 테이블 참조 포인터를 테이블 참조 인덱스 폭 만큼 이동시키면서 표준화된 위치 값을 얻는 방법을 나타내고 있다.



테이블 사이즈(N)=필요한 샘플링 주파수 개수 X 테이블 참조 인덱스 폭

< 그림 테이블 참조와 테이블 참조 포인터 이동>

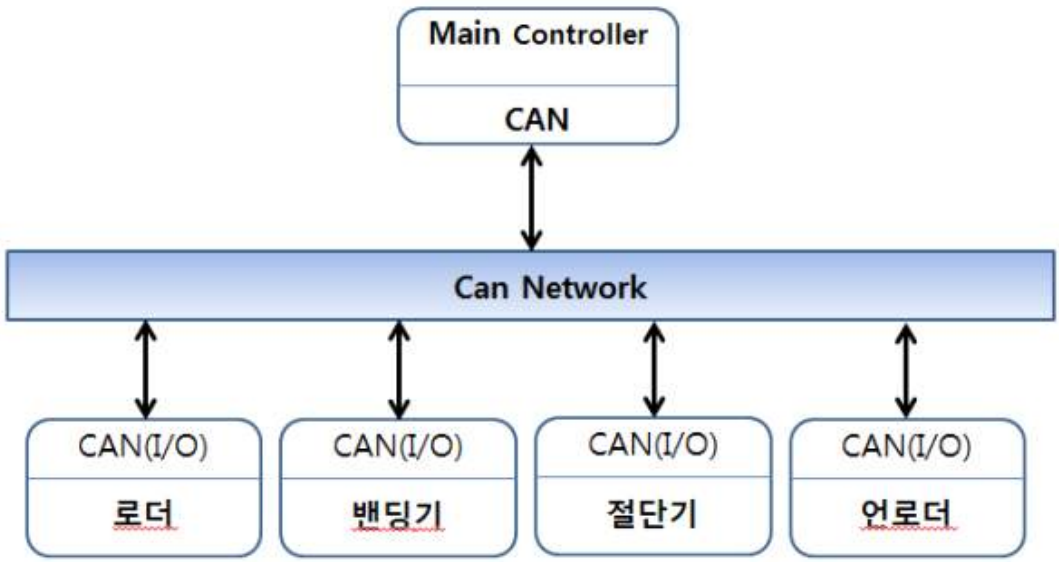
o 다음은 위에 설명한 것처럼 테이블 참조 인덱스 폭을 결정하기까지의 전과정을 도시하였다.



< 모션 프로파일의 최소 구동시간 결정>

(라) CAN Network

o 다음은 철근 가공 시스템에서 사용되는 CAN 네트웍 구조를 나타낸다.



o 철근 밴딩 시스템을 위와 같은 구조로 설계하면 다음과 같은 2가지 장점을 갖는다. 첫번째, 하나의 캔 네트웍을 통해 장비들이 연결되어 있는 구조로 물리적 환경이 간소해지는 장점이 있다. 두번째, 새로운 장비를 추가하여야 할 때, 캔 버스상에 연결만 시키면 바로 사용이 가능한 즉, 확장성이 용이한 장점을 갖는다.

o 다음은 철근 가공 시스템에서 사용된 캔 통신에 대한 설명을 나타낸다.

1) CAN Message Formats

o CAN 프로토콜 엔지는 CAN 버스상에서 메시지를 수신하고 송신하는 모든 기능들을 다룬다. 레지스터에 적절한 데이터 먼저 로드함으로써 메지지를 전송한다. CAN 버스상에서 검출된 메시지는 2개의 수신 레지스터 중 하나에 수신되고 저장될 수 있는 지 알아 보기 위해 에러 체크를 하고 필터를 통해 매칭된다.

Standard Data Frame

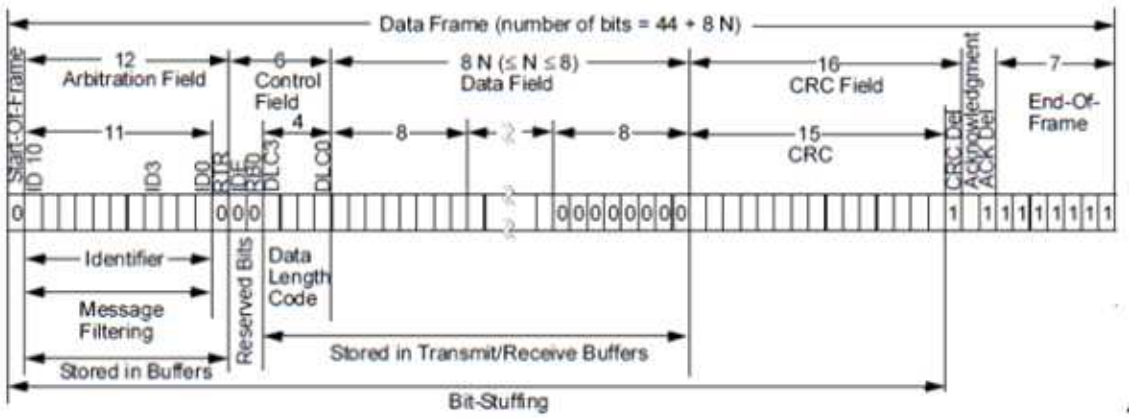
Extended Data Frame

Remote Frame

Error Frame

Interframe Space

2) Standard Data Frame



o 표준 데이터 프레임은 노드가 데이터를 전송하고자 할 때 노드에 의해 생성된다. 표준 CAN 데이터 프레임은 다음에 나타나 있다. 다른 모든 프레임과 같이, 모든 노드들의 동기화를 위해 프레임은 Start-Of-Frame(SOF-dominant state) 비트로 시작한다.

o SOF 다음에는 12-비트로 이루어진 중재(Arbitration) 필드가 온다. 12비트 arbitration 필드중 11비트는 식별자(identifier-메시지의 내용과 우선순위를 나타냄)이고 1비트는 RTR(Remote Transmission Request bit)비트이다.

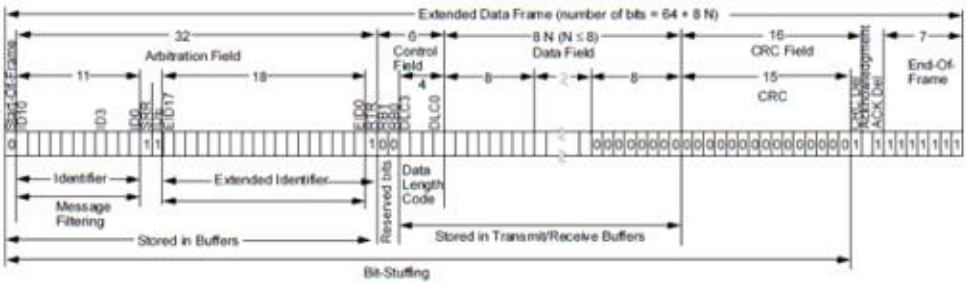
o RTR 비트는 원격 프레임과 데이터 프레임(RTR-dominant)을 구분하기 위해 사용된다.

o 중재(Arbitration) 필드의 다음 필드는 6비트로 구성된 제어필드이다. 이 필드 중 첫 번째 비트를 Identifier Extension(IDE 또는 RB1) 비트라 부르고 프레임이 표준 프레임이라는 것을 나타내기 위해 이 비트를 우성(dominant) 상태로 설정한다. 다음 비트인 RB0 비트는 예약되어 있다. 제어필드의 나머지 4비트는 Data Length Code(DLC)이고 이 비

트들은 메시지에 포함되어 있는 데이터의 바이트 수를 나타낸다. 제어 필드 다음 필드는 0~8바이트의 데이터 필드가 온다.

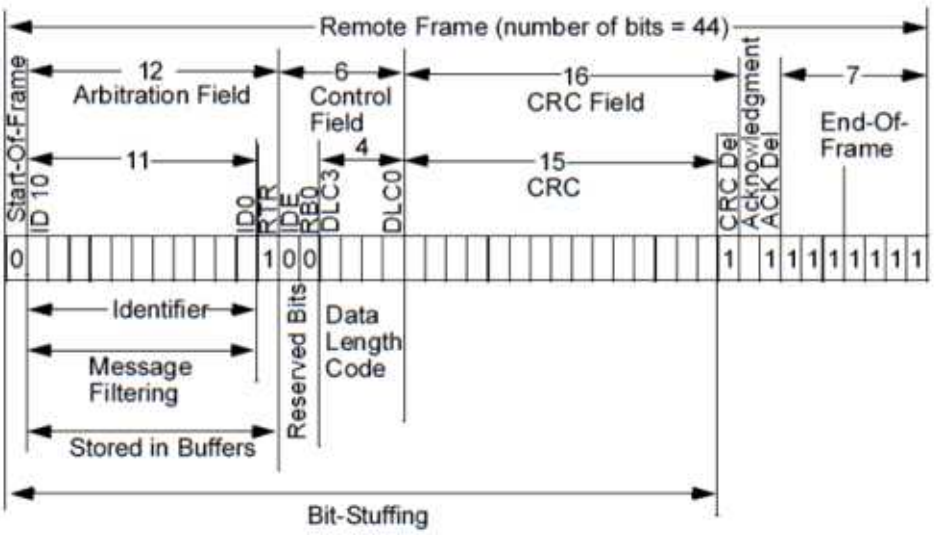
o 데이터 필드 다음은 Cyclic Redundancy Check(CRC) 필드이다. 이 필드는 전송 에러를 검출하기 위해 사용된다. CRC 필드는 15-비트의 CRC 시퀀스와 구분 문자(delimiter) 비트로 구성되어 있다. 메시지는 End-Of-Frame(EOF) 필드로 끝난다. 이 EOF 필드는 7개의 연속적인 열성(recessive) 비트로 구성된다.

3) Extended Data Frame



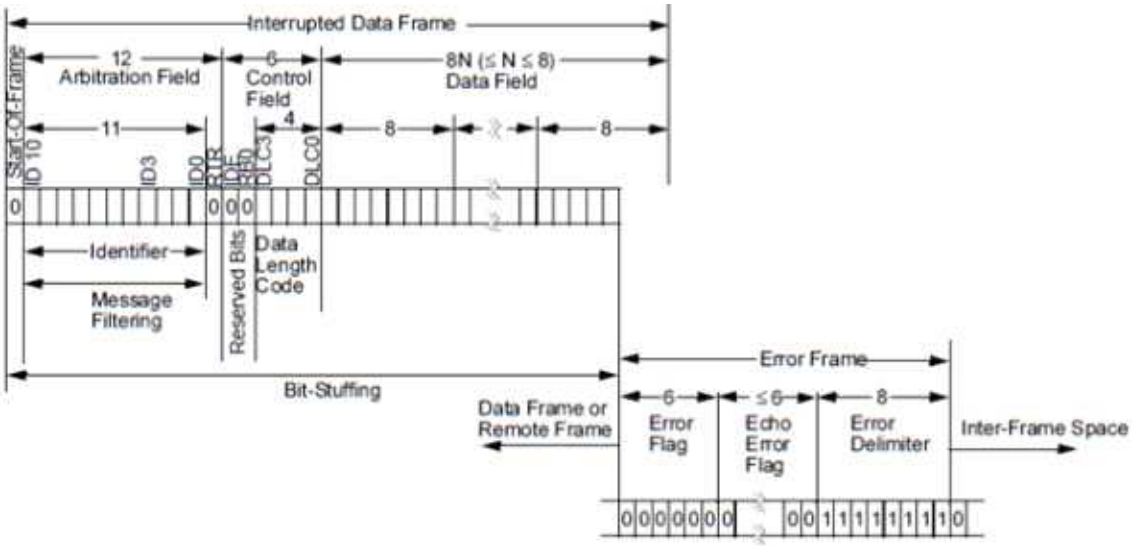
o 확장 CAN 데이터 프레임에서, Start-Of-Frame 비트(SOF) 다음에는 38비트로 구성된 Arbitration 필드가 따라온다. Arbitration 필드 중 첫 11비트들은 29비트 식별자(identifier)중 최상위 비트(Base-ID)이다. 이들 11비트 다음에는 Substitute Remote Request(SRR) 비트가 따라온다. 이 SRR 비트는 열성(recessive)으로써 전송된다. SRR 비트 다음에는 IDE 비트가 온다. 이 IDE 비트는 프레임이 확장 CAN 프레임이 라는 것을 알기 위한 열성 비트이다. 29비트 식별자(identifier)중 첫 11비트가 전송된 후 Arbitration이 결정되지 않은 채로 남아있는 상태(확장 식별자 전송을 완료하지 않은 상태)에서, arbitration에 포함된 노드 중 한 노드가 표준 CAN 프레임(11-bit identifier)을 전송하고 있다면, 표준 CAN 프레임은 우성(dominant) IDE 비트를 가지므로 중재에서 이길 것이다. 또한 표준 CAN 원격 프레임을 송신하고 있는 노드에 의해 우성 RTR 비트의 주장을 허락하기 위해 확장 CAN 프레임의 SRR 비트는 열성이 되어야 한다. SRR과 IDE 비트다음에는 18비트의 확장 식별자 비트와 1비트의 우성 원격 전송 요구(Remote Transmission Request)비트가 온다.

4) Remote Frame



o 데이터 전송은 보통 데이터 소스 노드를 가지고 자율적으로 수행된다(예-데이터 프레임을 전송하는 센서). 그러나 목적지 노드가 소스 노드에게 데이터를 요구하는 것이 가능하다. 이러한 목적을 위해 목적지 노드는 요구 데이터 프레임의 식별자와 일치하는 식별자를 가지고 "원격 프레임"을 전송한다. 그렇다면 데이터 소스 노드는 이 원격 요청의 응답으로 데이터 프레임을 전송하게 될 것이다.

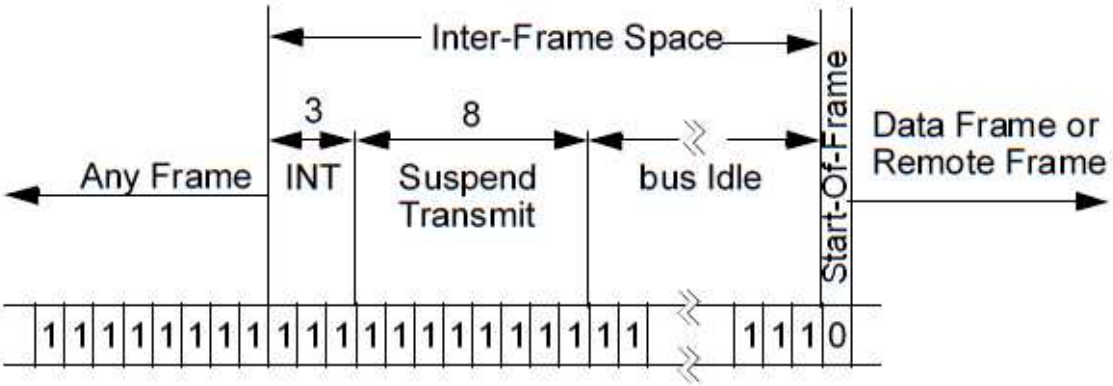
5) The Error Frame

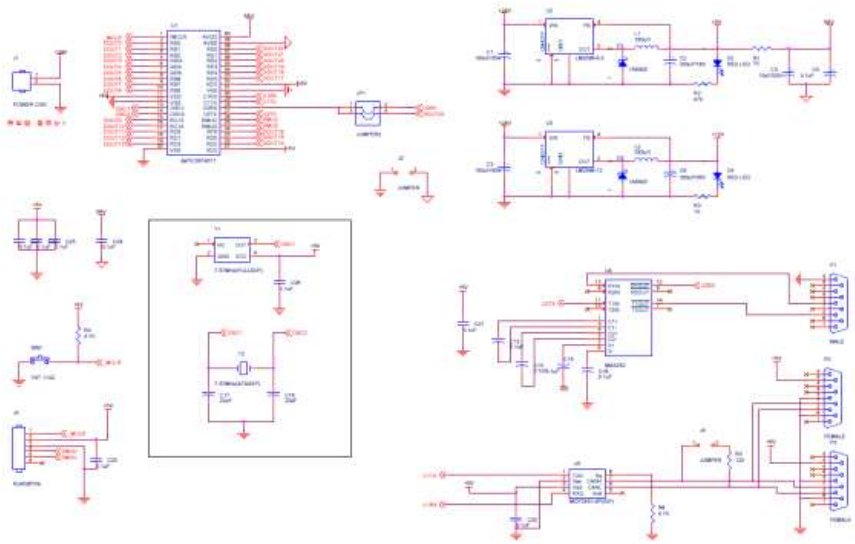


o 에러 프레임은 버스 에러를 검출한 모든 노드에서 생성된다. 위그림에서의 에러 프레임은 에러 플레그(Error Flag) 필드와 에러 구분(Error Delimiter) 필드인 2개의 필드로 구성된다. 에러 구분 필드는 8비트의 열성 비트로 구성되고 이 비트들은 버스 노드들이 에러 이후 버스 통신을 재개하도록 한다. 에러 플래그 필드에는 2가지 형태가 있다. 에러 플래그 필드의 형태는 에러를 검출하는 노드의 에러 상태에 따라 다르다.

o 에러 검출이 활성화된 노드가 버스 에러를 검출한다면 이 노드는 활성화된 에러 플래그를 생성하여 현재 메시지 전송을 가로 챈다(interrupt). 활성화된 에러 플래그는 6개의 연속적인 우성 비트들로 구성된다. 이 비트 열은 비트 스터프 룰(bit stuffing rule)을 어기게 된다. 다른 모든 노드들은 비트-스터핑 에러를 인지하고 Error Echo Flag로 불리는 에러 프레임을 차례대로 생성한다.

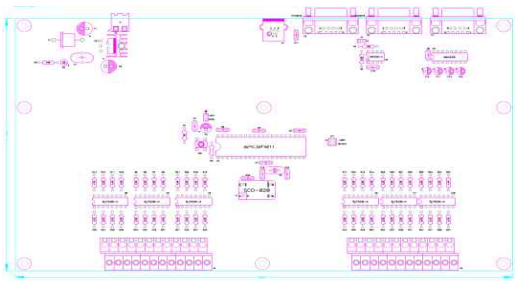
6) The Interframe Space


Inter-Frame Space
3
8
Any Frame
INT
Suspend Transmit
bus Idle
Start-Of-Frame
Data Frame or Remote Frame
1 1 1

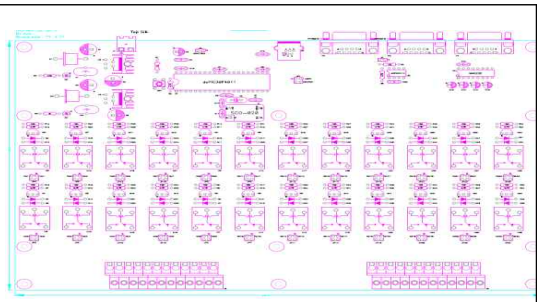


< 출력 캔 보드 회로도 >

o 다음은 개발된 입력 출력 캔보드의 아트웍 회로도를 보여준다.

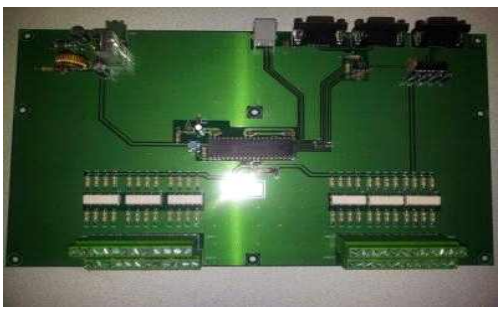


< 입력 캔 보드 아트웍 회로도 >



<출력 캔 보드 아트웍 회로도>

o 다음은 개발된 입력 출력 캔보드의 시제품이다.



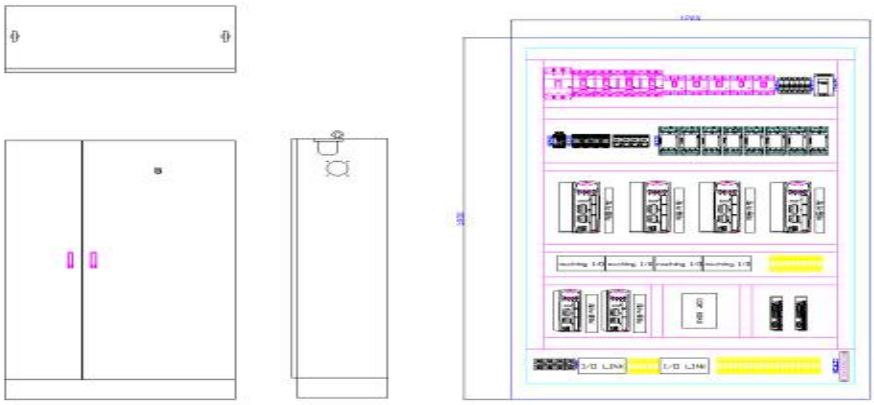
< 개발된 입력 캔 네트웍 보드 >



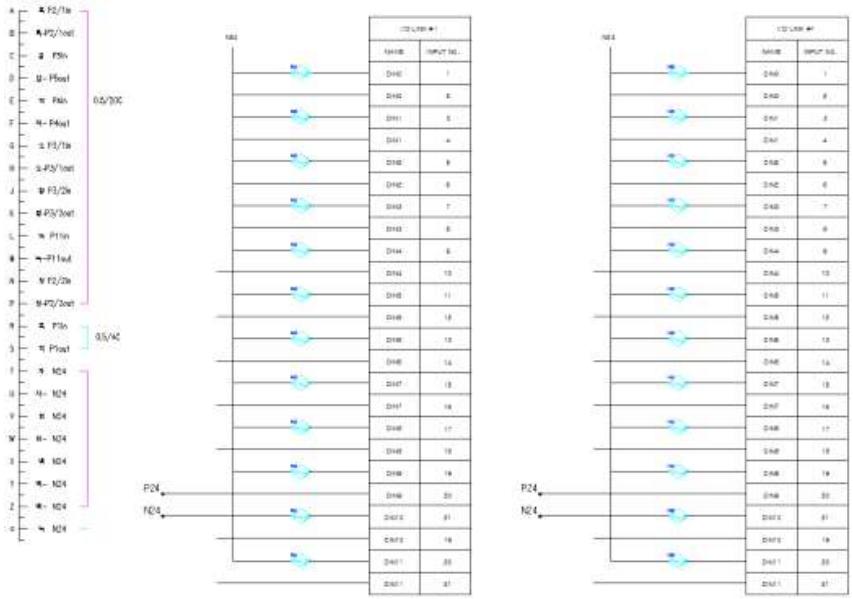
< 개발된 출력 캔 네트웍 보드 >

(마) 배전 설계

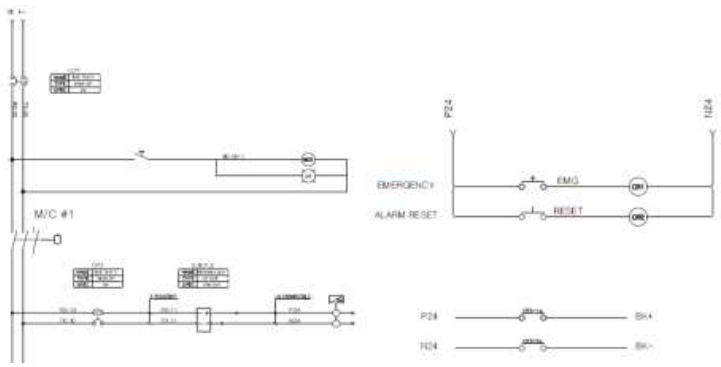
o 다음은 전기장치의 외형과 전체 구성을 나타낸다.



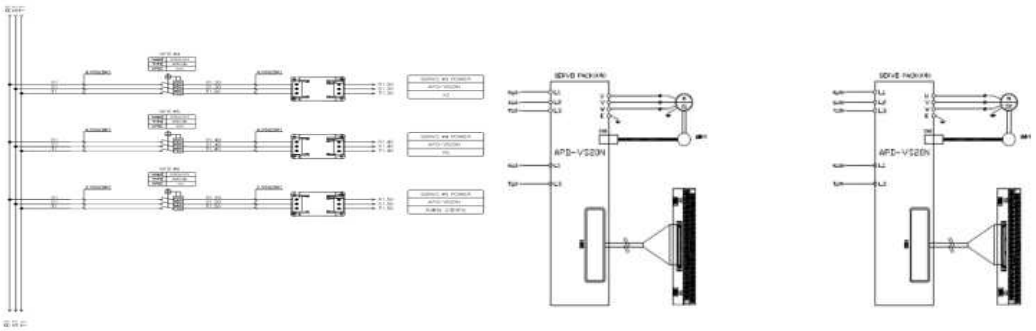
o 자동 절단 절곡 시스템의 배전함의 센서와 솔레노이드(실린더 구동)의 배선도를 아래와 같이 개발하였다.



다음 그림은 24V 전원과 비상정지 및 리셋 버튼의 배선 회로를 나타낸다.



다음 그림은 서보 모터 드라이브의 전원부와 서보 모터의 연결 배선을 나타낸다.



3. 수치제어기반 통합형 철근 가공시스템 개발

가. 통합형 철근 가공시스템을 위한 전산해석

(1) 철근 밴딩기 롤러의 피로파괴 해석 및 재설계

(가) 연구 목표

- 철근의 가공이 현장에서 직접 손수 가공하던 현장가공방식에서 철근가공업체가 주문받은 철근을 대량 가공하여 현장으로 옮기는 철근공장가공화 방식으로 바뀌어가면서 철근공장가공화 방식을 통해 현장가공방식에 비해 정확한 가공과 높은 생산성 등 장점을 가져옴

- 하지만 철근공장가공화 방식의 특성상 장시간, 다량의 철근을 가공함에 이에 따라 철근 밴딩기에 피로가 누적되고 있음.

- 특히 철근 밴딩기의 회전롤러 및 고정롤러의 축은 철근생산의 안전성과 철근 밴딩기 수명에 영향을 끼치는 핵심부품으로써 높은 신뢰성이 요구되는 부품. 이러한 철근 밴딩기의 피로 누적은 지속적인 하중에 기인하여 원인.

- 그래서 피로파괴에 대한 연구가 불충분한 철근 밴딩기에 피로수명을 파악하고 형상을 다양하게 변화시키는 최적설계를 통해 철근 밴딩기의 피로수명을 향상시키고자 함

(나) 연구 수행 내용

1) 철근 밴딩기의 구조해석

○ 철근 밴딩기의 유한요소 모델링

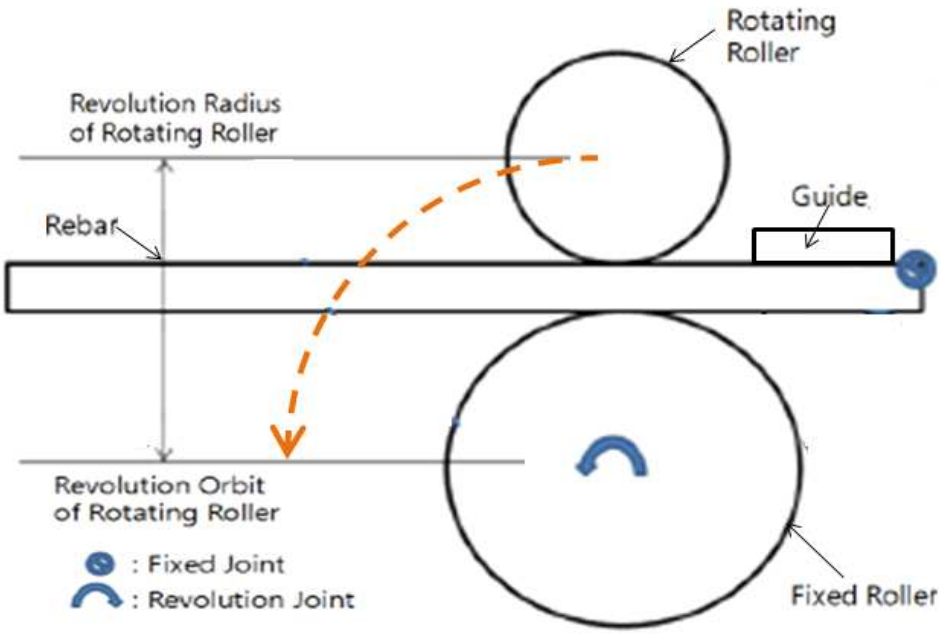
- '철근 밴딩기 공정 시 스프링 백에 대한 수치 분석'에서의 동일하게 DAFUL을 사용하여 철근 밴딩기는 크게 동력전달계인 기어박스와 철근 굽힘 공정을 진행하는 고정롤러와 회전롤러로 나누어지며 철근 굽힘 공정 시 철근이 가지는 탄성력에 의해 굽힘 반경 반대로 밀리는 현상을 방지하기 위한 가이드로 구성하여 모델링

- 강체와 유연체의 구분은 철근 밴딩기의 피로현상에 대한 선행연구인 것을 감안하여 가장 큰 하중이 걸리는 대 기어로부터 롤러에 회전력을 전달하는 회전 롤러의 축, 굽힘 가공 시 철근을 지지하는 고정롤러의 축을 유연체로 정의

- 굽힘 가공 시 철근의 소성변형을 표현하기 위해 철근 또한 변형체(Flexible body)로 정의하였으며 각 재질은 표.1에 있음

- 반면 기어박스, 2개의 롤러와 가이드는 변형이 일어나지 않는다고 가정하여 강체(Rigid body)로 정의

- 또한 철근 굽힘 공정의 동적 거동을 시현하기 위해 접촉 조건인 접촉강성(8×10^5 N/m), 마찰계수 (0.1)을 주었으며, 구속조건은 큰 기어가 고정롤러의 중심으로 공전하기 위해 회전조인트(Revolution joint)를 주었고, 각 부품 별 체결을 위해 고정 조인트(Fixed joint) 주었음



< 벤딩부의 FEM 모델링 >

Table. Properties of rebar and axises

	Rebar (structure steel)	Axises (STD-11)
Density	$7.85\times10^{-6}kg/mm^3$	$7.85\times10^{-6}kg/mm^3$
Young's Modulus	$200GPa$	$200GPa$
Possion's ratio	0.3	0.3
Yielding strength	$250MPa$	$1034MPa$
Ultimate strength	$435MPa$	$1158MPa$

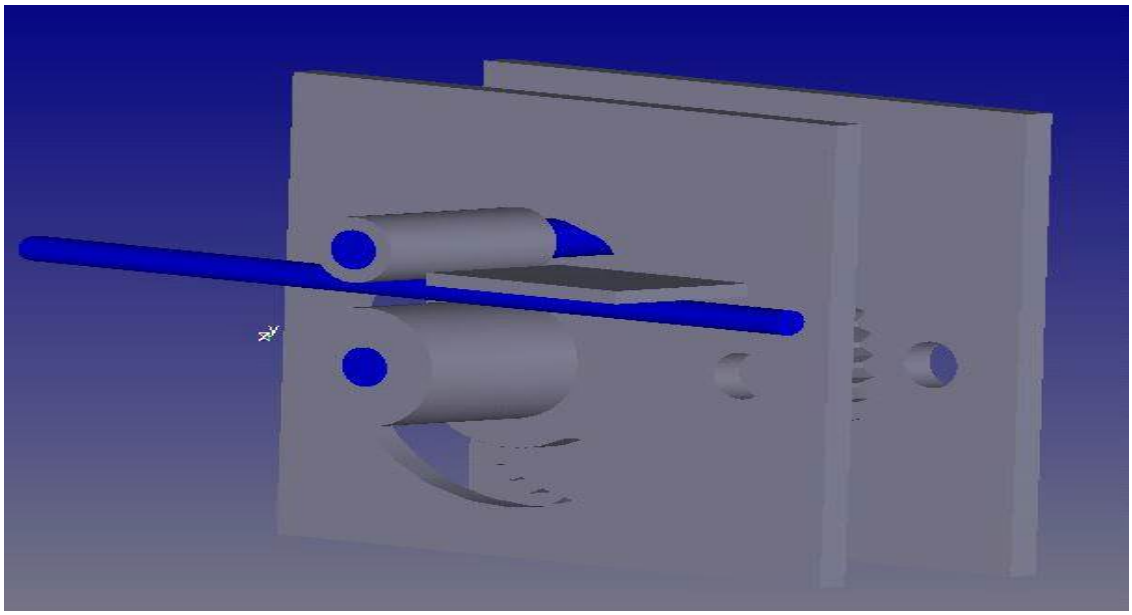
○ 구조해석

- DAFUL의 피로해석은 구조해석 결과를 기반으로 재질에 대한 피로데이터를 입력하여 피로현상 유한요소 해석함
- 따라서 철근 밴딩기 축에 대한 구조해석은 최대 굽힘 각도 180°와 최대 가공철근 직경인 Φ19mm를 이용

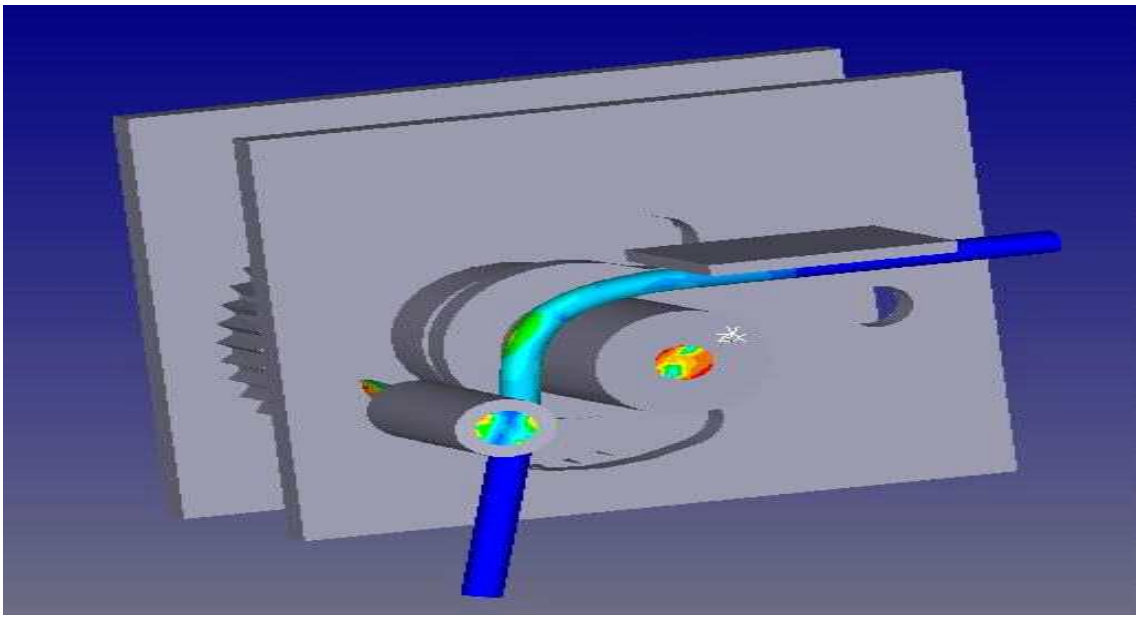
- 표. 2는 2개의 축에 대한 구조해석결과를 보여준다. 구조해석 결과 최대응력은 회전롤러는 919MPa, 고정롤러는 929MPa로 재질로 선택한 STD-11의 항복점 보다 낮기 때문에 영구변형에 대한 위험은 없는 것으로 확인

- 하지만 철근공장가공화의 특성상 장기간 다량의 철근을 가공하기 때문에 2개의 축은 반복하중이 받기 때문에 피로파괴에 대한 분석도 필요

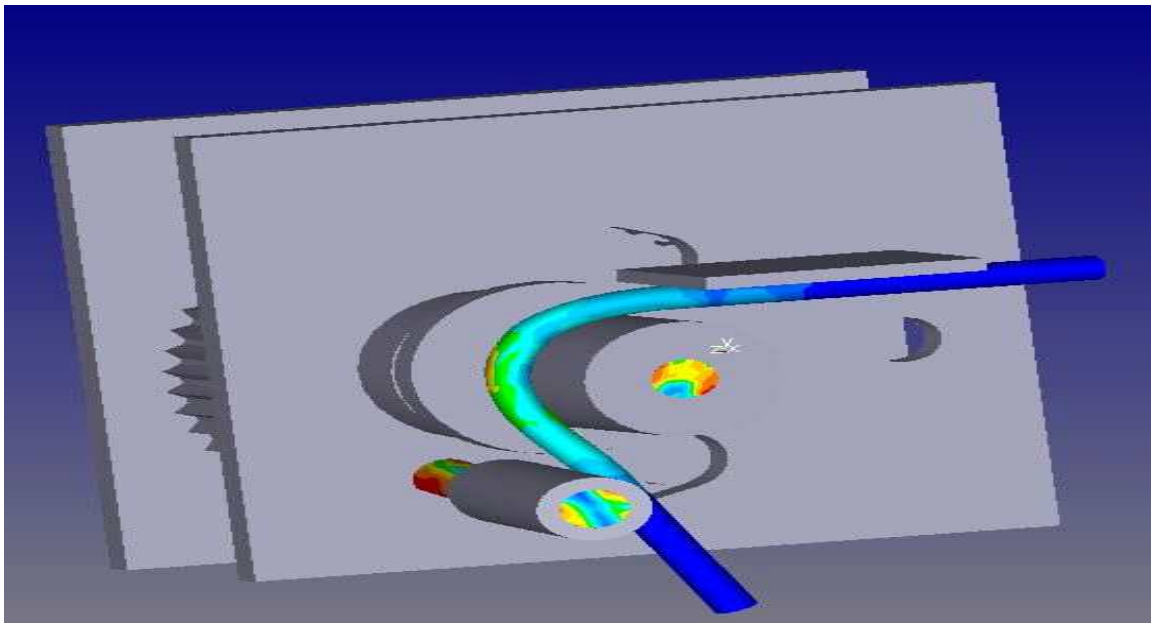
- 따라서 이미 수행한 구조해석 결과를 이용하여 피로해석을 진행



< FEM modeling of CATIA >



< 굽힘 각 90도 >



< 굽힘 각 120도 >

Table. Result of stress analysis on the axises

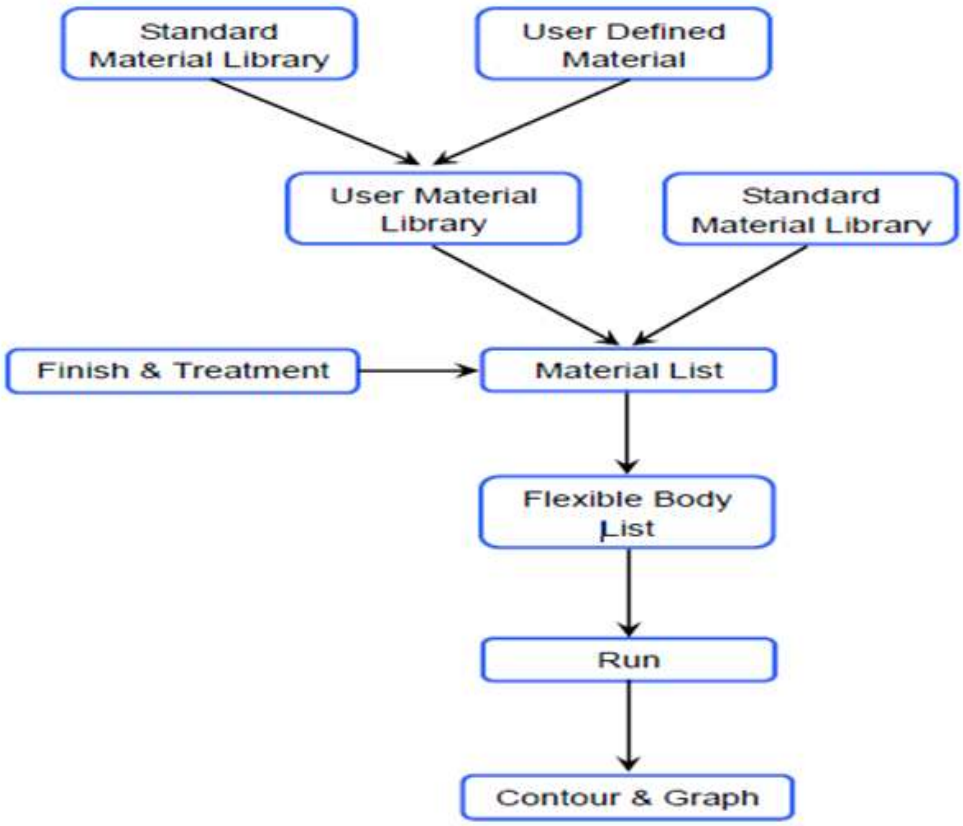
Maximum stress of fixed roller(Mpa)	Maximum stress of rotating roller(Mpa)
919.027	929.803

2) 철근 밴딩긱 롤러의 피로해석

○ DAFUL의 피로해석 절차

- DAFUL의 피로해석은 기존 FEM에 비해 장점을 가지고 있는데 그 이유는 기존 FEA의 경우 static 해석을 통한 피로해석 결과 값을 도출하였지만 DAFUL은 실제적인 동적 시스템을 고려한 피로해석을 진행하기 때문에 static 구조해석을 통한 피로해석 보다 정교한 해석과정을 통한 정확한 값을 도출
- 즉 시간에 따른 유연체의 위치정보와 작용하는 힘에 대한 구현이 가능
- 피로해석 시스템은 아래그림과 같이 구조해석, 피로해석 데이터 입력, 피로해석 단계를 거쳐 최종적으로 피로해석 결과 값을 도출

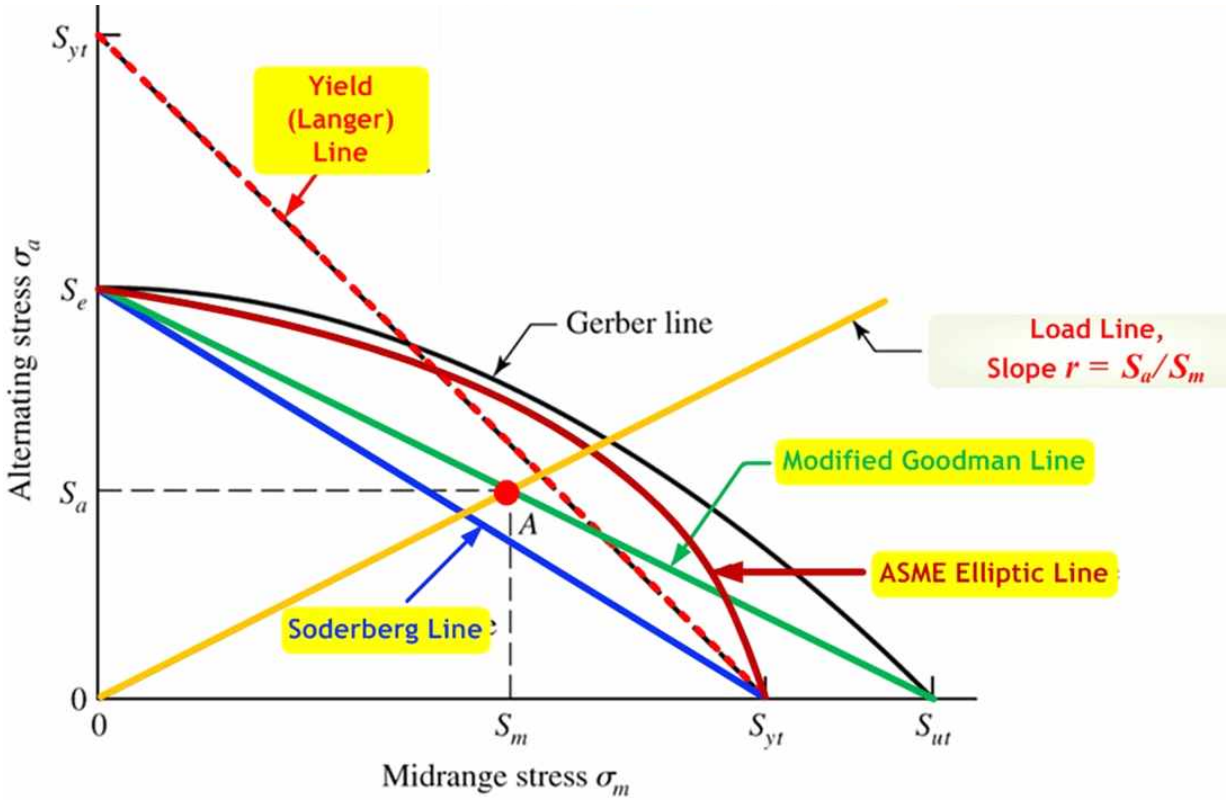
- 피로해석을 진행하기 위해서는 구조해석에서 사용한 재질의 static data 외에 피로해석을 위한 STD-11 재질의 S-N 선도를 입력



< DAFUL의 피로해석 절차 >

○ DAFUL's fatigue analysis 종류

- 피로현상에 영향을 많이 미치는 평균응력을 고려
- S-N : 탄성 영역, 저 하중, 1000~10000 life cycle 이상일 때
- Neglect, Modified Goodman, Gerber Locus, Sodeberg, DE elliptic 총 5가지의 해석방법이 있다.
- Neglect : 평균 응력 효과를 고려하지 않습니다.
- Modified Goodman : 가장 일반적으로 사용하는 방법, 저연성재료 고강도 재료에 많이 사용하며 이번해석에 사용한 방법
- Gerber Locus : Modified Goodman과 더불어 실험적 자료와 잘 부합
- Sorderburg : 매우 보수적이어서 보수적 설계시 사용
- DE elliptic : 첨부된 그림처럼 Modified Goodman보다는 개방적으로 Gerber 보다는 보수적으로 설계 시 사용



a. Soderberg (USA, 1930) $\frac{\sigma_a}{\sigma_e'}+\frac{\sigma_m}{\sigma_y}=1$

b. Goodman (England, 1899) $\frac{\sigma_a}{\sigma_e'}+\frac{\sigma_m}{\sigma_u}=1$

c. Gerber (Germany, 1874) $\frac{\sigma_a}{\sigma_e'}+\left(\frac{\sigma_m}{\sigma_u}\right)^2=1$

d. Morrow (USA, 1960s) $\frac{\sigma_a}{\sigma_e'}+\frac{\sigma_m}{\sigma_f}=1$

σ_y ... yield stress

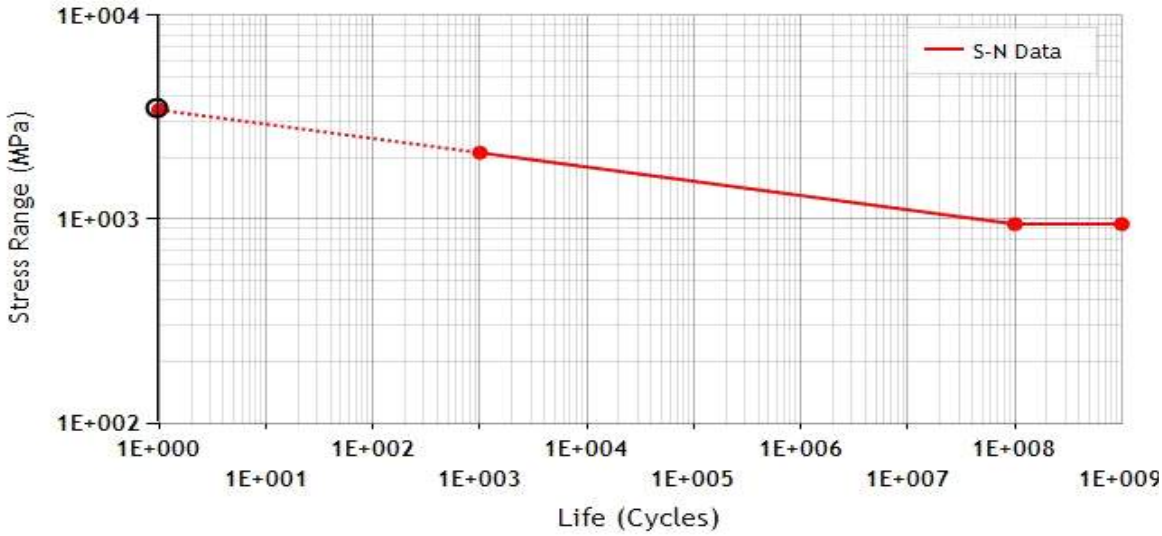
σ_u ... ultimate stress

σ_f ... true fracture stress

σ_e' ... effective alternating stress at failure for a lifetime of N_f cycles

○ STD-11 재질의 S-N

- 아래그림은 STD-11의 S-N선도를 보여주며 STD-11의 S-N 선도는 크게 3개로 나누어짐
- 1×10^3 이하에서는 Low cycle, 1×10^3 부터 1×10^8는 High cycle, 1×10^8 이 후 부터는 Infinite cycle
- 따라서 피로파괴를 방지하기 위해서는 회전 롤러의 축의 피로한도는 Infinite 구간에 들어 가야함



< S-N curve of STD-11 >

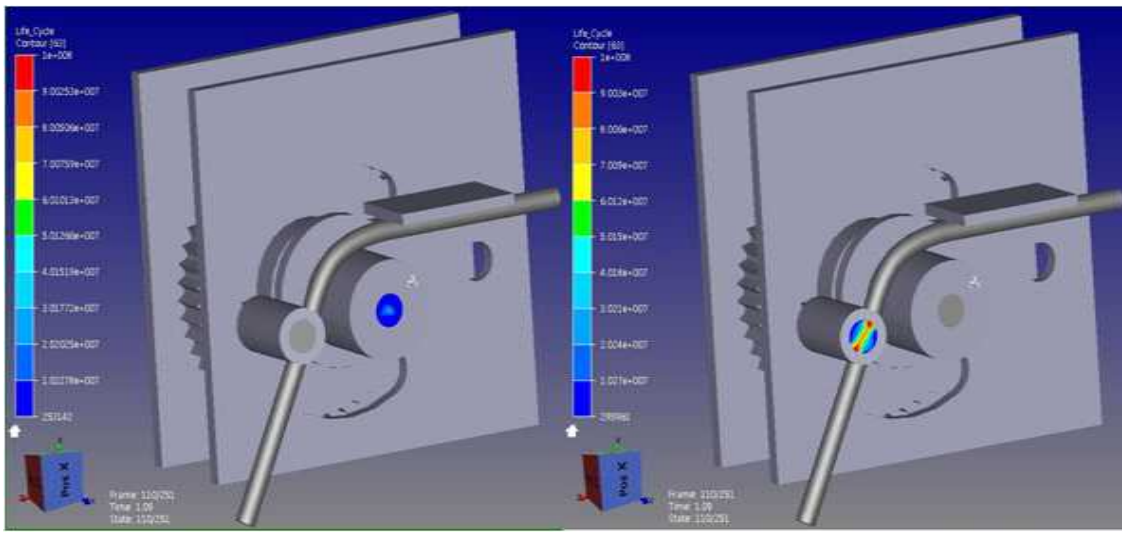
○ DAFUL의 피로해석 결과

- 최종적으로 피로해석을 수행한 결과 그림. 5와 같이 회전 롤러의 축의 피로수명은 299961~1×10^8이며 고정롤로의 축의 피로수명은 253142~1×10^8

- 즉, 회전롤러와 고정롤러의 모두 life cycle 최대값은 infinite 구간에 들어가 피로파괴에 대한 위험성이 없지만 최소값은 피로수명은 요구조건인 1×10^8cycle 이상의 구간을 만족하지 못함

- 도출한 결과 값은 무한한 수명을 가지는 영역이 아닌 일정 cycle 이후에 파괴가 되는 영역에 있는 것을 확인 할 수 있음

- 따라서 파라미터 스터디와 새로운 다자인설계를 통해 영구 cycle을 가지는 회전롤러와 고정롤러의 축에 대한 재설계가 필요



(a) Fixed roller axis (b) Rotating roller axis

< Result of fatigue analysis on the axises >

3) 설계 파라미터 따른 피로수명 연구

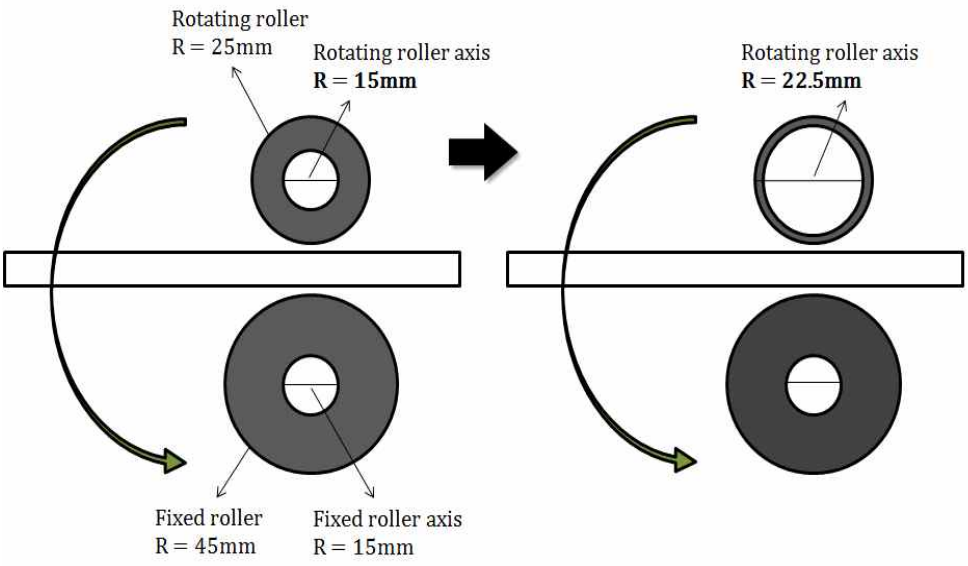
○ 철근 밴딩기 롤러의 축 반경에 따른 파라미터연구

- 롤러의 축 반경의 크기가 롤러의 피로수명에 미치는 영향을 보기위해서 두 가지의 케이스로 나눠서 시뮬레이션을 진행

- 먼저 첫 번째 case 는 아래표와 그림에서와 같이 초기모델링 사이즈인 고정롤러의 축 반경 15mm, 롤러의 반경 45mm 그리고 회전롤러의 반경 25mm 사이즈를 고정하고 회전롤러의 축만 15mm에서부터 2.5mm식 증가하는 4가지의 하위 케이스로 나눠서 시뮬레이션을 진행하였고 접촉조건과 재질은 초기조건과 동일

표. 회전롤러 축 반경 증가에 따른 피로수명

	Case1-1	Case1-2	Case1-3	Case1-4
Rotating roller radius	15mm	17.5mm	20mm	22.5mm
Maximum stress of fixed roller(Mpa)	919.027	937.081	938.493	937.526
Maximum stress of rotating roller(Mpa)	929.803	912.29	901.882	889.631
Life cylce of fixed roller	253142	220805	219207	221223
Life cylce of rotating roller	299961	329584	412335	892055

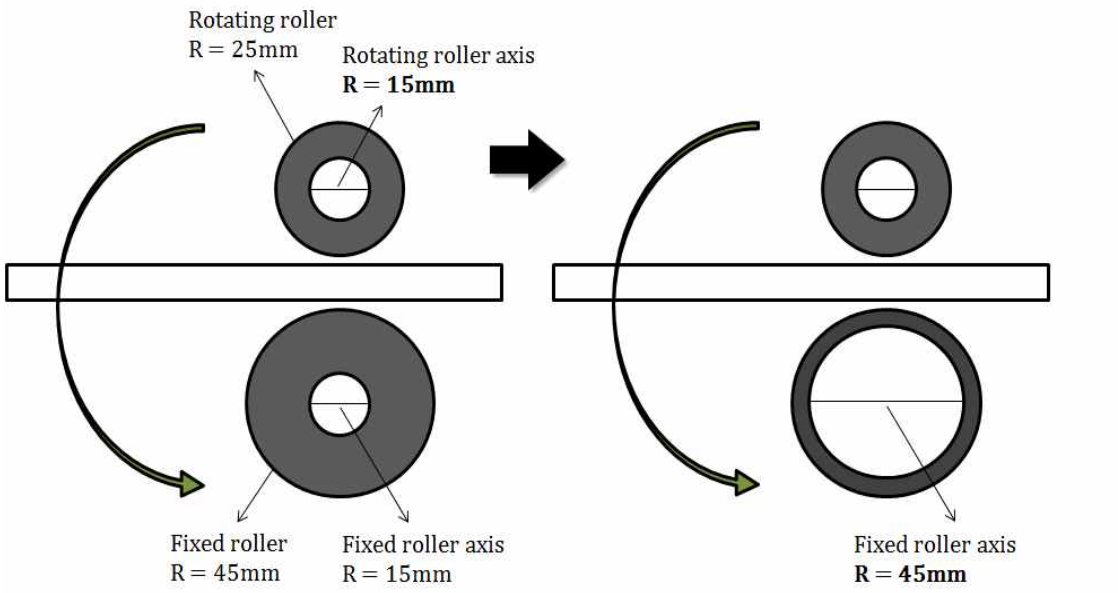


< CASE1 >

- CASE1과 반대로 CASE2에서는 아래표와 그림에서와 같이 회전롤러의 축 반경 15mm, 롤러의 반경 25mm 그리고 고정롤러의 반경 45mm 사이즈를 고정하고 고정롤러의 축만 15mm에서부터 2.5mm식 증가하는 4가지 하위 케이스로 나눠 동일한 조건으로 시뮬레이션을 진행

표. 고정롤러 축 반경 증가에 따른 피로수명 값

	Case2-1	Case2-2	Case2-3	Case2-4	Case2-5	Case2-6	Case2-7
Rotating roller radius	15mm	17.5mm	20mm	22.5mm	35mm	37.5mm	40mm
Maximum stress of fixed roller(Mpa)	919.027	905.105	898.114	890.557	478.714	378.978	371.481
Maximum stress of rotating roller(Mpa)	929.803	933.876	937.755	940.088	939.797	940.829	938.663
Life cylce of fixed roller	253142	255026	306298	450589	7.12783x10	$1x10^8$	$1x10^8$
Life cylce of rotating roller	299961	289258	284777	285555	251471	286597	251541

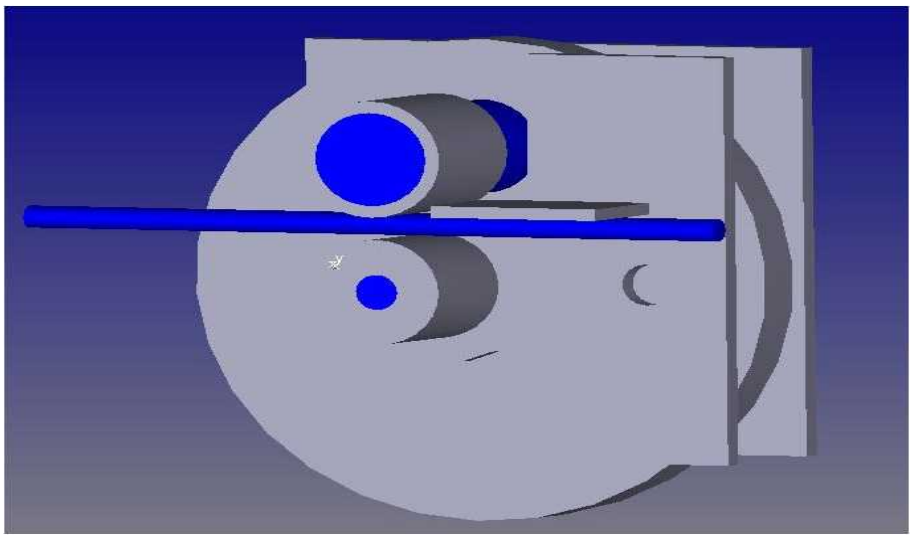


< CASE2 >

- 위의 표의 값에서 보이듯이 각각 회전롤러와 고정롤러의 축 반경 사이즈 증가함에 따라 축이 받는 응력값이 감소하는 경향과 롤러 축의 피로수명이 증가하는 것을 확인
- 위의 표에서와 같이 고정롤러의 경우는 3가지 하위 Case를 추가하여 해석. 초기 모델에서 고정롤러 축 반경을 최대 40mm까지 증가시킨 결과 영구수명을 가지는 반경의 크기는 35mm ~37.5mm 사이 부터인 것을 확인
- 회전롤러의 경우 롤러 축 반경을 최대 22.5mm까지 증가시켰지만 영구수명에 도달하지 못했다. 그래서 회전롤러의 크기를 초기모델의 고정롤러의 반경의 크기와 동일한 45mm로 재설계하여 추가적으로 해석을 진행

○ Redesign

- 다음그림과 표에서는 철근 밴딩기 초기모델에서 회전롤러의 반경을 45mm로 재설계 후 추가적으로 축 반경증가에 따른 영구수명 값을 확인
- 그 결과 회전롤러의 경우는 영구수명을 가지는 반경의 크기는 30mm ~35mm 사이 부터인 것을 확인하였다. 따라서 각각 고정롤러, 회전롤러의 직경 변화에 따른 영구수명분석과 반경의 크기를 추정



< FEM the redesign modeling of Case3-4 >

표. 수정 모델에서의 회전롤러 축 반경 증가에 따른 피로수명 값

	Case3-1	Case3-2	Case3-3	Case3-4
Rotating roller radius	30mm	35mm	37.5mm	40mm
Maximum stress of fixed roller(Mpa)	939.259	939.266	938.954	937.527
Maximum stress of rotating roller(Mpa)	457.796	285.981	230.644	211.575
Life cylce of fixed roller	218615	219355	219617	223072
Life cylce of rotating roller	$9.29596x10^7$	$1x10^8$	$1x10^8$	$1x10^8$

4) 결 론

- 구조해석 결과 최대응력은 재질로 선택한 STD-11의 항복점 보다 낮기 때문에 영구변형에 대한 위험은 없는 것으로 결과가 나타났으며 피로해석을 수행한 결과 회전롤러와 고정롤러의 모두 life cycle 최대값은 infinite 구간에 들어가 피로파괴에 대한 위험성이 없지만 최소값은 피로수명은 요구조건인 1×10^8cycle 이상의 구간을 만족하지 못하여 infinite 구간 이하의 cycle에서 피로파괴가 일어날 가능성이 많다고 예측
- 그래서 철근 밴딩기의 롤러 축 반경의 증가에 따른 파리미터 연구를 진행하여 고정롤러는 35~37.5mm, 회전롤러는 30~35mm에서 영구수명을 가지는 것을 확인
- 하지만 각 롤러의 반경변화에 따른 주효과만을 연구하였기에 이에 따라 고정롤러와 회전롤러가 동시에 증가하는 상황에 따른 교호작용에 대한 검토가 필요
- 앞으로 철근 밴딩기가 영구수명 cycle을 가지는 회전롤러와 고정롤러의 축에 대한 최적설계가 필요

(2) 철근가공시스템의 자동화를 위한 철근 업로딩해석

(가) 업로딩시스템의 설계

1) 링크방식 업로딩 장치

○ 주요기술 협력사 : Toyo (일본)

○ 구동방식 : 링크식 스탭방식

○ 철근 업로딩 속도 : 분당 60개 이상

○ 작업자 : 2명

○ 장점 : 빠른 정열, 낮은가격, 높은신뢰도

○ 단점 : 사람의 관리가 필요



<링크식 업로딩 장치>

2) MCT방식 업로딩 장치

○ 주요기술 협력사 : Schnell (이탈리아)

○ 구동방식 : 3축 무빙테이블

○ 철근 업로딩 속도 : 분당 200개 이상

○ 작업자 : 1명 이하

○ 장점 : 빠른속도, 넓은 작업환경, 무인화 작업이 가능, 타 장비와의 연계성이 높음

○ 단점 : 높은가격 (약 5억원 이상), 철근에 대해 별도의 정열이 필요



<MCT 방식 업로딩 시스템>

3) 업로딩 장치 제안설계

가) 설계개념

○ MCT 방식 (이탈리아 Schnell) 적용

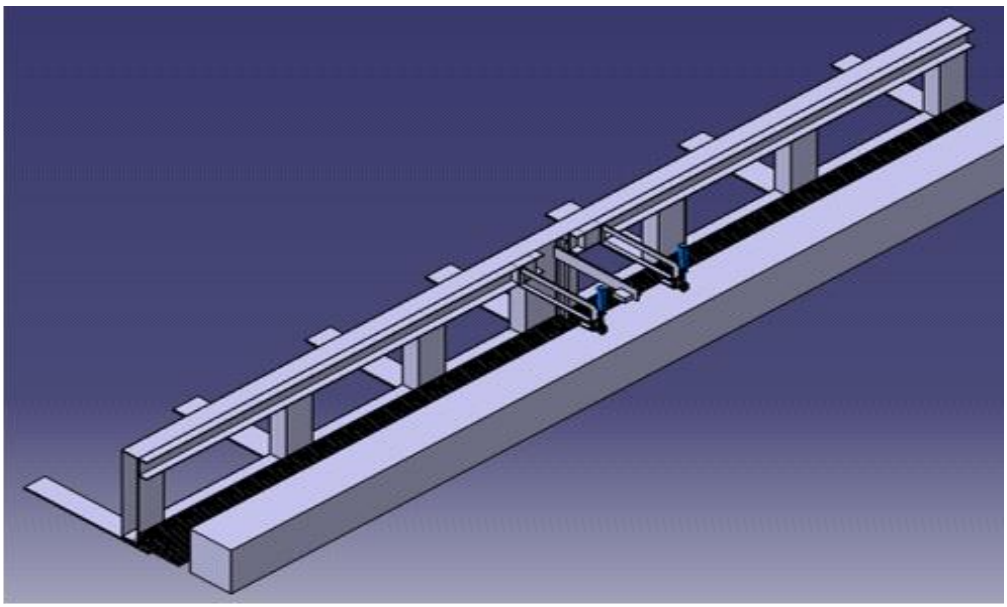
○ 장비의 특징 : 전후 양방향으로 작동, 이탈리아의 방식보다는 낮은 가격에 제작

○ 장비의 가격과 신뢰성을 높이기 위해 철근을 Holding 장치를 공압 엑츄에이터를 적용하여 개발

○ 서보모터의 적용을 최소화 하여 신뢰성과 가격을 동시에 만독하도록 구성

○ 장비의 경량화를 위해 중간부분에 마그네틱 장치를 적용, 철근을 Holding 할수 있도록 구성

○ 철근을 정렬하기 위해 마그네틱에 철근을 붙인 상태에서 공압액츄에이터를 좌우로 이동하여 철근을 정렬함



<기구장치 설계안 전체 모습>

나) 업로딩 장치의 거동 시뮬레이션

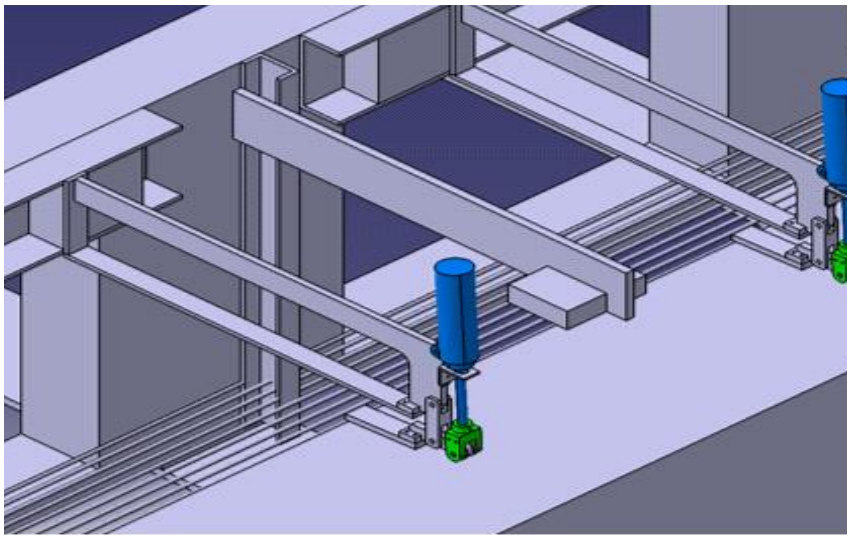
○ CATIA의 DMU를 통해 철근업로딩 장치의 거동상태를 확인함

○ 장치의 상하 움직임과 공압액츄이에터 홀더의 거동상태를 확인함

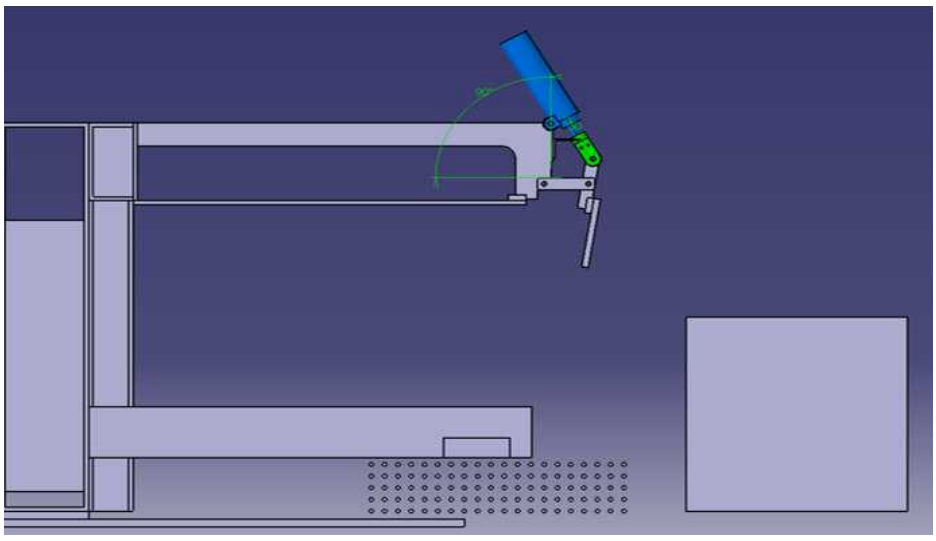
○ 장치의 간섭과 작동시 하중 변화량에 대한 확인을 진행함

○ 업로딩 장치의 작동순서는 다음과 같음

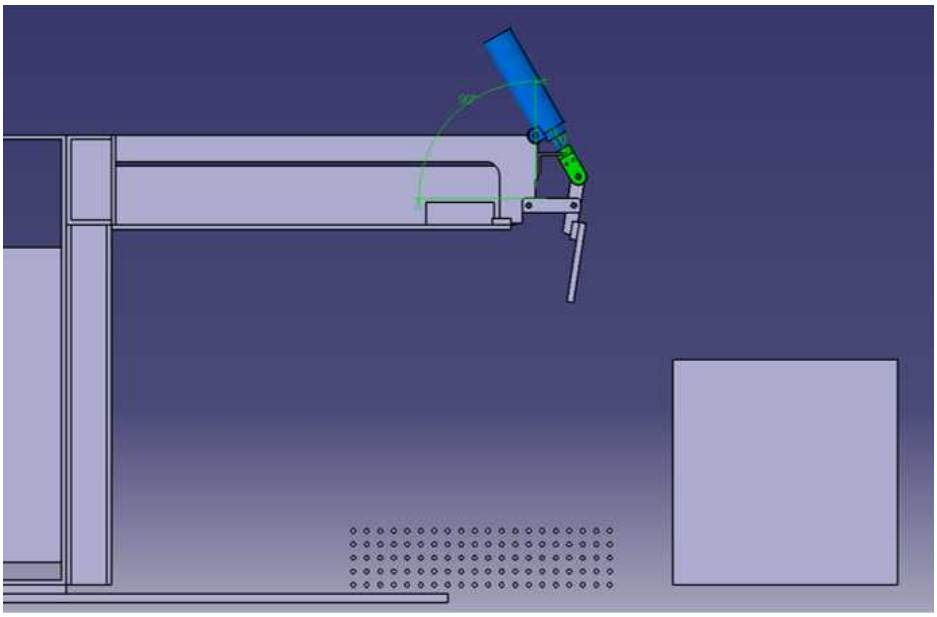
- 순서 1 마그네틱 장치가 철근과 접촉함
- 순서 2 철근을 마그네틱 장치로 들어올림
- 순서 3 마그네틱에 붙은 철근을 공압실린더로 집음
- 순서 4 공압실린더로 철근을 집고 좌우로 움직여 정렬함
- 순서 5 철근을 로딩장치에 올려놓음



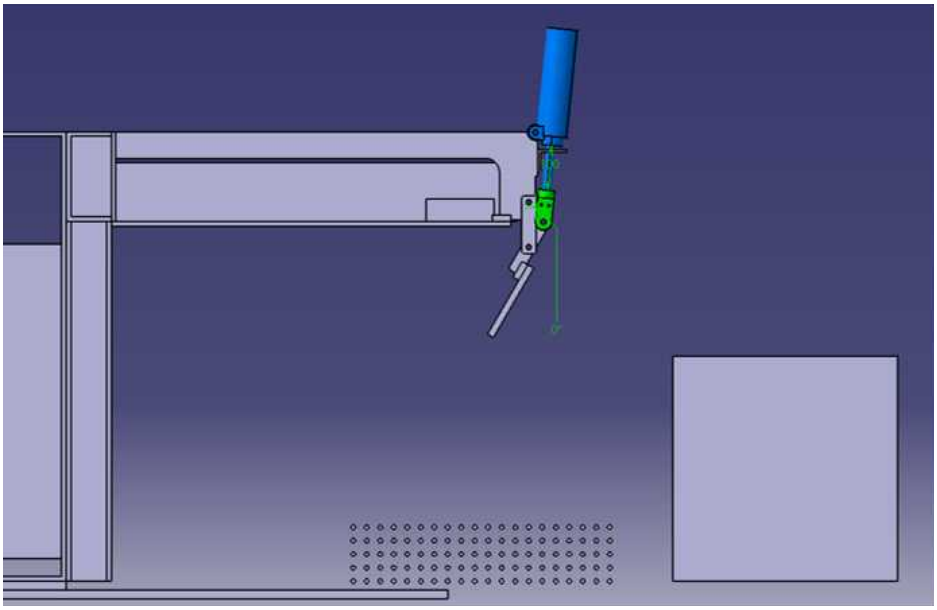
<기구장치 설계안 - 철근 홀딩장치와 마그네틱 장치 >



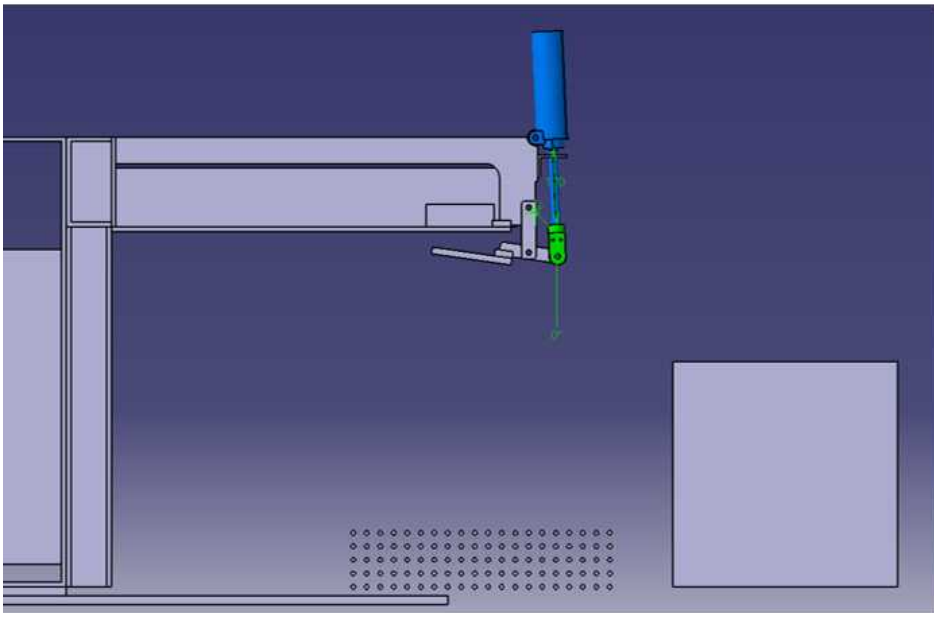
<순서 1 마그네틱 장치가 철근과 접촉함>



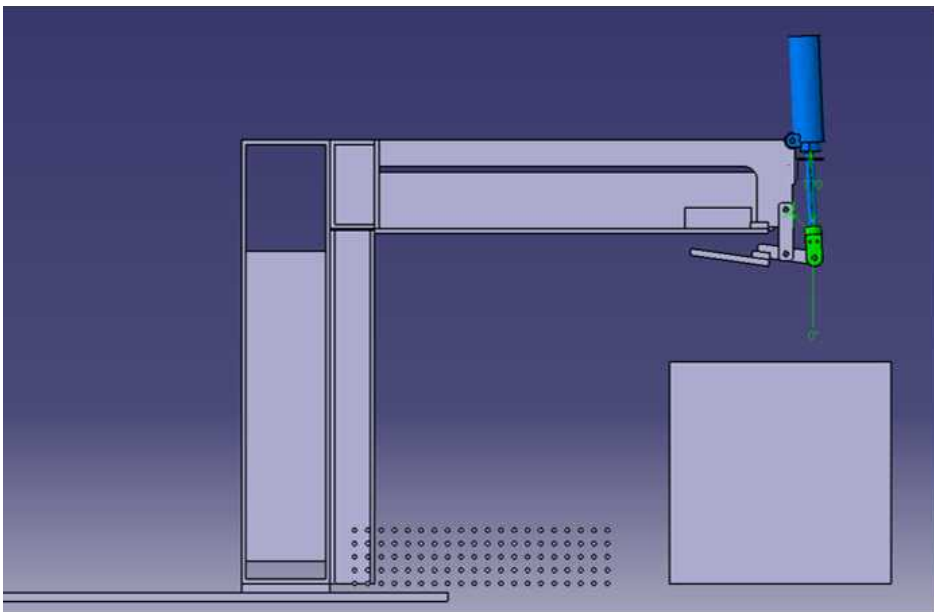
<순서 2 철근을 마그네틱 장치로 들어올림>



<순서 3 마그네틱에 붙은 철근을 공압실린더로 집음>



<순서 4 공압실린더로 철근을 집고 좌우로 움직여 정렬함>



<순서 5 철근을 로딩장치에 올려놓음>

다) 업로딩 장치의 거동의 문제점

○ 최종적으로 다음 장치에 대해서는 주관기관의 의견에 따라 채택되지 않음

○ 비용문제 : MCT방식이 사용의 편의성과 자동화에 더 유리하지만 제작비용이 다소 비쌈

○ 신뢰성의 문제 : 완전한 신규제품으로 과제의 긴급성 (약1년기간)을 고려하면 신뢰성 높은 장미로 개발하기에 어려움 점이 많음

○ 따라서 장비는 일본은 링크방식을 적용하여 개발하는 방식으로 진행되기로함

(나) 사전해석

1) 필요성

○ 철근의 길이와 직경 비율이 상대적으로 큼

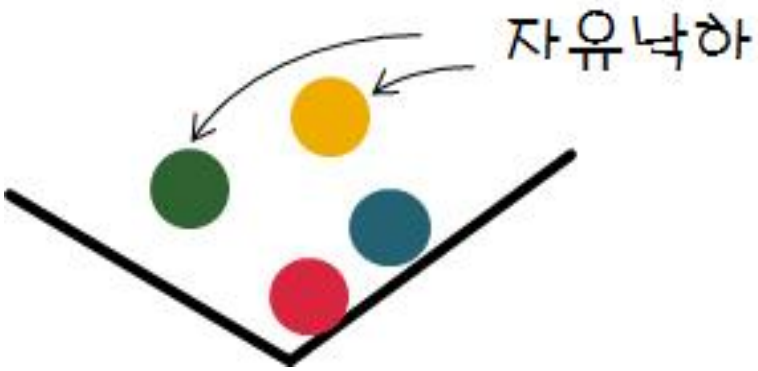
○ 철근의 모델구성을 빔, 쉘, 솔리드 로 구성이 가능하나 해석방식에 따라 해석의 시간이 많은 차이를 나타내고 있음

○ 해석에 적절한 프로그램이 어떤것인지 판단하기 어려움

○ 해석에서 가장 큰문제를 요구하는 철근간의 접촉을 구현할 수 있는지 여부를 판단하기 위해 다양한 해석프로그램을 적용하여 전산해석을 진행함

2) 해석방식

가) 모델구성



<해석 모델 구성 개요>

○ ANSYS DM을 이용하여 모델을 구성함

○ 바닥면을 Shell모델로 구성(강제로 가정)하고 철근(빔)은 솔리드, 쉘, 라인(빔요소)로 구성, 요소의 형태마다 해석의 진행여부를 확인할 수 있도록 구성함

○ 격자를 생성하여 메쉬, 모델파일로 다양한 소프트웨어에서 해석을 진행

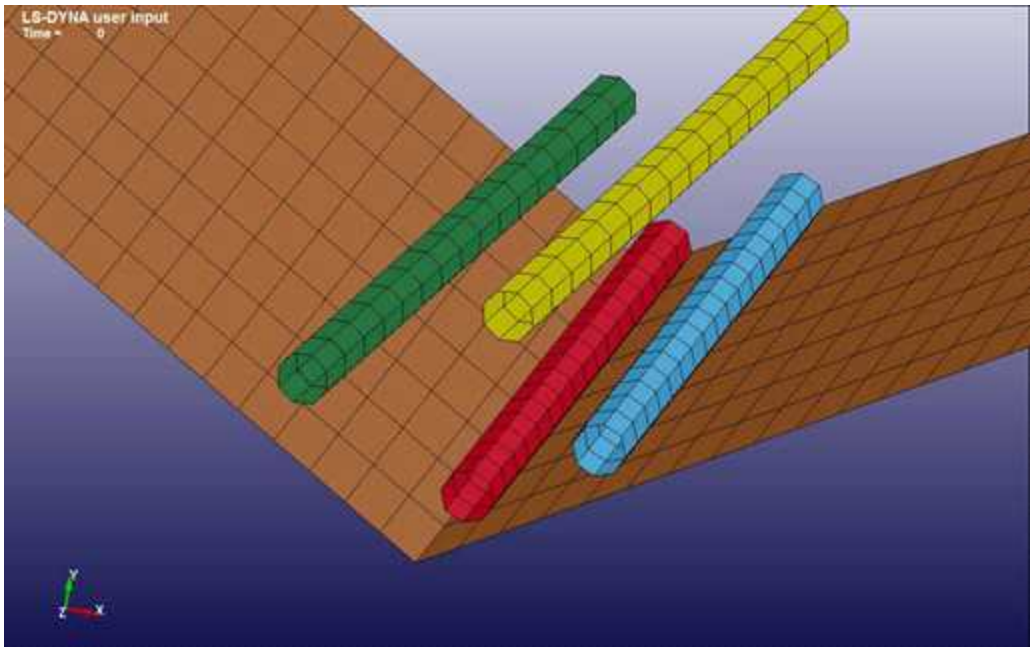
○ 모델상세 설정

- 철근길이 : 300mm
- 철근직경 : 10mm

나) 구속조건

○ 해석의 간략화를 위해 모델을 몇 개(약 4개)의 철근을 자유낙하 했을 때 철근간의 접촉에 대해서 검토함

○ 해석시 접촉해석간의 시간과 해의발산여부 등에 대해서 검증



<FEM 구성모델>

4) 검토내용

○ CATIA DMU

- DMU 모듈을 통해 해석방안 검토
- DMU는 시뮬레이션이기 보다는 물체를 움직여서 간석을 확인하는 용도로 적용되고 있음
- 해석시 충돌여부만 확인, 물리적인 거동현상 파악은 어려움

○ MSC ADAMS

- 동역학 전용 프로그램
- 다양한 동역학문제를 풀 수 있음
- Matlab과 연동하여 수치적 문제를 풀 수 있음
- 사물의 접촉문제를 풀 수 없음
- 접촉조건을 미리 산정해야 함

○ ANSYS

- Rigid Dynamic를 이용하여 접촉 문제와 동역학 문제를 모두 풀 수 있음
- 접촉문제를 ANSYS Classic 코드를 사용
- 철근 3개 해석에 20시간 소요

○ LS-DYNA

- 세팅에 많은시간과노력이필요함
- 특히 Explicit 코드로 해석의 에러가 있음
- 해석 대상이 실제 보다 가볍게 표현이 됨
- 위 해석에 대해서 약 30분의 해석이 소요됨

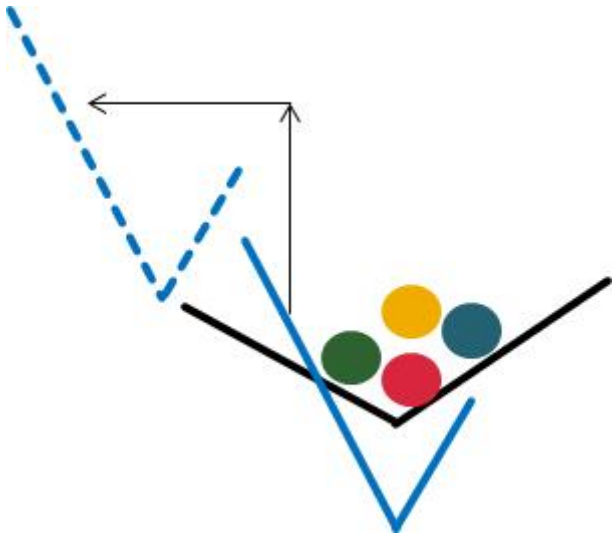
○ 종합정리

<해석 프로그램 분석>

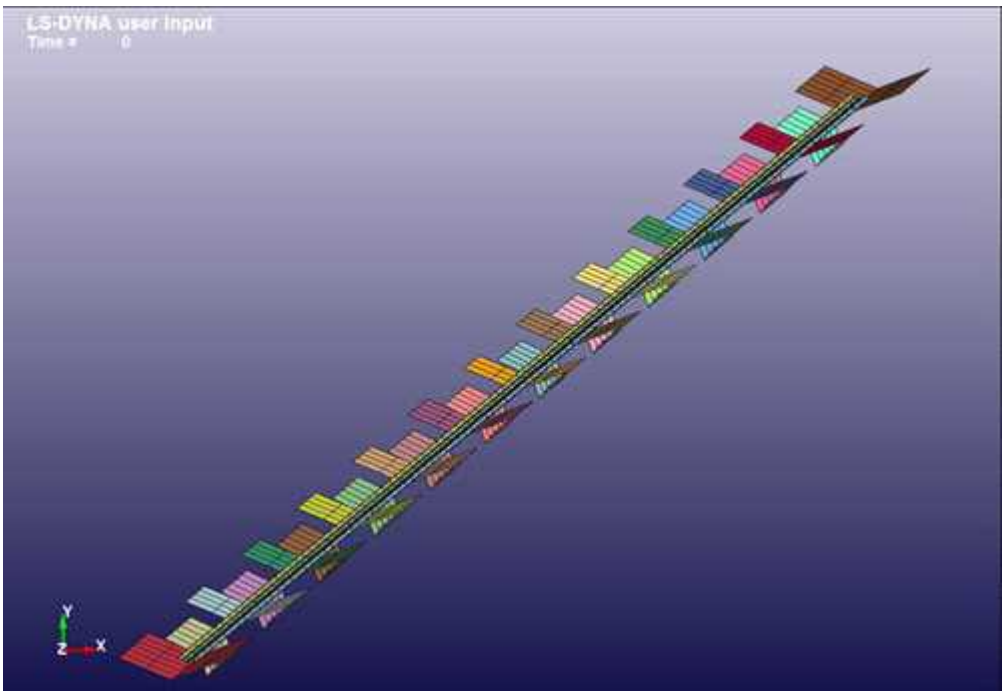
프로그램	속도	기능 및 구동방법
CATIA DMU	매우 빠름	- 구동 시뮬레이션 전용 - 구동체는 반드시 정해진 괴적으로만 거동 - 거동시 발생되는 간섭확인 정도만 가능 - 접촉에 의한 구동해석은 불가능
MSC ADAMS	빠름	- 동역학 전용 프로그램 - 동역학적 질량 및 거동상태에 대한 연동 가능 - 매트랩과 연동한 수치해석 - 사물의 접촉조건은 미리 산정한것만 가능
ANSYS	느림	- 범용구조해석 툴 - Rigid Dynamic을 통해 접촉물체에 대한 해석가능 - 준정적 해석으로 해의 수렴이 매우 어려움
LS-DYNA	매우 느림	- Explicit 코드로 동적, 충격 해석에 유리 - 코드 생성에 많은 에러가 발생될 우려가 높음

(다) 동적해석

1) 모델링



<해석 모델 구성 개요>



<FEM 구성모델>

○ 9,000 mm 철근 4개의 로딩 해석

○ 철근 : 9,000 mm x 10 mm, 철근 로딩 해석 가능성 검토

○ 해석이 무난히 진행되나 철근의 밀도가 실제 현상보다 적게 표현되는 것으로 보임

2) 격자구성

○ 빔은 라인으로 구성

○ 10,000mm의 빔길이를 고려하여 10mm 길이방향으로 격자를 구성함

3) 구속조건

○ 빔에대해서는 어떠한 구속조건을 주지 않음

○ 업로딩 장치에 대해서 강제변위 구속을 적용하여 해석을 진행함

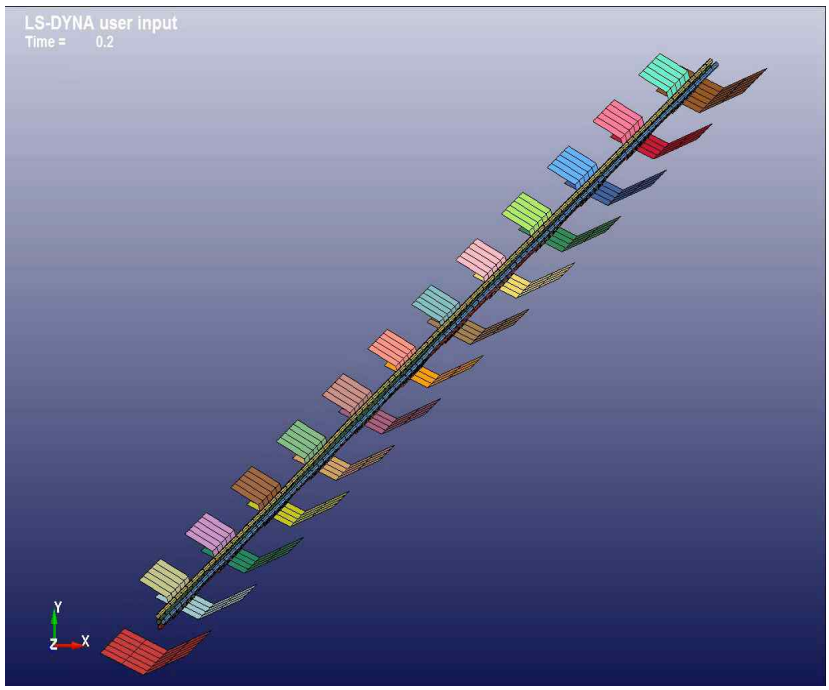
4) 접촉조건

○ Geometry Auto Contact를 적용하여 빔-빔, 빔-로딩장치 간의 자유로운 컨텍이 일어나도록 설정

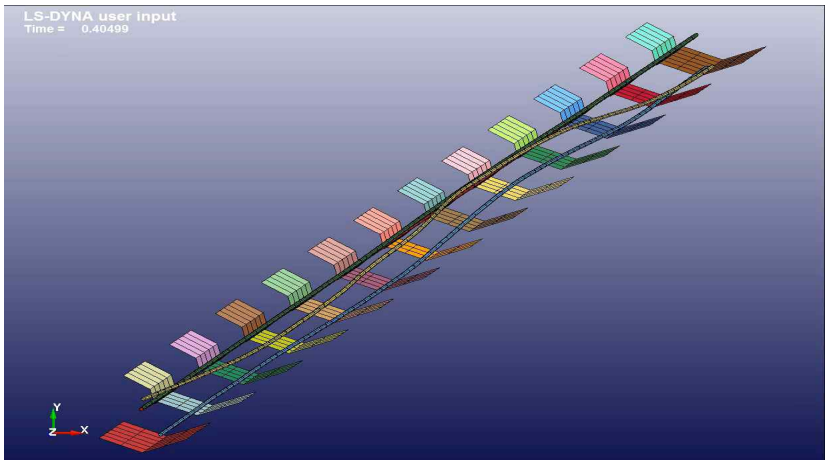
5) 해석결과

○ 해석이 무난히 진행되나 철근의 밀도가 실제 현상보다 적게 표현되는 것으로 보임

○ 특히나 업로딩 장치에서 떨어지는 철근이 과도하게 가벼운 것으로 표현되는 것을 확인할 수 있었음 (마치 가벼운 줄이 떨어지는 듯한 현상이 관찰됨)



<1차해석 0.02 Sec 경과후>



<1차해석 0.4 Sec 경과후>

(라) 해석검증

1) 필요성

○ 1차해석에서 철근이 지나치게 가벼운 것으로 표현됨을 확인함

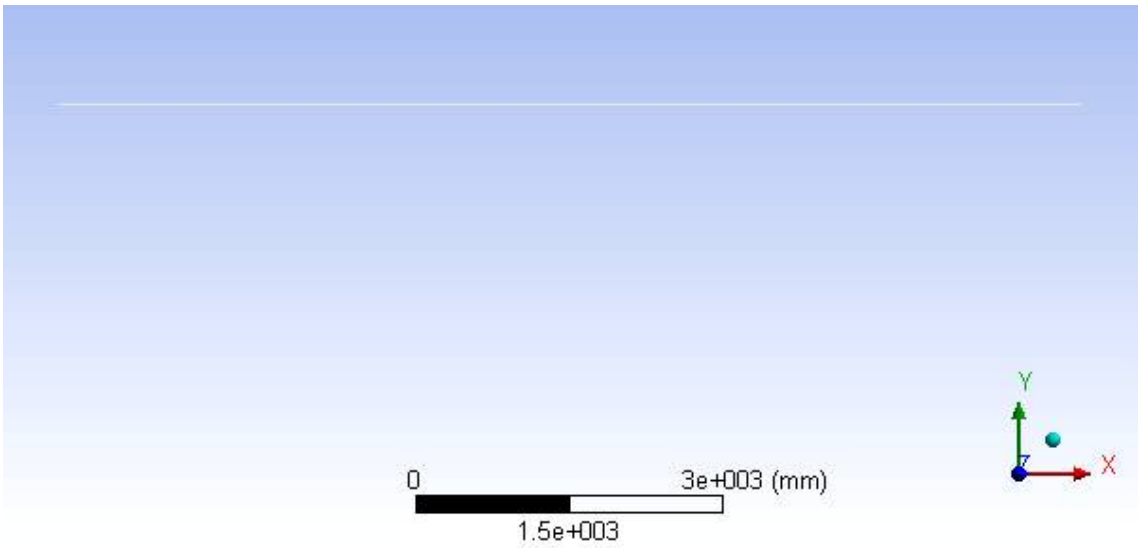
○ 실제 철근의 휨이 위와 같은지 검토하기 위해 구조해석을 통해 철근의 처짐량을 확인해 보기로함

2) 모델링

○ 철근의 길이를 10m 가정하고 철근의 직격을 10mm, 100mm로 가정하고 그 변위를 확인함

○ 격자의 크기는 1차해석과 유사하게 10mm 크기로 설정함

○ 해석을 위한 물성치는 ANSYS 구조해석의 Structer Steel로 구성함



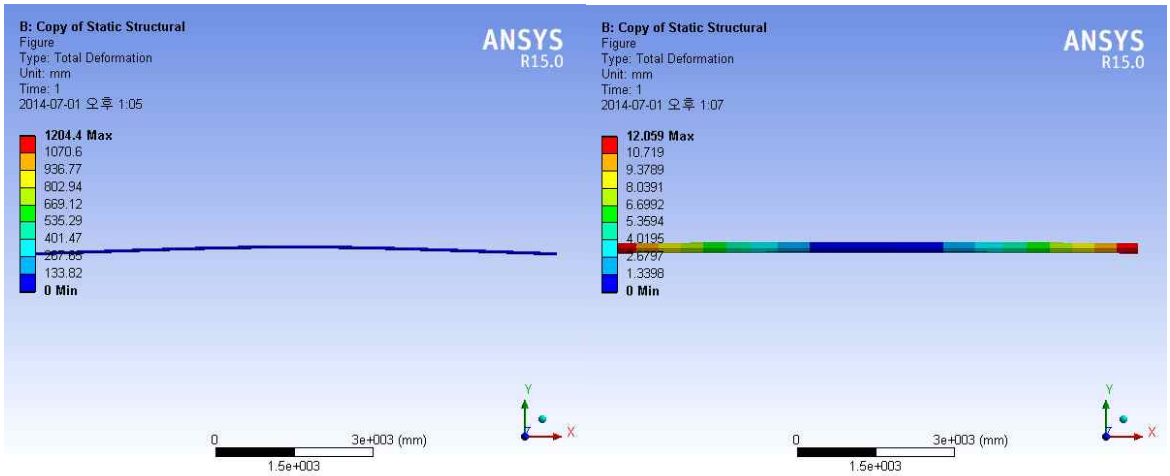
<빔요소 모델>

3) 구속조건

○ 빔의처짐량 확인을 위해 빔의 중각부분을 Fix구속을 적용하고 빔 전체게 -Y방향으로 중력가속도를 적용함

4) 해석결과

○ 빔의 처짐량 해석결과



<직경 10mm 일 때 1204mm 변위> <직경 100mm 일 때 12.5mm 변위>

○ 결론 : 해석결과 빔의 두께가 10배 차이남에 따라 처짐량의 차이도 10배가 남을 확인하였다. 이는 선정구조해석이 형상이 선형적으로 바뀜에 따라 선형적으로 바뀌는 결과를 나타냄을 고려하면 실제 철근의 굽힘량도 이와 유사할것으로 확인된다.
따라서 본 해석결과와 위의 철근의 접촉해석결과가 동일한 것으로 판단된다.

(마) 다양한 경우에 따른 해석분석

1) 필요성

○ 업로딩 장치는 단순히 거동상만을 분석한다 하더라도 상당히 많은 거동상태가 있음

○ 이는 아래의 표와같이 나타냈음

○ 각 단계별로 과정이 진행될 때 마다 해석변수에 대한 고려를 해야함

○ 따라서 모델의 크기, 형태, 진행속도, 진행방향에 따라 변수를 설정하고 해석을 진행함

<Up Loader 공정>

	공정
1단계	Up Loader 상승
2단계	Up Loader와 Rebar 접촉
3단계	Rebar 상승
4단계	Rebar 수평이동
5단계	정지

2) 해석변수

○ 해석에 대한 변수ㄹ는 아래와 같음

○ 실제 해석은 Type-1부터 Type-4까지 순차적으로 진행되었음

○ 해석의 진행됨에 따라 검증사항에 대해서 반영하여 해석을 진행하였음

○ 해석의 변수 적용시 다른 해석변수를 적용하지 않음으로써 해석의 변수의 영향에 대해서 확실히 관찰할 수 있도록 하였음

<해석 변수>

	Rebar (EA)	Basket Angle (°)	Up Loader Velocity (m/sec)
Type-1	4	130	2
Type-2	8	130	1
Type-3	5	45	1
Type-4	5	45	2

3) 해석결과

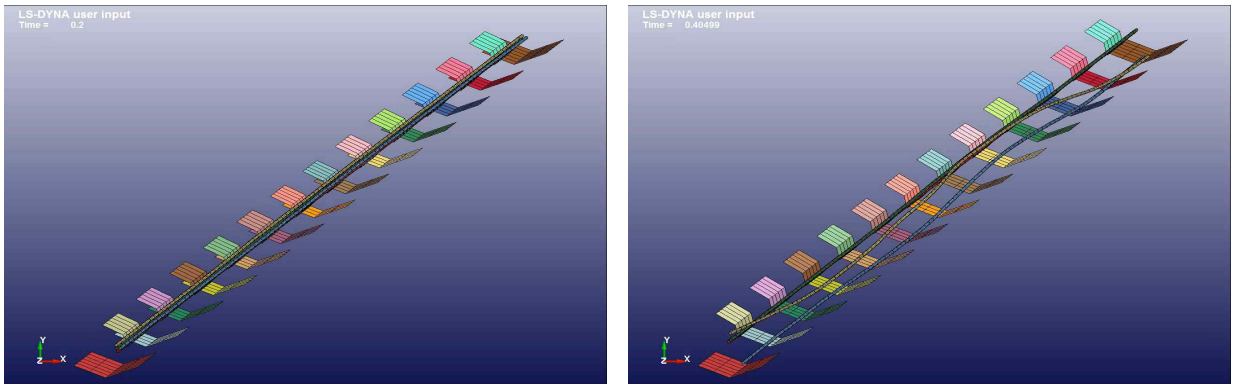
가) Type-1

○ 업로더가 수평으로 이동할 때 철근이 떨어지는 것을 관찰할 수 있음

○ 철근의 처짐량이 매우 작은 질량의 물체와 같이 크다는 것을 볼 수 있음

○ 이러한 철근의 거동은 구조해석 결과 그 타당성에 대해서는 입증되었음

○ 설계상의 변수를 벼완하기 위해 업로딩 장치의 홀딩부의 치수를 변경하였음



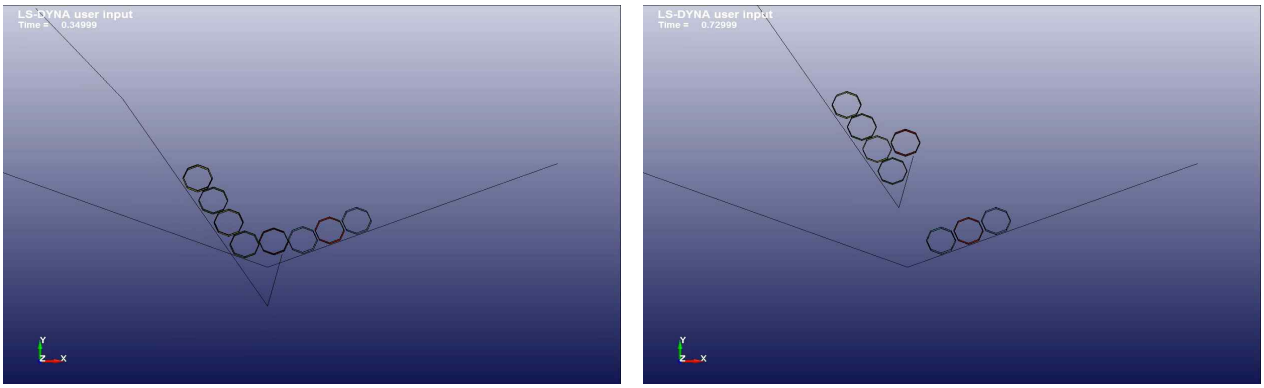
(a) 0.20 Sec (b) 0.40 Sec

<Type 1 해석결과>

나) Type-2

○ 본 해석에서는 철근의 양을 8개로 늘려서 해석을 진행하였다.

○ 해석결과 Basket의 철근이 아래로 이동하지 않고 정지되어 있는 것을 관찰 할 수 있었다.



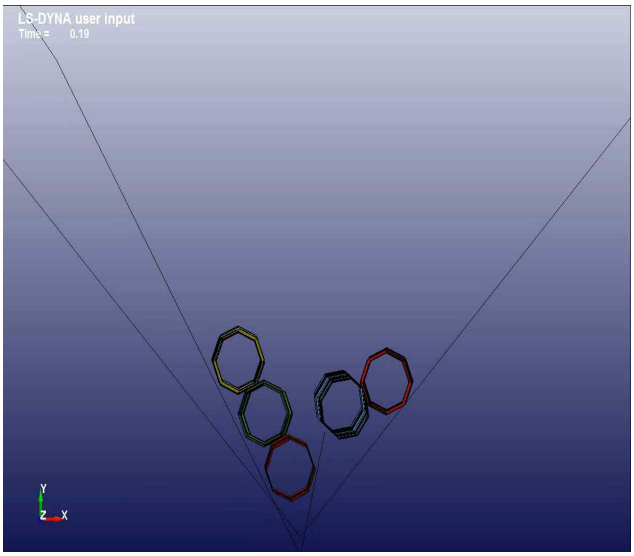
(a) 0.35 Sec (b) 0.72 Sec

<Type 2 해석결과>

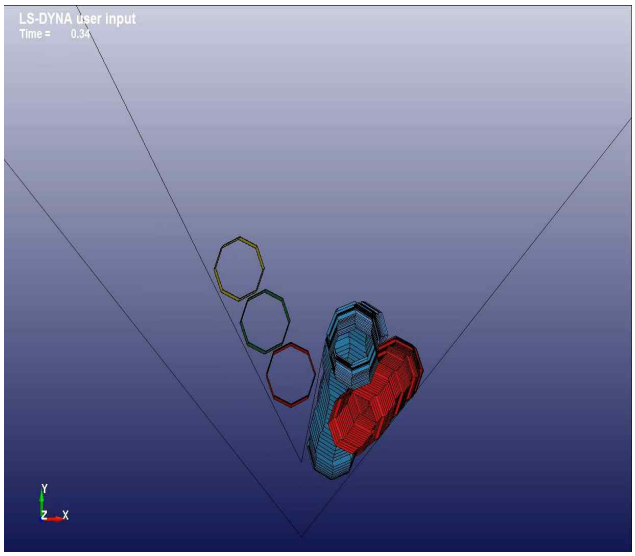
다) Type-3

○ Type2에서 Basket의 철근이 이동되지 않는 문제를 해결하기 위해 Basket의 각도를 45°로 좁혔다.

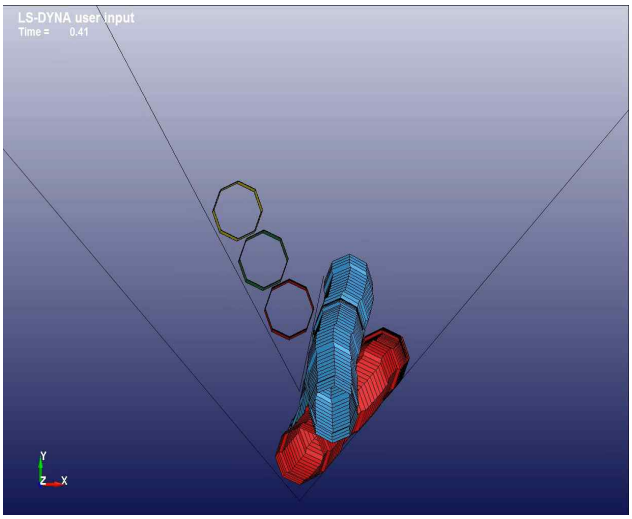
○ 그 결과 아래의 그림과 같이 철근의 꼬임이 발생되는 것을 확인 할 수 있었다.



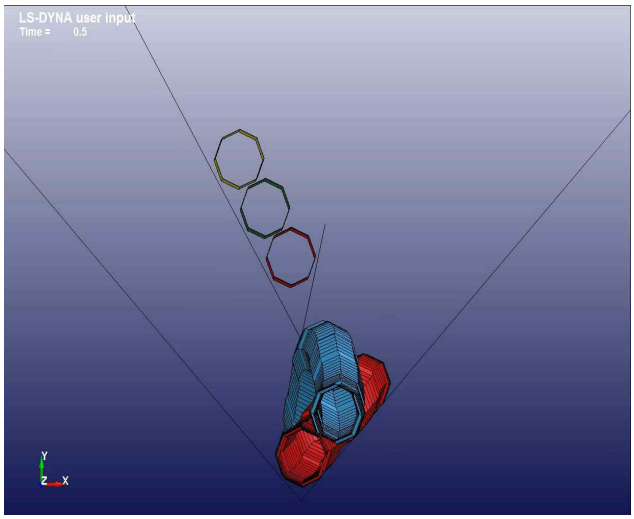
(a) 0.19 Sec



(b) 0.34 Sec



(c) 0.41 Sec



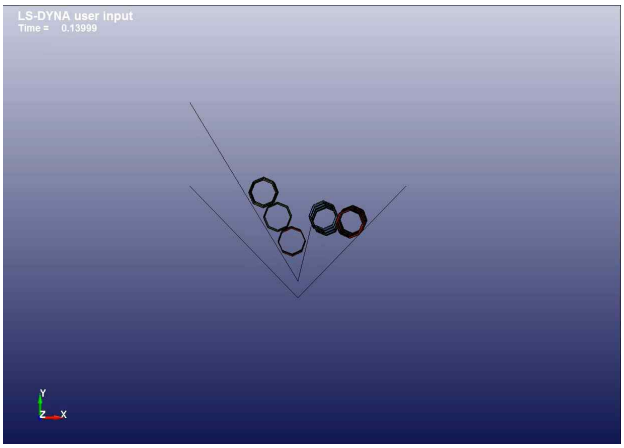
(d) 0.5 Sec

<Type 3 해석결과>

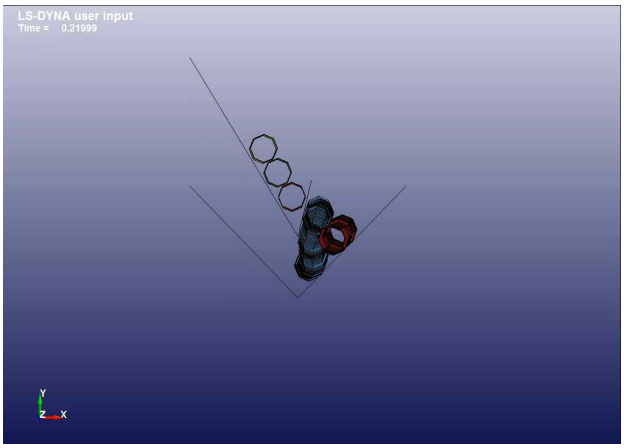
라) Type-4

○ 철근의 꼬임을 해결하는 방법으로 업로딩 속도를 두배로 늘려서 해석을 진행하였다.

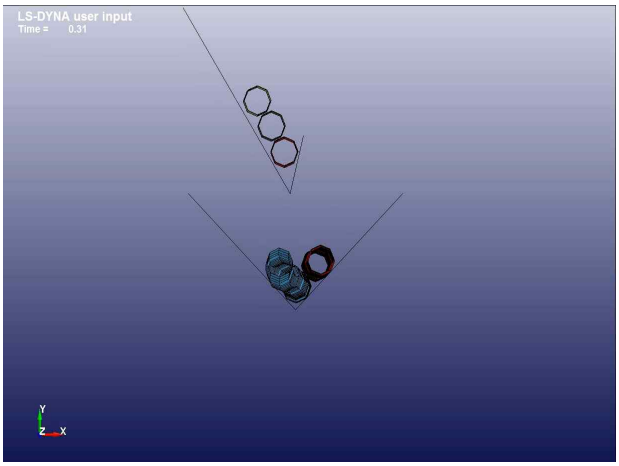
○ 그 결과 철근의 꼬임은 어느 정도 해결될 수 있는 것으로 나타났다.



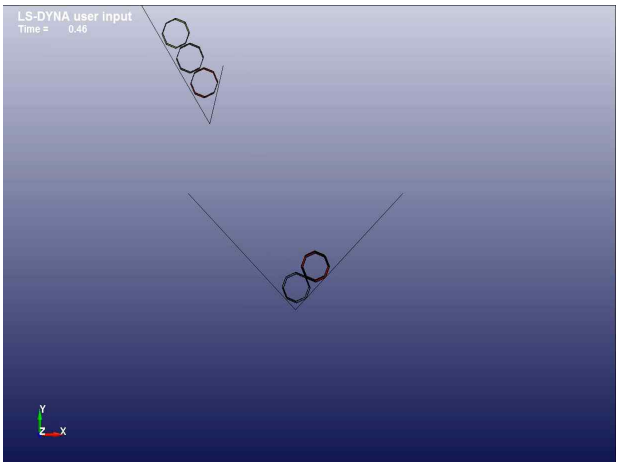
(a) 0.14 Sec



(b) 0.22 Sec



(c) 0.31 Sec



(d) 0.46 Sec

<Type 4 해석결과>

(바) 해석분석

○ 해석을 통해서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

○ Implicit와 Explicit의 처짐량의 차이가 크지 않는 것으로 보아 철근의 거동상태에 대해서는 어느 정도 타당성을 가질 수 있다.

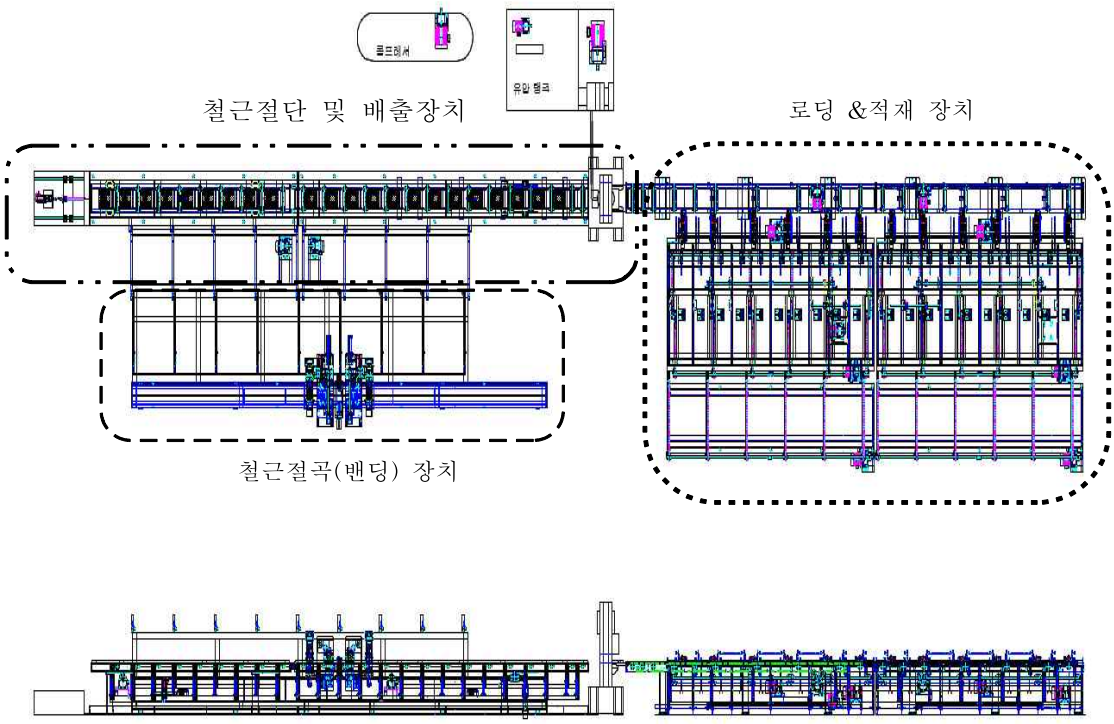
○ 철근의 높은 세장비는 일반적인 해석예측과는 다르게 낮은 질량의 물체의 거동과 유사하게 나타난다.

○ Basket의 각도는 130° 보다 낮은 각도가 되어야 철근공급에 이상이 없을 것으로 예상된다.

○ 철근의 업로딩의 속도와 철근의 꼬임에는 상관관계가 발생할 수 있다.

나. 통합형 철근 가공시스템 메커니즘 개발 및 설계

(1) 전체 시스템



○ 철근가공시스템의 구성은 크게 철근계단식로딩&적재장치, 철근이송 및 절단장치, 철근절곡(밴딩)장치로 크게 세부분으로 나누어진다.

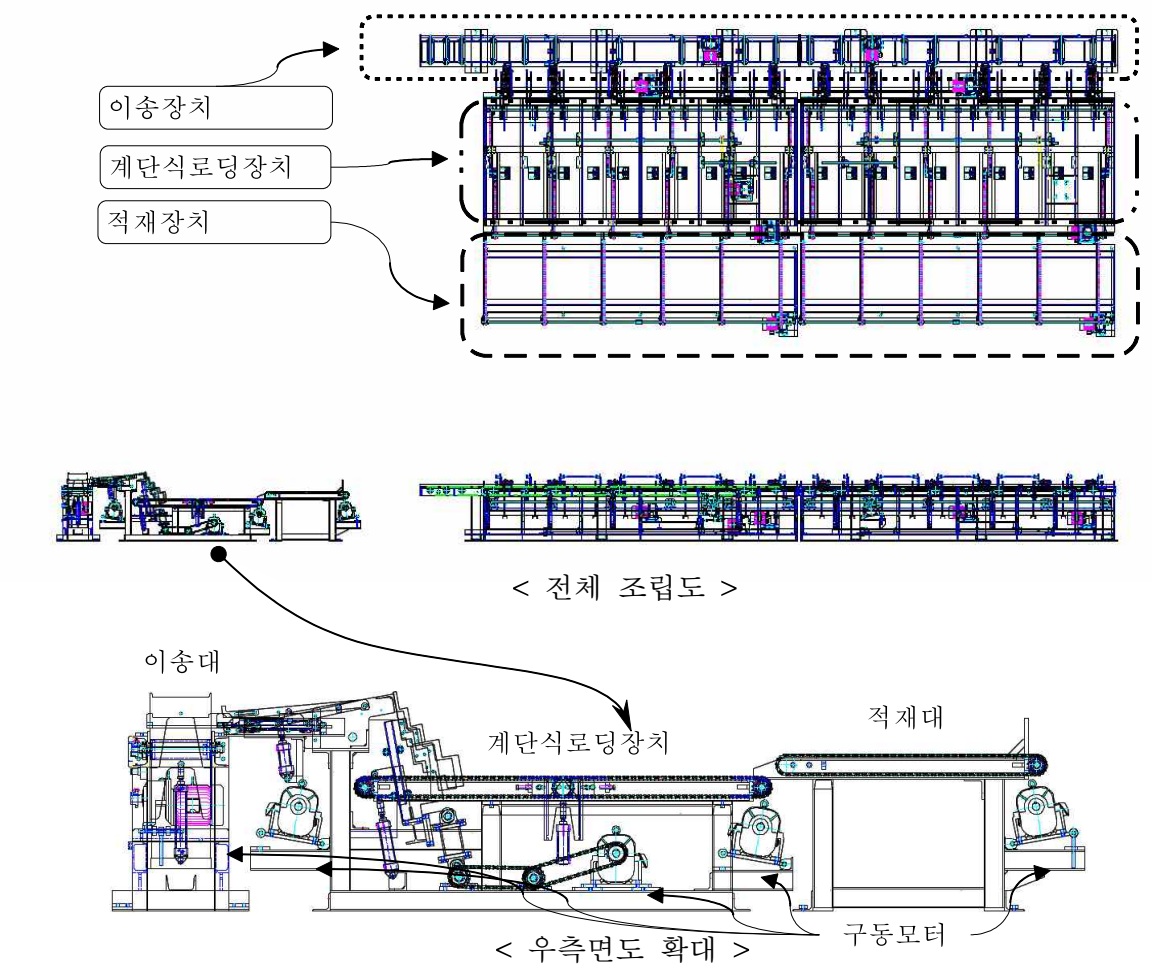
- 철근계단식로딩&적재장치는 적재대, 계단식 로딩장치, 철근이송장치로 구성되며, 적재대는 작업초기 사용될 철근이 적재되어 있는 장치로 철근을 자동 로딩하기위해 철근을 대기시키는 부분이며, 계단식 로딩장치는 필요 개수에 맞게 하나씩 이송대로 로딩시켜주는 장치이며 이송장치는 로딩된 철근을 받아 철근 절단의 위치로 이송시켜주는 역할을 한다.

- 철근절단 및 배출장치는 철근을 지시된 길이로 절단 및 지정된 위치로 배출하는 장치이며, 절단(커팅)장치, 철근배출장치, 철근컨베이어로 구성된다.

- 철근절곡(밴딩)장치는 철근 가공장치로써 목적에 맞게 철근을 절곡하는 장치로 적재대, 로딩장치, 클램핑장치, 밴딩헤드로 구성된다.

(2) 철근계단식로딩&적재장치

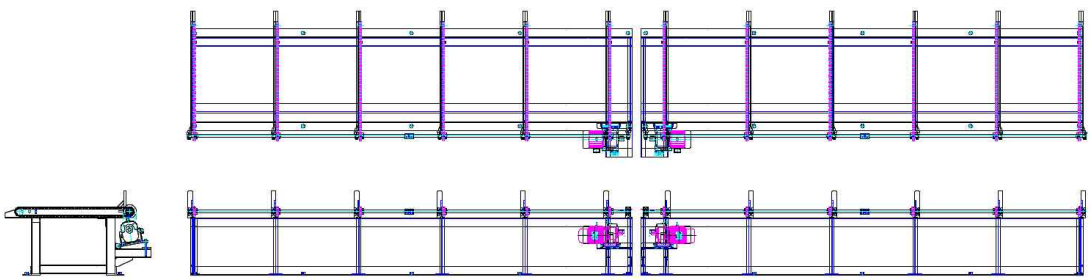
철근계단식로딩&적재장치는 철근적재장치, 철근계단식로딩장치, 철근이송장치로 구성된다. 위 장치의 목적은 종래에 수작업으로 이루어지던 철근 운반 작업을 필요수량에 따라 자동으로 공급하기 위함이다.



< 전체 조립도 >

< 우측면도 확대 >

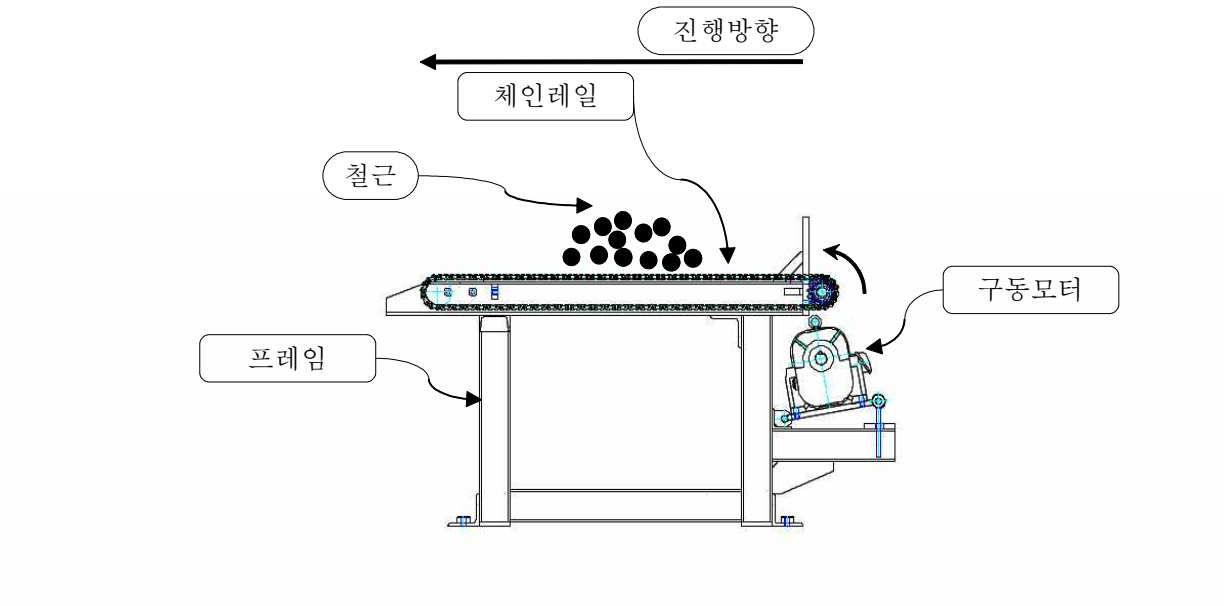
(가) 철근적재장치



< 철근적재장치 >

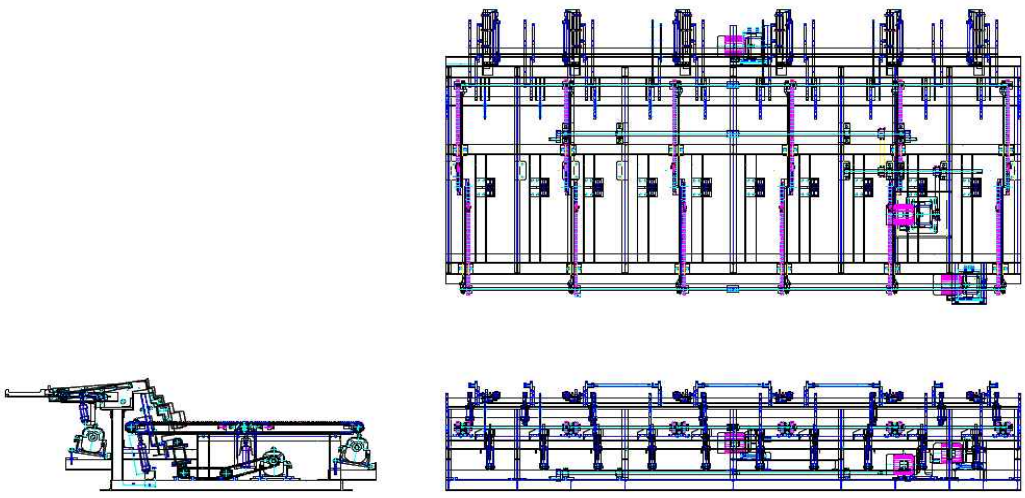
철근적재장치는 전체길이가 약 10m이며, 제작 편의성을 위해 2개로 분할한 용접구조물로 만든다. 적재장치의 상단 프레임은 표준롤러체인을 이용한 무한궤도의 컨베이어형식을 적용한다.

적재대에 올려진 철근을 모터구동을 통해 철근을 조금은 진행방향으로 전진 시켜 계단식 로딩장치 체인레일쪽으로 배출 시킨다. 형태와 방식은 아래 그림과 같다.



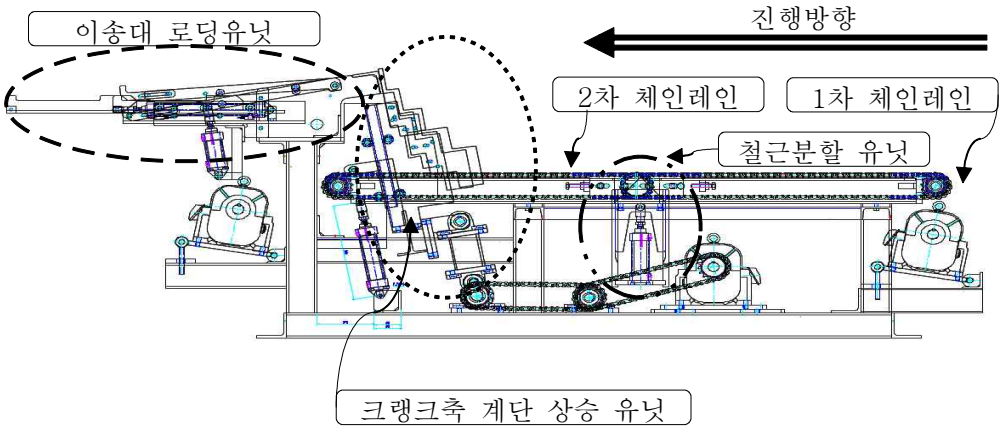
< 철근적재장치 개념도 >

(나) 계단식 로딩장치



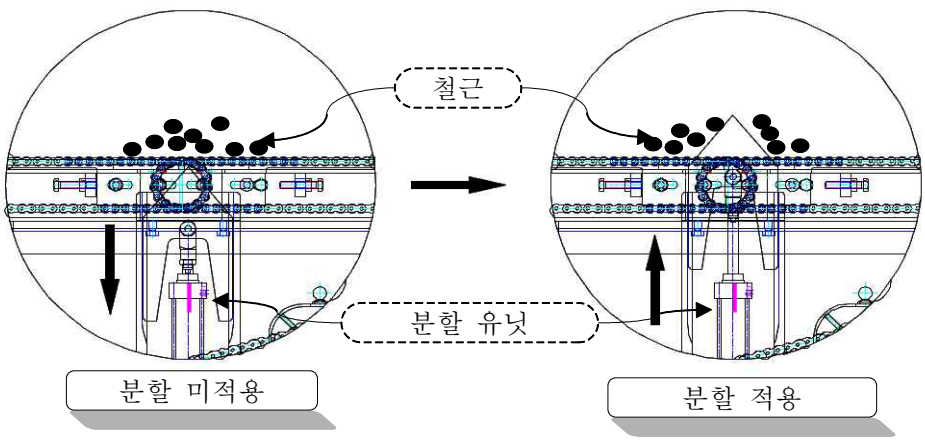
계단식 로딩장치는 아래그림과 같이 프레임, 체인레일, 철근분할 유닛, 크랭크축 계단 상승 유닛, 이송대 로딩유닛으로 구성된다. 전체 길이는 적재대와 동일한 10m로 제작되며, 제작 및 배송의 용이성을 위해 5m로 분할 구조로 제작된다.

철근이 묶음단위로 운반시 엉킴 및 꼬임현상이 발생되며, 그 현상을 해결하고자 1, 2차 체일레일로 제작되며, 각각 체인레일은 개별 구동 시키므로써 동방향 및 역방향이송이 작동시킨다. 또한 삼각형 플레이트를 수직 상,하강 시킬 수 있는 철근분할 유닛을 장착한다. 그리고 크랭크축 계단 상승 유닛으로 철근을 정렬시켜 이송대로 운반한다. 형상은 아래 그림과 같다.



1, 2차 체인레일의 형상은 위 그림에서 확인할 수 있으며, 주 목적은 철근이송이고 부수적으로 개별 구동을 줌으로써 엉킴 또는 꼬임 현상을 완화시켜 줄 수 있다.

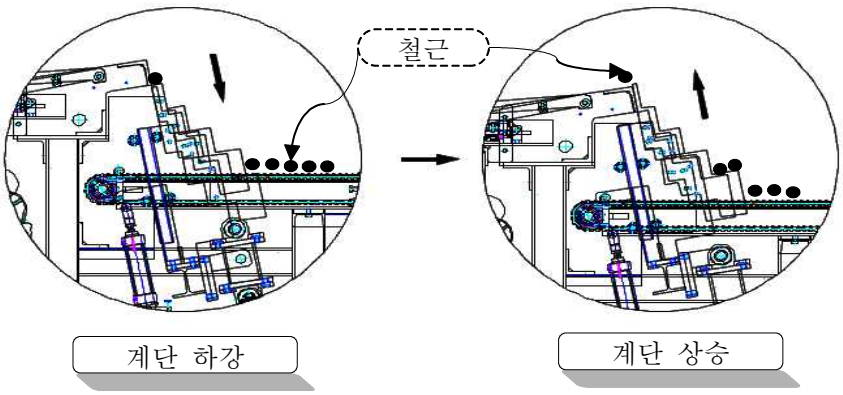
철근분할 유닛은 철근의 엉킴 또는 꼬임 현상을 해결하는데 있어서 직접적으로 뭉쳐진 철근에 적용된다. 형상은 아래 그림과 같다.



<철근 분할 유닛>

계단식 로딩장치는 이송대로의 철근의 공급을 자동으로 정해진 수량에 맞게 공급하기 위한 장치로서 계단 구조로 제작된다. 계단 하층에서 상층부로 올라 갈수로 계단의 폭이 점차 좁아져 위로 올라 갈수 있는 수량에 제약을 줌으로써 최상층에서는 한 개의 철근만 올라가게 된다. 올라간 철근의 개수는 센서를 통해 카운터 시키고 목표수량에 도달하면 계단식 크랭크 장치는 정지하게 된다.

그 형상 및 작동방식은 아래 그림과 같다.

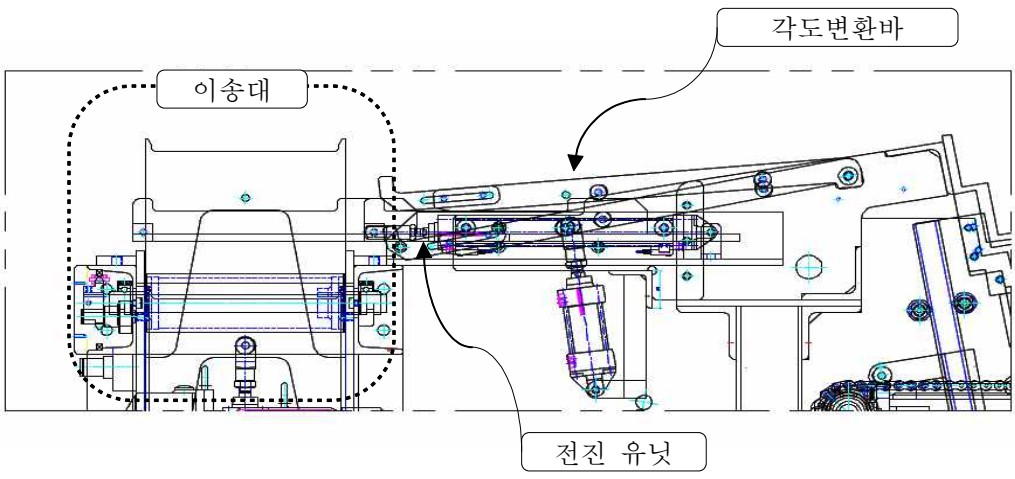


< 계단식 로딩장치 >

이송대 로딩유닛은 계단식 로딩유닛에서 투입된 철근의 정렬 및 이송대로 정렬된 철근을 투입시켜주는 장치이다. 각도변환바, 전진유닛으로 구성된다.

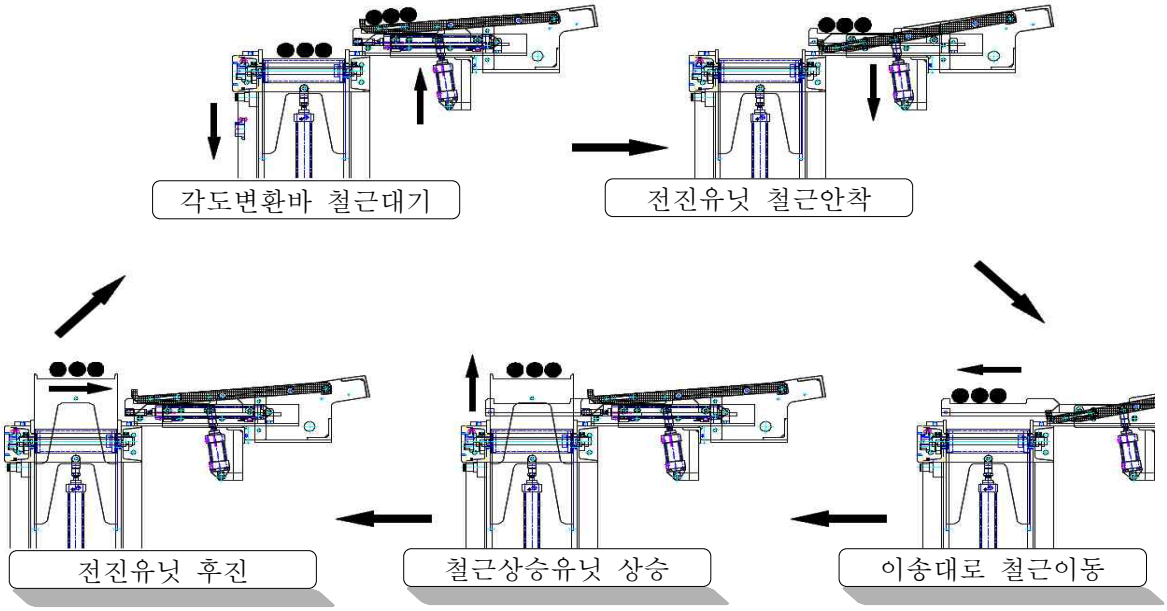
계단식 로딩유닛에서 넘어온 철근이 곧바로 이송대로 투입될 경우 뒤엉킬 경우가 생길 수 있다. 이런한 현상을 해결하는 목적으로 위 유닛을 적용한다.

형상은 아래 그림과 같다.



< 이송대 로딩유닛 >

다음그림은 이송대 로딩유닛의 작동 순서을 나타낸다.



< 송대 로딩유닛의 작동 순서 >

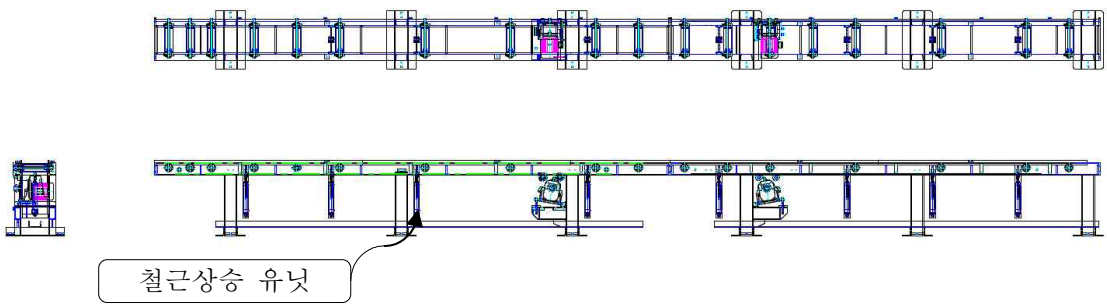
(다) 철근이송장치

철근이송장치(이송대)는 종래의 이송대 방식에서 계단로딩 장치의 이송대 로딩 유닛이 적용될 수 있도록 철근상승 유닛을 적용한 형태이다.

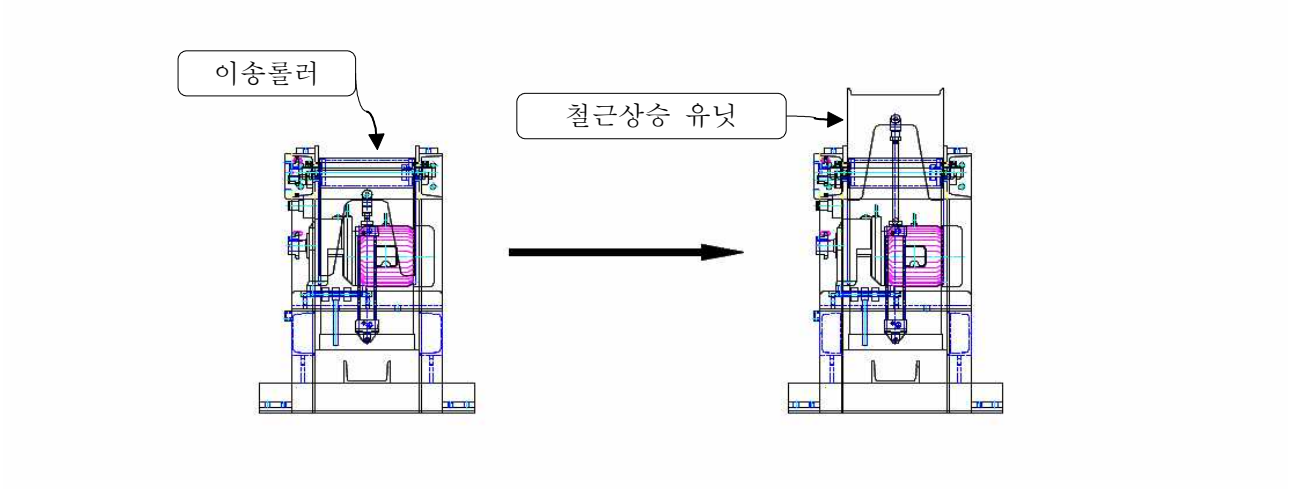
전체 길이는 약 11m이며, 6m와 5m로 2대가 1SET로 제작된다. 상황에 따라 연결부를 띄울 경우 12m까지 적용 가능하도록 한다.

앞서 계단로딩 장치의 이송대 로딩 유닛에서 설명했듯이 정렬된 철근을 이송대로 투입하기 위해 철근상승 유닛이 이송대 로딩 유닛과 연계하여 정렬된 철근을 공급한다.

형상은 아래 그림과 같다. 이송방식은 종래와 같은 방식의 롤러를 사용하고 있다.

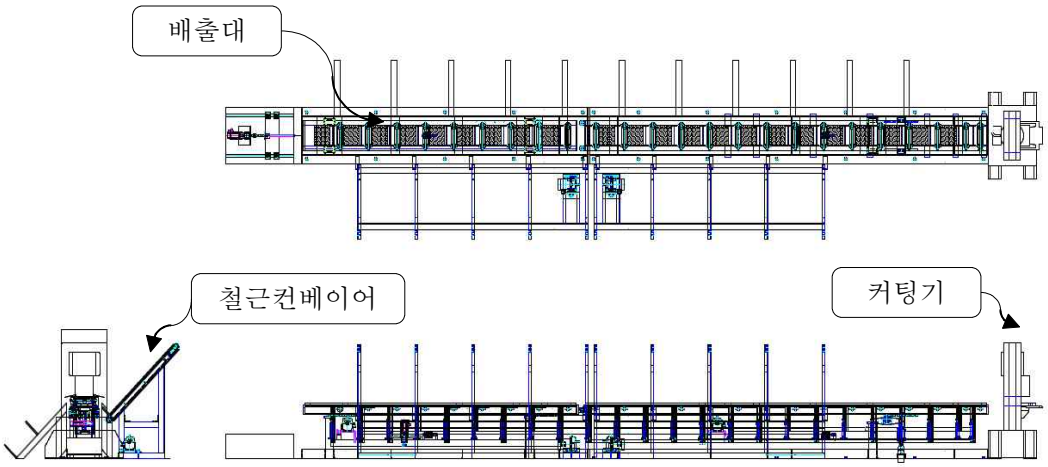


< 철근이송장치 >



< 철근이송장치 측면도>

(3) 철근절단 및 배출장치



< 철근절단 및 배출장치 >

철근 절단 및 배출장치는 크게 커팅기. 배출대, 철근컨베이어로 구성된다.

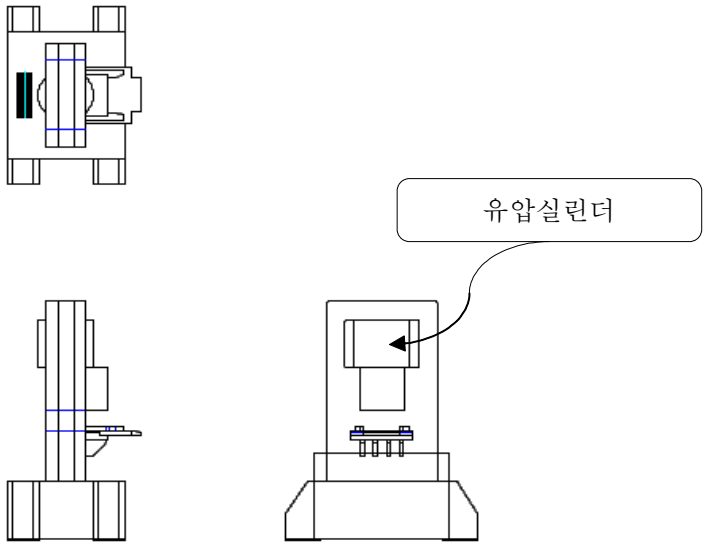
현재 건설 현장에 사용되는 철근의 강종은 SD400에서 SD500, SD600으로 전환되고 있다. 강종이 증가함에 따라 철근의 강도가 높아지므로 커팅기의 내구성이 증가하여야 한다. 따라서 커팅기는 예전 기어방식이 아닌 유압실린더 방식으로 적용한다.

실제 건설현장에서 사용되는 철근의 형상은 절곡가공된 철근도 사용되지만 단순 길이로 절단된 철근도 많이 이용된다. 따라서 배출대를 양방향 배출이 가능한 구조를 적용하여 단순 절단 작업 및 절곡 작업이 필요한 철근을 구분하여 배출한다.

철근컨베이어는 절곡이 필요한 철근을 철근밴딩기로 투입하는 과정에서 높이차가 존재하므로 자동으로 공급이 원활이 이루어지도록 하는 장치이다.

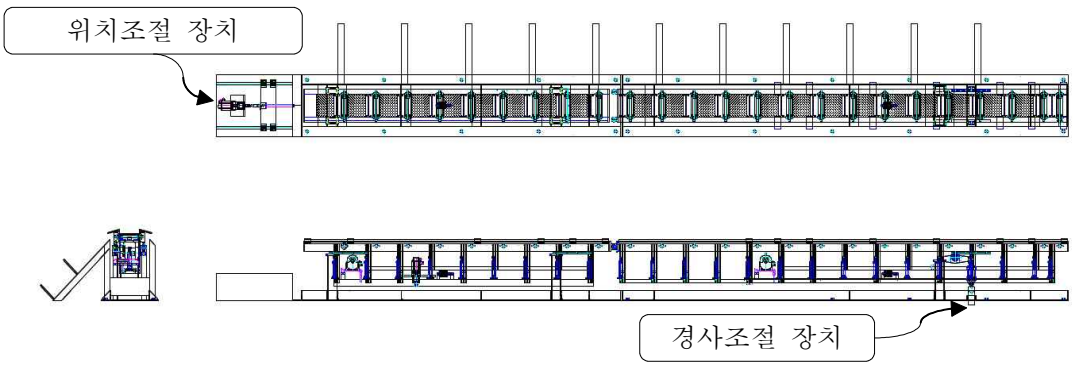
(가) 절단장치

절단장치는 종래의 기어구동방식에서 유압실린더 방식으로 적용한다. 강종의 변화에 따른 철근의 강도 증가에 따라 내구성이 요구되고 있다. 유지보수가 용이한 커팅칼의 경우는 실제사용되는 제품과 같다.



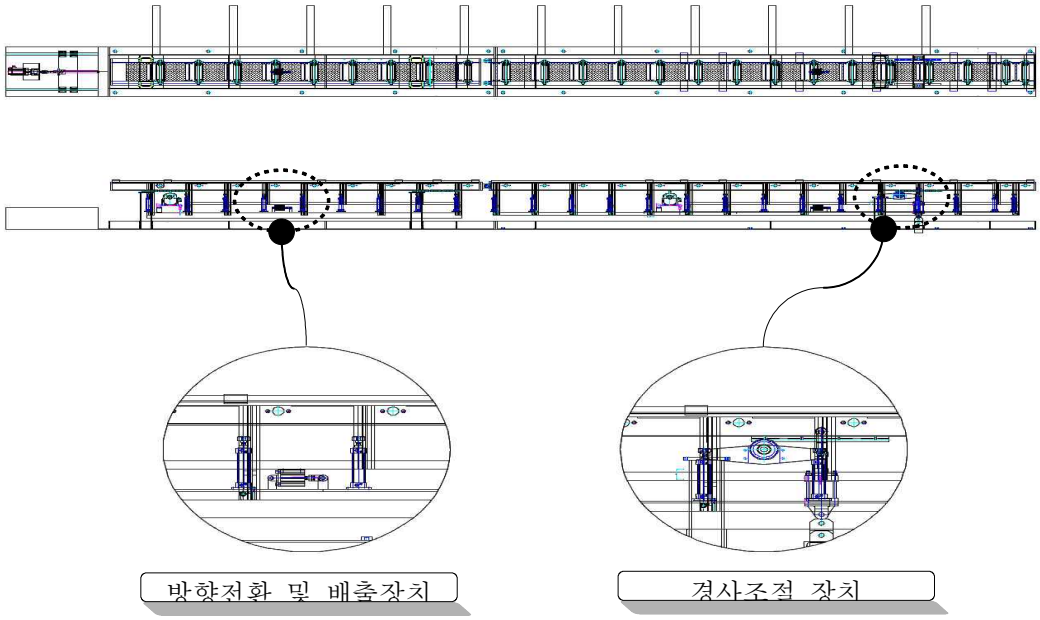
< 절단장치 >

(나) 철근배출장치



< 철근배출장치 >

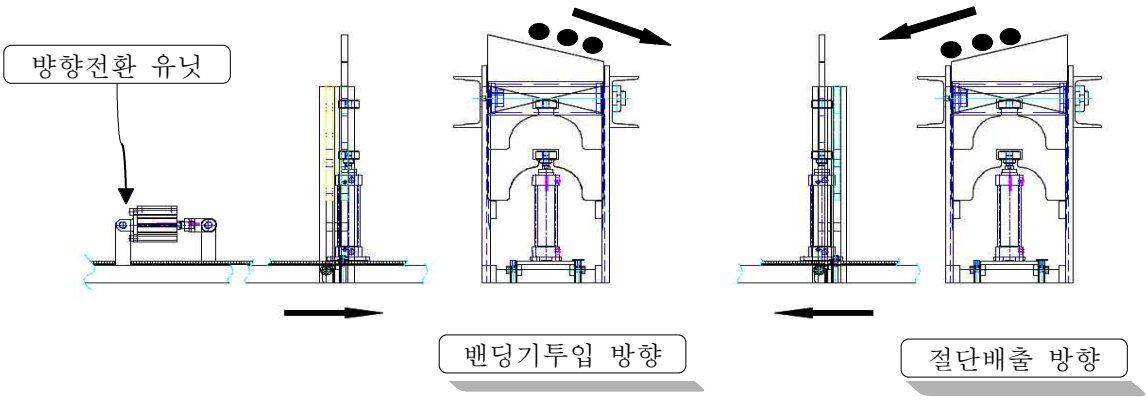
철근배출장치는 절단된 철근을 지정된 위치로 배출 시키는 장치이며 배출장치, 배출방향변환 장치, 경사조절장치 등으로 구성된다. 총길이는 약 13m로 제작되며 절단시 철근 휨등을 방지하기 위해 경사조절장치를 적용한다. 또한 철근절단 길이를 위치조절 장치를 두며 서모모터로 작동된다. 그리고 배출장치의 배출판은 배출역활과 스토퍼역활을 병행한다.



< 철근배출장치 확대도면 >

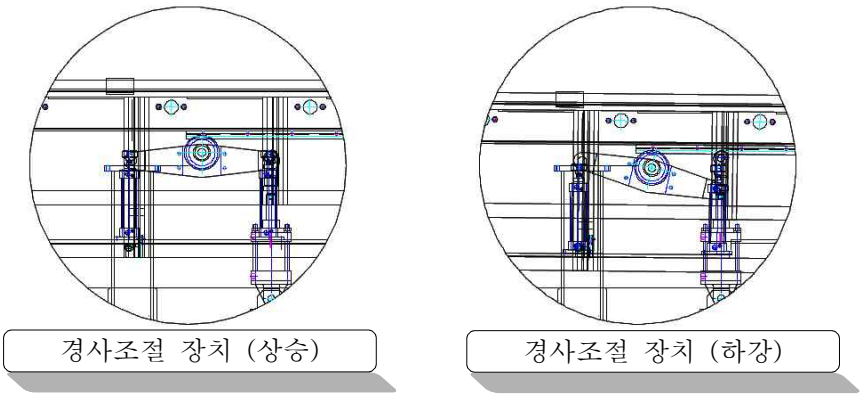
위 그림과 같이 방향전환 장치 및 배출장치, 경사조절 장치의 위치등을 확인할 수 있다. 오른쪽에 절단장치가 설치되며, 진행방향은 우에서 좌로 철근이 흘러 간다.

방향전환 및 배출장치는 별개의 장치로 존재하지만 상호 연계하여 작동된다. 구조는 아래 그림과 같다.



< 철근배출장치의 방향전환>

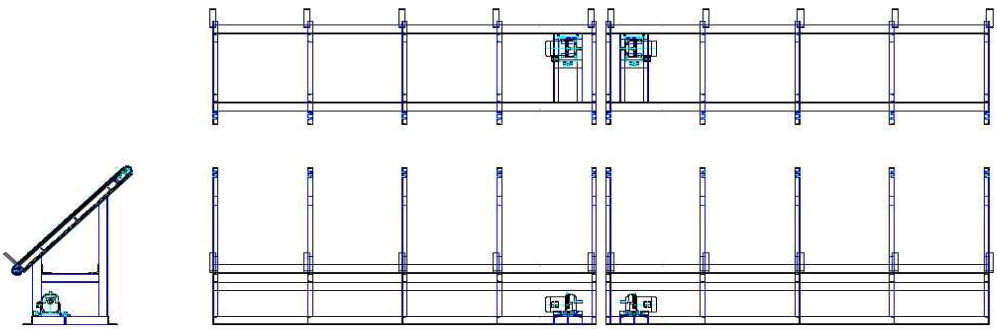
경사조절 장치는 절단장치에서 철근을 절단시 커팅칼 진행방향으로 경사를 줌으로써 절단시 발생될수 있는 철근 끝단 휨 발생을 완화시키는 장치로 지렛대 원리를 적용하여 제작한다. 형상은 아래 그림과 같다.



< 경사조절 장치 >

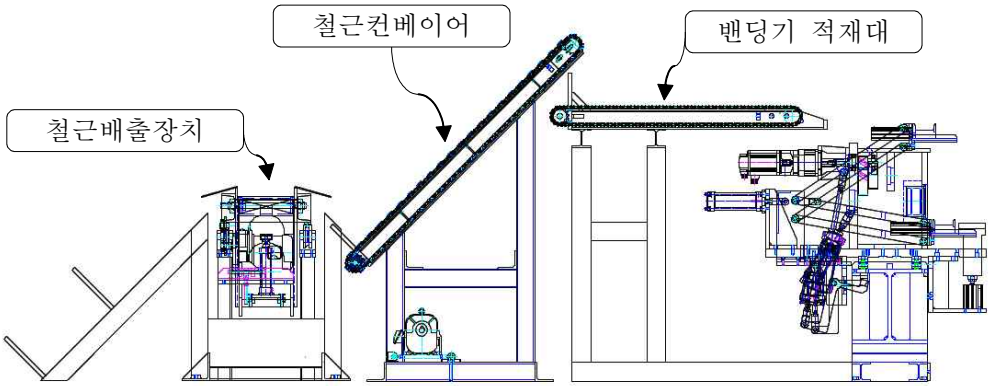
절단장치는 위 그림의 우측에 존재하며, 좌측 회전링크를 기준으로 회전하게 되어 절단시 경사조절을 한다.

(다) 철근컨베이어장치



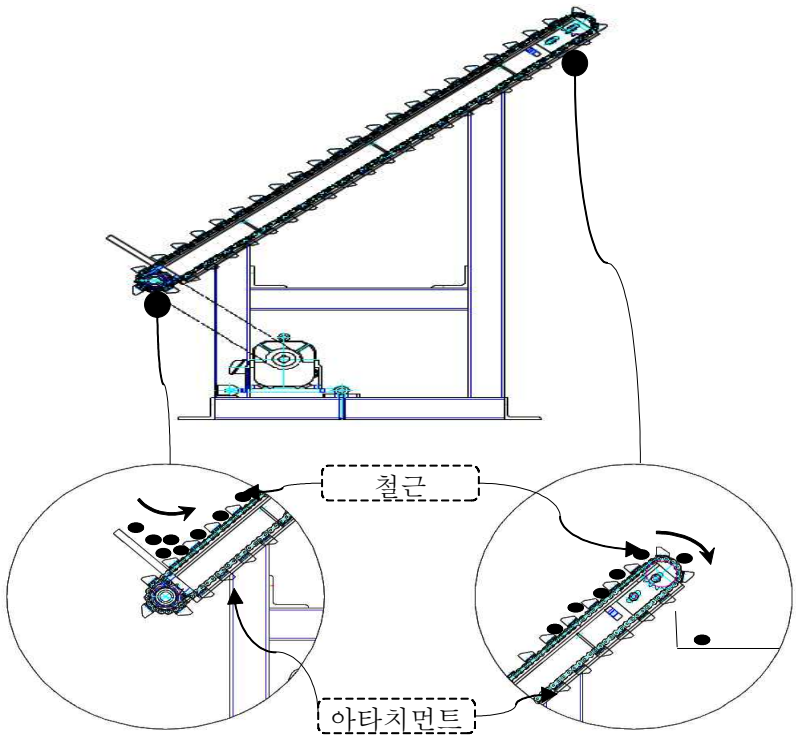
< 철근컨베이어장치 >

철근컨베이어장치는 철근배출장치에서 밴딩기 방향으로 배출된 철근을 철근밴딩기 적재대로 운반하는 역할을 한다. 총기장은 8m로 제작되고, 제작 및 운반의 용이성을 위해 각 4m씩 분할 제작한다. 형상은 앞서 설명한 철근계단식로딩&적재장치의 철근적재 장치와 같은 구조로 체인레일의 각도만 상이하다.



< 철근컨베이어장치 사용위치 >

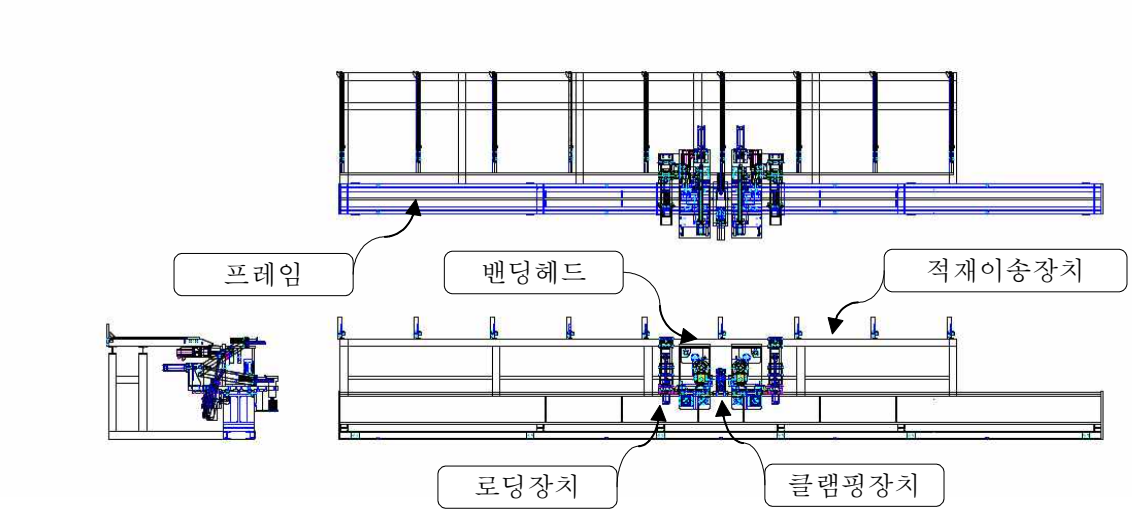
철근배출 장치와 밴딩기 간의 높이차로 인해 체인레일형식을 적용한다. 이에 사용되는 체인은 아타치먼트 체인이다. 이송방식을 다음 그림으로 간략히 설명한다.



<철근컨베이어장치의 체인레일형식>

아타치먼트 체인의 날개부에 아타치먼트 블록을 장착하여 철근을 소량을 이송하도록 제작한다. 앞서 설명한 철근계단식로딩&적재장치와 같이 철근의 헝클어짐을 최소화 하고자 한다.

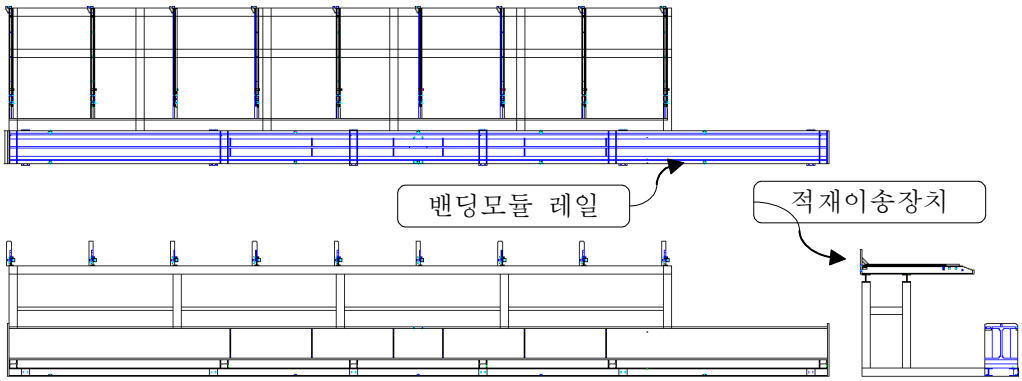
(4) 철근절곡장치



< 철근절곡장치 >

철근절곡(밴딩)장치는 건설의 기초가 되는 철근 골조를 만드는 장비로써 적재이송장치(적재대), 프레임(밴딩모듈 레일), 밴딩헤드, 철근로딩장치, 클램핑장치로 구성된다.

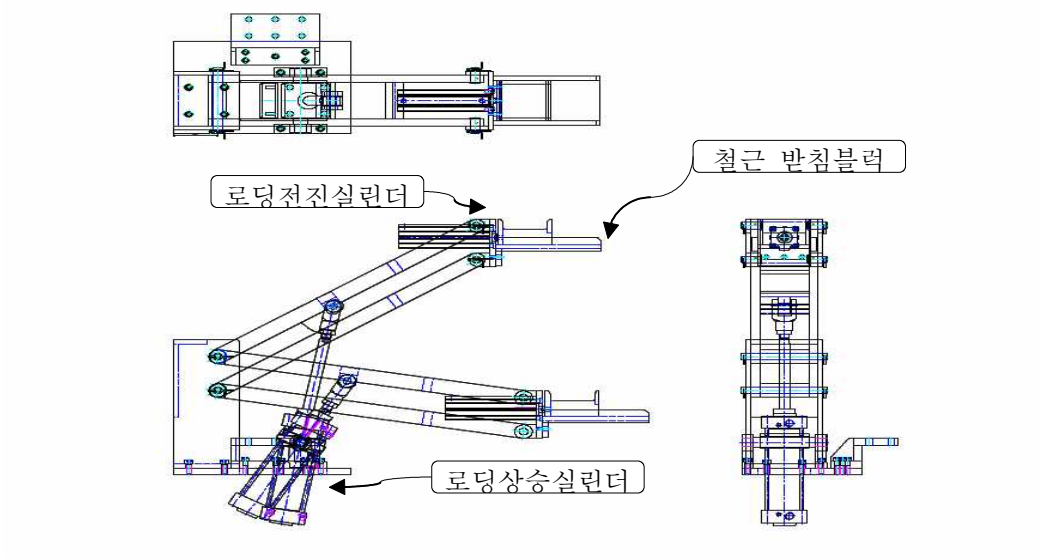
(가) 프레임 및 적재이송장치



< 프레임 및 적재이송장치 >

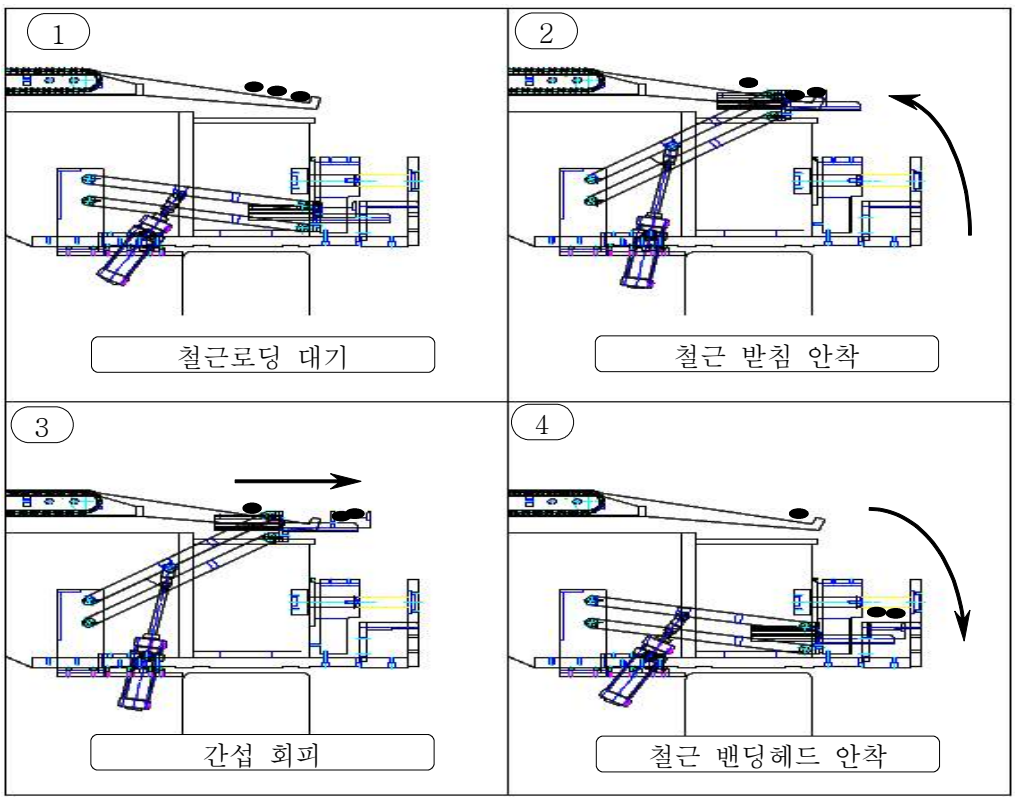
적재이송장치(적재대)와 프레임(밴딩모듈 레일)은 일체형 용접구조로 제작한다. 프레임(밴딩모듈 레일)의 경우 H빔 형강 표준형 10m를 그대로 사용하여, 분리가공 조립시 발생되던 조립오차는 없애고자 하였다. 적재이송장치(적재대) 앞서 설명한 적재장치와 동일한 구조이다.

(나) 철근로딩장치



< 밴딩부 철근로딩장치 >

철근로딩장치는 철근절곡장치의 적재이송장치로 이송되어 투입대기 되어 있는 철근을 밴딩헤드로 자동공급 시켜주는 장치이다. 4절 링크구조를 적용하여 철근 받침블럭은 위치이동에 따른 각도변화가 없도록 한다. 정확한 철근 로딩방식은 아래그림과 같다.



< 철근로딩 순서 >

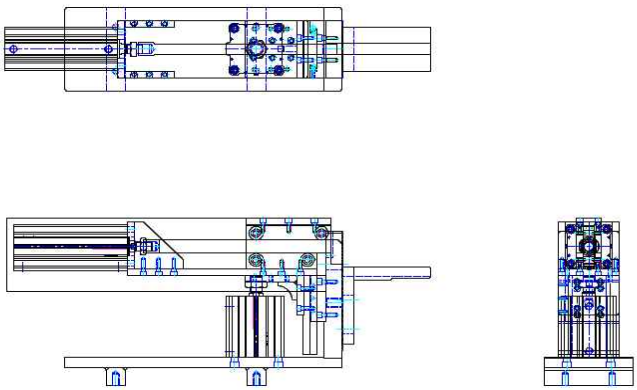
① 철근로딩대기 구간은 철근이 적재이송장치에서 대기Arm 으로 위치한 상태를 말한다. 철근로딩장치는 원위치에 있다.

② 철근받침안착 구간은 철근로딩상승 실린더를 동작하여 대기Arm에 존재하는 철근을 철근 받침 블록에 안착된 상태이다.

③ 간섭회피 구간은 철근받침블럭에 안착된 철근은 하강할 경우 대기Arm에서 간섭을 받기 때문에 로딩 전진 실린더를 사용하여 간섭구간을 피한 상태이다.

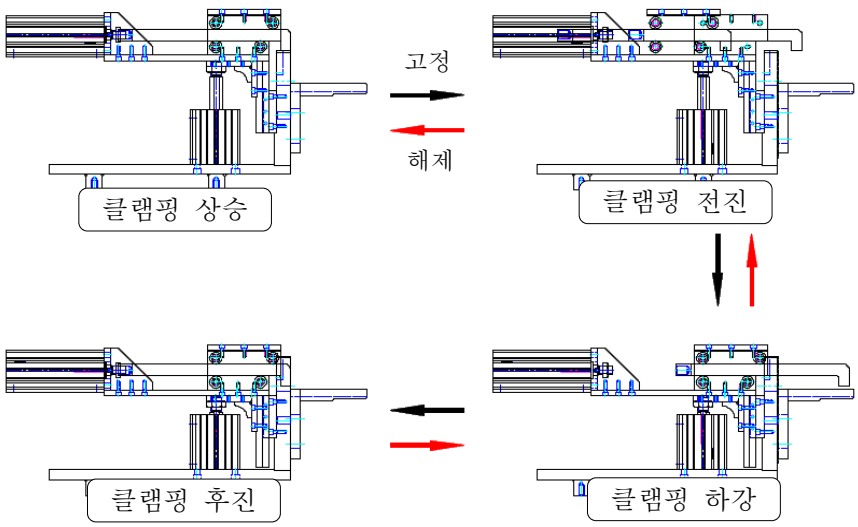
④ 철근 밴딩헤드 안착구간은 간섭을 피한 철근을 하강시켜 밴딩축에 안착된다.

(다) 클램핑장치



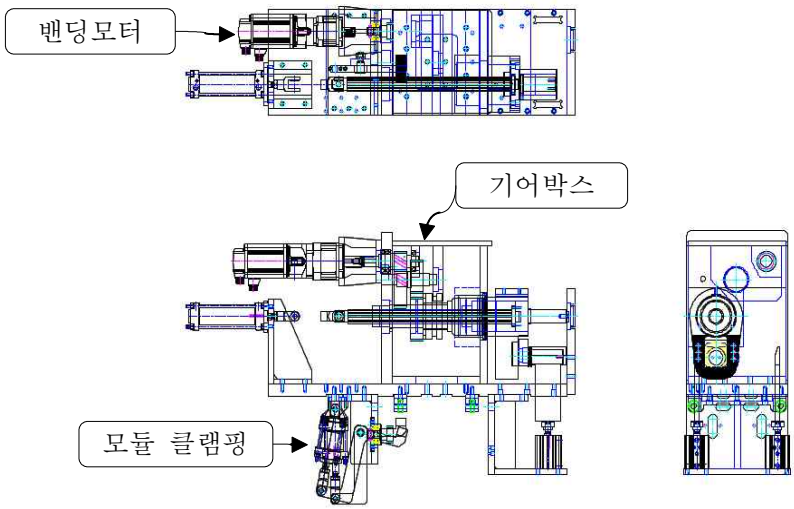
< 클램핑 장치 >

클램핑장치은 철근을 고정시켜 주는 장치로서 밴딩시 철근의 움직임을 최소화 시켜 준다. 단순 걸쇠 구조로 설계되었으면 작동방식은 간략히 그림으로 표현한다.



< 클램핑장치 작동방식 >

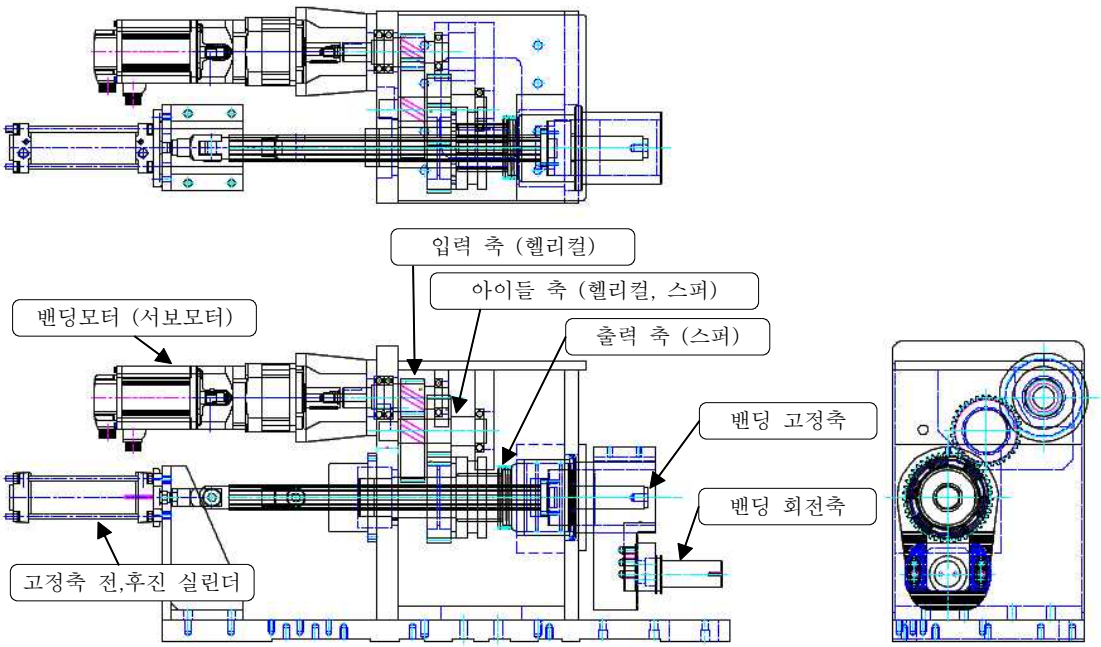
(라) 밴딩헤드



< 밴딩 헤드 >

밴딩헤드는 크게 밴딩기어박스, 모듈 클램핑(고정 장치)로 구성된다. 밴딩 헤드는 종래와 같은 방식으로 제작 하였으며, 위치제어를 위해 서보모터를 사용한다.

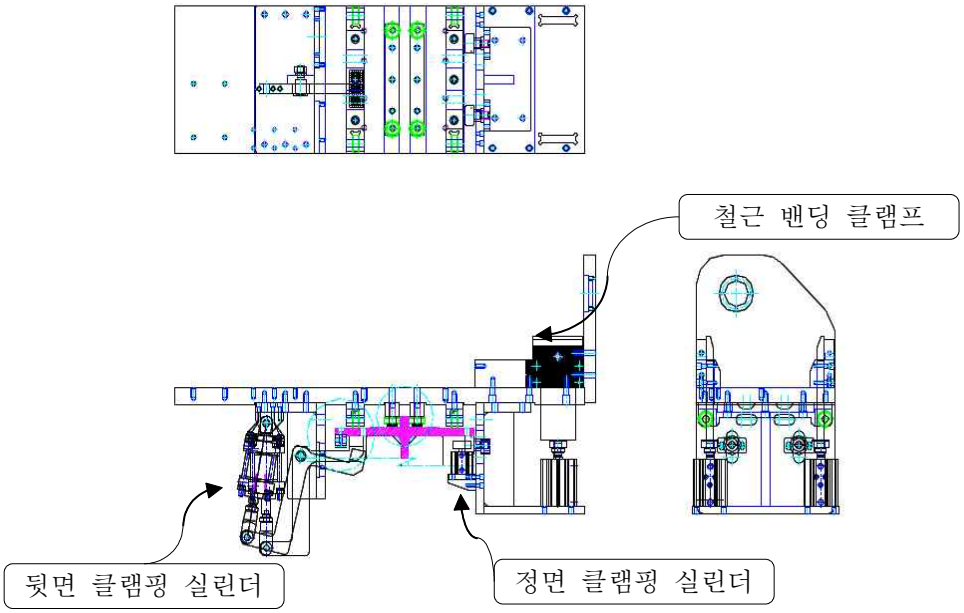
밴딩해드 기어박스 구조는 아래 그림과 같다.



< 밴딩해드 기어박스 구조 >

위 그림과 같이 밴딩헤드의 기어박스는 입력 축, 공회전 축, 출력 축으로 구분된다. 출력축은 중공축으로 제작되어 밴딩 고정 축에 내경에 슬라이드형식으로 IN, OUT 된다.

모듈 클램핑장치는 밴딩모듈(헤드)이 절곡 작업시 밴딩모듈을 고정 시켜주는 장치이다. 형상은 아래 그림과 같다.



< 밴딩 모듈 클램프 장치 >

모듈 클램프 장치는 그림과 같이 에어실린더를 사용한 Lock, UnLock기능만을 수행한다.

다. 수치제어기반 통합형 철근 가공시스템 제작

(1) 전체 시스템

o 철근가공시스템의 구성은 크게 철근계단식로딩&적재장치, 철근이송 및 절단장치, 철근절곡(밴딩)장치로 크게 세부분으로 나누어진다.



< 철근 가공 시스템 전체 사진 >

(2) 철근계단식로딩&적재장치

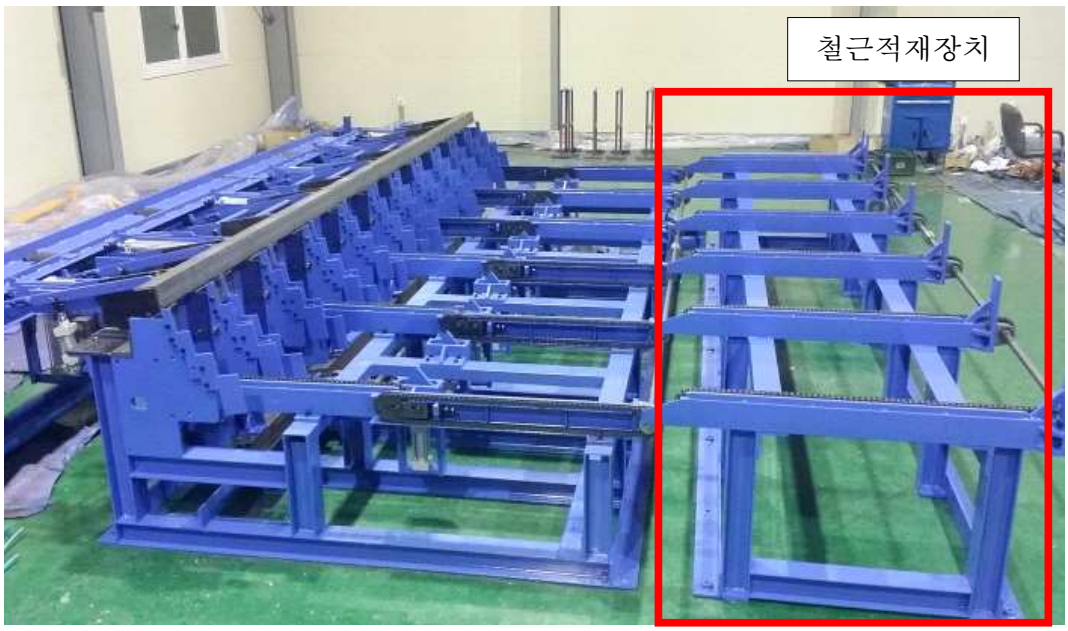
철근계단식로딩&적재장치는 철근적재장치, 철근계단식로딩장치, 철근이송장치로 구성된다.



< 철근계단식로딩&적재장치 사진 >

(가) 철근적재장치

o 철근적재장치는 1000x1300x11000 (단위mm) 크기로 제작되며, 양단 분리로 서로 대칭으로 제작하였다. 각 장치에 2마력 감속기 1/50 기어드 모터와 6개의 체인에 의해 적재된 철근을 이송한다.



< 철근적재장치 >

(나) 계단식 로딩장치

o 계단식 로딩장치는 아래그림과 같이 프레임, 체인레일, 철근분할 유닛, 크랭크축 계단상승 유닛, 이송대 로딩유닛으로 구성된다.



< 계단식 로딩장치 >

o 철근분할 유닛은 철근의 엉킴 또는 꼬임 현상을 해결하는데 있어서 직접적으로 뭉쳐진 철근에 적용된다. 흘러들어오는 철근을 주기적으로 양분해줌으로써 엉킨 철근을 펴주는 역할을 한다.



< 철근분할 유닛 >

o 계단식 로딩장치는 이송대로의 철근의 공급을 자동으로 정해진 수량에 맞게 공급하기 위한 장치로서 계단 구조로 제작된다.



o 이송대 로딩유닛 은 계단식 로딩유닛에서 투입된 철근의 정렬 및 이송대로 정렬된 철근을 투입시켜주는 장치이다. 각도변환바, 전진유닛으로 구성된다.



< 이송대 로딩유닛 >

(다) 철근이송장치

o 철근이송장치는 종래의 이송대 방식에서 계단로딩 장치의 이송대 로딩 유닛이 적용될 수 있도록 철근상승 유닛을 적용한 형태이다.



< 철근이송장치 사진 >

(3) 철근절단 및 배출장치

o 철근 절단 및 배출장치는 크게 커팅기. 배출대, 철근컨베이어로 구성된다.



< 철근절단 및 배출장치 >

(가) 절단장치

o 절단장치는 종래의 기어구동방식에서 유압실린더 방식을 사용하였다. 강종의 변화에 따른 철근의 강도가 증가하여 내구성이 강한 방식을 채택하였다.



< 절단장치 >

(나) 철근배출장치

o 철근배출장치는 절단된 철근을 지정된 위치로 배출 시키는 장치이며 배출장치, 배출 방향변환 장치, 경사조절장치 등으로 구성된다.



< 철근배출장치 >

(다) 철근컨베이어장치

o 철근컨베이어장치는 철근배출장치에서 밴딩기 방향으로 배출된 철근을 철근밴딩기 적재대로 운반하는 역할을 한다.



< 철근컨베이어장치 >

(4) 철근절곡장치

o 철근절곡(밴딩)장치는 건설의 기초가 되는 철근 골조를 만드는 장비로써 적재이송장치(적재대), 프레임(밴딩모듈 레일), 밴딩헤드, 철근로딩장치, 클램핑장치로 구성된다.

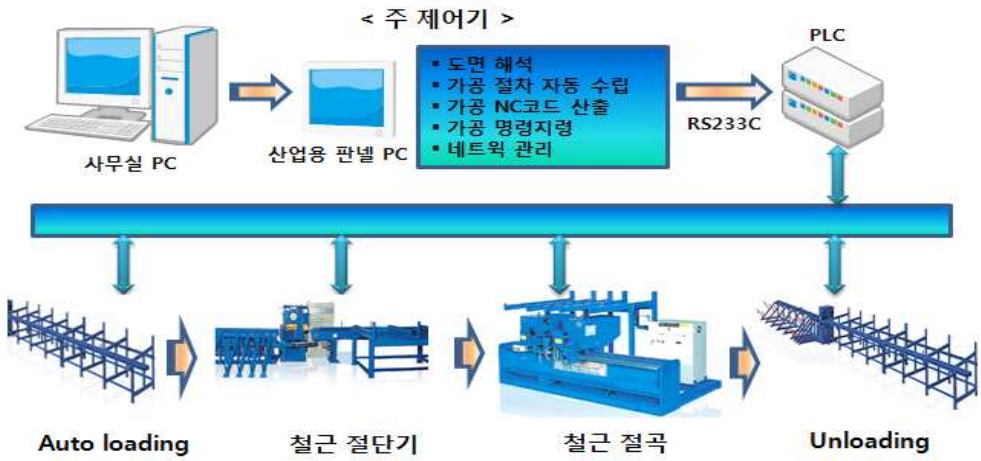


라. 수치제어기반 통합형 철근 가공시스템 제어기 개발

(1) 제어시스템

o 제어시스템은 주제어기로 산업용 PC를 사용하였으며, 주제어기에서 도면해석 가공절차 수립, 가공 NC코드 산출 가공명령지령을 내리면 RS232 통신을 통해 제어용컨트롤러인 PLC로 가공명령이 전달된다. 전달된 가공명령에 따라 PLC는 각각의 엑츄에이터에 구동 명령을 내리고 그 상태를 피드백 받아 주제어기인 PC로 정보를 전달한다.

o 시스템 제어를 위해 절곡부와 이송배출부는 서보모터를 이용하여 구동하며 벤딩기의 벤딩모듈 이송축인 X,Y축 이송을 위해 서보2축을 사용하였고 절곡을 위한 A,B축의 회전도 서보 모터를 이용하여 정밀한 제어를 할 수 있게 했다. 이송배출부의 위치제어도 서보모터를 사용하여 정밀제어가 가능하게 했다. 다음은 제어시스템의 전체 구성을 나타낸다.



< 제어시스템 구성 >

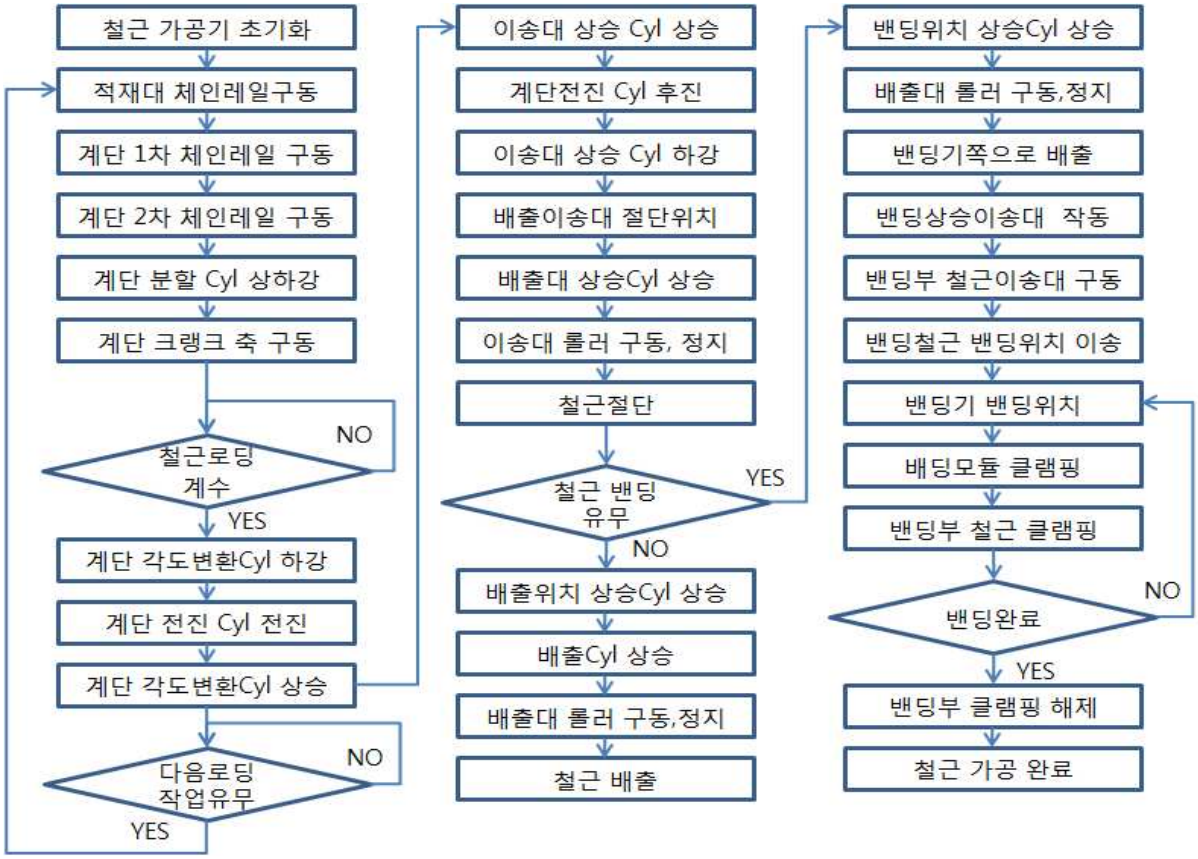
o 아래그림은 절수치제어기반 통합형 철근 가공시스템 제어 시스템을 나타낸다.



< 제어시스템 전기제어장치 >

(2) 수치제어

o 다음은 자동로딩 이송, 절단 이송 및 절곡 배출공정이 가능한 수치제어기반 통합형 철근 가공시스템 시퀀스를 나타낸다.



(3) RS232통신

o 비동기 통신과 동기 통신

RS232C 통신은 비동기 프로토콜을 사용하는 통신 방식을 의미한다. 비동기 프로토콜은 클록 신호를 갖지 않는 인터페이스 방식이다. 그 대신 각 컴퓨터는 타이밍의 기준으로 각자의 클록을 사용한다. 각 컴퓨터는 서로 동일한 클록 주파수를 사용해야 하며, 서로의 클록 주파수 오차는 몇 %이내이어야 한다. 전송된 시작 비트를 이용해 송신과 수신 측의 클록을 동기화한다.

이에 반해 동기 프로토콜 방식은 클록 신호선을 따로 가진 인터페이스 방식으로, 두 컴퓨터중 하나가 클록 신호를 제어하며, 모든 전송 데이터는 이 클록 신호에 맞춰 보내진다. 이때 전송되는 각 비트는 프로토콜에 정해진 기준에 따라 클록 신호의 상승 에지나 하강 에지로부터 일정 시간이 지난 후 읽혀진다. 이런 동기 시리얼 통신의 예로는 I2C, SPI, Microwire 방식이 있다.

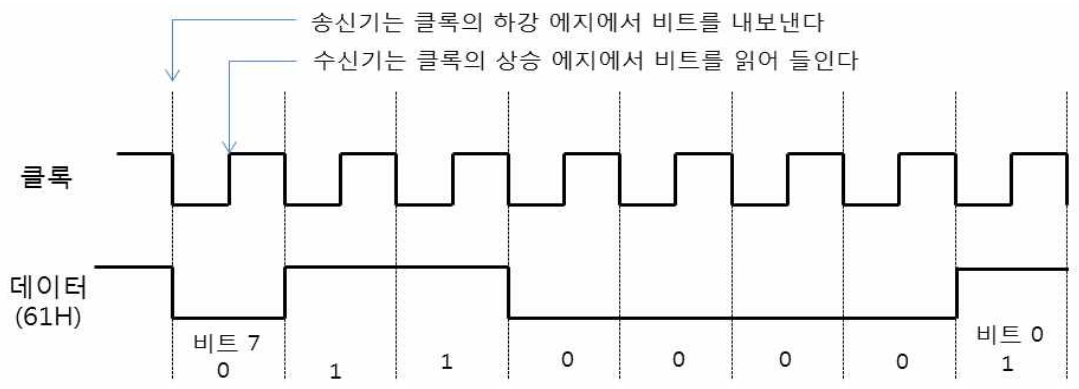
o 워드 형식

일반적으로 한 단위의 UART 송신 데이터를 워드라 부른다. 각 워드는 시작 비트, 데이터 비트, 선택사항인 패리티 비트, 정지 비트로 이루어 진다.

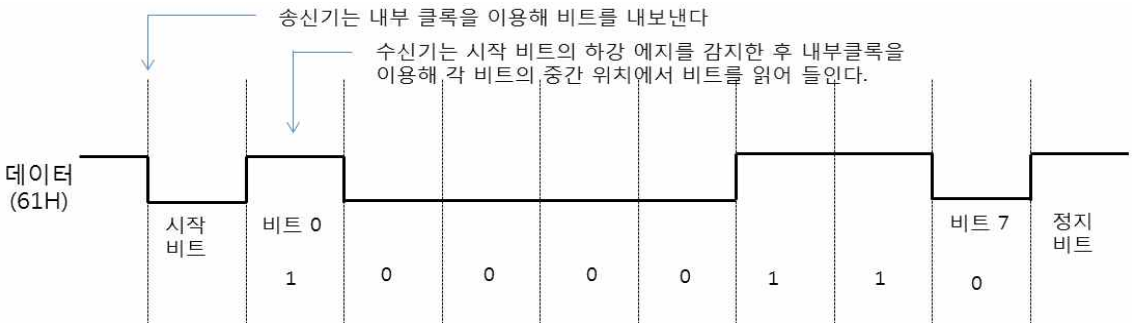
대부분 UART는 여러 종류의 워드 형식을 지원한다. 일반적으로 8-N-1형식을 가장 많이 사용하는데, 이것은 1개의 시작 비트와 8개의 데이터 비트, 1개의 정지 비트로만 이루어진 형식이다. 데이터 비트는 아래 그림에서처럼 최하위 비트 또는 LSB라 불리는 0번 비트부터 전송된다.

8-N-1형식에서 N은 패리티 비트가 없다는 의미다. 패리티는 짝수, 홀수, 1과 0 방식중 원하는 방식을 사용할 수 있다. 예를 들어, 7-E-1형식의 경우엔 짝수 패리티를 사용한다는 의미다. 이때는 시작 비트와 7개의 데이터 비트, 짝수를 맞추기 위한 패리티 비트, 1개의 정지 비트를 보낸다.

패리티 비트는 아주 단순한 형태의 에러 검출 방법이다. 짝수 패리티는 해당 워드에 포함된 데이터 비트와 패리티 비트에 들어있는 1의 개수를 짝수로 맞추는 것이고, 홀수 패리티는 워드에 포함된 데이터 비트와 패리티 비트에 들어 있는 1의 개수를 홀수로 맞춘다.



< 동기 전송 >



< 비동기 전송 >

예를 들면 보내려는 데이터가 00000001b일 경우, 짝수 패리티를 사용한다면 패리티 비트로 1을 보내 1의 개수가 짝수가 되게 해야 한다. 홀수 패리티를 사용한다면 패리티 비트로 0을 보내어 1의 개수가 홀수가 되게 해야 한다. 데이터 00000011b의 경우에 짝수 패리티 형식을 사용한다면 패리티 비트로 0을, 홀수 패리티 형식에선 패리티 비트로 1을 보내야 한다. 7-E-1 형식으로 통신을 하는데, 수신된 컴퓨터에서 1의 개수가 홀수인 경우가 발생한다면 전송이 정상적으로 이뤄지지 않은 것이다.

o 비트레이트와 보레이트

비트레이트는 1초당 전송되는 비트 수를 나타내며 일반적으로 비트/초, bps로 불린다. 보레이트는 1초당 발생하는 이벤트나 데이터 전송을 나타낸다. 일반적으로 보레이트와 비트레이트는 같은 의미로 쓰인다. 초당 전송된 문자의 개수는 비트레이트 값을 워드 길이로 나누면 구할 수 있다. 8-N-1 형식의 경우 전송된 데이터의 양은 워드가 1개의 시작 비트, 8비트의 데이터 비트, 1개의 정지 비트로 구성되므로 비트레이트의 1/10이 된다. 즉, 9600bps의 비트레이트에 8-N-1 형식으로 통신한다면 초당 960바이트로 전송된다.

o 비트 전송 형식

위 그림의 비동기 전송에선 8-N-1 형식을 사용해 1바이트의 데이터가 어떻게 전송되는지를 보여준다. 대기 상태일 때 송신 측에서 논리 값1에 해당하는 신호를 연속적으로 보낸다. 그 후 데이터 전송의 시작을 알리기 위해 논리 값0을 1비트의 길이만큼 내보내는데, 이것이 시작 비트다. 9600bps의 속도에서 1비트의 길이는 104us다.

시작 비트 이후 8비트의 데이터 비트를 전송하는 데, 이때 최하위 비트부터 전송하기 시작한다. 그 다음 송신 측에선 정지 비트를 의미하는 논리값 1을 내보낸다. 정지 비트 바로 다음이나 일정 시간 이후 새로운 시작 비트가 보내지면 다음 데이터가 송신되기 시작함을 의미한다.

수신 측 컴퓨터에선 수신되는 신호가 논리 값 1에서 0으로 변하는 것을 새로운 데이터가 전송되기 시작하는 것으로 인식한다. 비트레이트에 의해 비트 체크 타이밍이 결정되며, 수신 측은 각 비트의 중간 주기에서 수신되는 신호의 논리 값을 체크한다. 비트의 중간 주기에 값을 체크하는 이유는 통신을 하는 두 컴퓨터의 클록 주파수에 어느 정도 오차가 있는 경우라도 가능한한 정확한 값을 읽어내기 위해서다.

RS232는 위 그림처럼 반전된 신호를 사용한다. 실제로 RS232의 정지 비트는 마이너스 전압을 가지며, RS232의 시작 비트는 플러스 전압을 가진다.

o 비트레이트 자동감지

시리얼 포트를 사용하는 대부분의 PC 어플리케이션에서 사용자가 원하는 포트의 비트레이트를 선택할 수 있다. 사용자를 가장 편하게 해주는 컴퓨터가 스스로 상대방 컴퓨터와 비트레이트를 맞추는 것이다. 이렇게 비트레이트를 맞추려면 한쪽 컴퓨터(송신 측 컴퓨터)는 다른 쪽 컴퓨터(수신 측 컴퓨터)의 비트레이트를 감지해 그에 맞게 자신의 비트레이트를 조정해야 한다. 비트레이트를 자동으로 맞추기 위한 몇가지 기술적인 방법이 있다.

한 가지 방법은 통신 연결 시 송신 측 컴퓨터가 특정 바이트를 반복적으로 보내는 방법이다. 이때 보내지는 바이트 값은 00h에서부터 EFh까지 값 중 데이터의 최상위 비트 값이 0이면 된다.

수신 측 컴퓨터는 지원하는 최고 비트레이트로 수신을 시도한다. 시작 비트가 감지되면 한 바이트를 수신하는데, 이때 소요되는 시간은 지원되는 최저 비트레이트보다 빠르거나 같아야 한다(예를 들면 330bps일 때 33ms).

수신 측에서 1바이트 이상의 데이터를 수신한다면 비트레이트 속도가 맞지 않는 것이다. 그러면 송신 측 컴퓨터는 그보다 낮은 속도의 비트레이트로 다시 연결을 시도한다. 수신 측에서 단 1개의 바이트라도 정확히 수신한다면 비트레이트가 서로 맞춰진 것이다. 추가적인 확인을 위해 수신 측 컴퓨터는 수신된 바이트를 예상된 값과 비교하기도 한다. 수신 측 컴퓨터는 서로 잘 맞춰졌는지 확인하기 위해 1바이트를 보내고 그 값을 되돌려 받아 정확히 확인되면 이 때부터 정상적인 통신을 시작한다.

이 방법에서 수신 측 컴퓨터의 최대 비트레이트가 송신 측보다 빠를 경우에 마지막 전송된 데이터 비트 값이 0이면 수신 측 컴퓨터는 아직 데이터 전송이 끝나지 않았음에도 데이터가 모두 수신된 것으로 착각한다(수신 측 컴퓨터는 논리 값이 1인 정지 비트도 읽지 못해 프레이밍 에러를 발생시키는데, 이런 에러 발생은 비트레이트를 맞추는 데 있어 중요한 문제가 되지는 않는다). 수신 측 컴퓨터가 전송이 다 끝난 것으로 생각하고 있을 때 논리 값0이 하나라도 더 수신된다면(전송되는 바이트의 마지막 비트가 0이므로) 수신 측 컴퓨터는 이것을 시작 비트로 오해해 다시 새로운 바이트를 수신하려고 시도한다. 그런데 수신 측 컴퓨터가 또 다른 시작 비트를 받지 않는다면 비트레이트는 서로 맞춰진 것이다.

또 다른 비트레이트 자동 감지 기법으로는 수신되는 비트의 길이를 측정하기 위해 특정 코드를 사용하는 방법이 있다. 송신 측 컴퓨터가 특정 값을 보내고, 수신 측 컴포터가 수신되는 신호의 펄스 길이를 측정해 비트레이트를 맞추는 방법이다.

o COM 포트 자동 감지

PC엔 여러개의 COM 포트가 있을 수 있는데, 일반적으로 사용자가 포트를 선택할 수 있다. 어플리케이션은 마지막으로 사용된 포트를 기억할 수 있으면, 이 포트가 사용 가능한 경우 기본 포트로 사용한다. 어플리케이션은 비트레이트와 같은 기타 설정 값도 저장 가능하다.

또한 어플리케이션은 각 포트로 특정 메시지를 내보내 어떤 포트를 사용해야 하는 지 알아 낼 수도 있다. 대상이 된느 수신 측 컴퓨터가 메시지를 받으면 응답 신호를 송신 측 컴퓨터로 보내 포트가 찾아졌음을 확인 시킨다.

o 흐름 제어

흐름 제어를 이용해 송신측 컴퓨터는 송신할 데이터가 있음을 상대편에게 알릴 수 있고, 수신측 컴퓨터는 데이터 수신 준비가 됐음을 상대편에게 알릴 수 있다. 시리얼 통신에선 수신 측 컴퓨터가 전송된 데이터를 버퍼로부터 미처 읽어내지 못할 경우에 전송된 데이터를 모두 저장할수 있을 만큼 버퍼가 충분히 크지 않다면 반드시 흐름제어를 사용해야 한다. 일반적인 하드웨어 흐름 제어에선 수신 측에서 데이터를 받을 수 있음을 신호선을 통해 알려준다. 송신 측에선 데이터를 보내기전에 해당 신호선의 상태를 체크해 수신 측이 받을 준비가 됐는지 확인한다. 신호선의 상태가 보낼 수 있는 상태로 표시되지 않는다면 송신 측 컴퓨터는 기다려야 한다. 흐름 제어는 가 방향마다 따로 제어 신호가 필요하므로 각 방향으로 1개씩의 신호선이 필요하다. 흐픔 제어는 간혹 핸드셰이킹이라 불리기도 한다. 그리고 완전한 핸드셰이크를 위해서는 양방향 통신이 필요한데, 송신 측 컴퓨터는 보낼 데이터가 있음을 알려주고, 수신측 컴퓨터는 받을 준비가 됐음을 알려줘야 한다.

RS232 표준 규정엔 흐름 제어 신호에 대한 이름을 정해 놓았다. 데이터를 받을 준비가 됐음을 알려주는 CTS는 입력신호로, 데이터 전송 요청을 알려주는 RTS는 출력 신호로 규정돼 있다. 두 대의 PC가 연결될 경우 각 RTS출력은 상대방의 CTS입력으로 연결돼야 한다. 이때 +전압의 rS232신호는 데이터를 받을 준비가 됐음을 의미하고 -전압은 그렇지 않음을 의미한다.

마이크로컨트롤러는 일반적으로 CTS와 RTS신호는 갖고 있지 않다. 마이크로컨트롤러에서는 펌웨어가 여분의 핀을 이용해 흐름 제어를 구현한다. 소스코드에서도 RTS나 CTS, flow_control_in이나 flow_control_out이라는 이름을 사용해 입력과 출력 신호를 구분하기 쉽게 표현하기도 한다.

RS232엔 흐름 제어를 위해 2개의 추가적인 신호로, 데이터 터미널의 준비를 알리는 DTR 신호와 데이터의 셋의 준비를 알리는 DSR 신호가 있다. 이들 두 신호선은 RS232 포트로 연결된 컴퓨터나 터미널에 전화선의 상태와 모뎀의 통신 채널 상태를 알려준다.

어떤 경우엔 소프트웨어 흐름 제어를 사용하기도 하는데, 컴퓨터가 데이터를 받을 준비가 되면 Xon이란 코드를 보내고 데이터를 그만 보내게 할 땐 Xoff란 코드를 보내 상대방 컴퓨터에 알려 준다. 이 방법은 전송 되는 데이터가 영문 텍스트 문자로 이뤄진 경우나 Xon, Xoff에 해당하는 값이 데이터에 포함되지 않는 경우에만 사용 가능하다. 일반적인 경우 Xon 코드는 16진수로 11h(Control+Q), Xoff는 13h(control+S)다.

o 에러 체크

수신 컴퓨터는 모든 데이터가 정확히 수신됐는지 확인하기 위해 에러 채킹을 사용한다. 여기엔 패리티 비트, 체크섬, 데이터 이중 전송 방식등이 있다.

체크섬은 데이터 블록의 내용을 수학적으로 계산하거나 논리적 연산을 통해 에러를 체크하는 방법이다. 가장 기본적인 체크섬 계산법은 데이터 블록의 모든 바이트를 합산한 결과의 끝 바이트를 체크섬으로 사용하는 방법이다. 아스키 16진 데이터용 체크섬은 두 개의 문자로 이루어진 한쌍의 값을 모두 합해 구해낼 수 있다.

CRC 방식은 좀 더 복잡한 계산을 통해 체크섬 값을 얻는다.

해시 값은 MDC란 해시 함수에 의해서 얻어지는 매우 보안성이 높은 체크섬이다. 해시 값을 사용하려면 송신 측과 수신 측이 해시 값을 생성할 때 만든 키를 공유해야 하며, 이 키를 이용해 수신된 데이터를 확인한다.

체크섬이 포함된 데이터를 수신한 컴퓨터는 체크섬을 다시 계산해 그 결과와 수신한 체크섬 값을 비교한다. 비교 결과가 일치하지 않는다면 수신 측 컴퓨터는 수신된 값에 오류가 있어 송신 측 컴퓨터가 보낸 데이터와 같지 않음을 알 수 있다. 컴퓨터는 에러를 감지하면 송신 측에 재전송을 요청하거나, 기타 다른 처리를 요청한다. 여러 차례의 재전송이 실패하면 송신 측 컴퓨터는 전송을 포기하며, 필요한 경우 메시지를 띄우거나 사운드 알람등의 액션을 취한다. 체크섬은 커다란 데이터 블록에 약간의 오버헤드를 덧붙인다. 수신 측 컴퓨터는 수신된 데이터가 예상보다 짧거나 예상했던 데이터나 메시지 끝 코드가 수신되지 않았을 때 무엇을 해야 하는지 알아야 한다. 이 경우 무한 대기 상태로 들어가는 대신 소프트웨어는 타임아웃을 발생시키고 필요하다면 송신 측에 이것을 알려야 한다.

에러 체킹의 다른 한 가지는 송신 측에서 메시지를 두 번씩 중복 전송하는 방법으로 수신측은 두 번에 걸쳐 받은 메시지가 같은지를 비교한다. 물론 이 방식은 전송 시간을 두배로 늘어나게 한다. 데이터를 두 번씩 중복 전송하는 방법은 에러 발생이 잦은 환경에서 짧은 데이터를 가끔 전송할 때 유용하다.

o 하드웨어 연결

RS232sms 80~130피트(약 24~40미터) 이내의 두 장치 간 통신을 위해 설계됐다. 통신거리의 제한은 통신 속도와 케이블 종류에 따라 달라진다. RS232는 언밸런스 신호나 싱글 엔디드 신호를 사용한다. 각 신호는 공통 그라운드를 기준으로 하는 전압의 형태로 연결선을 통해 전달된다.

o 전압

RS-232는 전압만을 논리 신호로 사용하는 TTL이나 CMOS와는 다르게 논리 신호로 +,- 전압을 모두 사용한다. RS232 데이터 출력은 논리값 0의 출력으로 +5V 이상의 전압을 내보내고, 논리 값 1의 출력으로 -5V나 그보다 큰 -전압을 내보낸다. 다시 말하자면 데이터는 네거티브 로직, 즉 +전압 신호는 0으로, - 전압 신호는 1로 출력되는 반전 논리를 사용한다.

신호 종류	전압(V)
논리 값 0 또는 On 출력	+5V ~ +15V
논리 값 1 또는 Off 출력	-5V ~ -15V
논리 값 0 또는 On 입력	+3V ~ +15V
논리 값 1 또는 Off 입력	-3V ~ -15V

상태와 제어 신호도 같은 전압 레벨을 사용하지만 포지티브 로직을 사용한다. 즉, +전압은 1이나 true를 의미하면, -전압은 0이나 false, off, 사용 불가 상태를 의미한다.

일반적으로 RS232용 인터페이스 칩은 신호를 반전시키고 TTL과 CMOS레벨의 전압을 RS232 레벨 전압으로 변환시킨다. UART에서 데이터 1과 제어 신호 Off 값은 논리 값 high이므로 출력단에서는 RS232레벨의 -전압으로 바뀌어 출력된다. 또한 데이터 값 0과 제어 신호 On은 논리 값 low이므로 UART의 출력단에서는 RS232 레벨의 +전압으로 변환돼 출력된다.

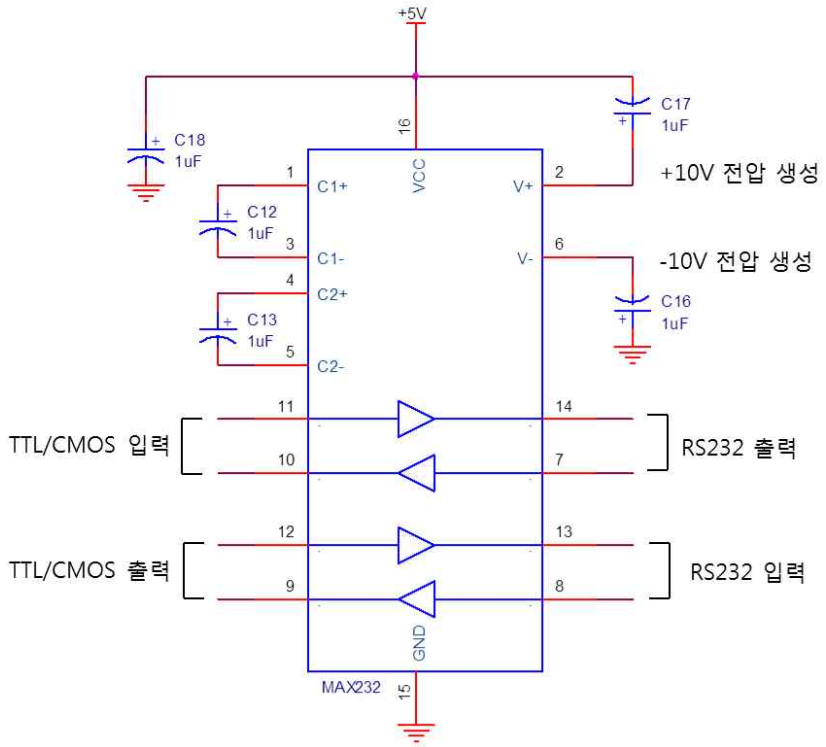
긴 케이블을 통해 반대편 RS232리시버 장치로 신호를 보내면 전압이 떨어지고 신호에 노이즈도 발생하기 때문이다. 이런 열악한 신호도 허용하려면 리시버가 낮은 전압도 인식할 수 있어야 한다. RX 데이터 입력과 제어 신호선으로 들어오는 +3V 이상의 전압은 데이터 0, 제어 신호는 On으로 인식되며, -3V 이상의 전압은 데이터 1, 제어 신호 Off로 인식된다. 전압 범위가 -3V~+3V 사이의 신호는 정의돼 있지 않다.

입력과 출력의노이즈 마진 혹은 전압 마진의 범위는 서로 다르다. RS232의 큰 전압폭은

결과적으로 5V TTL이나 CMOS 신호보다 더 큰 노이즈 마진을 요구한다. 예를 들어, +5V의 RS232 출력에 2V정도의 전압 강하나 노이즈가 발생하더라도 수신 측에선 논리 값0을 정상적으로 수신한다. 대부분의 RS232출력은 더 넓은 전압 폭을 가지며, 이로 인해 더 넓은 노이즈 마진도 필요하다.최대 허용 전압 변동 폭은 +-15V이므로, 리시버는 최대 +-25V 전압을 거뜬히 받아들일 수 있어야 한다.

o 인터페이스 칩(MAX232)

3V나 5V의 전압을 RS232 전압 레벨에 맞게 바꿔주는 가장 손쉬운 방법은 레벨 컨버터 칩을 이용하는 것으로 다양한 종류의 칩이 이용도에 맞게 개발되어 있다.



MAX232는 TTL이나 CMOS 입력을 RS232 출력으로 변환시켜 주는 2개의 드라이버 회로와 RS232 입력을 TTL/CMOS 레벨의 출력으로 변환시키고 신호를 반전시켜주는 2개의 리시버 회로로 구성돼 있다. 이 칩엔 2개의 차지 펌프 전압 변환기가 소형 전원 공급기처럼 동작하며, 칩이 RS232 레벨의 +-5V 이상의 큰 전압 범위로 동작 가능하게 한다. 이를 위해선 칩에 4개의 외장 콘덴서를 추가해 전기 에너지를 저장해야 한다. 권장 콘덴서 용량은 1uF이나 그 이상의 용량을 써야 한다. 극성이 있는 콘덴서를 사용하는 경우라면 회로에 장착 시 콘덴서 극성에 주의해야 한다. 이 경우 칩의 6번 핀엔 콘덴서의 -극 단자를 연결해야하고 콘덴서의 +극단자는 그라운드에 연결해야 한다. 출력 전압

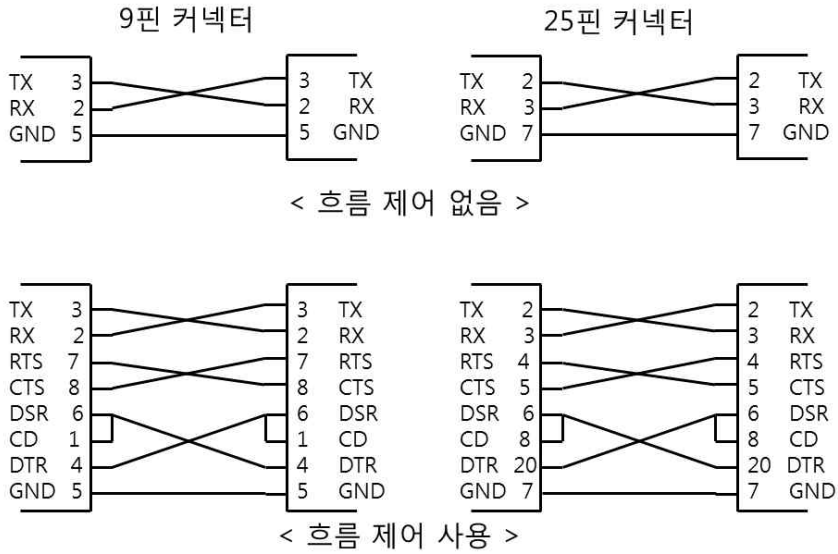
이 10V이상 나오므로 사용되는 콘덴서의 허용 DC 동작 전압은 최소 15V 또는 그 이상의 규격을 사용해야 한다.

o 널 모뎀

다음은 RS232 연결용 9핀 D-sub 커넥터의 모습을 보여 준다.



간혹 DTE 장치 2대를 연결하거나, DCE 장치 2대를 연결해야 할 경우가 있다. 이러한 경우 스트레이트 방식의 연결 케이블을 사용하면 양쪽의 RX 입력이 서로 연결되므로 아무런 신호도 오가지 않는다.



이것을 해결하려면 널 모뎀이라 불리는 어댑터나 케이블을 사용해야 한다. 이것은 DTE와 DCE가 연결된 것처럼 동작하며, 양 끝단의 출력을 해당하는 상대의 입력으로 연결해 준다. 예를 들면 케이블이나 어댑터의 양쪽의 TX 출력을 상대의 RX 입력으로 연결해준다. 널 모뎀이란 명칭은 처음에 컴퓨터와 모델간의 연결 없이 2대의 컴퓨터를 케이블만 가지고 직접 연결해주기 위해 사용하던 케이블 이름에서 유래됐다.

위 그림은 몇 가지 널 모델 구성을 보여 준다. 흐름 제어 신호가 필요 없는 경우엔 TX

와 RX선을 서로 교차해 연결한 3가닥짜리 널 모델 케이블을 이용한다. 흐름 제어가 필요한 경웅네 RTS와 CTS, DTR과 DSR이 연결돼 있는 널 모뎀 케이블을 이용한다. 두 포트가 DTE 장치로 동작하는 경우 CD와 DSR 입력을 같이 묶어줘 CD 입력 상대편의 DTR 출력에 연결되게 한다.

(4) PLC 통신 모듈의 RS232 프로토콜

o A 호환 1C 프레임 프로토콜(형식3 프로토콜)

A호환 1C 프레임에 대한 데이터 교신은 A시리즈 컴퓨터 링크 모듈이 지원하고 있는 전용 프로토콜에 의한 교신 기능과 같이 다음 커맨드만 사용할 수 있다. 이때 모두 ASCII 코드의 데이터로 교신하게 된다 .다음은 상대 기기가 자국 PLC CPU의 데이터를 읽는 경우에 대한 설명이다 .

o 상대 기기측 -> PLC CPU측 (커맨드)

	데이터명	hex	Ascii
0	STX	0x02	
1	국번	0x30	0
2		0x30	0
3	PLC 번호	0x46	F
4		0x46	F
5	커맨드		
6	전문 대기		
7	캐릭터 A 부		
8	ETX		
9	코드 섬 체크		
10			

o PLC CPU측 -> 상대기기측 (응답)

- 정상 완료시

	데이터 명	HEX
0	STX	
1	국번호	
2	PLC 번호	
3	캐릭터 B 부	
4		
5		
6	ETX	0x03
7	코드 섬 체크	
8		

- 이상 완료시

	데이터 명	HEX	ASCII
0	STX	0x02	
1	국번호		
2	PLC 번호		
3	이상 종료	0x4E	N
4		0x4E	N
5	에러 코드		
6			
7	ETX	0x03	

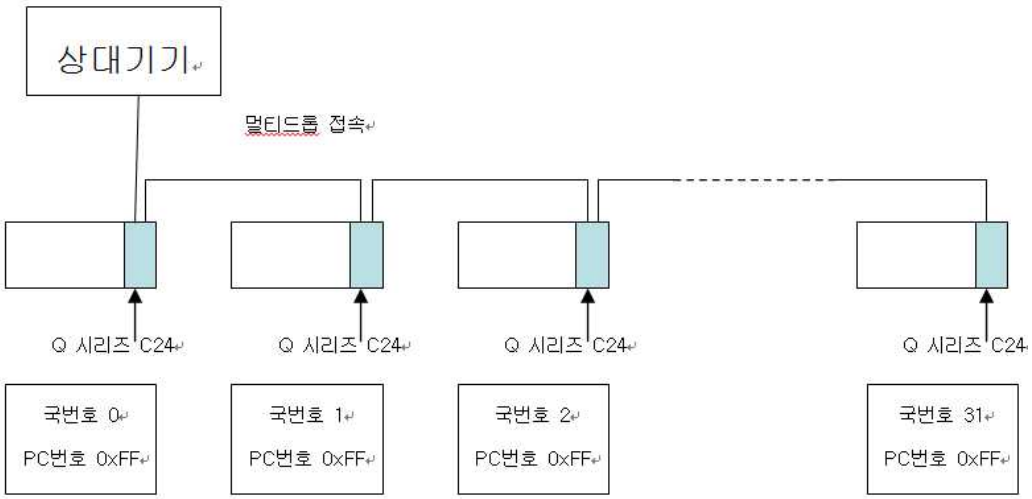
o 컨트롤 코드

기호명	코드 (16진수)	내용	기호명	코드 (16진수)	내용
NULL	0x00	Null	ENQ	0x05	Enquiry
STX	0x02	Start of Text	ACK	0x06	Acknowledge
ETX	0x03	Enc of Text	LF	0x0A	Line Feed
EOT	0x04	End of Transmission	CL	0x0C	Clear
CR	0x0D	Carriage Return	G	0x47	Good
NAK	0x15	Negative Acknowledge	N	0x4E	No Good

NULL 코드(00H)는 모든 스테이트먼트중에서 무시한다. 따라서 스테이트먼트 중에 NULL 코드가 있어도 아무것도 없는 것으로 처리한다.

o 국번호

국번호는 GX Developer로 설정한 Q시리즈 C24의 국번호로 상대기기가 어떤 국의 Q시리즈 C24에 대해서 액세스 할 것인지의 식별용으로써 사용한다. 예를 들면 다음 그림과 같다.



o PLC 번호

PLC 국번은 MELSECENT/H, MELSECNET/10 상의 어떤 PLC와 액세스 할 것인지를 식별하기 위해 사용한다. PLC 번호는 0xFF 또는 네트워크 모듈 상에 접속되어 있는 국번 0x00~0x40의 범위에서 ASCII코드 2자리(16자리)로 변환하여 사용한다.

	상대기기의 액세스국	상대기기가 지정하는 PLC 번호
1	상대기기 접속국(자국)	0xFF
2	상대기기 접속국에서의 멀티드롭 접속국	0xFF
3	MELSECNET/H, MELSECNET/10 상의 국	0x01~0x40(1~64)-액세스 국의 국번호
4	MELSECNET/H상의 리모트 국 (상대기기를 리모트I/O국의 Q시리즈C24에 접속시)	0x00

o 커맨드

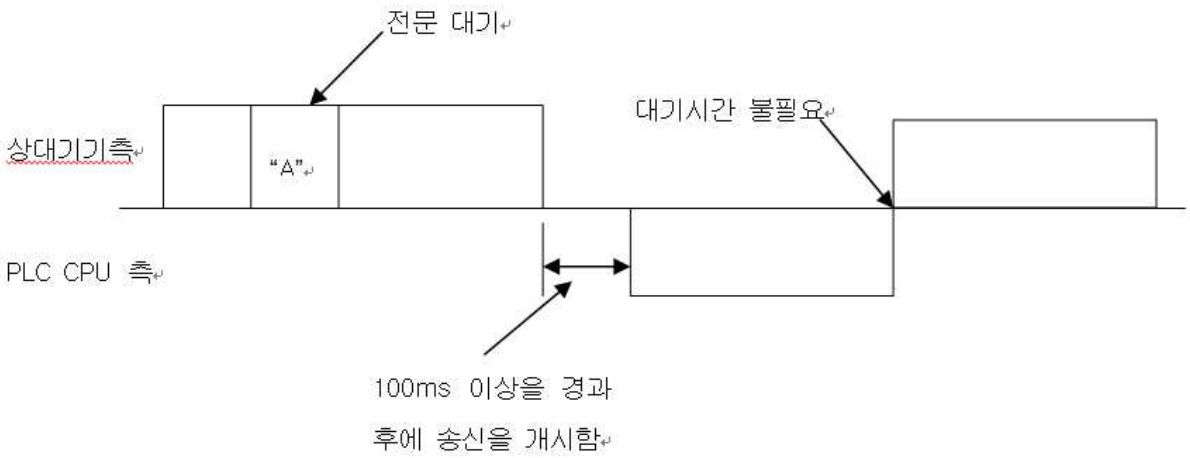
상대기기에서 해당 PLC에 대해서 읽기, 쓰기등 어떻게 내용의 액세스를 실행 할 것인지를 지정하는 것이다.

o 전문 대기

전문 대기는 응답송신의 지연시간을 만들기 위한 데이터이다.

상대기기에 따라서는 커맨드를 송신하고나서 수신상태가 될 때까지의 시간을 필요로 하는 것이 있다.

Q시리즈C24가 상대기기에서 커맨드를 수신 후, 결과를 송신할 때까지의 최저대기시간을 지정한다. 상대기기의 사양에 맞춰서 대기 시간을 지정한다. 대기 시간은 0~150ms까지의 범위를 10ms를 0x1로써 0x0~0xF(0~15)를 ASCII코드 1자리(16진수)로 변환하여 사용한다. 아래에 전문 대기의 지정예를 나타낸다.



< 전문 대기가 100ms 일 때 >

o ACPU 공통 커맨드

		커맨드		처리 내용	1회의교신으로실행가능한처리점수			
		기호	ASCII 코드			RUN중		
							쓰기	
일괄 읽기	비트 단위	BR	0x42, 0x52	비트디바이스(X,Y,M등)를 1점 단위로 읽는다.	256점			
	워드 단위	WR	0x57 0x52	비트디바이스(X,Y,M등)를 16점 단위로 읽는다.	32워드(512점)			
				워드디바이스(D,R,T,C등)를 1점 단위로 읽는다.	64점			
일괄 쓰기	비트 단위	BW	0x42 0x57	비트디바이스(X,Y,M등)를 1점 단위로 쓴다.	160점			
	워드 단위	WW	0x57 0x57	비트디바이스(X,Y,M등)를 16점 단위로 쓴다.	10워드(160점)			
				워드디바이스(D,R,T,C등)를 1점 단위로 쓴다.	64점			
테스트 (랜덤 쓰기)	비트 단위	BT	0x42 0x54	비트디바이스(X,Y,M등)를 1점 단위로 디바이스/디바이스 번호를 랜덤으로 지점하고 셋/리셋한다.	20점			
	워드 단위	WT	0x57 0x54	비트디바이스(X,Y,M등)를 16점 단위로 디바이스/디바이스 번호를 랜덤으로 지점하고 셋/리셋한다.	10워드(160점)			
				워드디바이스(D,R,T,C등)를 1점 단위로 디바이스/디바이스번호를 랜덤으로 지정하여 쓴다.	10점			
모니터 데이터등록	비트 단위	BM	0x42 0x4D	모니터할 비트 디바이스(X,Y,M등)를 1점 단위로 설정한다.	40점			
	워드 단위	WM	0x57 0x4D	모니터 할 비트 디바이스(X,Y,M등)를 16점 단위로 설정한다.	20워드(320점)			
				모니터 할 워드 디바이스(D,R,T,C등)를 1점 단위로 설정한다.	20점			
모니터	비트 단위	MB	0x4D 0x42	모니터 데이터 등록을 실행해 둔 디바이스를 모니터 한다.				
	워드 단위	MN	0x4D 0x4E					

o ACPU 공통 커맨드를 사용할 때의 디바이스 범위

각 디바이스는 아래와 같이 표현한다.

디바이스 + 디바이스 번호 = 5 캐릭터

(1캐릭터) + (4캐릭터)

디바이스	캐릭터번호 범위 (캐릭터)	10진/16진 표현	디바이스	캐릭터번호 범위 (캐릭터)	10진/16진 표현
입력	X0000~X07FF	16진 표현	타이머(접점)	TS000~TS255	10진 표현
출력	Y0000~Y07FF		타이머(코일)	TC000~TC255	
내부 릴레이	M0000~M2047	10진 표현	타이머(현재값)	TN000~TN255	
래치 릴레이	L0000~L2047		카운터(접점)	CS000~CS255	
스텝 릴레이	S0000~S2047		카운터(코일)	CC000~CC255	
링크 릴레이	B0000~B03FF	16진 표현	카운터(현재값)	CN000~CN255	
어넌시에이터	F0000~F0255	10진 표현	데이터 지스터	D0000~D1023	
특수 릴레이	M9000~M9255		링크 레지스터	W0000~W03FF	16진 표현
특수 레지스터	D9000~D9255		파일 레지스터	R0000~R8191	10진 표현

4.. CAD시스템 기반 철근가공정보 자동 매핑 기술개발

가. CAD파일의 도형정보 추출

.

○ 일반적으로 산업현장에는 대부분 상용 CAD시스템인 AutoCAD를 사용하고 있으며, AutoCAD는 자체 자료 구조를 가진 dwg파일 확장자의 파일을 사용하고 있으며, 외부 파일 호환을 위해 DXF파일 형식이 가장 일반적으로 사용되고 있다. 따라서 가장 대중화된 DXF파일을 표준 데이터를 변환하여 사용하도록 하였으며, 이를 위해서는 기본적인 작업 플렛폼에 해당하는 CAD 시스템이 필요하다.

○ 본 과제에서는 외부 파일을 가져와서 편집하고, 특정 도형정보를 자동으로 추출하기 위한 플랫폼으로 기본적임 CAD시스템을 우선적으로 필요하였으며, CAD 시스템을 중심으로 연계 프로그램을 개발하여 결합시키는 방식으로 개발을 추진하였다.

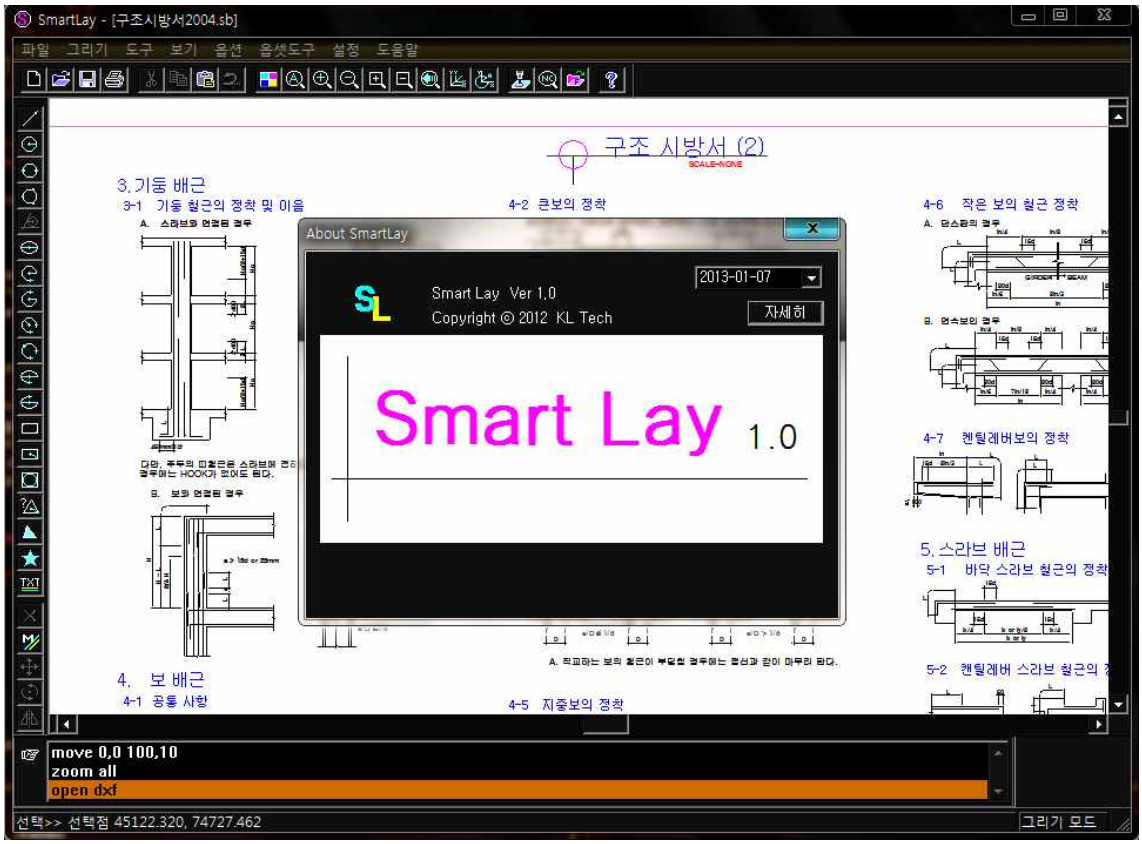
(1) 도형정보 핸들링을 위한 기반 CAD프로그램 개발

(가) CAD화면구성

○ 개발된 CAD프로그램은 기존의 다른 CAD시스템의 파일을 읽어들여 원하는 도형을 추출하고 필요에 따라 엔티티를 가감하거나 편집하여 원하는 도형정보를 얻기기 위한 목적과 CAM 기능을 구현하기 위한 플랫폼으로서의 역할을 하기 위한 두 가지 필요에 의해 개발을 추진하였다. 특히 CAD 시스템은 향후 3차년동안 개발될 모든 기능을 구현하고 통합시키는 기본 플렛폼으로서 역할을 고려하여 범용적인 측면도 고려하였다.

○ 그림은 개발된 CAD 시스템은 ‘Smart Lay Ver 1.0’으로 외부파일 import기능, 특징형상 선택기능, 배치, 오프셋 기능 등 기본적인 엔티티 정의와 편집기능이 있으며, 도면관리를 위해 도면화 하기 위한 치수입력 기능도 구현하였다. 또한 Smart Lay를 중심으로 철근 가공 CAM시스템 및 데이터 설정, 컨트롤러 조작 프로그램까지 호출할 수 있도록 프로그램을 연계하여, 실제 사용과 개발을 위한 통합 메인 프로그램으로 개발하였다.

○ 사용자 인터패이스는 상단의 메뉴와 툴바 그리고 중앙의 작업화면, 측면의 도구 버튼, 아래의 데이터 입력/메세지 출력박스로 구성하였다. 또한 화면의 자유롭게 확대/축소하기 위한 마우스 인터패이스와 도면 출도를 위한 프린트 인터패이스도 동시에 고려하였다.



<개발된 CAD 시스템 Smart Lay>

(나) 기본 자료구조 및 도형의 생성

1) 형상 정보의 구조

○ Smart Lay 내부에서 처리된 형상에 관한 정보는 도형정보와 치수 정보로 이루어져 있다. 도형 정보는 예를 들어 한 선분하나, 원호 하나를 나타내는 형상의 기본 단위를 말하며 직선과 원호를 동시에 표현하는 데이터 구조로 구성하였다. 즉, 예를 들어 원호의 표현에 있어서 최소의 정보 개수는 5개의 정보를 필요로 하지만, 데이터 표현을 단순하고, 내부적인 계산의 속도를 위해서 원호의 표현을 6개의 변수로 하였다. 또한 치수정보의 경우 원래의 도형정보에 의존하는 정보이나, 기하학적 연산에서는 철저히 배제되어야 한다. 도형정보와 치수정보의 데이터를 공용 자료구조로 정의하여 이와 같은 요구사항에 대해 쉽게 처리 할 수 있도록 하였다.

변수형	변수명	설명
BOOL	selchk	선택 혹은 비선택
int	pstyle	1:직선, 2:CW원호, 3:CCW원호, 4:CW타원호, 5:CCW타원호 6:중심다각형, 7:영역사각형, 8:불규칙사각형, 9:연결직선 +10 : 마킹 101:수평치수, 102:수직치수, 103:사선치수, 104:반지름치수, 105:지름치수, 106: 각도치수, 107:주석문자열, 1011:치수직선,1102:CW방향치수호,1013:CCW방향치수호
CString	str	문자열 또는 치수문자열
double	sx, sy	시작점
	ex, ey	끝점
	cx, cy	중심점
	strx, stry	x축반경, y축반경 또는 문자열 위치

<단위 도형정보 및 치수 엔티티에 대한 공용 자료 구조>

2) 좌표계

○ 좌표계는 절대좌표계와 상대좌표계, 직교좌표계와 극좌표계가 있으며, 사분선상에 구속되는 사분 좌표계를 구성하였다. 또한 이미 그려진 성분을 기준으로 정해지는 접선 좌표계, 수직 좌표계, 사분좌표계도 고려하였다. 절대 좌표계는 절대 영점을 기준으로 정하는 좌표계 이며, 상대좌표계는 참조점을 영점으로 기준하는 것이다. 직교좌표계는 x, y의 좌표값으로 계산하며, 극좌표계는 거리와 방향으로 모든 좌표값을 계산하는 좌표계이다. 사분 좌표계는 가로 혹은 세로 방향으로만 마우스를 움직이게 하는 좌표계이다. 또한 이미 그려진 성분과 수직을 이루는 방향으로만 구속되는 수직 좌표계와, 이미 그려진 성분과 접선을 이루는 방향으로만 구속되는 접선 좌표계가 있다.

3) 도형의 입력

○ 기본 도형은 아래와 같이 19가지의 도형의 치수를 마우스나 수치로 직접 입력하여 생성한다. 일반적으로 요구되는 도형의 형상은 기본 도형으로는 부족하며, 대부분 편집을 통해 원하는 도형 형상을 완성할 수 있다.

심볼	도형	심볼	도형
	양끝점 기준 직선		CCW 타원호
	중심점 반경 원		CW 타원호
	양끝점 원		영역 사각
	세점 원		중심점 사각
	두접선 반경 원		최외곽 사각
	타원		다각형
	중심반경 CCW호		솔리드 다각형
	중심반경 CW호		심볼 형상 정의
	양끝점 반경 원호		텍스트 입력
	세점 원호		

<기본 도형의 정의>

(다) 도형의 편집

1) 도형 편집 도구

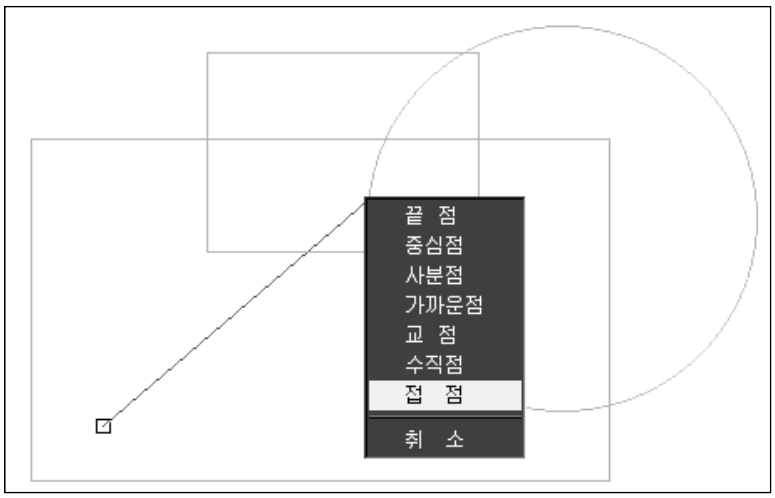
○ 도형의 편집은 기본적으로 필렛, 모따기, 자르기, 늘이기 등 13개의 편집 기능을 이용하여 원하는 형상으로 도형을 편집할 수 있다. 실제 도형 편집에서는 기존 도형의 특정 엔티티를 선택하거나 특정 위치점을 기준으로 잡아서 활용하는 경우가 많으며, 이를 위해서는 특정 위치점을 쉽게 잡을 수 있는 기능이 제공되어야 한다. AutoCAD에서는 오스넵모드라는 기능으로 이러한 기능을 제공하고 있다.

심볼	명 칭	편집 내용
	이동	선택한 도형을 특징 레퍼런스 위치기준에서 목표위치까지 이동
	회전	선택 도형을 특정점을 중심으로 원하는 각도만큼 회전 변환
	대칭복사	선택 도형에 대해 특정 직선을 기준으로 대칭형상으로 복사
	자르기	선택 도형에 대해 중첩된 도형의 교선을 기준으로 절단
	연결하기	기울기가 동일하나 절단된 도형에 대해 하나의 도형으로 연결
	늘이기	선분이나 원호를 정해진 양 만큼 늘임
	코너 만들기/ 모따기	코너 형상이 불완전하거나 코너 형상의 선분이 과도하게 형성된 경우 정확한 코너를 형성함.
	필렛	코너에 원하는 반경의 접선 원호를 생성
	가로세로 배열	선택 도형에 대해 XY방향으로 등간격으로 특정갯수 만큼 복사
	길이 배열	선택 도형을 특정 방향의 길이에 대해 지정한 개수만큼 복사
	회전 배열	선택 도형을 특정 위치를 중심으로 회전하면서 배열
	오프셋	특정 형상에 대해 진행방향의 오른쪽 또는 왼족으로 특정 두께만큼 오프셋 함
	마킹	선택된 도형에 대해 기하학 연산에서 배제될 수 있도록 마킹 도형으로 설정함.

< 도형의 편집 도구 >

2) 도형 편집을 위한 참조 위치 자동 선택

○ 도형의 편집은 대부분 기존에 작성된 형상의 특정 기준점에서 시작하며, 이러한 기준점은 단순한 코너점이 아닌 교차점, 접선, 최단거리 위치 등 일반적으로 위치를 잡아내기 어려운 경우가 대부분이다. 따라서 이러한 특정 위치를 효과적으로 잡기 위해 7가지 특징위치를 자동으로 잡을 수 있도록 기능을 구현하였다.



< 도형의 특징위치 자동 선택 >

(라) 치수 정의/등록

○ 치수선은 도면화를 위해 반드시 필요한 기능이며, 기하학적인 연산에서는 철저히 배제되어야 한다. 도한 상대 도형에 대한 연결정보를 유지할 수 있어야 하며, 사용자가 최소의 입력으로 치수가 자동으로 완성될 수 있어야 한다. 따라서 기본적으로 치수보조선, 치수값, 표제란 등은 자동으로 적용되도록 하였으며, 치수의 대상과 종류 및 치수값의 표시 위치만의 지정으로 치수가 자동으로 설정되도록 하였다.

심볼	치수 도형
	수평치수, 치수보조선 및 치수값 자동 생성
	수직치수, 치수보조선 및 치수값 자동 생성
	사선치수, 치수보조선 및 치수값 자동 생성
	각도치수, 각도에 대한 방향과 각도값 입력 위치 설정
	반경치수
	지름치수
ab	주석문, 한줄입력 가능
	표제란, 기본적인 표제란 및 등록한 표제란 사용

< 치수선의 입력 >

(2) 외부 CAD파일 변환을 통한 도형 추출

○ AutoCAD는 dwg확장자의 자체적인 자료구조를 가진 CAD파일이 있다. 이는 예전에는 공개되지 않았으나, 최근 몇 년전부터 AutoDesk사에서 dwg파일을 dxf파일로 변환을 위한 라이브러리들을 제공하고 있다. 이에 반해 외부 CAD 데이터 호환을 위해 DXF(Drawing eXchange Format)파일 포맷은 원하는 도형정보만 추출하는 라이브러리가 제공되지 않기 때문에 직접 개발해야 한다. 또한 DXF파일 포맷은 매우 일반화되어 있어 거의 표준화된 자료 구조처럼 받아들여지고 있어 본 과제를 위해서는 무엇보다 우선적으로 DXF파일에 대한 자료의 변환 기능의 개발이 필요하다.

(가) CAD(DXF)파일 구조 분석

1) 개요

○ CAD 데이타들간의 교환중에서 가장 일반적인 포맷으로 사용되고 있는 것이 DXF이다. DXF는 데이타를 관리, 사용, 변환하는 것이 용이하고, 변환효율도 뛰어나 널리 사용된다. 주로 drawing file의 교환에 목적을 두고 있으며, 일반적인 데이타 교환 표준들과는 달리 3차원 공간형상 표현이 가능하나, 속성 및 위상구조를 가지지 않는 단점도 가지고 있다.

2) DXF 파일 포맷

○ DXF 파일 포맷은 실제 AutoCAD drawing을 위한 데이타구조가 아니며, 외부와의 변환, 전환을 위한 특정 포맷이다. DXF는 표준 ASCII 포맷으로 되어 text editor를 통해서도 쉽게 인식할 수 있다.

○ 포맷 및 특징

- 1라인당 하나의 필드로 구성되어 가장 쉽게 유지되는 반면 그만큼 파일크기가 방대해지는 단점을 가짐.
- 파일의 구성에 있어서 첫 라인은 그룹코드(Group Code)가 나오고, 두번째 라인은 그 그룹의 값이 나오고, 이렇게 두 라인씩 쌍을 이루어 계속 반복됨.
- DXF 포맷은 공간실체의 X,Y,Z 좌표에 대해 각각 다른 그룹코드를 가진다. 예로, X좌표의 그룹코드에 10을 더하면 Y좌표의 그룹코드가 되고, Y좌표의 그룹코드에 10을 더하면 Z좌표의 그룹코드를 얻음.
- DXF파일에서는 그룹코드 0이 자주 나타나는데, 이 그룹코드는 다음 라인부터 새로운 내용이 시작된다는 것을 알림.
- 그룹코드 0의 정확한 의미는 다음 라인에 무엇이 오는가에 따라 달라짐.

○ DXF의 구성

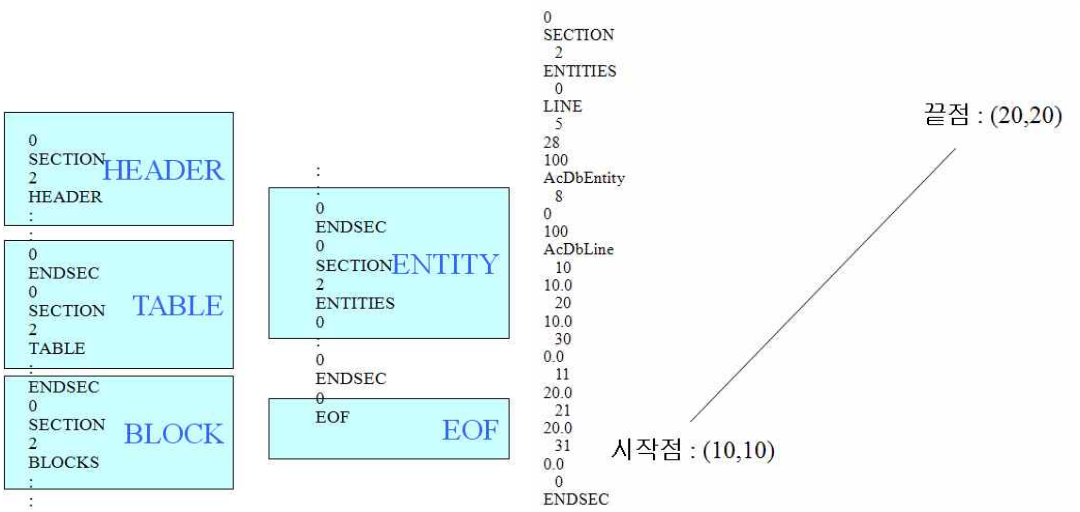
- DXF(Drawing eXchange File)은 ASCII 문서화일로, .dxf를 확장자로 갖고 특별히 형식화된 문서임.
- DXF는 크게 4가지로 구성되는데, 그것은 HEADER, TABLE, BLOCK, ENTITY SECTION임.
  - · Header section : DXF파일의 일반적인 정보를 갖고 있음.
  - · Tales section : 그룹 이름이 정의됨.
  - · Blocks section : 도면에서 이용되는 모든 블록에 대한 정의가 있음.
  - · Entites setion : 모든 도면 엔티티에 대한 내용을 포함하고 음.

```
0 (헤더 섹션의 시작)
SECTION
2
HEADER
<헤더 변수 항목들 >
0
ENDSEC (헤더 섹션의 끝)
0 (테이블 섹션의 시작)
SECTION
2
TABLES
0
TABLE
2
VPORT
70
(viewport테이블 최대항목수)
<viewport 테이블 변수 항목들>
0
ENDTAB
0
TABLE
2
APPID, DIMSTYLE, LTYPE, LAYER, STYLE, UCS, VIEW, VPORT
70
(테이블 최대 항목수)
<테이블 항목들 >
0
```

```
ENDTAB
0
ENDSEC (테이블 섹션의 끝)
0 (블럭섹션의 시작)
SECTION
2
BLOCKS
<정의 도면요소들 >
0
ENDSEC (블럭섹션의 끝)
0 (엔티티섹션의 시작)
SECTION
2
ENTITIES
<도면 요소들 >
0
ENDSEC (엔티티섹션의 끝)
0
EOF (파일의 끝)
```

<DXF 파일 형식>

○ DXF파일은 다음 그림과 같이 크게 5개의 Section으로 구성되어 있으며, 대부분 ENTITY Section에서 주요 정보를 얻는다. HEADER Section에서는 도면에 대한 여러 가지 조건과 AutoCAD의 버전, 치수선에 대한 파라미터 등의 정보가 있으며, TABLES Section에는 선의 종류, Layer등의 이름이 정의되어 있다. 또한 BLOCKS Section은 여러 개의 도형을 모아서 하나의 이름으로 지정한 정보를 담고 있으며, 도형에 대한 개별적인 실제 정보(치수, Layer 등)는 ENTITY Section에 있으며, 마지막에 EOF Section으로 구성된다.



(a) 파일 구조 (b) 실제 예

< DXF파일의 구조 및 실제 예 >

정 보	설 명
SECTION	‘한 section이 시작함
0	다음 줄에 그 이름이 있게 됨을 표시
ENTITES	section의 이름
0	도형의 형태가 시작됨을 알림
LINE	도형의 형태
8	다음 줄에는 layor명칭이 뒤따르게 됨을 알림
0	이 도형이 있게 되는 layer명칭
10	다음의 줄은 x좌표값의 시작점을 알림
0.0	x좌표값
20	다음의 줄은 y좌표값의 시작점을 알림
0.0	y좌표값
30	다음의 줄은 z좌표값의 시작점을 알림
0.0	z좌표값
11	다음줄은 x좌표값의 끝점을 알림
9.0	x좌표값
21	다음줄은 y좌표값의 끝점을 알림
9.0	y좌표값
31	다음줄은 z좌표값의 끝점을 알림
0.0	z좌표값
0	다음 line는 파일 분리대 임
ENDSEC	한 section의 끝을 알림

< DXF파일 Entities Section의 구조 실제 예 >

가) HEADER section

○ DXF의 헤더섹션은 그래픽과 관련된 변수의 설정값을 갖는다. 이러한 변수는 다양한 명령어로 설정되며, 상태명령어에 의해서 표시된다. 각 헤더 변수는 고유 의미를 지니는데, 변수명 지정자인 9 그룹 다음에 위치하고 그 뒤에 변수값을 갖는 그룹이 온다. 즉 DXF 파일을 열어보면 숫자 9가 위치하고 다음 줄에 $로 시작되는 변수명이 오며 그 다음 변수의 값들이 나열된다.

나) TABLE section

○ TABLE 섹션은 몇개의 테이블들을 포함하는데, 각 테이블은 엔트리 변수 갯수를 포함하고 있다. 테이블의 순서는 변할 수 있지만, LTYPE 테이블은 반드시 LAYER 테이블 앞에 와야 한다. 각 테이블은 0그룹 다음에 'TABLE'로 소개되는데, 그 뒤에 테이블 이름(LTYPE, LAYER, STYLE, VIEW, ...)을 부여하는 2그룹과, 테이블 엔트리의 최대수를 저장하는 70 그룹이 다음에 오게된다. 테이블에는 삭제된 항목이 70 그룹에 포함될 수도 있지만 이들은 DXF 파일에 저장되지 않는다. 따라서 테이블 헤더 뒤에 오는 항목의 실제수는 70 그룹에서 지정된 수보다 작을 수도 있으므로, 70 그룹의 count는 테이블을 읽기 위한 지표로서 부적절하다. 그것보다는 70그룹의 count는 사용자 프로그램이 DXF를 읽을때, 그 뒤에 나오는 모든 항목들을 관리하기에 충분한 배열을 할당하기 위함이다. 각 테이블 헤더 뒤에는 테이블 엔트리가 뒤따른다. 각 테이블의 끝은 0그룹 값을 갖는 'ENDTAB'에 의해 표시된다.

- Linetype table (LTYPE)
- Layer table (LAYER)
- Text Style table (STYLE)
- View table (VIEW)
- User Coordinate System table (UCS)
- Viewport configuration table (VPORT)
- Dimension Style table (DIMSTYLE)
- Application Identtification table (APPID)

다) BLOCK section

○ 모든 블럭의 정의에 대한 정보가 블럭을 형성하는 entity와 함께 들어있다. entity 형식은 ENTITY 섹션과 동일하다. 이 섹션의 모든 entity는 BLOCK 및 ENDBLK entity 사이에 나타나며, 블럭의 정의는 중복되어서는 안된다. 외부참조는 Blook 정의로서 DXF파일에 쓰여진다. 예외로 그것들은 또한 외부참조의 경로와 파일명을 포함한다.

라) ENTITY section

○ 공간실체(entity)란 점, 선, 면, 원, 텍스트 등 도면을 형성하는 각 그림 요소를 의미한다. entity 항목은 BLOCK과 ENTITY 섹션에 모두 나타날 수 있는데,여기에서 사용되는 entity 형태는 두 섹션에서 거의 같다. entity를 정의하는 몇몇 그룹은 항상 나타나고, 어떤 그룹은 선택이다. 보통 각 공간실체 유형을 식별하는 것은 0그룹으로 시작하고 다음에 entity 명이 나타난다. 각 entity는 관련 레이어 명, 높이, 두께, 유형, 색 등을 갖는다. DXF는 모든 데이타를 출력하는 경우와 Entity 섹션의 데이타만을 출력하는 경우 2가지를 가질 수 있다. 또한 입력도 모든 데이타를 읽어들이는 경우와 공간실체 섹션의 데이타만을 읽어들이는 경우가 있다. 예로 복합 공간실체(complex entity)는 BLOCK섹션과 ENTITY섹션의 데이타 모두를 필요로 하므로, 양쪽 섹션 모두를 읽어 들여야 한다.

CODE	의미	적용 ENTITY
0	entity name	공 통
-1	entity name(기본)	
-3	확장 entity data flag	
1	기본 text 값	AD AT DM TX
2	shape,block,tag 이름	AD AT DM IN
3	prompt 문자열	AD DM
5	handle	공 통
6	linetype name	
7	text style name	TX AD AT
8	layer name	공 통
10(X)	시작점 insert point	LN PT TX IN AD AT
	center point	CI AR
	definition point	DM
11(X)	end point,insert point	LN
	alignment point	TX AD AT
20(X)	시작점 insert point	LN PT TX IN AD AT
	definition point	DM
21(Y)	end point,insert point	LN
	alignment point	TX
30(Z)	시작점 insert point	LN PT TX IN AD AT
	center point	CI AR
31(Z)	end point,insert point	LN
	alignment point	TX AD AT
38	elevation	공 통
39	thickness	공 통(IN제외)
40	radius	CI AR
	height,width	TX AD AT PL
41	w-scale factor,width	TX IN AD AT PL
42	y-scale factor	IN
43	z-scale factor	
44	column 간격	
45	row 간격	
50	rotate 각도	PT TX IN AD AT DM
51	obliquing 각도	TX AD AT
62	color	공 통
67	paper space flag	
70	dimension type	DM
	column 수	IN
	vertex,pline flag	PL
	attribute flag	AD AT

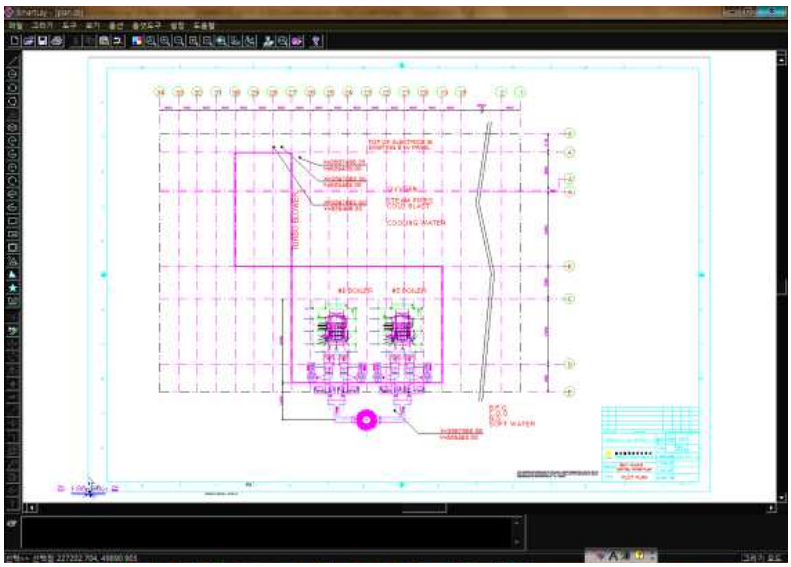
71	text generation flag	TX AD AT
	row 수	IN
72	text 수평정렬	TX AD AT
73	field length	AD AT
	text 수직정렬	TX AD AT
210	extrusion point x좌표	공통
220	extrusion point y좌표	
230	extrusion point z좌표	
LN=LINE CI=CIRCLE AR=ARC TX=TEXT PL=PLINE PT=POINT DM=DIMENSION		

<DXF 코드 및 이에 대한 해석>

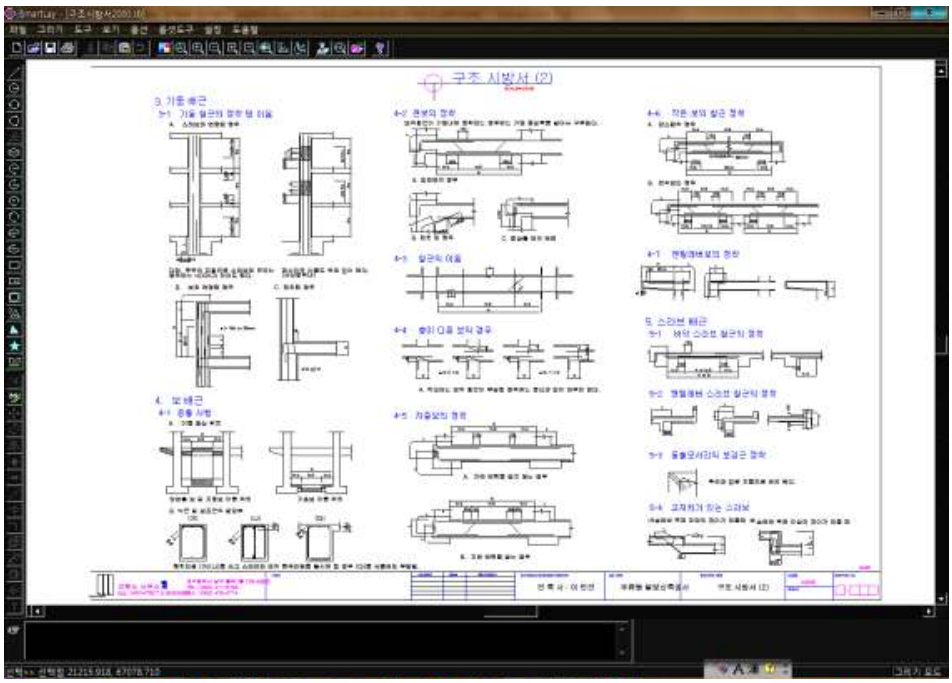
- line : 곧은 직선(line segment)으로서, 높이와 두께를 가질 수 있는 1차원 형상임. 레이어명, 시작점의 X,Y,Z 좌표, 끝점의 X,Y,Z 좌표값으로 구성됨.
- Point : 하나의 좌표만을 있음. 파일의 HEADER 섹션에서 변수 $PMODE를 지정해 줌으로써, Point의 모드가 설정됨.
- Circle : 중심좌표인 X, Y 값과, 반지름으로 구성되며, 1 차원 형상임.
- Arc : line공간형상중에서, 직선형상이 아닌 구부러진 호의 모양을 가지며, Circle의 부분임. 구성은 중심, 반지름, 시작각, 끝각으로 기술되며, Arc는 항상 시작각에서 끝각으로 시계반대방향으로 그려짐.
- Solid : 속이 메워진 삼각형 또는 사각형 공간형상으로, 마주보는 두쌍의 점에 의해 정의됨. 첫째 쌍인 A와 B를 정의한 다음, 두번째 쌍인 C와 D가 정의되는데, C와 D 점이 일치하면 삼각형 형상이 됨.
- Text : 문자열로서, 높이와 스타일, 포맷(자리맞춤)의 선택에 대한 정보를 포함하여 유형, 레이어명, 텍스트 삽입점의 X,Y 좌표, 삽입할 텍스트열 등으로 구성됨.
- Shape : line, arc, circle을 이용하여 정의되며, point위치에서 입력되며,구조상 text와 동일함.
- Block : 복합객체로 그룹화되는, 공간실체들의 집합임.
- PolyLine : line과 arc들의 연속으로 이루어진 데이터 집합체
- Trace : 외형상으로는 Polyline처럼 보이지만, Solid와 데이타구조가 유사하며 직선 세그먼트임.
- 3D face : 구조상 Solid와 유사하나 Z값을 가짐으로써 3차원이 됨. 3D facc는 면의 두쌍의 총 4 개의 점으로 기술하는 대신, 네코너를 차례로 돌아가면서 구성시키며, 항상 각 코너마다 3 개의 좌표를 가짐.
- 3D LINE : 이 공간실체는 Z값을 포함한 공간상의 line 임.

(나) 변환 결과 및 형상 편집

○ DXF파일 변환결과를 확인하기 위해 다음과 같이 AutoCAD의 도면파일을 Smart Lay로 변환하여 로딩하는 다양한 테스트를 수행하였으며, 그 결과 모든 도형과 엔티티 요소들이 빠짐없이 성공적으로 변환됨을 확인하였다.



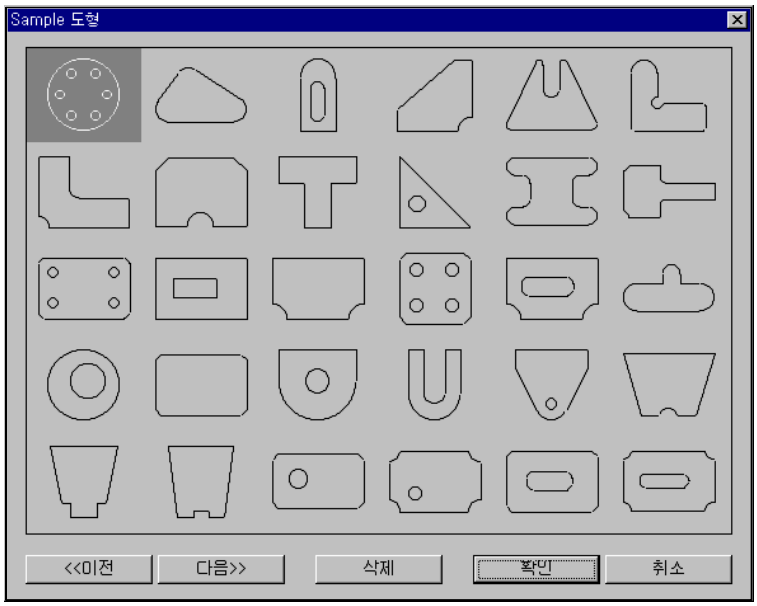
<PLANT 도면 변환 결과>



<철근 구조 시방서 도면 변환 결과>

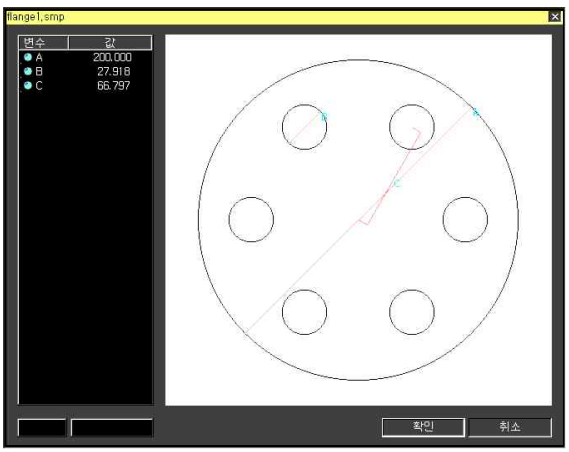
(3) 대표도형 지정을 통한 도형 추출

○ 형상데이터를 얻는 방법으로 외부 CAD데이터를 읽어오는 방법도 있으나, 다음 그림과 같이 미리 정의된 대표형상을 변환하여 도형을 입력하는 방법도 있다. Smart 은 자주 쓰이는 50여 가지의 형상을 미리 등록하고 필요할 때 선택하여 그 형상에 대해서 원하는 치수를 입력하여 도형을 만드는 방법이다.



< 대표 도형의 등록 >

○ 원하는 기본 도형 형상을 지정한 후에는 다음 그림과 같이 세부적인 도형 파라메터에 대해 값을 입력하여 도형을 정의한다.



< 파라메터 입력을 통한 도형의 정의>

(4) 데이터 처리를 위한 주요 알고리즘

(가) 데이터 정렬 알고리즘

○ SmartLay에서의 데이터는 화면에 출력을 위해 메모리 특정번지에 순서대로 저장이 되며, 이는 도형요소 및 엔티티 개별요소의 연결정보와는 무관하다. 즉, 도형 내의 엔티티가 서로 연결되어 있지 않거나 한 개의 엔티티가 반대방향으로 설정되어 있다 하더라도 화면 출력에는 아무런 문제가 없다. 그러나 도형끼리의 연산이나 교점계산, 최단거리 계산 등을 위해서는 필연적으로 엔티티 데이터가 서로 연결되도록 순서가 정리되어야 한다.

1) 분할 : 리스트에서 피보트 키의 원소를 선택하여 리스트를 다음과 같이 분할한다.

○ 피보트 키의 값보다 작은 키를 가진 원소들을 피보트 키 원소보다 앞에 둔다.
○ 피보트 키의 값보다 큰 키를 가진 원소들을 피보트 키 원소보다 뒤에 둔다.

2) 재귀적 정렬 : 피보트 키의 원소 앞뒤의 부리스트들에 각각 퀵 정렬을 수행한다.

3) 분석

○ 정렬의 최악의 경우는 리스트가 역순으로 정렬되어 있는 경우이다. 역순으로 정렬된 경우 분할을 n-1 번 수행해야 하고, i 번째 분할에서 비교 횟수는 n-i이다. 따라서 총 비교 횟수는 (n - 1) + (n - 2) + ...+ 2 + 1= (n (n - 1)) / 2 이며, 이는 가장 단순한 정렬방법인 n!의 횟수보다 계산횟수에 대해 높은 이득을 확보하는 알고리즘이다.

4) 알고리즘 구현(C/C++)

```
void Sort(int m, int n)



{
    int i, j, k, temp;
    if (m<n)
    {
        i=m;
        j=n+1;
        k=key[m];
        do {
            do {
                i=i+1;
            } while (record[i]<k);
```

```
                do {
                        j=j-1;
                  } while (record[j]>k);

                  if (i<j)
                {
                        temp=key[j];
                        key[j]=key[i];
                        key[i]=temp;
                  }
            } while (i<j);
            temp=key[j];
            key[j]=key[m];
            key[m]=temp;
            Sort(m, j-1);
            Sort(j+1, n);
      }
}
```

(나) 다각형 내외부 판별 알고리즘

○ 다각형의 내외부는 철근부재의 배치위치와 선별, 형상의 외곽선과 홀을 구분을 위해 필요하다. 일반적으로 다각형을 이루는 엔티티의 개수가 수십개 이하인 경우 기본적인 탐색 알고리즘으로도 매우 빠르게 내외부 판별이 가능하나 짧은 엔티티의 개수가 많은 곡선 위주의 형상인 경우에는 효과적인 내외부 판별 알고리즘이 필수적이다. 본 과제에서 적용한 알고리즘은 다음과 같다.

○ 어떤 다각형이 있고, 어떤 점이 주어졌을 때, 이 점이 다각형의 내부에 있는지 외부에 있는지를 검사해야 한다고 하자.

○ 다각형이 볼록 다각형이고, 이 다각형을 이루는 점들이 p0,p1,...,pn이며, 이들이 반시계 방향으로 정렬되어 입력될 때 :

- 이때는 다각형을 이루는 점을 가지고, 순차적으로 선분을 구성할 수 있고, 어떤 점이 다각형의 내부에 있다면, 이 선분들의 왼쪽에 있어야 한다는 것을 의미한다.
- 이것은 left함수를 사용하여 구현하면, 항상 left함수의 값이 0이상인 값이 나와야 한다는 것을 의미한다.

○ 다각형이 볼록다각형이 아니고, 임의의 순서로 선분이 입력될 때 :

- 볼록 다각형이 아니면서, 그 다각형을 구성하는 선분이 임의의 순서로 입력될 때에는 다음과 같은 알고리즘으로 선분의 내부 외부를 검사할 수 있다.

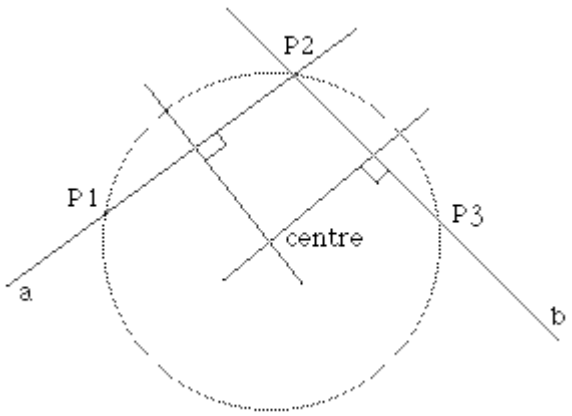
1) 알고리즘 구현(C/C++)

```
int inside(Point p, Point t)
{
      int count =0, j=0;
      Point lp[2];
      Point lt[2];
      lt[0][0]=t[0]; lt[0][1]=t[1]; lt[1][0] = 32728;
      for (i=0;i<N;i++)
      {
            lp[0][0]=p[i][0]; lp[0][1]=p[i][1];
            lp[1][0]=p[i+1][0]; lp[1][1]=p[i+1][1];
            if (intersect(lp,lt)) count++;
      }
      return (count % 2 == 0 ) ? 0 : 1;
}
```

(다) 세점을 지나는 원

○ 도형을 정의하기 위해 기본적으로 그리는 엔티티가 원이며, 많은 경우 세점을 레퍼런스로 하여 정의되는 원이 필요하다. 이와 같이 세 점을 지나는 원은 원의 중심점만 구하면 원하는 원을 나타낼 수 가 있다. 나머지 반지름은 세 점중에 임의 점과 중심점간의 거리로 쉽게 구할 수 있기 때문이다.

결국 세점을 지나는 원을 구하는 알고리즘은 원의 중심 위치를 구하는 알고리즘과 동일하다.



○ 정해진 세점 P1, P2, P3으로부터 선분 P1-P2와 선분 P2-P3을 정하고, 이 두 선분의 중심을 지나며 수직인 두 직선이 정해지는데, 이 두 직선의 교점이 바로 원의 중심점이 된다. 선분 P1-P2과 선분 P2-P3의 식을 일반적인 기울기(m)을 이용한 직선의 방정식으로 표현하면 다음과 같다.

$$y_a = m_a (x - x_1) + y_1 \qquad y_b = m_b (x - x_2) + y_2$$

○ 여기에서 기울기 ma와 mb는 다음과 같으므로

$$m_a = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x1} \qquad m_b = \frac{y_3 - y_2}{x_3 - x_2}$$

○ 직선의 기울기를 m이라고 할때, 이 직선에 수직인 직선의 기울기는 -1/m이며, 두 점을 각각 (xa, ya), (xb, yb)라고 할 때 이 두 점으로 이루어진 선분의 중점은 ((xa+xb)/2, (ya+yb)/2)이므로 선분 P1-P2와 선분 P2-P3에 대해서 중심을 지나며 수직인 두 직선의 방정식은 다음과 같다.

$$y'_a = -\frac{1}{m_a}\left(x - \frac{x_1 + x_2}{2}\right) + \frac{y_1 + y_2}{2}$$

$$y'_b = -\frac{1}{m_b}\left(x - \frac{x_2 + x_3}{2}\right) + \frac{y_2 + y_3}{2}$$

○ 두 직선이 만나는 점의 x에 대해서 풀면

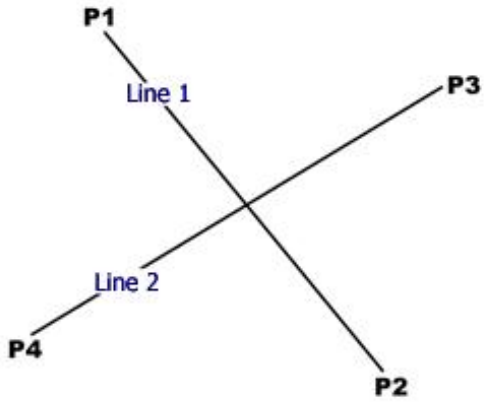
$$x = \frac{m_a m_b (y_1 - y_3) + m_b (x_1 + x_2) - m_a (x_2 + x_3)}{2(m_b - m_a)}$$

○ 두 직선이 만나는 점의 y값은 해당 직선의 방정식에 대입하여 얻을 수 있다. 위의 두 직선이 만나는 점의 x에 대한 식의 분모값이 0인 경우, P1, P2, P3가 한직선을 지나는 경우로써 원이 존재하지 않는 경우이다.

(라) 범용의 두 선의 교점 구하는 알고리즘

○ 일반적으로 두 직선의 교점을 구하는 방정식은 간단하게 연립방정식을 구성하여 행렬을 푸는 문제로 여겨질 수 있으나 CAD 시스템에서는 두 직선의 상태, 즉 거의 평행한 직선, 완전히 포개진 직선, 한라인에 연장선상에 놓여진 두 직선 등 일반적인 방법으로 접근 하는 경우 연산에서 0에 가깝게 나누어지거나 프로그램 오류를 유발하는 요소들이 발생하기 때문에 범용의 효과적인 교점 알고리즘이 필요하다.

○ 직선의 방정식으로써, 기울기와 절편으로 나타내지 말고, t 매개변수를 이용해 나타내면 다음과 같다.



$$P(t) = (1-t)P_1 + tP_2$$

○ Line1은 P1과 P2로 이루어져 있으며, Line2는 P3와 P4로 이루어져 있다. 두개의 라인을 식으로 표현해보면 다음과 같다.

$$P(t) = (1-t)P_1 + tP_2$$
$$P(s) = (1-s)P_3 + sP_4$$

○ t와 s는 0에서 1부터의 값이며, 두선의 교점은 두선의 공통된 값이므로 P(t)와 P(s)는 같으므로 위의 2개의 식은 아래의 1개의 식으로 나타낼 수 있다.

$$(1-t)P_1 + tP_2 = (1-s)P_1 + sP_2$$

○ 위의 식을 x, y로 분리해보면 아래와 같은 두개의 식들로 분리되며,

$$x_1 + t(x_2 - x_1) = x_3 + s(x_4 - x_3)$$
$$y_1 + t(y_2 - y_1) = y_3 + s(y_4 - y_3)$$

○ t와 s에 대해서 정리를 해보면 다음과 같다.

$$t = \frac{(x_4 - x_3)(y_1 - y_3) - (y_4 - y_3)(x_1 - x_3)}{(y_4 - y_3)(x_2 - x_1) - (x_4 - x_3)(y_2 - y_1)}$$
$$s = \frac{(x_2 - x_1)(y_1 - y_3) - (y_2 - y_1)(x_1 - x_3)}{(y_4 - y_3)(x_2 - x_1) - (x_4 - x_3)(y_2 - y_1)}$$

○ 즉, 위의 t와 s는 두선이 서로 만날때의 값이므로, 최종적으로 두선의 교점은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$x = x_1 + s(x_2 - x_1)$$
$$y = y_1 + s(y_2 - y_1)$$

○ s와 t의 값이 0과 1 사이를 벗어나는 경우, 두 선은 교차하지 않는다고 판정해야 한

다. 그리고 s와 t를 구하는 공식에서 분모가 0인 경우 두 선은 평행하다는 의미이므로 교점은 존재하지 않다. 분모와 분자 모두 0인 경우 두 선은 동일한 선이다.

1) 알고리즘 구현(C/C++)

```
bool GetIntersectPoint(const POINT& AP1, const POINT& AP2,
const POINT& BP1, const POINT& BP2,POINT* IP)
{
        double t;
        double s;
        double under =
        (BP2.y-BP1.y)*(AP2.x-AP1.x)-(BP2.x-BP1.x)*(AP2.y-AP1.y);
        if(under==0) return false;
        double _t = (BP2.x-BP1.x)*(AP1.y-BP1.y) -
(BP2.y-BP1.y)*(AP1.x-BP1.x);
        double _s = (AP2.x-AP1.x)*(AP1.y-BP1.y) -
(AP2.y-AP1.y)*(AP1.x-BP1.x);
        t = _t/under;
        s = _s/under;
        if(t<0.0 || t>1.0 || s<0.0 || s>1.0) return false;
        if(_t==0 && _s==0) return false;
        IP->x = AP1.x + t * (double)(AP2.x-AP1.x);
        IP->y = AP1.y + t * (double)(AP2.y-AP1.y);
        return true;
}
```

(마) 점과 직선의 가장 가까운 거리

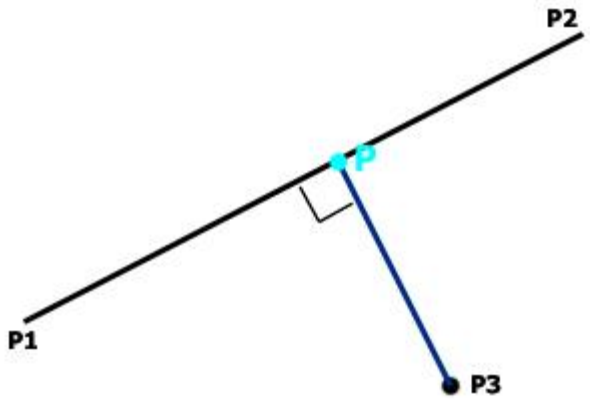
○ 점과 지선의 가까운 거리를 도형의 편집에서 마우스의 레퍼런스 포인트를 쉽게 설정에 필요한 오스냅모드 구현을 위해 필요한 알고리즘이다.

○ 정해진 구간을 이루는 선, 즉 시적점 P1(x1, y1)과 끝점 P2(x2, y2)로 이루어진 선분은 다음과 같으며,

$$P = P1 + u(P2 - P1) \quad [식1]$$

○ u는 0과 1사이의 실수값이다. 임의의 점(P3)과 위의 선과 가장 짧은 거리를 이루는 선 상의 점을 P라고 하면, 가장 가까운 거리가 되기 위해서는 아래의 그림처럼 P와 P3를 이루는 선과 P1와 P2가 이루는 선이 직교해야 하기 때문에 (P3 - P) 벡터와 (P2 - P1) 벡터는 수직이다. 즉, 두 벡터가 수직이라는 것은 두 벡터의 내적이 0 이다.

$$(P3 - P) \cdot (P2 - P1) = 0 \quad [식2]$$



○ [식2]의 P에 [식1]의 P를 대입하면 아래와 같으며,

$$[P3-P1-u(P2-P1)]\cdot(P2-P1)=0$$

○ u에 대해서 정리해보면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$(P3-P1)\cdot(P2-P1)-u(P2-P1)\cdot(P2-P1)=0$$

$$u=\frac{(P3-P1)\cdot(P2-P1)}{(P2-P1)\cdot(P2-P1)}$$

$$=\frac{(x_3-x_1,\ y_3-y_1)\cdot(x_2-x_1,\ y_2-y_1)}{(P2-P1)\cdot(P2-P1)}$$

$$=\frac{(x_3-x_1)(x_2-x_1)+(y_3-y_1)(y_2-y_1)}{\|P2-P1\|^2}$$

○ 위의 u를 [식1]에 대입하여 얻은 P가 바로 최소 거리가 되면 점이다. 또 P를 구했고 이미 P3는 알고 있으니 두 점간의 거리를 구하는 공식으로 최소거리를 구할 수 있다.

(바) 다각형의 방향 판별

○ 도형은 기본적으로 다각형 위주로 구성되며, 다각형을 구성하는 정점이 이루는 순서가 시계방향(CW)인지 반시계방향(CCW)인지를 판별하는 것은 간섭이나 교차점 계을 단축시키기 위해 매우 필요하다. 즉, 다각형이 볼록(convex)하거나 오목(concave)한 경우 모두 상관없이 효과적으로 방향을 판별할 수 있는 알고리즘이 필요하다.

○ 폴리곤이 아래와 같은 순서로 나열된 총 N개의 정점으로 이루어졌다고 가정하면

$$(x_0,\ y_0),\ (x_1,\ y_1),\ (x_2,\ y_2),\ \cdots,\ (x_{N-1},\ y_{N-1})$$

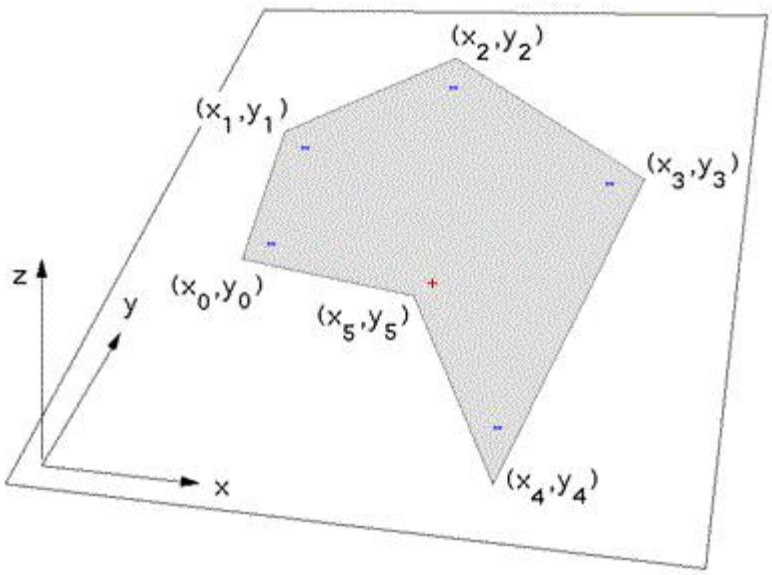
○ 볼록한 폴리곤에 대한 정점의 순서는 폴리곤을 구성하는 인접한 2개의 가장자리 선간의 외적(cross product)의 특성으로 판별할 수 있다. 인접한 2개의 가장자리 선들의 선택은 임의로 이루어진다. 볼록한 폴리곤을 구성하는 인접한 2개의 가장자리 선 간의 외적값이 양수라는 의미는 폴리곤이 이루는 면에 수직인 방향으로 폴리곤 면의위의 방향을 의미하고, 음수는 폴리곤 면의 아래방향을 의미한다.

$$cross\ \ product = ((x_i - x_{i-1}),\ (y_i - y_{i-1})) \times ((x_{i+1} - x_i),\ )y_{i+1} - y_i))$$
$$= (x_i - x_{i-1}) \times (y_{i+1} - y_i) - (y_i - y_{i-1}) \times (x_{i+1} - x_i)$$

○ 다음으로 오목한 폴리곤에 대한 정점의 순서를 결정하는 방법은 폴리곤의 면적을 계산하는 방법에서 얻어올 수 있다. 면적이 다음과 같이 주어진다고 할때

$$A = \frac{1}{2}\sum_{i=0}^{N-1} x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i)$$

○ 위의 A가 양수이면 반시계방향이고 음수이면 시계방향임을 나타낸다. 즉, 임의의 폴리곤에 대한 정점들의 방향을 판별하기 위해서, 그 폴리곤이 오목인지, 볼록인지를 먼저 판별하여야 한다. 폴리곤이 볼록인지, 오목인지는 판별하는 방법은 다음 그림과 같다.



○ 즉, 복록한 폴리곤인 경우라면, 모든 인접한 모서리 선들에 대한 외적 값의 부호가 동일하지만, 오목한 경우는 외적 값의 부호가 동일하지 않다.

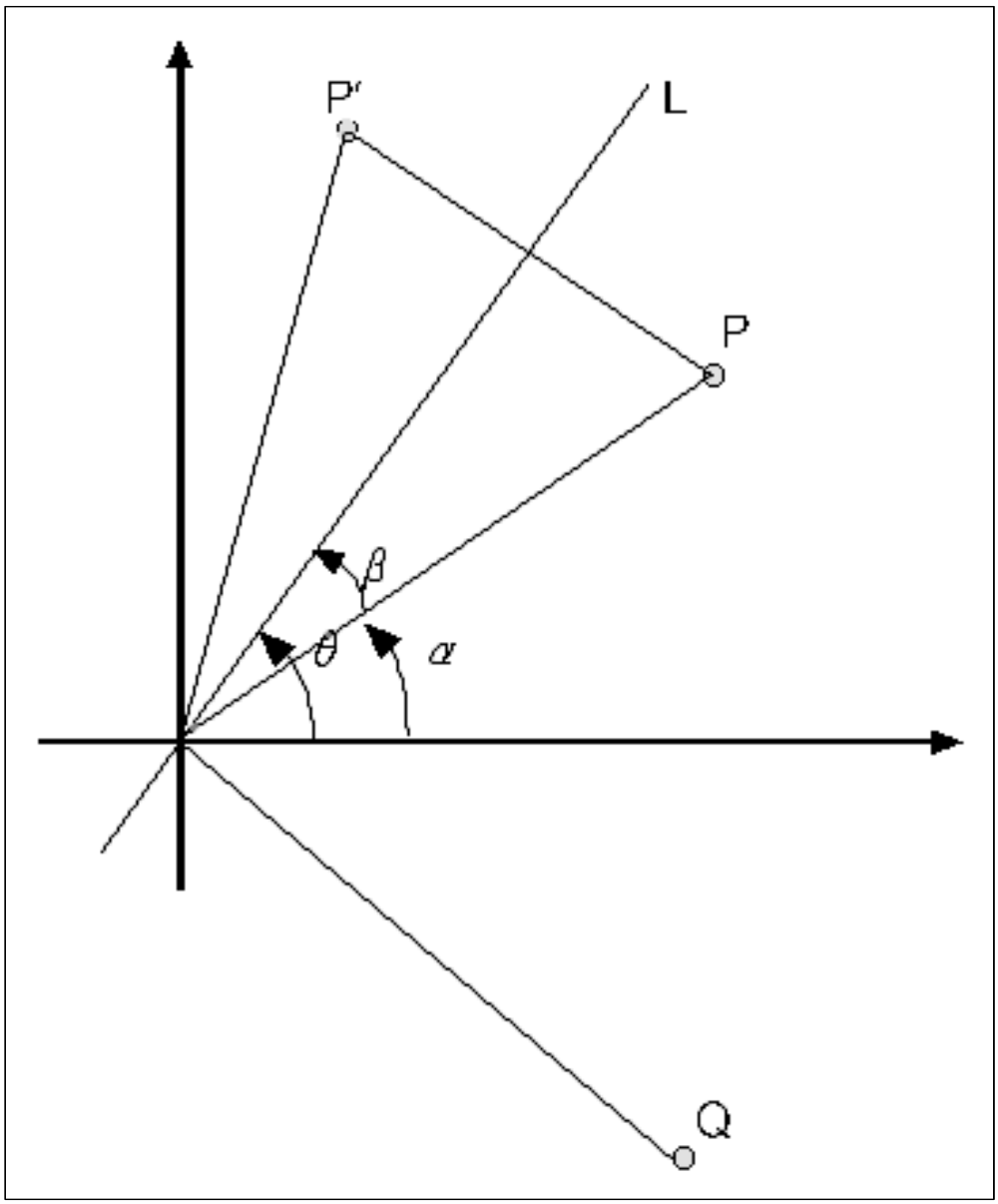
1) 알고리즘 구현(C/C++)

```
int Convex(XY *p,int n)
{
        int i,j,k;
        int flag = 0;
        double z;
        if (n < 3) return(0);
        for (i=0; i<n; i++)
        {
                j = (i + 1) % n;
                k = ( i + 2) % n;
                z = (p[j].x - p[i].x) * (p[k].y - p[j].y);
                z -= (p[j].y - p[i].y) * (p[k].x - p[j].x);
                if (z < 0) flag |= 1;
                else if (z > 0)
                flag |= 2;
                if (flag == 3)
                return(CONCAVE);
        }
        if (flag != 0) return(CONVEX);
        else return(0);
}
```

(사) 도형 편집 관련 알고리즘

○ CAD의 작업은 대부분 기본 도형을 그려놓고, 그 기본도형을 변환하여서 원하는 도형을 그린다. 형상 변환의 작업은 이동, 회전, 대칭, 나누기, 연결하기, 늘이기, 모만들기, 모따기, 직교배열, 선형배열, 원호배열, 옵셋등의 기능이 있다. 모든 변환기능은 기본적인 기능인 이동, 회전, 성분간의 교점 상태 구하기, 등의 기능들의 조합으로 구현하였으며 다음 몇몇 변환기능에 대해서 알고리즘을 설명하였다.

○ 대칭 변환 : 대칭변환은 2차원 평면상의 변환행렬을 통해 변환시킬 수 있다. 아래 그림에서 점 P를 직선 Y = X tanΘ 에 대해서 대칭 시키려면 점P에서 직선 L까지의 각도 2β 만큼 점 P를 이동시키면 된다. 이때 2β = -2α + 2Θ 이므로 점 P를 X축으로 대칭이동과 각 2Θ의 회전이동과 합성하면 아래와 같이 대칭이동 변환 행렬을 얻을 수 있다.

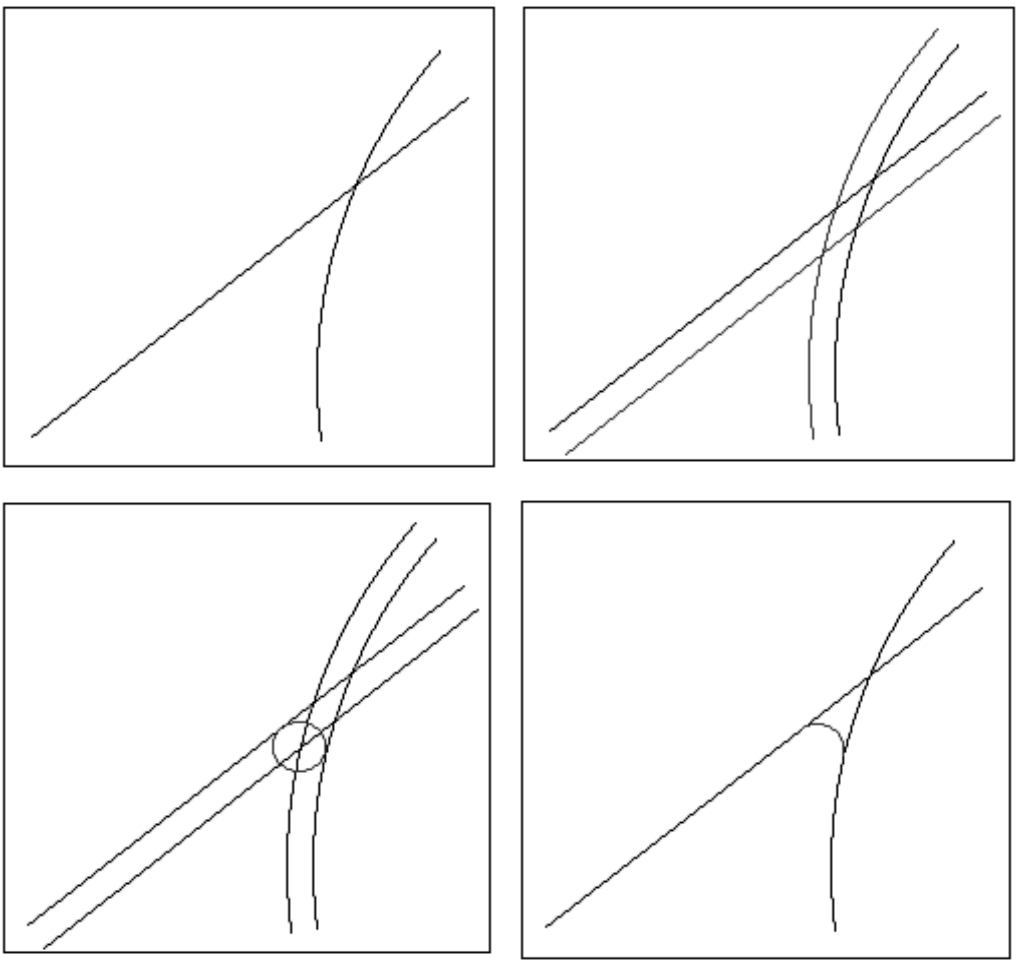


<대칭변환행렬의 유도>

$$\begin{bmatrix}\cos 2\theta & -\sin 2\theta \\ \sin 2\theta & \cos 2\theta\end{bmatrix}\begin{bmatrix}1 & 0 \\ 0 & -1\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}\cos 2\theta & \sin 2\theta \\ \sin 2\theta & -\cos 2\theta\end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix}x' \\ y'\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}\cos 2\theta & \sin 2\theta \\ \sin 2\theta & -\cos 2\theta\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x \\ y\end{bmatrix}$$

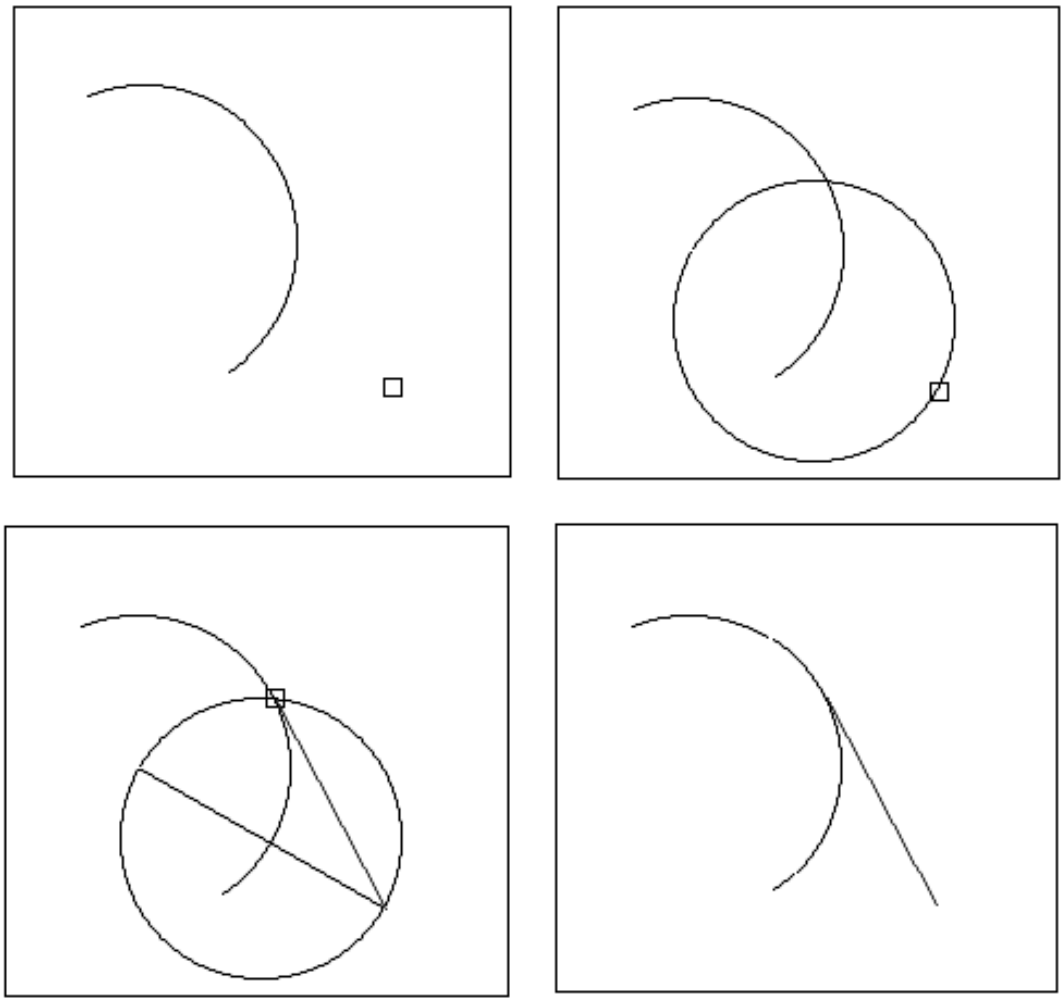
○ 모따기 : 모따기는 두 성분에 대해서 원하는 반경의 원호로 모서리를 만들어주는 기능이다. 직선-직선, 직선-원호, 원호-원호의 모든 경우에 대해서 아래의 방법으로 모따기 기능을 구현하였다.



<모따기 알고리즘>

① 두 성분에 대한 사이의 점 P를 구한다.
② 두 성분을 각각 점 P의 방향으로 주어진 반경 R 만큼 옵셋 시킨다.
③ 옵셋된 두 성분의 교점을 구한다.
④ 교점을 중심점으로 하고 반경 R의 원을 생성시킨다.
⑤ 생성된 원과 처음 두 성분 간의 교점을 구한다.
⑥ 원의 중심점을 중심으로 하고 구해진 각각의 교점을 시작점, 끝점으로 하는 예각의 원호를 생성한다.

○ 접선 내기 / 접선으로 붙이기 : 한점에서 원호를 긋는 접선을 만들거나 원호에서 한 점으로 접선을 따낼 때는 아래의 방법으로 범용적인 알고리즘을 구현하였다.



<접선 내기 / 접선으로 붙이기 알고리즘>

① 한점 P와 주어진 원호의 중심점을 양끝점으로 하는 원을 그린다.
② 구해진 원과 주어진 원의 교점을 구한다.
③ 점 P와 구해진 교점을 끝점으로 하는 선을 생성시킨다.

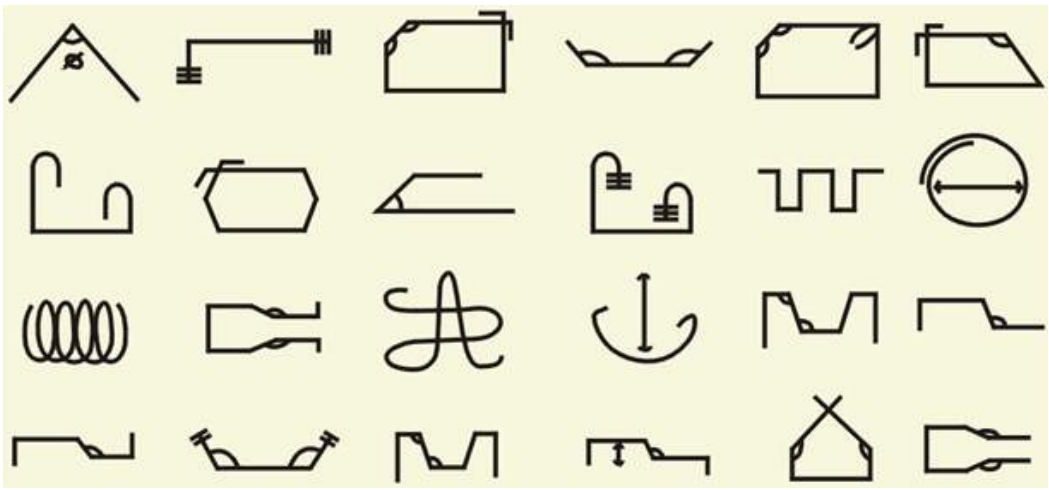
나. 철근가공정보 자동매핑

(1) 배근 철근형상패턴에 따른 대표 가공형상 정의

○ 철근 가공의 형상종류는 다음 그림과 같이 적용되는 공사에 따라 다르지만 40개 종류 정도이며, 실제로는 대부분 20종류 내외이다. 또한 대부분 형상이 단순한 대칭형상으로 이루어져 있으며, 철근의 굵기가 굵어짐에 따라 형상은 더욱 단순해지는 경향이 있다.

형 상	용 어	사용부위
	절 단	철근의 기본
	앙 카	보,기둥에 사용
	요 앙 카	보,토목용 Box 사용
	스 트 럽	보의 앙카를 감싸는데 사용
	후 프	기둥의 앙카를 감싸는데 사용
	앙카벤다	토목용 벤다 및 보의 벤다
	우 마	기초의 바닥 고임 철근
	코 너 근	벽체의 코너부근 사용
	원 형	원형기둥에 사용

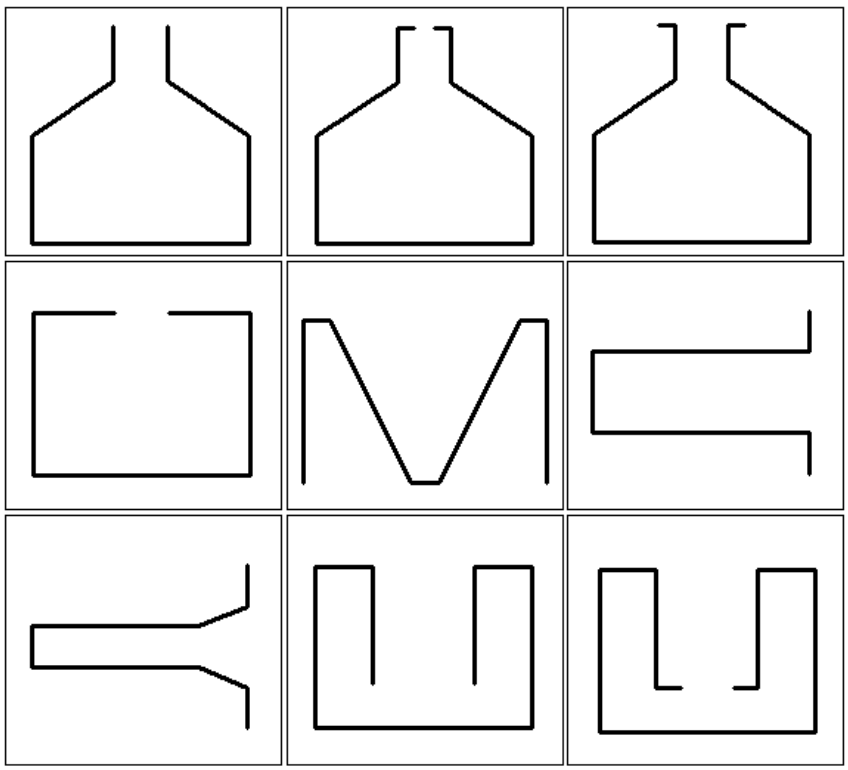
형 상	용 어	사용부위
	유 바	벽체 보강용
	하 마	스트랍 상부, 옹벽에 사용
	곤 도 라 앙 카	엘리베이터 부위 사용
	데크고리	데크철판과 철근을 연결
	낚시고리	작은벽체, 보에 사용
	계 단 근	계단에 사용
	벤 다	1련,2련,3련 벤다 쪼임
	헌 치	Box,옹벽에 사용
	날 개	보의 스트랍 역할



○ 이론적으로 볼 때 철근가공에 대한 종류는 이론적으로 매우 많으나, 철근을 단순하게 1차 직선으로 생각하고, 2차원 평면상에서 가공하는 것으로 가정하는 경우 다음을 고려하면 유한개의 형상 패턴을 얻을 수 있다.

○ 철근 가공에 대한 가정
- 철근의 굽힘가공은 2차원 평면상위의 굽힘이다.
- 굽힘 횟수는 최대 10회 이다.
- 굽힘의 대표적인 각도는 이전 방향 대비+90, +45, ·45, ·90의 4가지다.

○ 위의 가정을 고려할 때 굽힘가공 패턴에 대한 개수는 이론적으로 1,048,576종류(4(각도종류)^10(최대굽힘횟수))이며, 일반적으로 건축 철근가공은 대부분 대칭형상 이므로 대칭형상조건을 가정하는 경우에는 이론적으로 1024 (4^5)갯수의 철근가공 패턴이 가능하다. 다음 그림은 주로 많이 사용하는 형상에 대한 패턴이다. 패턴화된 형상은 파라메터 입력만으로 형상화 할 수 있다. 본 과제에서는 이러한 기본적인 형상 뿐 아니라 외부 CAD 파일의 다양한 형상을 자동으로 패턴화 하여 등록되도록 개발하여 형상에 대해 D/B화를 쉽게 만들어 갈 수 있다.



<대표적인 철근 가공 형상 패턴>

(2) 특징형상 추출 알고리즘

(가) 알고리즘 개요

○ 특징형상을 추출하기 위한 전체 알고리즘은 다음과 같다.

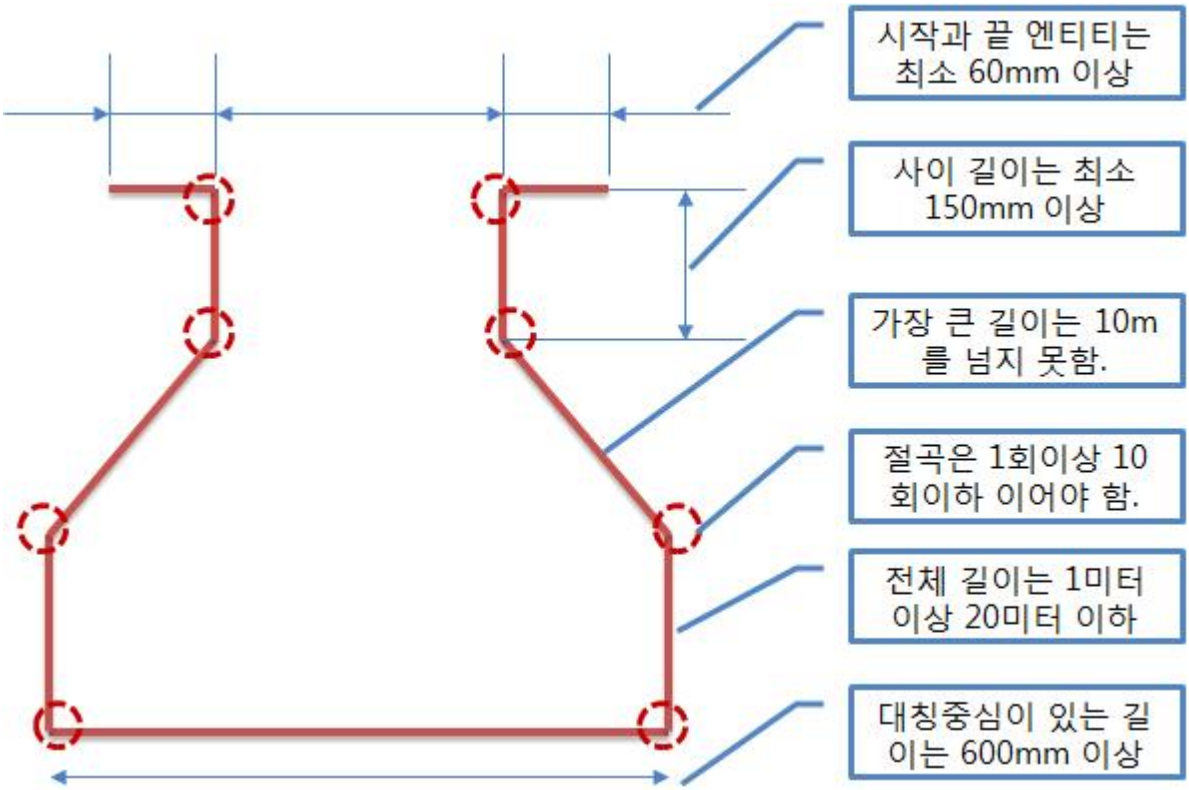
- 외부파일 로딩 : AutoCAD DWG 파일을 DXF파일로 변환 후 SmartLay의 데이터 포맷으로 변환하여 로딩함.
- 연결정보 탐색/정렬 : 전체 개별 엔티티에서 서로 연결된 연결정보를 찾아 한 단위체의 도형 정보를 저장함.
- 기본 조건 필터링 : 기본 도형 추출 조건에 만족하는 형상을 추출함.
- 도형의 선분화 처리 : CAD도형은 직선과 원호가 연결된 경우도 있으나, 원호를 제거하여 직선으로 연결처리 함.
- 패턴 탐색 : 선분의 개수가 3개이상 홀수인 경우에 한해 도형을 위의 가정 조건에 따라 4가지 방향별로 분류함.
- 대칭도형 탐색 : 패턴의 대칭성을 탐색하여 대칭형상만 선별
- 기준위치 설정 : 기준위치 좌우로 300mm 이상 확보된 경우에만 유효하며, 300mm 이상 확보하지 못하는 경우 배제함.(기계 설계 스팩에 따른 선별 기준)
- 패턴 스토리지 등록 : 등록된 패턴에 따라 실제 데이터를 등록시킴.

(나) 기본 조건 필터링

○ CAD파일 정보에는 단순 점, 작은 원,무한직선 등 유효하지 않은 데이터를 다수 포함하고 있기 때문에 유효한 데이터만 효과적으로 구해야 한다. 이를 위해서는 다음과 같은 조건을 고려하여 데이터를 추출한다.

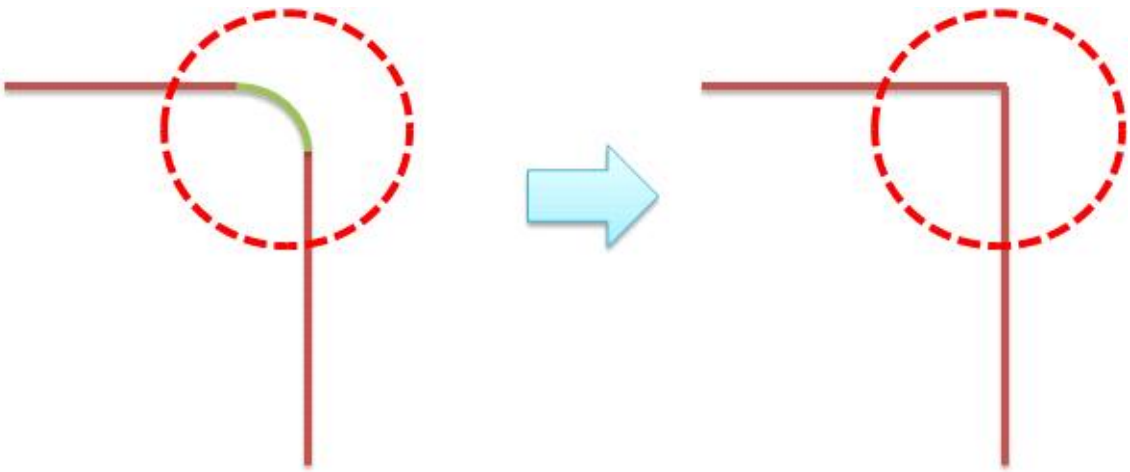
○ 필터링 조건

- 전체 철근의 길이가 1,000mm 이상, 20,000mm 이하 이어야 한다.
- 시작엔티티와 마지막 엔티티의 길이는 최소 60mm이상 유지해야 한다.
- 기계 구조상 최소 150mm 이내에서는 2회 이상의 굽힘이 불가능하므로 이 경우 도형 추출에서 배제한다.
- 대칭형상 이어야 하며, 대칭 중심을 포함하는 라인은 최소 600mm 이상이어야 한다.
- 라인의 길이는 최대 10,000mm를 넘을 수 없다.(즉, 본 장비에서 제작 가능한 굽힘사각형의 한변 최대 길이는 2.5m로 가정, 이보다 큰 경우 굽힘 과정에서 철근과 장비의 심각한 간섭발생)
- 절곡 횟수가 1회이상 10회 미만이어야 한다.



(다) 도형의 선분화 처리

○ CAD도형은 철근의 굽힘에 대해 별도의 원호를 고려하여 설계된 경우도 있으며, 그렇지 않은 경우도 있다. 효과적인 데이터 처리를 위해 원호를 고려하지 않도록 선분화 처리를 해야 한다. 이를 위해 SmartLay의 모만들기 기능을 그대로 활용하였다.



(3) 절곡형상 파라메터 코드 체계 정의

○ 절곡형상을 하나의 문자열 파라메터로 나타내기 위해 선분형상의 철근위에 절곡 위치가 설정되는 것으로 한 문자열로 단순화하였다. 즉, 중심의 기준위치로부터 밖으로 나가는 방향으로 굽힘각도와 길이 간격을 순차적으로 표현하도록 규칙화하였다.

○ 기준위치 : 홀수개의 엔티티 중에서 가운데 순번의 엔티티를 기준엔티티로 설정하고 중심위치를 기준위치로 한다. 이때 기준엔티티의 길이는 반드시 600㎜보다 커야 한다.

○ 헤더부 : 하나의 문자와 값으로 표현되며, 형상의 대칭특성유무와 기준 위치에서 바깥 방향으로 엔티티의 굽힘위치까지의 거리를 값으로 표현한다.

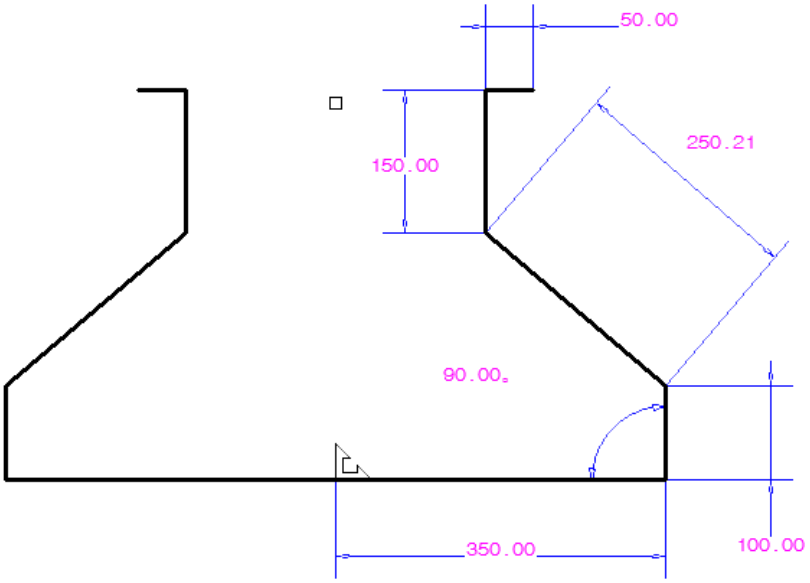
- 'S' : 좌우가 대칭을 유지하는 형상임을 나타내는 코드
- 'X' : 비대칭인 경우 X축 방향으로 진행하는 정보임을 나타내는 코드
- 'Y' : 비대칭인 경우 Y축 방향으로 진행하는 정보임을 나타내는 코드
- 값 : 기준위치에서 처음 만나는 굽힘위치까지의 거리를 mm로 나타낸 값

ex) S350 : 대칭형상이며, 기준점에서 350mm이후에 처음 굽힘점이 있음.
X400 : X축 방향으로 기준점에서 400mm 위치에 처음 굽힘점이 있음.

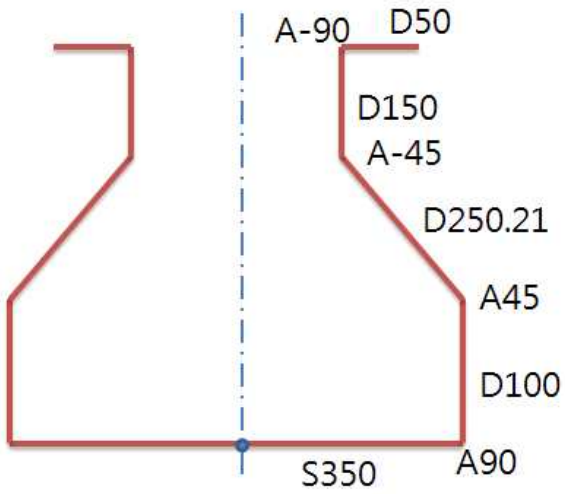
○ 바디부 : 철근이 순차적으로 굽혀지는 각도(Deg)와 여분의 거리를 나타내며, 각도는 'A' 코드로, 여분의 거리는 'D'코드로 나타냄.

- 'A' : 본 코드 다음에 오는 값은 굽힘각도를 나타내며, Degree로 표현됨. 또한 회전방향은 기계 좌표축의 회전방향과 동일한 부호를 가짐. 즉, 위로 굽히는 방향이 +방향임.
- 'D' : 이 코드 다음에 오는 값은 굽힘 이후 그다음 굽힘위치까지의 거리를 mm 단위로 나타낸 것으로 최소 150mm 이상 이어야 함.

ex) A90D200 : +90도굽히고 그다음 200mm까지는 굽힘이 없는 직선구간임.



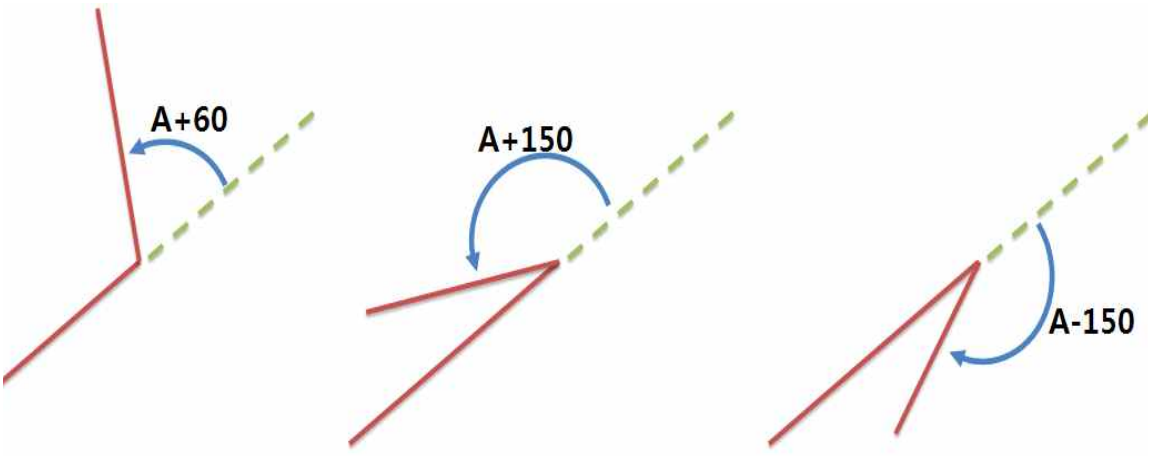
○ 예를 들어 위의 그림과 같은 형상의 경우 파라메터 코드는 다음과 같이 정의될 수 있다.



- 파라메터 코드 : "S350A90D100A45D250.21A·45D150A·90D50"
- S350 : 좌우 대칭형상이며, 중심에서 350mm 이동후 굽힘점
- A90D100 : 90도 굽힌 후 100mm 직선 진행
- A45D250.21 : 45도 굽힌 후 250.21mm까지 직선 진행
- A·45D150 : ·45도 굽힌 후 150mm 직선 진행
- A·90D50 : ·90도 굽힌 후 50mm 직선 진행

(4) 형상 파라메터 연산

○ 파라메터 연산에서 거리는 단순 길이연산을 통해 구할 수 있으나, 각도의 경우에는 -180도에서 +180도의 값으로 표현되며, 각도의 기준은 아래 그림과 같이 이전 선분의 연장선상에서의 각도를 의미한다.



(a) (b) (c)

○ 각도는 좌표의 사분면에 따라 부호가 바뀌어 다르게 연산될 수 있다. 따라서 본 과제에서는 평면상의 범용적인 각도를 정확히 구하기 위해 벡터의 외적과 내적을 이용하여 두 벡터간의 Atan2 함수로 정확한 각도를 계산하였으며, 각도범위를 -180도에서 +180도 범위로 한정시키기 위해 각도 노멀라이즈 함수도 함께 개발하였다.

○ 한평면 상에 있는 두 벡터의 각도를 구하는 함수, Vect1이 기준, 축벡터에 대해서 CCW 방향 (0<=각도<2.0*pi)

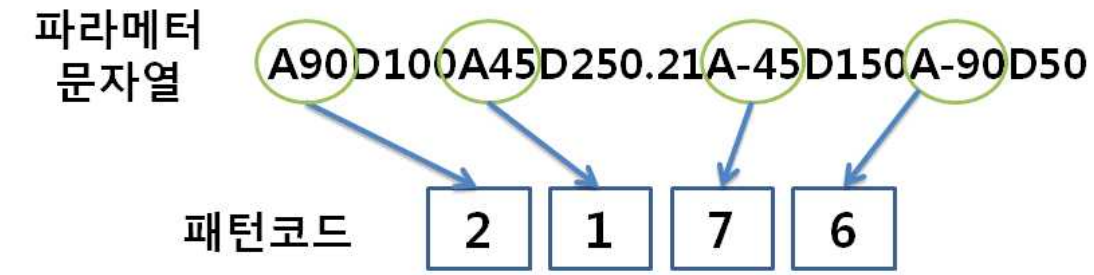
```
double GetAngleVectorALL(double *Vect1, double *Vect2, double *AxisVector)
{
	double Length1, Length2, ax, ay, Angle;
	Length1 = GetLengthVector(Vect1);
	Length2 = GetLengthVector(Vect2);
	if(Length1*Length2 < S_DIVIDERRORBOUND) Angle = 0.0;
	else
	{
		double NVect[3];
		ax = InnerProduct(Vect1, Vect2);
		ay = CrossProduct(Vect1, Vect2, NVect);
		Angle = ATan(ay, ax);
		if(InnerProduct(AxisVector, NVect)>=0.0)
		{
			Angle = 2.0*S_PI - Angle;
		}
	}
	return(GetAngleNormalize(Angle));
}
```

○ 주어진 크기의 각도를 -pi<= angle < pi 사이의 예각으로 노멀라이즈함.

```
double SBase::GetAngleAcute(double angle)
{
        angle = GetAngleNormalize(angle);
        if(angle>=S_PI) angle -= (2.0*S_PI);
        return(angle);
}
```

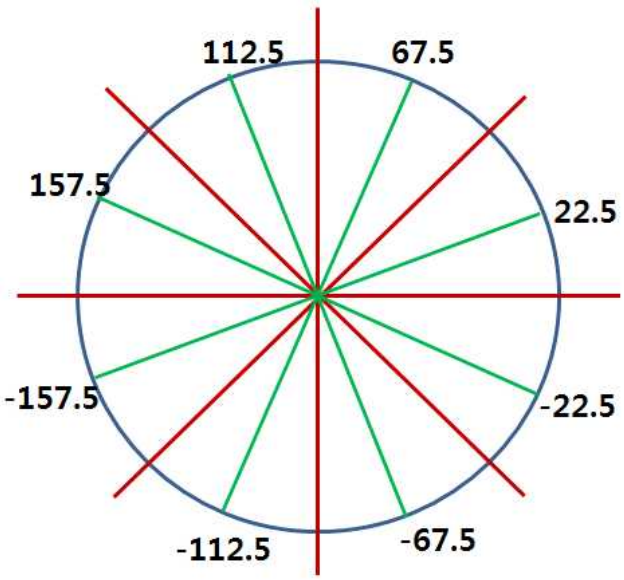
(5) 패턴 설정 및 패턴 스토리지 등록

○ 철근굽힘상태에 대한 패턴은 아래 그림과 같이 HEAD 이후 BODY의 배열 패턴에 따라 설정하였다. 즉, 각도는 -90, -45, 45, 90의 네가지 종류이므로 네종류 각도의 배열로 단순화시켜 패턴화 하였다.



코드 : 각도 범위

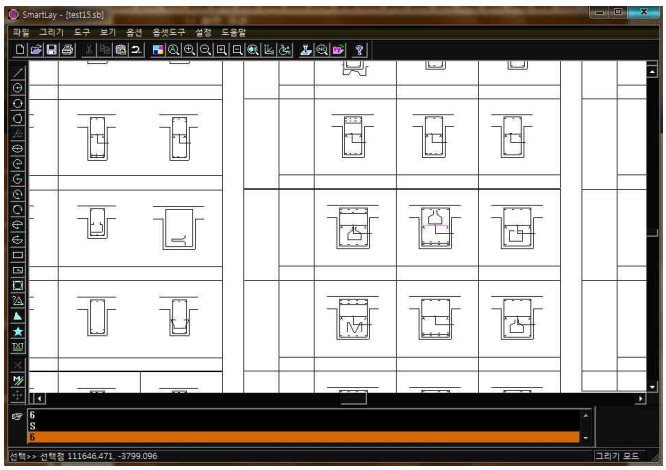
0 : A-22.5 ~ A+22.5
1 : A+22.5 ~ A+67.5
2 : A+67.5 ~ A+112.5
3 : A+112.5 ~ A+157.5
4 : A+157.5 ~ A+180
A-180 ~ A-157.5
5 : A-157.5 ~ A-112.5
6 : A-112.5 ~ A-67.5
7 : A-67.5 ~ A-22.5



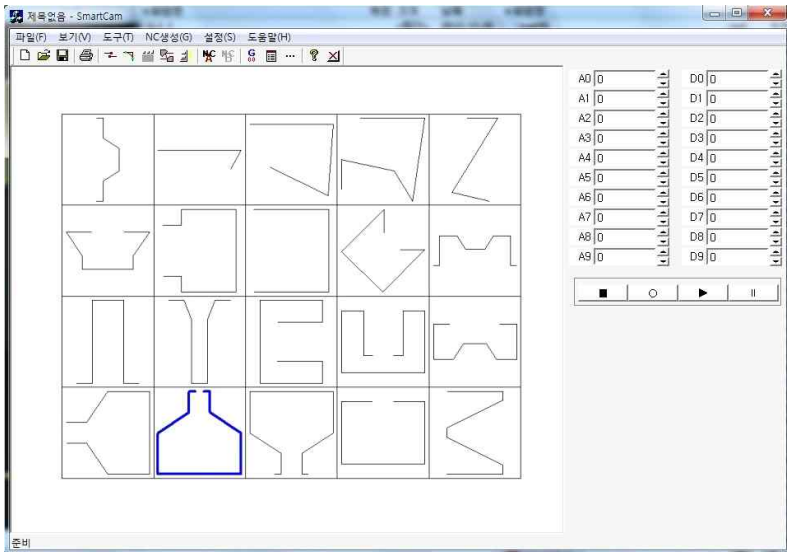
(6) 형상정보의 D/B화 등록

○ 철근가공 정보 자동생성 프로그램은 타 CAD 시스템의 파일에서 주요 도형정보를 추출하여 형상정보에 자동으로 등록하는 기능과 등록된 형상정보로부터 원하는 세부 형상치수를 얻는 기능이 주요 기능이다. 형상정보를 등록하는 순서는 다음과 같다.

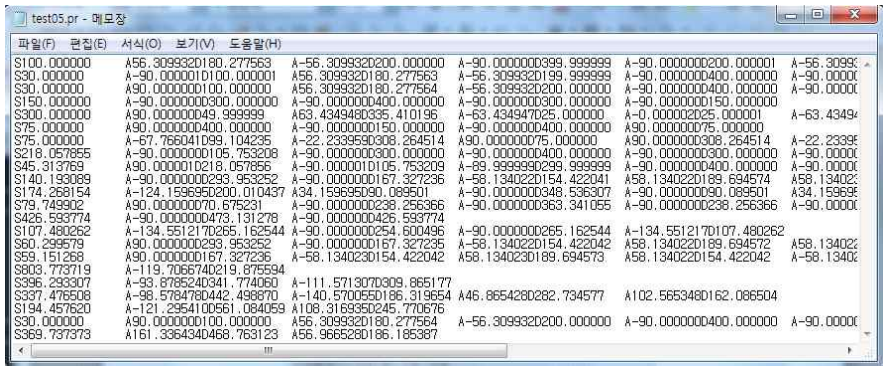
- Smart Lay에서 외부 CAD 파일 로딩
- 형상정보등록/생성 모듈로 데이터 전환
- 필터링
- 대상 정보 추출
- 파라메터 문자열 생성
- 스토리지 자동등록 및 전체 문자열 생성
- 파라메터로부터 자동 LC데이터 생성
- 그래픽 출력



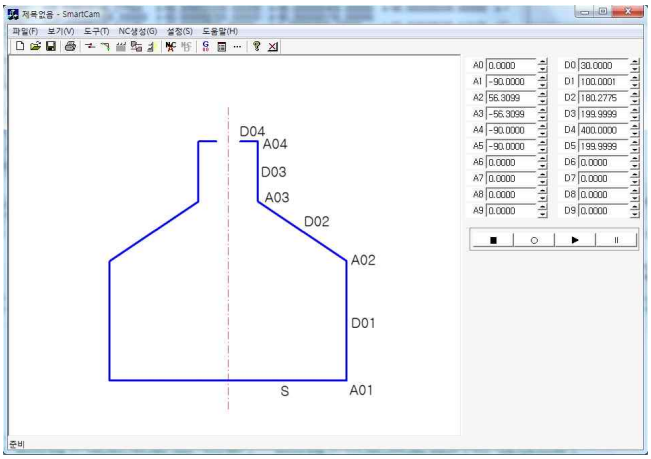
<Smart Lay에서 외부 CAD 파일 로딩>



<도형 형상의 추출 및 패턴 변환/등록>

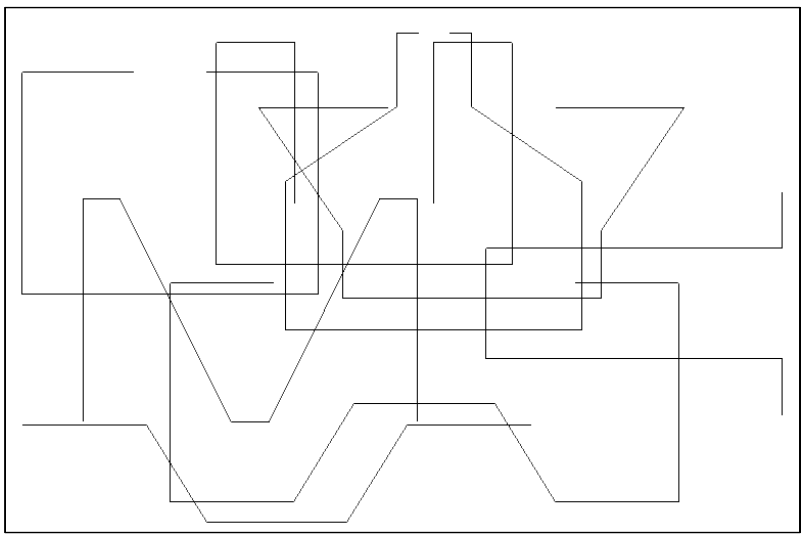


<파라메터 파일 생성>

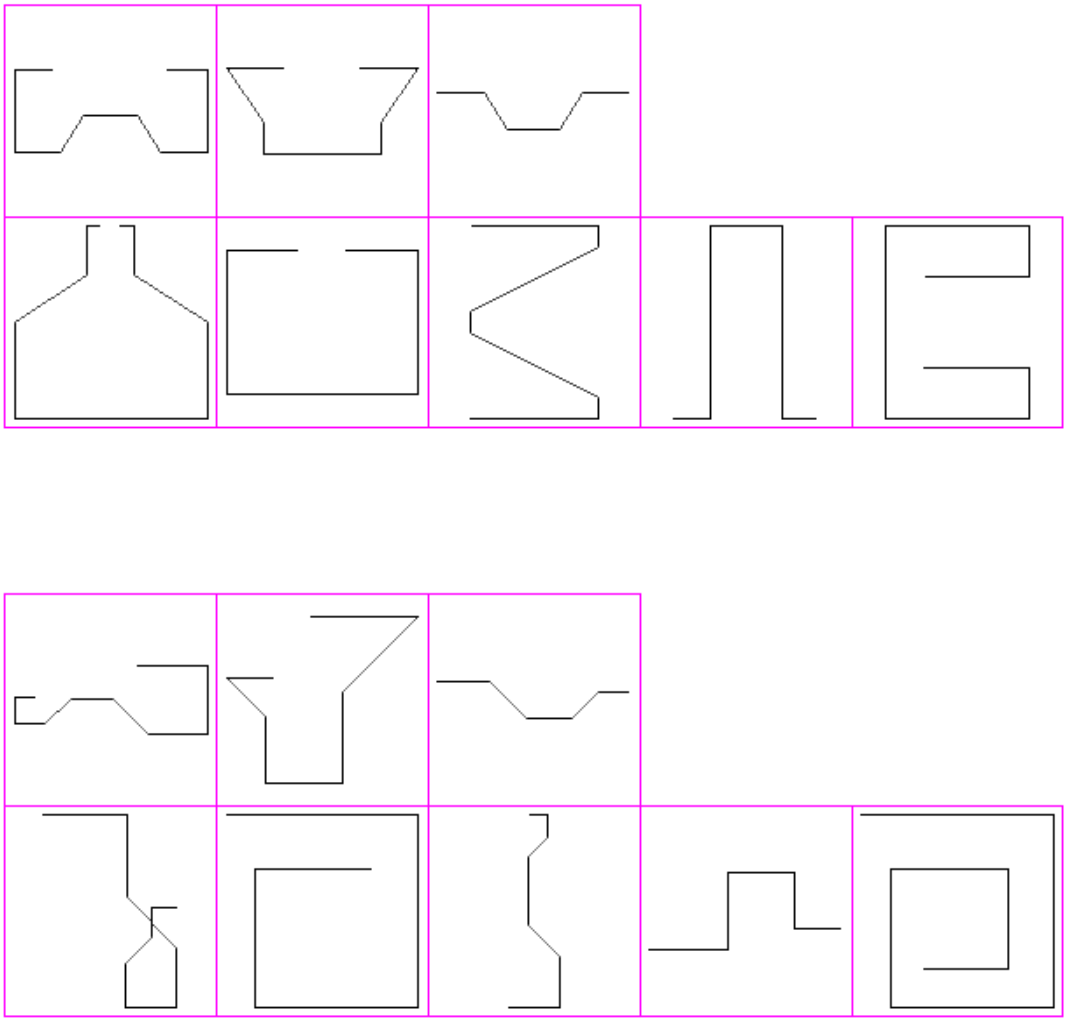


<등록된 패턴을 이용한 철근 도형 정보 생성>

○ 아래 그림은 복잡하게 얽힌 원래의 배근 도형정보에서 형상을 패턴화하여 형상정보를 DB에 정렬되어 등록된 결과를 보여주고 있다.



<중첩된 배근도형 예>



<형상 파라메터의 패턴 정의 및 형상 DB 등록 결과>

(7) D/B를 이용한 가공철근형상 생성 (사용자 인터페이스 주요기능)

○ 철근 가공의 형상종류는 다음 그림과 같이 적용되는 공사에 따라 다르지만 40개 종류 정도이며, 실제로는 대부분 20종류 내외이다. 또한 대부분 형상이 단순한 대칭형상으로 이루어져 있으며, 철근의 굵기가 굵어짐에 따라 형상은 더욱 단순해지는 경향이 있다.

○ 이론적으로 볼 때 철근가공에 대한 종류는 이론적으로 매우 많으나, 철근을 단순하게 1차 직선으로 생각하고, 2차원 평면상에서 가공하는 것으로 가정하는 경우 다음을 고려하면 유한개의 형상 패턴을 얻을 수 있다.

○ 철근 가공에 대한 가정

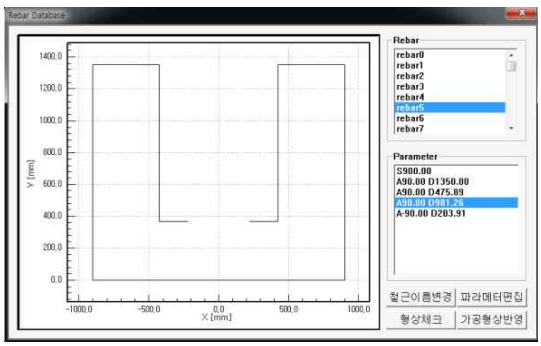
- 철근의 굽힘가공은 2차원 평면상위의 굽힘이다.
- 굽힘 횟수는 최대 10회 이다.
- 굽힘의 대표적인 각도는 이전 방향 대비+90, +45, ·45, ·90의 4가지다.

○ 위의 가정을 고려할 때 굽힘가공 패턴에 대한 개수는 이론적으로 1,048,576종류(4(각도종류)^10(최대굽힘횟수))이며, 일반적으로 건축 철근가공은 대부분 대칭형상 이므로 대칭형상조건을 가정하는 경우에는 이론적으로 1024 (4^5)갯수의 철근가공 패턴이 가능하다.

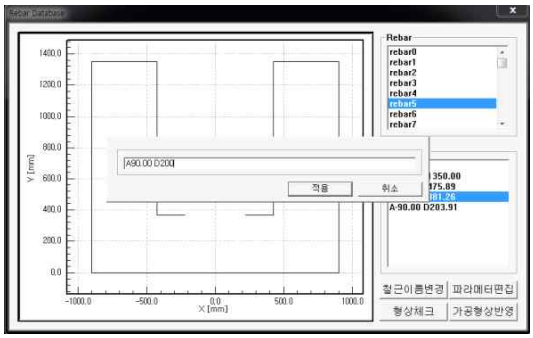
○ 다음 그림은 주로 많이 사용하는 형상에 대한 패턴이다. 패턴화된 형상은 파라메터 입력만으로 형상화 할 수 있다. 본 과제에서는 이러한 기본적인 형상 뿐 아니라 외부 CAD 파일의 다양한 형상을 자동으로 패턴화 하여 등록되도록 개발하여 형상에 대해 D/B화를 쉽게 만들어 갈 수 있다.

(가) 파라메트릭 철근형상 생성

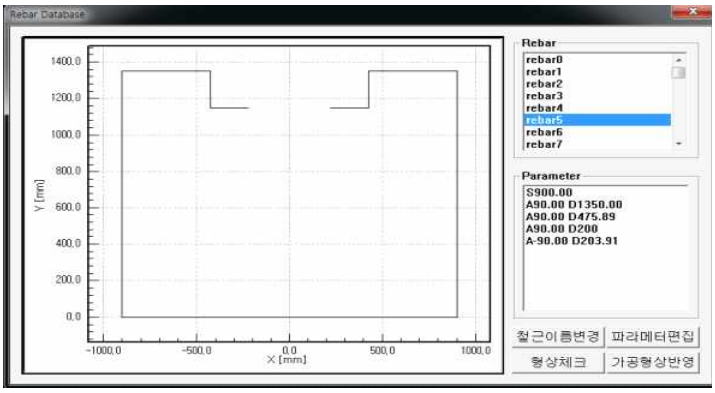
○ D/B는 사용자가 새롭게 디자인하는 철근의 새로운 패턴이 있는 경우 추가되며, 궁극적으로 D/B를 이용하여 표준형상이나 수정된 가공철근 형상을 쉽게 정의하기 위해 필요하다. 다음은 본 과제를 통해 개발된 D/B파라메커 코드를 이용하여 가공철근을 생성하는 것을 보여주고 있으며, 실제 현장에는 유사하거나 동일한 패턴의 철근형상이 자주 사용되므로 이에 대한 활용성은 매우 높다. (좌측 : 가공철근형상, 우측상단 : 등록된 표준철근형상, 우측하단 : 철근형상 파라메터)



<표준형상>

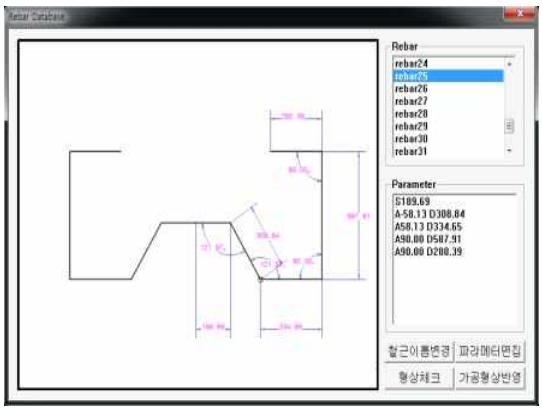


<파라메터 변경>

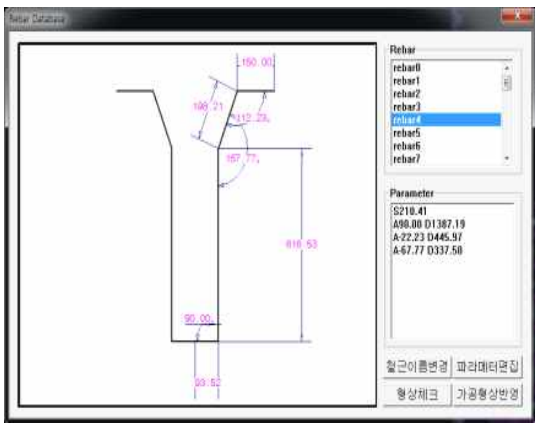


<파라메터 변경에 따른 가공철근 형상 자동 생성>

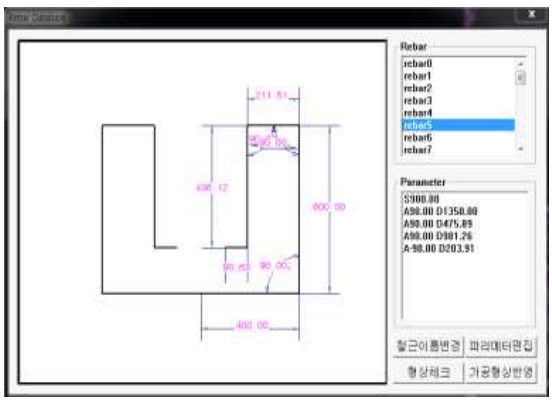
- 자동 치수보조선 적용



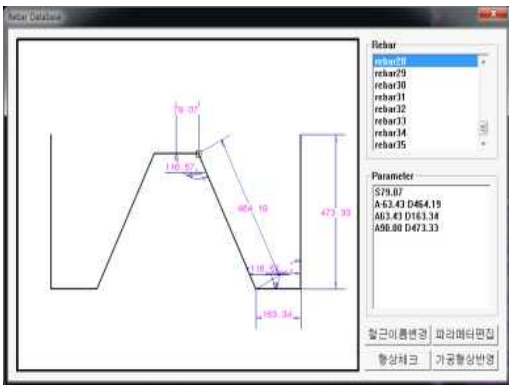
<테스트 자료 #1>



<테스트 자료 #2>



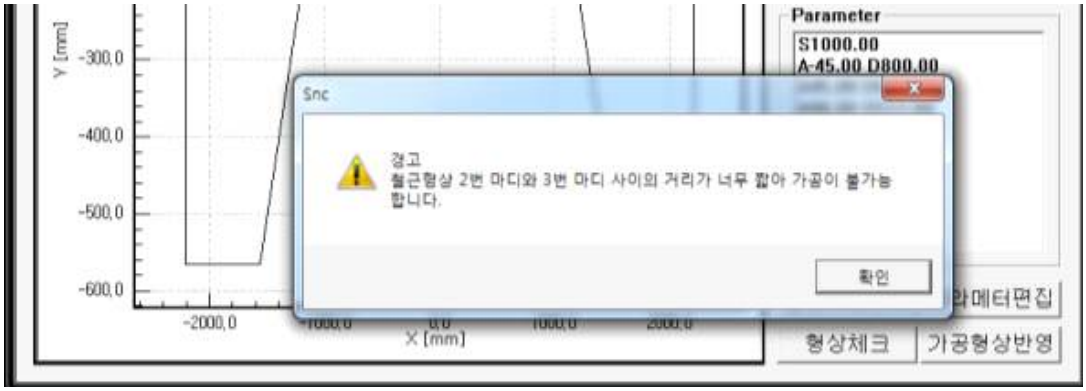
<테스트 자료 #3>



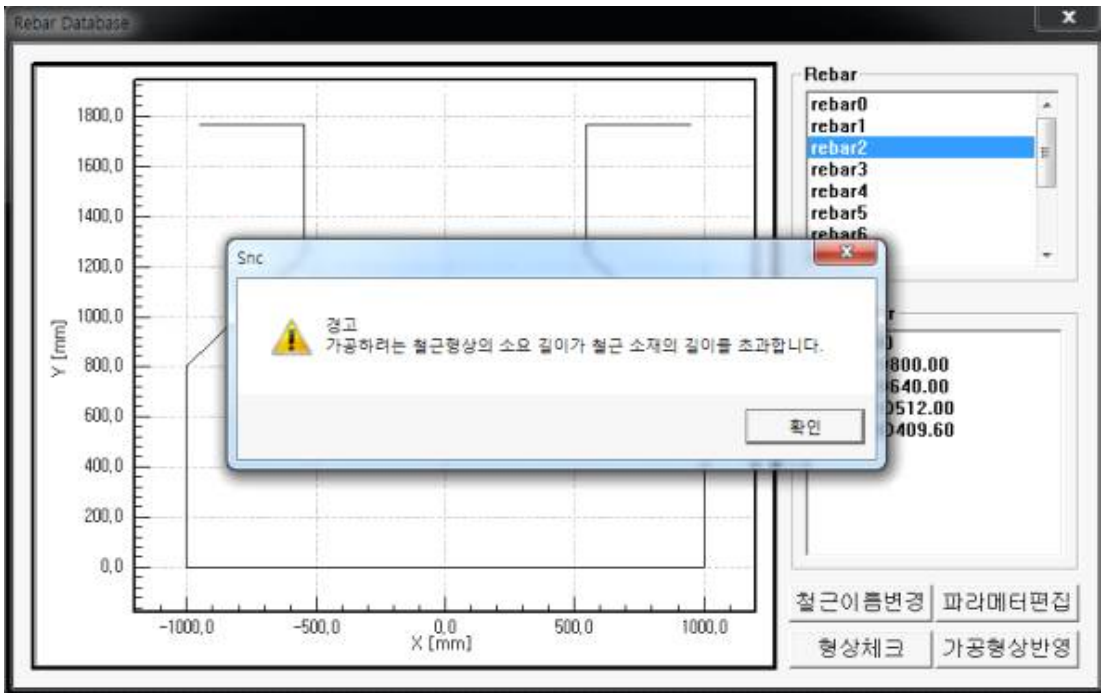
<테스트 자료 #4>

(나) 가공 오류 검출

○ 파라메트릭 형상정의에서 형상이 철근 소재의 길이로 가공할 수 없을 만큼 크기가 크거나 굽힘구간이 비정상적으로 짧은 경우 등 실제 가공시 발생할 수 있는 문제점은 미리 검토되어야 한다. 본 과제에서는 파라메트릭 형상 정의 단계에서 이러한 기본적은 오류 검출 기능을 제공하도록 개발하였다.



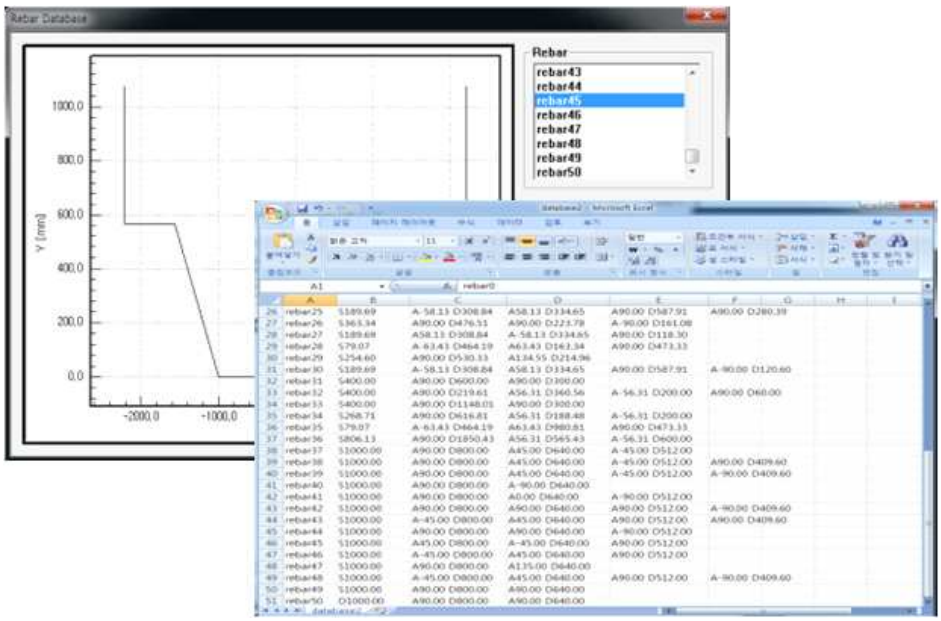
<형상오류 자동 검출 · 테스트01>



<형상오류 자동 검출 · 테스트02>

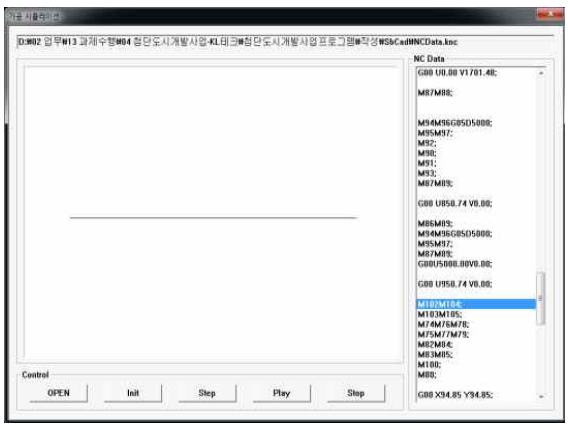
(다) 가공형상 외부파일 D/B호환

○ 프로그램의 활용측면에서 프로그램 내부의 데이터가 상호 참조되고 활용될 수 있도록 데이터파일의 호환성은 매우 중요하다. 본 과제에서는 모든 데이터파일을 TEXT기반 엑셀 파일을 통해 공유할 수 있도록 하였으며, 이를 통해 외부에서 직접 형상정보에 접근할 수 있도록 하였다.

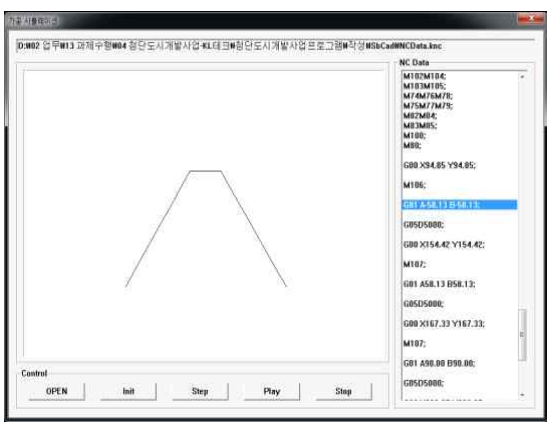


(라) 가공 시뮬레이션

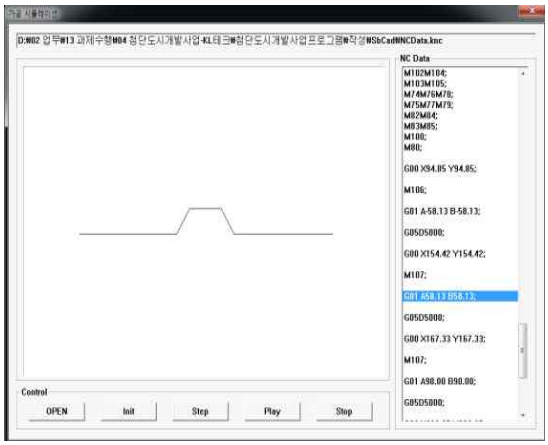
○ 철근가공 데이터는 사용자가 이해할 수 있는 텍스트 기반 문자로 구성되어 있으나 코드가 복잡한 경우 이에 대한 형상과 가공의 과정을 이해하는데 어려움이 있다. 따라서 가공코드에 대한 형상확인과 검토를 위해 가공 시뮬레이션이 필요하며, 본 기술개발에서는 이에 대해 간단한 코드의 진행에 따른 가공 과정을 확인할 수 있도록 개발하였다.



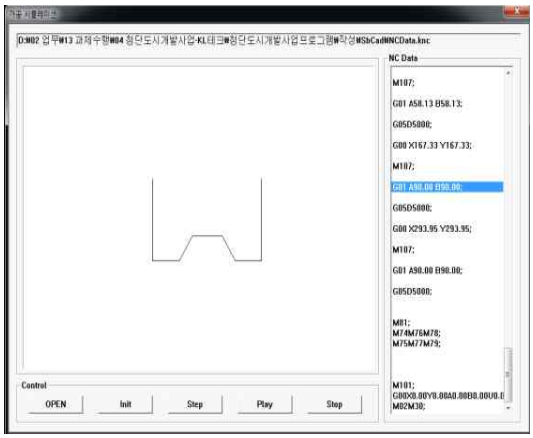
<초기 철근 길이별 절단>



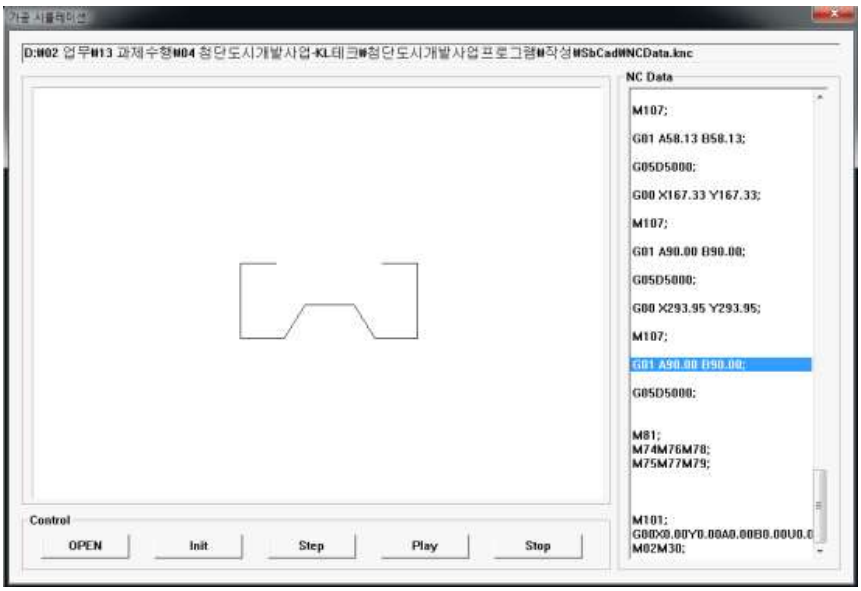
<1차 절곡>



<2차 절곡>



<3차 절곡>



<마무리 절곡>

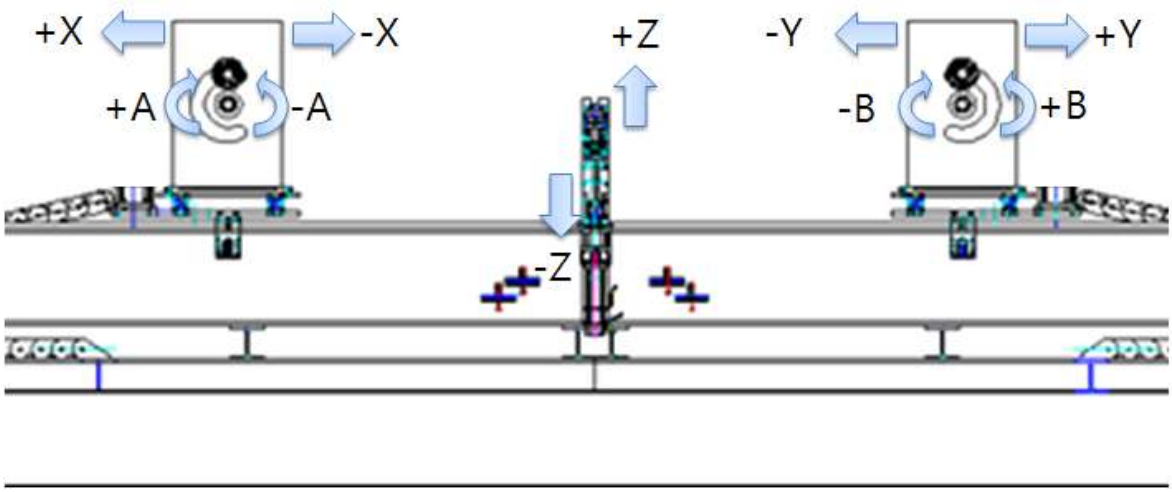
5.절단/절곡 수치정보생성 및 가공코드 자동생성 기술개발

가. 수치제어 적용을 위한 가공정보 생성

(1) 가공정보의 생성

○ 가공정보는 기계를 동작시키는 정보로서 형상정보로부터 계산된다. 형상정보는 형상에 대한 치수정보이지만, 가공정보는 기계의 가공순서에 따라 가공시스템에 장착된 동작축의 움직임에 대한 정보이다.

○ 먼저 개발된 가공장비의 동작축은 다음과 같이 3개의 이송축과 2개의 회전축으로 구성되며, 여러개의 ON/OFF 실린더로 구성되어 있다.



<가공장비의 동작 좌표축 설정>

○ 형상정보는 아래와 같이 문자열 파라메터로 핸들링 되기 때문에 파라메터 코드를 뒤에서 앞의 순서로 읽어서 다음과 같이 각도와 길이를 그대로 가공정보로 변환할 수 있다. 아래 예시는 앞에서 예시를 들었던 파라메터 문자열을 가공코드로 변환한 예이다.

- S350정보에서 'S'코드가 있으므로 대칭형상으로 동작하며, Y축과 B축의 동작은 동일하게 X축과 A축으로 연동되어 동작하므로 Y축과 B축의 동작코드만 계산하면 된다.
- 전체의 길이는 D코드의 값을 모두 더한 값이므로 900.21 (50+150+250.21+100+350) 이며, 굽힘가공은 맨 끝에서부터 시작된다.

코드 (역순으로 읽음)	변환	가공 정보
A-90D50	900.21-50으로 이동하여 -90도 만큼 굽힘	Y850.21B-90 X850.21A-90
A-45D150	이전의 위치에서 150만큼 후퇴하고 -45도방향으로 굽힘.	Y700.21B-45 X700.21A-45
A45D250.21	이전 위치에서 250.21만큼 후퇴하고 +45도만큼 굽힘.	Y450B45 X450A45
A90D100	이전 위치에서 100만큼 후퇴하여 +90도 굽힘	Y350A90
S350	클램핑 영점까지 거리가 350	-

<형상정보에서 가공정보로 변환 예시>

나. G코드/M코드 자동생성기술 개발

(1) 수치제어를 위한 프로그램 코드 정의

(가) NC 프로그램의 구성

○ NC 프로그램은 사용할 수치제어 장치가 읽고 해석할 수 있는 언어로 동작을 지령하는 G코드와 상태를 전환하는 보조코드인 M코드로 구성되어 있다. NC 프로그램은 일종의 어셈블러 언어로 NC 장치나 공작기계 제작사별 차이를 줄일 수 있도록,ISO 규격(ISO R 1056)과 EIA 규격에서 일반적인 사항을 규정하고 있다. 다음은 G코드에 대한 주요 내용이다.

코드	설명
G00	급속 이동, 위치 결정 제어
G01	직선 보간(Linear Interpolation)
G02	원호 보간(Circular Interpolation), 시계 방향(CW)
G03	원호 보간(Circular Interpolation), 반시계 방향(CCW)
G04	일시 정지(Dwell), 프로그램에 지정된 시간 동안 일시 정지
G05	미지정
G06	포물선 보간(Parabolic Interpolation)
G07	미지정
G08	가속 : 프로그램에 지정된 속도까지 이송속도를 자동으로 부드럽게 증가시키는 모드
G09	감속 : 프로그램에 지정된 점에 가까워지면 이송속도를 자동으로 부드럽게 감소시키는 모드
G10 ~G11	미지정 (일부 NC 장치에서 데이터 설정 기능으로 사용함)

G12 ~G16	미지정
G17	XY 평면의 선택(원호보간이나 공구경 보정 등을 위해 선택)
G18	ZX 평면의 선택(원호보간이나 공구경 보정 등을 위해 선택)
G19	YZ 평면의 선택(원호보간이나 공구경 보정 등을 위해 선택)
G20 ~G29	미지정
G33	리드가 일정한 나사(Constant Lead) 절삭
G34	리드가 균일하게 증가하는 나사(Increasing Lead) 절삭
G35	리드가 균일하게 감소하는 나사(Decreasing Lead) 절삭
G36 ~G39	미지정
G40	공구 지름 보정 및 공구 위치 옾셋 취소
G41	공구 지름 보정, 왼쪽(Cutter Compensation, Left) :공구 진행 방향 기준으로 공구가 공작물의 왼쪽에 있음
G42	공구 지름 보정, 오른쪽(Cutter Compensation, Right) :공구 진행 방향 기준으로 공구가 공작물의 오른쪽에 있음
G43	공구 옾셋(Cutter Offset), 주로 공구 길이 보정에 사용
G44	공구 옾셋 취소
G45 ~G52	미지정 (일부 NC 장치에서 공구경 보정을 위한 공구 위치 정보 지정을 위해 사용)
G53	데이텀 쉬프트 취소(Datum Shift Cancel)
G54 ~G59	데이텀 쉬프트(Datum Shift) 각각 X축, Y축, Z축, XY면, ZX면, YZ면의 순서로 적용
G60 ~G62	미지정 (일부 NC 장치에서 한방향 위치 정하기, 코너부 자동 감속 기능 등으로 사용)
G63 ~G69	미지정
G70	인치 단위 프로그래밍(Inch Programming)
G71	메트릭 단위 프로그래밍(Metric Programming)
G72 ~G79	미지정 (일부 NC 장치에서 고정 사이클 기능으로 사용)
G80	고정 사이클(Fixed Cycle) 취소
G81 ~G89	고정 사이클 구멍 뚫기/나사 가공/보링 등
G90	절대 좌표 치수 입력(Absolute Dimension Input)
G91	증분 좌표 치수 입력(Incremental Dimension Input)
G92	좌표계 설정
G93	시간의 역수로 이송률 표시(Inverse Time Feedrate)
G94	분당 이동거리로 이송률 표시(mm/min 또는 inch/min)
G95	주축 1회전당 이동거리로 이송률 표시(mm/rev 또는 inch/rev)
G96	원주 속도 일정 제어(m/min 또는 feet/min : 공구와 공작물 접촉점에서의 절삭속도를 일정하게 유지)
G97	“G96“ 취소, 주축 회전수로 주축 속도 지정(rpm)
G98 ~G99	미지정 (일부 NC 장치에서 고정 사이클 복귀 위치 지정을 위해 사용)

(나) M코드의 정의

○ 본 과제에서는 개발된 시스템은 적어도 13개의 실린더와 센서가 있어 현재의 상태를 감지하거나 환경을 설정하기 위한 M코드는 35종류 정도이다. 일반적으로 아래 표와 같이 M코드를 정의하고 있다.

코드	기 능	의 미	기능 개시	기능 계속
M00	프로그램 정지	주축, 절삭유를 포함한 프로그램 운행 중단	실행 완료 후	블록내
M01	프로그램 선택적 정지	이 기능이 유효하도록 스위치를 켜두었을 때만 “M00“와 동일한 기능	실행 완료 후	블록내
M02	프로그램 끝 End Of Program	주축, 절삭유를 포함한 기계 작동 정지 테이프 되감기 명령 포함 가능	실행 완료 후	블록내
M03	주축 정회전	주축 정회전(시계 방향)	시작과 동시	계속
M04	주축 역회전	주축 역회전(반시계 방향)	시작과 동시	계속
M05	주축 정지	주축 정지	실행 완료 후	블록내
M06	공구 교환	수동, 자동 관계없이 공구 교환 단, 공구 선택 기능은 포함하지 않음	미지정	블록내
M07 M08	절삭유제 켜짐	보통, “M07“ 은 Mist Coolant, “M08“은 Flood Coolant로 사용한다.	시작과 동시	계속
M09	절삭유제 꺼짐	절삭유제 꺼짐	실행 완료 후	계속
M15	양의 방향 이송	급속 이송 또는 절삭 이송 방향 선택 절대좌표 계측 시스템을 가진 회전 테이블에도 적용	시작과 동시	블록내
M16	음의 방향 이송			
M19	정위치 주축정지	Spindle Orientation Stop 주축이 정해진 각도 위치에서 멈추도록 함	실행 완료 후	계속
M30	테이프 끝 End Of Tape	“M02“와 유사하나 테이프 되감기가 포함됨 자동으로 제2 테이프 리더로 이동 가능	실행 완료 후	블록내
M31	인터록 무시	통상 걸려 있는 인터록을 일시적으로 무시	미지정	블록내

○ 본 시스템에서는 40번 이후의 M코드에 대해서는 일반 공작기계의 M코드 정의 와 다르게 구성하였다. M40~59 영역은 사용자 정의 코드 구간으로 설정하여 여러개의 M코드 동작을 하나의 코드로 지정하는 등 사용자 지정변수 영역을 설정하였으며, M60~M99에는 가공과 관련된 I/O제어 코드로 설정하였다. 자세한 설정 결과는 아래와 같다.

코드	설 명
M51	철근 1개 로딩
M52	철근 2개 로딩
M53	철근 3개 로딩
M54	철근 4개 로딩
M55	철근 5개 로딩
M56	철근 6개 로딩
M57	철근 7개 로딩
M58	철근 8개 로딩
M59	철근 9개 로딩
M60	철근 10개 로딩
M61	철근 11개 로딩
M62	철근 12개 로딩
M63	철근 13개 로딩
M64	철근 14개 로딩
M65	철근 15개 로딩
M70	로딩 철근 절단이송부 대기 (계단 각도변환Cyl 하강; 계단 전진 Cyl 전진; 계단 각도변환Cyl 상승; 이송대 상승 Cyl 상승; 계단전진 Cyl 후진; 이송대 상승 Cyl 하강)
M71	배출이송대 상하강 실린더 1 상승
M72	배출이송대 상하강 실린더 1 하강
M73	배출이송대 상하강 실린더 2 상승
M74	배출이송대 상하강 실린더 2 하강
M75	배출이송대 상하강 실린더 3 상승
M76	배출이송대 상하강 실린더 3 하강
M77	배출이송대 상하강 실린더 4 상승
M78	배출이송대 상하강 실린더 4 하강
M79	배출이송대 상하강 실린더 5 상승
M80	배출이송대 상하강 실린더 5 하강
M81	배출이송대 상하강 실린더 6 상승
M82	배출이송대 상하강 실린더 6 하강
M83	배출이송대 상하강 실린더 7 상승
M84	배출이송대 상하강 실린더 7 하강
M85	배출이송대 상하강 실린더 8 상승
M86	배출이송대 상하강 실린더 8 하강
M87	배출이송대 상하강 실린더 9 상승
M88	배출이송대 상하강 실린더 9 하강
M89	배출이송대 상하강 실린더 10 상승
M90	배출이송대 상하강 실린더 10 하강

M91	배출이송대 상하강 실린더 11 상승
M92	배출이송대 상하강 실린더 11 하강
M93	배출이송대 상하강 실린더 12 상승
M94	배출이송대 상하강 실린더 12 하강
M95	배출이송대 상하강 실린더 13 상승
M96	배출이송대 상하강 실린더 13 하강
M97	배출이송대 상하강 실린더 14 상승
M98	배출이송대 상하강 실린더 14 하강
M99	배출이송대 상하강 실린더 15 상승
M100	배출이송대 상하강 실린더 15 하강
M101	배출이송대 상하강 실린더 16 상승
M102	배출이송대 상하강 실린더 16 하강
M103	배출이송대 상하강 실린더 17 상승
M104	배출이송대 상하강 실린더 17 하강
M105	배출이송대 상하강 실린더 18 상승
M106	배출이송대 상하강 실린더 18 하강
M107	배출이송대 상하강 실린더 19 상승
M108	배출이송대 상하강 실린더 19 하강
M109	배출이송대 상하강 실린더 20 상승
M110	배출이송대 상하강 실린더 20 하강
M111	배출이송대 상하강 실린더 21 상승
M112	배출이송대 상하강 실린더 21 하강
M113	배출이송대 상하강 실린더 22 상승
M114	배출이송대 상하강 실린더 22 하강
M115	배출이송대 상하강 실린더 23 상승
M116	배출이송대 상하강 실린더 23 하강
M117	배출이송대 상하강 실린더 24 상승
M118	배출이송대 상하강 실린더 24 하강
M119	배출이송대 상하강 실린더 전체 상승
M120	배출이송대 상하강 실린더 전체 하강
M121	이송대 롤러 구동 모터 1초간 구동 후 정지
M122	이송대 롤러 구동 모터 2초간 구동 후 정지
M123	이송대 롤러 구동 모터 3초간 구동 후 정지
M124	이송대 롤러 구동 모터 4초간 구동 후 정지
M125	이송대 롤러 구동 모터 5초간 구동 후 정지
M126	이송대 롤러 구동 모터 6초간 구동 후 정지
M127	이송대 롤러 구동 모터 7초간 구동 후 정지
M128	이송대 롤러 구동 모터 8초간 구동 후 정지
M129	이송대 롤러 구동 모터 9초간 구동 후 정지
M130	이송대 롤러 구동 모터 10초간 구동 후 정지

M131	배출이송대 롤러 구동 모터 1초간 구동 후 정지
M132	배출이송대 롤러 구동 모터 2초간 구동 후 정지
M133	배출이송대 롤러 구동 모터 3초간 구동 후 정지
M134	배출이송대 롤러 구동 모터 4초간 구동 후 정지
M135	배출이송대 롤러 구동 모터 5초간 구동 후 정지
M136	배출이송대 롤러 구동 모터 6초간 구동 후 정지
M137	배출이송대 롤러 구동 모터 7초간 구동 후 정지
M138	배출이송대 롤러 구동 모터 8초간 구동 후 정지
M139	배출이송대 롤러 구동 모터 9초간 구동 후 정지
M140	배출이송대 롤러 구동 모터 10초간 구동 후 정지
M141	철근절단 (클램프유압실린더 하강; 커팅롤러실린더 하강; 배출대 상하강실린더 하강; 커팅유압실린더 하강; 커팅유압실린더 상승; 배출대 상하강 실린더 상승; 커팅롤러실린더 상승; 클램프 유압실린더 상승)
M142	절단철근 배출부로 배출 (배출방향전환 실린더 배출부로 선택; 배출위치 상하강실린더 선택 및 상승 ;배출이송대 U축 배출위치; 배출이송대 구동모터 구동; 배출 상승실린더 상승; 배출 상승실린더 하강)
M143	절단철근 밴딩부로 이송 (배출방향전환 실린더 절곡부로 선택; 배출위치 상하강실린더 선택 및 상승 ;배출이송대 U축 배출위치; 배출이송대 구동모터 구동; 배출 상승실린더 상승; 배출 상승실린더 하강)
M144	밴딩상승이송대 모터 구동
M145	밴딩상승이송대 모터 정지
M161	밴딩부 철근이송대 모터 구동
M162	밴딩부 철근이송대 모터 정지
M163	밴딩부 철근 밴딩위치 이송 실린더 상승
M164	밴딩부 철근 밴딩위치 이송 실린더 하강
M165	밴딩부 철근 밴딩위치 전진 실린더 전진
M166	밴딩부 철근 밴딩위치 전진 실린더 후진
M167	밴딩부 철근 밴딩위치 이송 (M153;M155;M154;M156)
M168	밴딩부 철근 밴딩위치 대기위치(M154;M156)
M169	밴딩 철근 정렬 실린더 상승
M170	밴딩 철근 정렬 실린더 하강
M171	밴딩 중앙 클램핑 상하강 실린더 상승
M172	밴딩 중앙 클램핑 상하강 실린더 하강
M173	밴딩 중앙 클램핑 전후진 실린더 전진
M174	밴딩 중앙 클램핑 전후진 실린더 후진

M175	밴딩 중앙 철근 클램핑 (M163;M162;M164)
M176	밴딩 중앙 철근 클램핑 해제 (M163;M161;M164)
M177	밴딩고정축 전진실린더 전진
M178	밴딩고정축 전진실린더 후진
M179	밴딩 모듈 클램핑
M180	밴딩 모듈 클램핑 해재
M181	밴딩부 철근 클램핑
M182	밴딩부 철근 클램핑 해재

(2) 수치제어를 위한 G코드 인코더/디코더 개발

(가) G코드 형상 표현을 위한 중간 데이터 정의

○ G코드의 정보를 화면에 나타내거나 기계 컨트롤러 내부에서 사용될 때에는 값으로 변환되어야 한다. 즉, 값으로 쉽게 표현될 수 있는 중간 데이터 형태로 변환되어야 한다.

○ NC 프로그램 데이터는 축동작에 대한 수치적인 값을 정의한 G코드와 솔레노이드 밸브 등 동작 준비를 위한 코드인 M코드로 구성되어 있다. NC 프로그램을 가시화하기 위해 본 과제에서는 드로잉 참조를 위한 중간파일로서 TXT파일 형식의 자료를 정의하였다. 한 개의 엔티티는 TEXT의 한 개 라인으로 정의하며, 다음 그림과 같이 처음의 타입 정보와 이후 double형의 좌표정보로 구성하였다. 또한 데이터가 대부분 직선과 원호로 구성되어 있기 때문에, 본 파일 구조는 직선과 원호로 정의하고 Line-Circle정보인 LC파일이라 명명하였다.

```
-1.0    : 종료
0.0     : 이동
1.0     : 직선     : 시작점(x1, y1), 목표점(x2, y2)
2.0     : CW원호  : 시작점(x1, y1), 목표점(x2, y2), 중심점(x3, y3), 반경(r1)
3.0     : CCW원호 : 시작점(x1, y1), 목표점(x2, y2), 중심점(x3, y3), 반경(r1)
5.0     : 치수선
6.0     : CW타원
7.0     : CCW타원
8.0     : 영역 채우기
100.0   : 마킹 이동
101.0   : 마킹 직선
102.0   : 마킹 CW원호
103.0   : 마킹 CCW원호
1001.0  : 문자
1002.0  : 문자 사각 영역
1011.0  : 심볼
1012.0  : 심볼 사각 영역
1013.0  : 영역정보 +심볼
4444.0  : 주석문
5000.0 ~ : 무효 코드 OR 주석문 OR 사용자 임의 설정 정보
```

(a) LC파일포멧 정의

```
1.000000 178.934508 170.202671 181.811070 171.802783 0.000000 0.000000 0.000000
1.000000 184.699902 170.199315 181.825205 171.802775 0.000000 0.000000 0.000000
3.000000 171.421707 170.381148 168.651842 175.693403 170.182332 173.113171 3.000000
3.000000 194.988953 175.678075 192.212906 170.369047 193.455460 173.099626 3.000000
1.000000 192.212906 170.369047 184.699902 170.199315 0.000000 0.000000 0.000000
1.000000 171.421707 170.381148 178.934508 170.202671 0.000000 0.000000 0.000000
1.000000 174.815748 167.682849 174.815748 167.682849 0.000000 0.000000 0.000000
1.000000 174.815748 167.682849 174.815748 167.682849 0.000000 0.000000 0.000000
1.000000 174.815748 167.682849 174.815748 167.682849 0.000000 0.000000 0.000000
1.000000 188.815725 167.674700 188.815725 167.674700 0.000000 0.000000 0.000000
1.000000 188.815725 167.674700 188.815725 167.674700 0.000000 0.000000 0.000000
1.000000 188.815725 167.674700 188.815725 167.674700 0.000000 0.000000 0.000000
3.000000 162.675143 176.064227 168.651842 175.693403 165.654378 175.731921 2.997711
                                        :
                                        :
                                        :
1.000000 201.298672 153.360184 201.298672 153.360184 0.000000 0.000000 0.000000
3.000000 174.532106 138.224783 181.580107 137.378333 181.564522 166.737015 29.366686
3.000000 181.580107 137.378334 188.627109 138.232987 181.561508 166.737014 29.366686
-1.000000 -1.000000 -1.000000 -1.000000 -1.000000 -1.000000 -1.000000 -1.000000
```

(b) LC파일의 예

<LC파일 형식 및 사용 예>

(나) LC데이터의 정렬 및 방향 설정

○ LC 데이터는 선분과 원호만 개별적으로 구성된 데이터이기 때문에 서로간의 연결정보가 없다. 따라서 LC 데이터로의 변환하에는 반드시 데이터의 순서와 방향을 정렬해야 한다. 순서와 방향의 정렬은 기하학과 관련한 대부분의 연산에서 계산시간을 효과적으로 줄일 수 있으며, 별도의 연결정보가 없기 때문에 상호간의 데이터가 순서에 맞게 직접 연결되어 있도록 해야 한다.

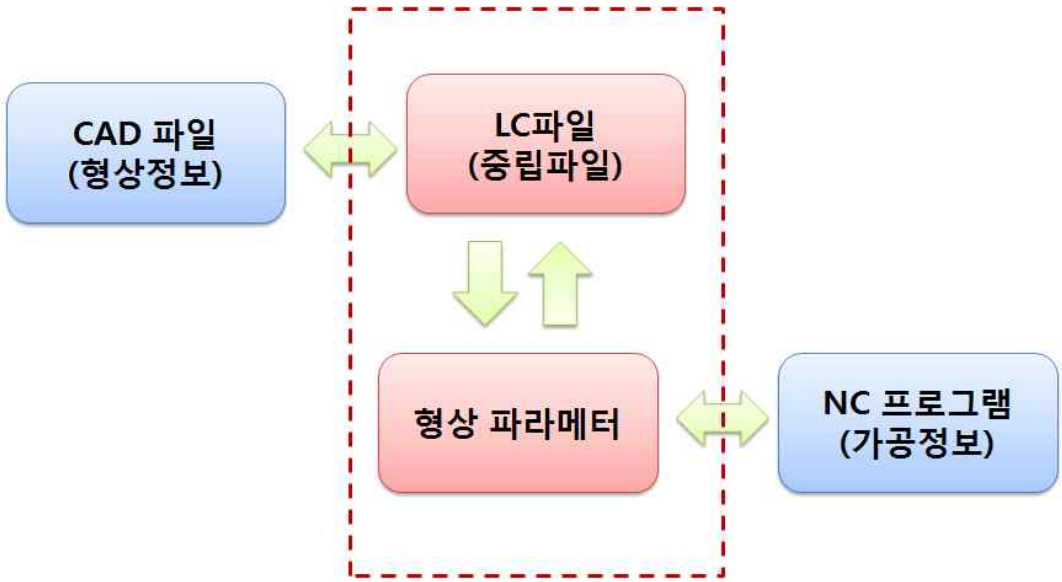
○ 다음은 LC 데이터를 정렬하기 위한 알고리즘 코드이다.

- 복수개의 연결되지 않은 무질서한상태에서 정렬된 리스트를 구함.
- open loop, close loop 모두 사용가능

```
long GetLCListArrange(double lclist[][8], long lclistsize, double outlclist[][8])
{
	long n;
	n = 0;
	bool *isvisit = new bool[lclistsize+1];
	double (*lclist2)[8] = new double[lclistsize+1][8];
	{
		long i;
		i = 0;
		while(i<lclistsize)
		{
			isvisit[i] = false;
			i++;
		}
		n = 0;
		i = 0;
		while(SelectArrangeOneLoop(lclist, lclistsize, isvisit, i, lclist2)>0)
		{
			n = AddLCList(outlclist, n, lclist2);
			i = 0;
			while(i<lclistsize && isvisit[i]) i++;
		}
	}
	delete []isvisit;
	delete []lclist2;
	outlclist[n][0] = -1.0;
	return(n);
}
```

(다) NC 프로그램 및 LC 데이터의 상호 변환

○ NC 프로그램은 형상을 나타내는 파라메터로 형태로 정의된 정보에서 구하였기 때문에 NC 프로그램에서 연속된 블록의 동작으로 부터 먼저 파라메터 문자열을 구하고 여기에서 거꾸로 LC 중립정보로 변환함으로서 NC 프로그렘에서 LC데이터를 구할 수 있다. 또한 동일한 방식으로 거꾸로 LC 데이터에서 NC 프로그램을 쉽게 구할 수 있으나, 여기에서 다루는 NC 데이터는 제어를 위한 M코드 없이 형상 정보 위주의 프로그램 이므로 여기에 대해서는 추가적인 개발을 통해 완전한 NC 프로그램 생성기능을 갖추도록 해야 한다.



<정보의 연동 몇 변환 절차>

(3) 데이터형식 기반을 위한 지식 데이터베이스의 구성

○ NC 데이터 생성의 자동화를 위하여 가공과 관련된 여러 가지 연관정보를 데이터베이스화하는것이 필수적이다. 특히 본 연구에서는 도형 데이터에서 M코드를 자동으로 추가하여 오류없는 NC문장을 생성하기 위하여 NC 문장형식을 데이터베이스화 하였다.

(가) 가공 정보 및 NC 문형 DB

○ 적용되는 CAM 종류와 재질에 대해서 기본적인 가공정보의 데이터베이스가 필요하다.

- 가공정보 : 가공종류와 공구종류가 주어질때 스핀들 RPM, 진입방법, 후퇴방법, 진입거리, 후퇴거리, 진입Feedrate, 절단Feedrate, 후퇴Feedrate등의 정보가 자동으로 정해지며, 이들에 대한 정보는 각각 다음과 같은 변수형태로 NC 문장에 사용된다.

○ NC 프로그램 형식 DB에서 사용되는 변수

변수	의미
[RETURN_CODE]	개행문자
[PGM_NUMBER]	프로그램 번호
[TOOL_NUMBER_CODE]	공구 번호 코드
[CUTTING_TYPE]	가공 종류
[DATE]	날짜
[MATERIALS]	재질
[NOTICE]	참조
[LEADIN_FEEDRATE_CODE]	진입 피드레이트 코드
[CUTTING_FEEDRATE_CODE]	절단 피드레이트 코드
[LEADOUT_FEEDRATE_CODE]	후퇴 피드레이트 코드
[SPINDLE_RPM_CODE]	스핀들RPM 코드
[G404142_CODE]	G41G42 공구경 보정 방향 코드
[DX_CODE]	D* 공구경 보정 코드
[G494344_CODE]	G43G44 공구 길이 보정 방향 코드
[HX_CODE]	H* 공구 길이 보정 코드
[COUNT1]	독립 카운트 1
[COUNT2]	독립 카운트 2
[LAYER_ZPOSITION_VALUE]	현재레이어의 기준 Z높이값.
[INIT_XPOSTION_CODE]	초기 X위치 코드 (초기 공구 영점 위치)
[INIT_YPOSTION_CODE]	초기 Y위치 코드 (초기 공구 영점 위치)
[INIT_ZPOSTION_CODE]	초기 Z위치 코드 (초기 공구 영점 위치)
[START_XPOSTION_CODE]	한 루프에 대한 가공 시작점 X위치 코드
[START_YPOSTION_CODE]	한 루프에 대한 가공 시작점 Y위치 코드
[START_ZPOSTION_CODE]	한 루프에 대한 가공 시작점 Z위치 코드
[LEADIN_XPOSTION_CODE]	한 루프에 대한 가공 진입 시작점X위치
[LEADIN_YPOSTION_CODE]	코드
[LEADIN_ZPOSTION_CODE]	한 루프에 대한 가공 진입 시작점Y위치
[NOW_XPOSTION_CODE]	코드
[NOW_YPOSTION_CODE]	한 루프에 대한 가공 진입 시작점Z위치
[NOW_ZPOSTION_CODE]	코드
[OLD_XPOSTION_CODE]	현재 X위치 코드
[OLD_YPOSTION_CODE]	현재 Y위치 코드
[OLD_ZPOSTION_CODE]	현재 Z위치 코드
[MIN_XPOSTION_CODE]	이전 X위치 코드
[MAX_XPOSTION_CODE]	이전 Y위치 코드
[MIN_YPOSTION_CODE]	이전 Z위치 코드

[MAX_YPOSTION_CODE] [MIN_ZPOSTION_CODE] [MAX_ZPOSTION_CODE]	가공물의 최소X값 코드 가공물의 최대X값 코드 가공물의 최소Y값 코드 가공물의 최대Y값 코드 가공물의 최소Z값 코드 가공물의 최대Z값 코드

○프로그램 형식에서 사용되는 명령 스트링

명령	설명
[COUNT_START_CMD]	카운트 적용 시작 명령
[COUNT_END_CMD]	카운트 적용 취소 명령
[CUTTING_CMD]	절단 명령
[LEADIN_CUTTING_CMD]	진입 절단 명령
[LEADOUT_CUTTING_CMD]	후퇴 절단 명령

○ NC 문장형식 지정어

명령	설명
프로그램초기화코드	초기 형상을 시작하기 전까지의 코드
파트초기화코드	파트 형상을 시작하기 전까지의 코드
파트가공코드	파트 형상을 따라 가공하는 코드
파트마무리코드	파트 형상을 완료하고 난후의 코드
프로그램마무리코드	전체 프로그램을 마무리 하는 코드
[LEADIN_METHOD]	진입방법(NORMAL/INCLINE/TANGENT
[LEADOUT_METHOD]	후퇴방법(NORMAL/INCLINE/TANGENT
[LEADIN_DISTANCE]	진입거리
[LEADOUT_DISTANCE]	후퇴거리

○ 가공 데이터베이스 형식

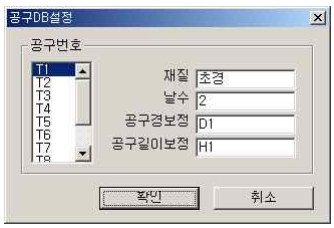
```
[가공 종류]
        윤곽선 밀링
                [NC프로그램 형식]
                        프로그램초기화코드
                        파트초기화코드
                        파트가공코드
                        파트마무리코드
                        프로그램마무리코드
                [모재 재질]
                        [MATERIALS]
                                [공구 번호]
                                        [TOOL_NUMBER_CODE]
                                                [SPINDLE_RPM_CODE]
                                                [LEADIN_METHOD]
```

[LEADOUT_METHOD]
[LEADIN_DISTANCE]
[LEADOUT_DISTANCE]
[LEADIN_FEEDRATE_CODE]
[CUTTING_FEEDRATE_CODE]
[LEADOUT_FEEDRATE_CODE]

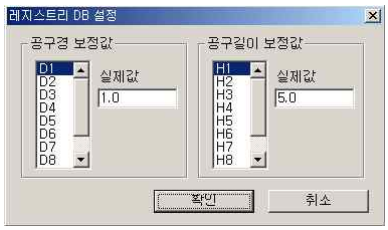
[정밀도]
[ERRBOUND]
[값표현형식]
[FORMAT]
[진입방법]
[LEADIN_METHOD]
[후퇴방법]
[LEADOUT_METHOD]



○ 공구 정보 DB



○ 레지스트리 정보 DB



○ NC 파트 프로그램 생성 프레임

- NC변환 틀 정보는 가공의 종류에 따라 혹은 콘트롤러 종류에 따라 여러단위가 각각 다르게 정의되어 있으며, 한 단위의 NC변환 틀 정보는 <POST_PROCESS ****>로 시작해서 </POST_PROCESS> 로 끝난다. 이때 ****는 각각의 가공 종류의 이름이다. 다음 표에서 세신 GAS 절단용 NC 변환 틀 정보를 나타내었다.

<POST_PROCESS GAS_CUTTING>	M06
<PRESTART>	G40[LAST_CUTTING_CODE]
%	</PREBODY>
(T[THICK]mm [NUMBER])	
(PLANT : [PLANT])	<BODY>
(DATE : [DATE])	M15
(MATERIALS : [MATERIALS])	N[COUNT1][G00]
(MEMO : [COMMENT])	M16
G92X0.Y0.	M03
G90	M14
</PRESTART>	M05
	[G4X][DX]
<START>	[LEADIN_FEEDRATE]
M15	[FIRST_CUTTING_CODE]
[CUTTING_FEEDRATE]	[CUTTING_FEEDRATE]
</START>	[MID_CUTTING_CODE]
	M06
<PREBODY>	G40[LAST_CUTTING_CODE]
N[COUNT1][G00]	</BODY>
M16	
M03	<PREEND>
M14	</PREEND>
M11	
M05	<END>
[G4X][DX]	M15
[LEADIN_FEEDRATE]	M30
[FIRST_CUTTING_CODE]	%
[CUTTING_FEEDRATE]	</END>
[MID_CUTTING_CODE]	</POST_PROCESS>

<NC변환 프레임 정보>

- NC변환 틀 정보 안에 들어가는 모든 정보를 구분해 보면 구간정보, 문자 정보, 변수 정보 이렇게 세 가지로 구분할 수 있다. 구간 정보는 NC코드로 만들어진 가공 동작의 구간을 말하며, 구간을 나눈 것은 모든 NC 파트 프로그램으로 동작되는 동작을 일반화 하기 위함이다. 이러한 구간은 ①처음 가공을 준비하는 부분, ②가공 시작하는 부분, ③가공 전 준비 부분, ④ 가공하는 부분, ⑤가공 후처리 부분, ⑥끝맺는 부분이다. 다음의 표 3-4 에서 구간에 대한 기호와 설명을 나타내었다. 그리고 표3-5에서 실제 NC 파트 프로그램에 대한 구간을 나누어 나타내었다.

NC파트 프로그램	구간	NC파트 프로그램	구간
% (T10.00mm SSF161930) (PLANT : GAS_CUTTING) (DATE : 1999-5-14-16-19-30) (MATERIALS : Steel) (MEMO : TEST) G92X0.Y0. G90	① 처음 가공을 준비하는 구간	N2G00X412.359Y359.853 M16 M03 M14 M05 G42D01 F380 G01X407.401Y359.200 F480 G02X407.359Y359.853I4.9 G01X407.359Y406.709 G01X21.929Y406.709 G01X21.929Y19.012 G01X407.359Y19.012 G01X407.359Y359.853 M06 G40G01X412.359Y359.853	④ 가공하는 부분
M15 F480	②가공을 시작하는 부분		
N1G00X269.698Y138.434 M16 M03 M14 M11 M05 G42D01 F380 G01X277.009Y131.611 F480 G02X276.056Y130.716I- G02X276.056Y130.716I- M06 G40G01X269.698Y138.4 M15	③가공 전 준비 부분		
			⑤ 가공후처리 부분
		M15 M30 %	⑥끝맺는 부분

<NC파트 프로그램에 대한 구간의 나눔>

기호	설명
<POST_PROCESS ****>	가공틀의 시작 (****는 가공의 이름)
</POST_PROCESS>	하나의 가공틀의 끝
<PRESTART>	처음 가공을 준비하는 구간의 시작
</PRESTART>	처음 가공을 준비하는 구간의 끝
<START>	가공을 시작하는 구간의 시작
</START>	가공을 시작하는 구간의 끝
<PREBODY>	가공전 준비 구간의 시작
</PREBODY>	가공전 준비 구간의 끝
<BODY>	가공 구간의 시작
</BODY>	가공 구간의 끝
<PREEND>	가공 후처리 구간 시작
</PREEND>	가공 후처리 구간 끝
<END>	전체 가공을 끝맺는 구간 시작
</END>	전체 가공을 끝맺는 구간 끝

<구간기호의 내용과 설명>

- 문자정보는 틀 정보에 들어가는 문자열 자체를 말하며, 여기에는 M코드, 주석문 코드 및 기타 정보가 포함되어 있다. 변수정보는 전역 변수와 지역변수로 나누어지며, 한 파트가공에 대해서 고정된 정보를 전역변수라 하며, 도형 데이터에 의해서 변하는 정보를 지역 변수라 한다. 다음 표에서 변수에 대한 기호와 의미를 나타내었다.

구분	변수 기호	설명
전역 변수	[NUMBER]	가공 번호를 대신하는 문자열
	[PLANT]	가공 종류를 대신하는 문자열
	[DATE]	날짜를 대신하는 문자열
	[MATERIALS]	재질을 대신하는 문자열
	[COMMENT]	주석문을 대신하는 문자열
	[COUNT1]	횟수번호를 대신하는 문자열
	[COUNT2]	횟수번호를 대신하는 문자열
	[LEADIN_FEEDRATE]	진입 피드레이트를 대신하는 문자열
	[CUTTING_FEEDRATE]	절단 피드레이트를 대신하는 문자열
	[LEADOUT_FEEDRATE]	빠짐 피드레이트를 대신하는 문자열
지역 변수	[G00]	이동코드
	[G4X]	옵셋 방향 코드
	[DX]	옵셋 번호 코드
	[FIRST_CUTTING_CODE]	처음 절단되는 코드
	[MID_CUTTING_CODE]	중간절단되는 코드
	[LASE_CUTTING_CODE]	마지막 절단되는 코드

<변수정보의 기호와 의미>

(4) NC 문형 DB 및 NC 오류 검사

(가) 오류검사 사항

○ 등록되지 않은 기본적인 NC 문형 발생
○ 스핀들 회전 지정 없는 공구의 가공이송
○ Feedrate 지정 없는 공구의 가공이송
○ 원호보간 코드에서 원호 중심 벡터의 정밀도
○ 너무 짧은 원호 동작
○ 너무 짧은 거리의 이송
○ 루프문 기호의 오류
○ 과도한 스트록 범위
○ 과도한 Feedrate 및 Spindle

(나) NC 문형 인식 데이터 베이스의 구조

- 전체 디폴트 옵션 정의

환경을 나타내는 한개 옵션 정의
형식 : 전체 4라인
1라인 : <NC_OPTION>
2라인 : 값
3라인 : 옵션 ID
4라인 : 사용자 위한 주석문 (생략:[NONE])

- NC 함수 항목

한개의 NC명령에 대한 정의하는 구간
형식 : 전체 4라인
1라인 : <NC_COMMAND>
2라인 : NC 명령 문자열
3라인 : 관련 ID
4라인 : NC가 시뮬레이션시 뿌려지는 메시지(생략:[NONE])

- NC 입력값 항목

한개의 NC 입력값 코드에 대해 정의하는 구간
형식 : 전체 4라인
1라인 : <NC_VALUE>
2라인 : NC 입력 문자열
3라인 : 관련 ID
4라인 : 사용자 위한 주석문 (생략:[NONE])

- 변수 정의

  한개 변수를 정의하는 구간

  형식 : 전체 4라인

  1라인 : <NC_VARIABLE>

  2라인 : 변수 문자열

  3라인 : 변수 문자열에 대응하는 코드 문자열

  4라인 : 사용자 위한 주석문 (생략:[NONE])

- 무시 명령어 정의

  무시하는 모든 명령어를 정의하는 구간

  형식 : </NC_IGNORE>이 나올때 까지 라인수는 무제한

  1라인 : <NC_IGNORE>

  2라인 : 무시하는 문자열

  3라인 : ...

  4라인 : ...

  마지막라인 : </NC_IGNORE>

- 무시 블럭 정의

  무시하는 모든 블럭을 정의하는 구간

  형식 : </NC_IGNOREBLOCK>이 나올때 까지 라인수는 무제한

  1라인 : <NC_IGNOREBLOCK>

  2라인 : 무시하는 문자열

  3라인 : ...

  4라인 : ...

  마지막라인 : </NC_IGNOREBLOCK>

○ 내부 규칙 및 제한 사항:

1. 문자열 분리 기호 : “ ” 혹은 문자열과 숫자열의 마디.
2. 숫자입력값 맨앞에는 숫자입력값의 의미를 나타내는 문자가 있다.
3. 블록번호는 생략 가능하나 올때는 항상 맨 앞에 온다.
4. 입력값은 무조건 double 값으로 읽는다.
5. 모든 한단위 명령은 [문자+숫자값]으로 구성되어 있다.
6. 모든 함수에는 MODAL옵션과 TEMPORARY옵션이 있다.
7. 모든 값에는 MODAL옵션, ZEROMODAL옵션과 TEMPORARY옵션이 있는데, 각각 그대로 물려받기, 0으로 물려받기, 한번만 사용되기의 의미이다.
8. 무시하는 코드나 지나가는 라인 옵션은 최우선순위로 적용된다.

9. 모든 값에서 X,Y,Z,A,B,C,I,J,K,R 값만 실수 이고 다른 것은 정수로 취급한다. 실수로 취급한다는 것은 소수점 유무에 따라 옵션이 적용되는 숫자라는 의미다.
10. 블록 끝을 알리는 기호는 없거나 혹은 ‘;’ 이다.
11. 명령문자는 무조건 한글자 이다.(변수제외)
12. 한개 블록에 M코드와 입력문이 섞일 수 도 있으나 기준은 G코드 기준이다.
13. NC프로그램 처리 정보 파일의 내용은 무조건 대문자로 작성되어야 한다.
14. 한블럭에 명령어가 100개 이상 오지 않는다.
15. 정보파일에서 ID정의 항목이 200개를 넘지 않는다.
16. 정보파일에서 변수정의 갯수가 100개를 넘지 않는다.
17. 정보파일에서 무시하는 명령어 개수가 100개를 넘지 않는다.
18. 한블럭의 문자열 길이는 블록의 변수 문자열과 소수점 처리를 했을때 기준으로 255자를 넘지 않는다.
19. I,J,K,R값은 벡터의 의미이며, 생략되는 경우 0.0으로 적용된다. 즉, 한번 사용되면 자동으로 0.0으로 초기화 된다.
20. 엔티티 개수 메모리 크기는 32000개로 제한한다.(엔티티 참조 인덱스가 int형)

○ ID 항목 리스트

[ID_VALUE_PART_NUMBER] : 프로그램값 번호 기호
[ID_VALUE_BLOCK_NUMBER] : 블록행번호값 기호
[ID_VALUE_FEEDRATE]: 피드레이트값 기호
[ID_VALUE_SPINDLE_VELOCITY]: 스핀들 속도값 기호
[ID_VALUE_TOOL_NUMBER] : 공구 번호값 기호
[ID_VALUE_X] : X값 기호
[ID_VALUE_Y] : Y값 기호
[ID_VALUE_Z] : Z값 기호
[ID_VALUE_I] : I값 기호
[ID_VALUE_J] : J값 기호
[ID_VALUE_K] : K값 기호
[ID_VALUE_R] : R값 기호
[ID_VALUE_D] : 공구경 보정값 기호
[ID_VALUE_H] : 공구 길이 옵셋 값 기호
[ID_VALUE_P] : P값 기호
[ID_POINT_MULT_VALUE] : 소수점 없을때 곱해지는 계수
[ID_BLOCK] : 블록의 명령 실행

[ID_BOX_COMMENT_START] : 구간 주석문 구간 시작
[ID_BOX_COMMENT_END] : 구간 주석문 구간 끝
[ID_BLOCK_COMMENT] : 이후 스트링 주석문 설정
[ID_FAST_POSITION] : 급속이송
[ID_LINEAR_MACHINING] : 직선가공
[ID_CW_CIRCULAR_MACHINING]: CW원호가공
[ID_CCW_CIRCULAR_MACHINING]: CCW원호가공
[ID_CW_CIRCULAR_MACHINING2]: CW원호가공
[ID_CCW_CIRCULAR_MACHINING2]: CCW원호가공
[ID_CW_CIRCULAR_MACHINING3]: CW원호가공
[ID_CCW_CIRCULAR_MACHINING3]: CCW원호가공
[ID_SPLINE] : 스플라인 가공
[ID_INTERPOLATION] : 보간가공
[ID_COMPENSATION_CANCEL] : 공구경 보정 취소
[ID_COMPENSATION_LEFT] : 공구경 왼쪽 보정
[ID_COMPENSATION_RIGHT] : 공구경 오른쪽 보정
[ID_OFFSET_CANCEL] : 공구 진행 옵셋 취소
[ID_OFFSET_INCREASE]: 공구 더 가기
[ID_OFFSET_DECREASE] : 공구 덜 가기
[ID_LENGTH_OFFSET_CANCEL]: 공구길이 옵셋 취소
[ID_LENGTH_OFFSET_INCREASE]: 공구길이 증가 옵셋
[ID_LENGTH_OFFSET_DECREASE]: 공구 길이 감소 옵셋
[ID_PLANE_XY] : XY평면 설정
[ID_PLANE_YZ] : YZ평면 설정
[ID_PLANE_ZX] : ZX평면 설정
[ID_COOD_ABSOLUTE] : 절대좌표계
[ID_COOD_INCREMENTAL] : 증분좌표계
[ID_DIM_MM] : 밀리 미터 단위
[ID_DIM_INCH] : 인치 단위
[ID_DWELL] : 잠시 쉬기
[ID_WORK_COOD_SET] : 현재 상태 영점 좌표계 설정
[ID_PROCESS_STOP] : NC처리 멈춤
[ID_PROCESS_STOP2] : NC처리 멈춤2
[ID_PROCESS_EXIT] : NC처리 종료

[ID_PREHEAT_O2_ON] : 예열산소 ON
[ID_PREHEAT_O2_OFF] : 예열산소 OFF
[ID_CUTTING_O2_ON] : 절단산소 ON
[ID_CUTTING_O2_OFF] : 절단산소 OFF
[ID_COOL_ON] : 냉각수 ON
[ID_COOL_OFF] : 냉각수 OFF
[ID_AUTO_SPARK] : 자동점화
[ID_PREHEAT_TIMER] : 예열 타이머
[ID_TORCH_UP] : 토치 상승
[ID_TORCH_DOWN] : 토치 하강
[ID_DWELL_1_SECOND]: 1초간 정지
[ID_MARKING_POWDER_ON] : 마킹파우더 ON
[ID_MARKING_POWDER_OFF] : 마킹파우더 OFF
[ID_MARKING_OFFSET_ON] : 마킹 옵셋 ON
[ID_MARKING_OFFSET_OFF] : 마킹 옵셋 OFF
[ID_PLASMA_ON] : 플라즈마 ON
[ID_PLASMA_OFF] : 플라즈마 OFF
[ID_PROCESS_REWIND_EXIT] : NC 되감기 및 종료
[ID_SUB_PART_CALL] : 보조프로그램 호출
[ID_SUB_PART_END] : 구간 정의 끝
[ID_WORK_GAS_START] : 가스 절단 연동작업 시작
[ID_WORK_PLASMA_START] : 플라즈마 절단 연동작업 시작
[ID_WORK_MARKING_START] : 마킹 연동작업 시작
[ID_WORK_GAS_END] : 가스 절단 연동작업 종료
[ID_WORK_PLASMA_END] : 플라즈마 절단 연동작업 종료
[ID_WORK_MARKING_END] : 마킹 연동작업 종료

○ NC 문형 인식 데이터 베이스 파일 예 :

파일명 : NCRead.inf

```
************************** 주의사항 **************************
이 파일은 NC읽기 처리과정에서 매우 중요하게 참조하는 정보이므로
프로그램 공급자의 허락없이 임의로 편집하지 마십시오.
*************************************************************

****************** 전체 디폴트 옵션 ******************
<NC_OPTION>
0.001
[ID_NC_ERRBOUND]
NC코드값 에러바운드 (주로 원호의 중심점에 대한 에러바운드로 적용됨)
<NC_OPTION>
[ID_COOD_ABSOLUTE]
[ID_COOD_OPTION]
절대/증감 좌표계 설정([ID_COOD_ABSOLUTE]=절대좌표계, [ID_COOD_INCREMENTAL]=증분좌표계)
<NC_OPTION>
[ID_DIM_MM]
[ID_DIM_OPTION]
단위 설정([ID_DIM_MM]=mm단위, [ID_DIM_INCH]=inch단위)
<NC_OPTION>
[ID_PLANE_XY]
[ID_PLANE_OPTION]
가공 궤적의 기본 평면 설정([ID_PLANE_XY]=XY평면, [ID_PLANE_YZ]=YZ평면, [ID_PLANE_ZX]=ZX
평면)
<NC_OPTION>
0.001
[ID_POINT_MULT_VALUE]
소수점이 없을때 처리하는 곱의 계수
<NC_OPTION>
(
[ID_BOX_COMMENT_START]
구간 주석문 시작 기호
<NC_OPTION>
)
[ID_BOX_COMMENT_END]
구간 주석문 끝 기호
<NC_OPTION>
'
[ID_BLOCK_COMMENT]
이후 주석문 기호

****************** NC 함수 항목 ******************
<NC_COMMAND>
G90
[ID_COOD_ABSOLUTE]
절대 좌표계로 설정
<NC_COMMAND>
G91
[ID_COOD_INCREMENTAL]
증분 좌표계로 설정
<NC_COMMAND>
G71
[ID_DIM_MM]
MM단위로 설정
```

<NC_COMMAND>
G70
[ID_DIM_INCH]
Inch단위로 설정
<NC_COMMAND>
G00
[ID_FAST_POSITION]
급속이송
<NC_COMMAND>
G01
[ID_LINEAR_MACHINING]
직선가공
<NC_COMMAND>
G02
[ID_CW_CIRCULAR_MACHINING]
CW원호가공
<NC_COMMAND>
G02.2
[ID_CW_CIRCULAR_MACHINING2]
CW원호가공(ijk값을 중심점으로 이용하는 방법)
<NC_COMMAND>
G03
[ID_CCW_CIRCULAR_MACHINING]
CCW원호가공
<NC_COMMAND>
G03.2
[ID_CCW_CIRCULAR_MACHINING2]
CCW원호가공(ijk값을 중심점으로 이용하는 방법)
<NC_COMMAND>
G40
[ID_COMPENSATION_CANCEL]
공구경 보상 취소
<NC_COMMAND>
G41
[ID_COMPENSATION_LEFT]
공구경 왼쪽 보상
<NC_COMMAND>
G42
[ID_COMPENSATION_RIGHT]
공구경 오른쪽 보상
<NC_COMMAND>
G45.1
[ID_OFFSET_CANCEL]
진행방향 증가 옵셋 취소
<NC_COMMAND>
G45
[ID_OFFSET_INCREASE]
진행방향 증가 옵셋
<NC_COMMAND>
G46
[ID_OFFSET_DECREASE]
진행방향 감소 옵셋
<NC_COMMAND>
G49
[ID_LENGTH_OFFSET_CANCEL]
공구길이 옵셋 취소
<NC_COMMAND>

G43
[ID_LENGTH_OFFSET_INCREASE]
공구 길이 증가 옵셋
<NC_COMMAND>
G44
[ID_LENGTH_OFFSET_DECREASE]
공구길이 감소 옵셋
<NC_COMMAND>
G17
[ID_PLANE_XY]
XY평면설정
<NC_COMMAND>
G19
[ID_PLANE_YZ]
YZ평면설정
<NC_COMMAND>
G18
[ID_PLANE_ZX]
ZX평면설정
<NC_COMMAND>
G04
[ID_DWELL]
머물기
<NC_COMMAND>
G92
[ID_WORK_COOD_SET]
현재위치 기준으로 좌표 세팅
<NC_COMMAND>
M00
[ID_PROCESS_STOP]
프로그램 멈춤
<NC_COMMAND>
M01
[ID_PROCESS_STOP2]
프로그램 멈춤2
<NC_COMMAND>
M02
[ID_PROCESS_EXIT]
프로그램 종료
<NC_COMMAND>
M03
[ID_PREHEAT_O2_ON]
예열산소 ON
<NC_COMMAND>
M04
[ID_PREHEAT_O2_OFF]
예열산소 OFF
<NC_COMMAND>
M05
[ID_CUTTING_O2_ON]
절단산소 ON
<NC_COMMAND>
M06
[ID_CUTTING_O2_OFF]
절단산소 OFF
<NC_COMMAND>
M08

[ID_COOL_ON]
냉각수 ON
<NC_COMMAND>
M09
[ID_COOL_OFF]
냉각수 OFF
<NC_COMMAND>
M11
[ID_AUTO_SPARK]
자동점화
<NC_COMMAND>
M14
[ID_PREHEAT_TIMER]
예열 타이머
<NC_COMMAND>
M15
[ID_TORCH_UP]
토치 상승
<NC_COMMAND>
M16
[ID_TORCH_DOWN]
토치 하강
<NC_COMMAND>
M20
[ID_DWELL_1_SECOND]
1초간 정지
<NC_COMMAND>
M21
[ID_MARKING_POWDER_ON]
마킹 파우더 ON
<NC_COMMAND>
M22
[ID_MARKING_POWDER_OFF]
마킹 파우더 OFF
<NC_COMMAND>
M23
[ID_MARKING_OFFSET_ON]
마킹 옵셋 ON
<NC_COMMAND>
M24
[ID_MARKING_OFFSET_OFF]
마킹 옵셋 OFF
<NC_COMMAND>
M25
[ID_PLASMA_ON]
플라즈마 ON
<NC_COMMAND>
M26
[ID_PLASMA_OFF]
플라즈마 OFF
<NC_COMMAND>
M30
[ID_PROCESS_REWIND_EXIT]
프로그램 되감기, 종료
<NC_COMMAND>
M98
[ID_SUB_PART_CALL]

보조 프로그램 호출
<NC_COMMAND>
M99
[ID_SUB_PART_END]
보조 프로그램 종료
<NC_COMMAND>
M100
[ID_WORK_GAS_START]
가스절단 연동작업 시작
<NC_COMMAND>
M110
[ID_WORK_PLASMA_START]
플라즈마 연동작업 시작
<NC_COMMAND>
M120
[ID_WORK_MARKING_START]
마킹 연동작업 시작
<NC_COMMAND>
M200
[ID_WORK_GAS_END]
가스 연동작업 종료
<NC_COMMAND>
M210
[ID_WORK_PLASMA_END]
플라즈마 연동작업 종료
<NC_COMMAND>
M220
[ID_WORK_MARKING_END]
마킹 연동작업 종료

****************** NC 입력값 항목 ******************
<NC_VALUE>
G
[ID_VALUE_G_CODE]
G코드 번호
<NC_VALUE>
M
[ID_VALUE_M_CODE]
M코드 번호
<NC_VALUE>
O
[ID_VALUE_PART_NUMBER]
프로그램 번호
<NC_VALUE>
N
[ID_VALUE_BLOCK_NUMBER]
블록 번호
<NC_VALUE>
F
[ID_VALUE_FEEDRATE]
피드레이트
<NC_VALUE>
S
[ID_VALUE_SPINDLE_VELOCITY]
스핀들 RPM
<NC_VALUE>
T

```
[ID_VALUE_TOOL_NUMBER]
공구 번호
<NC_VALUE>
X
[ID_VALUE_X]
X값
<NC_VALUE>
Y
[ID_VALUE_Y]
Y값
<NC_VALUE>
Z
[ID_VALUE_Z]
Z값
<NC_VALUE>
I
[ID_VALUE_I]
I값
<NC_VALUE>
J
[ID_VALUE_J]
J값
<NC_VALUE>
K
[ID_VALUE_K]
K값
<NC_VALUE>
R
[ID_VALUE_R]
R값
<NC_VALUE>
D
[ID_VALUE_D]
공구경 보정 레지스트리 값
<NC_VALUE>
H
[ID_VALUE_H]
공구 길이 레지스트리 값
<NC_VALUE>
P
[ID_VALUE_P]
P값

****************** 변수정의 ******************
<NC_VARIABLE>
Q1
100
[NONE]
<NC_VARIABLE>
Q2
200
[NONE]
<NC_VARIABLE>
Q3
300
[NONE]
<NC_VARIABLE>
```

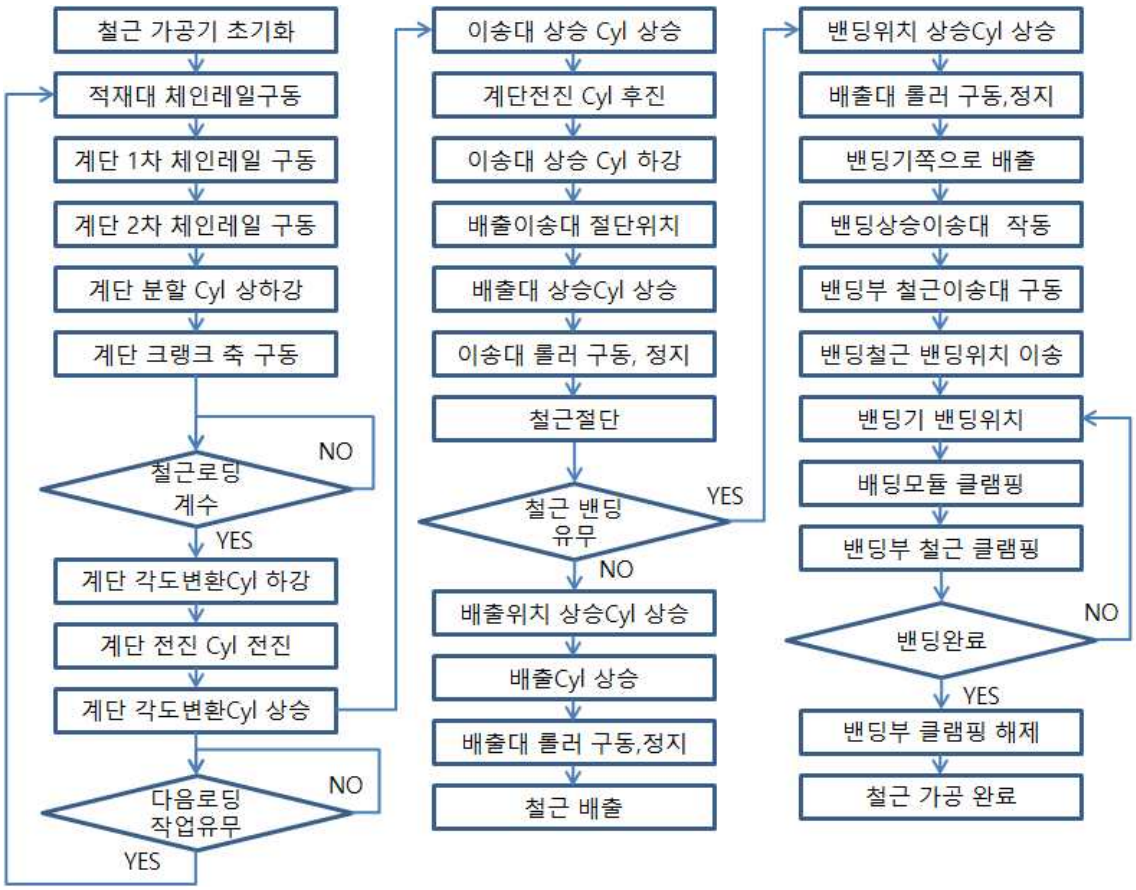
```
#1
G00X0.0Y0.0Z0.0
[NONE]
<NC_VARIABLE>
#2
G92X0.0Y0.0Z0.0
[NONE]

****************** 무시 명령어 정의 ******************
<NC_IGNORE>
%
G09
G54
G55
G56
G57
G58
G59
G65
G10
</NC_IGNORE>

****************** 무시 블럭 정의 ******************
<NC_IGNOREBLOCK>
G04
</NC_IGNOREBLOCK>
```

(5) 데이터형식 기반으로 하는 가공코드 생성 (M코드 자동 삽입)

○ 가공코드는 동작코드(G Code)와 제어코드(M Code)로 이루어져 있으며, 다음 그림과 같은 가공 프로세스에 따라 가공 코드의 프레임이 정의되고, 이 프레임을 따라 전체 세부적인 가공 코드가 생성한다.



<로딩-절단-절곡 통합 가공동작 프로세스>

```
M180M176 밴딩 모듈 클램핑 해재,밴딩 중앙 철근 클램핑 해제

G92X0.00Y0.00A0.00B0.00U0.00; 영점세팅
G00X0.00Y0.00A0.00B0.00U0.00; 홈 포지션 이동
G41D16; 철근두께 16mm
G43D8000; 철근 길이 8000mm

M55 철근 5개 로딩
M70 로딩 철근 절단 이송부 대기

%철근 철단공정후 바로 배출하는 경우 %
```

G00X0.00Y0.00A0.00B0.00U100.00; U축 100mm 이송하여 절단위치에 셋팅
M91 배출이송대 상하강실린더 11상승
M126 M136 이송대 롤러, 배출이송대 롤러 구동 모터 6초간 구동 후 정지
M141 철근절단
M142 절단 철근 배출부로 배출
% 철근 철단공정후 밴딩하는경우 %
G00X0.00Y0.00A0.00B0.00U100.00; U축 100mm 이송하여 절단위치에 셋팅
M91 배출이송대 상하강실린더 11상승
M126 M136 이송대 롤러, 배출이송대 롤러 구동 모터 6초간 구동 후 정지
M141 철근절단
M143 절단 철근 밴딩부로 이송
M144 밴딩상승이송대 모터 구동
M151 밴딩부 철근이송대 모터 구동
G00X3500.00Y3500.00; 철근 받을 위치로 x y축 이송
M163 밴딩부 철근 밴딩위치 이송 실린더 상승
M165 밴딩부 철근 밴딩위치 전진 실린더 전진
M164 밴딩부 철근 밴딩위치 이송 실린더 하강
M166 밴딩부 철근 밴딩위치 전진 실린더 후진
G00X3300.00Y3300.00; 철근 정렬 위치로 x y축 이송
M169 밴딩 철근 정렬 실린더 상승
M170 밴딩 철근 정렬 실린더 하강
M171 밴딩 중앙 클램핑 상하강 실린더 상승
M173 밴딩 중앙 클램핑 전후진 실린더 전진
M172 밴딩 중앙 클램핑 상하강 실린더 하강
M174 밴딩 중앙 클램핑 전후진 실린더 후진
M177 밴딩고정축 전진실린더 전진
G00X2611.30Y2611.30A0.00B0.00; 절곡위치로 이동
M179 밴딩 모듈 클램핑
M181 밴딩부 철근 클램핑
G01A56.31B56.31; 절곡시작
G05D5000; 절곡유지 5초
G00A0.00B0.00; 밴딩 축 원위치
M182 밴딩부 철근 클램핑 해제
M180 밴딩 모듈 클램핑 해제
G00X1800.00Y1800.00A0.00B0.00; 다음절곡 위치로 이동
M179 밴딩 모듈 클램핑
M181 밴딩부 철근 클램핑
G01A30.00B30.00; 밴딩시작
G05D5000; 절곡유지 5초
G00A0.00B0.00; 밴딩 축 원위치
M182 밴딩부 철근 클램핑 해제
M180 밴딩 모듈 클램핑 해제

M178 밴딩고정축 전진실린더 후진

G00X0.00Y0.00A0.00B0.00U0.00V0.00; 홈포지션이동
M02M30;프로그램종료

계단각도 변환 실린더 상승, 계단 전진실린더 후진
M61M63; 적재대 체인레일 구동(센서를 받은후 일정시간(예-5초)후 정지
계단 1차 체인레일 구동
계단 2차 체인레일 구동
계단 분할 실린더 상승, 계단 분할 실린더 하강 반복
계단 크랭크 축 구동, (계수 카운터함)
계단각도 변환 실린더 하강

G00U1122.50; 철근 절단길이에 맞추어 배출이송대 상승실린더 선택 및 U축 절단길이에 맞추어 이동
M ; 선택된 배출이송대 상하강 실린더 상승

계단 전진실린더 전진
계단각도 변환 실린더 상승

이송대 상승 실린더 상승
계단 전진실린더 후진
이송대 상승 실린더 하강
이송대 롤러 구동 모터 작동

<가공동작 프로세스에 따른 가공데이터 프레임>

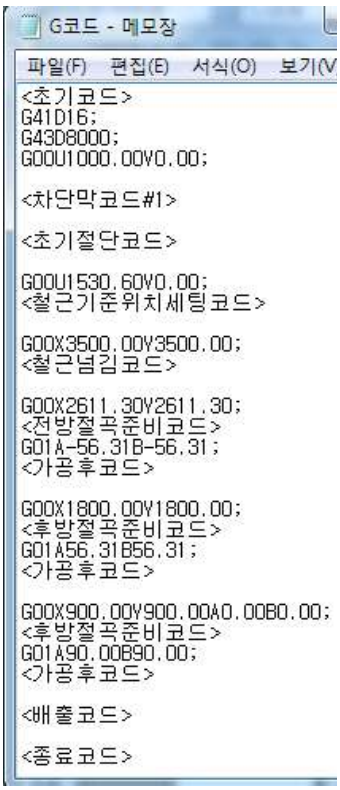
다음은 기본적인 철근가공을 위한 코드와 이에 대한 설명을 나타내었다.

G92X0.00Y0.00A0.00B0.00U0.00V0.00; 영점세팅
G00X0.00Y0.00A0.00B0.00U0.00V0.00; 홈포지션이동
G41D16; 철근두께 16mm
G43D8000;철근 길이 8000mm
M87M89; UV차단막 들기
G00U1122.50V0.00; 철근길이 5m 넘는 경우 V는 초기위치,U는 철근길이-5000위치 이동
M86M89; U차단막내리고, V차단막들기
M94M96G05D5000;UV롤러 구동 및 이상태로 5초 유지
M95M97; 롤러오프
M92;철근그립
M90;철근절단
M91;절단날 들기
M93;그립off

```
M87M89; UV차단막 들기
G00U1530.60V0.00; 중심잡기위해 차단막이동 U=철근길이/2
M86M89; U차단막내리고, V차단막들기
M94M96G05D5000; UV롤러 구동 및 이상태로 5초 유지
M95M97; 롤러오프
M87M89; UV차단막 들기
G00U5000.00V0.00; 간섭방지위해 차단막 멀리보내기
G00X3500.00Y3500.00; 철근 받을 위치로 x y축 이송 (철근길이/2-500)
M102M104; 철근넘김
M103M105; 철근넘김 복귀
G00X2611.30Y2611.30A0.00B0.00; 절곡위치 절곡각도 설정
M106M107; 절곡방향 자동세팅
M74M76M78; 철근받기
M75M77M79; 철근받기오프
M82M84; 철근정렬받침올리기
M83M85; 철근정렬받침내리기
M100; 그립유압서버모터구동
M80; 절곡그립온
G01A-56.31B-56.31; 절곡
G05D5000; 절곡유지 5초
M70M72M74;XY축이송을 위한 철근상승
G00X1800.00Y1800.00A0.00B0.00; 다음절곡으로 위치 각도 설정
M106M107; 절곡방향 자동세팅
G01A56.31B56.31; 절곡
G05D5000; 절곡유지 5초
M81; 절곡그립오프
M70M72M74;XY축이송을 위한 철근상승
G00X900.00Y900.00A0.00B0.00; 다음절곡으로 위치 각도 설정
M106M107; 절곡방향세팅
M71M73M75;철근하강안착
M80; 절곡그립온
G01A90.00B90.00; 절곡
G05D5000; 절곡유지 5초
M81; 절곡그립오프
M74M76M78;배출온
M75M77M79;배출오프
M101;펌프종료
G00X0.00Y0.00A0.00B0.00U0.00V0.00; 홈포지션이동
M02M30;프로그램종료
```

○ 이러한 가공코드를 분석하면, 실제로 굽힘가공을 위해 필요한 작동축 전 후로 유사한 패턴의 제어코드가 설정되며, 이러한 패턴을 일반화 시켜 가공 프로그램을 다음과 같은 형태로 일반화 시켰다.

단계	가공코드 (G Code)	제어코드 (M Code)	
1	-	<초기코드>	
2	G41, G43 철근소재길이, 두께 설정 G00 UV : U축 초기위치 설정	-	
3	-	<차단막코드#1> 또는 <차단막코드#2>	
4	G00 UV : 철근중앙세팅 위한 설정	-	
5	-	<철근기준위치세팅코드>	
6	G00 XY : 철근 넘김을 받기 위한 X Y 축 위치 설정	-	
7	-	<철근넘김코드>	
8	G00 XY : XY축 절곡 위치 세팅	-	
9	-	<전방절곡준비코드> 또는 <후방절곡준비코드>	
10	G01 AB : 절곡 가공	-	
11	-	<가공후코드>	
. .	절곡 과정당 8 단계 ~ 11단계 반복 . . .		
. .	-	<배출코드>	
. .	-	<종료코드>	



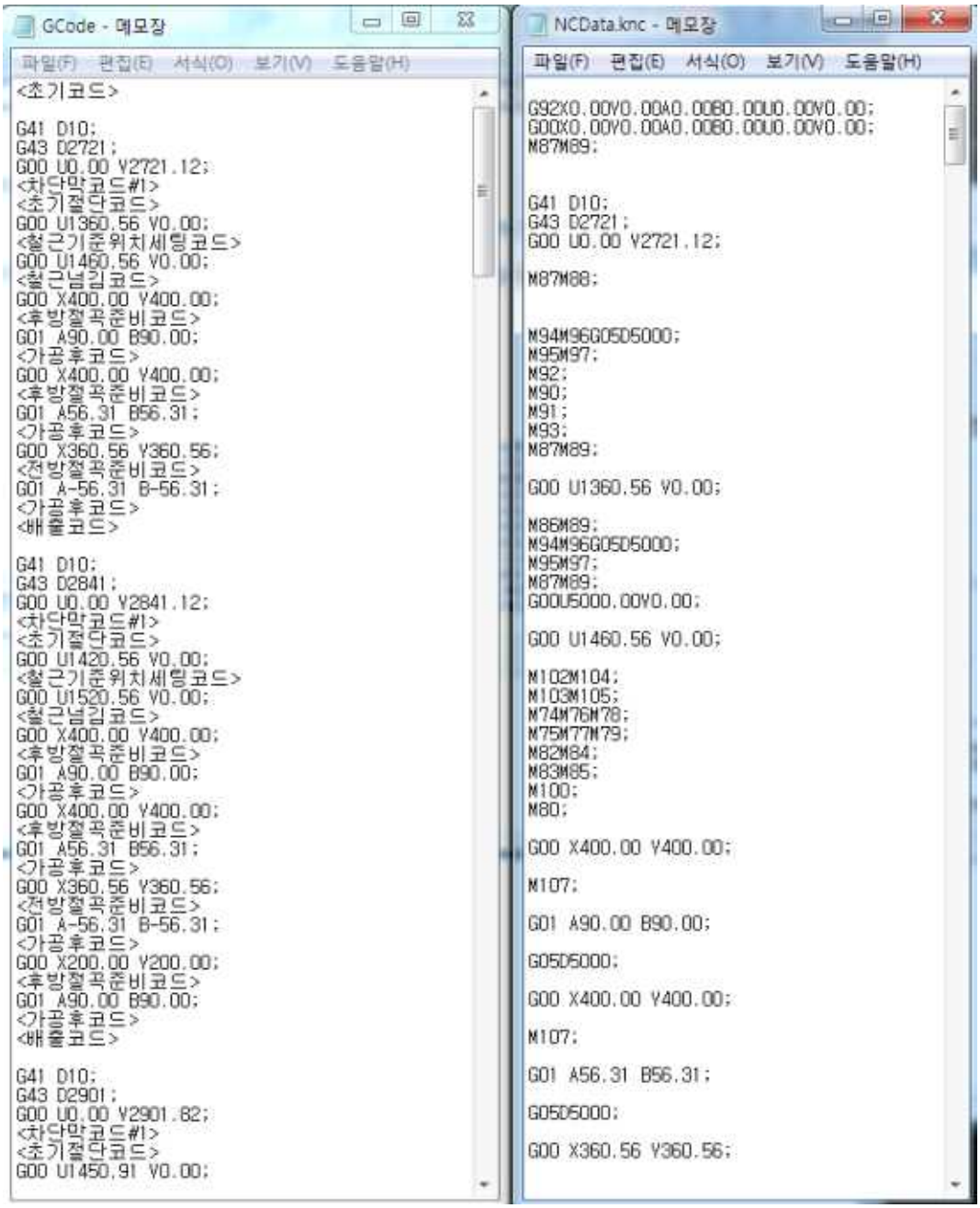
○ 이때 가공코드는 철근형상정보를 통해 구성할 수 있으며, 제어코드는 “<>”로 이루어진 변수문자열을 합리적으로 위치시킴으로써 전체 가공 시퀀스를 완성할 수 있다.

○ 또한 변수문자열은 다음과 같이 세부적으로 D/B파일로 정의하였으며, 변수문자열(예:<가공후코드>)에 “-시작”과 “-종료”에 따라 해당 코드의 대응 문자열이 정의되어 있다.

<초기코드>-시작 G92X0.00Y0.00A0.00B0.00U0.00V0.00; G00X0.00Y0.00A0.00B0.00U0.00V0.00; M87M89; <초기코드>-종료 <차단막코드#1>-시작 M87M88; <차단막코드#1>-종료 <차단막코드#2>-시작 M86M89; <차단막코드#21>-종료 <초기절단코드>-시작 M94M96G05D5000; M95M97; M92; M90; M91; M93; M87M89; <초기절단코드>-종료 <철근기준위치세팅코드>-시작 M86M89; M94M96G05D5000; M95M97; M87M89; G00U5000.00V0.00; <철근기준위치세팅코드>-종료	<철근넘김코드>-시작 M102M104; M103M105; M74M76M78; M75M77M79; M82M84; M83M85; M100; M80; <철근넘김코드>-종료 <전방절곡준비코드>-시작 M106; <전방절곡준비코드>-종료 <후방절곡준비코드>-시작 M107; <후방절곡준비코드>-종료 <가공후코드>-시작 G05D5000; <가공후코드>-종료 <배출코드>-시작 M81; M74M76M78; M75M77M79; <배출코드>-종료 <종료코드>-시작 M101; G00X0.00Y0.00A0.00B0.00U0.00V0.00; M02M30; <종료코드>-종료

<M코드 DB 예시>

○ 이와 같은 지식 데이터베이스 및 파라메터 정의에 의해 현장에서 바로 적용 가능한 M코드가 포함된 가공코드를 다음과 같이 자동으로 생성할 수 있다.



<M코드가 삽입된 최종 가공 코드 자동 생성 확인>

6. 최적 철근 절단 스케줄링 및 철근 손실 시뮬레이션

가. 최적 철근 절단 스케줄링 알고리즘 개발

○ 건축 자재로 많이 사용되는 철근, H빔 그리고 파이프 등의 원자재를 절약하기 위해서는 최적의 조건으로 원자재를 절단해서 사용해야 한다. 즉, 절단 시 원자재의 사용 불가능한 잔재 조각을 최소화하기 위해 길이에 대한 최적배치가 필요하며 이를 1차원 최적배치문제라 한다. 1차원 최적배치문제는 단순하게 보이지만 여러 가지 길이의 부재가 배치되는 경우 많은 조합의 해가 생기며, 그 해의 수는 기하급수적으로 늘어난다.

○ 이와 같은 문제를 해결하기 위해서는 구속조건으로 선택할 원자재와 부재의 수가 많고 재고량과 같이 우선적으로 선택해야 할 조합이 있을 경우 더욱 전역해에 가까운 해를 찾는 것은 어려워진다. 그러므로 수많은 해 중 최적이 되는 전역해를 찾기 위해 과거부터 현재까지 최적배치에 관한 다양한 연구들이 있었다.

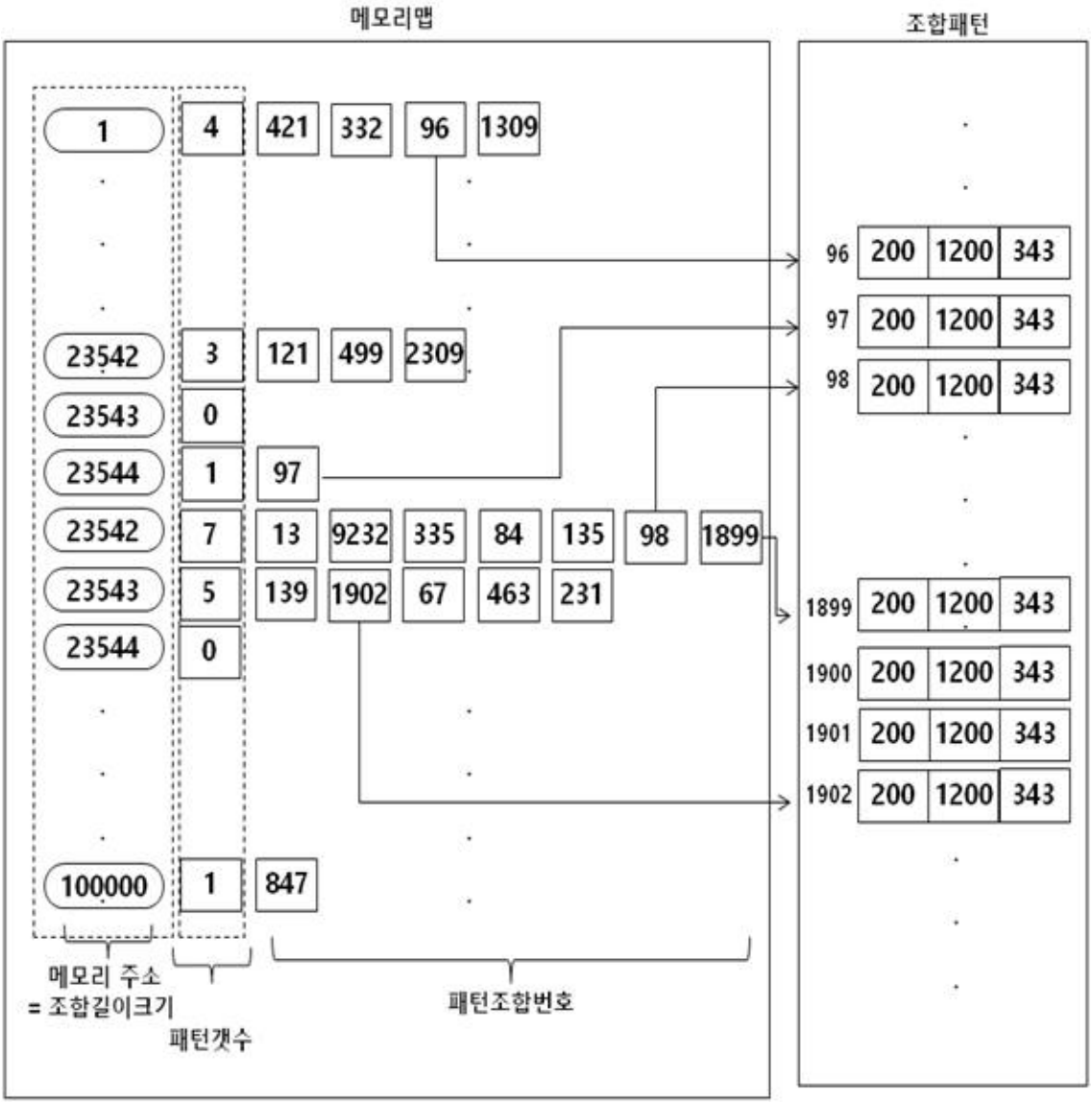
○ 대표적으로 1960년대의 Gilmore와 Gomory 등은 최적배치에 대한 문제를 선형계획법(Linear Programming)과 냅색함수(Knapseck function)를 사용하여 최적배치 문제를 풀었다[1,2]. 하지만 이들이 푼 문제는 규칙적인 패턴을 가진 배치문제였기 때문에 불규칙적인 패턴에 사용하기는적합하지 않았다. 이 후 Adamowic와 Albano에 의해 개발된 Heuristics algorithm을 이용하여 국지해 탐색을 효과적으로 접근이 가능한 불규칙 패턴의 배치문제에 대한 연구를 발표하였으며[3,4], 최근에는 장정원이 유전자 알고리즘을 이용하여 1차원 부재에 대한 효과적인 최적배치 알고리즘을 제안하였다.

○ 본 과제에서는 조합가능한 경우의 수에 대한 DB와 잔재 길이에 대한 메모리 Map을 이용하여 배치종류가 많은 일차원 부재의 배치문제에 대해 계산량을 최소화하는 효과적인 배치알고리즘을 제시하였으며, 기존 방법과의 비교를 통해 그 유효성을 검증하였다.

(1) 배치조합 패턴DB의 생성

○ 일반적으로 배치문제에 있어서 가장 시간소모가 발생하는 부분은 제시된 길이에 대해 최적의 조합을 찾는 것이며 이는 조합의 경우의 수에 따라 연산 시간소모가 기하급수적으로 늘어난다.

○ 본 연구에서는 검색에 대한 시간을 제거하기 위해 부재의 길이를 메모리 주소로 사용하는 메모리 맵을 설정하였다. 일반적으로 산업분야에서 부재의 길이는 100m를 넘지 않으며, mm 단위로 표기하는 경우 100,000개의 공간이 필요하다. 메모리맵에 대한 구조는 그림.1과 같이 조합의 길이를 메모리 주소로 매핑한 것으로서 하나의 필드에는 패턴의 개수와 패턴의 개수에 해당하는 각각의 패넡조합인덱스 정보로 구성되어 있다.



<메모리 맵과 배치 조합 패턴>

○ 조합패턴은 n개 부재 종류에 대해 중복을 고려하여 r개를 선택하는 경우 경우의 수는 식(1)과 같이 나타낼 수 있으며, 본 연구에서는 배치 조합의 개수는 식(2)와 같다.

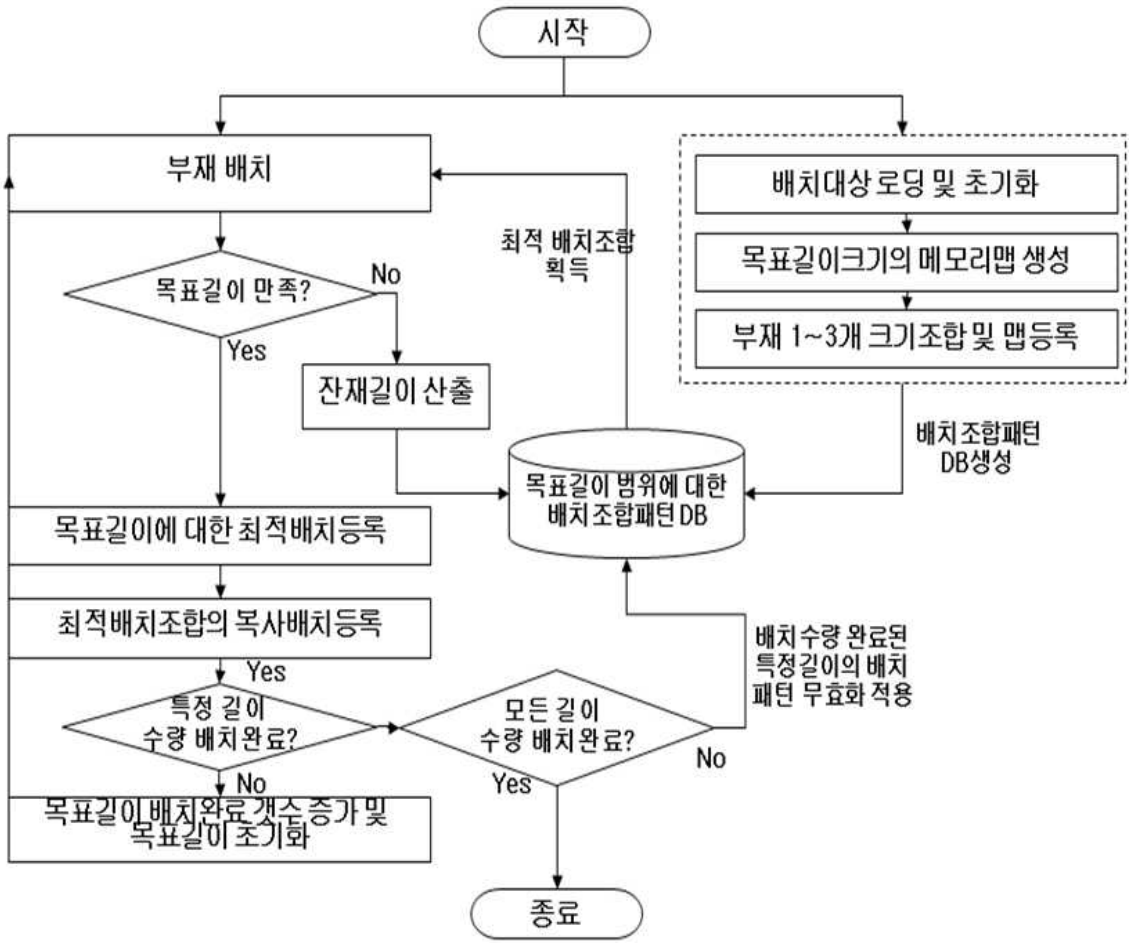
$$ {}_{(n+1)}C_r = \frac{(n+1)!}{(n+1-r)!\,r!} $$

$$ \text{패턴종류} = {}_nC_1 + {}_{n+1}C_2 + {}_{n+2}C_3 $$

(2) 배치 알고리즘

○ 1차원 부재배치에 대한 알고리즘은 그림.2와 같이 먼저 배치가능한 조합의 패턴DB를 생성하고, 이후의 모든 배치 프로세스는 단순히 패턴DB에서 잔재길이 메모리맵에 해당

하는 배치 패턴을 가져오는 것으로 진행되며, 특정 길이의 배치수량이 완료된 경우 해당 길이에 대한 DB의 무효화 작업을 통해 DB를 갱신시키는 방법이다.



<패턴 DB에 의한 최적배치 알고리즘>

○ 배치 시간은 대한 배치패턴DB를 생성하는데 상당부분 소요되나, 배치패턴DB는 3개 이하의 제한된 부재조합만 고려하므로 충분히 짧은시간내(배치갯수가 100개의 경우 1초 이하) 조합패턴생성이 가능하며, 잔재 길이를 그대로 메모리 주소로 활용하므로 기존에 가장 시간이 소요되었던 최적패턴 검색시간을 제거하는 알고리즘이다.

나. 시뮬레이션 결과 및 손실평가

(1) 기존 알고리즘과 의 성능비교

○ 일차원 배치 알고리즘의 유효성을 검증하기 위해 기존의 휴리스틱 및 유전자알고리즘의 시뮬레이션 결과와 비교하였다. 휴리스틱알고리즘 및 유전자알고리즘과의 비교는 기존의 연구결과[5]를 참조하였으며, 한 목표길이에 대한 배치 완료기준 공차는 10mm로 설정하였다.

Data1				Data.2			
pattern (mm)	amount (EA)	pattern (mm)	amount (EA)	pattern (mm)	amount (EA)	pattern (mm)	amount (EA)
385	20	2690	7	200	100	765	20
396	22	2740	3	228	70	796	80
402	8	2790	90	250	100	1670	20
940	2	3290	1	300	100	2765	20
1740	1	3340	7	316	50	2890	30
1790	1	3790	4	352	60	3090	20
1915	14	4040	5	419	50	3136	20
2065	14	4260	12	421	50	3540	10
2240	1	4490	3	600	50	3690	40
2290	4	4639	2	625	40	3756	10
2390	70	4916	2	650	50	3927	10
2440	6	5023	16	653	40	4143	10
2490	48			794	80	8290	40
		Total	363			Total	931

<테스트 데이터 : 철근 길이별 배치 개수>

	Heuristics Algorithm	Genetic Algorithm	This research	Target Length (mm)
	Time (sec)	Time (sec)	Time (sec)	
Data 1	56	1	1	13000 12000 11000 10000 9000 8000
Data 2	821	1	1	
Data 1	1038	2	1	13000 8000
Data 2	36(h)	2	1	

<휴리스틱 알고리즘과 유전자아라고리즘
및 본 과제에서 개발한 알고리즘의 성능 비교>

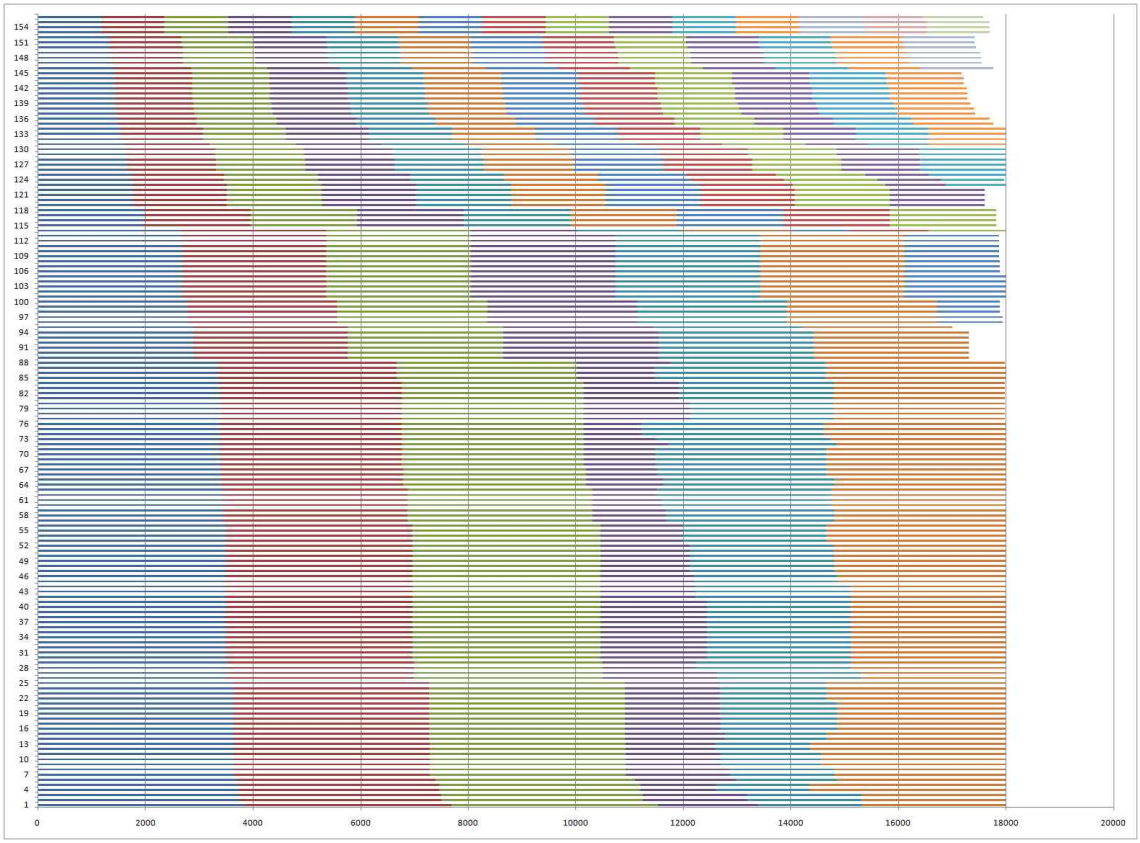
○ 결과적으로 기존의 연구결과보다 연산시간이짧았으며, 특히 50개 이사의 배치종류를 대상으로 하는 경우 1초 내 배치가 가능함을 확인하였다.

(2) 대규모 철근종류에 대한 배치 시뮬레이션

○ 철근의 종류가 많은 경우 배치결과를 확인하기 위해 다음과 같이 62종류의 대규모 철근데이터에 대해 대해 배치를 수행하였다.

철근길이	배치갯수	철근길이	배치갯수
1070	14	1880	44
1090	30	1940	16
1096	6	1980	356
1125	20	2130	7
1140	11	2160	9
1180	220	2180	14
1225	5	2665	53
1290	3	2680	44
1320	32	2685	648
1340	50	2700	8
1348	22	2785	73
1350	41	2880	44
1355	9	2885	500
1422	8	2900	4
1430	4	3140	44
1435	60	3185	100
1440	72	3200	8
1450	34	3250	11
1459	14	3340	112
1480	20	3385	284
1540	97	3400	24
1560	5	3440	48
1600	18	3445	10
1650	53	3485	408
1660	90	3500	28
1734	20	3640	135
1740	10	3645	56
1760	286	3700	5
1775	11	3733	8
1780	20	3750	8
1860	16	3845	1

<대규모 철근 배치 대상 데이터>



<배치 결과>

철근 배치															배치길이	배치율	개수
3845	3845	3845	1860	1940	2665	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	1
3750	3750	3750	1940	2130	2680	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	2
3750	3750	3750	1940	2130	2680	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	1
3733	3733	3733	1422	1734	3645	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	2
3733	3733	3733	1422	1734	3645	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	1
3700	3700	3700	1880	1880	3140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	2
3645	3645	3645	1940	1940	3185	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	4
3645	3645	3645	1940	1940	3185	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	2
3645	3645	3645	1760	1860	3445	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	6
3645	3645	3645	1760	1860	3445	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	3
3645	3645	3645	1760	1860	3445	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	1
3645	3645	3645	1660	1760	3645	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	1
3645	3645	3645	1650	1775	3640	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	1
3640	3640	3640	1860	1880	3340	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	3
3640	3640	3640	1860	1880	3340	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	2
3640	3640	3640	1780	2160	3140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	5
3640	3640	3640	1780	2160	3140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	3
3640	3640	3640	1780	2160	3140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	1

3640	3640	3640	1760	2180	3140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	8
3640	3640	3640	1760	2180	3140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	4
3640	3640	3640	1760	2180	3140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	2
3640	3640	3640	1760	1980	3340	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	9
3640	3640	3640	1760	1980	3340	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	5
3640	3640	3640	1760	1980	3340	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	2
3640	3640	3640	1760	1980	3340	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	1
3500	3500	3500	2130	2685	2685	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	3
3500	3500	3500	2130	2685	2685	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	1
3500	3500	3500	1740	2880	2880	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	4
3500	3500	3500	1740	2880	2880	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	2
3485	3485	3485	1980	2685	2880	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	17
3485	3485	3485	1980	2685	2880	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	8
3485	3485	3485	1980	2685	2880	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	4
3485	3485	3485	1980	2685	2880	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	2
3485	3485	3485	1980	2685	2880	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	1
3485	3485	3485	1980	2680	2885	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	21
3485	3485	3485	1980	2680	2885	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	11
3485	3485	3485	1980	2680	2885	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	5
3485	3485	3485	1980	2680	2885	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	3
3485	3485	3485	1980	2680	2885	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	1
3485	3485	3485	1980	2665	2900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	3
3485	3485	3485	1980	2665	2900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	1
3485	3485	3485	1775	2885	2885	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	6
3485	3485	3485	1775	2885	2885	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	3
3485	3485	3485	1775	2885	2885	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	1
3485	3485	3485	1740	2665	3140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	3
3485	3485	3485	1740	2665	3140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	1
3485	3485	3485	1660	2700	3185	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	5
3485	3485	3485	1660	2700	3185	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	2
3485	3485	3485	1660	2700	3185	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	1
3485	3485	3485	1660	2685	3200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	5
3485	3485	3485	1660	2685	3200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	2
3485	3485	3485	1660	2685	3200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	1
3485	3485	3485	1540	2665	3340	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	15
3485	3485	3485	1540	2665	3340	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	8
3485	3485	3485	1540	2665	3340	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	4
3485	3485	3485	1540	2665	3340	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	2
3440	3440	3440	1355	3140	3185	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	5
3440	3440	3440	1355	3140	3185	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	3
3440	3440	3440	1355	3140	3185	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	1

3440	3440	3440	1290	3140	3250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	2
3440	3440	3440	1290	3140	3250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	1
3440	3440	3440	1180	3250	3250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	3
3440	3440	3440	1180	3250	3250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	1
3400	3400	3400	1430	3185	3185	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	3
3400	3400	3400	1430	3185	3185	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	1
3400	3400	3400	1320	3140	3340	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	3
3400	3400	3400	1320	3140	3340	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	1
3385	3385	3385	1320	3185	3340	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	15
3385	3385	3385	1320	3185	3340	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	7
3385	3385	3385	1320	3185	3340	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	4
3385	3385	3385	1320	3185	3340	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	2
3385	3385	3385	1560	3140	3140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17995	100.0	2
3385	3385	3385	1340	3250	3250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17995	100.0	1
3385	3385	3385	1070	3385	3385	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17995	100.0	8
3385	3385	3385	1070	3385	3385	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17995	100.0	4
3385	3385	3385	1070	3385	3385	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17995	100.0	2
3385	3385	3385	1980	2665	3185	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17985	99.9	9
3385	3385	3385	1980	2665	3185	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17985	99.9	4
3385	3385	3385	1980	2665	3185	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17985	99.9	2
3385	3385	3385	1980	2665	3185	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17985	99.9	1
3385	3385	3385	1760	2885	3185	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17985	99.9	13
3385	3385	3385	1760	2885	3185	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17985	99.9	7
3385	3385	3385	1760	2885	3185	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17985	99.9	3
3385	3385	3385	1760	2885	3185	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17985	99.9	2
3340	3340	3340	1450	3185	3340	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17995	100.0	4
3340	3340	3340	1450	3185	3340	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17995	100.0	2
3340	3340	3340	1450	3185	3340	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17995	100.0	1
3340	3340	3340	1734	2885	3340	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17979	99.9	1
2885	2885	2885	2885	2885	2885	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17310	96.2	35
2885	2885	2885	2885	2885	2885	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17310	96.2	18
2885	2885	2885	2885	2885	2885	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17310	96.2	9
2885	2885	2885	2885	2885	2885	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17310	96.2	4
2885	2885	2885	2885	2885	2885	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17310	96.2	2
2885	2885	2885	2885	2885	2885	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17310	96.2	1
2885	2885	2885	2785	2785	2785	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17010	94.5	1
2785	2785	2785	2785	2785	2785	1225	0	0	0	0	0	0	0	0	17935	99.6	3
2785	2785	2785	2785	2785	2785	1225	0	0	0	0	0	0	0	0	17935	99.6	2
2785	2785	2785	2785	2785	2785	1180	0	0	0	0	0	0	0	0	17890	99.4	4
2785	2785	2785	2785	2785	2785	1180	0	0	0	0	0	0	0	0	17890	99.4	2
2785	2785	2785	2785	2785	2785	1180	0	0	0	0	0	0	0	0	17890	99.4	1

2685	2685	2685	2685	2685	2685	1880	0	0	0	0	0	0	0	0	17990	99.9	19
2685	2685	2685	2685	2685	2685	1880	0	0	0	0	0	0	0	0	17990	99.9	9
2685	2685	2685	2685	2685	2685	1880	0	0	0	0	0	0	0	0	17990	99.9	5
2685	2685	2685	2685	2685	2685	1880	0	0	0	0	0	0	0	0	17990	99.9	2
2685	2685	2685	2685	2685	2685	1880	0	0	0	0	0	0	0	0	17990	99.9	1
2685	2685	2685	2685	2685	2685	1780	0	0	0	0	0	0	0	0	17890	99.4	6
2685	2685	2685	2685	2685	2685	1780	0	0	0	0	0	0	0	0	17890	99.4	3
2685	2685	2685	2685	2685	2685	1780	0	0	0	0	0	0	0	0	17890	99.4	2
2685	2685	2685	2685	2685	2685	1760	0	0	0	0	0	0	0	0	17870	99.3	27
2685	2685	2685	2685	2685	2685	1760	0	0	0	0	0	0	0	0	17870	99.3	14
2685	2685	2685	2685	2685	2685	1760	0	0	0	0	0	0	0	0	17870	99.3	7
2685	2685	2685	2685	2685	2685	1760	0	0	0	0	0	0	0	0	17870	99.3	3
2685	2685	2685	2685	2685	2685	1760	0	0	0	0	0	0	0	0	17870	99.3	2
2685	2685	2685	1980	1980	1980	1125	1440	1440	0	0	0	0	0	0	18000	100.0	1
1980	1980	1980	1980	1980	1980	1980	1980	1980	0	0	0	0	0	0	17820	99.0	14
1980	1980	1980	1980	1980	1980	1980	1980	1980	0	0	0	0	0	0	17820	99.0	7
1980	1980	1980	1980	1980	1980	1980	1980	1980	0	0	0	0	0	0	17820	99.0	4
1980	1980	1980	1980	1980	1980	1980	1980	1980	0	0	0	0	0	0	17820	99.0	2
1760	1760	1760	1760	1760	1760	1760	1760	1760	1760	0	0	0	0	0	17600	97.8	9
1760	1760	1760	1760	1760	1760	1760	1760	1760	1760	0	0	0	0	0	17600	97.8	4
1760	1760	1760	1760	1760	1760	1760	1760	1760	1760	0	0	0	0	0	17600	97.8	2
1760	1760	1760	1760	1760	1760	1760	1760	1760	1760	0	0	0	0	0	17600	97.8	1
1760	1760	1760	1760	1760	1760	1734	1734	1734	1125	1125	0	0	0	0	18012	100.1	1
1734	1734	1734	1734	1734	1734	1734	1734	1734	1180	1180	0	0	0	0	17966	99.8	1
1734	1734	1734	1734	1734	1734	1660	1660	1660	1180	1440	0	0	0	0	18004	100.0	1
1660	1660	1660	1660	1660	1660	1660	1660	1660	1459	1600	0	0	0	0	17999	100.0	5
1660	1660	1660	1660	1660	1660	1660	1660	1660	1459	1600	0	0	0	0	17999	100.0	2
1660	1660	1660	1660	1660	1660	1660	1660	1660	1459	1600	0	0	0	0	17999	100.0	1
1650	1650	1650	1650	1650	1650	1650	1650	1650	1540	1600	0	0	0	0	17990	99.9	4
1650	1650	1650	1650	1650	1650	1650	1650	1650	1540	1600	0	0	0	0	17990	99.9	2
1600	1600	1600	1600	1600	1600	1560	1560	1560	1140	1140	1440	0	0	0	18000	100.0	1
1540	1540	1540	1540	1540	1540	1540	1540	1540	1350	1350	1440	0	0	0	18000	100.0	4
1540	1540	1540	1540	1540	1540	1540	1540	1540	1350	1350	1440	0	0	0	18000	100.0	2
1540	1540	1540	1540	1540	1540	1540	1540	1540	1350	1350	1440	0	0	0	18000	100.0	1
1480	1480	1480	1480	1480	1480	1480	1480	1480	1480	1480	1480	0	0	0	17760	98.7	1
1480	1480	1480	1480	1480	1480	1480	1480	1480	1459	1459	1459	0	0	0	17697	98.3	1
1459	1459	1459	1450	1450	1450	1450	1450	1450	1450	1450	1450	0	0	0	17427	96.8	1
1450	1450	1450	1450	1450	1450	1450	1450	1450	1450	1450	1450	0	0	0	17400	96.7	1
1450	1450	1450	1450	1450	1450	1440	1440	1440	1440	1440	1440	0	0	0	17340	96.3	1
1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440	0	0	0	17280	96.0	3
1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440	0	0	0	17280	96.0	1

1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440	1435	1435	1435	0	0	0	17265	95.9	1
1435	1435	1435	1435	1435	1435	1435	1435	1435	1435	1435	1435	0	0	0	17220	95.7	3
1435	1435	1435	1435	1435	1435	1435	1435	1435	1435	1435	1435	0	0	0	17220	95.7	1
1435	1435	1435	1435	1435	1435	1435	1435	1435	1422	1422	1422	0	0	0	17181	95.5	1
1422	1422	1422	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	0	0	17766	98.7	1
1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	0	0	17550	97.5	1
1350	1350	1350	1350	1350	1350	1348	1348	1348	1348	1348	1348	1348	0	0	17536	97.4	1
1348	1348	1348	1348	1348	1348	1348	1348	1348	1348	1348	1348	1348	0	0	17524	97.4	1
1348	1348	1348	1340	1340	1340	1340	1340	1340	1340	1340	1340	1340	0	0	17444	96.9	1
1340	1340	1340	1340	1340	1340	1340	1340	1340	1340	1340	1340	1340	0	0	17420	96.8	2
1340	1340	1340	1340	1340	1340	1340	1340	1340	1340	1340	1340	1340	0	0	17420	96.8	1
1180	1180	1180	1180	1180	1180	1180	1180	1180	1180	1180	1180	1180	1180	1180	17700	98.3	7
1180	1180	1180	1180	1180	1180	1180	1180	1180	1180	1180	1180	1180	1180	1180	17700	98.3	4
1180	1180	1180	1180	1180	1180	1180	1180	1180	1180	1180	1180	1180	1180	1180	17700	98.3	2
1180	1180	1180	1180	1180	1180	1180	1180	1180	1180	1180	1180	1140	1140	1140	17580	97.7	1

<배치 결과 데이터>

(3) 철근 손실의 계산

○ 배치율 평균방법 : 개별 배치율의 평균 : 99.3%

(4) 배치 길이 비율 방법

○ 배치대상철근총길이합 / (배치위한 장철근요구갯수 x 장철근 길이) =

11143573 / 11232000 → 99.2 %

(5) 배치 알고리즘 프로그램 코드

```
clear all clc; close all

global h; %철근정보
global p; %패턴리스트
global m; %메모리맵
global target; %목표철근길이
global arraylist;%전역변수 : 배치결과 : 순차인덱스기준 : [target, a, b, c,
d, e, f, g, .. ]
global arraysize;%array갯수
global interval;%전역변수 : 배치완료 기준 자재허용 크기

%%%
```

```
to1 = length(sdat(:,1));
to2 = length(adf1);
vv = [sdat(:,1);      adf1;          adf2;];
aa = [sdat(:,1);      a1;           a2;];
bb = [zeros(to1,1);    b1;           b2;];
cc = [zeros(to1,1);    zeros(to2,1);   c2;];
%조합 패넡데이터 생성 (patternlist) - 정수화 적용
[sv, vi] = sort(vv);
patternlist = [sv, aa(vi), bb(vi), cc(vi)];

toa = length(sv);
a = 1;
while(a<=toa && sv(a)<=target)
    a = a+1;
end
p = patternlist(1:a-1, 2:4);
sp = patternlist(1:a-1, 1);

toa = length(arraynumber);
a = 1;
while(a<=toa)
    h(a).n = arraynumber(a);
    %h(a).i = zeros(2+(to1+1)+(to1+1)*(to1)/2, 1);
    h(a).i(1) = 0;
    a = a+1;
end

toa = length(p(:,1));
a = 1;
while(a<=toa)
    b = 1;
    while(b<=3 && p(a,b)>0)
        j = length(h(p(a,b)).i);
        h(p(a,b)).i(j+1) = a;
        h(p(a,b)).i(1) = j;
        b = b+1;
    end
```

```
    a = a+1;
end

m = zeros(target, 1);

b = target;
a = toa;
oldv = target;
savei = a;
while(a>=1 && b>=1)
    if(oldv~=sp(a))
        while(b>sp(a) && b>=1)
            m(b) = savei;
            b = b-1;
        end
        oldv = sp(a);
        savei = a;
        if(b>=1)
            m(b) = savei;
            b = b-1;
        end
    end
    a = a-1;
end

data1 = data(:,1) .* data(:,2);
data2 = sum(data1);
targetn = 2*round(data2 / target);
a = 1;
while(a<=targetn)
    arraylist(a).i(1) = 1;
    a = a+1;
end

'start ~~~~~~~~~~~~~~~~~~'

arraysize = 1;
```

```
result = nest(target);
while(result~=2)
    result = nest(target);
%    arraysize
%    data2
end

'배치 완료~~~~~~~~~~~~~~~~~~'

alist = zeros(632,20);
a = 1;
while(a<=arraysize-6)
    b = 1;
    while(b<arraylist(a).i(1))
        alist(a, b) = arraylist(a).i(b+1);
        b = b+1;
    end
    k1(a) = sum(alist(a,:));
    a = a+1;
end
k2 = k1;
k2(:) = 18000;
100*sum(k1) / sum(k2)

toa = length(alist(:,1));
a = 1;
while(a<=toa)
    if(alist(a,1)==0)
        break
    end
    a = a+1;
end
alist = alist(1:a-1,:);
k1 = k1(1:a-1);
k2 = k2(1:a-1);
```

```
toa = length(alist(:,1));
a = 1;
while(a<=toa)
    nnn(a) = 1;
    b = a+1;
    while(b<toa)
        kkk = (alist(a,:) ~= alist(b,:));
        if(sum(kkk)==0)
            alist(b,:) = [];
            toa = toa-1;
            nnn(a) = nnn(a) + 1;;
        end
        b = b+1;
    end
    a = a+1;
end

toa = length(alist(:,1));
a = 1;
while(a<=toa)
    alist(a,18) = sum(alist(a,:));
    alist(a,19) = 100 * alist(a,18) / target;
%    alist(a,19) = sum(alist(a,:)) / target;
    alist(a,20) = nnn(a);
    a = a+1;
end

'후처리 완료'
```

(6) 현장 전문가 수작업배치 대비 자동 최적배치 결과 비교

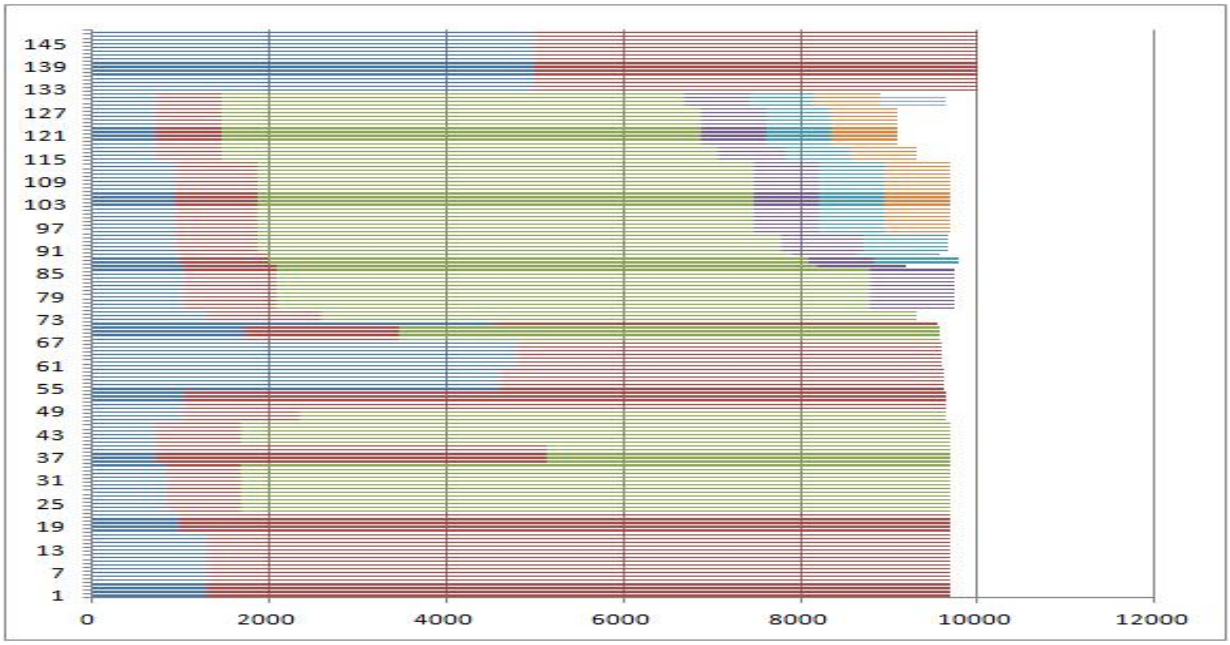
○ 배치대상 바리스트

현장테스트 바리스트 #1		**현장테스트 바리스트 #2**	
철근 길이	가공 본수	철근 길이	가공 본수
8700	5	2700	2
8600	5	1900	2
8400	17	1700	2
8000	18	1400	2
7300	3	8000	21
6700	13	8000	96
6100	5	6400	17
5900	5	5800	6
5600	22	5600	5
5400	10	4900	2
5200	6	4800	15
5000	10	4700	3
5000	40	4000	18
4800	13	3700	100
4400	5	3600	12
4610	6	3500	37
4540	6	3300	5
1045	31	3100	13
845	26	2900	100
740	163	2800	25
940	78	2700	9
1740	8	1300	120
1000	12	1700	4
1300	26	1520	3

○ 배치 결과 비교 : 바리스트 #1

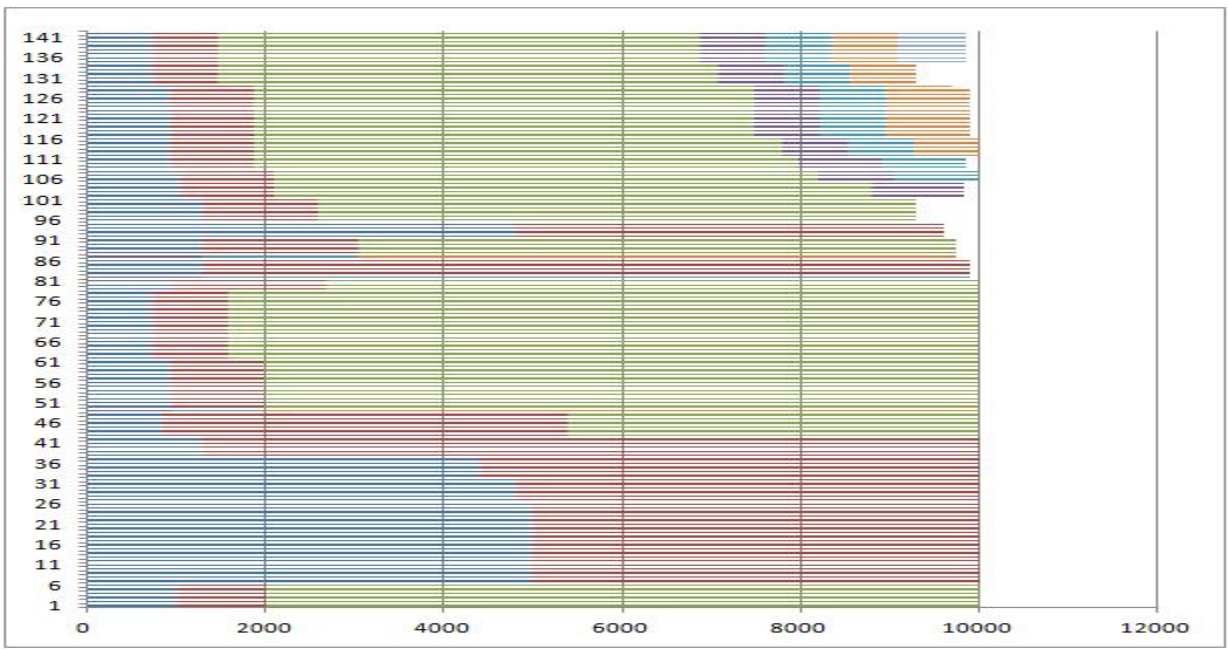
< 현장 전문가에 의한 수작업 배치>

- 배치율 : 96.5%
- 10000mm 철근 148개 소요



<개발된 자동배치모듈에 의한 배치>

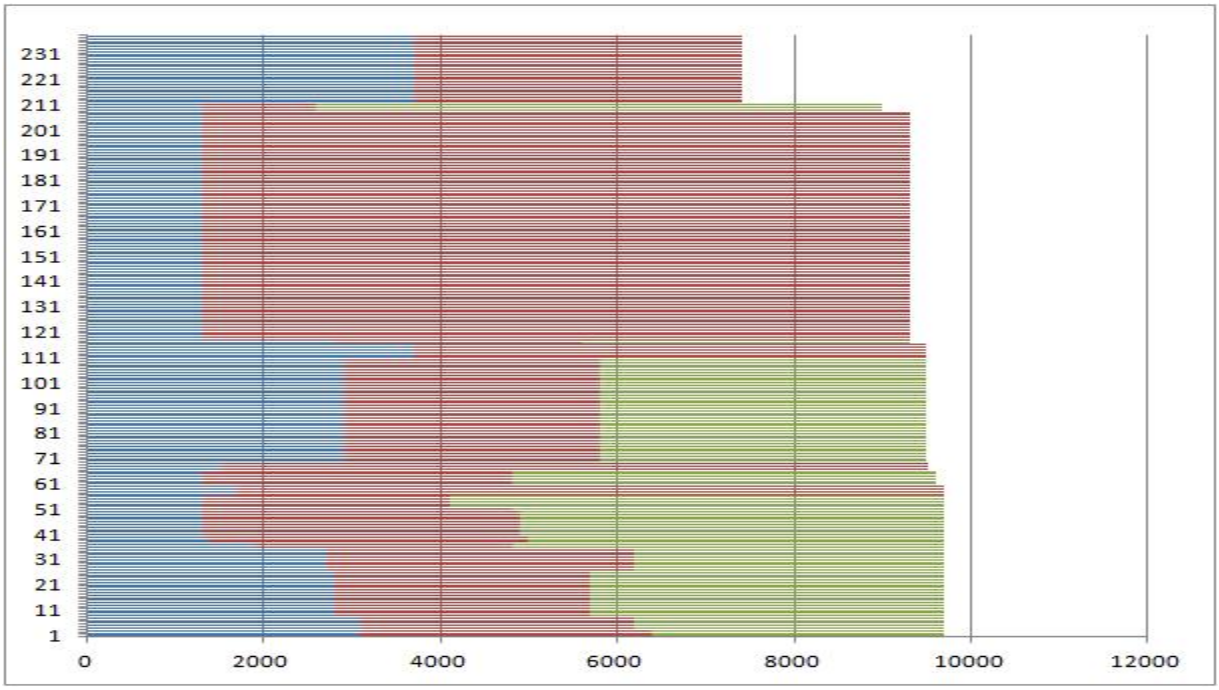
- 배치율 : 98.9%
- 10000mm 철근 142개 소요



○ 배치 결과 비교 : 바리스트 #2

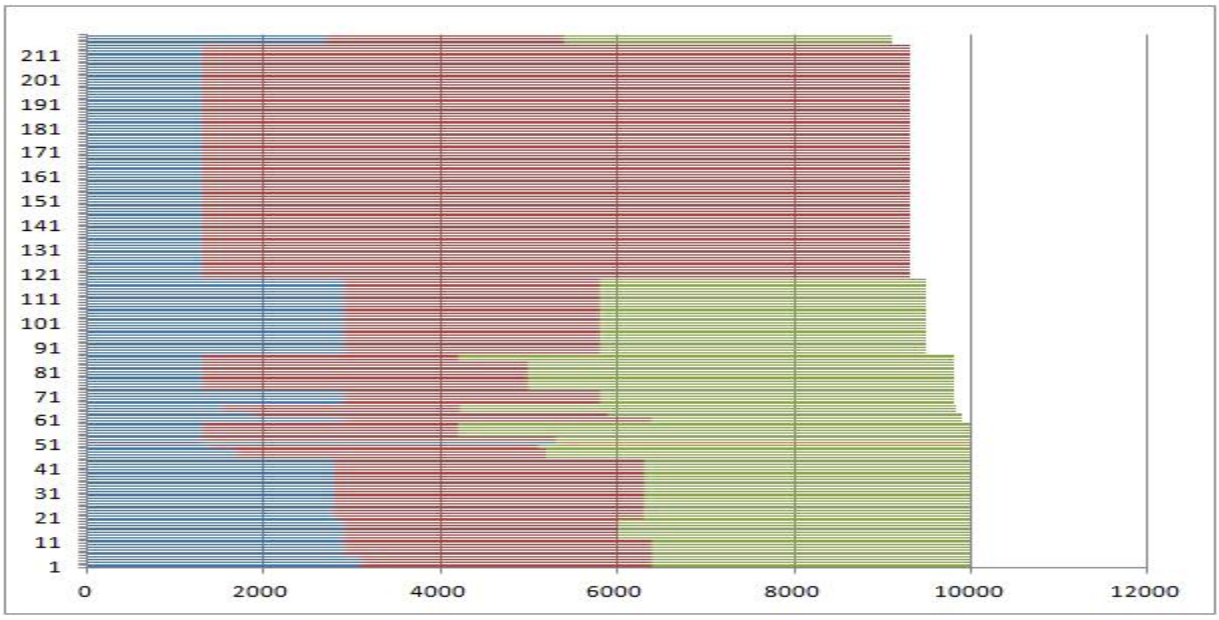
< 현장 전문가에 의한 수작업 배치>

- 배치율 : 92.3%
- 10000mm 철근 238개 소요



<개발된 자동배치모듈에 의한 배치>

- 배치율 : 95.8%
- 10000mm 철근 219개 소요



- 현장 수작업배치 결과 데이터

철근1	철근2	철근3	철근4	철근5	철근6	철근7	길이합계	배치율(%)
1300	8400	0	0	0	0	0	9700	97
1300	8400	0	0	0	0	0	9700	97
1300	8400	0	0	0	0	0	9700	97
1300	8400	0	0	0	0	0	9700	97
1300	8400	0	0	0	0	0	9700	97
1300	8400	0	0	0	0	0	9700	97
1300	8400	0	0	0	0	0	9700	97
1300	8400	0	0	0	0	0	9700	97
1300	8400	0	0	0	0	0	9700	97
1300	8400	0	0	0	0	0	9700	97
1300	8400	0	0	0	0	0	9700	97
1300	8400	0	0	0	0	0	9700	97
1300	8400	0	0	0	0	0	9700	97
1300	8400	0	0	0	0	0	9700	97
1300	8400	0	0	0	0	0	9700	97
1300	8400	0	0	0	0	0	9700	97
1300	8400	0	0	0	0	0	9700	97
1000	8700	0	0	0	0	0	9700	97
1000	8700	0	0	0	0	0	9700	97
1000	8700	0	0	0	0	0	9700	97
1000	8700	0	0	0	0	0	9700	97
1000	8700	0	0	0	0	0	9700	97
845	845	8000	0	0	0	0	9690	96.9
845	845	8000	0	0	0	0	9690	96.9
845	845	8000	0	0	0	0	9690	96.9
845	845	8000	0	0	0	0	9690	96.9
845	845	8000	0	0	0	0	9690	96.9
845	845	8000	0	0	0	0	9690	96.9
845	845	8000	0	0	0	0	9690	96.9
845	845	8000	0	0	0	0	9690	96.9
845	845	8000	0	0	0	0	9690	96.9
845	845	8000	0	0	0	0	9690	96.9
845	845	8000	0	0	0	0	9690	96.9
845	845	8000	0	0	0	0	9690	96.9
740	4400	4540	0	0	0	0	9680	96.8
740	4400	4540	0	0	0	0	9680	96.8
740	4400	4540	0	0	0	0	9680	96.8
740	4400	4540	0	0	0	0	9680	96.8
740	4400	4540	0	0	0	0	9680	96.8
740	940	8000	0	0	0	0	9680	96.8
740	940	8000	0	0	0	0	9680	96.8
740	940	8000	0	0	0	0	9680	96.8
740	940	8000	0	0	0	0	9680	96.8
740	940	8000	0	0	0	0	9680	96.8
740	940	8000	0	0	0	0	9680	96.8
1045	1300	7300	0	0	0	0	9645	96.45
1045	1300	7300	0	0	0	0	9645	96.45
1045	1300	7300	0	0	0	0	9645	96.45
1045	8600	0	0	0	0	0	9645	96.45
1045	8600	0	0	0	0	0	9645	96.45
1045	8600	0	0	0	0	0	9645	96.45
1045	8600	0	0	0	0	0	9645	96.45
1045	8600	0	0	0	0	0	9645	96.45

4610	5000	0	0	0	0	0	9610	96.1
4610	5000	0	0	0	0	0	9610	96.1
4610	5000	0	0	0	0	0	9610	96.1
4610	5000	0	0	0	0	0	9610	96.1
4610	5000	0	0	0	0	0	9610	96.1
4610	5000	0	0	0	0	0	9610	96.1
4800	4800	0	0	0	0	0	9600	96
4800	4800	0	0	0	0	0	9600	96
4800	4800	0	0	0	0	0	9600	96
4800	4800	0	0	0	0	0	9600	96
4800	4800	0	0	0	0	0	9600	96
4800	4800	0	0	0	0	0	9600	96
4800	4800	0	0	0	0	0	9600	96
1740	1740	6100	0	0	0	0	9580	95.8
1740	1740	6100	0	0	0	0	9580	95.8
1740	1740	6100	0	0	0	0	9580	95.8
1740	1740	6100	0	0	0	0	9580	95.8
4540	5000	0	0	0	0	0	9540	95.4
1300	1300	6700	0	0	0	0	9300	93
1300	1300	6700	0	0	0	0	9300	93
1300	1300	6700	0	0	0	0	9300	93
1045	1045	6700	940	0	0	0	9730	97.3
1045	1045	6700	940	0	0	0	9730	97.3
1045	1045	6700	940	0	0	0	9730	97.3
1045	1045	6700	940	0	0	0	9730	97.3
1045	1045	6700	940	0	0	0	9730	97.3
1045	1045	6700	940	0	0	0	9730	97.3
1045	1045	6700	940	0	0	0	9730	97.3
1045	1045	6700	940	0	0	0	9730	97.3
1045	1045	6700	940	0	0	0	9730	97.3
1045	1045	6700	940	0	0	0	9730	97.3
1045	1045	6700	940	0	0	0	9730	97.3
1045	1045	6100	1000	0	0	0	9190	91.9
1000	1000	6100	740	940	0	0	9780	97.8
1000	1000	6100	740	940	0	0	9780	97.8
1000	1000	5900	740	940	0	0	9580	95.8
940	940	5900	940	940	0	0	9660	96.6
940	940	5900	940	940	0	0	9660	96.6
940	940	5900	940	940	0	0	9660	96.6
940	940	5900	940	940	0	0	9660	96.6
940	940	5900	940	940	0	0	9660	96.6
940	940	5600	740	740	740	0	9700	97
940	940	5600	740	740	740	0	9700	97
940	940	5600	740	740	740	0	9700	97
940	940	5600	740	740	740	0	9700	97
940	940	5600	740	740	740	0	9700	97
940	940	5600	740	740	740	0	9700	97
940	940	5600	740	740	740	0	9700	97
940	940	5600	740	740	740	0	9700	97
940	940	5600	740	740	740	0	9700	97
940	940	5600	740	740	740	0	9700	97
940	940	5600	740	740	740	0	9700	97
940	940	5600	740	740	740	0	9700	97
940	940	5600	740	740	740	0	9700	97
940	940	5600	740	740	740	0	9700	97

940	940	5600	740	740	740	0	9700	97
940	940	5600	740	740	740	0	9700	97
940	940	5600	740	740	740	0	9700	97
940	940	5600	740	740	740	0	9700	97
740	740	5600	740	740	740	0	9300	93
740	740	5600	740	740	740	0	9300	93
740	740	5600	740	740	740	0	9300	93
740	740	5600	740	740	740	0	9300	93
740	740	5400	740	740	740	0	9100	91
740	740	5400	740	740	740	0	9100	91
740	740	5400	740	740	740	0	9100	91
740	740	5400	740	740	740	0	9100	91
740	740	5400	740	740	740	0	9100	91
740	740	5400	740	740	740	0	9100	91
740	740	5400	740	740	740	0	9100	91
740	740	5400	740	740	740	0	9100	91
740	740	5400	740	740	740	0	9100	91
740	740	5400	740	740	740	0	9100	91
740	740	5200	740	740	740	740	9640	96.4
740	740	5200	740	740	740	740	9640	96.4
740	740	5200	740	740	740	740	9640	96.4
740	740	5200	740	740	740	0	8900	89
5000	5000	0	0	0	0	0	10000	100
5000	5000	0	0	0	0	0	10000	100
5000	5000	0	0	0	0	0	10000	100
5000	5000	0	0	0	0	0	10000	100
5000	5000	0	0	0	0	0	10000	100
5000	5000	0	0	0	0	0	10000	100
5000	5000	0	0	0	0	0	10000	100
5000	5000	0	0	0	0	0	10000	100
5000	5000	0	0	0	0	0	10000	100
5000	5000	0	0	0	0	0	10000	100
5000	5000	0	0	0	0	0	10000	100
5000	5000	0	0	0	0	0	10000	100
5000	5000	0	0	0	0	0	10000	100
5000	5000	0	0	0	0	0	10000	100
5000	5000	0	0	0	0	0	10000	100
평균 배치율								96.46014

- 자동배치 결과 데이터

철근1	철근2	철근3	철근4	철근5	철근6	철근7	길이합계	배치율(%)
1000	1000	8000	0	0	0	0	10000	100
1000	1000	8000	0	0	0	0	10000	100
1000	1000	8000	0	0	0	0	10000	100
1000	1000	8000	0	0	0	0	10000	100
1000	1000	8000	0	0	0	0	10000	100
1000	1000	8000	0	0	0	0	10000	100
5000	5000	0	0	0	0	0	10000	100
5000	5000	0	0	0	0	0	10000	100
5000	5000	0	0	0	0	0	10000	100

5000	5000	0	0	0	0	0	10000	100
5000	5000	0	0	0	0	0	10000	100
5000	5000	0	0	0	0	0	10000	100
5000	5000	0	0	0	0	0	10000	100
5000	5000	0	0	0	0	0	10000	100
5000	5000	0	0	0	0	0	10000	100
5000	5000	0	0	0	0	0	10000	100
5000	5000	0	0	0	0	0	10000	100
5000	5000	0	0	0	0	0	10000	100
5000	5000	0	0	0	0	0	10000	100
5000	5000	0	0	0	0	0	10000	100
5000	5000	0	0	0	0	0	10000	100
5000	5000	0	0	0	0	0	10000	100
5000	5000	0	0	0	0	0	10000	100
5000	5000	0	0	0	0	0	10000	100
5000	5000	0	0	0	0	0	10000	100
5000	5000	0	0	0	0	0	10000	100
5000	5000	0	0	0	0	0	10000	100
4800	5200	0	0	0	0	0	10000	100
4800	5200	0	0	0	0	0	10000	100
4800	5200	0	0	0	0	0	10000	100
4800	5200	0	0	0	0	0	10000	100
4800	5200	0	0	0	0	0	10000	100
4800	5200	0	0	0	0	0	10000	100
4400	5600	0	0	0	0	0	10000	100
4400	5600	0	0	0	0	0	10000	100
4400	5600	0	0	0	0	0	10000	100
4400	5600	0	0	0	0	0	10000	100
4400	5600	0	0	0	0	0	10000	100
1300	8700	0	0	0	0	0	10000	100
1300	8700	0	0	0	0	0	10000	100
1300	8700	0	0	0	0	0	10000	100
1300	8700	0	0	0	0	0	10000	100
1300	8700	0	0	0	0	0	10000	100
845	4540	4610	0	0	0	0	9995	99.95
845	4540	4610	0	0	0	0	9995	99.95
845	4540	4610	0	0	0	0	9995	99.95
845	4540	4610	0	0	0	0	9995	99.95
845	4540	4610	0	0	0	0	9995	99.95
845	4540	4610	0	0	0	0	9995	99.95
0	0	0	940	1045	8000	0	9985	99.85
940	1045	8000	0	0	0	0	9985	99.85
940	1045	8000	0	0	0	0	9985	99.85
940	1045	8000	0	0	0	0	9985	99.85
940	1045	8000	0	0	0	0	9985	99.85
940	1045	8000	0	0	0	0	9985	99.85
940	1045	8000	0	0	0	0	9985	99.85

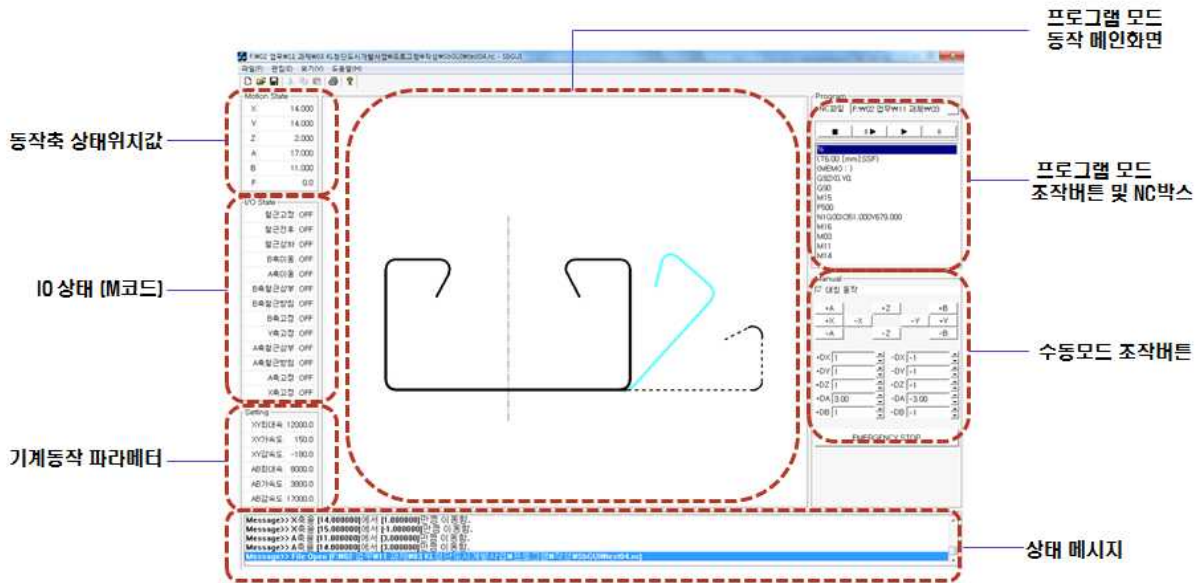
940	1045	8000	0	0	0	0	9985	99.85
940	1045	8000	0	0	0	0	9985	99.85
940	1045	8000	0	0	0	0	9985	99.85
940	1045	8000	0	0	0	0	9985	99.85
940	1045	8000	0	0	0	0	9985	99.85
940	1045	8000	0	0	0	0	9985	99.85
740	845	8400	0	0	0	0	9985	99.85
740	845	8400	0	0	0	0	9985	99.85
740	845	8400	0	0	0	0	9985	99.85
740	845	8400	0	0	0	0	9985	99.85
740	845	8400	0	0	0	0	9985	99.85
740	845	8400	0	0	0	0	9985	99.85
740	845	8400	0	0	0	0	9985	99.85
740	845	8400	0	0	0	0	9985	99.85
740	845	8400	0	0	0	0	9985	99.85
740	845	8400	0	0	0	0	9985	99.85
740	845	8400	0	0	0	0	9985	99.85
740	845	8400	0	0	0	0	9985	99.85
740	845	8400	0	0	0	0	9985	99.85
740	845	8400	0	0	0	0	9985	99.85
740	845	8400	0	0	0	0	9985	99.85
740	845	8400	0	0	0	0	9985	99.85
740	845	8400	0	0	0	0	9985	99.85
940	1740	7300	0	0	0	0	9980	99.8
940	1740	7300	0	0	0	0	9980	99.8
940	1740	7300	0	0	0	0	9980	99.8
0	0	0	1300	8600	0	0	9900	99
1300	8600	0	0	0	0	0	9900	99
1300	8600	0	0	0	0	0	9900	99
1300	8600	0	0	0	0	0	9900	99
1300	8600	0	0	0	0	0	9900	99
0	0	0	1300	1740	6700	0	9740	97.4
1300	1740	6700	0	0	0	0	9740	97.4
1300	1740	6700	0	0	0	0	9740	97.4
1300	1740	6700	0	0	0	0	9740	97.4
1300	1740	6700	0	0	0	0	9740	97.4
4800	4800	0	0	0	0	0	9600	96
4800	4800	0	0	0	0	0	9600	96
4800	4800	0	0	0	0	0	9600	96
4800	4800	0	0	0	0	0	9600	96
1300	1300	6700	0	0	0	0	9300	93
1300	1300	6700	0	0	0	0	9300	93
1300	1300	6700	0	0	0	0	9300	93
1300	1300	6700	0	0	0	0	9300	93
1300	1300	6700	0	0	0	0	9300	93
1300	1300	6700	0	0	0	0	9300	93

1045	1045	6700	1045	0	0	0	9835	98.35
1045	1045	6700	1045	0	0	0	9835	98.35
1045	1045	6700	1045	0	0	0	9835	98.35
1045	1045	6700	1045	0	0	0	9835	98.35
1045	1045	6100	845	940	0	0	9975	99.75
1045	1045	6100	845	940	0	0	9975	99.75
1045	1045	6100	845	940	0	0	9975	99.75
940	940	6100	940	940	0	0	9860	98.6
940	940	6100	940	940	0	0	9860	98.6
940	940	6100	940	940	0	0	9860	98.6
940	940	5900	740	740	740	0	10000	100
940	940	5900	740	740	740	0	10000	100
940	940	5900	740	740	740	0	10000	100
940	940	5900	740	740	740	0	10000	100
940	940	5900	740	740	740	0	10000	100
940	940	5600	740	740	940	0	9900	99
940	940	5600	740	740	940	0	9900	99
940	940	5600	740	740	940	0	9900	99
940	940	5600	740	740	940	0	9900	99
940	940	5600	740	740	940	0	9900	99
940	940	5600	740	740	940	0	9900	99
940	940	5600	740	740	940	0	9900	99
940	940	5600	740	740	940	0	9900	99
940	940	5600	740	740	940	0	9900	99
940	940	5600	740	740	940	0	9900	99
940	940	5600	740	740	940	0	9900	99
940	940	5600	740	740	940	0	9900	99
940	940	5600	740	740	740	0	9700	97
740	740	5600	740	740	740	0	9300	93
740	740	5600	740	740	740	0	9300	93
740	740	5600	740	740	740	0	9300	93
740	740	5600	740	740	740	0	9300	93
740	740	5600	740	740	740	0	9300	93
740	740	5400	740	740	740	740	9840	98.4
740	740	5400	740	740	740	740	9840	98.4
740	740	5400	740	740	740	740	9840	98.4
740	740	5400	740	740	740	740	9840	98.4
740	740	5400	740	740	740	740	9840	98.4
740	740	5400	740	740	740	740	9840	98.4
740	740	5400	740	740	740	740	9840	98.4
740	740	5400	740	740	740	740	9840	98.4
평균 배치율								98.90317

7. 가공 통합 운영 소프트웨어개발

가. 가공코드에 따른 가공기 제어프로그램 개발

○ 운영 소프트웨어는 철근가공기와 작업자가 대화하며 제어하기 위한 프로그램이다. 운영 프로그램은 기본적으로 컨트롤 판넬에는 각 동작축에 대한 현재의 위치상태, 실린더 전/후진 또는 ON/OFF 상태, 수동조작, 연속 프로그램 동작을 위한 기능이 있어야 한다. 즉, 궁극적으로는 가공데이터와 작업자의 가공조건을 입력받아서 기계가 연속으로 동작하도록 제어하는 기능을 가지고 있으며 다음과 같이 통합 가공기를 운영하기 위한 제어 프로그램을 개발하였다.



<통합 운영 소프트웨어>

```
#include "StdAfx.h"
#include "KernelCon.h"
#include "Sousclass.h"

CKernelCon::CKernelCon(void)
{
	StartCon=FALSE;
	GMTable=NULL;
	CurrentStep=-1;
	Init_Hash();
}

CKernelCon::~CKernelCon(void)
{
}
```

```
void CKernelCon::Init_Hash()
{
}

void CKernelCon::Make_Exestatetable(int row, int col)
{
	for(int i=0;i<row;i++)
	{
		for(int j=0;j<col;j++)
			EXESTATETABLE[i][j]=STATE_NONEXE;
	}
}

void CKernelCon::SetAxisProfile(int axis, double acc, double dec, double vel)
{
	AXIS2PROFILE[axis].acc=acc;
	AXIS2PROFILE[axis].dec=dec;
	AXIS2PROFILE[axis].maxvel=vel;
}

CString CKernelCon::GO(double *table)
{
	GMTable=table;
	CurrentStep=0;
	for(int i=0;i<MAX_ROWEXETABLE;i++)
	{
		for(int j=0;j<MAX_COLEXETABLE;j++)
			Make_Exestatetable(i,j);
	}
	StartCon=TRUE;
	return "";
}

CString CKernelCon::STOP()
{
	StartCon=FALSE;
	return "";
}
double CKernelCon::GetTable(long row, long col, double *table)
{
	return GMTable[row*MAX_COLEXETABLE+col];
}

CString CKernelCon::ResetController()
{
	return "";
}

CString CKernelCon::Action(int row, int col)
{
	double value;
	if(GMTable==NULL)
		return "테이블이 존재하지 않습니다";
	if(GetTable(row,0,NULL)==-1)
		return "마지막 행입니다";
	if(EXESTATETABLE[row][col]==STATE_EXE)
		return "이미 실행 중입니다";
```

```
	if(EXESTATETABLE[row][col]==STATE_COMPLETE)
		return "실행 완료 되었습니다";
	value=GetTable(row,col,NULL);
	if(col==10) //G code
	{
		EXESTATETABLE[row][col]=STATE_COMPLETE;
	}
	else if(col>0 && col<10)
	{

		if(value==0)
		{
			EXESTATETABLE[row][col]=STATE_COMPLETE;
		}
		else
		{
			//MoveStart(G2AXISNUM[col],value);
			EXESTATETABLE[row][col]=STATE_EXE;
		}
	}
	else //M code
	{
		//WriteDO(M2SOL[(int)value],M2SOLSTATE[(int)value]);
		EXESTATETABLE[row][col]=STATE_EXE;
	}
	return "";
}

CString CKernelCon::CheckComplete(int row, int col)
{
	double value;
	BOOL flag;
	if(GMTable==NULL)
		return "테이블이 존재하지 않습니다";
	if(EXESTATETABLE[row][col]==STATE_NONEXE)
		return "실행되지 않았습니다";
	if(GetTable(row,0,NULL)==-1)
		return "마지막 행입니다";
	value=GetTable(row,col,NULL);
	if(col>0 && col<11)    //G CODE
	{
		if(EXESTATETABLE[row][col]==STATE_EXE)
		{
			//if(IsMotionDone(G2AXISNUM[col]))
				EXESTATETABLE[row][col]=STATE_COMPLETE;
		}
	}
	else //M code
	{
		//flag=ReadDI(M2SENSORNUM[(int)value]);
		if(flag==M2COMPLETESTATE[(int)value])
			EXESTATETABLE[row][col]=STATE_COMPLETE;
	}
	return "";
}

void CKernelCon::OnTimer()
```

```
{
	int value,col;
	BOOL completeline=TRUE;

	if(StartCon)
	{
		if(GetTable(CurrentStep,0,NULL)==-1)
		{
			StartCon=FALSE;
			//OkComplete(); GUI 함수 콜
			return;
		}

		for(col=1;col<MAX_GCODE;col++)  //G Code
		{
			Action(CurrentStep,col);
			CheckComplete(CurrentStep,col);

			if(EXESTATETABLE[CurrentStep][col]!=STATE_COMPLETE)
				completeline=FALSE;
		}

		col=MAX_GCODE;
		value=GetTable(CurrentStep,col,NULL);

		while(value!=-1 && col<MAX_COLEXETABLE)  //M code
		{

			Action(CurrentStep,col);
			CheckComplete(CurrentStep,col);

			if(EXESTATETABLE[CurrentStep][col]!=STATE_COMPLETE)
				completeline=FALSE;

			col++;
			value=GetTable(CurrentStep,col,NULL);

		}

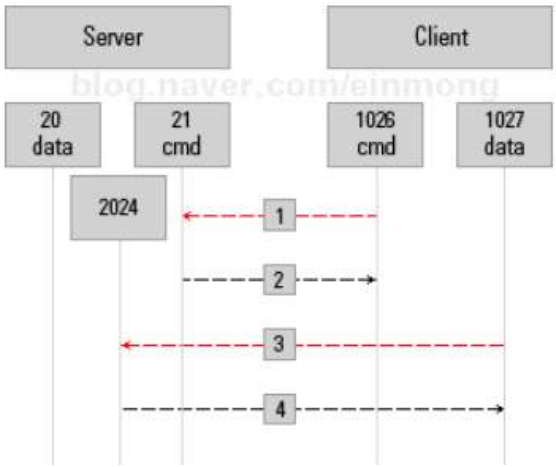
		if(completeline)
		{
			CurrentStep++;
			//CurState_No(CurrentStep);  GUI 함수 콜
		}
	}
}
```

<제어 동작을 위한 핵심 커널 함수>

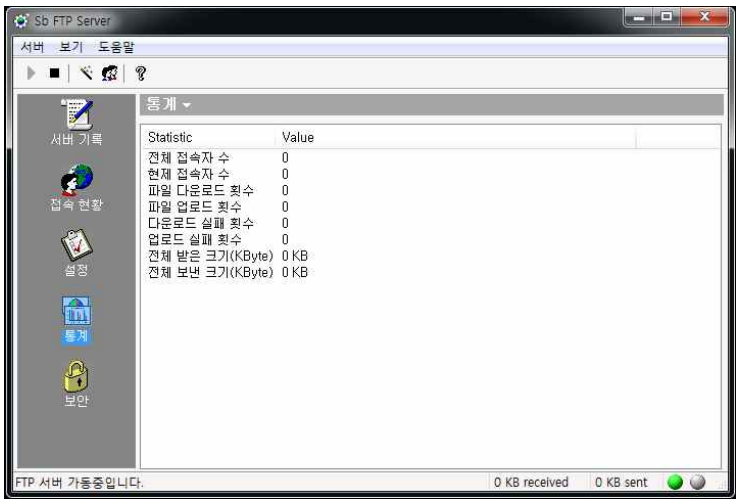
나. 가공코드 원격지 전송 기술 개발

(1) LAN을 통한 데이터 가공데이터 전송모듈 개발

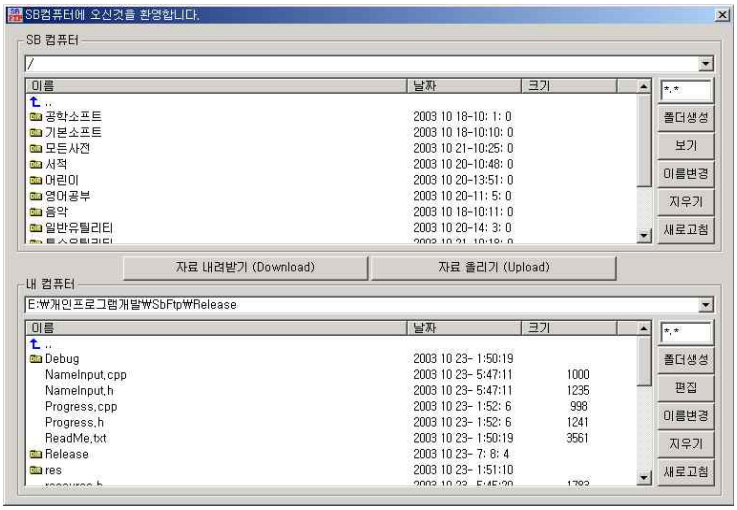
○ FTP는 LAN을 통한 대표적인 파일 전송 프로토콜(File Transfer Protocol)로서 본 과제에서는 전용의 서버와 프로그램을 구축하고 이를 절단-절곡 장비에 가동하고, 사무실에서 클라이언트 프로그램으로 연결하는 방식이다. 즉, 절단-절곡 장비 운용 소프트웨어의 지정 폴더를 Root로 설정해두고, 사무실에서 완성된 가공코드를 전달하는 경우 서버에서는 이를 감지하여 장비의 동작 준비를 알리고 사용자가 시작버튼을 눌러서 가공을 수행한다. 가공이 완료된 데이터는 Root폴더에서 다른 저장 폴더로 자동으로 파일을 이동하여 가공데이터 공간을 비운다.



<Passive mode FTP connection>



<FTP Server 모듈>



<FTP Client 모듈>

(2) RS232C 통신을 이용한 가공 데이터 파일 송수신

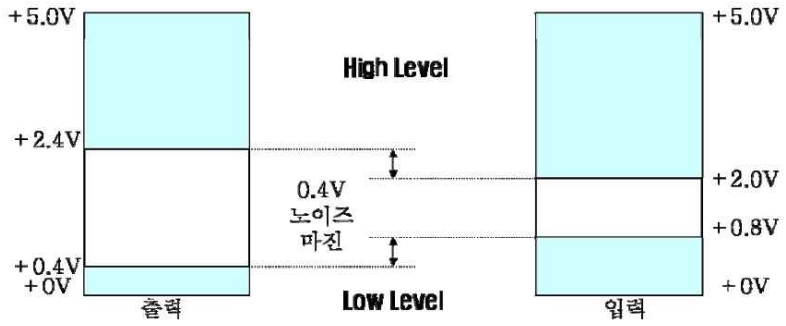
○ RS-232C는 EIA(Electronic Industries Association)에 의해 규정되었으며 그 내용은 데이터단말기(DTE: Data Terminal Equipment)와 데이터통신기(DCE: Data Communication Equipment)사이의 인터페이스에 대한 전기적인 인수, 컨트롤 핸드쉐이킹, 전송속도, 신호 대기시간, 임피던스 인수 등을 정의하였으나 전송되는 데이터의 포맷과 내용은 지정하지 않으며 DTE간의 인터페이스에 대한 내용도 포함하지 않는다. 같은 규격이 CCITT(Consultative Committee for International Telegraph and Telephony) 에서도 CCITT V. 24에서 DTE와 DCE간의 상호 접속회로의 정의, 핀 번호와 회로의 의미에 대해서 규정을 하고 있다.

(가) RS-232C 규격

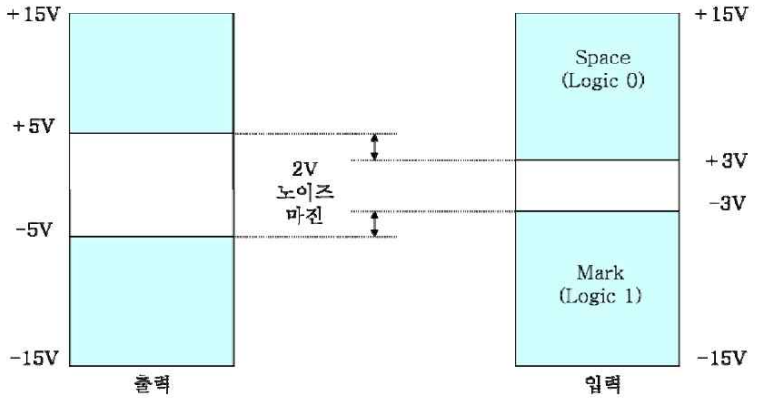
○ 미국의 EIA(Electronic Industries Association),현 TIA에 의해 규격화 된 것으로 정확하게는 EIA-RS232C 규격이라 부르며 전기적/기계적 특성과 인터페이스 회로의 기능 등을 정의한다.

(나) RS-232C 특징

○ 아래 그림에서 TTL 레벨로 바로 통신을 하게 되면 조금만 노이즈가 첨가되어도 오류가 발생할 수 있습니다. (Low 레벨의 마진이 매우 적음) 따라서 PCB 보드 내에서는 TTL 로직 레벨을 사용하지만 보드 외부와 통신하는 경우에는 RS232 또는 Rs485 통신을 사용합니다. RS232 통신은 위아래 대칭이고 전압 레벨이 높으므로 좀 더 먼 거리(15m 정도) 통신이 가능합니다.



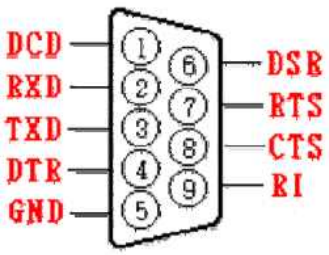
(a)



(b)

<RS-232C 통신>

- TTL 신호 레벨은 0.4V정도의 노이즈 마진을 가지고 Low 영역 폭이 0.8V로 좁아 조그만 노이즈가 첨가되어도 High로 인식할 수 있다.
- RS-232C 레벨은 2V의 노이즈 마진을 가지며 Space(Logic0) 와 Mark(Logic1)의 영역이 대등하게 영역을 갖고 폭이 넓으므로 TTL 레벨에 비해 비교적 노이즈에 강하다



구분	내 용
TXD	통신 데이터 출력 신호
RXD	통신 데이터 입력 신호
RTS	모뎀 통신 등에 사용하며 통신 준비 상태를 표시하는데, 범용 출력 포트로 사용 가능
CTS	모뎀 통신 등에 사용하며 통신 준비 상태를 표시하는데, 범용 입력 포트로 사용 가능
DSR	모뎀 통신 준비 신호로, 출력 포트로 사용 가능
DTR	모뎀 통신 준비 신호로, 입력 포트로 사용 가능
DCD	Data Carrier Detect , 입력 포트
RI	Ring Indicator, 입력 포트

<RS-232C 통신 신호>

(다) 데이터 송수신 프로그램 코딩

○ 통신을 위해 MFC Visual Studio를 이용하여 프로그래밍 하였으며, 이에 대한 해더 파일은 다음과 같다.

```
//Rs232c를 하기위한 클래스 헤더
#define MAXBLOCK          80
#define MAXPORTS          4

// Flow control flags
#define FC_DTRDSR         0x01
#define FC_RTSCTS         0x02
#define FC_XONXOFF        0x04

// ascii definitions
#define ASCII_BEL         0x07
#define ASCII_BS          0x08
#define ASCII_LF          0x0A
#define ASCII_CR          0x0D
#define ASCII_XON         0x11
#define ASCII_XOFF        0x13
#define WM_RECEIVEDATA WM_USER+1

// global stuff


// function prototypes (private)

/////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
// CComm window

class AFX_EXT_CLASS CComm : public CObject
{

   DECLARE_DYNCREATE( CComm )
public:
   HANDLE       idComDev ;//컴포트 디바이스 연결 핸들
   BOOL         fConnected;//컴포트가 연결되면 1로 설정
   BYTE         abIn[ MAXBLOCK + 1] ;//컴포트에서 들어오는 데이타
   HWND m_hwnd;//메세지를 전달할 윈도우 플러그

// Construction
public:
         CComm( );
   void SetXonOff(BOOL chk);//XonOff 설정
   //컴포트를 설정함
   void SetComPort(int port,DWORD rate,BYTE bytesize,BYTE stop,BYTE parity);
   //Dtr Rts설정
   void SetDtrRts(BYTE chk);
   //comm 포트를 만든다.
   BOOL CreateCommInfo();
   //comm 포트를 해제한다.
   BOOL DestroyComm();
   //컴포트에서 데이타를 받는다.
   int  ReadCommBlock( LPSTR, int ) ;
   //컴포트에 데이타를 넣는다.
   BOOL WriteCommBlock( LPSTR, DWORD);
```

```
    BOOL OpenComPort( ) ;//컴포트를 열고 연결을 시도한다.
    //포트를 연결한다.
    BOOL SetupConnection( ) ;
    //연결을 해제한다.
    BOOL CloseConnection( ) ;
    //읽은 데이타를 버퍼에 저장한다.
    void SetReadData(LPSTR data);
    //메세재를 보낼 윈도우 플래를 설정한다.
    void SetHwnd(HWND hwnd);


// Attributes
public:
    BYTE          bPort;
    BOOL           fXonXoff;
    BYTE          bByteSize, bFlowCtrl, bParity, bStopBits ;
    DWORD         dwBaudRate ;
    HANDLE hWatchThread;
    HWND          hTermWnd ;
    DWORD         dwThreadID ;
    OVERLAPPED   osWrite, osRead ;

// Operations
public:

// Overrides
          // ClassWizard generated virtual function overrides
          //{{AFX_VIRTUAL(CComm)
          //}}AFX_VIRTUAL

// Implementation
public:
          virtual ~CComm();

          // Generated message map functions
//        DECLARE_MESSAGE_MAP()
protected:
};

/////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
// SbSerialFileInOut dialog

class AFX_EXT_CLASS SbSerialFileInOut : public CDialog
{
//protected:
public:
          CComm aCComm;
          int selcombo1, selcombo2, selcombo3, selcombo4;
          BOOL isportopen, isreceive;
          FILE *receiveout, *sendin;
          CString receivestr;
          double strsize, oldtime;
          bool ontimersen;

public:
          CString infofname, receivefname, sendfname;
```

```
public:
        BOOL openinfo();
        BOOL saveinfo();
        void openport();
        void closeport();

// Construction
public:
        SbSerialFileInOut(CWnd* pParent = NULL);   // standard constructor

// Dialog Data
        //{{AFX_DATA(SbSerialFileInOut)

        #define IDD_SbSerialFileInOut_DIALOG1    15000

        enum { IDD = IDD_SbSerialFileInOut_DIALOG1 };
        CButton m_button4;
        CButton m_button1;
        CButton m_button2;
        CButton m_button3;
        CButton m_radiobutton5;
        CButton m_radiobutton6;
        CEdit    m_edit2;
        int                m_radio1;
        CComboBox       m_combo4;
        CComboBox       m_combo3;
        CComboBox       m_combo2;
        CComboBox       m_combo1;
        int                m_radio5;
        CString  m_edit1;
        CListBoxm_list1;
        //}}AFX_DATA

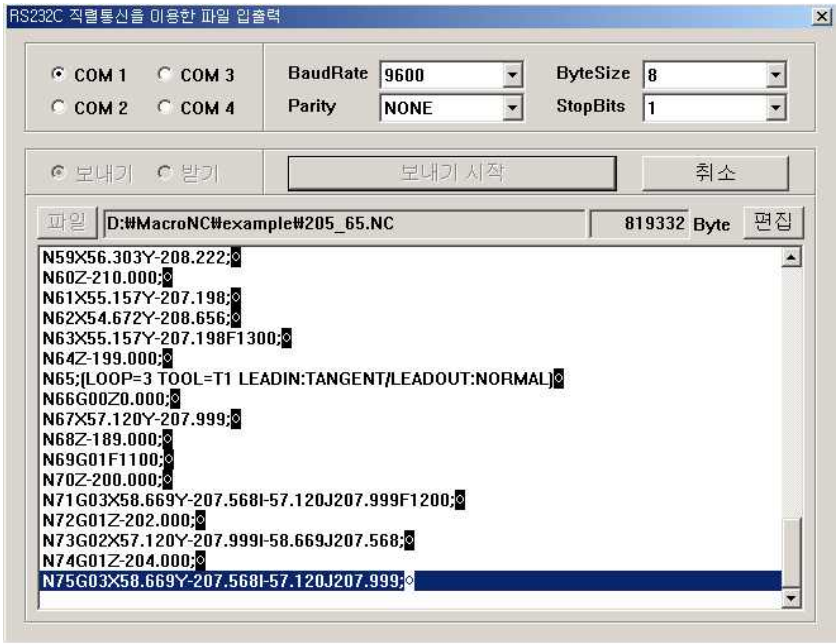

// Overrides
        // ClassWizard generated virtual function overrides
        //{{AFX_VIRTUAL(SbSerialFileInOut)
        public:
        virtual BOOL DestroyWindow();
        virtual BOOL PreTranslateMessage(MSG* pMsg);
        protected:
        virtual void DoDataExchange(CDataExchange* pDX);    // DDX/DDV support
        //}}AFX_VIRTUAL

// Implementation
protected:

        // Generated message map functions
        //{{AFX_MSG(SbSerialFileInOut)
        virtual BOOL OnInitDialog();
        afx_msg void OnClose();
        afx_msg void OnRadio5();
        afx_msg void OnRadio6();
        afx_msg void OnButton1();
        afx_msg void OnButton2();
        afx_msg void OnButton3();
        afx_msg void OnTimer(UINT nIDEvent);
```

```
        afx_msg void OnButton4();
        //}}AFX_MSG
        afx_msg void OnReceiveData(UINT, LONG);
        DECLARE_MESSAGE_MAP()
};
```

○ 개발된 프로그램은 NC 생성 모듈에서 생성된 NC 프로그램을 기계 장비에 전송할 목적으로 만들어진 것이다. 개발과정에서는 RS232C 2대의 PC를 이용하여 테스트 되었다.



<RS232C를 이용한 가공데이터 송수신>

제 3 절 연구수행결과 및 결과의 검증 방법

1. 수치제어 적용 절곡 시스템 성능 평가

가. 철근가공 시스템 성능평가

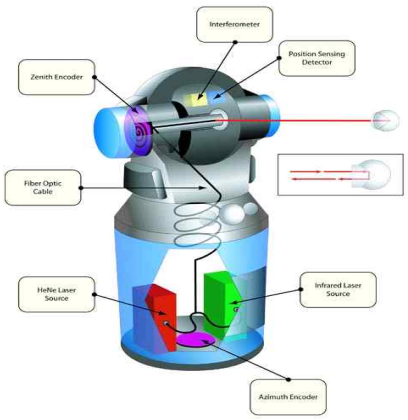
성과목표	성과지표	측정방법	목표치	달성치
수치제어 적용 절곡 테스트 베드 구축	작업대 이송 반복정밀도	레이저 트래커	3㎜이내	0.013㎜
	작업대 속도	레이저 트래커	3m/min이상	25m/min
	절곡 작업 속도	레이저 트래커	7sec/180°이하	6sec/180°
	절곡 각도	레이저 트래커	130° 이상	144° 이상
CAD시스템 기반 철근가공정보 자동매핑 기술개발	도형 추출 자동기능 유무	S/W 구동, 자동처리 테스트	자동추출	자동추출
절곡 가공 수치정보 자동생성기술 개발	수치제어 적용가능한 수치정보 생성 유무	S/W 구동, 정보생성 테스트	제어가능 수치정보 제공	제어가능 수치정보 제공
특허 출원/등록	국내외 지적재산권 확보건수	출원/등록증 사본	1	2
시제품제작	시제품 제작 건수	시제품 제작 건수	1	1

(1) 시험 항목

○ 위치 반복정밀도, 최대 이송속도, 절곡 최대 각도 범위, 절곡 최대 각속도

(2) 시험 장비





<레이저 트래커>

○ 장비 특징 및 스펙

- Agile ADM (High Accuracy)
- Angular accuracy : 10μm + 2.5μm/m
- ADM accuracy : 8μm + 0.4μm/m
- Interferrometer accuracy : 2μm + 0.4μm/m

- Smapling Time : 10,000 sampls/초
- ADM 만을 이용한 정적,동적 측정 가능
- 0.049mm Volumetric Accuracy at 10m

(3) 시험 방법

○ 철근가공 시스템의 이송 부 본체에 SMR 측정 센서를 부착하고 레일을 따라 300mm 왕복 이송할 때의 위치반복 정밀도와 이송 속도를 측정한다.

○ 철근가공 시스템의 절곡 이송롤러에 SMR 측정 센서를 부착하고 절곡 가능한 최대 각도 범위를 측정하고, 회전 할 때의 최대 각속도를 측정한다.

(4) 장비 설치 및 측정

○ 정밀 레이저 트레커 장비



< 반복 정밀도 및 최대 이송속도 측정 >

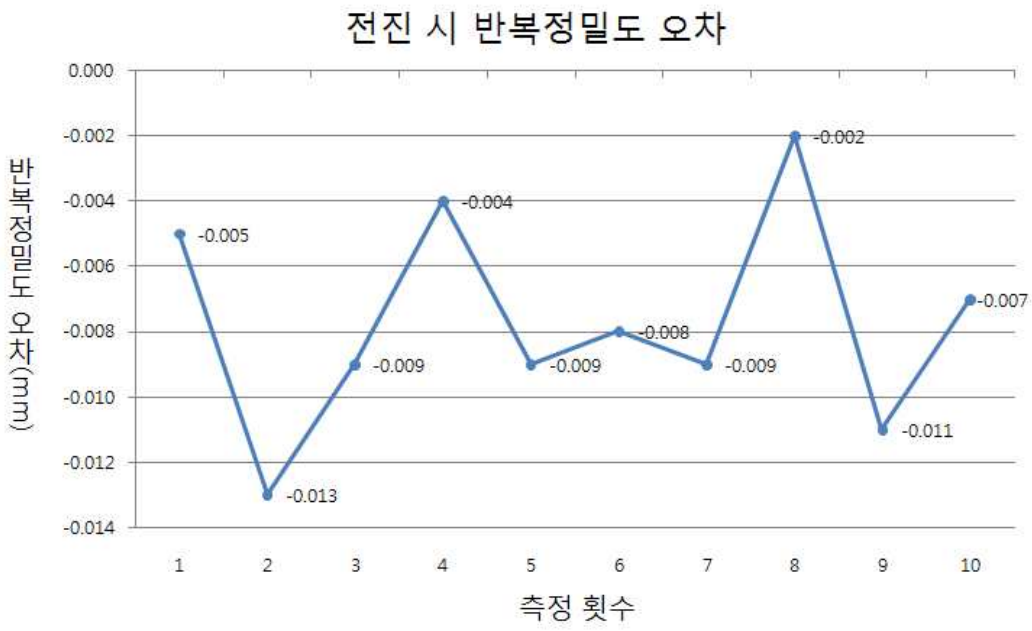


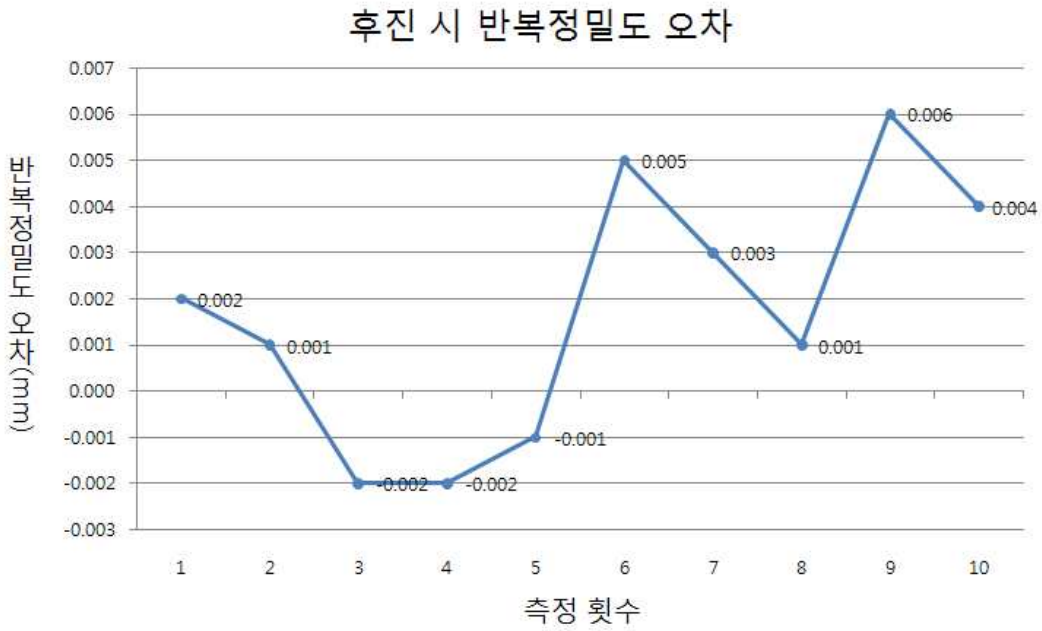
< 절곡 회전각도 범위 및 각속도 측정 >

(5) 반복 정밀도 측정 결과

○ 반복정밀도 측정은 일정위치에서 일정위치로 반복하여 10회 왕복운동을 하고 각 위치에서의 위치값을 측정하여 최초 위치값과 비교하여 오차값이 얼마나 많이 생기는 가를 측정한다. 결과에서 보듯이 최대오차가 0.013mm로 반복정밀도가 우수함을 알 수 있음.

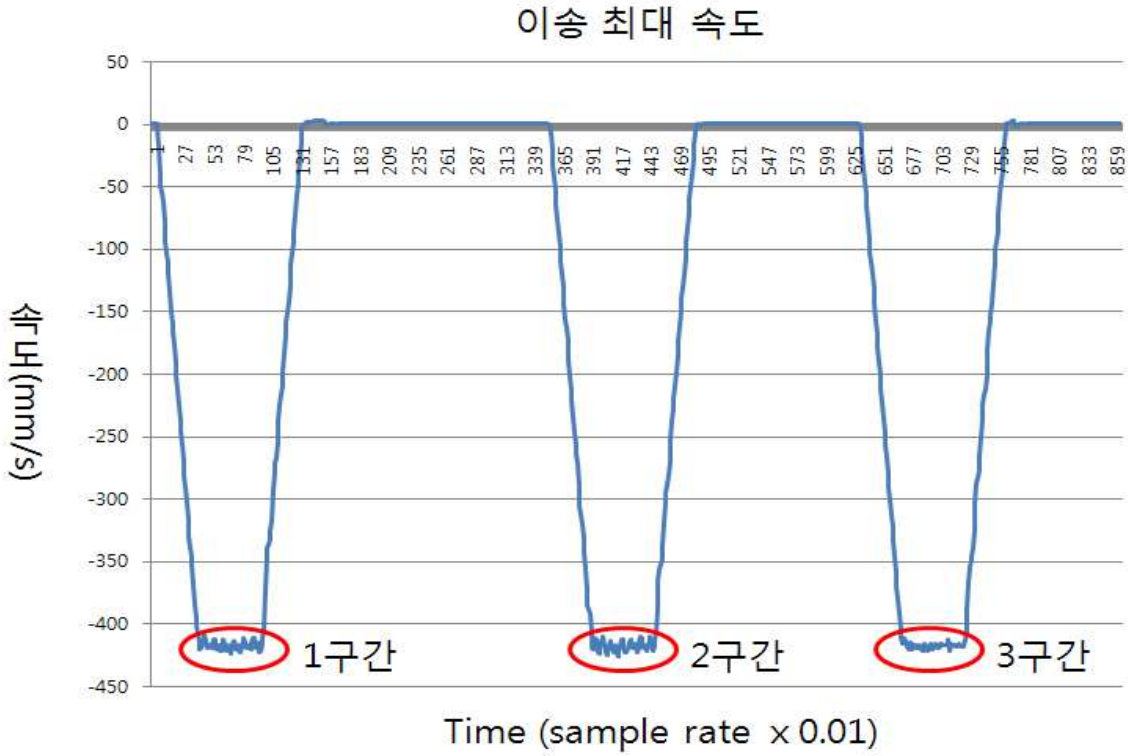
시험 횟수	단위	전진 시 측정값	전진 시 반복 측정 오차값	후진 시 측정값	후진 시 반복 측정 오차값
기준	mm	5,495.490		5,252.190	
1	mm	5,495.485	-0.005	5,252.192	0.002
2	mm	5,495.477	-0.013	5,252.191	0.001
3	mm	5,495.481	-0.009	5,252.188	-0.002
4	mm	5,495.486	-0.004	5,252.188	-0.002
5	mm	5,495.481	-0.009	5,252.189	-0.001
6	mm	5,495.482	-0.008	5,252.195	0.005
7	mm	5,495.481	-0.009	5,252.193	0.003
8	mm	5,495.488	-0.002	5,252.191	0.001
9	mm	5,495.479	-0.011	5,252.196	0.006
10	mm	5,495.483	-0.007	5,252.194	0.004





(6) 최대 이송속도 측정 결과

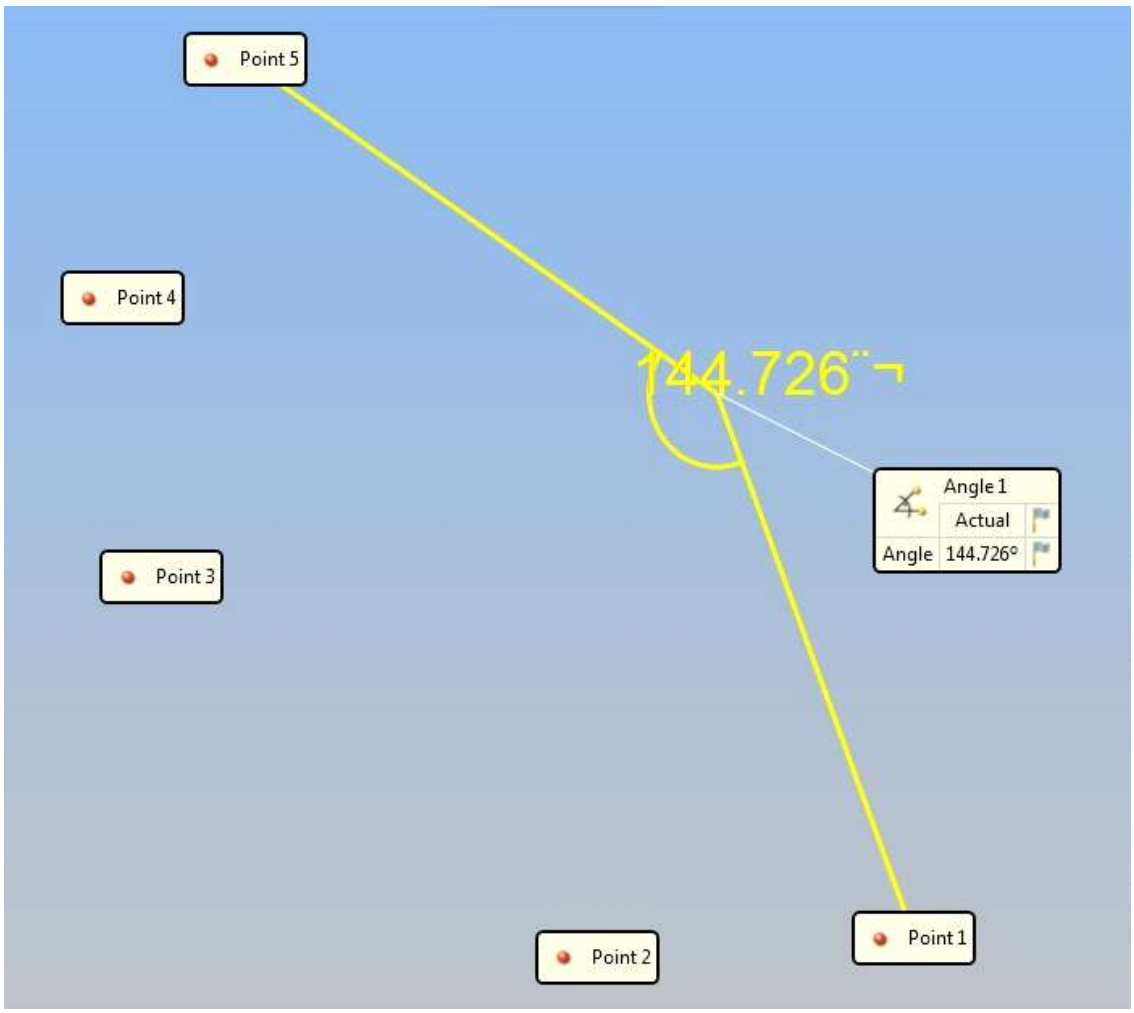
○최대 이송속도 측정은 많은 헌팅없이 이송할 수 있는 최대 속도를 측정하는 것으로 연속 3회 이송하여 정상상태의 속도성분의 평균값으로 표기하고 있다.3 구간 모두 25m/min이상 나옴을 알 수 있음.



구분	평균 이송 속도(mm/s)	평균 이송 속도(m/min)
1구간	-417.706	25.062
2구간	-418.006	25.080
3구간	-417.753	25.065

(7) 절곡 최대 각도범위 측정 결과

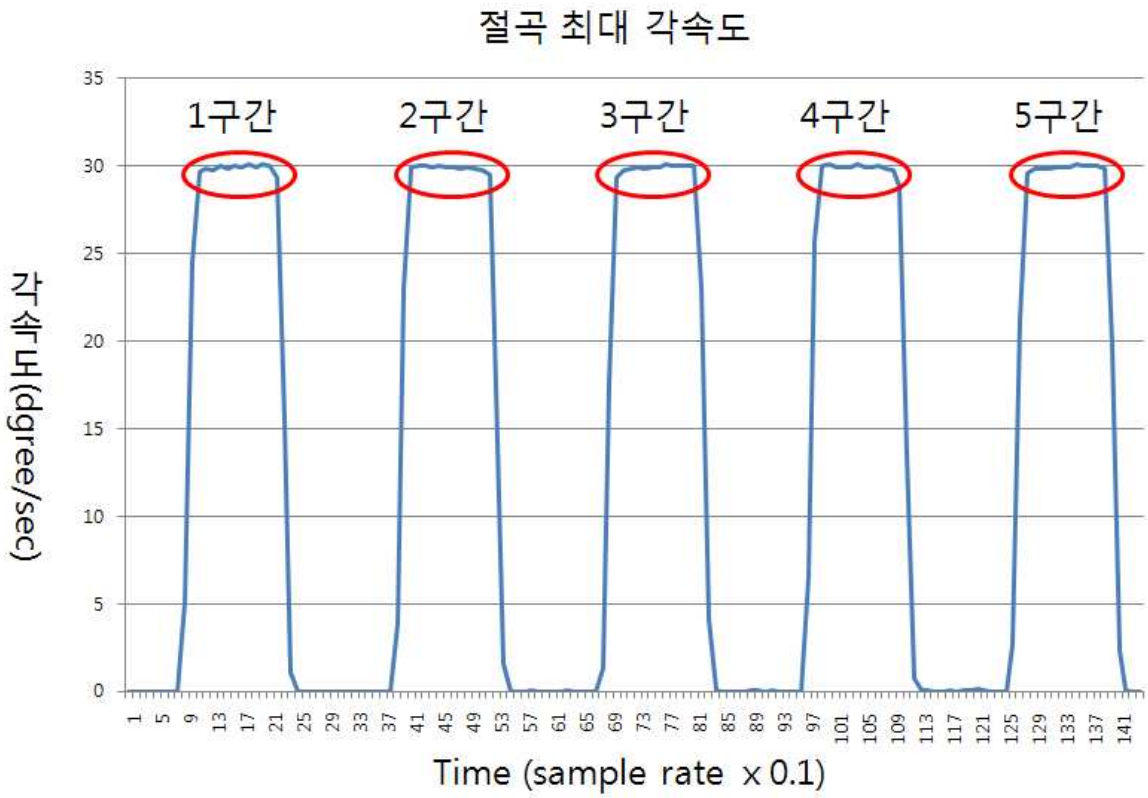
○ 절곡 각도측정은 절곡시 회전롤러에 SMR 측정 센서를 부착하여 회전하는 각도를 측정하는 것으로 현 측정에서 144도 이상이 나옴을 알 수 있다. 실제로 더 많이 회전이 가능하나 측정센서의 부착위치가 불안하여 이 각도 이상의 측정이 힘들어 측정가능한 범위에서 측정한 결과임.



구분	actual
Angle	144.726º

(8) 절곡 최대 각속도 측정 결과

○ 각속도는 정상상태 도달이상의 속도로 5회 연속 이송하여 정상상태의 평균으로 값을 구하였다. 목표치 7초보다 1초 빠른 6초에 180도를 갈수 있는 평균각속도가 약 30dgree/sec를 나타냄을 알 수 있음.



구분	평균 각속도(dgree/sec)	180 ° 회전시간 (sec/180 °)
1구간	29.872	6.025
2구간	29.889	6.022
3구간	29.883	6.023
4구간	29.936	6.012
5구간	29.896	6.020

(9) 절곡 테스트

(가) 90도 3회 연속 상방향 절곡 테스트 - (D10 1개)

○ 다음은 중간의 원점에서 출발하여 철근의 끝점에서 200mm 떨어진 위치에 이송하여 90도 절곡하고, 또 - 200mm 이송하고 90도 절고하고 ,- 400mm 이송하여 윗 방향으로 3회 연속 90도 접기를 한 결과를 보여주고 있다. 양쪽은 대칭구조를 가지며 철근은 D10 이며 1개의 철근을 사용하여 접었다. 원하는 모양의 가공 철근이 만들어짐을 알 수 있음.








(나) 90도로 3회 연속 상방향 절곡 테스트 - (D10 4개)

○다음은 앞의 테스트와 같은 방법으로 D10 4개를 동시에 가공하였다. 결과 사진에 보듯이 4개의 철근이 일정하게 절곡되고 있음을 알 수 있음.






(다) 하방향 절곡 후 상방향 절곡 테스트 - (D10 1개)

○ 다음 테스트는 상방향 절곡과 하방향 절곡을 번갈아 절곡하는 테스트를 하였다. 먼저 중심에서 600mm 이송하여 하방향 45도 절곡하고 -300mm 이송하여 상방향으로 45도 절곡하는 테스트를 하였다. 결과 사진에서 보듯이 결과가 잘 나옴을 알 수 있음.






(라) 하방향 절곡 후 상방향 절곡 테스트 - (D10 4개)

○ 다음은 상하 방향을 바꾸어 D10철근 4개를 동시에 절곡하는 테스트이다. 원하는 모양대로 제품이 나옴을 알 수 있음.







2. 절단 및 절곡 하이브리드 시스템 성능 평가

가. 철근가공 시스템 성능평가

목 표	달 성 도 (%)	내 용
- 절단 및 절곡 하이브리드 시스템 개발	100	절단기 작업대 위치 반복 정밀도 : 3mm이내 가능 절단 후 절곡부 이송 시간 : 30초 이내 가능 절곡 가능본수(D16기준) : 5개 이상 가능 절곡 각도 : 180 이상˚
- 철근 절단 및 절곡 가공코드 자동생성 기술 개발	100	NC코드 생성 유무 : 가능
- 국내외 지적 재산권 확보	100	특허 출원
- 개발기술 적용에 따른 경제성 평가	100	경제성 평가보고서 작성
- 기술비교분석, 로드맵 및 시장 동향분석	100	시장동향분석보고서 작성
- 개발제품 성능평가 보고서	100	성능평가 보고서 작성
- 국내학술발표 논문게재 건수	100	1건 게재
- 국내 학회지 게제 논문	100	1건 게재
- 시제품 건수	100	1건
- 프로그램개발 건수	100	1건
- 운영소프트웨어 평가보고서	100	평가 보고서 작성

나. 벤딩 테스트

○ 중간의 원점에서 출발하여 철근의 끝점에서 500mm 떨어진 위치에 이송하여 90도 전방향으로 절곡하고, 500mm 이송하여 전방향으로 40도 절곡하고 다시 500mm 이송하여 후방향으로 45도 절곡 한 결과를 보여주고 있음.

○ 양쪽은 대칭구조를 가지며 철근은 D16이며 5m 5개의 철근을 사용하여 접었고, 원하는 형상의 철근 가공이 가능한 것으로 나타남.



철근대기상태



초기벤딩위치 이동



전방향 90도 밴딩



전방향 45도 밴딩



후방향 45도 밴딩



밴딩 완성

다. ISO9283 기반 철근가공 시스템 성능 평가 성적서

재단법인 경남테크노파크 Gyeongnam Technopark

지능기계센터 Intelligent Machine Center

시 험 결 과
TEST REPORT

No.14-Robot-002

■ 신청인(Applicant) : 김병수 선임연구원

■ 회사명(Name) : (재)대구기계부품연구원

■ 주소(Address) : 대구광역시 달서구 호림동 12

■ 시험 규격/방법 (Test Standards/Procedure) :

■ 접수일자 (Date of Application) : 2014. 01. 14.

■ 시험기간(Test Period) : 2014. 01. 22. ~ 01. 23.

시험품 Test Item

시험품명 (Name of Product)	: 절단 및 절곡 하이브리드 시스템
모델/형식 (Model/Ref No)	:
제조자명 (Name)	: KL TECH
기타 시험품정보 (Remarks)	

■ 시험결과(Test Results)

구 분	시 험 조 건	시 험 결 과	비 고
절단기 작업대 위치 반복정밀도	4~6쪽 참조	8~14쪽 참조	
절단 후 절곡부 이송 시간			
절곡 가능본수			
절곡 각도			
NC코드 생성 유무			

■ 시험장비(Test equipments)

이동식 레이저 트랙커	API Laser Tracker T3, Spatial Analyser

확 인 Confirmation	시험자(Tested by) 직 위(Title) : 전임연구원 성 명(Name) : 안 호 진 (서명)	승인자(Approved by) 직 위(Title) : 센터장 성 명(Name) : 안 대 건 (서명)

본 시험결과는 상기 신청인으로부터 제공된 시험품에만 적용되며, 소송 및 기타 법적 요건으로 사용할 수 없음.

2014. 01. 24.

(재)경남테크노파크 원장

(630-857) 경남 창원시 마산회원구 내서읍 중리공단로 65 Tel:(055)253-6412, Fax:(055)253-6420
http://www.gntp.or.kr

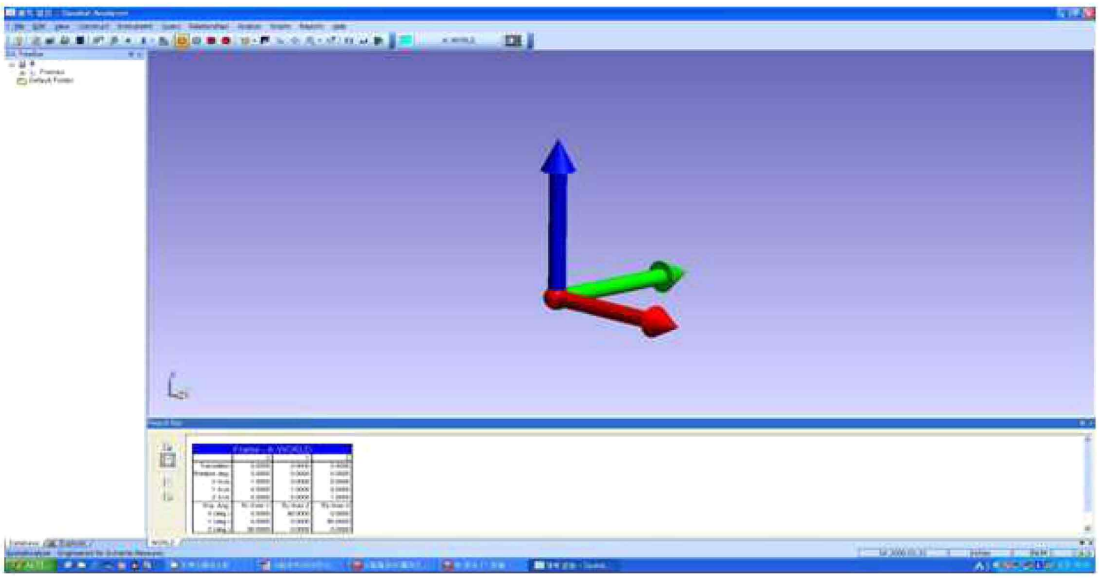
시 험 결 과
TEST RESULT

1. 장비사양 (API Laser Tracker T3)

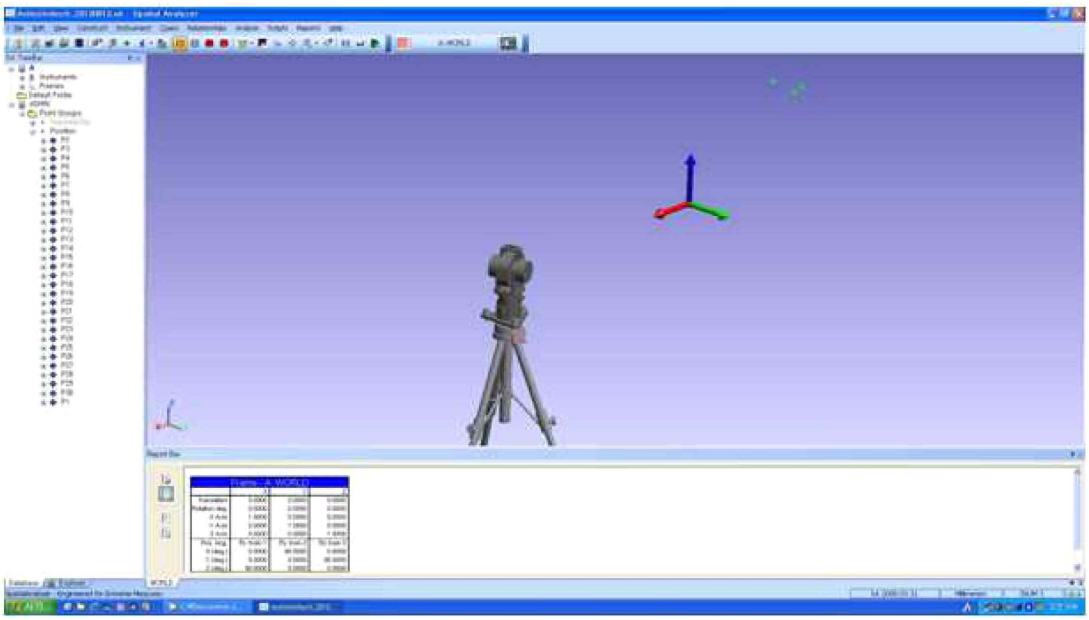
장비명	제조사	모델명	
Laser Tracker	API	T3	
항목			사양
	Linear Range		Up to 60 m
	Angular Range	Azimuth	± 320 °
		Elevation	+ 80 ° / − 60 °
	Angular Resolution		± 0.07 arc seconds
	Maximum Lateral Target Speed		120 °/s
	Maximum Acceleration		> 2 G
	Internal Level Accuracy		± 2 arc seconds
	IFM Distance Resolution		0.01 μm
	IFM Distance Accuracy		0.5 ppm ~ 1.0 ppm
	ADM Distance Resolution		0.1 μm
	ADM Distance Accuracy		1.5 ppm

2. 주요구성

- 구 성 : Spatial Analyser (2008.03.31.), API Laser Tracker T3
- 시 험 : 절단 및 절곡 하이브리드 시스템의 성능 측정



<그림 1> Spatial Analyser 최초 화면



<그림 2> Spatial Analyser 측정 화면

3. 시험조건 및 평가방법 : 신청인이 제시한 조건

시험항목	단위	개발 목표값	평가방법
절단기 작업대 위치 반복정밀도	mm	3.0 이내	KS B ISO 9283 : 2011
절단 후 절곡부 이송 시간	s	30 이내	
절곡 가능본 수	개	5 이상	
절곡 각도	°	180 이상	
NC코드 생성 유무	-	NC코드 생성	

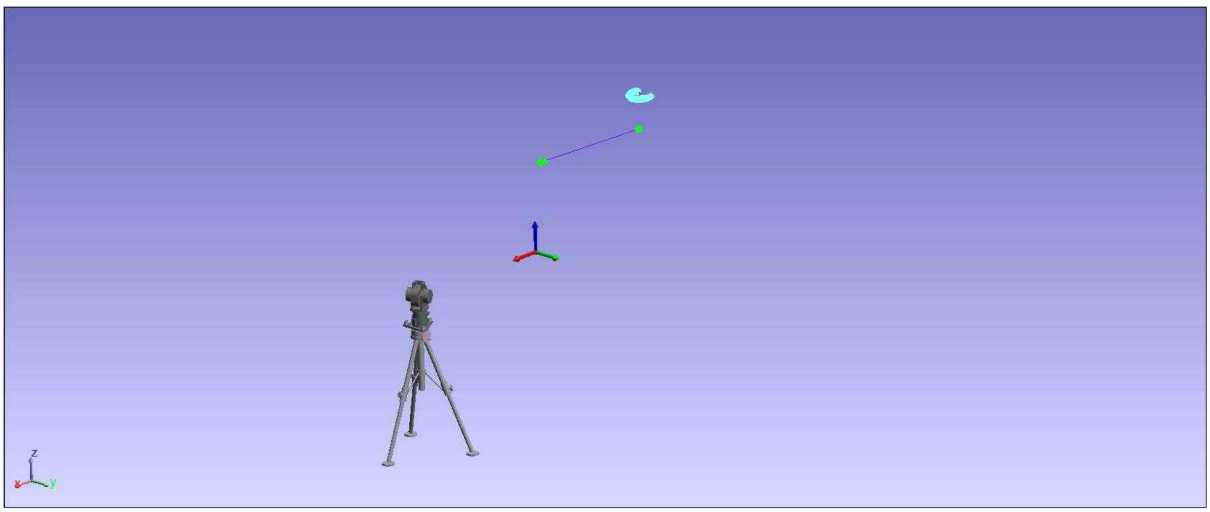
3.1 절단기 작업대 위치 반복정밀도

절단 및 절곡 하이브리드 시스템의 작업대를 반복 이송 시키면서 시작점과 끝점에서의 위치값을 레이저트랙커로 각각 30회씩 측정하고, 표준편차 σ의 3배 값을 반복정밀도로 표시한다.

여기서, 절단기 작업대의 이송방향을 x'-축으로, 상하방향을 z'-축으로 정의하고 이들과 직교하는 축을 y'-축으로 정의한다.



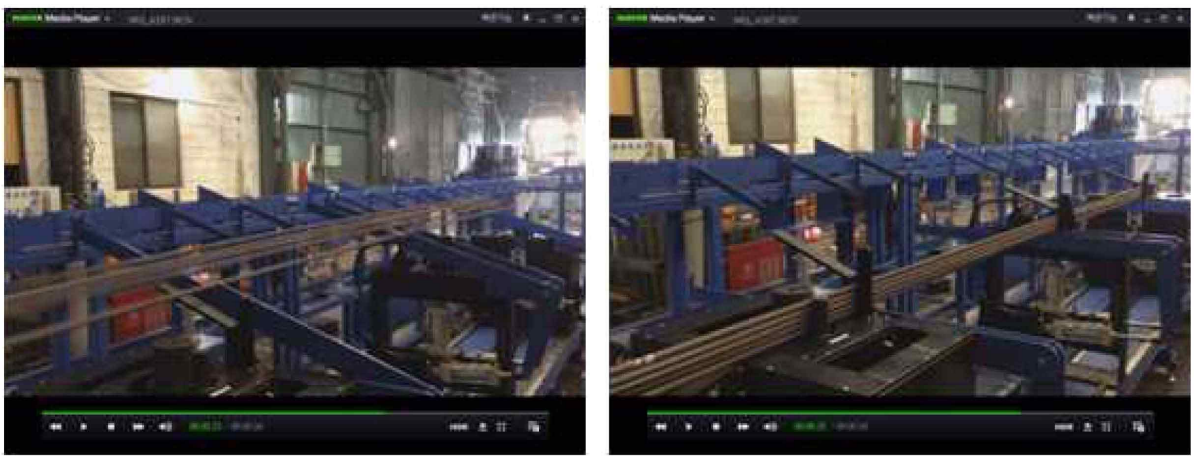
<그림 3> 절단 및 절곡 하이브리드 시스템



<그림 4> 반복정밀도 측정 화면
(x, y, z-축은 레이저트랙커의 가상 좌표축임)

3.2 절단 후 절곡부 이송 시간

절단 및 절곡 하이브리드 시스템의 '절단 후 절곡부 이송 시간'은 전체 작업 분량을 동영상으로 촬영하여 작업 시작 시간과 끝 시간의 차이로 본다.



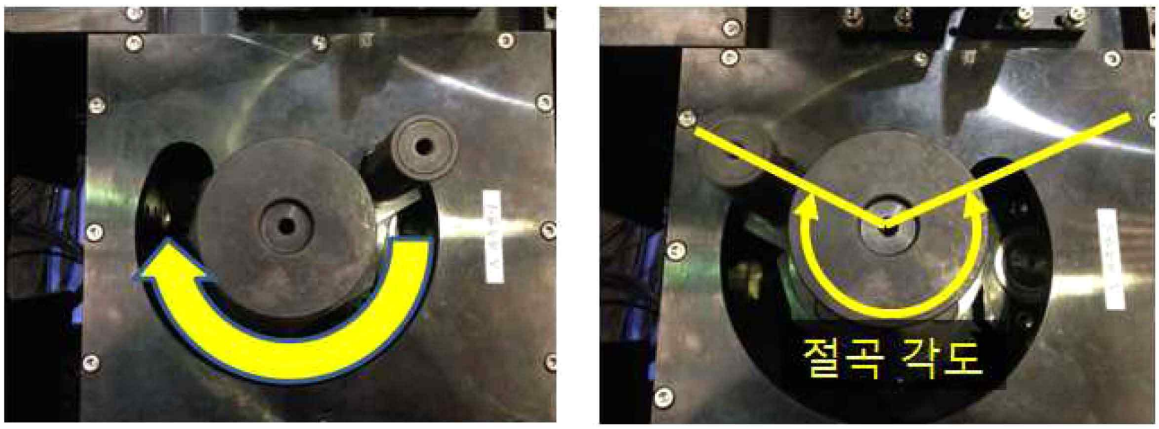
<그림 5> 이송 시간 촬영 화면

3.3 절곡 가능본수

한 번에 절곡 가능한 철근의 개수를 작업시 육안으로 확인한다.

3.4 절곡 각도

절곡부의 회전각도 범위를 레이저트랙커로 측정한다.



<그림 6> 절곡부의 절곡 각도

3.5 NC코드 생성 유무

작업을 위한 NC코드 생성 유무를 육안으로 확인한다.

4. 측정 사진



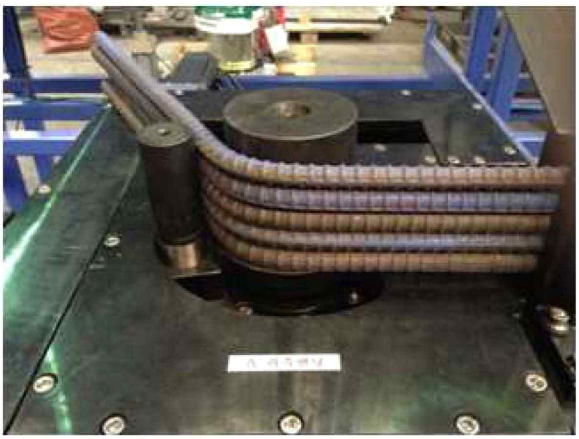
(a) 시작점



(b) 끝점

<그림 7> 작업대 위치 반복정밀도 측정 장면





<그림 8> 절곡 각도 측정장면(좌) 및 절곡 장면(우)

시 험 결 과
TEST RESULT

5. 측정결과

5.1 시작점에서의 반복정밀도

■ 결과

- 시작점에서의 위치좌표를 30회 측정하였다.
- 측정값은 KS B ISO 9283:2011에 따라 표준편차 σ의 3배값으로 표시하였다.

축방향	목표값 (mm)	측정값 (mm)
x'	3.0 이내 (± 1.5 이내)	± 0.010
y'		± 0.022
z'		± 0.033

■ 측정데이터

구분	x (mm)	y (mm)	z (mm)	x' (mm)	y' (mm)	z' (mm)
1	0.000	0.022	0.024	0.002	-0.022	0.023
2	-0.003	0.006	-0.012	0.003	-0.006	-0.012
3	0.000	0.002	-0.010	0.000	-0.002	-0.010
4	-0.005	-0.002	-0.004	0.005	0.002	-0.004
5	0.005	-0.012	-0.004	-0.006	0.012	-0.004
6	0.001	-0.004	-0.006	-0.002	0.004	-0.006
7	0.001	0.000	-0.008	-0.001	0.000	-0.008
8	-0.001	0.001	0.001	0.001	-0.001	0.001
9	-0.002	-0.002	0.001	0.001	0.002	0.001
10	-0.002	-0.003	-0.010	0.001	0.003	-0.010
11	0.005	-0.008	-0.004	-0.006	0.007	-0.004
12	0.005	-0.009	-0.004	-0.006	0.008	-0.004
13	0.002	-0.001	-0.008	-0.002	0.001	-0.008
14	-0.004	0.006	-0.012	0.004	-0.006	-0.012
15	0.004	0.011	0.005	-0.003	-0.011	0.005
16	0.003	0.010	0.014	-0.001	-0.010	0.014
17	0.002	0.014	0.028	0.000	-0.014	0.028
18	0.001	0.004	0.031	0.000	-0.004	0.031
19	-0.002	0.001	0.000	0.002	-0.001	0.000
20	0.008	-0.005	0.003	-0.008	0.004	0.004
21	0.001	-0.009	-0.013	-0.002	0.008	-0.013
22	-0.002	0.001	-0.006	0.002	-0.001	-0.007
23	-0.005	-0.001	-0.004	0.004	0.002	-0.004
24	-0.001	-0.010	0.004	0.000	0.010	0.004
25	0.000	-0.006	-0.007	0.000	0.006	-0.007
26	0.001	-0.007	0.003	-0.002	0.007	0.003
27	-0.007	0.005	-0.005	0.007	-0.004	-0.005
28	-0.001	0.005	0.001	0.001	-0.005	0.001
29	-0.003	-0.004	-0.003	0.002	0.004	-0.003
30	-0.003	-0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
3 σ	0.010	0.023	0.033	0.010	0.022	0.033

시 험 결 과
TEST RESULT

5.2 끝점에서의 반복정밀도

■ 결과

- 끝점에서의 위치좌표를 30회 측정하였다.
- 측정값은 KS B ISO 9283:2011에 따라 표준편차 σ의 3배값으로 표시하였다.

축방향	목표값 (mm)	측정값 (mm)
x'	3.0 이내 (± 1.5 이내)	± 0.014
y'		± 0.034
z'		± 0.030

■ 측정데이터

구분	x (mm)	y (mm)	z (mm)	x' (mm)	y' (mm)	z' (mm)
1	-995.337	95.347	23.336	1 000.166	-0.009	0.005
2	-995.338	95.355	23.349	1 000.168	-0.017	0.018
3	-995.346	95.344	23.325	1 000.174	-0.004	-0.006
4	-995.346	95.338	23.331	1 000.174	0.002	-0.001
5	-995.343	95.337	23.325	1 000.171	0.002	-0.006
6	-995.347	95.337	23.328	1 000.174	0.002	-0.003
7	-995.334	95.306	23.319	1 000.158	0.032	-0.012
8	-995.343	95.329	23.324	1 000.170	0.011	-0.007
9	-995.347	95.334	23.326	1 000.174	0.005	-0.005
10	-995.349	95.339	23.323	1 000.177	0.001	-0.008
11	-995.343	95.326	23.312	1 000.169	0.013	-0.019
12	-995.349	95.347	23.327	1 000.177	-0.007	-0.005
13	-995.349	95.360	23.347	1 000.179	-0.020	0.016
14	-995.346	95.335	23.348	1 000.174	0.004	0.017
15	-995.350	95.363	23.353	1 000.180	-0.023	0.022
16	-995.344	95.343	23.353	1 000.172	-0.003	0.022
17	-995.349	95.359	23.332	1 000.179	-0.019	0.001
18	-995.346	95.345	23.337	1 000.174	-0.005	0.006
19	-995.344	95.334	23.328	1 000.171	0.005	-0.003
20	-995.349	95.342	23.334	1 000.177	-0.002	0.003
21	-995.345	95.328	23.323	1 000.171	0.012	-0.008
22	-995.350	95.345	23.325	1 000.178	-0.005	-0.006
23	-995.346	95.331	23.324	1 000.173	0.008	-0.007
24	-995.340	95.336	23.338	1 000.168	0.003	0.007
25	-995.339	95.322	23.332	1 000.165	0.016	0.001
26	-995.347	95.349	23.332	1 000.175	-0.010	0.001
27	-995.342	95.327	23.326	1 000.168	0.012	-0.005
28	-995.347	95.340	23.325	1 000.174	-0.001	-0.006
29	-995.347	95.341	23.326	1 000.175	-0.001	-0.005
30	-995.350	95.343	23.325	1 000.178	-0.004	-0.007
3 σ	0.012	0.035	0.030	0.014	0.034	0.030

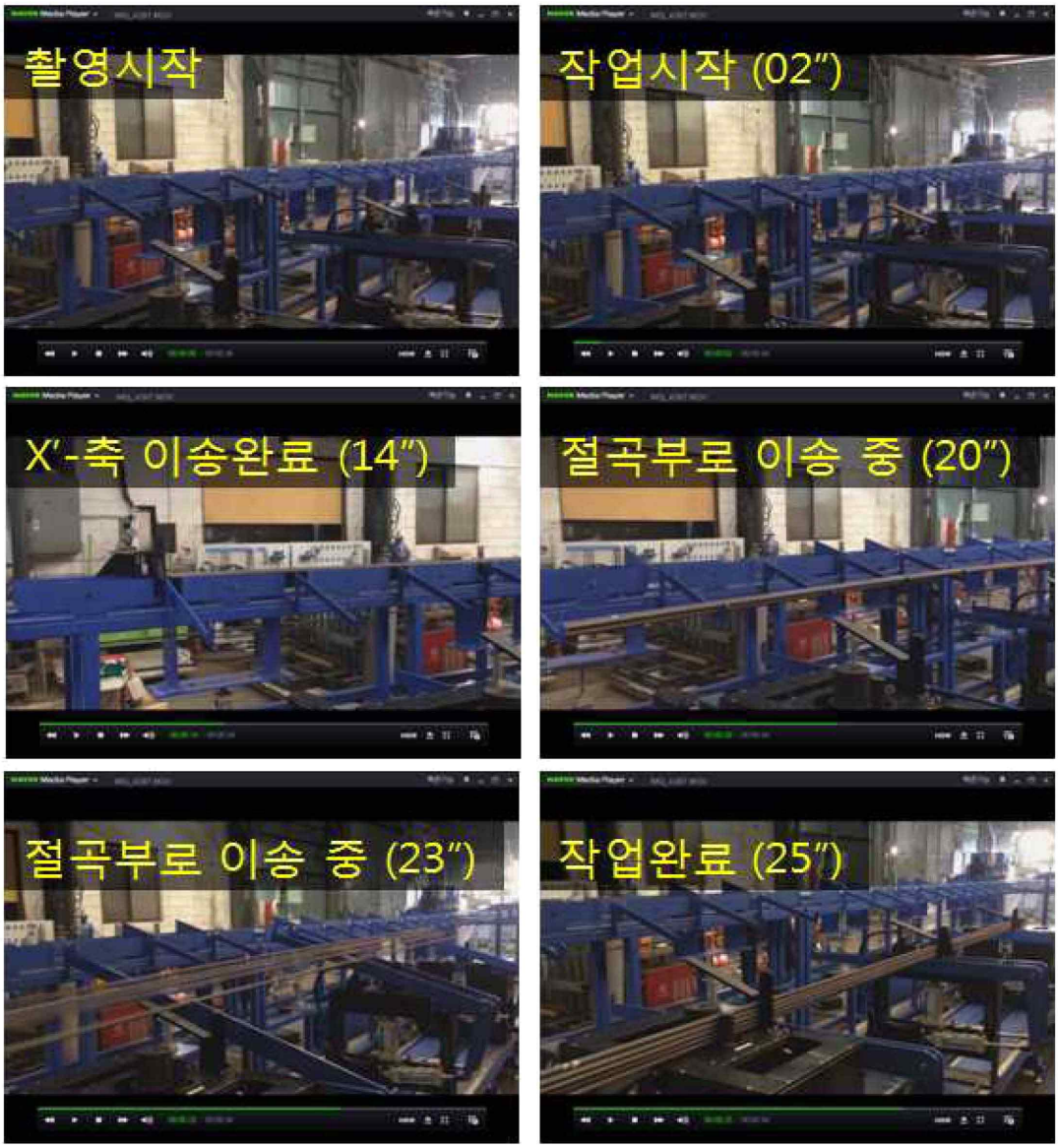
5.3 절단 후 절곡부 이송 시간

■ 결과

- 이송시간은 23초로 측정되었다.

목표값	측정값
30초 이내	23초

■ 측정영상



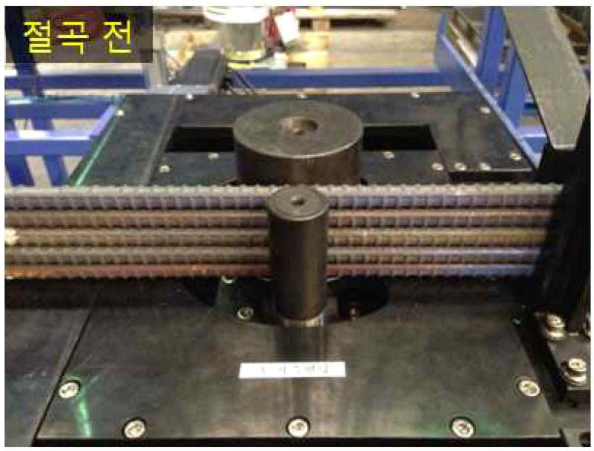
5.4 절곡 가능본수

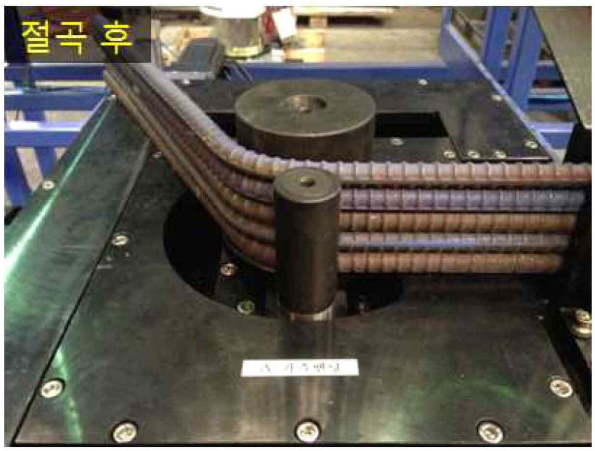
■ 결과

- 절곡 가능본수는 5개로 측정되었다.

목표값	측정값
5개 이상	5개

■ 측정화면





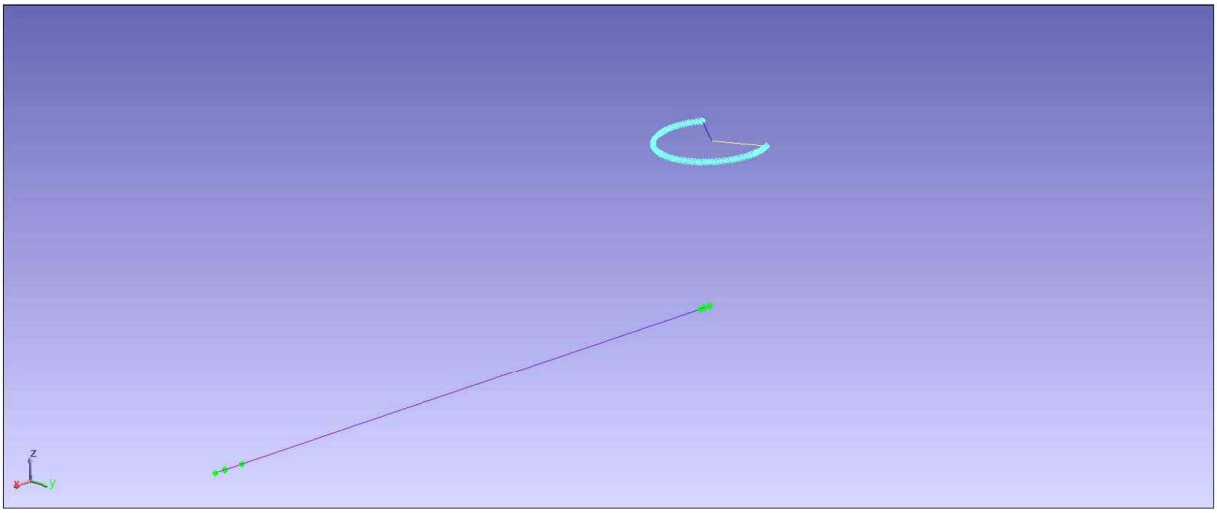
5.5 절곡 각도

■ 결과

- 절곡 각도는 239.3 ° 로 측정되었다.

목표값	측정값
180° 이상	239.3°

■ 측정화면

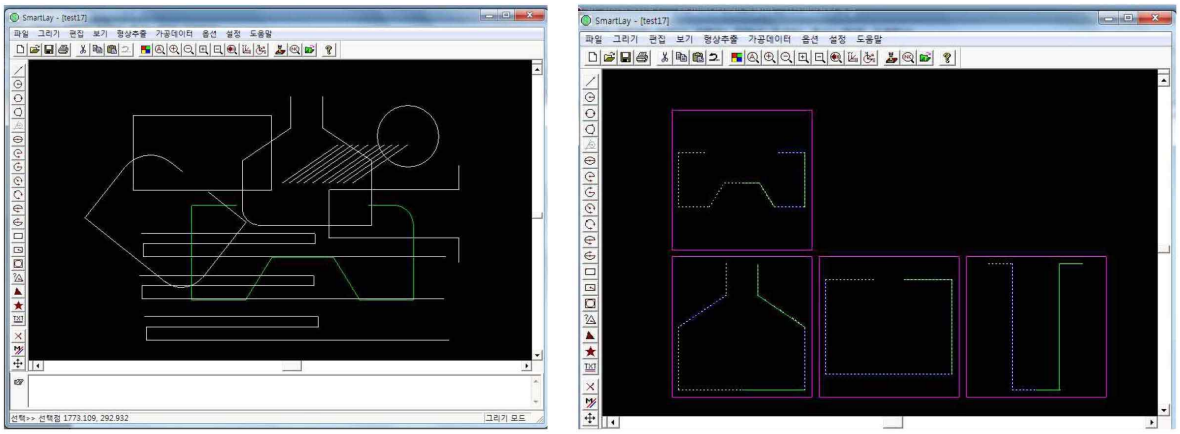


5.6 NC코드 생성 유무

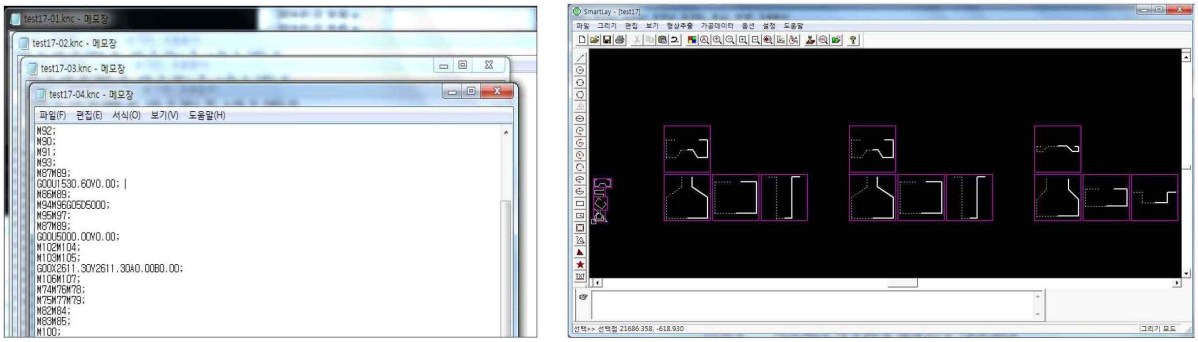
■ 결과

- NC코드 생성을 프로그램으로 확인하였다.

■ 프로그램 화면



<철근 형상 추출 화면>



<가공 NC코드 생성 및 DB 생성 화면>

6. 결론

구 분	반복정밀도 목표값 (mm)	x'축방향 측정값 (mm)	y'축방향 측정값 (mm)	z'축방향 측정값 (mm)
반복정밀도(시작점)	3 이내 (± 1.5 이내)	± 0.010	± 0.022	± 0.033
반복정밀도(끝점)		± 0.014	± 0.034	± 0.030

구 분	목표값	측정값
절단 후 절곡부 이송 시간	30초 이내	23초
절곡 가능본 수	5개 이상	5개
절곡 각도	180° 이상	239.3°
NC코드 생성 유무	NC코드 생성	확인됨

. 끝.

3. 수치제어기반 통합형 철근 가공시스템 성능평가

가. 성능평가 결과

목 표	달성도(%)	내 용(목표 수준)
수치제어기반 통합형 철근 가공 시스템 개발	100	절단 후 절곡부 이송시간 : 20초 이내 작업대 이송 반복정밀도 : 0.2mm 이내 작업대 속도 : 5m/min 이내 절곡 작업 속도 : 4sec/180도 이하 절곡 각도 : 180 Deg 이상 절곡 가능본수(D16기준) : 5개 이상
최적 철근 절단 스케줄링 및 철근손실 시뮬레이션 및 가공코드 원격지 전송 기술개발	100	철근배치 손실시뮬레이션 유무 : 유 데이터 원격지전송 유무 : 유
특허	100	1건
시제품제작	100	시제품 제작완료 및 테스트 완료 현장 적용성 평가

나. 성능평가 테스트



< 철근적재장치 철근 투입 >



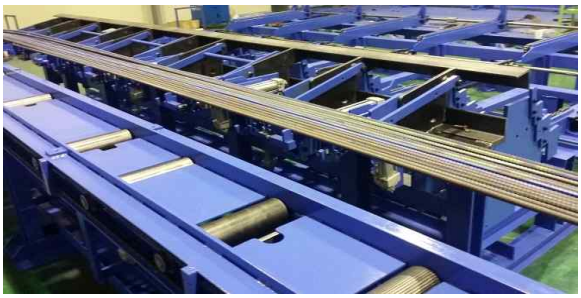
< 계단식 로딩장치 체인레일>



< 철근분할 유닛상승 >



< 계단식 로딩장치 >



< 이송대 로딩유닛 >



< 이송대 로딩유닛 철근 이송 >



< 이송대 투입 >



< 철근절단 >



< 배출대 이송 >



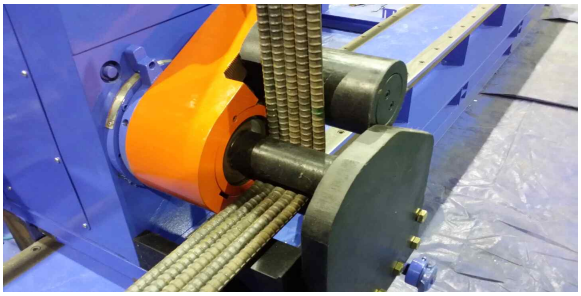
< 철근컨베이어장치 >



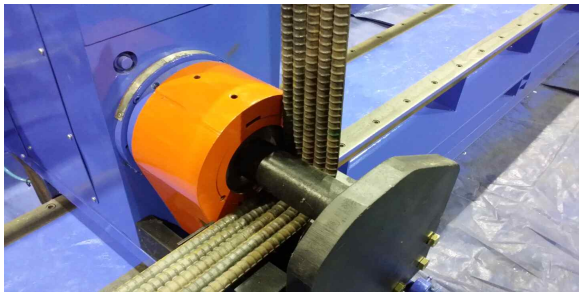
< 철근절곡장치 로딩 >



< 절곡장치 중심축 전진 >



< 절곡시작 >



< 절곡 완료 >

다. 성능 평가 성적서

재단법인 경남테크노파크 Gyeongnam Technopark

지능기계센터 Intelligent Machine Center

시 험 결 과
TEST REPORT

No.15-Robot-002

■ 신청인(Applicant) : 김 병 수

■ 회사명(Name) : (재)대구기계부품연구원

■ 주소(Address) : 대구광역시 달서구 성서공단로11길 32

■ 시험 규격/방법 (Test Standards/Procedure) : KS B ISO 9283 : 2011 외

■ 접수일자 (Date of Application) : 2015. 02. 03.

■ 시험기간(Test Period) : 2015. 02. 11.

시험품 Test Item

시험품명 (Name of Product)	: 철근 자동 가공 시스템
모델/형식 (Model/Ref No)	:
제조자명 (Name)	: KL TECH
기타 시험품정보 (Remarks)	

■ 시험결과(Test Results)

구 분	시 험 조 건	시 험 결 과	비 고
작업대 이송 반복정밀도	4~6쪽 참조	8~15쪽 참조	
작업대 속도			
절곡 작업 속도			
절곡 각도			
절곡 가능 본수			
가공 치수 정밀도			
절곡 각도 정밀도			
절단 후 절곡부 이송시간			

■ 시험장비(Test equipments)

이동식 레이저 트랙커	API Laser Tracker T3, Spatial Analyser

확 인 Confirmation	시험자(Tested by)	승인자(Approved by)
	직 위(Title) : 전임연구원	직 위(Title) : 센터장
	성 명(Name) : 안 호 진 (서명)	성 명(Name) : 안 대 광 (서명)

본 시험결과는 상기 신청인으로부터 제공된 시험품에만 적용되며, 소송 및 기타 법적 요건으로 사용할 수 없음.

2015. 02. 13.

(재)경남테크노파크 원장

(630-857) 경남 창원시 마산회원구 내서읍 중리공단로 65 Tel:(055)253-6412, Fax:(055)253-6420
http://www.gntp.or.kr

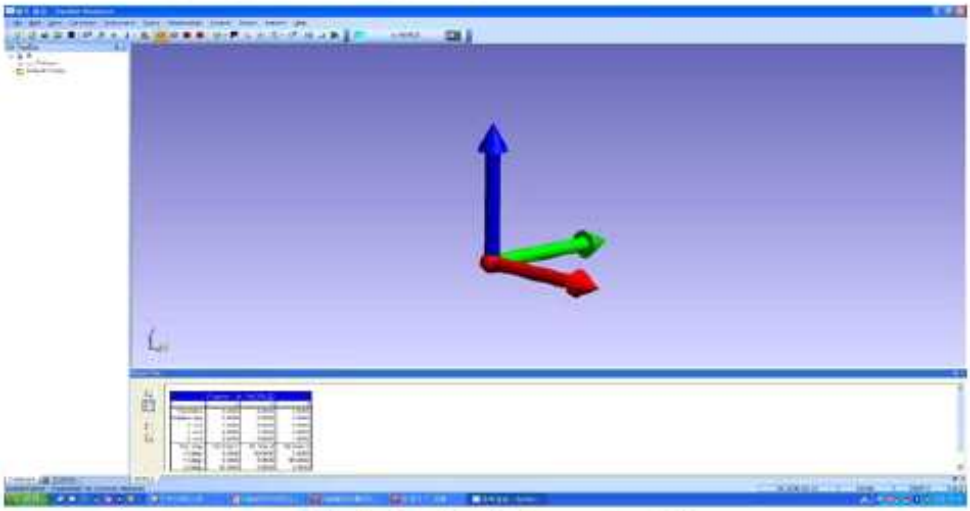
시 험 결 과
TEST RESULT

1. 장비사양 (API Laser Tracker T3)

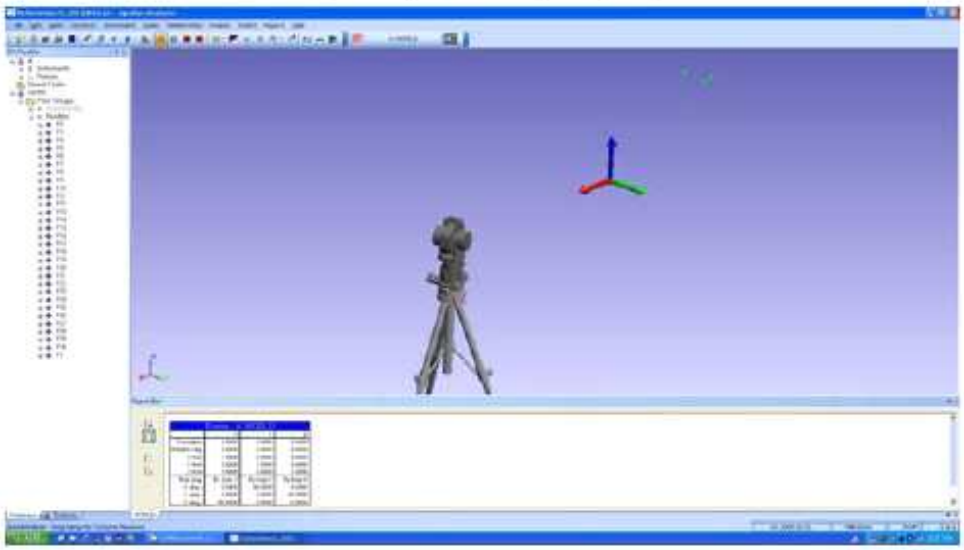
장비명	제조사	모델명	
Laser Tracker	API	T3	
항목			사양
	Linear Range		Up to 60 m
	Angular Range	Azimuth	± 320 °
		Elevation	+ 80 ° / − 60 °
	Angular Resolution		± 0.07 arc seconds
	Maximum Lateral Target Speed		120 °/s
	Maximum Acceleration		> 2 G
	Internal Level Accuracy		± 2 arc seconds
	IFM Distance Resolution		0.01 μm
	IFM Distance Accuracy		0.5 ppm − 1.0 ppm
	ADM Distance Resolution		0.1 μm
	ADM Distance Accuracy		1.5 ppm

2. 주요구성

- 구 성 : Spatial Analyser (2008.03.31.), API Laser Tracker T3
- 시 험 : 철근 자동 가공 시스템의 성능 측정



<그림 1> Spatial Analyser 최초화면



<그림 2> Spatial Analyser 측정화면

3. 시험조건 및 평가방법 : 신청인이 제시한 조건

시험항목	단위	개발 목표값	평가방법
작업대 이송 반복정밀도	mm	± 0.2 이내	KS B ISO 9283 : 2011
작업대 속도	m/min	5 이상	
절곡 작업 속도	s/180°	4 이하	180° 절곡 속도 4s 이내
절곡 각도	°	180 이상	
절곡 가능 본수	개	5 이상	
가공 치수 정밀도	mm	± 4 이하	
절곡 각도 정밀도	°	± 2 이하	
절단 후 절곡부 이송시간	s	20 이내	

3.1 작업대 이송 반복정밀도

철근 자동 가공 시스템(이하 시험품이라고 함)의 작업대를 반복 이송 시키면서 이송 끝점에서의 위치값을 레이저트랙커로 30회 측정하고, 표준편차 σ의 3배 값을 반복정밀도로 표시한다.

여기서, 절단기 작업대의 이송방향을 y-축으로, 상하방향을 z-축으로 정의하고 이들과 직교하는 축을 x-축으로 정의한다.



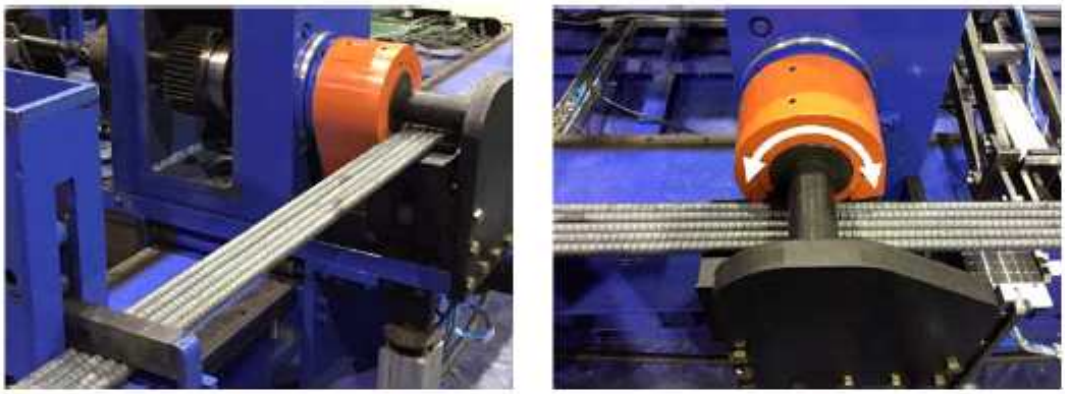
<그림 3> 철근 자동 가공 시스템

3.2 작업대 속도

시험품의 작업대 이송속도를 '작업대 속도'로 정의하며, 작업대에 SMR을 설치하고 이송속도를 레이저트랙커로 측정한다.

3.3 절곡 작업 속도

시험품의 작업대에 설치된 절곡장치의 회전속도를 '절곡 작업 속도'로 정의하며, 절곡장치의 회전부에 SMR을 설치하고 레이저트랙커로 측정한다.



<그림 4> 시험품의 절곡장치

3.4 절곡 각도

시험품의 작업대에 설치된 절곡장치의 회전가능한 최대범위를 '절곡 각도'로 정의하며, 절곡장치의 회전부에 SMR을 설치하고 레이저트랙커로 측정한다.

3.5 절곡 가능 본수

시험품의 절곡장치에서 한번에 절곡 가능한 철근의 개수를 '절곡 가능 본수'로 정의하며, 육안으로 확인한다.

3.6 가공 치수 정밀도

시험품으로 절단한 철근(n=5)의 길이의 최대값과 최소값 차이의 1/2 값을 '가공 치수 정밀도'로 정의한다. 철근 양단의 좌표값을 레이저트랙커로 측정하고 그 길이를 Spatial Analyzer로 분석한다.



<그림 5> 가공 치수 정밀도 측정장면

3.7 절곡 각도 정밀도

절곡된 철근(n=5)의 절곡각도 최대값과 최소값 차이의 1/2 값을 '절곡 각도 정밀도'로 정의한다. 철근 각 부위의 좌표값을 레이저트랙커로 측정하고 절곡된 각도를 Spatial Analyser로 분석한다.

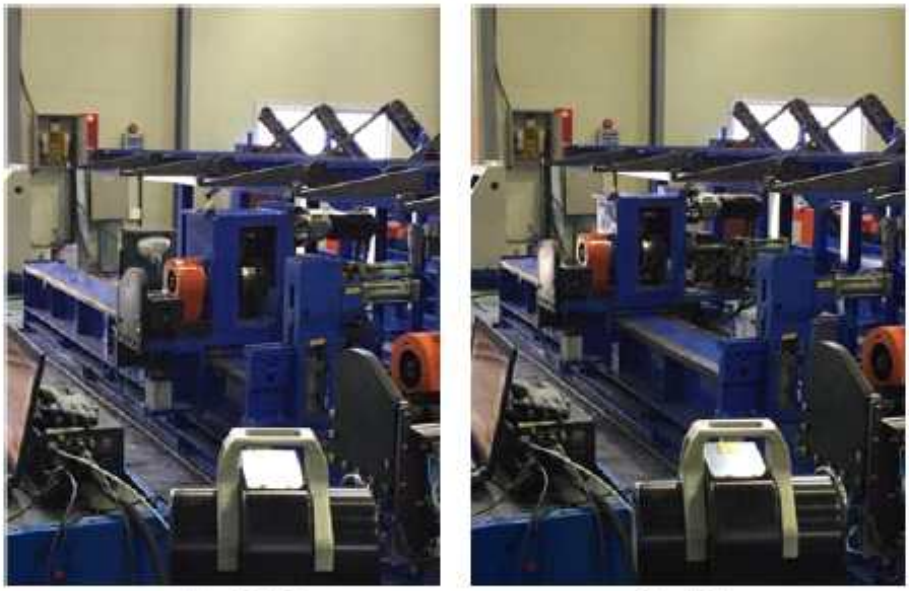


<그림 6> 절곡 각도 정밀도 측정장면

3.8 절단 후 절곡부 이송시간

철근이 절단 된 후 절곡부까지 이송되는 데에 소요되는 시간을 '절단 후 절곡부 이송시간'이라고 하며, 이 과정을 영상으로 촬영하여 그 시간을 측정한다.

4. 측정 사진



(a) 시작점 (b) 끝점

<그림 7> 작업대 위치 반복정밀도 측정장면

5. 측정결과

5.1 작업대 이송 반복정밀도

■ 결과

- 끝점에서의 위치좌표를 30회 측정하였다.
- 측정값은 KS B ISO 9283:2011에 따라 표준편차 σ의 3배값으로 표시하였다.
- 시험품의 작업대 이송방향은 y-축 방향이다.

항목	측정값 (mm)				목표값 (mm)
	RD_x	RD_y	RD_z	RD	
반복 정밀도	± 0.077	± 0.136	± 0.005	± 0.157	± 0.2 이내

■ 측정데이터

구분	레이저트랙커 좌표계			시험품의 좌표계로 변환된 값		
	x' (mm)	y' (mm)	z' (mm)	x (mm)	y (mm)	z (mm)
1	- 180.934	- 214.873	56.217	- 0.048	- 0.100	0.002
2	- 180.933	- 214.869	56.209	- 0.046	- 0.096	- 0.006
3	- 180.927	- 214.861	56.214	- 0.041	- 0.089	- 0.001
4	- 180.922	- 214.850	56.211	- 0.036	- 0.078	- 0.003
5	- 180.923	- 214.847	56.212	- 0.037	- 0.074	- 0.003
6	- 180.913	- 214.812	56.217	- 0.026	- 0.040	0.002
7	- 180.911	- 214.810	56.214	- 0.024	- 0.038	- 0.001
8	- 180.910	- 214.792	56.212	- 0.022	- 0.020	- 0.003
9	- 180.906	- 214.786	56.214	- 0.019	- 0.014	- 0.001
10	- 180.909	- 214.770	56.213	- 0.021	0.002	- 0.002
11	- 180.893	- 214.762	56.215	- 0.005	0.009	0.000
12	- 180.896	- 214.755	56.215	- 0.008	0.017	0.000
13	- 180.890	- 214.761	56.214	- 0.002	0.011	- 0.001
14	- 180.888	- 214.750	56.216	0.000	0.021	0.001
15	- 180.884	- 214.755	56.217	0.004	0.016	0.002
16	- 180.880	- 214.762	56.215	0.008	0.009	0.000
17	- 180.879	- 214.764	56.217	0.009	0.008	0.002
18	- 180.879	- 214.738	56.217	0.010	0.034	0.002
19	- 180.877	- 214.740	56.217	0.011	0.031	0.002
20	- 180.875	- 214.747	56.217	0.013	0.024	0.002
21	- 180.874	- 214.750	56.215	0.014	0.022	0.000
22	- 180.866	- 214.752	56.216	0.022	0.019	0.001
23	- 180.864	- 214.745	56.215	0.024	0.026	0.000
24	- 180.862	- 214.747	56.215	0.026	0.024	0.000
25	- 180.861	- 214.735	56.215	0.028	0.036	0.000
26	- 180.862	- 214.729	56.215	0.027	0.043	0.000
27	- 180.857	- 214.734	56.216	0.031	0.038	0.001
28	- 180.855	- 214.734	56.216	0.034	0.038	0.001
29	- 180.856	- 214.725	56.214	0.033	0.047	- 0.001
30	- 180.852	- 214.698	56.217	0.037	0.073	0.002
3 σ	0.075	0.138	0.006	0.077	0.136	0.005

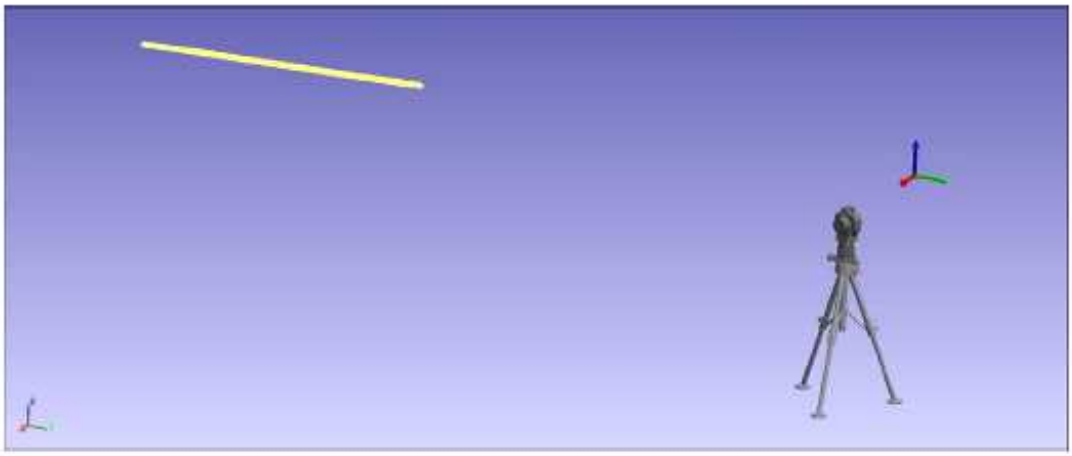
5.2 작업대 속도

■ 결과

항목	측정값 (m/min)	목표값 (m/min)
작업대 속도	6.958	5 이상

■ 측정데이터

구분	이송거리 (mm)	이송시간 (s)	이송속도 (mm/s)	이송속도 (m/min)
1	1 601.460	13.818	115.895	6.954
2	1 599.340	13.683	116.888	7.013
3	1 600.979	13.908	115.108	6.906
평균값	1 600.593	13.803	115.108	6.958



<그림 8> 이송속도 측정화면

5.3 절곡 작업 속도

■ 결과

항목	측정값 (s/180°)	목표값 (s/180°)
절곡 작업 속도	3.177	4 이내

■ 측정데이터

구분	회전각도 (°)	회전시간 (s)	회전속도 (°/s)	절단작업 속도 (s/180°)
값	150.277	2.653	56.651	3.177

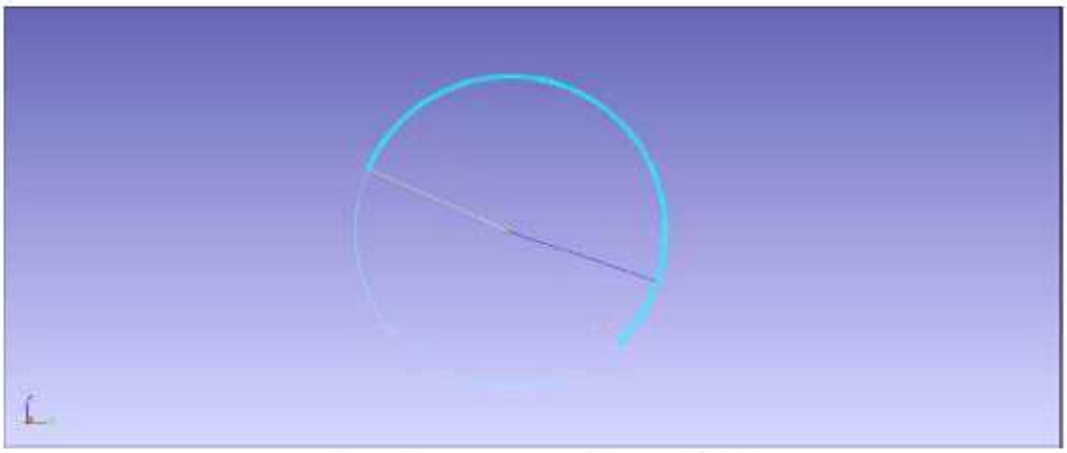
※ 레이저 트랙커의 특성 상, 시험품의 구조물 간섭으로 인하여 전체 회전구간에 대해서 측정하지 못하였음.

5.4 절곡 각도

■ 결과

항목	측정값 (°)	목표값 (°)
절곡 각도	201.099	180 이상

■ 측정화면



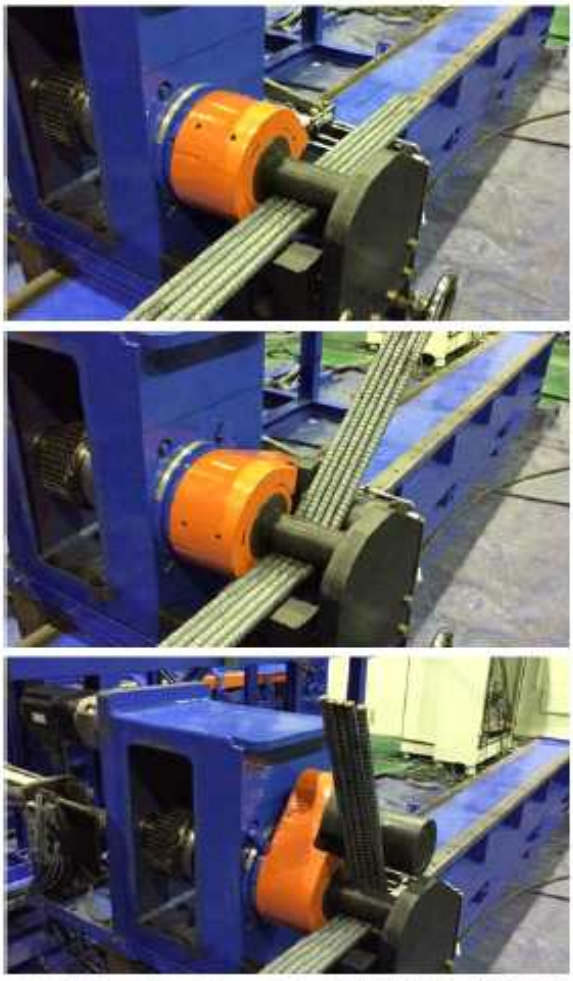
<그림 8> 절곡 작업 속도 및 각도 측정화면

5.5 절곡 가능 본수

■ 결과

항목	측정값 (개)	목표값 (개)
절곡 가능 본수	5	5 이상

■ 측정영상



<그림 9> 절곡 가능 본수 촬영 영상의 캡쳐화면

5.6 가공 치수 정밀도

■ 결과

항목	측정값 (mm)	목표값 (mm)
가공 치수 정밀도	± 3.3	± 4 이하

■ 측정데이터

구분	측정값 (mm)							
	1	2	3	4	5	최대값 (A)	최소값 (B)	정밀도 (A-B)/2
값	5 055.4	5 057.1	5 060.6	5 060.2	5 062.0	5 062.0	5 055.4	3.3



<그림 10> 가공 치수 정밀도 측정화면

5.7 절곡 각도 정밀도

■ 결과

항목	측정값 (°)	목표값 (°)
절곡 각도 정밀도	± 0.7	± 2 이하

■ 측정데이터

구분	측정값 (°)							
	1	2	3	4	5	최대값 (A)	최소값 (B)	정밀도 (A-B)/2
값	91.2	90.6	90.1	90.5	89.8	91.2	89.8	0.7



<그림 11> 절곡 각도 측정화면

5.8 절단 후 절곡부 이송시간

■ 결과

항목	측정값 (s)	목표값 (s)
절단 후 절곡부 이송시간	19.25	20 이내

■ 측정영상

- 촬영된 영상을 1/4의 속도로 변환하여 시간을 측정함
- 철근 이송 시작부터 이송 완료까지 1/4의 속도로 변환된 영상에서 77s 소요됨
- 실제 이송시간은 19.25s로 계산됨













시 험 결 과
TEST RESULT

6. 결론

시험항목	단위	개발 목표값	측정값
작업대 이송 반복정밀도	mm	± 0.2 이내	± 0.157
작업대 속도	m/min	5 이상	6.958
절곡 작업 속도	s/180°	4 이하	3.177
절곡 각도	°	180 이상	201.099
절곡 가능 본수	개	5 이상	5
가공 치수 정밀도	mm	± 4 이하	± 3.3
절곡 각도 정밀도	°	± 2 이하	± 0.7
절단 후 절곡부 이송시간	s	20 이내	19.25

. 끝.

4. 개발 소프트웨어 평가

평가항목	세부내용	평가방법	평가결과
가공 코드 생성 소프트웨어 사용자 인터페이스 설계	가. 가공정보의 직관적 검토 기능 및 이를 위한 인터페이스	1. 형상데이터의 D/B화 기능 유무 2. 형상코드에 따른 형상 Visualization 유무 3. 치수보조선 자동출력 - 서로 다른 5개 이상의 형상코드 데이터에 대해 치수보조선이 자동으로 생성되어 표현 여부 확인 4. 형상정보의 수치적 오류에 대한 오류 메시지 자동 출력 유무 (오류를 포함한 형상 데이터에 대해 적정 오류 메시지 출력 여부 확인)	1. 형상데이터 자동 추출 및 D/B화 기능 확인 2. 형상 코드별 철근 Visualization 기능을 확인함. 3. 서로 다른 5개 이상의 테스트 예제를 통해 치수보조선이 자동으로 설정되어 적용되는 것을 확인함. 4. 형상정보의 수치적 오류에 대한 적절한 경고 메시지를 출력함.
	나. 철근가공코드 진행에 따른 동작 Visualization 기능	1. 초기 철근상태에서 단계별 가공 영상 확인 기능 유무	1. 가공 단계별 철근형상 Visualization 기능을 확인함.
	다. 가공형상 외부파일D/B호환	1. TEXT기반 엑셀파일을 읽어서 화면에 출력 유무	1. 엑셀 소프트웨어 데이터파일과 연동이 가능하며, 이를 통해 외부

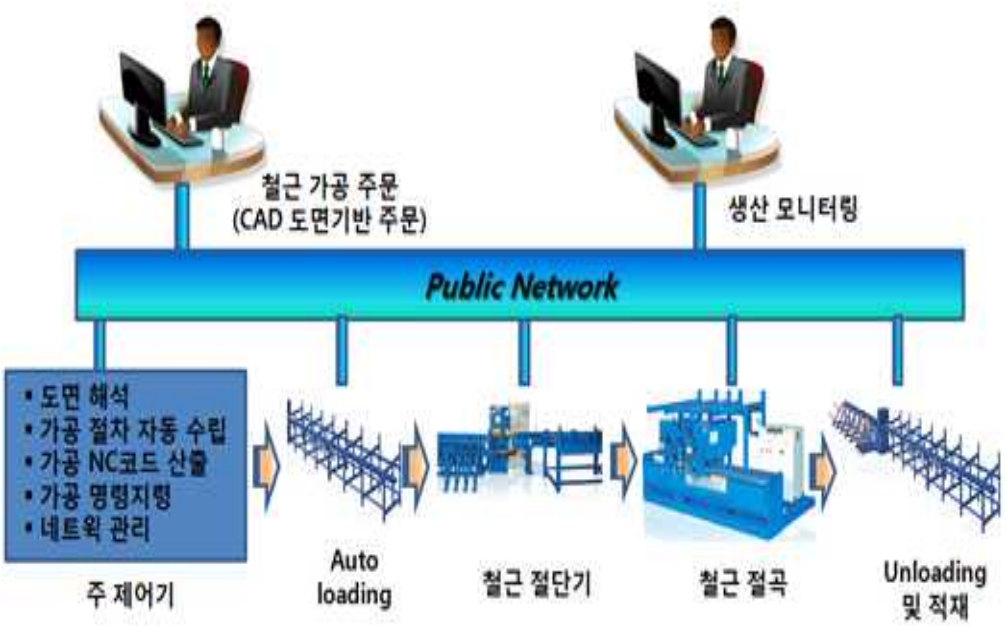
			파일과 연동 가능함을 확인함.
최적 철근 절단 스케줄링 및 철근 절단 및 절곡 G코드/M코 드 자동생성기 술 개발	라. 가공 최적스케줄링 기능	1. 철근절단 자동배치 - 스케줄링 기능 유무 2. 자동배치 가능한 형상갯수 (동시배치연산 10종 이상 가능여부)	1. 절단 철근의 자동채비 기능을 확인하였으며, 2. 10종 이상인 경우에도 효과적인 배치가 가능함을 확인함.
	마. G코드 형식 NC데이터 생성기능	1. 절단에 대한 G코드 생성유무 2. 가공형상에 대한 G코드 생성 유무 3. 전체 과정에 가공 스케줄링 정보에서 자동으로 연계 수행 여부	1,2,3 배치 데이터로부터 절단 및 절곡이 가능한 G코드 생성을 확인함.
	바. G코드에 제어동작이 포함된 M코드 자동삽입기능	1. M코드삽입을 위한 D/B화 및 등록 가능성 유무 2. M코드 자동삽입기능 유무	1. M코드삽입을 위해 M코드 정보파일을 D/B화 하여 관리하고 있으며, 2. 이를 통해 G코드 생성후 적절 위치에 해당 M코드가 자동으로 삽입되어 M코드가 포함된 실제 가공 코드 생성을 확인함.

제3장 최종 연구성과 및 적용 실적

제 1 절 개별 연구성과명 : 수치제어기반 통합형 철근가공시스템

1. 개별 연구성과(핵심성과) 설명

가. 핵심성과 세부 설명

<table>
<tr><td>관련 그림 / 사진</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>정 의</td><td>CAD시스템 기반으로 철근가공정보를 생성하고 Loading, 절단, 절곡, Unloading 및 적재 등을 통합하여 철근을 가공할 수 있는 통합형 철근가공시스템</td></tr>
<tr><td>설정사유</td><td>본과제는 공장가공방식을 위한 철근가공시스템 개발을 목적으로 하는 연구이므로 위와 같이 핵심 성과를 설정함</td></tr>
<tr><td>목 적</td><td>통합형 철근가공시스템을 개발하여 수입대체 및 자재손실 절감 효과 측면에서 우수하며, 연구 성과 달성시 국내 자동화 철근가공시스템 수요를 충족시키기 위함.</td></tr>
<tr><td>성능목표</td><td>
<table>
<tr><th>구분</th><th>건우기계</th><th>토요</th><th>성능 목표</th></tr>
<tr><td>절곡각도</td><td>180</td><td>180</td><td>180</td></tr>
<tr><td>절곡가능본수
(D16기준)</td><td>3</td><td>3</td><td>5</td></tr>
<tr><td>작업대 속도</td><td>5.49m/min</td><td>5.4m/min</td><td>5m/min</td></tr>
<tr><td>절곡 속도</td><td>4sec/180 °</td><td>4.47sec/180 °</td><td>4sec/180 °</td></tr>
<tr><td>철근배치 손실
시뮬레이션 유무</td><td>-</td><td>-</td><td>손실 시뮬레이션 가능</td></tr>
<tr><td>데이터 원격지 전송
유무</td><td>-</td><td>-</td><td>데이터 원격지 전송 가능</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

나. 성과 관련 기관별 수행 사항

연구개발과제	
과제명	공장가공방식을 위한 원격 철근가공시스템 개발

총 참 여 연 구 원
주관연구책임자 (이성규)외 11명

기 관 별 참 여 현 황			
구 분	기관수	인원수	총인원 수
산 업 계	1	4	12
대 학	1	4	
국공립(연)			
출 연 (연)	1	4	
기 타			

주 관 연 구 기 관	위 탁 연 구 기 관	위 탁 연 구 기 관
KL TECH	(재)경북하이브리드연구원	영남대학교
참 여 연 구 원	참 여 연 구 원	참 여 연 구 원
주관연구책임자 (이성규)외3명	위탁연구책임자 (신동우)외3명	위탁연구책임자 (김진호)외3명
책임급 2명, 원급 2명	원급 4명	책임급 1명, 기타 3명
담당연구개발내용	담당연구개발내용	담당연구개발내용
과제명: 수치제어기반 통합형 철근가공시스템	과제명: 철근 로딩 최적화 설계	과제명: 철근 밴딩기의 신뢰성 확보에 관한 연구
■ 자동 Loading /Unloading 적용 스마트 철근가공 시스템 개발 ■ 최적 철근 절단 스케줄링 및 철근 손실 시뮬레이션 및 가공코드 원격지 전송 기술개발	■ 로딩시 불량 발생의 원인 파악 (동역학적 시뮬레이션) ■ 설계 변경을 통한 최적 설계안 도출	■ 철근 밴딩기의 구동전달 핵심부품의 응력해석 및 피로해석 ■ 철근 밴딩기의 형상 최적화를 통한 공정 오차 감소

2. 핵심요소기술별 성과물

가. 연차별 성과 요약

<table>
<tr><td rowspan="4">달성
확인방법</td><td>1차년도</td><td colspan="5"><table>
<tr><th>목 표</th><th>달성도(%)</th><th>내 용(목표 수준)</th></tr>
<tr><td>수치제어 적용 절곡 테스트 베드 구축</td><td>100</td><td>작업대 이송 반복정밀도 : 3mm이내
작업대 속도 : 3m/min
절곡 작업 속도 : 7sec/180도 이하
절곡 각도 : 130 Deg 이상</td></tr>
<tr><td>CAD시스템 기반 철근가공정보
자동매핑 기술개발</td><td>100</td><td>도형 추출 자동기능 유무 : 가능</td></tr>
<tr><td>절곡 가공 수치정보
자동생성기술 개발</td><td>100</td><td>수치제어 적용 가능한 수치정보 생성 유무 : 수치정보 생성</td></tr>
<tr><td>특허</td><td>100</td><td>1건</td></tr>
<tr><td>시제품제작</td><td>100</td><td>시제품 제작완료</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>2차년도</td><td colspan="5"><table>
<tr><th>목 표</th><th>달성도(%)</th><th>내 용(목표 수준)</th></tr>
<tr><td>절단 및 절곡 하이브리드 시스템 개발</td><td>100</td><td>절단기 작업대 위치 반복 정밀도 : 3mm이내
절단 후 절곡부 이송 시간 : 30초 이내
절곡 가능본수(D16기준) : 5개 이상
절곡각도 : 180도 이상</td></tr>
<tr><td>철근 절단 및 절곡가공코드 자동생성 기술 개발</td><td>100</td><td>NC코드 생성 유무 : 생성</td></tr>
<tr><td>특허</td><td>100</td><td>1건</td></tr>
<tr><td>시제품제작</td><td>100</td><td>시제품 제작완료 및 테스트 완료 예정</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td colspan="5"><table>
<tr><th>목 표</th><th>달성도(%)</th><th>내 용(목표 수준)</th></tr>
<tr><td>자동 Loading/Unloading 적용 스마트 철근가공 시스템 개발</td><td>100</td><td>절단 후 절곡부 이송시간 : 20초 이내
작업대 이송 반복정밀도 : 0.2mm 이내
작업대 속도 : 5m/min 이내
절곡 작업 속도 : 4sec/180도 이하
절곡 각도 : 180 Deg 이상
절곡 가능본수(D16기준) : 5개 이상</td></tr>
<tr><td>최적 철근 절단 스케줄링 및 철근손실 시뮬레이션 및 가공코드 원격지 전송 기술개발</td><td>100</td><td>철근배치 손실시뮬레이션 유무 : 유
데이터 원격지전송 유무 : 유</td></tr>
<tr><td>특허</td><td>100</td><td>1건</td></tr>
<tr><td>시제품제작</td><td>100</td><td>시제품 제작완료 및 테스트 완료 예정</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td rowspan="8">양적성과</td><td rowspan="2">1차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>출원 2, 등록 0</td><td>국내 0, 국외 0</td><td>국내 0, 국외 0</td><td>1</td><td>시제품 1건</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>출원 1, 등록 0</td><td>국내 0, 국외 0</td><td>국내 3, 국외 0</td><td>1</td><td>시제품 1건</td></tr>
<tr><td rowspan="2">3차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>출원 1, 등록 0</td><td>국내 0, 국외 1</td><td>국내 3, 국외 1</td><td>2</td><td>시제품 1건</td></tr>
<tr><td rowspan="2">계</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>출원 4, 등록 0</td><td>국내 0, 국외 1</td><td>국내 6, 국외 1</td><td>4</td><td>시제품 3건</td></tr>
</table>

kk

(1) 연차별 성과

(가) 1차년도

1) 1차년도 연구개발 목표

○ 수치제어 적용 절곡 테스트베드 구축

- 철근가공관련 문헌 및 사례조사
- 수치제어적용을 위한 기능별 모듈 개발
- 절곡 메커니즘 개발 및 시스템 설계/제작
- 수치제어 적용 절곡 시스템 성능 평가
- 철근 운송/패킹 기술 개발

○ CAD시스템 기반 철근가공정보 자동매핑 기술개발

- CAD파일의 도형정보 추출
- 철근가공정보 자동매핑

○ 절곡 가공 수치정보 자동생성기술 개발

- 수치제어 적용을 위한 가공정보 생성

2) 1차년도 질적 성과지표 달성도

연차별 성과목표	성과지표	측정방법	목표치	가중치	달성도
수치제어 적용 절곡 테스트 베드 구축	작업대 이송 반복정밀도	레이저 트래커	3mm이내	25	100%
	작업대 속도	레이저 트래커	3m/min이상	15	100%
	절곡 작업 속도	절곡 속도 측정	7sec/180°이하	15	100%
	절곡 각도	각도 측정기	130° 이상	15	100%
CAD시스템 기반 철근가공정보 자동매핑 기술개발	도형 추출 자동기능 유무	S/W 구동, 자동처리 테스트	자동추출	15	100%
절곡 가공 수치정보 자동생성기술 개발	수치제어 적용 가능한 수치정보 생성 유무	S/W 구동, 정보생성 테스트	제어가능 수치정보 제공	15	100%
소 계				100%	100%

3) 1차년도 연구내용

연구목표	주요 연구내용
■ 수치제어 적용 절곡 테스트베드 구축	■ 철근가공관련 문헌 및 사례조사 ■ 현장 적용성 분석 검토 ■ 수치제어적용을 위한 기능별 모듈 개발 ■ 절곡 메커니즘 개발 및 시스템 설계/제작 ■ 수치제어 적용 절곡 시스템 성능 평가 ■ 철근 운송/패킹 기술 개발
■ CAD시스템 기반 철근가공정보 자동매핑 기술개발	■ CAD파일의 도형정보 추출 ■ 철근가공정보 자동매핑
■ 절곡 가공 수치정보 자동생성기술 개발	■ 수치제어 적용을 위한 가공정보 생성

(나) 2차년도

1) 2차년도 연구개발 목표

○ 절단 및 절곡 하이브리드 시스템 개발

- 절단 연동을 위한 가공 메커니즘 개발
- CNC기반 절단/절곡 시스템 설계/제작
- 수치제어 가공에 따른 가공성능 안정화 및 평가

○ 철근 절단 및 절곡 가공코드 자동생성기술 개발

- 가공 코드 생성 소프트웨어 사용자 인터페이스 설계
- 최적 철근 절단 스케줄링 및 철근 절단 및 절곡 G코드/M코드 자동 생성 기술 개발

2) 2차년도 질적 성과지표 달성도

연차별 성과목표	성과지표	측정방법	목표치	가중치	달성도
절단 및 절곡 하이브리드 시스템 개발	절단기 작업대 위치 반복정밀도	레이저 트래커	3㎜이내	15	100%
	절단 후 절곡부 이송 시간	타임 체크	30초이내	30	100%
	절곡 가능본수(D16기준)	자체(육안)측정	5개이상	20	100%
	절곡 각도	각도 측정기	180° 이상	15	100%
철근 절단 및 절곡 가공코드 자동생성기술 개발	NC코드 생성 유무	S/W 구동, 테스트	NC코드생성	20	100
소 계				100%	100%

3) 2차년도 연구 내용

연구목표	주요 연구내용
■ 절단 및 절곡 하이브리드 시스템 개발	■ 절단 연동을 위한 메커니즘 개발 ■ CNC기반 절단/절곡 시스템 설계/제작 ■ 수치제어 가공에 따른 가공성능 안정화 및 평가
■ 철근 절단 및 절곡 가공코드 자동 생성기술 개발	■ 가공코드생성 소프트웨어 사용자 인터페이스 설계 ■ 철근 절단 및 절곡 G코드/M코드 자동 생성 기술 개발

(다) 3차년도

1) 3차년도 연구개발 목표

○ 자동 Loading/Unloading 적용 스마트 철근가공 시스템 개발

- 개별 Loading/Unloading 장치 제작
- 절단/절곡 시스템 연동 및 운영 시스템 통합

○ 최적 철근 절단 스케줄링 및 철근 손실 시뮬레이션 및 가공코드 원격지 전송 기술개발

- 철근 손실 시뮬레이션 기술개발
- 통합 운영 소프트웨어 개발
- 원격지 가공코드 전송 기술 개발

2) 3차년도 질적 성과지표 달성도

연차별 성과목표	성과지표	측정방법	목표치	가중치	달성도
자동 Loading/Unloading 적용 스마트 철근가공 시스템 개발	절단 후 절곡부 이송 시간	타임 체크	20초이내	30	100%
	작업대 이송 반복정밀도	레이져 트래커	2mm이내	20	100%
	작업대 속도	레이져 트래커	5m/min이상	15	100%
	절곡 작업 속도	절곡 속도 측정	4sec/180°이하	15	100%
최적 철근 절단 스케줄링 및 철근 손실 시뮬레이션 및 가공코드 원격지 전송 기술개발	자재 손실 시뮬레이션 유무	S/W 구동, 테스트	자재 손실 시뮬레이션/예측 가능	20	100%
소 계				100%	100%

3) 3차년도 연구 내용

연구목표	주요 연구내용
■ 자동 Loading/Unloading 적용 스마트 철근가공 시스템 개발	■ 개별 Loading/Unloading 장치 제작 ■ 절단/절곡 시스템 연동 및 운영 시스템 통합
■ 최적 철근 절단 스케줄링 및 철근 손실 시뮬레이션 및 가공코드 원격지 전송 기술개발	■ 철근 손실 시뮬레이션 기술개발 ■ 통합 운영 소프트웨어 개발 ■ 원격지 가공코드 전송 기술 개발

3. 주요연구성과

가. 학술적성과

(1) 논문게재

(가) 논문종합

게재 연도	논문명	저자			학술지명	Vol.(No.)	국내외 구분	SCI 구분
		주저자	교신저자	공동저자				
2013.8	철근 공장가공화를 위한 철근 스프링 백에 대한 수치적 연구	최창환	김진호	이성규	한국산학기술학회	제14권 8호	국내	
2014.10	A Numerical Study of the Spring-Back Phenomenon in Bending with a Rebar Bending Machine	최창환	김진호	전준수, Lawrence Kulinsky	Advances in Mechaninal Engineering	제 2014 권	국외	SCI-E

(2) 학술대회

(가) 논문종합

발표일	발표명	저자	학술대회명	국내외 구분
2013.05	철근가공정보 생성을 위한 CAD시스템 개발	이경동	2013한국정밀공학회 춘계학술대회	국내
2014.02	스프링 백 현상을 고려한 철근 굽힘 공정에 대한 수치적 연구	최창환	대한기계학회 2014년도 신뢰성부문 춘계학술대회	국내
2014.09	철근 가공시스템의 자동화를 위한 철근 업로딩 시스템의 해석	신동우	한국생산제조시스템학회 2014년도 추계학술대회	국내
2014.11	철근 밴딩기 롤러의 피로파괴 CAE 해석	신유정	2014년 한국기계가공학회 추계학술대회	국내
2014.12	Fatigue Analysis of Roller of Rebar Bending Machine using DAFUL	김진호	2014 Tokyo international Conference on Engineering and Applied Science	국외
2015.02	일차원 부재의 효과적인 배치알고리즘 에 관한 연구	소범식	2015 한국 CAD/CAM 학회 동계학술대회	국내

나. 기술적성과(특허)

(1) 특허

(가) 특허종합

출원된 특허의 경우				
출원연도	특허명	출원인	출원국	출원번호
2012	원격 철근가공 방법	이성규	대한민국	10-2012-0157788
2013	부품 적재용 파레트	이성규	대한민국	10-2013-0007811
2014	양호한 확장성을 갖는 CAN 네트워크기반 철근가공시스템	이성규	대한민국	10-2014-0008138
2015	수치제어기반 통합형 철근가공시스템 및 처리방법	이성규	대한민국	10-2015-0018491

(나) 특허내용

1) 원격 철근가공방법

○ 해당 발명은 구조물을 시공하는 현장이 아닌 전문 철근 가공공장에서 현장 수요에 맞도록 철근을 자동으로 가공하여 공급할 수 있도록 하는 원격철근가공방법에 관한 것임.

○ 사무실에서 네트워크를 통해 수요처로부터 CAD도면을 기반으로 하는 철근의 가공 주문 받는 수요관리 단계와 상기 주무에 따라 철근 가공계획을 수립한 후 네트워크를 통해 원격지의 전문 가공 공장으로 전달하는 계획단계, 그리고 상기 가공 계획에 따라 자동으로 철근을 가공 및 적재하는 가공단계를 포함하는 것을 특징으로 함.

2) 부품 적재용 파레트

○ 해당 발명은 각종 철근 가공물의 적재 및 운반에 사용되는 파레트에 관한 것으로 파레트는 가공물을 적재하고 저면에 다수의 바퀴를 갖는 바닥판과 바닥판의 상부 각 모서리부의 관통공을 통하여 관통 결합하는 수직 포스트와 바닥판의 상면에 가로와 세로로 형성된 복수개의 삽입 홈들과 수직 포스트의 측면에 결합되어 가공물의 이탈을 방지하는 측면 보호대와 삽입 홈들과 결합하여 가공물의 크기와 형상에 따라 구획틀을 형성하는 복수개의 구획부재를 포함하는 것을 특징으로 함.

3) 양호한 확장성을 갖는 CAN 네트워크기반 철근가공시스템

○ 양호한 확장성을 갖는 캔 네트워크 기반 철근가공시스템은 캔 통신을 이용하여 캔

통신선을 통해 통신 버스 상에 데이터를 로딩함으로써, 철근 가공시스템 내의 각종 작업 유닛을 제어하는 메인 컨트롤러와 로더(loader), 밴딩기, 절단기, 언로더와 같은 각종 작업 유닛을 다수개 구비하고 이 작업 유닛을 이루는 본체부간에는 DC 파워케이블과 통신용 케이블을 병렬 연결하며, 상기 각각의 본체 부들간 네트워크를 구성하여 이들 네트워크 서버를 통해 캔 클라이언트가 PC로 데이터를 업 로딩 할 수 있는 것을 특징으로 함.

4) 수치제어기반 통합형 철근가공시스템 및 처리방법

○ 통합형 철근가공시스템을 제어하는 주제어기와; 철근을 적재하는 적재대와 , 프레임, 체인레일, 철근분할유닛, 크랭크축 계단상승유닛, 및 각도변환 바와 전진유닛을 포함하는 이송대 로딩유닛으로 구성된 계단식 로딩유닛과, 및 철근이송장치를 포함하는 철근계단식로딩 및 적재장치와; 절단기, 절단된 철근을 지정된 위치로 배출시키는 배출대, 및 절곡이 필요한 철근을 철근 절곡장치로 원활하게 공급하는 철근 컨베이어를 포함하는 철근절단 및 배출장치와; 및 일체형 용접구조로 형성된 적재대와 벤딩모듈 레일, 철근을 절곡하는 벤딩헤드, 상기 벤딩헤드로 철근을 자동공급하는 철근로딩장치, 및 철근을 고정시켜 절곡시 철근의 움직임을 최소화시켜주는 클램핑장치로 구성된 철근절곡(밴딩)장치를 포함하는 수치제어기반 통합형 철근가공시스템에 관한 것이다

4. 기술 실시 및 적용사례

가. 현장 적용성 평가

(1) 평가 방법

□ 평가 목적

○ 본 평가의 목적은 철근가공공장에서 가용중인 철근 절단기, 절곡기, 이송, 로딩, 언로딩 장치와 같은 철근 가공 장비와 KL TECH에서 개발한 철근가공 통합시스템의 현장 적용시 가공 성능을 비교/분석하는 것임.

□ 평가 항목

○ 가공시간(sec)
○ 잔재 발생량(kg)
○ 현장 투입 인력(명)
○ 인당생산량(kg/명)
○ 작업 소요 면적(m^2)

□ 평가 대상

○ 본 평가에서는 현재 ㈜협신철강 철근 가공 공장에서 사용 중인 철근자동 절단시스템

(KMC-60AS), 철근 자동 절곡시스템(KBS-25-5)과 기술개발을 통해 개발한 통합 철근 가공시스템의 현장에서의 철근 가공성능을 비교 평가하였음.

▷ 철근 자동 절단시스템(KMC-60AS)

○ 비교 평가 대상인 철근 자동 절단시스템의 주요 사양은 아래와 같음.

▷ 특징

○ 철근 공급대에 철근 장착 안전시스템이 적용되어 철근의 휘어짐을 방지하여 적재가 쉬움.

○ 기계 본체는 다단식 기어와 강력한 플라이휠로 구성되어 신속한 절단과 강력한 절단 능력을 나타냄.

○ 철근 절단시 미세한 치수까지 절단이 가능하도록 미세거리 조정게이지가 있음.

○ 스토퍼의 받치는 힘이 견고하여 철근 길이의 오차가 없음.

○ 양방향 배출이 가능하므로 작업 후 여러대의 절곡기에 분산하여 작업이 가능함.



< 철근 자동절단시스템(KMC-60AS) >

▷ 주요 사양

총소요전력량 (kw)	· 24kw	기계본체	7.5kw×1
		이송콘베이어	1.5kw×2
		공급테이블	1.5kw×4
		콤푸레샤	7.5kw×1
전원	· 220V / 380V 3상		
R P M	· 27rpm		
콘베이어 (이송)속도	· 49m/min		
칼날의 크기	· 300mm×100×50		
절단철근의 길이 (mm)	· 600 (min) ~ 12000 (max)		
철근공급속도	· 6.7m/min		
공급대 적재량 (kg)	· 6000kg		
기계의 크기 (L×W×H)	· 25,090mm×3,460×1,740		
기계의 무게 (kg)	· 10,000kg		

▷ 철근 자동 절곡시스템(KBS-25-5)

○ 비교 평가 대상인 철근 자동 절곡시스템의 주요 사양은 아래와 같음.

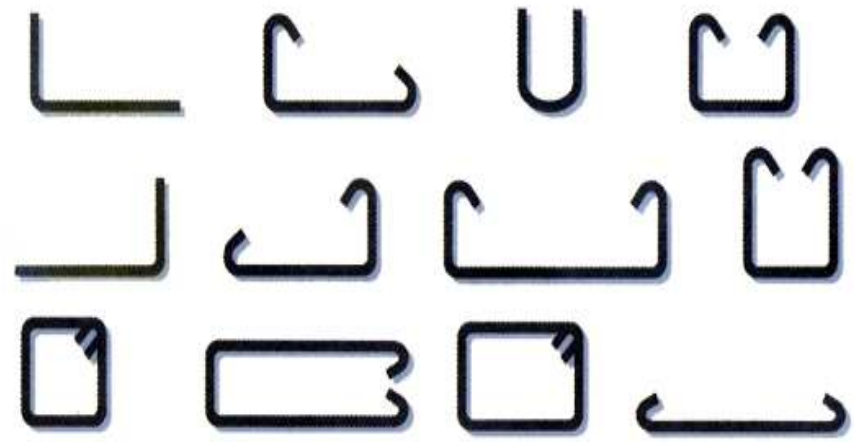
▷ 특징

○ 기존 수작업 대비 철근 절곡 생산성 향상 가능.
○ 작업 중 롤러 교체시 메인코트로 BOX까지 가지 않고 서브 컨트롤러로 간단하게 조작이 가능함.
○ 조작이 간단하여 미숙련공도 작업이 가능함.
○ 절곡가공형상의 변경이 용이함.
○ 기계의 국산화율이 100%로 부품의 공급과 A/S가 용이함.
○ 철근자동절곡시스템과 절단시스템의 연계가 가능함.
○ 헤드의 이동이 특수컨베이어로 부드럽게 이동이 가능함.

▷ 주요 사양

총소요전력량 (kw)	· 13.5 kw	기계본체	1.5 kw X 5
		공급대	0.75 kw X 1 1.5 kw X 1
		콤푸레사	3.75 kw X 1
전원	· 220V/380V 3상		
절곡능력	· D10~D25		
절곡각도	· ~ 180°		
작업속도	· 5sec/180° 6.3rpm		
작업대속도	· 5.49m/min		
공급대적재량	· 2,500kg		
교체로라종류	· Ø52, Ø62, Ø74, Ø84, Ø94		
기계의 크기(L×W×H)	· 10,000×2,400×1,400	길이(L):조정가능	
기계의 무게(kg)	· 5,000kg		

▷ 절곡가능형상의 종류



□ 평가 방법

▷ 가공시간

◇ 시험 방법

○ 철근의 가공형상에 따라 “절단공정”, “절단-절곡공정”으로 나누어 평가를 진행함.

- 철근 절단공정의 경우 철근의 가공스케줄링 시간, 업로딩 시간, 이송 및 절단시간, 배출시간으로 구분하여 측정함.
- 철근 절단-절곡공정의 경우 철근의 가공스케줄링 시간, 업로딩 시간, 이송 및 절단시간, 이송 및 절곡시간으로 구분하여 측정함.

◇ 시험 기준의 정의

○ 본 평가에서는 철근가공공정 중 다발의 철근을 작업대로 이송하는 공정은 두 장치 모두 동일한 시간이 소요되므로 평가대상에서 제외하였음.

○ 철근 가공 완료 후 배출, 검수 및 출하의 가공절차 역시 두 장비의 성능과 무관하므로 평가대상에서 제외하였음.

○ 비교 분석에 사용된 현재 협신철강 가공센터에서 가용중인 장비의 사용 규격을 기준으로 철근의 직경에 따른 동시가공본수를 두 장비 모두 동일하게 설정하여 시험을 진행함.

○ 또한 기존 가공방식에서 절곡공정을 1회로 제한하기 위해, 가공 철근의 형상은 4회이하의 절곡형상만을 대상으로 함. (기존 가공장비 방식은 2차 절곡공정을 위한 셋업과 가공시간이 과다하게 반영되므로 절곡횟수 4회이하 형상만을 대상으로 함.)

○ 가공스케줄링 시간

- 가공스케줄링 시간은 장비의 데이터 입력시간을 포함되나, 작업자나 환경에 따라 천차만별, 정량화하기 어려우므로 본 보고서의 가공시간 측정에서는 제외함.

○ 철근 업로딩 시간

- 작업대에서 철근의 절단장치 이송부로 철근을 옮기는 시간을 측정함.

○ 이송 및 절단시간

- 업로딩된 철근을 가공 길이에 따라 설정된 스토퍼의 위치까지 철근을 이송하여 절단하는데 소요되는 시간을 측정함.

○ 이송 및 절곡시간

- 절단공정을 마친 철근을 절곡 정보에 따라 설정된 스토퍼의 위치까지 철근을 이송하여 절곡하는데 소요되는 시간을 측정함.

○ 총 소요시간

- 철근의 업로딩에서 배출공정까지의 총 소요되는 시간을 합하여 산출함.

◇ 기존장비(협신철강KMC-60AS, KBS-25-5장비) 및 KL테크 개발장비 작업 소요시간 측정대상 공정 비교

공정	기존 시스템	개발 시스템
가공 스케줄링	수작업	자동배치 프로그램 및 자동 전송
철근 로딩	수작업	절단-절곡통합 철근가공장비
이송-절단	KMC-60AS장비	
이송-절곡	KBS-25-5장비	

▷ 잔재발생량

◇ 시험 방법

○ 각 회차별 철근 가공명세서의 작업량을 분석하여 기존 설비와 개발 시스템으로 동일한 작업량을 설정한 후 가공 공정을 진행함.

○ 기존 설비로 철근 가공 진행시 수동 스케줄링의 결과로 발생하는 잔재량을 잔재 발생량으로 나타낸다.

○ 개발시스템을 적용하여 기존 설비와 동일한 철근의 가공 형상과 작업량으로 철근 가공 진행시 자동 스케줄링에 의한 결과로 발생하는 잔재량을 잔재 발생량으로 나타낸다.

◇ 시험 기준 정의

○ 기존설비 및 개발시스템의 잔재발생량(kg)은 절단후 최종남은 량을 나타낸다.

▷ 현장투입인력

◇ 시험 방법

○ 철근 가공을 위한 전 과정에 있어 철근의 업로딩, 이송 및 절단, 이송 및 절곡, 배출 가공 공정에 투입된 인력을 측정 대상으로 정하여 육안으로 분석함.

○ 원자재 철근 다발의 이송 및 가공 후 검수, 출하 과정의 현장 인력은 기존 장비와 개발 시스템 모두 동일하기 때문에 산출 대상에서 제외함.

◇ 시험 기준 정의

○ 기존 설비와 개발 시스템 모두 위에서 명시한 평가 공정(철근 업로딩, 이송 및 절단, 이송 및 절곡, 배출)에 투입된 작업인력을 모두 합산하여 현장투입인력을 산출함.

▷ 인당생산량

◇ 시험 방법

○ 기존설비와 개발시스템의 각 회차별 철근가공명세서에 따른 가공 철근의 총 중량과 총 가공 소요시간, 작업 투입 인력을 분석하여 인당생산량을 산출함.

◇ 시험 기준 정의

○ 기존설비 및 개발시스템의 인당생산량은 아래와 같이 산출함.

$$\text{인당생산량(kg/명)} = \left(\frac{\text{가공 철근의 총 중량}\,(kg)}{\text{총 가공 소요 시간}\,(h)}\right) \div \text{총 투입 인력}$$

▷ 작업 수요 면적

◇ 시험 방법

○ 철근 가공 공정에 사용되는 설비면적과 작업자 작업면적, 그리고 철근 가공 중간과정에서 필요한 철근 적재를 위한 면적을 모두 합산하여 산출함.

◇ 시험 기준 정의

○ 설비면적, 작업자 면적, 적재면적으로 나누어 계산하며, 작업자 면적은 작업자 투입수와 비례하는 계산식을 적용하며, 적재 면적으로 가공 과정에서 적재해야할 철근의 양을 고려하여 현장에서 적용되는 경험적 팩터로 계산하여 설정함.

□ 평가 일정

○ 본 평가는 총 5회차로 구분하여 진행하였으며, 각 회차별 작업량이 상이하므로 평가 소요시간은 각 회차별 철근 가공명세서의 작업량을 완료하는 시점으로 마감함.

구분	평가 일자
평가 1회차	2014. 12. 06
평가 2회차	2014. 12. 13
평가 3회차	2014. 12. 20
평가 4회차	2014. 12. 27
평가 5회차	2015. 01. 10

(2) 현장적용성 평가 결과

□ 철근가공명세서(1회차)

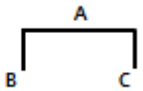
○ 개발시제품의 현장적용성 평가(1회차)는 실제 작업 현장의 배근도에 의해 생성된 철근 가공 명세서를 바탕으로 진행하였음.

○ 철근 가공정보 및 작업 수량은 아래 가공 출하 명세서에 나타나 있음.

가공 출하 명세서

출하일자	2014/12/08
거래처명	화성산업(주)
현 장 명	만촌 3차 화성파크(한철J)

협신철강가공센타
경상북도 영천시 대창면 사리리 687
TEL:054-336-2006 / FAX:054-336-2010

1	3					
						

NO	TYPE	부호	직경	A	B	C	D	E	F	G	길이	본수	중량	Loss	가공	출하
				H	I	J	K	L	M	N						
구조물명 : 104동, 가공부위 : 지상2층 벽체수평근-낮은바닥																
1	1		H10	8000							8,000	70	314			
2	1		H10	6540							6,540	20	73			
3	1		H10	5680							5,680	20	64			
4	1		H10	5240							5,240	18	53			
5	1		H10	5180							5,180	36	104			
6	1		H10	5160							5,160	20	58			
7	1		H10	4910							4,910	34	93			
8	1		H10	1500							1,500	160	130			
9	3		H10	1130	1990	1990					5,110	9	26			
10	1		H10	4000							4,000	20	45			

11	3		H10	1130	1890	1890					4,910	8	23			
12	3		H10	1130	1850	1850					4,830	8	22			
13	1		H10	3810							3,810	20	43			
14	1		H10	3720							3,720	16	33			
15	1		H10	3620							3,620	32	65			
16	1		H10	3570							3,570	20	40			
17	1		H10	3550							3,550	20	40			
18	3		H10	1130	1680	1680					4,490	10	25			
19	1		H10	3420							3,420	16	31			
20	1		H10	3290							3,290	36	66			
21	1		H10	3200							3,200	38	68			
22	1		H10	3130							3,130	20	35			
23	3		H10	1130	1440	1440					4,010	8	18			
24	3		H10	1130	1410	1410					3,950	10	22			

□ 현장적용성 테스트 결과(1회차)

▷가공시간

No	작업 본수	작업 공정						총 소요 시간 (s)	
		업로딩 (s)		이송 및 절단 (s)		이송 및 절곡 (s)			
		기존품	개발품	기존품	개발품	기존품	개발품	기존품	개발품
1	70	280	195	168	168	-		448	363
2	20	80	53	48	48	-	-	128	101
3	20	80	61	48	48	-	-	128	109
4	18	72	48	48	48	-	-	120	96
5	36	144	96	96	96	-	-	240	192
6	20	80	66	48	48	-	-	128	114
7	34	136	114	84	84	-	-	220	198
8	160	640	420	480	480	-	-	1,120	900
9	9	36	26	24	24	66	24	126	74
10	20	80	49	48	48	-	-	128	97
11	8	32	21	24	24	66	31	122	76
12	8	32	19	24	24	66	27	122	70
13	20	80	45	48	48	-	-	128	93
14	16	64	42	48	48	-	-	112	90
15	32	128	94	84	84	-	-	212	178
16	20	80	58	48	48	-	-	128	106
17	20	80	55	48	48	-	-	128	103
18	10	40	25	24	24	88	37	152	86
19	16	64	41	48	48	-	-	112	89
20	36	144	106	96	96	-	-	240	202
21	38	152	104	96	96	-	-	248	200
22	20	80	56	48	48	-	-	128	104
23	8	32	20	24	24	66	30	122	74
24	10	40	23	24	24	88	39	152	86
합 계		2,676	1,837	1,776	1,776	440	188	4,892	3,801

▷잔재발생량

원자재 총 중량(kg)	잔재발생량	
	기존 현장 장비(kg)	개발 시제품(kg)
1,400kg	98kg	69.3kg

▷현장 투입 인력

작업 공정					
업로딩 및 이송/절단(명)		이송/절곡 및 언로딩(명)		총 투입 인력	
기존품	개발품	기존품	개발품	기존품	개발품
2	1	3	2	5	3

▷인당생산량

인당생산량	
기존 현장 장비(kg/h)	개발 시제품(kg/h)
1491/(4892/3600)/5 = 219.4kg/h/man	1491/(3801/3600)/3 = 470.7kg/h/man

▷공간 면적

공간면적	
기존 현장 장비(m^2)	개발 시제품(m^2)
151 m^2	102 m^2

□ 철근가공명세서(2회차)

○ 철근 가공정보 및 작업 수량은 아래 가공 출하 명세서에 나타나 있음.

가공 출하 명세서

출하일자	2014/12/15
거래처명	대우건설
현 장 명	경산푸르지오(동국 J)

협신철강가공센타
경상북도 영천시 대창면 사리리 687
TEL:054-336-2006 / FAX:054-336-2010

1	2					
	A B					

NO	TYPE	부호	직경	A H	B I	C J	D K	E L	F M	G N	길이	본수	중량	Loss	가공	출하
구조물명 : 109동, 가공부위 : 1층 슬래브 하부																
1	1	하부	H10	2700							2,700	220	50			
2	1	하부	H10	1900							1,900	200	40			
3	2	하부	H10	1490	210						1,700	2	3			
4	1	하부	H10	1400							1,400	210	32			
5	2	하부	H10	7840	160						8,000	21	95			
6	1	하부	H10	8000							8,000	96	430			
7	2	하부	H10	3540	160						3,700	10	21			
8	2	하부	H10	3440	160						3,600	12	24			
9	2	하부	H10	3340	160						3,500	13	23			
10	2	하부	H10	3140	160						3,300	5	9			
11	2	하부	H10	2940	160						3,100	13	23			

12	2	하부	H10	2740	160						2,900	10	16			
13	2	하부	H10	2640	160						2,800	25	39			
14	2	하부	H10	2540	160						2,700	9	14			
15	2	하부	H10	2440	160						2,600	6	9			
16	2	하부	H10	2340	160						2,500	29	41			
17	1	하부	H10	2000							2,000	350	390			
18	2	하부	H10	1640	160						1,800	4	4			
19	2	하부	H10	1540	160						1,700	4	4			
20	1	하부	H10	1500							1,500	100	101			
21	2	하부	H10	1040	160						1,200	9	8			
22	2	하부	H10	940	160						1,100	19	12			
23	2	하부	H10	840	160						1,000	19	11			
24	2	하부	H10	740	160						900	19	11			

□ 현장적용성 테스트 결과(2회차)

▷가공시간

No	작업 본수	작업 공정							
		업로딩 (s)		이송 및 절단 (s)		이송 및 절곡 (s)		총 소요 시간 (s)	
		기존품	개발품	기존품	개발품	기존품	개발품	기존품	개발품
1	220	880	616	528	528	-	-	1,408	1,144
2	200	800	560	480	480	-	-	1,280	1,040
3	2	8	6	12	12	22	13	42	31
4	210	840	588	504	504	0	-	1,344	1,092
5	21	84	59	60	60	154	68	298	187
6	96	384	269	240	240	0	-	624	509
7	10	40	28	24	24	88	36	152	88
8	12	48	34	36	36	88	37	172	107
9	13	52	37	36	36	110	48	198	121
10	5	20	14	12	12	44	20	76	46
11	13	52	37	36	36	110	44	198	117
12	10	40	28	24	24	88	36	152	88
13	25	100	70	60	60	168	68	328	198
14	9	36	26	24	24	66	27	126	77
15	6	24	17	24	24	44	18	92	59
16	29	116	82	72	72	210	84	398	238
17	350	1400	980	840	840	0	-	2,240	1,820
18	4	16	12	12	12	44	18	72	42
19	4	16	12	12	12	44	18	72	42
20	100	400	280	240	240	0	-	640	520
21	9	36	26	24	24	66	27	126	77
22	19	76	54	48	48	125	62	249	164
23	19	76	54	48	48	125	62	249	164
24	19	76	54	48	48	125	62	249	164
합 계		5,620	3,943	3,444	3,444	1,721	748	10,785	8,135

▷잔재발생량

원자재 총 중량(kg)	잔재발생량	
	기존 현장 장비(kg)	개발 시제품(kg)
1,410	65.3kg	5.6kg

▷현장 투입 인력

작업 공정					
업로딩 및 이송/절단(명)		이송/절곡 및 언로딩(명)		총 투입 인력	
기존품	개발품	기존품	개발품	기존품	개발품
2	1	3	2	5	3

▷인당생산량

인당생산량	
기존 현장 장비(kg/h)	개발 시제품(kg/h)
1410/(10785/3600)/5 = 94.1kg/h/man	1410/(8135/3600)/3 = 207.9kg/h/man

▷공간 면적

공간면적	
기존 현장 장비(m^2)	개발 시제품(m^2)
165 m^2	102 m^2

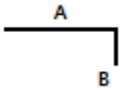
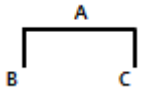
□ 철근가공명세서(3회차)

○ 철근 가공정보 및 작업 수량은 아래 가공 출하 명세서에 나타나 있음.

가공 출하 명세서

출하일자	2014/12/22
거래처명	대우건설
현 장 명	경산푸르지오(동국 J)

협신철강가공센타
경상북도 영천시 대창면 사리리 687
TEL:054-336-2006 / FAX:054-336-2010

1	2	3				
						

NO	TYPE	부호	직경	A H	B I	C J	D K	E L	F M	G N	길이	본수	중량	Loss	가공	출하
구조물명 : 109동, 가공부위 : 19층 슬래브 하부																
1	1	하부	H13	2700							2,700	2	9			
2	1	하부	H13	1900							1,900	2	7			
3	2	하부	H13	1490	210						1,700	2	5			
4	1	하부	H13	1400							1,400	2	5			
5	2	하부	H13	7840	160						8,000	21	169			
6	1	하부	H13	8000							8,000	96	764			
7	2	하부	H13	6240	160						6,400	17	108			
8	2	하부	H13	5640	160						5,800	6	34			
9	2	하부	H13	5440	160						5,600	5	28			
10	2	하부	H13	4740	160						4,900	2	9			

11	2	하부	H13	4640	160						4,800	15	71			
12	2	하부	H13	4540	160						4,700	3	14			
13	2	하부	H13	3840	160						4,000	18	71			
14	1	하부	H13	3700							3,700	100	373			
15	2	하부	H13	3440	160						3,600	12	43			
16	1	하부	H13	3500							3,500	37	130			
17	2	하부	H13	3140	160						3,300	5	16			
18	2	하부	H13	2940	160						3,100	13	41			
19	1	하부	H13	2900							2,900	100	284			
20	2	하부	H13	2640	160						2,800	25	69			
21	1	하부	H13	2700							2,700	9	25			
22	1	하부	H13	1300							1,300	120	160			
23	2	하부	H13	1540	160						1,700	4	7			
24	3	하부	H13	1200	160	160					1,520	3	5			

□ 현장적용성 테스트 결과(3회차)

▷가공시간

No	작업 본수	작업 공정							
		업로딩 (s)		이송 및 절단 (s)		이송 및 절곡 (s)		총 소요 시간 (s)	
		기존품	개발품	기존품	개발품	기존품	개발품	기존품	개발품
1	2	8	6	12	12	-	-	20	18
2	2	8	6	12	12	-	-	20	18
3	2	8	6	12	12	22	15	42	33
4	2	8	6	12	12	-	-	20	18
5	21	84	59	60	60	144	96	288	215
6	96	384	269	240	240	-	-	624	509
7	17	68	48	48	48	122	84	238	180
8	6	24	17	24	24	44	29	92	70
9	5	20	14	12	12	44	29	76	55
10	2	8	6	12	12	22	16	42	34
11	15	60	42	36	36	110	68	206	146
12	3	12	9	12	12	22	14	46	35
13	18	72	51	48	48	132	82	252	181
14	100	400	280	240	240	-	-	640	520
15	12	48	34	36	36	88	53	172	123
16	37	148	104	96	96	-	-	244	200
17	5	20	14	12	12	44	29	76	55
18	13	52	37	36	36	110	68	198	141
19	100	400	280	240	240	-	-	640	520
20	25	1832	1283	60	60	178	125	2,070	1,468
21	9	36	26	24	24	-	-	60	50
22	120	480	336	288	288	-	-	768	624
23	4	16	12	12	12	44	28	72	52
24	3	12	9	12	12	25	18	49	39
합 계		4,208	2,954	1,596	1,596	1,151	754	6,955	5,304

▷잔재발생량

원자재 총 중량(kg)	잔재발생량	
	기존 현장 장비(kg)	개발 시제품(kg)
2,447	189.6kg	102.7kg

▷현장 투입 인력

작업 공정					
업로딩 및 이송/절단(명)		이송/절곡 및 언로딩(명)		총 투입 인력	
기존품	개발품	기존품	개발품	기존품	개발품
2	1	3	2	5	3

▷인당생산량

인당생산량	
기존 현장 장비(kg/h)	개발 시제품(kg/h)
2447/(6955/3600)/5 = 253.3kg/h/man	2447/(5304/3600)/3 = 553.6kg/h/man

▷공간 면적

공간면적	
기존 현장 장비(m^2)	개발 시제품(m^2)
161 m^2	102 m^2

□ 철근가공명세서(4회차)

○ 철근 가공정보 및 작업 수량은 아래 가공 출하 명세서에 나타나 있음.

가공 출하 명세서

출하일자	2014/12/29
거래처명	화성산업(주)
현 장 명	만촌3차 화성파크(한철 J)

협신철강가공센타
경상북도 영천시 대창면 사리리 687
TEL:054-336-2006 / FAX:054-336-2010

1	2	3				
	A B	A B C				

NO	TYPE	부호	직경	A H	B I	C J	D K	E L	F M	G N	길이	본수	중량	Loss	가공	출하
구조물명 : 102동 주변, 가공부위 : 지상1층 데두리보																
1	2		H13	7590	410						8,000	3	24			
2	1		H13	8000							8,000	2	20			
3	1		H13	7700							7,700	30	227			
4	2		H13	7290	410						7,700	5	38			
5	2		H13	7190	410						7,600	5	37			
6	2		H13	6990	410						7,400	17	123			
7	2		H13	7590	410						8,000	9	71			
8	2		H13	6890	410						7,300	3	21			
9	2		H13	6290	410						6,700	13	86			
10	2		H13	5690	410						6,100	5	30			

11	2		H13	5490	410						5,900	5	29			
12	1		H13	5600							5,600	20	110			
13	1		H13	5400							5,400	10	53			
14	1		H13	5200							5,200	6	31			
15	2		H13	4590	410						5,000	20	99			
16	1		H13	5000							5,000	6	29			
17	1		H13	4800							4,800	13	76			
18	2		H13	3990	410						4,400	5	22			
19	3		H13	4010	300	300					4,610	6	27			
20	3		H13	3940	300	300					4,540	6	27			
21	3		H13	825	300	300					1,425	31	44			
22	3		H13	625	300	300					1,225	26	33			
23	3		H13	520	300	300					1,120	16	18			
24	3		H13	720	300	300					1,320	78	102			

□ 현장적용성 테스트 결과(4회차)

▷가공시간

No	작업 본수	작업 공정							
		업로딩 (s)		이송 및 절단 (s)		이송 및 절곡 (s)		총 소요 시간 (s)	
		기존품	개발품	기존품	개발품	기존품	개발품	기존품	개발품
1	3	12	9	12	12	66	42	90	63
2	2	8	6	12	12	-	-	20	18
3	30	120	84	72	72	-	-	192	156
4	5	20	14	12	12	110	66	142	92
5	5	20	14	12	12	110	66	142	92
6	17	68	48	48	48	374	225	490	321
7	9	36	26	24	24	198	119	258	169
8	3	12	9	12	12	66	40	90	61
9	13	52	37	36	36	286	172	374	245
10	5	20	14	12	12	110	66	142	92
11	5	20	14	12	12	110	66	142	92
12	20	80	56	48	48	-	-	128	104
13	10	40	28	24	24	-	-	64	52
14	6	24	17	24	24	-	-	48	41
15	20	80	56	48	48	432	264	560	368
16	6	24	17	24	24	-	-	48	41
17	13	52	37	36	36	-	-	88	73
18	5	20	14	12	12	110	66	142	92
19	6	24	17	24	24	168	101	216	142
20	6	24	17	24	24	168	101	216	142
21	31	124	87	84	84	838	521	1,046	692
22	26	104	73	72	72	708	437	884	582
23	16	64	45	48	48	443	269	555	362
24	78	312	219	192	192	2084	1434	2,588	1,845
합 계		1,360	958	924	924	6,381	4,055	8,665	5,937

▷잔재발생량

원자재 총 중량(kg)	잔재발생량	
	기존 현장 장비(kg)	개발 시제품(kg)
3,691kg	247.3kg	103.3kg

▷현장 투입 인력

작업 공정					
업로딩 및 이송/절단(명)		이송/절곡 및 언로딩(명)		총 투입 인력	
기존품	개발품	기존품	개발품	기존품	개발품
2	1	3	2	5	3

▷인당생산량

인당생산량	
기존 현장 장비(kg/h)	개발 시제품(kg/h)
1377/(8665/3600)/5 = 114.4kg/h/man	1377/(5937/3600)/3 = 278.3kg/h/man

▷공간 면적

공간면적	
기존 현장 장비(m^2)	개발 시제품(m^2)
162 m^2	102 m^2

□ 철근가공명세서(5회차)

○ 철근 가공정보 및 작업 수량은 아래 가공 출하 명세서에 나타나 있음.

가공 출하 명세서

출하일자	2015/01/12
거래처명	화성산업(주)
현 장 명	만촌3차 화성파크(한철 J)

협신철강가공센타
경상북도 영천시 대창면 사리리 687
TEL:054-336-2006 / FAX:054-336-2010

1	2	3	4			
	A B	A B C				

NO	TYPE	부호	직경	A H	B I	C J	D K	E L	F M	G N	길이	본수	중량	Loss	가공	출하
구조물명 : 102동 주변, 가공부위 : 지상1층 데두리보																
1	2		H16	8290	410						8,700	5	68			
2	2		H16	8190	410						8,600	5	67			
3	2		H16	7990	410						8,400	17	223			
4	1		H16	8000							8,000	18	230			
5	2		H16	6890	410						7,300	3	34			
6	2		H16	6290	410						6,700	13	137			
7	2		H16	5690	410						6,100	5	48			
8	2		H16	5490	410						5,900	5	46			
9	1		H16	5600							5,600	22	192			
10	1		H16	5400							5,400	10	85			

11	1		H16	5200							5,200	6	49			
12	2		H16	4590	410						5,000	10	78			
13	1		H16	5000							5,000	40	314			
14	1		H16	4800							4,800	13	120			
15	2		H16	3990	410						4,400	5	34			
16	3		H16	4010	300	300					4,610	6	43			
17	3		H16	3940	300	300					4,540	6	42			
18	3		H16	825	110	110					1,045	31	50			
19	3		H16	625	110	110					845	26	34			
20	3		H16	520	110	110					740	163	188			
21	3		H16	720	110	110					940	78	118			
22	4		H16	540	520	520	80	80			1,740	8	22			
23	4		H16	540	150	150	80	80			1,000	12	19			
24	4		H16	540	300	300	80	80			1,300	26	72			

□ 현장적용성 테스트 결과(5회차)

▷가공시간

No	작업 본수	작업 공정							
		업로딩 (s)		이송 및 절단 (s)		이송 및 절곡 (s)		총 소요 시간 (s)	
		기존품	개발품	기존품	개발품	기존품	개발품	기존품	개발품
1	5	20	14	12	12	110	68	142	94
2	5	20	14	12	12	110	68	142	94
3	17	68	48	48	48	374	227	490	323
4	18	72	51	48	48	-	0	120	99
5	3	12	9	12	12	66	42	90	63
6	13	52	37	36	36	286	174	374	247
7	5	20	14	12	12	110	68	142	94
8	5	20	14	12	12	110	68	142	94
9	22	88	62	60	60	-	0	148	122
10	10	40	28	24	24	-	0	64	52
11	6	24	17	24	24	-	0	48	41
12	10	40	28	24	24	220	134	284	186
13	40	160	112	96	96	-	0	256	208
14	13	52	37	36	36	-	0	88	73
15	5	20	14	12	12	110	68	142	94
16	6	24	17	24	24	150	92	198	133
17	6	24	17	24	24	168	103	216	144
18	31	124	87	84	84	768	523	976	694
19	26	104	73	72	72	728	439	904	584
20	163	652	457	396	396	3564	2739	4,612	3,592
21	78	312	219	192	192	2184	1311	2,688	1,722
22	8	32	23	24	24	248	151	304	198
23	12	48	34	36	36	372	224	456	294
24	26	104	73	72	72	792	484	968	629
합 계		2,132	1,499	1,392	1,392	10,470	6,983	13,994	9,874

▷잔재발생량

원자재 총 중량(kg)	잔재발생량	
	기존 현장 장비(kg)	개발 시제품(kg)
3,736kg	134.5kg	44.8kg

▷현장 투입 인력

작업 공정					
업로딩 및 이송/절단(명)		이송/절곡 및 언로딩(명)		총 투입 인력	
기존품	개발품	기존품	개발품	기존품	개발품
2	1	3	2	5	3

▷인당생산량

인당생산량	
기존 현장 장비(kg/h)	개발 시제품(kg/h)
2313/(13994/3600)/5 = 119kg/h/man	2313/(9874/3600)/3 = 281.1kg/h/man

▷공간 면적

공간면적	
기존 현장 장비(m^2)	개발 시제품(m^2)
171 m^2	102 m^2

(3) 결론

□ 시스템 도입에 따른 생산성

검토항목	(주)협신 시스템	개발 시스템	변화율
가공시간(sec)	4,892	3,801	(45291-33051)/45291 * 100 **27% ↓**
	10,785	8,135	
	6,955	5,304	
	8,665	5,937	
	13,994	9,874	
소계	45,291	33,051	
잔재발생율(%)	98	69.3	(732.9-325.7)/732.9 * 100 **55.5% ↓**
	63.5	5.6	
	189.6	102.7	
	247.3	103.3	
	134.5	44.8	
소계	732.9	325.7	
현장투입인력(명)	5	3	(25-15)/25 * 100 **40% ↓**
	5	3	
	5	3	
	5	3	
	5	3	
소계	25	15	
인당생산량(kg/명)	219.4	470.7	(1791-800)/800 * 100 **123% ↑**
	94.1	207.9	
	253.3	553.6	
	114.4	278.3	
	119	281.1	
소계	800.2	1,791.6	
작업소요면적(m^2)	151	102	(810-510)/810 * 100 **37% ↓**
	165	102	
	161	102	
	162	102	
	171	102	
소계	810	510	

□ 고찰

○ 장비가 적용되는 경우 인력투입효율, 생산량 등 에서 30% 이상의 생산성 향상이 예상되나 아래와 항목에 대해서는 추가적으로 검토할 필요가 있음.

(1) 가공해야할 종류가 많은 경우 또는 절곡이 많이 포함되는 경우에는 생산성을 효과적으로 높일 수 있으나, 바형태의 단순한 절단위주의 형상가공에서는 기존 시스템과의 비교우위가 제한적일 수 있음.

(2) 개발시스템은 절단-절곡 시스템이 일체형이므로 기존 방식보다 효율은 높으나 유연성이 낮을 수 있음.
- 장비가 연동되어 있기 때문에 장비의 한부분이 고장나는 경우 전체를 사용할 수 없음. (절곡부위가 고장나면 절단도 사용 불가)
- 정형 크기의 계획적인 물량 가공에는 효율을 높이기 쉬운 반면, 기존의 잔재를 재사용하거나 일부 절단 공정만 집중적으로 하는 경우에는 효율이 높지 않음.

통합형 장비라도 향후에는 절단/절곡 개별 활용이 가능하도록 검토 필요

(4) 평가업체

천원

기업명	㈜ 협신철강가공센터		
실무 책임자	□ 성명 : 조우석 □ 전화 : 054-336-2006 □ 휴대전화 : 010-6531-1591 □ e-Mail :sonypo@hanmail.net		
설립년월일	1997.10.22	상시근로자수	25
사업자등록번호	505-81-14328	법인등록번호	174711-0007331
총매출액	5,093	수출비율(%)	0
수출액	0		
주요 매출품목	건축용 철근 가공, 토목용 철근 가공		
부채총계	1,896	부채비율(%)	316%
자본총계	600		
자산총계	1,270	자기자본비율(%)	47%
영업이익	386	매출액 영업이익율(%)	7.5%
매 출 액	5,093		
R&D 투자액	1.6	R&D 투자비율(%)	0.03%
전년도 수출액	0		
유동자산	1,559	당좌비율(%)	153%
유동부채	978		
재고자산	66	유동비율(%)	159%
당기매출액	5,093	매출액증가율(%)	41.7%
전기매출액	3,593		

(5) 전문기관 활용

○ 개발 장비는 철근가공과 CAD/CAM시스템은 철근가공에 필요한 설계/가공의 다양한 기능을 통합적으로 제공하는 하드웨어와 소프트웨어의 통합장비로 최종 기능의 실행을 위해서는 부가적이고 특수적인 기능을 포함한 다양한 기능들이 동시에 개발/적용되어야 함.

○ 철근가공 CAD/CAM 통합 장비의 개발은 상대적으로 2~3년의 짧은 기간에 개발을 완료하기 위해서는 해당 분야에 대한 전문가의 컨설팅 및 현장검증이 필요함

○ 또한 하드웨어와 소프트웨어의 특성상 물질적으로 나타나지 않는 지적 재산권이기 때문에 이를 정량적으로 판단하기가 매우 어려워 이를 정량적 판단근거에 대한 제안을 전문가로부터 컨설팅을 받고 지금까지 제작된 하드웨어와 S/W에 대한 의견을 받아 사업화에 반영하고자 함.

5. 기술개발 성과의 국내외 시장 전망

가. 철근가공산업의 최근동향

(1) 공장가공의 필요성

○ 오늘날 건설공사 중 철근공사는 보다 다양해진 설계로 인하여 복잡 다양해 지고 있음.

○ 특히 도심지 내의 건설현장은 협소한 가공장 확보의 어려움과 각종 환경규제로 인하여 현장 내에서의 철근 가공작업 시 많은 문제점이 발생하고 있음.

○ 이러한 문제점을 보완하고 향상시키기 위해서는 철근시공도의 표준화 및 이와 관련된 공장자동화 철근가공 기술을 바탕으로 자재절감, 인력절감 및 품질과 생산성의 향상을 기하여 공기단축 및 경제성 향상 등 효율을 높임으로서 국내 건설시장의 해외 개방화에 대비한 경쟁력 강화로 건설기술의 선진화를 이룰 수 있어야 함.

○ 철근 시공도에 의한 정밀시공 시 정밀가공 작업이 선행조건 임

○ 정확한 시공도 및 가공도 추출

○ 최적의 정척도출로 자재의 Loss 최소화

○ 인력 및 자재절감을 통한 경제성 확보

○ 자동 가공설비에 의한 정밀 가공납품

○ 자동화로 인하여 숙련된 기능공 부족 해결

○ 철근시공도의 표준화 기반구축

○ 철근공사 공정의 전문화 및 계획적인 시공관리

○ 철근 가공조립의 시공성 향상 및 조립 시 문제발생 요인 감소

○ 정부주도 공사발주 시 발주처에서 표준화된 시스템에 의한 고품질의 철근공사 요구

○ 자동화 가공설비에 의한 정확한 규격의 철근가공 요구

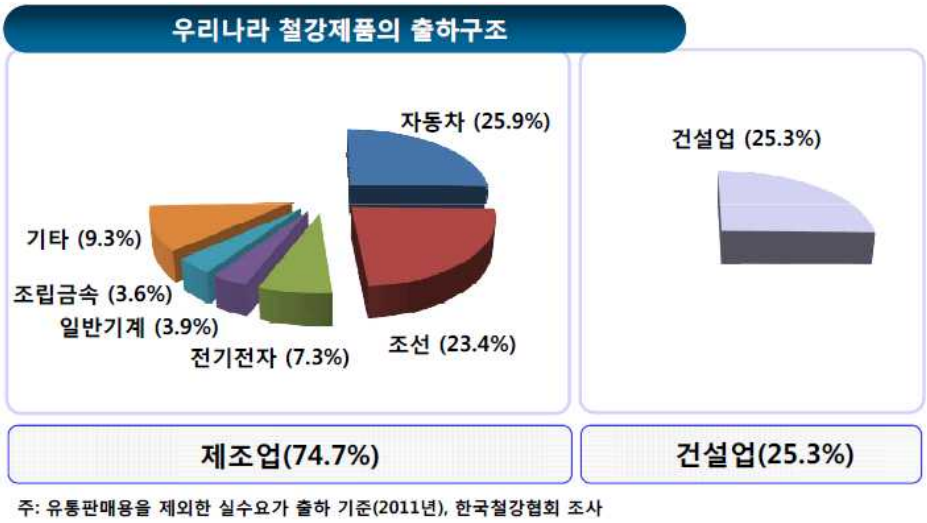
○ 사전계획에 의한 선가공이 가능하여 대형공사 시공 시 철근의 가공시간을 줄임으로서 공기단축

○ 산재된 현장의 경우 총괄적 주문, 가공, 납품으로 자재관리가 용이함

○ 도심지 작업 시 발생할 수 있는 민원 등과 현장 작업시 발생할 수 있는 각종 환경규제 등을 피할 수 있음.

○ 현장관리가 어려워 소모되는 스크랩의 100% 재활용

(2) 철근 공장자동화 가공산업 최근 동향



주: 유통판매용을 제외한 실수요가 출하 기준(2011년), 한국철강협회 조사

○ 가공철근의 비중은 20~30% 정도로 볼 수 있으며 최근 현장가공에 비해 공장가공이 늘고 있다는 점은 누구나 인정하는 부분임.

○ 한편 한국철근가공업협동조합(이사장 유제철)의 조사에 의하면 조합 소속 업체는 전국에 30여 개, 조합 비소속 업체는 전국에 90여 개가 분포해 약 120여 개 업체가 철근 가공시장에서 사업을 영위하는 것으로 알려졌음.

○ 일본은 이미 철근 가공산업이 대세로 자리 잡았음.

○ 오늘날 건설공사 중 철근공사는 보다 다양해진 설계로 인하여 복잡 다양해 지고 있음.

특히 도심지 내의 건설현장은 협소한 가공장 확보의 어려움과 각종 환경규제로 인하여 현장 내에서의 철근 가공작업 시 많은 문제점이 발생하고 있음.

○ 이러한 문제점을 보완하고 향상시키기 위해서는 철근시공도의 표준화 및 이와 관련된 공장자동화 철근가공 기술을 바탕으로 자재절감, 인력절감 및 품질과 생산성의 향상을 기하여 공기단축 및 경제성 향상 등 효율을 높임으로서 국내 건설시장의 해외 개방화에 대비한 경쟁력 강화로 건설기술의 선진화를 이룰 수 있어야 함.

○ 선진국에선 90%이상 철근공장가공를 실시 하고 있으며 국내 철근 가공공장은 대략 100여개 업체 중 월/3,000Ton이상 가능 공장은 전국 3~40여 개 업체에 이르고 있음.

구분(연간)	건 축	토 목
철근 / TON	약 180만 / TON	약 120만 / TON
공장가공 생산 / TON	약 36만 / TON	약 84만 / TON
비율	20%	70%
기계식이음(커플러)	약 120만 개소	약 180만 개소

(3) 철강가공산업 주요 업체동향

(가) 경쟁기업의 주요현황

○ 철강산업은 상대적 높은 경쟁구조에 노출되어 있으며 과거 기업史에서 지속성장을 이룬 기업은 극소수에 불과함.

○ 글로벌 기업의 생존율은 14%, 평균 수명은 13년에 불과

○ 철강기업도 지난 30여 년간 생존율 절반 하회

○ 산업에서의 인력비중과 생산방식의 변화로 인해 기업의 생존율이 크게 바뀌고 있음

○ 철근가공 산업이 기존의 자본, 규모, 인력중심에서 기술기반의 산업으로 전환되고 있음



(나) 국내 철근산업

○ 기전산업 : 이태리 슈넬사의 최신 가공설비의 경우 가공속도가 기존설비에 비해 4배 이상 빠르고, 보다 다양한 형상으로 가공이 가능함.

○ 극동산업 : 현장별 아이디와 패스워드로 현장 내 가공현황 파악 용이 국내 최대용량의 절단기 도입(22mm의 철근 20본 동시 절단 가능)

○ 모아바 : EasyBar는 철근가공관리를 위한 어플리케이션으로서 클라이언트/서버 형태로 개발되어 네트워크 상에서 다수의 사용자가 동시에 업무를 수행 할 수 있슴. 특히 통합 데이터베이스는 네트워크를 통해 철근가공과 관련된 모든 정보를 실시간으로 제공하고 있어 효율적인 업무 수행이 가능. (Barlist의 자동 추출, 최적의 정적도출, 다양한 보고서 창출가능)

○ 창신기업 : 최소의 인원으로 보다 많은 철근을 짧은 시간에 안전하고 균일하게 작업함을 목적으로 설계(철근투입 CONBEYER (UNLODING CONVEYER), CUTTING M/C (HYDRAULIC REBAR SHIEALING M/C), 소재 CONVEYOR (FEEDING CONVEYOR

W/T 10M), BENDER M/C 35Φ, 45Φ, 60Φ)

○ 대도스틸 : 공사 및 고객 관리, 바-리스트 자동 산출 , 최적의 가공을 위한 정적 도출, 일일 생산계획 및 생산 실적관리, 생산계획 이월, TAG 출력, 출하 및 반품 관리, 입고, 투입에 대한 재고 관리, 가공비, 운송비 등의 기성산출 등의 관리시스템

○ 디피피아 : 업계 최초, 가공관리시스템(BMS:Bar Management System) 개발. 디바피아의 신규 관리프로그램인 BMS는 기존의 단순 물량산출 수준에서 벗어나 원자재 입고에서부터 완성품 출하까지 전 공정을 관리하는 전산프로그램임. Bar Code System을 적용하여 정확한 물량출하와 송장생성이 가능 가공진행 상황의 모니터링, 전 공정의 진행상황을 모든 고객이 웹에서 확인 가능

○ 대한제강 : 철근 생산에서 가공·배송·현장관리까지 일괄 처리하는 시스템으로서 건설현장의 철근 공급경로는 일반적으로 건설사의 도면설계→도급업자의 시공상세도(Shop Drawing·실질적으로 시공을 위해 부분별로 상세하게 그린 도면) 작성→건설사의 철근 주문→제강사의 철근 생산 →가공업체 작업→현장 조립

○ 린건설 (웹 기반 분산형 린건설 정보시스템 개발) 건설 프로젝트에서 자재조달과정은 개선이 필요한 대표 프로세스라 할 수 있으며, 철근공사는 금액비중이 크고, 공정 측면에서도 주공정(Critical Path)에 속해 시설물의 구조적 안전성과도 직결되는 주요 관리대상임. 공장가공 환경에서 철근공사 관련 주체들이 요구하는 업무지원시스템을 개발

나. 시장분석 분석

(1) 개요

○ 철강산업은 최근 한국과 중국을 중심으로 지배력이 증대되고 있으며 특히 한국은 철강산업은 불모지에서 비약적 성장을 하였음.

○ 철강산업은 한국 산업발전의 초석('70~'80년대 초고속 성장)이며 세계 유례없는 고속 성장을 이루어 내었고 특히, 자동차, 조선 등 철강수요산업과 동반 성장을 이루었음.

○ 철강은 기능이 다양하고 친환경적인 소재로서 뛰어난 기계적 특성, 가공성, 내식성 등으로 다양한 산업분야에 광범위하게 적용 가능하며 타 소재에 비해 재활용성이 가장 우수함.

○ 국가별 세계 생산(조강기준) 및 수출(최종재)에서 6위 점유하고 있으며, 고부가가치 판재류 제품에서 높은 경쟁력 확보하고 있음.

○ 철강의 생산과 소비량은 중국이 1위를 차지하고 있으며 한국의 경우 1인당 연간 철강소비량이 세계 1위(2011년, 1,165Kg)를 차지하고 있음.

○ 환경관련된 철강산업 이슈를 살펴보면, 철강산업에 대한 온실가스 규제 현실화되어 있음.

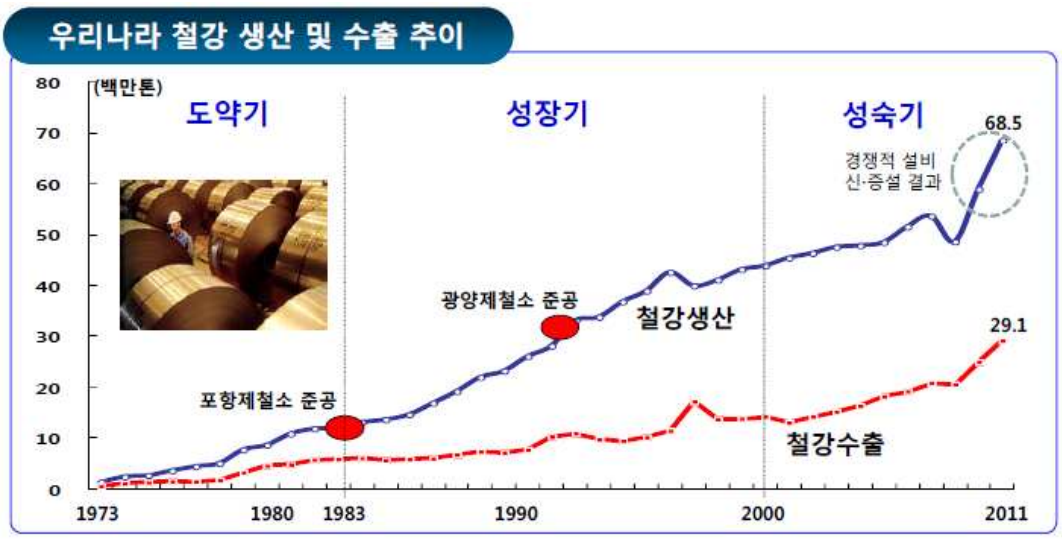
○ 환경 Cost 부담 지속 증가 가운데, 철강사간 주요 경쟁요소로 부상함.

○ 글로벌 경제는 저성장 국면이 지속되고, 철강재 수요 부진도 2013년까지 이어질 전망.

○ 반면 중국 공급과잉 폭은 더욱 늘어나고, 국내 역시 철강사들의 대규모 설비 증설이 마무리되면서 2013~14년 에 수급 불균형이 다시 나타날 가능성이 높음.

○ 철강 수요가 소폭 증가하고 2012년 노후화된 생산 시설이 일부 정리 되었음에도 불구하고 개발도상국을 중심으로 한 신규 생산 시설의 증가로 글로벌 철강산업의 공급 과잉은 1년 전에 비해 더 늘어난 것으로 나타났슴.

○ 2013년 철강기업들이 직면한 가장 큰 도전과제는 기업가치와 비용 경쟁력을 유지하는 것이며 이를 위해서는 새로운 운영 환경에 대비하기 위한 최적의 준비가 되어있는지 평가하고 대응해야 함.



(2) 사업매력도

○ 높은 기술력이 필요한 진입장벽이 높은 산업으로서 연구개발 성공적 완수 시 철근 가공 산업에서의 파급효과는 클 것으로 판단됨(산업매력도 上)

성장성	수익성	안정성	종합
최근 성장이 다소 둔화되었으나 2000년대 이후 성숙기 진입에도 불구, 중국 효과로 고성장을 유지하고 있음.	경제성 분석결과 당기순이익 기준 1차년도 16%에서 5년후 25%로 상당히 높은 수준으로 개선예상	철근의 현장가공상 제반 문제점을 해결하고 시/공간적인 효율성 증대에 따른 수요창출 가속화 예상	철근가공결과를 미리시뮬레이션하고 최적화하며 원격가공을 통한 편의성 확보가 가능한 파급효과가 큼
중	상	상	상

※ 사업매력에 대한 상세 내역은 5장을 통해 상세히 기술함

(3) 시장 동향분석

○ 2013년 글로벌 경기는 제한적인 성장에 그칠 것으로 전망되고 있고, 글로벌 철강재 소비량 증가율 미미할 것으로 전망되고 있음.

○ 반면 중국 신규 철강설비가 가동되기 시작하면서 공급과잉 폭은 오히려 현재 수준보다도 확대될 수 있음.

○ 하지만 10여 년간 급등했던 원료 가격이 하향 안정화되면서, 철강산업 패러다임의 변화가 예상됨.

○ 공급과잉 환경 속에서 주력 수출 시장마저 비슷한 중국산 저급재와의 경쟁이 심화될 수 있으며, 내수 시장에서도 중국산과의 경쟁에서 자유롭지 못한 상황임.

○ 2010년 이후 철강업 부진 원인을 살펴보면 서브프라임 사태로 인한 글로벌 금융위기를 시작으로 철강산업 업황 측면에서는 2009년부터 4년째 불황이 이어지고 있음.

○ 철강 수요산업 회복 지연. GDP 핵심을 이루고 있는 조선, 가전, 기계 산업 등 본격적인 제조업 회복이 지연되고 있음.

○ 전 세계 철강수요의 약45%를 차지하는 중국의 성장이 정체를 보이고 있음. 자동차생산이 다소 증가세를 유지하고 있는 가운데 철강수요의 50% 이상을 차지하는 건설업은 규제완화조치 미흡으로 회복이 둔화되고 있고 조선산업, 가전산업 역시, 부진한 상황을 보이고 있음.

○ 10여 년간 이어진 철강 원료가격 슈퍼사이클에 변화가 올 수 있음.

철강 원료가격 급등으로 철강산업에 구조적 변화가 다시 한 번 나타날 수 있다고 판단함.

○ 신규 광산에서의 철광석 증설과 함께, 원료사의 다변화와 광산 개발 지역 다변화도 중요한 요소이며 철광석을 독점하고 있는 원료 Big3사의 신규 증설 물량도 여전히 높은 비중을 차지하고 있지만, Big3사 이외 업체들의 물량도 큰 폭으로 늘어날 예정임.

○ 직접적인 원료 투자에 부정적이었던 일본 철강사들 역시 자급률 개선을 위해 노력 중

○ 대규모 설비 증설로 국내 철강산업 생산능력 증가

제4장 연구목표 달성 및 효과

제 1 절 연구개발 최종 달성도

1. 1차년도

가. 연구개발 달성도

목 표	달 성 도 (%)	내 용
- 수치제어 적용 절곡 테스트 베드 구축	100	작업대 이송 반복정밀도 : 0.013mm 작업대 속도 : 25m/min 절곡 작업 속도 : 6sec/180도 절곡 각도 : 144도
- CAD시스템 기반 철근가공정보 자동매핑 기술개발	100	도형 추출 자동기능 유무 : 가능
- 절곡 가공 수치정보 자동생성 기술 개발	100	수치제어 적용가능한 수치정보 생성 유무 : 수치정보 생성
- 특허 - 시제품제작	100 100	특허출원 10-2012-0157788 특허출원 10-2013-0007811 시제품 제작완료 및 테스트 완료

나. 연구개발 수행 진도율

구분 / 개발내용	연구개발기간 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	진도(%)
철근가공관련 문헌 사례 및 현장 문제점 조사	·· ——	·· ——											100
수치제어적용을 위한 기능별 모듈 개발	——	·· ——	·· ——	·· ——	·· ——	——							100
절곡 메커니즘 개발 및 시스템 설계/제작		——	·· ——	·· ——	·· ——	·· ——	·· ——	·· ——	·· ——				100
수치제어 적용 절곡 시스템 성능 평가 및 적용성 평가									·· ——	·· ——			100
CAD파일의 도형정보 추출	·· ——	·· ——	·· ——	·· ——	·· ——	——							100
철근가공정보 자동매핑				——	·· ——	·· ——	·· ——	·· ——					100
수치제어 적용을 위한 가공정보 생성					——	——	·· ——	·· ——	·· ——	·· ——			100
총 진도율	10	20	40	50	70	80	85	90	95	100			

····· 당초 계획
——————추진 실적

2. 2차년도

가. 연구개발 달성도

목 표	달성도 (%)	내 용
- 절단 및 절곡 하이브리드 시스템 개발	100	절단기 작업대 위치 반복 정밀도 : 3㎜이내 가능 절단 후 절곡부 이송 시간 : 30초 이내 가능 절곡 가능본수(D16기준) : 5개 이상 가능 절곡 각도 : 180 이상°
- 철근 절단 및 절곡 가공코드 자동 생성 기술 개발	100	NC코드 생성 유무 : 가능
- 국내외 지적 재산권 확보	100	특허 출원
- 개발기술 적용에 따른 경제성 평가	100	경제성 평가보고서 작성
- 기술비교분석, 로드맵 및 시장동향분석	100	시장동향분석보고서 작성
- 개발제품 성능평가 보고서	100	성능평가 보고서 작성
- 국내학술발표 논문게재 건수	100	2건 게재
- 국내 학회지 게제 논문	100	1건 게재
- 시제품 건수	100	1건
- 프로그램개발 건수	100	1건
- 운영소프트웨어 평가보고서	100	평가 보고서 작성

나. 연구개발 수행 진도율

구 분 / 핵심성과별 연구개발내용	연 구 개 발 기 간												진도(%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
절단 연동을 위한 가공 메커니즘 개발	·· ———	·· ———	·· ———	·· ———	·· ———	·· ———	·· ———						100
CNC기반 절단/절곡 시스템 설계/제작			·· ———	·· ———	·· ———	·· ———	·· ———	·· ———	·· ———	·· ———			100
수치제어 가공에 따른 가공성능 안정화 및 평가											·· ———	·· ———	100
가공 코드 생성 소프트웨어 사용자 인터페이스 설계	·· ———	·· ———	·· ———	·· ———									100
최적 철근 절단 스케줄링 및 철근 절단 및 절곡 G코드/M코드 자동생성기술 개발				·· ———	·· ———	·· ———	·· ———	·· ———	·· ———	·· ———	·· ———	·· ———	100
총 진도율	10	20	30	40	50	60	70	80	85	90	95	100	100

· · · · · · · 당초 계획

———————추진 실적

3. 3차년도

가. 연구개발 달성도

목 표	달 성 도 (%)	내 용
- 자동 Loading /Unloading 적용 스마트 철근가공 시스템 개발	100	절단 후 절곡부 이송시간 : 20초 이내 작업대 이송 반복정밀도 : 0.2mm 이내 작업대 속도 : 5m/min 이내 절곡 작업 속도 : 4sec/180도 이하 절곡 각도 : 180 Deg 이상 절곡 가능본수(D16기준) : 5개 이상
- 최적 철근 절단 스케줄링 및 철근 손실 시뮬레이션 및 가공코드 원격지 전송 기술개발	100	N철근배치 손실시뮬레이션 유무 : 유 데이터 원격지전송 유무 : 유
- 특허	100	특허 출원
- 시제품제작	100	시제품 제작완료 및 테스트 완료
- 국내 학술발표 논문게재 건수	100	3건 게재
- 국외 학술발표 논문게재 건수	100	1건 게재
- 국외 SCI-E 게재 논문	100	1건 게재

나. 연구개발 수행 진도율

구 분 / 핵심성과별 연구개발내용	연 구 개 발 기 간												진도(%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
개별 Loading/ Unloading 장치 제작		· · ——	· · ——	· · ——	· · ——	· · ——							100
절단/절곡 시스템 연동 및 운영 시스템 통합	· · ——	· · ——	· · ——	· · ——	· · ——	· · ——	· · ——	· · ——					100
철근 손실 시뮬레이션 기술개발					· · ——	· · ——	· · ——	· · ——	· · ——	· · ——			100
가공 통합 운영 소프트웨어 개발			· · ——	· · ——	· · ——	· · ——	· · ——	· · ——	· · ——				100
원격지 가공코드 전송 기술 개발						· · ——	· · ——	· · ——	· · ——	· · ——	· · ——	· · ——	100
총 진도율	10	20	30	40	50	60	70	80	85	90	95	100	100

· · · · · · · · 당초 계획

————————추진 실적

제 2 절 연구개발 성과의 기술적 효과 분석

1. 기술적 효과

○ 공장가공방식을 위한 스마트 철근가공기술은 현재 구조물의 초고층화, 대형화(장지간 교량, 극저온 탱크, 체육관) 그리고 특수화(해양, 지하공간 구조물, 원자력구조물 등)경향이며 이에 상응하는 재료 성능향상, 구조 및 설계기술개발 및 시공능력 향상 요구를 충족시킬 수 있음.

○ 현재의 철근가공설계와 작업은 대부분 수작업으로 이루어지고 있으며, 공장 가공 도입의 진행속도에 비해 관련 소프트웨어 기술이 매우 낮아 본 과제를 통해 개발된 장비-소프트웨어 통합시스템 및 관련 기술 생산성을 좌우하는 핵심요소로서 철판 절단 등 유사한 타 분야에도 높은 파급효과가 기대됨.

○ 또한, 수치제어 기반의 통합 철근가공시스템의 활용으로 인하여 철근의 가공 품질이 우수하여 시공 정밀도 향상에 기여할 뿐만 아니라, 현장의 수작업 공정을 줄여줌으로써 공기 단축과 현장노무 인력의 감소를 기대할 수 있음.

○ 기존의 건설현장에서 사용되는 철근의 절단과 절곡 복합 자동화 시스템은 절단장비와 절곡장비를 하나의 기능으로 동작할 수 있는 시스템으로 이를 운영하는 소프트웨어는 기존의 별도 모듈을 각각 사용하고 있어 수작업 형태의 운영을 완전히 벗어나지 못하고 있음.

○ 또한, 기존의 계단식 철근 분리 기술을 이용한 고효율 철근 자동공급 장치는 철근 가공에서 필요한 철근의 안정된 이송장치에 관한 것으로 철근 절단에 들어가는 로딩시스템에 적용 하였으나, 언로딩 시스템과 절단/절곡 연결 공급 기능이 아닌 부분적인 로딩 기능으로만 개발되었기 때문에 전체 자동화 시스템 적용에는 한계가 있음

○ 본 연구 개발의 핵심 성과인 수치제어 기반 통합형 철근 가공시스템은 철근의 적재 및 이송, 절단, 절곡, 배출 등의 철근 가공 H/W와 이를 운영하는 S/W를 통합하여 제작하여 철근 가공 전 과정에 있어 자동화가 가능한 장점이 있음.

○현재까지 철근가공에 수치제어가 적용된 기술개발 사례는 국내에서는 전무한 실정이며, 일본에서 개발된 사례가 있으나 단일장비 중심적이며, CAD/CAM시스템에서 철근 굽힘, 절단, 공급, 패킹까지 자동화 된 시스템은 현재까지 보고되지 않고 있음.

○본 기술개발을 통해 공장가공방식의 철근가공 자동화를 위한 전체 시스템의 핵심기술을 국산화 할 수 있으며, 이를 통해 최근 국내에 관심이 집중되고 있는 철근 공장가공방식을 활성화하는데 일조할 수 있음.

2. 연구개발 성과의 활용방안

가. 철근가공 최적스케줄링 소프트웨어

○ 가공전 전산 CAD파일은 오픈라이브러리를 통해 DXF는 텍스트 기반의 중립포멧으로 이에 대한 자료를 분석하고 도형을 별도로 분리하여 배근정보를 추출 하고 철근형상과 치수, 가공방향, 수량 등의 정보를 종합하여 철근정보를 생성하고 이를 일반적인 데이터 포맷인 EXCEL포멧으로 변환하여 현장 사용자의 활용도를 높임.

나. 가공프로그램 생성

○ 최적 절단 스케줄링이 완료되면, 스케줄 정보를 기반으로 절단에 대한 가공 G코드를 생성하며, 동시에 이와 연계된 절곡동작에 대한 G코드와 절단/절곡 및 Loading/Unloading의 연동된 동작을 보조하기 위한 보조 M코드를 생성하는 프로그램으로 다른 CNC에도 적용 가능하여 기존 시스템을 업그레이드하는데도 사용가능해서 현장에 설치될 수 있음.

다. Loading에서 절단 절곡 및 Unloading이 가능한 하이브리드 철근 가공 시스템

○ 필요한 수 만큼의 Loading된 철근을 절단기로 보내주는 Auto Loading 시스템과 절단기의 연동 시스템 개발 철근을 절단하고 절단된 철근은 그 제품이 절단제품인지 절곡제품인지를 구분하여 분류하고 Unloading 부와 절곡부로 자동이송되는 시스템으로 바로 현장에 적용하여 생산 가능함.

라. 전송 및 모니터링 소프트웨어

○ 생성된 가공코드를 각각의 수치연산 컨트롤러에 전송될 수 있도록 전송 시스템으로써 가공에 대한 통계정보를 실시간으로 모니터링 할 수 있음. 현장에서 활용되는 데이터 전송전용 RS232C 디바이스 또는 랜선을 통해 전달될 수 있는 사양으로 개발되기 때문에 네트웍망만 구축된 어떤 현장에서도 구축이 가능하며 생산현장에 구축된 테스트베드를 통해 현장적응성을 높일 수 있음.

제 3 절 연구개발 성과의 경제적 효과 분석

1. 경제적 효과

○ 경제적 측면에서 볼 때 스마트 철근가공기술은 자재를 미리 시뮬레이션 하여 최적화 함으로써 자재 손실을 최소화 하고 주문을 효율적으로 관리할 수 있음.

○ 특히, 대규모 물량이 가공되는 공장가공에서는 잔재를 최소화와 장비운용 시간을 최적화를 통한 비용 절감이 매우 큼.

○ 철근시공도(샵드로잉)의 표준화 및 이와 관련된 공장자동화 철근가공 기술을 바탕으로 자재절감, 인력절감 및 경제성 향상 등 효율을 높임으로 국내 건설시장의 해외 개방화에 대비한 경쟁력 강화로 건설기술의 선진화에 기여함.

○ 철근가공 현장의 기피현상으로 외국인 노동자를 많이 고용하여 품질면에서도 문제시되고 있으나 전자동화가 이루어지면 생산 현장의 환경이 향상되며 제품의 질적향상을 가져오게 됨.

○ 도면에 의한 정확한 데이터를 기반으로 전문가의 구조계산에서 현장 변형없이 시공가능하므로 건축에서 발생하는 근본적인 설계-시공-감리 3요소 비리 문제를 해결 할 수 있음.

○ 무거운 철근의 이송으로 인한 철근가공의 기피현상으로 국내 기술자 수요가 부족하여 외국인 노동자를 많이 고용하는 실정이여서 고용 및 환경측면에서도 문제시되고 있으나 스마트철근가공시스템을 통해 생산 현장의 환경을 개선할 수 있음.

○ 최근 일본 토요사 등에서 CNC 도입을 통한 절단-굽힘 자동화 개발하여 시판중이며 국내에서는 100%수입에 의존하고 있어 수입대체효과를 볼 수 있음.

2. 주요 예상 수요처

가. 기전산업

○ 이태리 슈넬사의 최신 가공설비의 경우 가공속도가 빠름

○ 기존대비 4배 이상 빠르고, 보다 다양한 형상으로 가공이 가능함.

나. 극동산업

○ 절단가공 전문기업

○ 22mm의 철근 20본 동시 절단 가능
○ 현장별 아이디와 패스워드로 현장
○ 가공현황 파악 용이 국내 최대용량의 절단기 도입

다. 모아바

○ EasyBar 개발, 판매 업체
○ 철근가공관리를 위한 어플리케이션
○ 클라이언트/서버 형태로 개발됨
○ 네트워크 상에서 다수의 사용자가 동시에 업무를 수행 가능
○ 통합 데이터베이스는 네트워크를 통해 철근가공과 관련된 모든 정보를 실시간으로 제
○ Barlist의 자동 추출, 최적의 정적도출, 다양한 보고서 창출가능

라. 창신기업

○ 최소의 인원으로 보다 많은 철근을 짧은 시간에 안전하고 균일하게 작업함을 목적으로 설계
○ 철근투입 CONBEYER (UNLODING CONVEYER) 장비확보
○ CUTTING M/C (HYDRAULIC REBAR SHIEALING M/C) 장비확보
○ 소재 CONVEYOR (FEEDING CONVEYOR W/T 10M) 장비확보
○ BENDER M/C 35Φ, 45Φ, 60Φ) 장비확보

마. 대도스틸

○ 철근가공 관리 부분에서 독보적인 기술보유
○ 공사 및 고객 관리
○ 바-리스트 자동 산출, 최적의 가공을 위한 정적 도출
○ 일일 생산계획 및 생산 실적, 생산계획 이월관리
○ TAG 출력, 출하 및 반품 관리
○ 입고, 투입에 대한 재고 관리
○ 가공비, 운송비 등의 기성산출 등의 관리시스템

바. 디피피아

○ 업계 최초, 가공관리시스템(BMS:Bar Management System) 개발. 디바피아의 신규 관리 프로그램인 BMS는 기존의 단순 물량산출 수준에서 벗어나 원자재 입고에서부터 완성품 출하까지 전 공정을 관리하는 전산프로그램임. Bar Code System을 적용하여 정확한 물량출하와 송장생성이 가능 가공진행 상황의 모니터링, 전 공정의 진행상황을 모든 고객이 웹에서

확인 가능

사. 대한제강

○ 철근 생산에서 가공·배송·현장관리까지 일괄 처리하는 시스템으로서 건설현장의 철근 공급경로는 일반적으로 건설사의 도면설계→도급업자의 시공상세도(Shop Drawing·실질적으로 시공을 위해 부분별로 상세하게 그린 도면) 작성→건설사의 철근 주문 →제강사의 철근 생산 →가공업체 작업→현장 조립

아. 린건설

○ 웹 기반 분산형 린건설 정보시스템 개발

○ 건설 프로젝트에서 자재조달과정은 개선이 필요한 대표 프로세스

○ 철근공사는 금액비중이 크고, 공정 측면에서도 주공정(Critical Path)에 속해 시설물의 구조적 안전성과도 직결되는 주요 관리대상임

○ 공장가공 환경에서 철근공사 관련 주체들이 요구하는 업무지원시스템을 개발

판매처/국가	예상 판매단가 (백만원)	5년후 기준 예상연간판매량 (개)	5년후 기준 예상연간 총판매금(백만원)
국내 (정부/지자체 출연 연구소등)	130~150 (기능개선에 따른 점진적 단가조정)	5대	768
국내 (철근가공 기업체/연구소)	130~150 (기능개선에 따른 점진적 단가조정)	13대	1,996
해외 (철근가공 업체/기관 등)	143~165 (수출제반비용 반영 및 기능개선에 따른 점진적 단가조정)	6대	1,013

3. 사업 경제성 분석

가. 계획사업의 개요

○ ‘공장가공방식을 위한 원격 철근가공시스템 개발’ 은 현장가공방식의 애로사항을 해소할 수 있는 시스템으로서 공사발주 시 발주처에서 표준화된 시스템에 의한 고품질의 철근공사 요구되고 있으며, 자동화 가공설비에 의한 정확한 규격의 철근가공이 필요하고 사전계획에 의한 선가공이 가능하여 대형공사 시공 시 철근의 가공 시간을 줄임으로서 공기를 단축시킬 수 있는 혁신적인 시스템임.

○본 시스템의 완성 및 사업화 시 국내외 정부/지자체 출연 연구기관 및 철근가공관련 기업과 기업부설연구소 등을 주된 대상으로 판매가 가능함.

나. 시장개요

○ 철강산업은 최근 한국과 중국을 중심으로 지배력이 증대되고 있으며 특히 한국은 철강산업은 불모지에서 비약적 성장을 하였음.

○ 철강산업은 한국 산업발전의 초석(‘70~’ 80년대 초고속 성장)이며 세계 유례없는 고속 성장을 이루어 내었고 특히, 자동차, 조선 등 철강수요산업과 동반 성장을 이루었음.

○ 철강은 기능이 다양하고 친환경적인 소재로서 뛰어난 기계적 특성, 가공성, 내식성 등으로 다양한 산업분야에 광범위하게 적용 가능하며 타 소재에 비해 재활용성이 가장 우수함.

○ 국가별 세계 생산(조강기준) 및 수출(최종재)에서 6위 점유하고 있으며, 고부가가치 판재류 제품에서 높은 경쟁력 확보하고 있음.

○ 철강의 생산과 소비량은 중국이 1위를 차지하고 있으며 한국의 경우 1인당 연간 철강소비량이 세계 1위(2011년, 1,165Kg)를 차지하고 있음.

○ 환경관련된 철강산업 이슈를 살펴보면, 철강산업에 대한 온실가스 규제 현실화되어 있음.

○ 환경 Cost 부담 지속 증가 가운데, 철강사간 주요 경쟁요소로 부상함.

○ 글로벌 경제는 저성장 국면이 지속되고, 철강재 수요 부진도 2013년까지 이어질 전망.

○ 반면 중국 공급과잉 폭은 더욱 늘어나고, 국내 역시 철강사들의 대규모 설비 증설이 마무리되면서 2013~14년 에 수급 불균형이 다시 나타날 가능성이 높음.

○ 철강 수요가 소폭 증가하고 2012년 노후화된 생산 시설이 일부 정리 되었음에도 불구하고 개발도상국을 중심으로 한 신규 생산 시설의 증가로 글로벌 철강산업의 공급 과잉은 1년 전에 비해 더 늘어난 것으로 나타났슴.

○ 2013년 철강기업들이 직면한 가장 큰 도전과제는 기업가치와 비용 경쟁력을 유지하는 것이며 이를 위해서는 새로운 운영 환경에 대비하기 위한 최적의 준비가 되어있는지 평가하고 대응해야 함.

다. 사업매력도

○ 높은 기술력이 필요한 진입장벽이 높은 산업으로서 연구개발 성공적 완수 시 철근가공산업에서의 파급효과는 클 것으로 판단됨(산업매력도 上)

성장성	수익성	안정성	종합
최근 성장이 다소 둔화되었으나 2000년대 이후 성숙기 진입에도 불구, 중국 효과로 고성장을 유지하고 있음.	경제성 분석결과 당기순이익 기준 1차년도 16%에서 5년후 25%로 상당히 높은 수준으로 개선예상	철근의 현장가공상 제반 문제점을 해결하고 시/공간 적인 효율성 증대에 따른 수요창출 가속화 예상	철근가공결과를 미리시뮬레이션하고 최적화하며 원격가공을 통한 편의성 확보가 가능한 파급효과가 큼
중	상	상	상

라. 사업수행 능력평가

○ 우수한 시스템 연구개발 능력을 바탕으로 철근가공시스템의 개발 및 시제품화의 역량 확보 및 국책연구개발 과제를 통한 연구개발 사업화 추진 中

○ 기술개선을 위한 학,연 Network 체제 마련잠재고객에 대한 예비수요조사 및 의견반영 등의 사전 활동

○ 1차 양산 이후에도 향후 지속적인 기능/성능개선의 업그레이드를 통한 고객의 편의성을 지속적으로 증대해 나아갈 계획

○ 시장 진입 시 잠재고객이 수용 가능한 가격경쟁력의 확보

○ 다만, 연구개발 사업화 추진을 위한 신규사업 추진 투자비용 다소 부족한 편임

○ 개발기술에 대한 기술적 진입장벽 형성을 위한 지적재산권의 출원

○ 현재 영업시스템은 대표자와 연구소장 등 주요 임원을 중심으로 직접 영업을 수행하고있음. 향후 개발완료 후 사업화 연도부터 전문 영업인력의 채용 및 체계적인 영업/홍보 및 수주활동을 전개해 나아갈 예정

○ 제품컨셉, 판매대상, 단가 등 마케팅 활동에 대한 기본적인 방향과 아이디어는 정립되어는 있으나 구체적인 STP 및 4P전략은 다소 미비한 편이며 개선이 필요함.

○ 시장을 좀 더 세분화하여 잠재고객 대상을 명확히 설정하고 각 사업화 연도별 Target과 접근경로 및 4P 전략의 구체화 필요함.

○ 특히 촉진전략(광고, 홍보 및 수요촉진을 위한 온/오프라인상 다양한 홍보전략이 필요함)

비즈니스 모델	연구개발 및 사업화	영업/마케팅
현장가공의 제반 단점을 극복하고 수주, 검토에서부터 가공 및 납품까지의 전과정을 시스템화 된 공장가공을 통해 실시간 모니터링과 피드백이 가능한 효율적이고 생산적인 비즈니스 모델임	개발제품의 사업화를 위한 연구개발 역량과 개발환경은 우수한 편임. 다만, 사업화를 위한 전문인력의 확보, 신규사업 초기 투자비용의 확보 등이 주된 해결 과제임	개발기술의 제품화와 성공적인 사업화를 위해서는 향후 전문 영업인력의 확보 및 세부적인 마케팅전략의 보완이 필요할 것으로 판단됨.
상	중상	현재 하 => 향후 상

마. 재무계획

(1) 요약

○ 매출, 투자, 상각, 원가, 판관비 및 손익계획과 추정 BS 주요 항목을 요약내용

구분(천원)	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년	비고
매출액	390,000	816,790	1,698,923	2,690,426	3,776,832	손익계산서참조
순현금흐름	60,797	187,720	866,942	866,942	1,800,374	자금수지표참조
매출원가	280,170	585,270	1,198,710	1,812,150	2,435,760	손익계산서참조
판관비	35,068	58,738	66,398	102,792	115,447	손익계산서참조
영업이익	74,762	172,782	433,816	775,484	1,225,624	손익계산서참조
순이익	63,899	144,023	350,109	618,428	972,283	손익계산서참조
자산	513,058	405,723	701,233	1,581,861	2,652,944	재무상태표참조
부채	420,157	168,800	114,200	376,400	475,200	재무상태표참조
자본	92,901	236,923	587,033	1,205,461	2,177,744	재무상태표참조

(1) 계획재무비율

○ 경영기본부문(자산, 매출액 증가율, 이익률지표 및 효율성지표) 우수하게 나타남.

○ 재무부문(회전율 및 이익률 각 지표) 우수하게 나타남

○ 생산, 판매 관련 각 지표 역시 우수하게 나타남

○ 기업체질분석결과 수익력, 지불능력, 활력, 지구력, 성장력 각 부문별 지표 우수하게 나타남

○ 계획 BEP의 경우 BEP율 (계획매출대비 BEP 매출수준)은 3개년 모두 50% 미만으로 나타났으며 특히 사업화 년차가 늘어날수록 매출액 증가에 따른 공헌이익의 증가로 손익분기점율이 지속적으로 감소하는 추세로 나타남.

○ 따라서 안전여유율도 60%내외로 상당히 높게 나타남.

바. 경제성분석

○ 자금수지 : 자금수지분석 결과 향후 사업화 5개년 동안 (+)의 순현금흐름을 나타내며 점차 상승할 것으로 예상됨.

○ 현재가치법(NPV) 결과 : 5년간 순현금흐름의 현가는 14억 수준으로 (+)값을 나타내 경제성이 있음으로 판단함.

○ RR분석 결과 : IRR = 6% 로 (+)값을 나타나 신규사업의 경제성이 있는 것으로 판단함

사. 종합의견

○ 회사는 미래 성장동력인 철근가공시스템의 개발 및 공급사업을 통해 향후 지속가능한 고성장이 예상되며, 매출과 손익이 지속적으로 증대, 개선되는 재무구조가 예상됨.

○ 현재가치법과 내부수익률법을 이용한 신규사업에 대한 투자안의 경제성 분석결과 사업에 대한 경제성과 타당성이 있는 것으로 나타남.

○ 다만, 중견기업 및 대기업과 납품관계 구축 시 거래에 적용할 단가 책정 시 협상에서 밀려서 불리한 단가를 책정 받게 될 경우 매출 및 손익에 상당한 변화를 초래할 수 있으므로 이 부분에 대한 철저한 준비가 선행될 필요가 있음.

제 4 절 연구개발 성과의 정책적 효과 분석

1. 정책적 효과

○ 철근 가공공장은 철스크랩 회수율이 100%에 가까운 친환경적인 사업으로 국가적인 철스크랩 자급도 향상과 자원 재활용 측면에서 공헌하고 있으나 2008년부터 낮은 임가공비와 로스(Loss 허용치)로 인해 수익성 확보의 어려움을 겪고 있어 지속적으로 정책적인 지원을 요청하고 있는 실정임.

○ 낮은 임가공비도 문제이긴 하지만 그것보다 철근가공업계의 수익성에 더 큰 영향을 미치는 요인은 로스율로 일반적으로 허용되는 로스 허용치는 3%이지만, 최근 정부 정책 변경에 따라 상당수의 대형 건설업체들이 철근 로스 허용치를 2% 이내로 적용하고 있어 철근가공업체의 수익성 확보에 더 큰 어려움이 있음.

○ 본 기술개발을 통하여 철근의 최적 스케줄링 프로그램을 활용하여 잔재를 최소화함으로써 철근 로스율을 감소할 수 있을 것으로 예상되며, 이에 따라 철근가공업계의 수익성을 보다 증대할 수 있을 것으로 기대되며 정부의 친환경 정책과도 부합할 수 있을 것으로 판단됨.

○ 또한 최근 안전 규제 강화와 저급의 불량철근으로 인하여 정부 각 부처에서 철근의 품질향상 및 품질 확보가 지속적으로 요구되고 있으며 본 기술개발을 통하여 가공기술 향상 및 가공품의 품질 향상으로 인해 정부와 건설사의 요구사항을 일부 수렴 가능할 것으로 판단되며 정부의 고효율, 에너지 절감 정책에 역시 부합할 수 있을 것으로 기대됨.

○ 또한 기존의 도심지 공사시 현장에서의 철근 가공 과정에 있어 발생하는 소음과 교통 불편 등으로 인한 각종 민원과 환경 규제를 피할 수 있는 장점 역시 확보 할 수 있음.

2. 정부지원정책 현황

가. 관련법령, 정부 정책 및 담당기관

(1) 철근 가공형상의 표준화

○ 철근 공장 가공의 장점에도 불구하고 현재 국내 실정은 철근의 현장 가공에 따라 철근 구부림 내면 반지름, 철근 가공 치수와 형상 등에 정보의 표준이 없기 때문에 많은 문제점을 내포하고 있음.

○ 최근에는 철근 공장 가공의 활성화와 전산화를를 위한 기반으로서 철근 가공 형상 기호, 철근 기본 형상, 식별표를 포함하여 철근 가공 형상과 관련된 표준이 제안되고 있음.

- 대한주택공사에서는 배근시공도면 작성방안(2007)을 통해 철근 가공형상에 대한 정의 방법의 표준화를 제시하고 있으며, 이외 ACI315, BS8666이 있으나, 실제 산업 현장에서는 이러한 표준이 거의 활용되지 못하고 있음.

나. 정부지원 정책사업 종류와 현황

○ 아래 건교부 7대 사업목적중 건설기술혁신 부분과 플랜트 기술 고도화 부분 첨단도시 개발을 위한 건설기술 그리고 기술 인프라 인력 육성 사업 목적에도 부합됨.

7대 R&D 사업군	사/업/목/적
건설기술혁신	첨단 건설재료 개발, 프로세스 혁신 및 기존 시설물 고도화, 재해대응을 위한 수자원 관리시스템 개발 등을 통한 건설기술 전반에 걸친 혁신
플랜트 기술 고도화	고부가가치 플랜트 건설사업에 요구되는 핵심공정과 기본설계, 플랜트 기술의 실증 및 국내 적용과 해외플랜트 수출 증대
첨단도시 개발	최첨단 도시 인프라 구축 및 자연 순환형 생태도시 건설을 통해 세계적인 도시경쟁력을 확보하고 도시재생기술 및 초고층 건축물 · 지하 대공간 건설기술 등의 개발을 통해 미래형 신공간 창출
교통체계 효율화	신개념 미래교통시스템 기술 및 교통체계 효율화 기술 확보를 통해 교통혼잡 및 교통사고 비용을 획기적으로 절감하고, 친환경적인 첨단교통시스템 구축
미래철도 기술개발	안정성과 친환경성을 갖춘 세계 일류 수준의 독자적인 첨단 철도기술을 확보하여 철도산업의 국제 경쟁력 제고
항공 · 물류 선진화	G-10 수준의 항공안전기술 확보와 세계 일류 수준의 지능형 공항 실현을 통한 21세기 동북아 항공중심국 · 항공선진국 진입
기술인프라 · 인력육성	기술표준화와 정책개발 및 인력육성을 통하여 건설교통 R&D 사업의 지속적인 발전을 위한 기반 확보

○ 지금까지의 건설교통은 사회기반인프라에 집중되는 등 국가경제의 성장지원자 역할을 해 왔음. 그러나 미래의 건설교통은 기술의 네트워크화, 지능화, 글로벌화를 통해 국민의 삶의 질을 개선하고 새로운 경쟁우위를 창출하는 가치창출자의 역할을 수행해야 함.



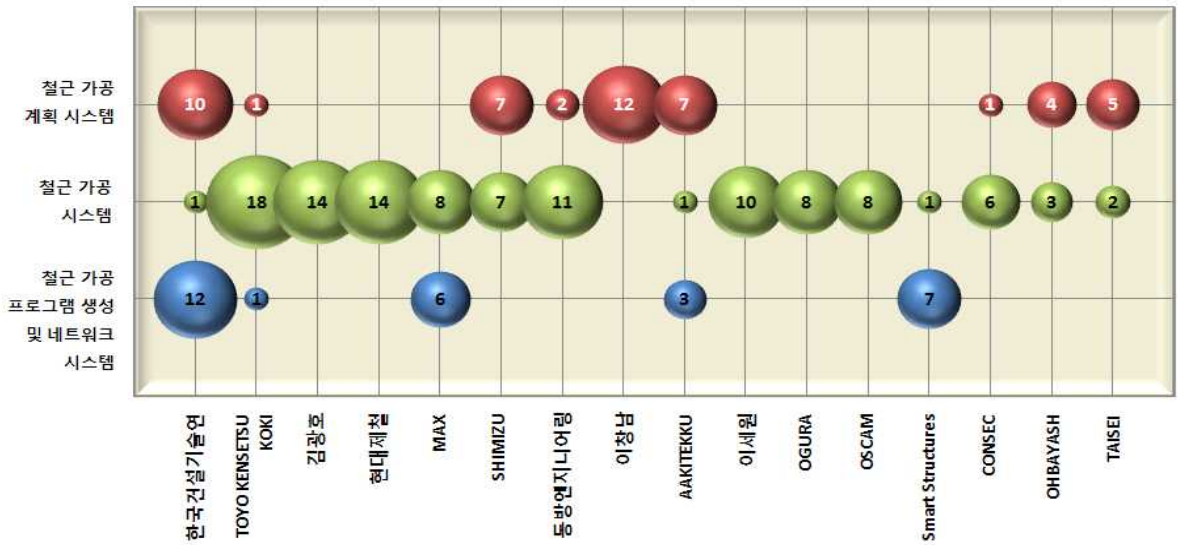
제5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성

1절 연구성과 향후 활용방안

1. 기술실시계획

가. 제안 특허에 대한 기술경쟁력 비교

(1) 경쟁기업 특허분포 비교



<주요출원인의 역점분야 및 공백기술 >

○ 한국건설기술연구원, TOYO KENSETSU KOKI, 김광호, 현대제철, MAX, SHIMIZU, 동방엔지니어링, 이창남, AAKITEKKU 등이 많은 특허를 출원하고 있는 주요출원인으로 나타난 가운데, 상기 주요출원인들은 철근 가공 시스템 분야에 있어서 모두 활발한 특허 활동을 전개하고 있는 것으로 나타남

○ 한국건설기술연구원은 철근 가공 시스템 분야보다 철근 가공 계획 시스템과 철근 가공 프로그램 생성 및 네트워크 시스템 분야에 더 역점을 두어 특허 출원하고 있는 것으로 나타남

○ TOYO KENSETSU KOKI, 김광호, 현대제철을 비롯하여, 이세원, OGURA, OSCAM은 철근 가공 시스템 분야에서만 역점을 두어 특허 출원하고 있으며, 철근 가공 계획 시스템과 철근 가공 프로그램 생성 및 네트워크 시스템 분야에서는 의미있는 특허를 확보하지 못하고 있는 것으로 분석됨

○ SHIMIZU, 동방엔지니어링, 이창남, AAKITEKKU, OHBAYASH, TAISEI 는 철근 가공 계획 시스템 분야에 역점을 두어 특허 출원하고 있는 것으로 파악됨

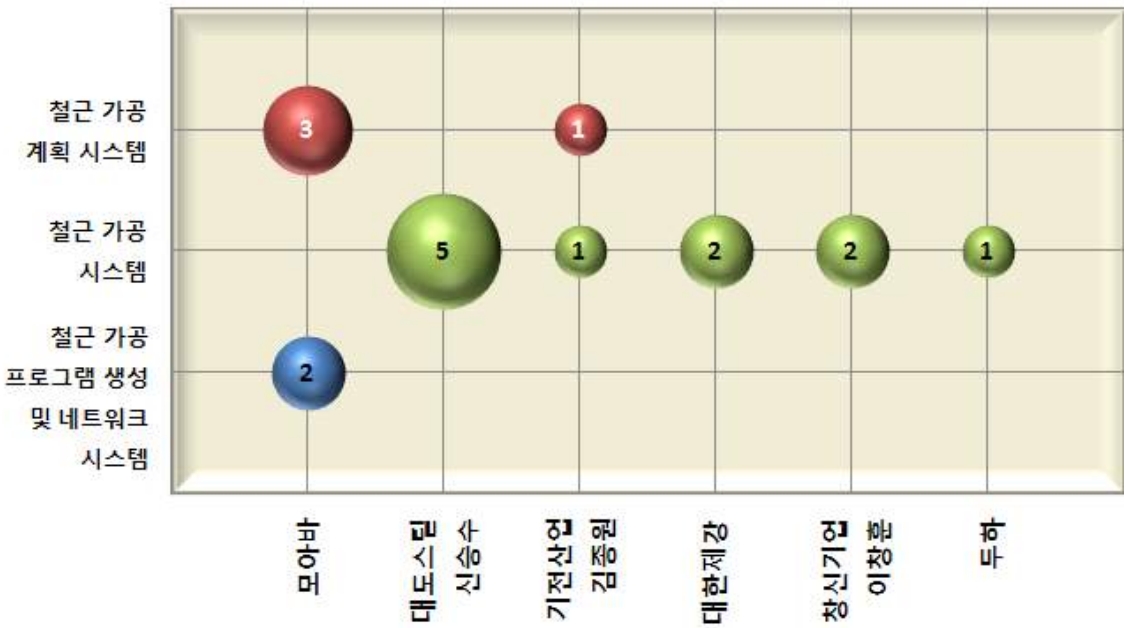
○ 한국건설기술연구원을 비롯하여, MAX, AAKITEKKU, Smart Structures 는 철근 가

공 프로그램 생성 및 네트워크 시스템 분야에 역점을 두어 특허 출원하고 있는 것으로 나타남

○ 철근 가공 시스템 분야가 높은 특허 장벽을 형성하고 있는 데 반해, 철근 가공 계획 시스템 분야와 철근 가공 프로그램 생성 및 네트워크 시스템 분야는 특허건수 및 주요 출원인의 수가 적어 특허 기술에 있어 공백을 형성하고 있는 것으로 분석됨

(2) 경쟁업체의 특허분포 현황

○ 철근 가공 시스템 기술의 주요 경쟁업체로 선정된(시장동향 참조) 기전산업, 극동산업, 모아바, 창신기업, 대도스틸, 디피피아, 대한제강, 린건설, 두하의 세부기술별 특허분포 현황을 살펴봄



<경쟁업체의 역점분야 및 공백기술 >

○ 선정된 경쟁업체 중 모아바와 대도스틸(출원인: 신승수)이 가장 많은 출원건수를 기록하고 있는 것으로 조사되었으며, 그 외 기전산업, 대한제강, 창신기업, 두하의 특허 활동이 조사됨

○ 대도스틸(출원인: 신승수), 기전산업(출원인: 김종원), 대한제강, 창신기업(출원인: 이창훈), 두하는 철근 가공 시스템 분야에 역점을 두어 특허 출원하고 있는 것으로 나타남

○ 모아바는 철근 가공 계획 시스템과 철근 가공 프로그램 생성 및 네트워크 시스템 분야에 역점을 두어 출원하고 있는 유일한 업체로 파악됨

○ 극동산업, 디피피아, 린건설의 특허 활동은 조사되지 않았음

나. 기술 실시효과

○ 철근 가공 시스템 기술의 주요출원인들(한국건설기술연구원, TOYO KENSETSU KOKI, 김광호, 현대제철, MAX, SHIMIZU, 동방엔지니어링, 이창남, AAKITEKKU 등)은 철근 가공 시스템 분야에서는 모두 활발한 특허 활동을 전개하고 있는 반면, SHIMIZU, 동방엔지니어링, 이창남, AAKITEKKU, OHBAYASH, TAISEI 는 철근 가공 계획 시스템 분야에서만 역점을 두어 특허 출원하고 있으며, 한국건설기술연구원을 비롯하여, MAX, AAKITEKKU, Smart Structures 는 철근 가공 프로그램 생성 및 네트워크 시스템 분야에 역점을 두어 특허 출원하고 있는 것으로 나타남

○ 철근 가공 시스템 분야가 높은 특허 장벽을 형성하고 있는 데 반해, 철근 가공 계획 시스템 분야와 철근 가공 프로그램 생성 및 네트워크 시스템 분야는 특허건수 및 주요 출원인의 수가 적어 특허 기술에 있어 공백을 형성하고 있는 것으로 분석됨

○ 철근 가공 시스템 기술의 주요 경쟁업체로 선정된(시장동향 참조) 대도스틸(출원인: 신승수), 기전산업(출원인: 김종원), 대한제강, 창신기업(출원인: 이창훈), 두하는 철근 가공 시스템 분야에 역점을 두어 특허 출원하고 있는 것으로 나타났으며, 선정된 경쟁업체 중 모아바는 철근 가공 계획 시스템과 철근 가공 프로그램 생성 및 네트워크 시스템 분야에 역점을 두어 출원하고 있는 유일한 업체로 파악됨

○ 따라서 기술실시 기술임치를 통해 향후 신규사업 진출시 특허로 기술 제약이 없을 것으로 판단되며, 오히려 유사기업과의 기술교류를 통해 기술료 수익이 기대되는 상황임

2. 판매계획

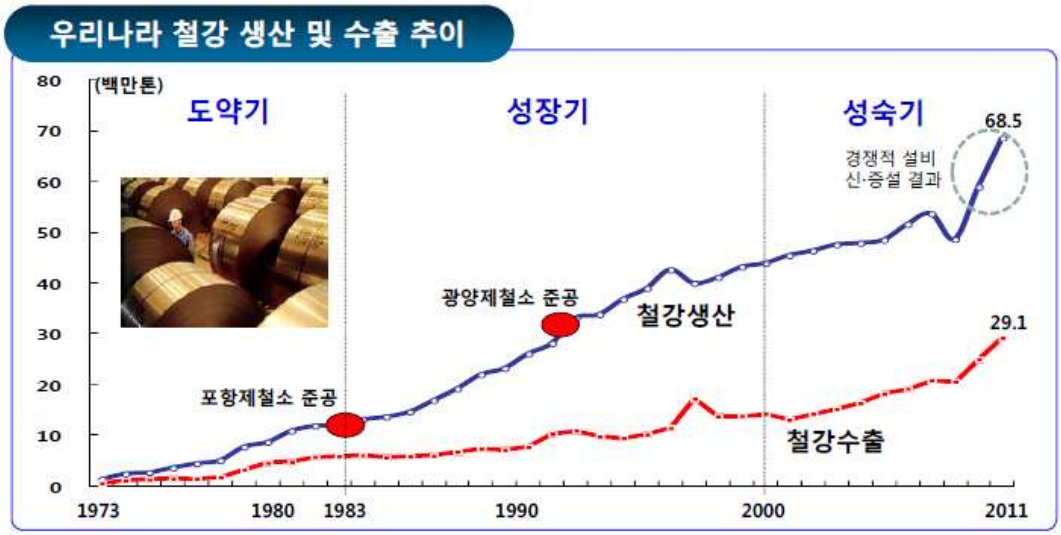
가. 시장현황 및 분석

(1) 철강산업의 발전과정

○ 최근은 한국과 중국을 중심으로 지배력이 증대되고 있음

○ 한국은 철강산업은 불모지에서 비약적 성장을 한 경우

○ 조강 생산은 '73년 124만톤에서 '11년 6,852만톤으로 55배 증가



○ 2000년대 중국의 부상으로 급성장 후 3차 불황기에 진입.

○ 미국, 유럽, 일본 등 선진국의 경기 침체 지속

○ 중국 등 신흥 개도국의 철강수요 증가율 대폭 둔화 반면 설비 확장 지속

○ 글로벌 철강산업, 구조적 공급과잉 국면

○ 자동차, 조선 등 철강수요산업과 동반 성장을 이루었으며 세계 5위, 세계 1위 부상에 기여함.

(2) 시장규모 및 전망

(가) 시장규모

○ 한국 철강산업, 세계적 철강강국 위상 유지하고 있음.

○ 국가별 세계 생산(조강기준) 및 수출(최종재)에서 6위 점유하고 있으며, 고부가가치 판재류 제품에서 높은 경쟁력 확보하고 있음.

○ 1인당 연간 철강소비량 세계 1위(2011년, 1,165Kg)

국가별 철강생산 순위(2011년)

(백만톤)

	국가	생산량
1	중국	683.9
2	일본	107.6
3	미국	86.4
4	인도	71.3
5	러시아	68.9
6	한국	68.5
7	독일	44.3
8	우크라이나	35.3
9	브라질	35.2
10	터키	34.1

자료 : worldsteel
주 : 생산은 조강기준, 소비는 강재기준

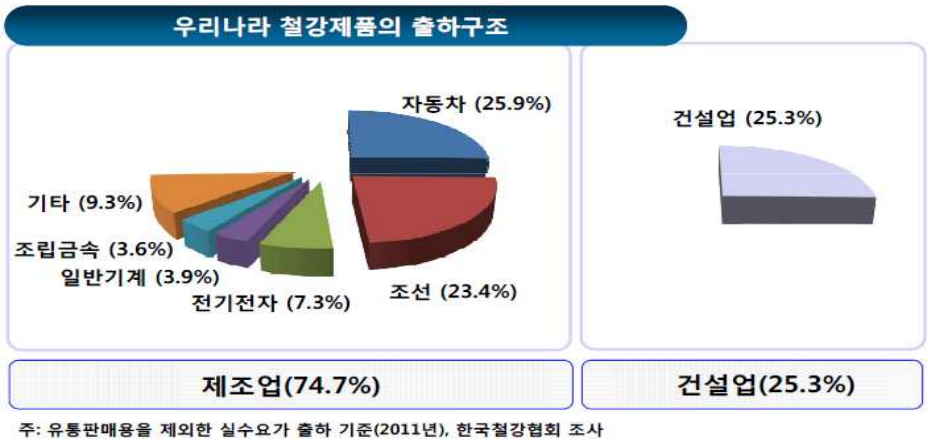
국가별 철강소비 순위(2011년)

(백만톤, Kg)

	국가	총 소비량	1인당 소비량
1	중국	623.9	463
2	미국	89.1	285
3	인도	67.8	55
4	일본	64.1	507
5	한국	56.4	1,165
6	러시아	40.5	284
7	독일	39.4	480
8	터키	26.9	366
9	이탈리아	26.7	439
10	브라질	25.0	127

자료 : worldsteel

○ 철강제품의 주요 산업별 소비구조를 보면 다음과 같음.



주: 유통판매용을 제외한 실수요가 출하 기준(2011년), 한국철강협회 조사

○ 오늘날 건설공사 중 철근공사는 보다 다양해진 설계로 인하여 복잡 다양해 지고 있음.

특히 도심지 내의 건설현장은 협소한 가공장 확보의 어려움과 각종 환경규제로 인하여 현장 내에서의 철근 가공작업 시 많은 문제점이 발생하고 있음.

이러한 문제점을 보완하고 향상시키기 위해서는 철근시공도의 표준화 및 이와 관련된 공장자동화 철근가공 기술을 바탕으로 자재절감, 인력절감 및 품질과 생산성의 향상을 기하여 공기단축 및 경제성 향상 등 효율을 높임으로서 국내 건설시장의 해외 개방화에 대비한 경쟁력 강화로 건설기술의 선진화를 이룰 수 있어야 함.

선진국에선 90%이상 철근공장가공를 실시 하고 있으며 국내 철근 가공공장은 대략 100여개 업체 중 월/3,000Ton이상 가능 공장은 전국 3~40여 개 업체에 이르고 있음.

구분(연간)	건 축	토 목
철근 / TON	약 180만 / TON	약 120만 / TON
공장가공 생산 / TON	약 36만 / TON	약 84만 / TON
비율	20%	70%
기계식이음(커플러)	약 120만 개소	약 180만 개소

(나) 시장동향

○ 철강산업은 상대적 높은 경쟁구조에 노출되어 있으며 과거 기업史에서 지속성장을 이룬 기업은 극소수에 불과함.

○ 글로벌 기업의 생존율은 14%, 평균 수명은 13년에 불과

○ 철강기업도 지난 30여 년간 생존율 절반 하회



○ 보호주의 확대 등으로 인한 국내 철강산업 성장 장애 요인을 살펴보면, 경기침체 장기화로 보호주의 강화, 철강산업 부정적 영향 우려되고 있음.

○ 철강재 무역수지 흑자 : 60억 달러('11년) → 90억 달러('12년)



○ '12년 상반기 반덤핑관세 조사 13건, 상계관세 부과 5건, 과징금 규모도 과도화 경향을 나타냄 => 브라운관 가격담합(LG전자, 삼성SDI), EU 6300억 원 부과



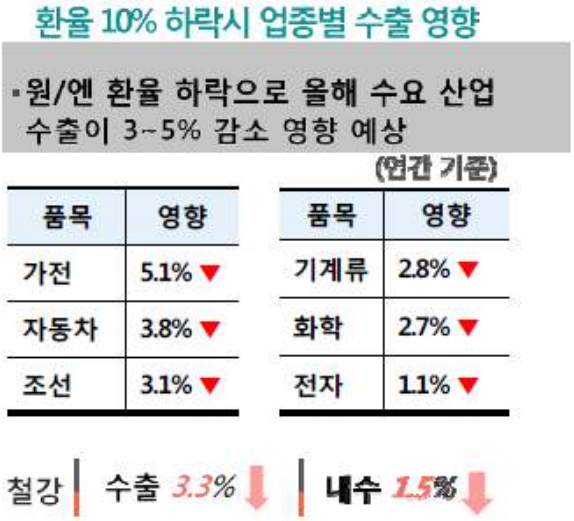
○ 이와 더불어 엔화절하로 인해 철강산업 수출경쟁력 약화되고 있으며 일본은 경제 부양 및 수출 가격경쟁력 강화 위한 엔화 약세 전략을 펼치고 있음.

○ 저성장 장기화, 무역수지 적자 확대, 양적 완화를 통한 경기부양

○ 엔저 현상, 각국 마찰 불구 상당기간 지속될 전망

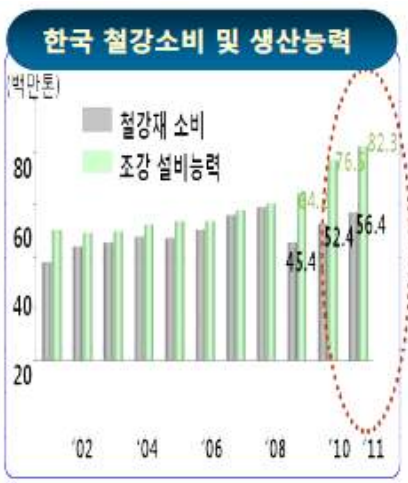
○ 이로 인해 철강산업 및 관련산업 수출과 내수에 부정적 영향이 우려되고 있음.





○ 이와 더불어 한중일 경쟁적 설비투자 확대, 반면 소비 위축 공급과잉 심화되고 있음.









○ 원료 공급업체, 독과점적 시장 지배력 확보상황
○ 원료 메이저, 압도적 시장지배력 우위로 가격 상승 주도.
○ 철강산업과 원료산업간 관계 : 2000년대 이후 공급자 우위 시대로 급변.
○ 원료 메이저 우위 장기화, 철강원료 가격 고수준 지속 전망.



○ 환경관련된 철강산업 이슈를 살펴보면, 철강산업에 대한 온실가스 규제 현실화되어 있음.

○ 환경, 철강산업 핵심 경쟁요소로 부각.
○ 환경 Cost 부담 지속 증가 가운데, 철강사간 주요 경쟁요소로 부상.
○ '탄소배출 원단위' 수준에 따른 철강사간 경쟁력 격차 확대 불가피
○ 탄소 및 에너지회수 설비 도입 및 Scrap 사용 확대 기술 개발 강화 등
○ 수소환원제철 등 차세대 혁신공정의 조기 상용화 촉진 전망
○ 中•印등 신흥국의 차별적 대우 요구 수용 시, 해당국 철강사 상대적 유리



○ 철근 가공업계 관계자들에 의하면 국내에서 철근 가공산업이 시작된 것은 대략 15년 전이며 연간 총 철근수요를 1,000만톤으로 봤을 때, 가공철근의 비중은 20~30% 정도로 볼 수 있음.

○ 정확한 양이 집계된 자료가 없다 보니 관계자들의 추정이나 일부 업체의 물량을 가지고 전체 물량을 추론할 수 밖에 없지만, 최근 현장가공에 비해 공장가공이 늘고 있다는 점은 누구나 인정하는 부분임.

○ 한편 한국철근가공업협동조합(이사장 유제철)의 조사에 의하면 조합 소속 업체는 전국에 30여 개, 조합 비소속 업체는 전국에 90여 개가 분포해 약 120여 개 업체가 철근가공시장에서 사업을 영위하는 것으로 알려졌음.

○ 규모가 더욱 작거나 영세한 업체들은 파악이 쉽지 않아 이들까지 합할 경우 그 규모는 더욱 늘어나게 됨.

○ 일본은 이미 철근 가공산업이 대세로 자리 잡았음.

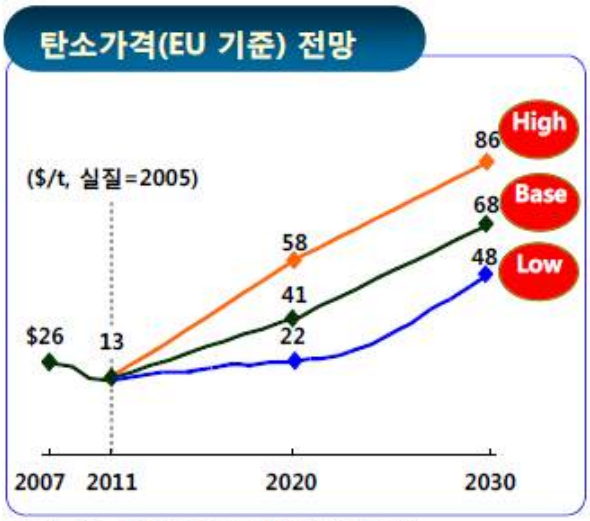
○ 1960년대 도쿄올림픽 당시부터 소규모 개인사업으로 시작해, 현재 연간 총철근 수요의 90%가 가공 철근인 것으로 알려졌음.

○ 일본의 경우 거품 경제 붕괴와 함께 철근 수요가 급감하면서 많은 철근가공업체 들이 정상적인 조업을 하지 못 하는 것으로 알려졌으며 최근 건설 경기 부진과 함께 철근 수요가 주는 국내 사정상 일본의 상황은 주의 깊게 참고할 필요가 있음.

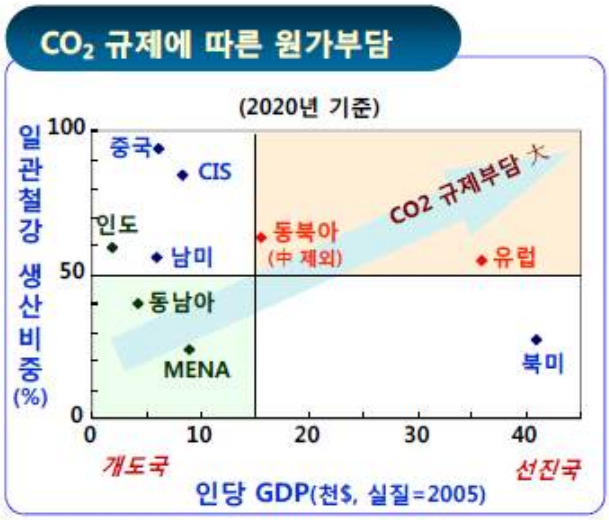
○ 2008년 한국건자재시험연구원이 한국철근가공업협동조합의 협조를 받아 전국 85개 가공업체를 대상으로 벌인 조사(85개 중 14개 업체 회신)에서 가공업체의 월 가공능력은 4,000~7,000톤이 50.0%, 7000~10,000톤이 33.3%, 2,000~4,000톤이 16.7%로 집계된 바 있음.

○ 철근 가공공장의 수주 형태를 살펴보면 전체 평균으로는 건설사 직접 발주가 37.4%, 재하도가 62.6%인 것으로 나타났음.
○ 규모별로는 소규모 업체(연간 가공능력 4만톤 이하)가 약 90%를 재하도로 수주하고 있는 것으로 나타났으며, 대규모 업체도 재하도 비율이 53.4%로 철근 가공공장의 대부분이 재하도 형태로 이뤄지고 있어 부실화 위험에 취약할 수 있는 것으로 나타났음.
○ 철근 공장가공은 운송비가 가공 원가에 서 차지하는 비중이 높아 영업 지역이 한정될 수 있다는 특징이 있음.
○ 시장 전체를 주도하는 업체가 나오기 어려운 구조다. 여기에 철근 공장가공의 이점에 대한 인식과 시대·환경적인 변화가 함께하면서 최근 10년간 많은 업체가 우후죽순처럼 생겨나기 시작했음.
○ 건설경기 부진과 함께 금융위기, 대기업 진출로 말미암은 가공비 하락과 운송비 상승 등의 힘든 상황 속에 체질이 건강하지 못한 업체들의 부실 및 부도가 진행되면서 최근 2~3년간 부작용이 나타났다. 더불어 자금회전을 위한 저가수주가 심해지면서 과당경쟁 때문에 가공비가 더욱 하락하고, 전문건설업체들의 부도가 잇따르면서 가공비를 받지 못하는 철근 가공업체들마저 속출하면서 가공업체들의 잇따른 부도가 발생하기도 했음.
○ 가공업체의 이러한 부도와 부실은 건설사들이 철근에 대한 지급 보증 금액을 더욱 키우는 어려움을 낳았음.
○ 어려운 상황에서도 철근 가공시장이 더욱 커질 것이라는 전망이 우세한 상황이어서 신규업체의 시장 진입이나 기존업체의 설비 투자는 여전히 이어지는 것으로 보임.
○ GS건설과 같은 건설업체의 가공시장 진출, 대한제강과 동국제강, 현대제철과 같은 제강사의 가공시장 진출, 철근 유통업체의 가공시장 진출 등으로 가공시장의 저변 및 사업체계 등도 전환점을 맞고 있음.

(다) 시장전망



자료 : IEA, MIT 등 주요 기관 전망치 종합



자료 : CRU, POSRI

○ 최근 원료쪽에서 신규 물량이 본격적으로 공급되기 시작하면서, 하반기로 갈수록 철강 원료 가격은 하향 안정화될 가능성이 큼.

○ 철강 수요가 소폭 증가하고 2012년 노후화된 생산 시설이 일부 정리 되었음에도 불구하고 개발도상국을 중심으로 한 신규 생산 시설의 증가로 글로벌 철강산업의 공급 과잉은 1년 전에 비해 더 늘어난 것으로 나타났음.

○ 최근 몇 년 동안 많은 철강업체들은 원자재(석탄, 철광석) 광산을 공급망에 통합시키고 있는 추세임.

기술측면

철근 배근 철근사공도 (Shop Drawing) 관련 CAD화 기술 확보 골조 및 마감 등 연관 공종의 철근사공도 (Shop Drawing) CAD화 파급 가능하며 골조 등 마감제품의 사전 제작으로 공기 단축 가능	철근 가공 자동화 시스템 기술 확보 설계, 가공, 조립에 대한 총괄 시스템의 운영으로 철근 공사 관리의 획기적 개선 가능	국내 자동화 기계설비의 기술력 확보 및 배양

품질측면

골조공사의 핵심부분인 철근 배근의 완벽한 품질 확보 가능 건설교통부의 건설제도 개혁안에도 철근사공도 (Shop Drawing)를 의무화하고 있으며 향후 완벽한 품질을 확보하기 위해 공장가공 정착의 의무화 예상	구조공사 합리화를 선도하는 가공공장으로서의 이미지 개선

나. 계획요약

단위 : 천원

구 분	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년	비 고
매출액	390,000	816,790	1,698,923	2,690,426	3,776,832	손익계산서참조
순현금흐름	60,797	187,720	866,942	866,942	1,800,374	자금수지표참조
매출원가	280,170	585,270	1,198,710	1,812,150	2,435,760	손익계산서참조
판관비	35,068	58,738	66,398	102,792	115,447	손익계산서참조
영업이익	74,762	172,782	433,816	775,484	1,225,624	손익계산서참조
순이익	63,899	144,023	350,109	618,428	972,283	손익계산서참조
자산	513,058	405,723	701,233	1,581,861	2,652,944	재무상태표참조
부채	420,157	168,800	114,200	376,400	475,200	재무상태표참조
자본	92,901	236,923	587,033	1,205,461	2,177,744	재무상태표참조

다. 매출계획

○ 철근가공 시스템의 매출액은 예상매출단가와 예상판매수량을 곱하여 산출하였으며, 내수와 수출로 나누어 산정하였음.

○ 내수의 경우 정부출연 연구소, 철근가공관련 기업 및 기업부설연구소 등의 루트로 판매예정이며, 수출의 경우 KOTRA 등 수출관련 지원기관을 통한 유럽, 북/남미 등 해외 수요처 발굴 단계적으로 판매를 확대해 나아갈 예정임.

○ 매출추정을 위한 주요 가정은 철강산업의 최근 3년 평균성장률을 감안하고 기업의 내부적인 영업/수주 목표를 참고하여 판매대수를 조정함.

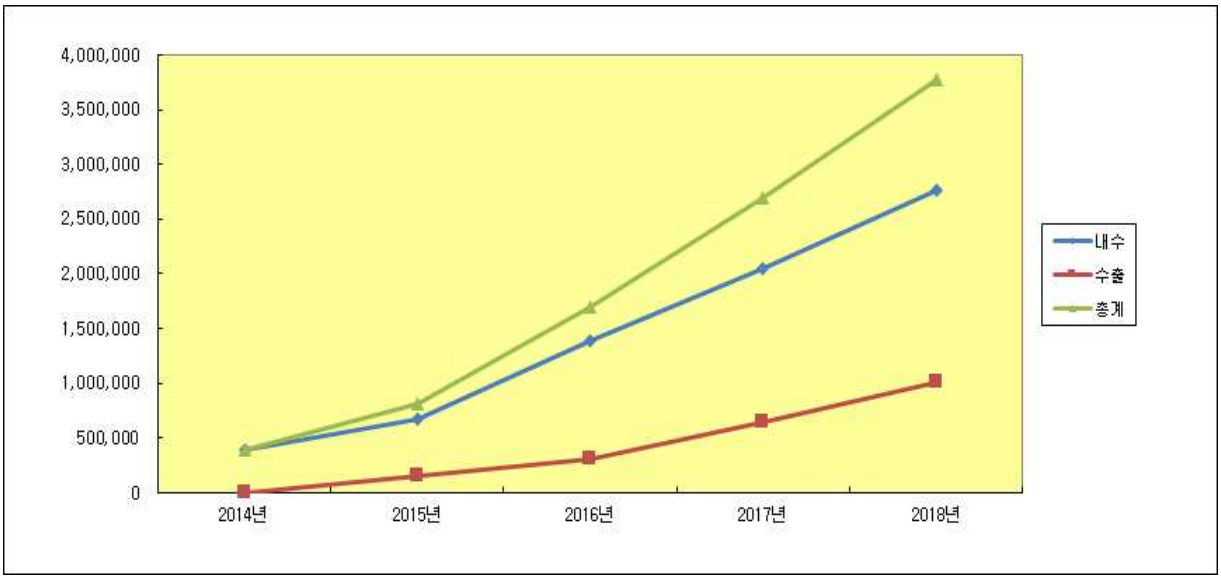
○ 철근가공시스템의 전략적인 Push 타이밍을 감안하여 연도별 매출 트랜드를 조정함.

○ 매출단가의 경우 수진업체에서 잠재수요 고객의 수용가능 가격대를 조사한 정보를 바탕으로 의사결정을 한 내부적인 잠재가격을 적용하되 기능/성능개선에 등에 따른 부분의 감안을위해 연도별 3~5% 사이에서 단계별 상향 조정 반영하였음.

○ 수출단가의 경우 국내단가대비 무역비용 등을 감안한 조정을 반영하였음.

단위 : 천원

제품명	매출구분	2014년	2015년	2016년	2017년	2018년
KL Iron system	내수	390,000	669,500	1,392,560	2,047,063	2,763,535
	개발자금	100,000	100,000			
	수출	0	147,290	306,363	643,363	1,013,296
	총계	390,000	816,790	1,698,923	2,690,426	3,776,832
total	평균단가	97,500	116,684	141,577	149,468	157,368
	수량	4	7	12	18	24
(1) 내수	단가	130,000	133,900	139,256	146,219	153,530
	수량	3.0	5.0	10.0	14.0	18.0
(2) 수출	단가	143,000	147,290	153,182	160,841	168,883
	수량	0	1.0	2.0	4.0	6.0



판매처/국가	예상 판매단가 (백만원)	5년후 기준 예상연간판매량 (개)	5년후 기준 예상연간 총판매금(백만원)
국내 (정부/지자체 출연 연구소등)	130~150 (기능개선에 따른 점진적 단가조정)	5대	768
국내 (철근가공 기업체/연구소)	130~150 (기능개선에 따른 점진적 단가조정)	13대	1,996
해외 (철근가공 업체/기관 등)	143~165 (수출제반비용 반영 및 기능개선에 따른 점진적 단가조정)	6대	1,013

라. 판매처 발굴 및 사업망 구축

(1) 협신 철강가공센터와의 전략적 제휴 및 구매의향서

구매능력이 가능한 판매처를 발굴하고 전략적 제휴를 협약하고 판매업체의 요구사항에 맞게 시스템을 업그레이드하여 구매로 이어질 수 있게 한다.

협신철강 현황

-15년 역사의 대구,경북권 최대의 철근 가공공장

상 호 : ㈜협신철강 가공센타
주 소 : 경북 영천시 대창면 사리리687번지
홈페이지 : http:// ezhssteel.co.kr
부 지 : 총5,000평
-제조시설 : 공장동 3개동 900평
-사 무 동 : 100평 -야적부지 : 4,000평

생산능력 : 가공 약 6,000톤/月 약 250톤/日
커플러 약 25,000Set/月

주요실적 : 토목 : 고속철도, 고속도로, 국도, 지하철, 교량(ILM,FSM,MSS등), 터널, 전력구, 통신구, 수수시설 등
건축 : 주상복합, 상가, 마트, 아파트, 변전소, 공공시설, 공장



<협신철강 제1공장>



<협신철강 제2공장>

KL-TECH — 협신철강가공센타

전략적 제휴 및 협동 협약서

협약당사자
(갑) KL TECH
(을) (주)협신철강가공센타

본 협약의 목적은 (갑),(을)이 공동의 이익을 위하여 사업을 원활하게 추진하는데 상호 협력하기 위함이다. 다음과 같은 사항에 대하여 협력할 것을 협약한다.

- 철근가공분야
- 기술경쟁력 강화를 위한 연구 개발정보 교류
- 철근가공 시스템 현장 적용성 평가 및 실효성 검토
- 기타 상호 관심 분야 공동 추진

본 협약서는 (갑), (을)이 서명함과 동시에 효력이 발생하며, 상호 이의가 없을 시에는 1년 단위로 자동 연장한다.

2014. 04. 07.

KL TECH 대표 이성규

(주)협신철강가공센터 대표 조우철

<협신철강과의 전략적제휴>

구 매 의 향 서

(주)협신철강가공센타(이하 "갑" 이라 함)는 KL TECH(이하 "을" 이라 함)에서 개발하는 수치제어 통합형 철근 가공시스템(이하 "시스템" 이라 함)에 대해 사업적 관심을 갖고 아래와 같이 시스템 구매에 대한 양해각서를 체결한다.

제 1 항 : 사업개요
"갑" 은 "을" 의 "시스템" 을 구매(활용)하여 "갑" 의 기존사업에 대해 차별화된 생산방식 및 사업의 시너지 창출을 위하여 적극적으로 활용하고자 한다.

제 2 항 : 전제조건
① "을" 의 "시스템" 이 품질, 성능, 안전에 전혀 문제가 없어야 한다.
② "갑" 의 가공공장에서 "시스템" 을 사용함에 있어서 사용효과와 생산성에 대해 검증을 받아야 한다.

제 3 항 : 공급계약 및 조건
① 공급 가격, 수량, 조건은 차후 별도로 협의한다.
② 공급계약은 "갑" 의 가공공장을 통해 필드테스트를 3개월간 실시한 후 체결한다.

2014년 5월 12일

갑
상 호 : (주)협신철강가공센타
대 표 : 조우철
주 소 : 경상북도 영천시 대창면 금박로 744-4
사업자등록번호 : 505-81-14328
전화번호 : 054-336-2006

을
상 호 : KL TECH
대 표 : 이성규
주 소 : 대구시 달서구 [illegible] 403-52
사업자등록번호 : 502-13-48460
전화번호 : 053-354-7905

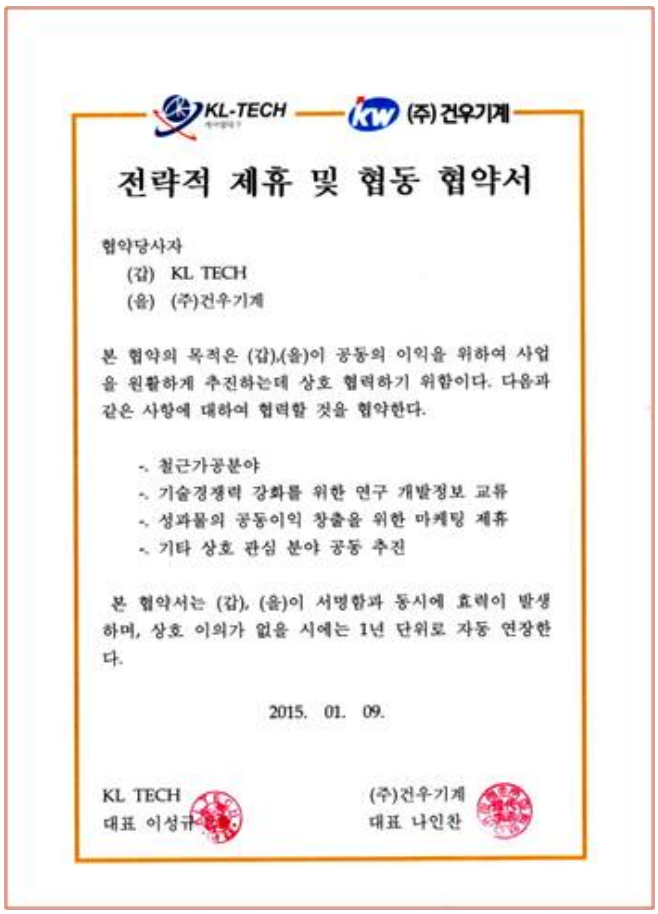
<협신철강의 구매의향서>

(2) 건우기계와의 전략적 제휴

○ 철근 수동 및 반자동 가공기 전문제작업체인 건우기계와의 전략적 제휴로 기술경쟁력 강화를 위한 연구개발정보를 교류하고 연구결과물을 상업화시켜 건우기계가 가진 영업망을 통해 연구결과를 판매한다.

○ 건우기계는 내수 30%, 수출70%의 매출을 올리고 있으며 수출지역은 아랍과 러시아에 수출의 75%와 동남아에 25%비율로 약 300만$의 실적을 올리는 회사로 아랍과 러시아에 진출한 한국건설회사(삼성,현대,한화)에 수출을 하고 있다. 동남아시아(태국,말레이지아,인도네시아,싱가폴)에는 중국이 각 나라마다 영업소를 갖고 있으며 A/S를 위한 기반이 구축되어있어 중국이 수출의 주를 이루고 있으나 아랍과 러시아에는 지역이 워낙 방대하여 영업소에서 A/S를 수행하는데 한계가 있어 중국보다 내구성이 튼튼한 한국기계가 수출의 주를 이루고 있는 실정이다.

○ KL TECH는 아랍과 러시아에 주 수출처로 잡고 건우의 영업망을 이용하여 공동 생산과 공동 마케팅을 준비중이다.



KL-TECH (주)건우기계

전략적 제휴 및 협동 협약서

협약당사자
(갑) KL TECH
(을) (주)건우기계

본 협약의 목적은 (갑),(을)이 공동의 이익을 위하여 사업을 원활하게 추진하는데 상호 협력하기 위함이다. 다음과 같은 사항에 대하여 협력할 것을 협약한다.

-. 철근가공분야
-. 기술경쟁력 강화를 위한 연구 개발정보 교류
-. 성과물의 공동이익 창출을 위한 마케팅 제휴
-. 기타 상호 관심 분야 공동 추진

본 협약서는 (갑), (을)이 서명함과 동시에 효력이 발생하며, 상호 이의가 없을 시에는 1년 단위로 자동 연장한다.

2015. 01. 09.

KL TECH
대표 이성규

(주)건우기계
대표 나인찬

<건우기계와의 전략적제휴>

3. 사업화 추진방안

가. 가격 경쟁력 확보

(1) 단위당 직접원가 분석

단위 : 천원

NO	품 명	수량	단위	단 가	금 액
재 료 비					
1	적재FRAME	1	식	5,000	5,000
2	컨베이어 FRAME	1	식	7,000	7,000
3	벤딩공급 FRAME	1	식	3,000	3,000
4	공압 ACTUATOR	1	식	7,000	7,000
5	MOTOR	1	식	15,000	15,000
6	절단unit A'ssy	1	식	8,000	8,000
7	AUTO 공급unit A'ssy	1	식	5,500	5,500
8	벤딩unit A'ssy	2	식	7,000	14,000
9	Control box A'ssy	1	식	7,000	7,000
10	기타자재	1	식	1,500	1,500
소 계					73,000
가공 및 설치비					
1	설계 및 엔지니어링	30	md	200	6,000
2	현장 설치및 전기공사	1	식	3,000	3,000
3	제작가공 및 조립	60	md	200	12,000
소 계					21,000
합 계					94,000

(2) 제조 직접비 추정

○ 제조직접비는 원재료비 및 제조직접비로 구분하였으며 단위당 원가에 매출수량을 곱하여 산정하였음.

<제조비 세부 산정내역>

단위 : 개, 천원

세부항목	단가	2014년		2015년		2016년		2017년		2018년	
		수량	금액	수량	금액	수량	금액	수량	금액	수량	금액
재료비 소계 (변동비)		3	198,000	6	396,000	12	792,000	18	1,188,000	24	1,584,000
적재 FRAME	5,000	3	15,000	6	30,000	12	60,000	18	90,000	24	120,000
컨베이어 FRAME	7,000	3	21,000	6	42,000	12	84,000	18	126,000	24	168,000
벤딩공급 FRAME	3,000	3	9,000	6	18,000	12	36,000	18	54,000	24	72,000
공압 ACTU ATOR	7,000	3	21,000	6	42,000	12	84,000	18	126,000	24	168,000
MOTOR	15,000	3	45,000	6	90,000	12	180,000	18	270,000	24	360,000
절단unit A'ssy	8,000	3	24,000	6	48,000	12	96,000	18	144,000	24	192,000
오토공급 unit A'ssy	5,500	3	16,500	6	33,000	12	66,000	18	99,000	24	132,000
벤딩unit A'ssy	7,000	3	21,000	6	42,000	12	84,000	18	126,000	24	168,000
Control box A'ssy	7,000	3	21,000	6	42,000	12	84,000	18	126,000	24	168,000
기타자재	1,500	3	4,500	6	9,000	12	18,000	18	27,000	24	36,000
직접노무비 소계(변)		9	90,000	18	180,000	36	360,000	54	540,000	72	720,000
설계/엔지니어링	6,000	3	18,000	6	36,000	12	72,000	18	108,000	24	144,000
현장설치/전기공사	3,000	3	9,000	6	18,000	12	36,000	18	54,000	24	72,000
제작가공 및 조립	21,000	3	63,000	6	126,000	12	252,000	18	378,000	24	504,000
총 계		12	288,000	24	576,000	48	1,152,000	72	1,728,000	96	2,304,000

(3) 매출원가의 추정

○ 제조직접비 이외의 제조간접비(세금과공과, 수도광열비 등) 별도 계상하여 반영함.

단위 : 천원

항 목	2014년	2015년	2016년	2017년	2018년
	1차년	2차년	3차년	4차년	5차년
	금 액	금 액	금 액	금 액	금 액
기초 원재료재고	-	33,000	66,000	99,000	132,000
당기 원재료 매입	198,000	396,000	792,000	1,188,000	1,584,000
기말 원재료 재고	33,000	66,000	99,000	132,000	158,400
Ⅰ.당기총제조비용	280,170	585,270	1,198,710	1,812,150	2,435,760
1. 재 료 비	165,000	363,000	759,000	1,155,000	1,557,600
2. 노 무 비	99,000	189,000	372,000	555,000	741,000
3. 경 비	16,170	33,270	67,710	102,150	137,160
(1)복리,공과 등	7,920	15,120	29,760	44,400	59,280
(2)기타 경비	8,250	18,150	37,950	57,750	77,880
Ⅱ.기초재공품원가	0	0	0	0	0
Ⅲ.기말재공품원가	0	0	0	0	0
Ⅳ.유형(타계정)대체액	0	0	0	0	0
Ⅴ.당기제품제조원가	280,170	585,270	1,198,710	1,812,150	2,435,760
기초 제품재고	0	0	0	0	0
기말 제품재고	0	0	0	0	0
Ⅵ. 당기 매출원가	280,170	585,270	1,198,710	1,812,150	2,435,760

(4) 인건비 계획

○ 직접노무비의 경우 제조직접비 추정자료 인용 => 수량은 매출수량임 (매출수량에 따른 직접노무비 추정)

○ 간접인력의 경우 : 수량은 인원수로서 해당부문에 대한 간접투입 비중을 반영하여 소수점 으로 나타냄.

○ 연구개발부문은 설계, 엔지니어링 직접노무비 부문에 상당수 반영되어 있으며 간접 연구인건비는 경상적인 부분만 소액 계상함.

<인건비 추정>

단위 : 천원

구 분	단 가	2014년		2015년		2016년		2017년		2018년	
		수량	인건비	수량	인건비	수량	인건비	수량	인건비	수량	인건비
간접인건비 (CEO)	40,000	0.3	12,000	0.3	12,000	0.3	12,000	0.5	20,000	0.5	20,000
간접인건비 (영업/무역)	28,000	0.0	-	0.3	8,400	0.3	8,400	0.5	14,000	0.5	14,000
간접인건비 (관리)	23,000	0.2	4,600	0.3	6,900	0.3	6,900	0.5	11,500	0.5	11,500
간접인건비 (연구개발)	30,000	0.1	3,000	0.3	9,000	0.3	9,000	0.5	15,000	0.5	15,000
소계	121,000	1	19,600	1	36,300	1	36,300	2	60,500	2	60,500
직접노무비 (설계,ENG)	6,000	3	18,000	6	36,000	12	72,000	18	108,000	24	144,000
직접노무비 (설치,전기)	3,000	3	9,000	6	18,000	12	36,000	18	54,000	24	72,000
직접노무비 (가공,조립)	21,000	3	63,000	6	126,000	12	252,000	18	378,000	24	504,000
간접노무비 (관리자)	30,000	0.3	9,000	0.3	9,000	0.4	12,000	0.5	15,000	0.7	21,000
소계	60,000	9	99,000	18	189,000	36	372,000	55	555,000	73	741,000
합계	181,000	10	118,600	20	225,300	38	408,300	57	615,500	75	801,500

나. 마케팅 능력 확보

○ 현재 영업시스템은 대표자와 연구소장 등 주요 임원을 중심으로 직접 영업을 수행하고 있음

○ 향후 개발완료 후 사업화 연도부터 전문 영업인력의 채용 및 체계적인 영업/홍보 및 수주활동을 전개해 나아갈 예정

○ 제품컨셉, 판매대상, 단가 등 마케팅 활동에 대한 기본적인 방향과 아이디어는 정립되어 있으나 구체적인 STP 및 4P전략은 다소 미비한 편이며 개선이 필요함. 시장을 좀 더 세분화하여 잠재고객 대상을 명확히 설정하고 각 사업화 연도별 Target과 접근경로 및 4P 전략의 구체화 필요함.

○ 특히 촉진전략(광고, 홍보 및 수요촉진을 위한 온/오프라인상 다양한 홍보전략이 필요함)

비즈니스 모델	연구개발 및 사업화	영업/마케팅
현장가공의 제반 단점을 극복하고 수주, 검토에서부터 가공 및 납품까지의 전과정을 시스템화 된 공장가공을 통해 실시간 모니터링과 피드백이 가능한 효율적이고 생산적인 비즈니스 모델임	개발제품의 사업화를 위한 연구개발 역량과 개발환경은 우수한 편임. 다만, 사업화를 위한 전문인력의 확보, 신규사업 초기 투자비용의 확보 등이 주된 해결 과제임	개발기술의 제품화와 성공적인 사업화를 위해서는 향후 전문 영업인력의 확보 및 세부적인 마케팅전략의 보완이 필요할 것으로 판단됨.

다. 자금조달능력확보

(1) 추정 손익계산서 (판관비계획 포함)

○ 타 사업에 대한 손익변동효과를 감안하지 않은 현재 기준에서의 공통부문 원가만 감안하여 증분손익을 도출함.

○ 소득세/법인세의 경우 실제 감면여부를 떠나 경제성분석 취지상 세금효과를 반영함.

○ 당기순이익률은 사업화 1차년도 16%에서 5년차 25% 내외로 점진적 성장하여 손익이 개선되는 것으로 나타남.

단위:천원

과 목	2014년	2015년	2016년	2017년	2018년
	1차년	2차년	3차년	4차년	5차년
	금 액	금 액	금 액	금 액	금 액
Ⅰ. 매 출 액	390,000	816,790	1,698,923	2,690,426	3,776,832
1. 수출액	0	147,290	306,363	643,363	1,013,296
2. 개발지원금	100,000	100,000	0	0	0
3. 국내매출	390,000	669,500	1,392,560	2,047,063	2,763,535
Ⅱ. 매출원가	280,170	585,270	1,198,710	1,812,150	2,435,760
Ⅲ. 매출총손익	109,830	231,520	500,213	878,276	1,341,072

Ⅳ. 판매비와 관리비		35,068	58,738	66,398	102,792	115,447
	1. 급여 및 수당	19,600	36,300	36,300	60,500	60,500
	2. 복리후생비	1,568	2,904	2,904	4,840	4,840
	3. 접 대 비	5,000	7,000	10,000	14,000	20,000
	4. 광고선전비	5,000	6,000	7,000	10,000	15,000
	5. 기타판관비	3,900	6,534	10,194	13,452	15,107
Ⅴ. 영 업 손 익		74,762	172,782	433,816	775,484	1,225,624
Ⅵ 영 업 외 수 익		675	1,260	3,390	4,670	6,790
	1.이 자 수 익	675	1,260	3,390	4,670	6,790
	2. 기타영업외수익					
Ⅶ 영 업 외 비 용		3,640	3,500	2,450	1,400	0
	1.이 자 비 용	3,640	3,500	2,450	1,400	0
	2. 기타영업외 비용					
Ⅷ 경 상 손 익		71,797	170,542	434,756	778,754	1,232,414
Ⅸ. 세전순이익		71,797	170,542	434,756	778,754	1,232,414
	법인세(주민세) 등	7,898	26,519	84,646	160,326	260,131
Ⅹ. 당기 순손익		63,899	144,023	350,109	618,428	972,283

(2) 추정 대차대조표

○ 신규사업 수행을 위해 신규 설비투자 없이 현재 보유중인 유형자산 등을 공동장비로 활용하여 수행할 예정.

○ 향후 5년 후 매출액 최고치 달성시 총 24대/연간 가량의 제품제조가 필요하며 현재의 보유자산CAPA로 소화가 가능하며 연간 40대 이상의 제조시 추가적인 CAPA증설을 위한 가공기, 용접기 등의 신규 설비투자가 필요함. (공정비품 등 소폭 반영함)

○ 매출채권과 매입채무의 경우 회계연도말 기준 당기 매출(또는 매입)분의 10%~30% 내외의 수준에서 결제 이월을 가정하여 잔액을 산출함.

○ 차입금의 경우 회사전체 차입금을 신규아이템 기여분 만큼 안분한 후 연도별 상환액을 반영하여 계상함.

○ 자본금(자기자본)도 타인자본(차입금)과 마찬가지로 같은 방식으로 안분하여 계상함. 기계장치, 차량운반구, 비품(유형자산), 임차보증금 등도 회사전체 금액을 규아이템 기여분 만큼 안분하여 산정함.

단위 : 천원

항 목				2014년 1차년 금 액	2015년 2차년 금 액	2016년 3차년 금 액	2017년 4차년 금 액	2018년 5차년 금 액
유동자산	Ⅰ. 유 동 자 산			456,049	372,192	623,311	1,472,223	2,501,476
		(1)당좌자산		423,049	306,192	524,311	1,340,223	2,343,076
			1.현금과예금	60,797	187,720	359,776	866,942	1,800,374
			2.매출채권	362,252	78,000	163,358	339,785	538,085
			3.기타당좌자산		40,472	1,177	133,496	4,617

	(2) 재고자산		33,000	66,000	99,000	132,000	158,400
		1.상제품/반제품					
		2.원재료	33,000	66,000	99,000	132,000	158,400
		3.기타재고 자산					
고정자산	Ⅱ. 비 유 동 자 산		13,719	33,532	77,922	109,638	151,467
	(1) 투자자산			20,000	50,000	80,000	120,000
	(2) 유형자산		7,719	7,532	18,922	17,638	16,467
		1.토지・건물・구축					
		2.기계장치	785	510	99	0	0
		3.차량운반구	1,728	1,556	13,084	11,612	10,140
		4.건설중인 자산					
		5.기타 비품등	5,206	5,466	5,739	6,026	6,327
	(3) 무형 / 기타		6,000	6,000	9,000	12,000	15,000
		1.개발비					
		2.기타	6,000	6,000	9,000	12,000	15,000
자 산 합 계			469,768	405,724	701,233	1,581,861	2,652,944
타인 자본	Ⅰ. 유 동 부 채		376,867	168,800	114,200	376,400	475,200
	(1)매입채무		59,400	118,800	79,200	356,400	475,200
	(2)단기차입금		52,000	50,000	35,000	20,000	0
	(3)유동성장기부채						
	(4)기타유동부채		265,467			0	0
	Ⅱ. 비 유 동 부 채		0	0	0	0	0
	(1) 회 사 채(장기)						
	(2) 장기차입금						
	(3) 기타장기차입금						
부 채 총 계			376,867	168,800	114,200	376,400	475,200
자기자본	Ⅰ 자 본 금		29,002	29,002	29,002	29,002	29,002
	Ⅱ 자 본 잉 여 금						
	Ⅲ이익잉여(결손)금		63,899	207,922	558,031	1,176,459	2,148,742
	Ⅳ 자 본 조 정						
자본총계			92,901	236,923	587,033	1,205,461	2,177,744
부채와 자본 총계			469,768	405,723	701,233	1,581,861	2,652,944

(3) 자금조달 및 상환계획

○ 손익 및 재무계획을 바탕으로 현금흐름을 도출하였음.

○ 매출채권 및 매입채무의 경우 기말잔액 및 이월액을 감안하여 현금흐름을 산정함

○ 제조경비 및 판관비의 경우 당기발생분은 당기 지출로 가정함.

○ 매년 단기차입금 상환을 반영하였으며 유휴자금의 금융투자도 반영함.

○ 감가상각비 등 비현금성 비용은 현금흐름에서 제외함.

○ 분석결과 현금흐름이 (+)의 값을 나타내며 점진적으로 증가해 나아가는 정상 성장구조를 보이고 있음.

<차입금 상환계획>

구 분			2014년	2015년	2016년	2017년	2018년
전기이월시재			0	60,797	187,720	359,776	866,942
수입	매출수금	철근가공(내수)	312,000	613,600	1,247,948	1,916,163	2,620,241
		철근가공(수출)	0	117,832	274,549	575,963	939,310
		기타(국책R&D)	100,000	100,000			
	기타수입	차입금	0	0	0	0	0
		이자수익	675	1,260	3,390	4,670	6,790
		기타					
	수입계(B)		412,675	832,692	1,525,887	2,496,795	3,566,340
지출	제조원가	원자재/외주비	198,000	396,000	792,000	1,188,000	1,584,000
		노무비	99,000	189,000	372,000	555,000	741,000
		제조경비	16,170	33,270	67,710	102,150	137,160
	판관비	인건비(공통비)	19,600	36,300	36,300	60,500	60,500
		복리후생비	1,568	2,904	2,904	4,840	4,840
		접대비	5,000	7,000	10,000	14,000	20,000
		광고선전비	5,000	6,000	7,000	10,000	15,000
		기타	3,900	6,534	10,194	13,452	15,107
	자산	자산투자		260	13,273	287	301
	금융지출	원금상환	0	5,000	10,000	10,000	15,000
		금융투자	0	20,000	30,000	30,000	40,000
		지급이자	3,640	3,500	2,450	1,400	0
	지출계(C)		351,878	705,769	1,353,831	1,989,629	2,632,909
시재잔액(D=A+B-C)			60,797	187,720	359,776	866,942	1,800,374

구 분	2014년	2015년	2016년	2017년	2018년
기초잔액	52,000	52,000	50,000	35,000	20,000
신규조달					
상 환		2,000	15,000	15,000	20,000
기말잔액	52,000	50,000	35,000	20,000	0

○ 사업화 5년차에 기존 차입금 전액 상환을 가정하여 Zero 잔고를 달성함을 가정하며 이를 위해 매년 일정액 상환을 가정함.

라. 사업 경제성 분석

(1) 자금수지요약표

○ 재무계획을 통해 도출된 손익추정자료를 토대로 현금흐름을 도출하여 해당 손익년도의 현금흐름이 (+) 또는 (-)의 순현금흐름인지 여부와 그 규모의 추이를 보고자 함.

구 분	2014년	2015년	2016년	2017년	2018년
현금유입	412,675	832,692	1,525,887	2,496,795	3,566,340
현금유출	351,878	705,769	1,353,831	1,989,629	2,632,909
순현금흐름	60,797	126,923	172,056	507,166	933,432

○ 자금수지분석 결과 향후 사업화 5개년 동안 (+)의 순현금흐름을 나타내며 점차 상승하고
있음을 알 수 있음.

(2) 경제성 분석

○ 매출, 원가, 판관비 등 재무추정자료를 토대로 현금의 유입과 유출을 아래와 같이 요약 도출하였으며 현금흐름은 재무추정 결과를 바탕으로 도출된 자금수지계획표를 토대로 산정하였으며 경제성분석은 현재가치법(NPV)과 내부수익률법(IRR)을 이용하여 2가지 방법으로 계산함.

(가) NPV분석

○ 순현재가치(Net Present Value : NPV)의 줄임 말로서 현재가치법(NPV)은 투자로 인하여 발생하는 현금유입의 현재가치에서 현금유출의 현재가치를 차감한 미래현금흐름을 자본비용으로 할인하여 현재가치 구한 후 현재가치에서 투자비용을 차감하여 순현재가치를 구하는 방식으로 NPV>0 일 경우 사업투자에 대한 경제성이 있는 것으로 판단하는 방식임

$$\frac{CF_1}{(1+R)} + \frac{CF_2}{(1+R)^2} + \cdots + \frac{CF_n}{(1+R)^n} - I_0 = \sum_{t=1}^{n} \frac{CF_t}{(1+R)^t} - I_0$$

○ 가중평균자본비용의 계산은 총자본에 대한 자기자본 및 타인자본의 비중에 각 자본에 대한 자본비용을 곱하여 가중평균하여 산출함

$$WACC = k_b \cdot \frac{B}{B+S} + k_s \cdot \frac{B}{B+S}$$

○ 자기자본비용의 계산은 CAPM(자본자산가격결정모형)상의 철강산업 베타를 적용하여 산출하며 무위험자산이자율은 3개월만기 CD수익률을 적용하였으며 시장기대수익률은 종합주가수익율을 적용하여 산정하는 것이 일반적임.

$$E(R_i) = r_f - [E(R_M) - r_f]\beta_i$$

○ 본 고에서는 국내 유명 증권사에서 사전 분석해 놓은 데이터를 인용하여 사용함. (우리투자증권에서 철강대표기업인 POSCO에 대한 분석결과를 바탕으로 함)

○ Market Risk Primium은 5.2%, risk free rate 5.3%, 베타 0.9 등이며 COE(자기자본비용)은 9.7%임.

○ 현재가치법은 가치를 금액으로 파악이 가능하고, 가치가산원리가 적용되는 장점이 있으나 투자안 규모/연수/현금흐름양상 현저한 차이 시 비교상 애로가 있는 단점도 함께 있는 방법임.

○ 순현가가 0보다 크면 투자를 채택하고, 순현가가 0보다 적으면 투자안을 기각함.

<가중평균자본비용 WACC 산출결과 요약>

구 분	금 액	구성비	세전자본비용	세후자본비용	WACC
타인자본비용 (안분 차입금)	52,000	36%	5.0%	3.5%	1.26%
초기자기자본 안분금액	92,901	64%	9.7%	7.8%	4.98%
합계	144,901	100%			6.2%

<NPV 분석결과는 다음과 같음>

구분	총투입비	1차년 현금유입	2차년 현금유입	3차년 현금유입	4차년 현금유입	5차년 현금유입
현금흐름	-7,034,015	412,675	832,692	1,525,887	2,496,795	3,566,340

NPV(순현가) =	1,401,414	=>	투자안의 경제성 있음.

투자안의 경제성이 있음으로 판단됨.

(나) IRR분석

○ 내부수익률법(IRR)은 투자에 대한 내부수익률과 요구수익률을 비교하여 투자결정을 하는 방법으로서 내부수익률이란 예상된 현금수입과 지출이 합계를 서로 같게 만드는, 순현재가치 NPV = 0 (Zero) 가 되는 즉, 현금유입과 유출이 동일해지는 CI=CO 인 할인율 r을 도출하여 수익률을 판단하는 방법임.

$$CFo + \sum_{i=1}^{n} \frac{CFi}{(1+r)\text{^}i} = 0$$

$$CFo + \frac{CF1}{(1+r)\text{^}1} + \frac{CF2}{(1+r)\text{^}2} + \frac{CFn}{(1+r)\text{^}n} = 0$$

r = IRR, %

n = time period of the project / investment

○ 단일 투자안과 독립적 투자안은 내부수익률 > 요구수익률 일때 그 투자를 채택함.
본 고에서의 비교대상 요구수익률은 신규개발부분으로서 사전 판단이 어려운 부분이 있으며 수용가능한 수준의 요구수익률은 가중평균자본비용(WACC)과 비교하여 최종 결론을 도출하였음.

<분석 결과>

IRR(내부수익률) = 6% ≒ 6% (요구수익률) > WACC => 사업의 경제성 있음.

○ 산출된 IRR수준이 아주 높은 편은 아니나 WACC와 대등소이한 수준으로 도출되어 경제성이 있음을 판단함.

마. 사업성과 활용 방안

(1) 철근가공 최적스케줄링 소프트웨어

○ 가공전 전산 CAD파일은 오픈라이브러리를 통해 DXF는 텍스트 기반의 중립포멧으로 이에 대한 자료를 분석하고 도형을 별도로 분리하여 배근정보를 추출 하고 철근형상과 치수, 가공방향, 수량 등의 정보를 종합하여 철근정보를 생성하고 이를 일반적인 데이터 포맷인 EXCEL포멧으로 변환하여 현장 사용자의 활용도를 높임.

(2) 가공프로그램 생성

○ 최적 절단 스케줄링이 완료되면, 스케줄 정보를 기반으로 절단에 대한 가공 G코드를 생성하며, 동시에 이와 연계된 절곡동작에 대한 G코드와 절단/절곡 및 Loading/Unloading의 연동된 동작을 보조하기 위한 보조 M코드를 생성하는 프로그램으로 다른 CNC에도 적용 가능하여 기존 시스템을 업그레이드하는데도 사용가능해서 현장에 설치될 수 있음.

(3) Loading에서 절단 절곡 및 Unloading이 가능한 하이브리드 철근 가공 시스템

○ 필요한 수 만큼의 Loading된 철근을 절단기로 보내주는 Auto Loading 시스템과 절단기의 연동 시스템 개발 철근을 절단하고 절단된 철근은 그 제품이 절단제품인지 절곡제품인지를 구분하여 분류하고 Unloading 부와 절곡부로 자동이송되는 시스템으로 바로 현장에 적용하여 생산 가능함.

(4) 전송 및 모니터링 소프트웨어

○ 생성된 가공코드를 각각의 수치연산 컨트롤러에 전송될 수 있도록 전송 시스템으로써 가공에 대한 통계정보를 실시간으로 모니터링 할 수 있음. 현장에서 활용되는 데이터 전송전용 RS232C 디바이스 또는 랜선을 통해 전달될 수 있는 사양으로 개발되기 때문에 네트웍망만 구축된 어떤 현장에서도 구축이 가능하며 생산현장에 구축된 테스트배드를 통해 현장적응성과 실효성을 실증할 계획임.

4. 기존 연구 및 타연구와의 연계

가. 산학연 첫걸음 기술개발 과제 제안

(1) 주관기관 : (재)경북하이브리드부품연구원

(2) 과제제목 : 철근 가공품의 묶음 처리를 위한 Twist Ties 개발

(3) 과제제안일 : 2014년 10월

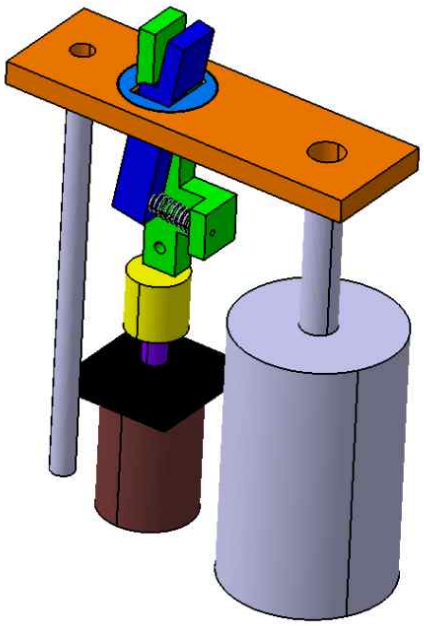
(4) 주요사업 내용 :

(가) 기술개발 목표

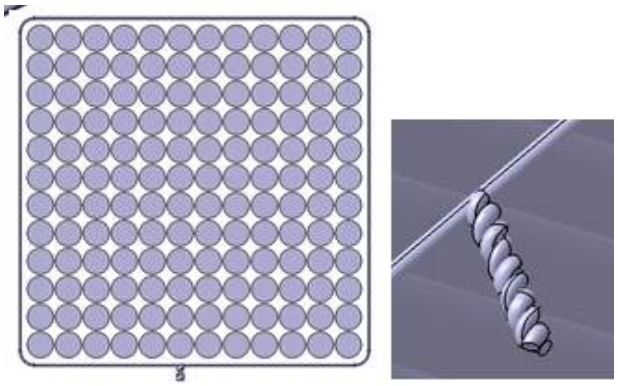
○ Twist Ties 장비 개발

- 철근적재 System 효율성 향상

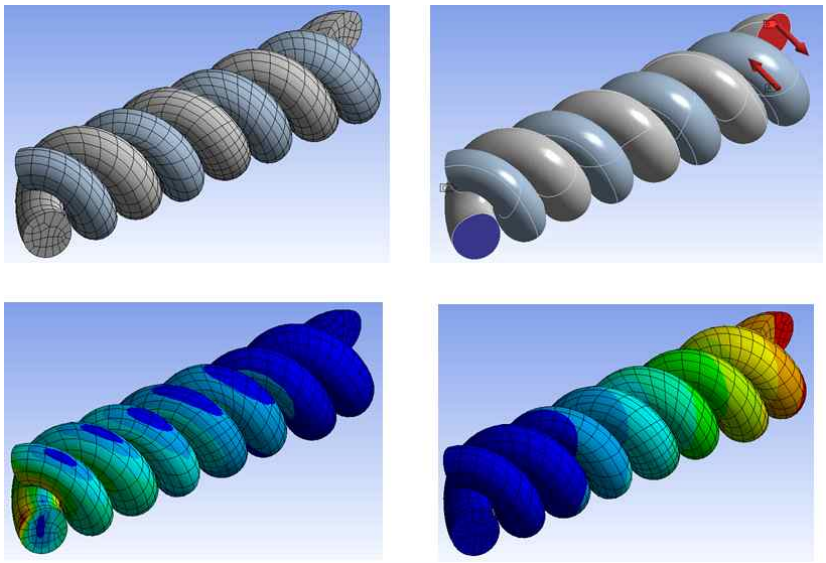
- 철근적재 속도 향상 (300% 향상)



<Twist Ties 장치 설계(안)>



<Twist Ties>



<Twist Tie 전산해석>

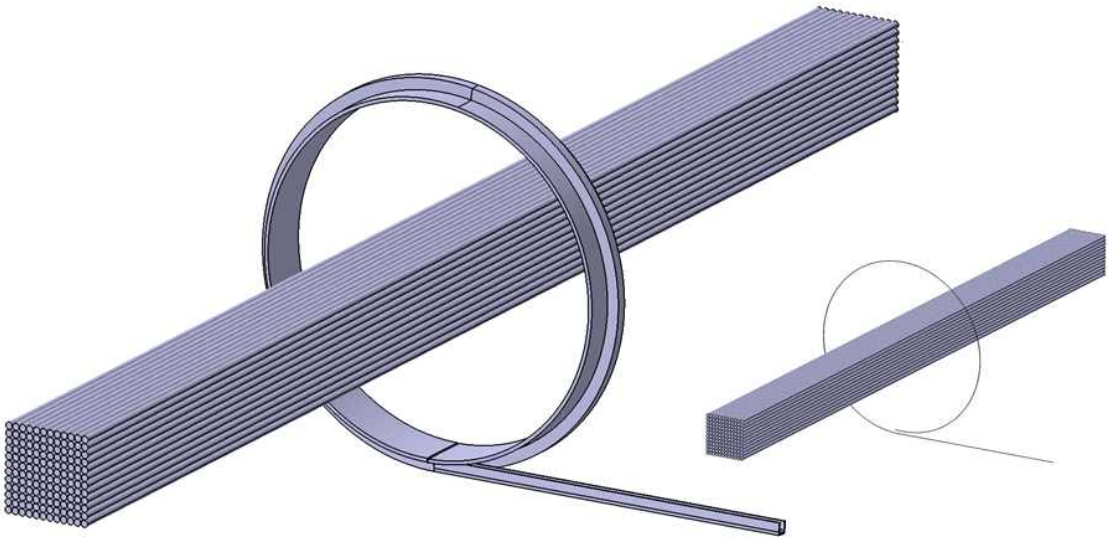
(나) 기술개발 내용 및 방법

○ 철근적재 System 효율성 향상

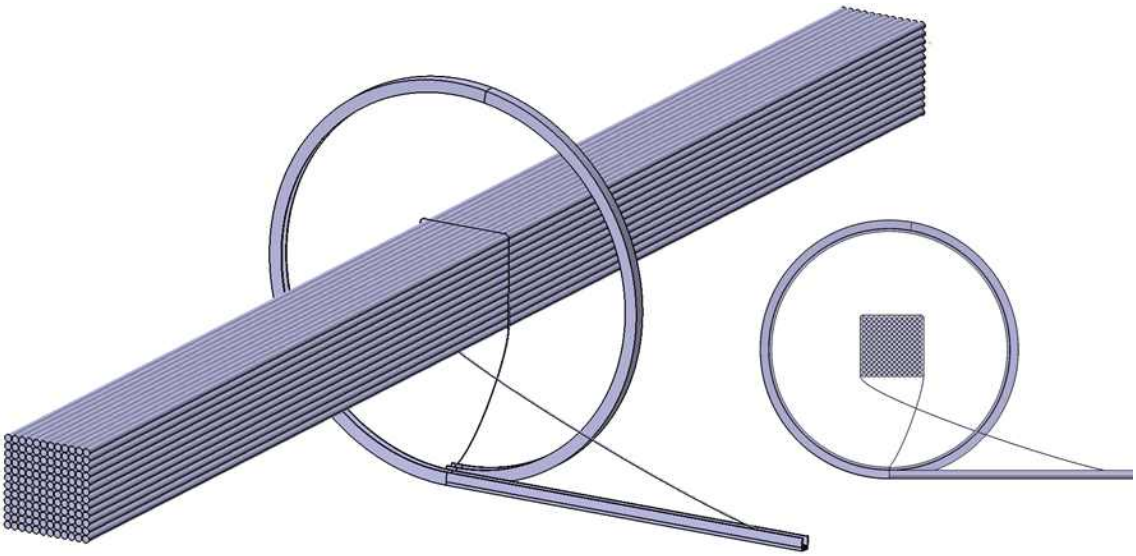
- 철근의 적재관리 시스템 제작
- 철근의 자동 이송 및 카운팅 시스템 제작



<소형 포장기용 Twist Ties>



<Moving Winding>



<Tension>

○ 철근적재 속도 향상 (300% 향상)

- 직경 19mm, 10M 철근 , 150개 정리 및 이송시간 기준
- 기존 15분의 작업시간을 5분 이내로 향상

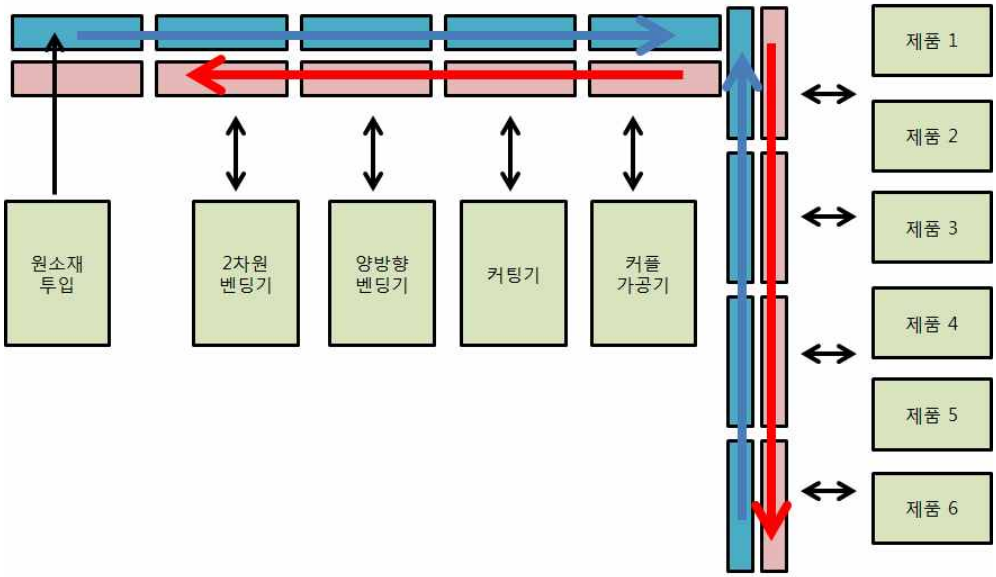
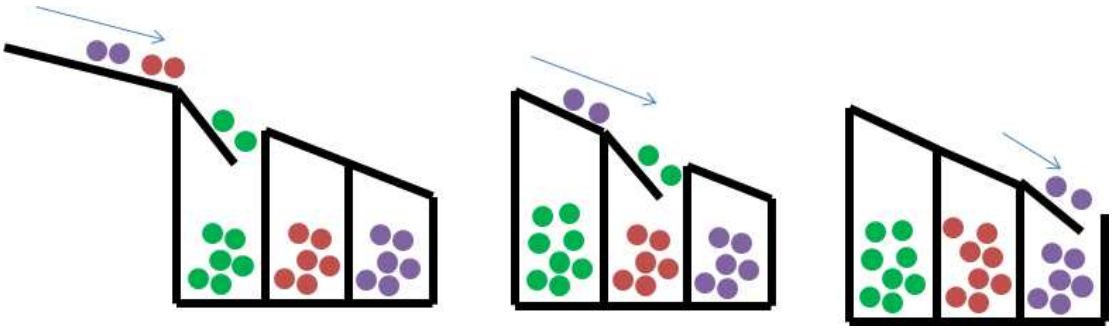
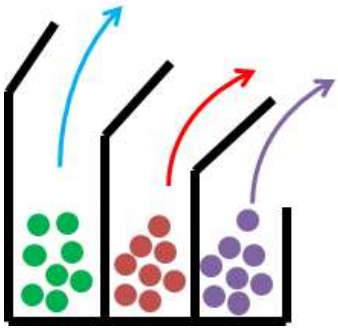


그림 639 철근 이송 시스템 구성



<중력에 의한 작업물의 분리공정 (분리 공정 개수의 제한이 있음)>



<작업물의 배출과정>

단점

- 분리공정 이후 최종 하적 공정하기 다시 한번 제품을 이동시켜야 하는 불편함이 있음
- 제품을 배출하는 과정이 사람의 인력에 의해서 하기 때문에 노동강도가 높음
- 때문에 외국인 노동자 위주로 작업이 이루어 지고 있음

○ 개발 진행 중인 장비와의 연동

- 주관기관 (협신철강) 자체적으로 개발 중인 벤딩기와 연동
- 작업의 효율성 및 안전성 향상

○ Uploading System 개발

- 철근을 벤딩기 또는 철근 절단기에 올려놓을 수 있는 구조물 설계
- 철근의 자동 배치를 통해 생산 공정 단축 및 불량률 감소효과 기대

(다) 기술개발시 예상효과(기대효과)

○ 생산성을 약 10% 향상

○ 생산속도가 약 20% 높음

○ 경쟁사 대비 3% 낮은 비용

(5) 신청결과 : 기업체 사정으로 개발일정을 보완하여 진행하기로 함

(6) 예상 사업비 및 기간

○ 사업기간 : 약 2년

○ 사업비 : 3억원

5. 국내외 유사장비와의 차별성

가. 국내 유사장비 현황

(1) 건우기계

○ 국내 철근가공기 관련 대표적 기업으로 현장에서 사용되는 수동기기, 반자동기기의 적용 비율이 높음.

(가) 주요 장비 현황

○ 수동 철근 절단기로는 KMC시리즈를 판매 중에 있으며 철근 절곡기로는 KMB시리즈가 대표적임.

○ 가공 파트별 자동화 기기의 경우 철근자동절단시스템인 KMC시리즈가 있으며 철근자동절곡시스템으로는 KBS시리즈를 판매 중에 있음.



철근절단기(KMC-25H)



철근절곡기(KMB-32)



철근자동절단시스템 (KCM-52KS)



철근자동절곡시스템 (KBS-25-5)

(나) 차별성

○ 건우기계에서 판매중인 철근가공기는 본 연구성과물과 같은 형태의 철근절단절곡 통합시스템은 없으며 가공 파트별 자동화 기기의 경우 철근의 가공스케줄링, 로딩/언로딩 등의 작업공정을 현장 작업인력이 수작업으로 수행하고 있어 본 연구성과물 대비 생산성, 인당생산량은 낮으며 잔재발생량은 다소 높은 것으로 판단됨.

(2) 태연기계

(가) 주요 장비 현황

○ 수동 철근 절단기로는 TYC시리즈를 판매 중에 있으며 철근 절곡기로는 TYB시리즈가 대표적임. 가공 파트별 자동화 기기의 경우 철근자동절단기인 TAC시리즈가 있으며 철근자동절곡기로는 TAB시리즈를 판매 중에 있음.



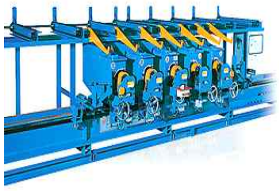
철근절단기
(TYC-HD25B)



철근절곡기(TYB-D35)



철근자동절단기
(TAC-HD60LM)



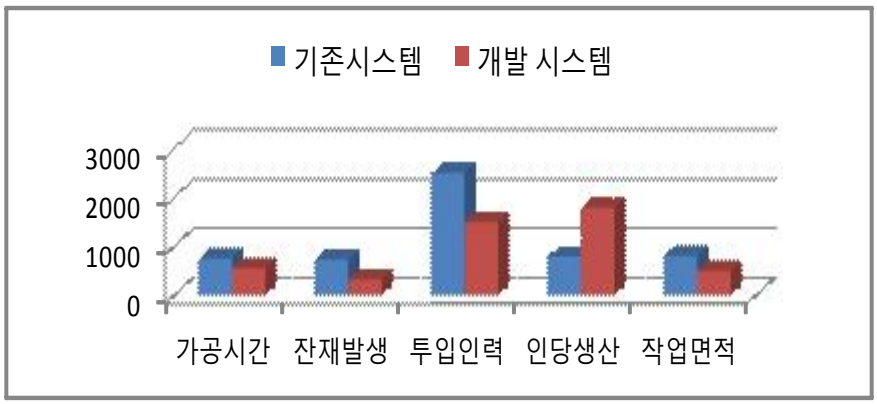
철근자동절곡기
(TAB-HD32A)

(나) 차별성

○ 태연기계에서 판매중인 철근가공기 역시 본 연구성과물과 같은 형태의 철근절단절곡 통합시스템은 없으며 가공 파트별 자동화기기 역시 건우기계 제품과 유사한 문제점으로 인해 본 연구성과물 대비 생산성, 인당생산량은 낮고 잔재발생량은 높은 것으로 판단됨.

(3) 국내 장비와의 성능 비교

○ 본 과제의 연구성과물과 건우기계의 철근자동절단기, 철근자동절곡기의 현장적용성 평가를 진행한 결과 가공시간 27%단축, 작업소요면적37% 감소, 현장투입인력 40%감소, 인당생산량 123% 향상 등 우수한 결과를 도출하였음.



< 기존 시스템 및 개발시스템의 현장적용성 평가 결과 >

나. 국외 유사장비 현황

(1) TOYO社(일본)

○ TOYO社는 반세기 동안의 독창적인 기술력과 품질로 고효율/고생산성의 철근가공기를 제작/판매하는 업체로 일본에서의 점유율 1위를 달성하고 있음.

(가) 주요 장비 현황

○ 주요 판매품으로는 자동절단기(TFC시리즈), 자동절곡기(TBS시리즈), 자동절단절곡기(TBC-16RB)가 있으며, 가공파트별 자동화기기(절단기, 절곡기)의 경우 국내 대비 내구성 및 생산성에서 우수한 것으로 판단됨.

< 주요 장비 특징 >

	철근 자동 절단/절곡기	철근 자동 절단기	철근 자동 절곡기
모델			
주요 사양	• 재료 공급 속도 : 54.6m/min • 이송 속도 : 최대 2580mm/min • 밴딩 속도 : 187rpm • 절단 속도 : 최대 0.8초 • 가공 가능 길이 : 4~12m • 가공 가능 철근직경 : D10~16 • 반복 정밀도 : 가공치수 ± 1.5mm • 반복 정밀도 : 벤딩 각도 : ± 1°	• 자동 업로딩 시스템 구축 • 재료 공급 속도 : 54.6m/min • 밴딩 속도 : 187rpm • 절단 속도 : 최대 0.8초 • 가공 가능 길이 : 0.5~8m • 가공 가능 철근직경 : D10~32	• 가공가능 밴딩각도 : 15~180° • 밴딩 회전 속도 : 2.5~7.5rpm • 밴딩 이동 속도 : 1.1~13.4m/min • 가공 가능 길이 : 0.5~8m • 가공 가능 철근직경 : D10~25 • 동시가공본수 : 9EA

(나) 차별성

○ TOYO社 철근가공기의 경우 본 연구성과물과 같은 통합시스템으로 구현하기에는 기술적 보완, 제품의 가격 고려, 넓은 장비보유 면적과 같은 여러 제약이 있음.

○ 본 연구성과물과 유사한 형태의 철근자동절단절곡기의 경우 업로딩, 언로딩시스템의 부재로 철근의 로딩 및 언로딩 작업을 수작업으로 진행해야하는 단점이 있어 투입인력 대비 가공성능이 본 연구성과물 대비 낮을 것으로 판단됨.

(2) SCHNELL社(이탈리아)

(가) 주요 장비 현황

○ SCHNELL社의 경우 본 연구개발성물과 가장 유사한 기능을 보유한 자동철근절단절곡 통합시스템을 판매하고 있으며 BAR-WISER시리즈가 대표적임.

○ 철근 가공 시스템의 전자동화 구현, 우수한 형상 가공 성능을 보유하고 있으나, 대부분 장비가 매우 크로 고가인 문제점이 있음.

< 주요 장비 현황 >

BAR WISER 22N	BAR WISER 22S	BAR WISER 28
		

(나) 차별성

○ BAR-WISER의 경우 코일철근에 대한 연속생산형 가공기의 형태로 본 연구개발 성과물에서 적용하는 BAR-철근에 대한 작업의 제약이 있으며, 코일철근의 Straightening 작업이 추가적으로 진행되어야하는 단점이 있어 국내 한국철강에 도입되었으나 장비규모대비 생산유연성이 떨어져 원활히 활용되지 못한 사례가 있음.

○ 또한 가공 대상 철근(BAR 철근/코일철근)이 다르므로 궁극적으로 본 과제의 연구성과물과는 비교가 불가하다고 판단됨.

다. 연구성과물의 우수성

(1) 기존 장비 대비 연구성과물의 우수성

○ 본 기술개발을 통해 공장가공방식의 철근가공자동화를 위한 전체 시스템의 핵심기술을 국산화 할 수 있음.

○ 이를 통해 최근 국내 관심이 집중되고 있는 철근 공장가공방식을 활성화 하는데 일조할 수 있음.

○ 구조물의 초고층화, 대형화, 특수화 경향에 상응하는 재료 성능향상, 구조 및 설계기술개발 및 시공능력 향상 등의 요구에 부응 할 수 있음.

○ 자재를 미리 시뮬레이션 하여 비용 절감효과를 볼 수 있음.

○ 철근 가공시 잔재를 최소화 하고 장비운용 시간을 최적화하여 비용을 절감할 수 있음.

○ 철근시공도(샵드로잉)의 표준화 및 이와 관련된 공장자동화 철근가공 기술을 바탕으로 자재절감, 인력절감 및 경제성 향상 등 효율을 높임으로 국내 건설시장의 해외 개방화에 대비한 경쟁력 강화로 건설기술의 선진화에 기여함.

○ 철근가공 현장의 기피현상으로 외국인 노동자를 많이 고용하여 품질면에서도 문제시되고 있으나 전자동화가 이루어지면 생산 현장의 환경이 향상되며 제품의 질적 향상을 가져오게 됨.

○ 최근 일본 토요사 등에서 CNC 도입을 통한 절단-굽힘 자동화 개발하여 시판중이며 국내에서는 100%수입에 의존하고 있어 수입대체효과를 볼 수 있음.

(2) 국내외 주요 경쟁사 제품 성능 비교

구분	건우기계	토요	개발품
절곡각도	180°	180°	180°
절곡가능 본수 (D16기준)	3EA	3EA	5EA
작업대 속도	5.49m/min	5.4m/min	5m/min
절곡 속도	4sec/180°	4.47sec/180°	4sec/180°
철근배치손실 시뮬레이션 유무	-	-	손실 시뮬레이션 가능
데이터 원격지 전송 유무	-	-	데이터 원격지 전송 가능

제 2 절 추가 연구의 필요성

1. 추가연구의 필요성

가. 장비의 신뢰성확보를 위한 추가연구 진행

(1) 벤딩기의 내구성에 대한 신뢰성 확보

(가) 벤딩 장치에 대한 내구성 확보

○ 벤딩장치에 대한 기계적 내구성과 피로수명

○ 장비의 외부부식과 환경에 대한 내구성

○ 무정지 반복사용에 따른 가혹조건의 사용환경에서 가속내구 시험 진행을 통한 장비의 내구성 확인

○ 장비의 사용시 작업자의 안전을 고려한 다양한 정지방식에 대한 고려

○ 작업환경을 고려한 다양한 수동운영방식에 대한 고려

(나) 전자장비에 대한 각종 내구성 확보

○ 외부의 불안전한 전원상태 등을 고려한 장비의 내구성능안전추가 검토 및 보완

○ 갑작스러운 전기차단, 반복적인 상황에 대한 전기적안전추가 검토 및 보완

○ 과도한 사용에 의한 전기적 안전추가 검토 및 보완

○ 사용시 누전 및 수분에 의한 감전 등 안전사항 추가 검토 및 보완

(2) 벤딩기의 제품 품질에 대한 신뢰성 확보

(가) 벤딩품질에 대한 신뢰성 확보

○ 벤딩정밀도 (스프링백)제어에 대한 품질 안전향상

○ 주변환경 (온도), 소재의 성분변화 등에 따른 다양한 조건변화에 대해 유연하게 대응 또는 인공지능방식으로 대응할 수 있도록 자동-수동 옵셋지원에 대한 환경지원과 이에 대한 신뢰성 확보

○ 제품의 벤딩속도에 따른 품질저하에 대한 신뢰성 확보

○ 벤딩시 표면의 미세크렉등의 발생으로 제품의 품질(수명 및 강도저하)에 대한 신뢰성 확보

○ 벤딩기의 철근 절단길이 정밀도 향상상과 환경에 따른 신뢰성 확보

(나) 철근 적제, 관리시스템에 대한 신뢰성 확보

○ 철근 업-언로딩시 철근의 실패확율 등에 대한 신뢰성 확보

○ 철근 분류에 따른 제품 에러 확률

○ 불결한 작업조건에서의 철근이송-관리 시스템의 오류확율

(3) S/W의 사용환경 개선

(가) 사용자 편의성을 고려한 GUI개선

○ 수요자, 사용자의 요구에 맞춤 GUI개선

○ 작업 환경을 고려한 프로그램의 색감 및 비쥬얼 부분의 변경

○ 작업 순서와 작업방식을 고려한 GUI배치와 순서 변경

○ 외국인 작업자 환경을 고려한 다양한 언어지원

○ 국제 사용환경에 맞춘 기호, 부호를 사용한 사용환경 지원

(나) 다양한 OS지원에 대한 요구

○ 최근 중요시하고 있는 OS 다양화에 대한 프로그램 연동가능성 확인

○ 다양한 프로그램들과의 충돌환경에 대한 고려

(다) 모바일 환경 지원에 대한 지원

○ 원격지원을 위해 모바일 시스템지원의 필요성

○ 다양한 모바일 환경을 고려한 통합 플랫폼의 필요성

(4) S/W의 안전성 확보를 위한 연구 진행

(가) 프로그램의 사용자 입력오류에 대한 대응

○ 작업자의 오류로 인한 사고 발생 방지

○ 작업불능 형태 및 충돌 상황에 대한 시뮬레이션과 상황에 대한 경고, 강제정지 시스템 구현

(나) 네트워크 환경, PC의 작업환경을 고려한 프로그램 오류제거 방안

○ 갈수록 복잡해지는 다양한 PC환경(터치스크린, 다양한 Active X 프로그램)에 대한 대응

○ OS업데이트로 인한 프로그램의 지속적인 구동방안

○ 외부 바이러스, 외부의 프로그램에 의한 작동오류 및 해킹가능성 배제

9. 뒷면지

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.