

# 제작 사양서

「전자빔용접용 제어모듈 및 구동부 기능확장 장치」

한국기계연구원

작성부서: 레이저기술실용화연구실

## 목 차

1. 적용 범위	.....	3
2. 제작 조건	.....	3
3. 제작 사양	.....	5
4. 일반 사양	.....	19
5. 자료 및 보증	.....	19

## 1. 적용 범위

본 사양서는 용가재를 사용하는 전자빔 용접기술 개발을 위해 기존의 120kW/120kV 장비의 시스템 컨트롤러에 해당하는 공정 SW 및 CNC 제어 모듈을 개조하기 위한 제반사항을 명시한 것이다.

시스템 컨트롤러는 전자빔용접을 수행하는 각 장치 간의 연결과 기기 제어를 수행하기 위한 HW 및 SW 일체를 포함한다. 특히, 공정 SW는 용접을 원활하게 수행하기 위한 전문화된 프로그램으로 전자빔용접에 특화된 것을 의미한다.

## 2. 제작 조건

### 2.1 운용 조건

- (1) 입력전원:  $380V \pm 10\%$  / 3P / 60Hz
- (2) 압축공기:  $4 \sim 6 \text{ kgf/cm}^2$
- (3) 냉각용수:  $2 \sim 3 \text{ kgf/cm}^2$ ,  $30^\circ\text{C}$  이하
- (4) 주위환경: 온도  $-10 \sim 40^\circ\text{C}$ , 상대습도 10 ~ 90%
- (5) 진공수준:  $< 5 \times 10^{-4} \text{ torr}$

### 2.2 제작자(계약자) 수행 품목

- (1) 전기공사 및 전장부분 교체
  - 전기 판넬, 로컬 공사, 배선, 배전 등
- (2) 시스템 컨트롤러에 사용되는 각축 제어기기(7축), 부품 등 일체 교체 및 설치
  - 정밀산업용 PC, 모션제어보드, 전장부품, 서버모터, AMP, PLC 등
- (3) 제어 S/W 보완 또는 교체
  - 보완 제작, 시스템 디버깅, 장비제어 시운전

### 2.3 사용자(발주자) 제공 품목

- (1) 120kW/120kV 전자빔용접시스템 (한라이비텍 보유)
- (2) 진공센서, 계측기

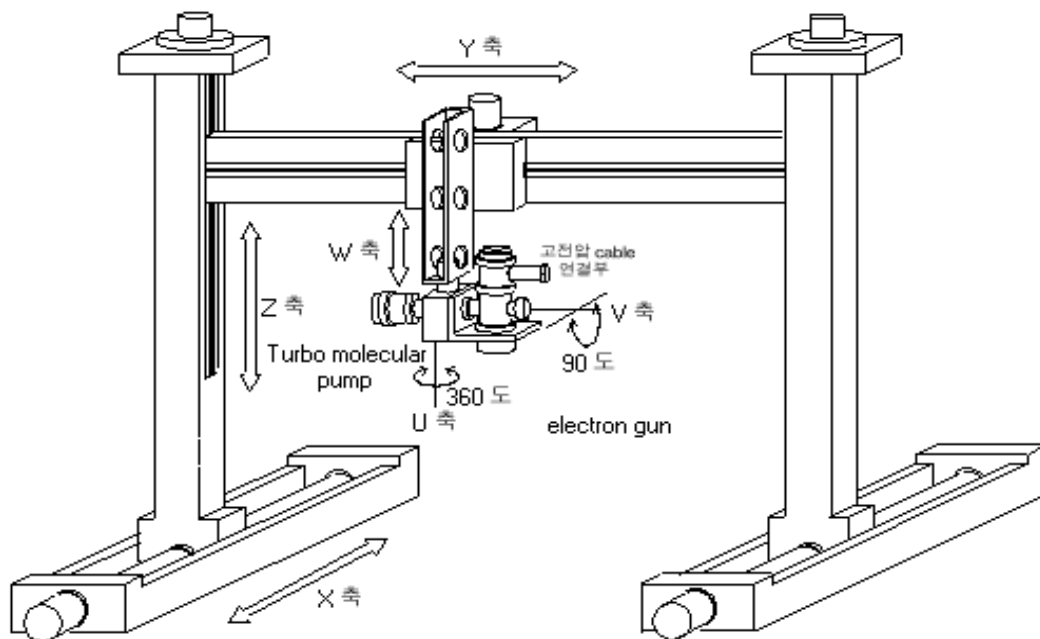
### 2.4 보완 장비 사양

다음은 공정 SW 및 CNC 제어 모듈을 개조하기 위한 전자빔 용접장비의 사양을 기술한 것이다. 공정 SW 및 CNC 제어 모듈을 포함하는 전체 시스템 컨트롤러는 본 장비의 사양에 적합하게 교체 및 보완하여야 한다.

#### 2.4.1 기계구동부

- (1) 120kW/120kV, 전자총 이동식
- (2) X축(Length) & Y축(Width) stroke: 3500 mm & 3500 mm
- (3) Z1 (height)& Z2 (빔촉점, 작업거리 조절축) stroke: 600 mm & 400mm

- (4) X, Y, Z1, & Z2 축의 직선구동방식은 Ball screw type
- (5) U, W 축 : Tilting & Rotating ( $-90^{\circ} \sim +90^{\circ}$ ), Harmonic drive type
- (6) 가공 및 설치정밀도: 평형도/ 평면도 5/1000mm, 직각도 3/1000mm
- (7) 반복, 위치정밀도 :  $< 0.1\text{mm}$ ,  $\pm 0.1\text{ mm}$
- (8) Gun 최대속도: 3000 mm/min (진공중 1000 mm/min Interlock)
- (9) 각 축 이동시 불완전한 동작없이 정밀한 제어가 가능토록 조립
- (10) 진공시 이송부품의 오일, 내부 이물질 등에 의한 영향이 없도록 설치
- (11) 용접작업종류: Continuous, Intermittent, Rotation, Linear, Curved welding, Preheating, Surface modification



<전자총 이송축 형태>

#### 2.4.2 작업물 테이블

- (1) 대차(Run-out table)와 원형테이블(Turn table) 일체형
- (2) 대차 내하중 및 이동속도: 20 ton, 2000 mm/min
- (3) 원형테이블 내하중: 20 ton
- (4) 최대 용접속도: 1000mm/min ( $< 1\text{ rpm}$ ), 직경800 - 3500mm 기준
- (5) 주용접속도: 100-500 mm/min, 백래쉬없이 정밀구동
- (6) 작업물 외경3500mm에 적합토록 T-slot 8등분 분할 및 Center stock 기능
- (7) Servo-motor장착, CNC정밀제어 및 1-Rotation후 auto-stop 기능

#### 2.4.3 제어 시스템

- (1) Total control system 형태로 제어, 작동, Data(Recording) 확인과 관련한 제 동작이 운전실내에서 이루어지도록 구성.
- (2) 구동부 제어축수 : 7축 (X, Y, Z1, Z2, U, W, Table rotation)
- (3) 동시제어축수 : 5축 (3차원 곡면용접)
- (4) CMS (Condition monitoring system) S/W 및 H/W 설계
- (5) 전기계장 제어시스템 운영을 위한 S/W 설계
- (6) 자기진단 및 Off-line 정비보수 기능
- (7) Process condition display input system
- (8) Data print-out system - 작업결과 분석위한 기록(Recording)
- (9) 32-bit CNC 적용, 16-bit programmable controller 적용
- (10) 제어기능: 수동연속기능, 수동원점복귀기능, 수동 Handle기능, Teach-in 기능, Program 및 Sequence 번호검색, 보관기능, 이송기능, 프로그램입력, 자기진단 기능
- (11) 자동운전, DNC(Direct numerical control) 운전, MDI(Manual data input) 운전
- (12) Package S/W, Application S/W: 3-D용접 관련 S/W포함
- (13) Seam tracking 제어: 해당 용접작업에 적합토록 축(Axis) 및 정밀도 유지

#### 2.4.4 진공 배기장치

- (1) 5 x 10<sup>-4</sup>torr : 30분 이내 소요
- (2) 운전중 저소음(75db 이하)유지, 방음장치 부착
- (3) 2계통 Compact 구조, Holding pump부착
- (4) Oil diffusion pump, Mechanical booster pump, Oil rotary vacuum pump, Turbomolecular pump, Vacuum valve, Vacuum gauge 등

#### 2.4.5 진공 챔버

- (1) 작업물 크기(대차제외): W 4000 x L 5000 x H 1000 mm
- (2) X-선 차단 및 진공시 변형량: <1mm

### 3. 제작 사양

#### 3.1 시스템 컨트롤러 제작 요건

##### (1) 시스템 제어방법 및 설치 위치

- PC제어 + PLC 제어(기계구동부-모션제어프로그램, 진공펌프)
- 시스템 컨트롤러는 진공챔버 측면에 배치
- 진공펌프 및 전자빔 전원장치와 연결되도록 배선

##### (2) 주요 인터페이스 항목

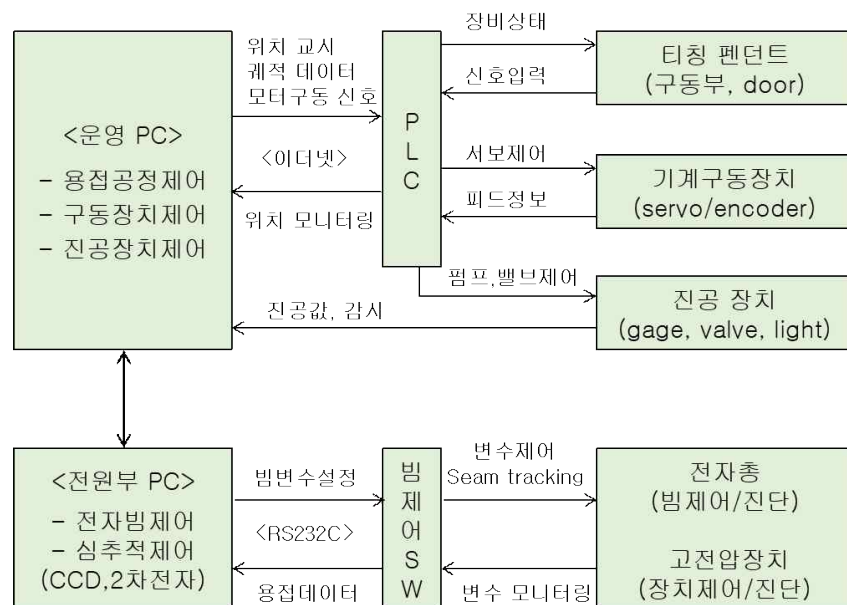
###### ① 운영 PC와 구동부 PLC 제어

- 4축 (X, Y, Z, R) 동시제어
- 티칭 펜던트

###### ② 운영 PC와 진공펌프 PLC 제어

###### ③ 운영 PC와 전원부 제어

- 경로생성, 빔변수 설정, 감시 프로그램
- Seam tracking과 구동부 인터페이스
- CCD 카메라 감시
- 전자빔 전원 제어 및 용접관련 공정 변수 설정을 위한 제어기능



<전자빔 용접 시스템 컨트롤러 구성도>

##### (3) 운영 PC 메뉴 구성

- 운영 PC의 화면 메뉴 구성은 크게 아래와 같이 한다
- 기타 사용자 요청에 의해 메뉴 구성 및 항목은 추가/삭제/수정이 가능해야 한다
- 메뉴 화면은 GUI 형태로 구성하여야 한다
- 메뉴 이동, 변수값 입력 등은 키보드와 마우스를 사용한다



<운영 PC 메뉴 구성도>

#### (4) H/W 제어

##### ① 구동 모터 제어

- 입력: 엔코더 정보
- 출력: 서보모터 제어, 조작반 제어
- 교시: 펜던트

##### ② 진공 제어

- 출력: 진공 펌프 밸브와 펌프 구동

##### ③ 운영 프로그램 인터페이스

- 입력: 위치 교시, 궤적 데이터, 모터 구동 동기화 신호
- 출력: 실시간 위치 모니터링

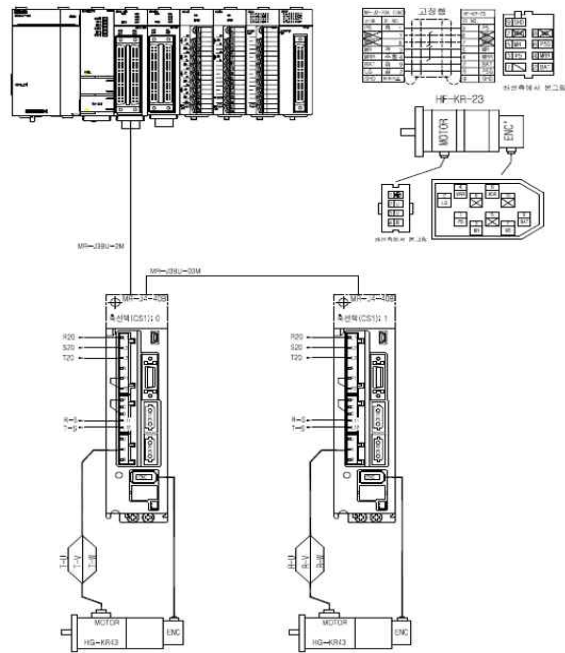
#### (5) 구동모터 제어

##### ① 요구 기능

- PC프로그램에서 생성된 궤적 데이터나 요구위치 신호에 의해 서보모터 구동
- 간단한 위치 교시나 구동을 위한 독립 제어
- 수동/자동 운전을 위한 조작반구성
- 펜던트를 통한 상태 모니터링 및 구동 지시

##### ② 구현

- 서보모터 제어는 PLC 프로그래밍을 통한 제어 (모터 드라이버 연결)
- 모터 독립제어는 펜던트(각 축 속도 설정 및 모니터링)와 수동조작 교시상자 (로터리 및 증감 토글스위치로서 각 축 선택 및 개별 구동)로 구성



<PLC와 모터 컨트롤러 및 드라이버를 통한 모터 제어 예시>

#### (6) 펜던트 콘텐츠

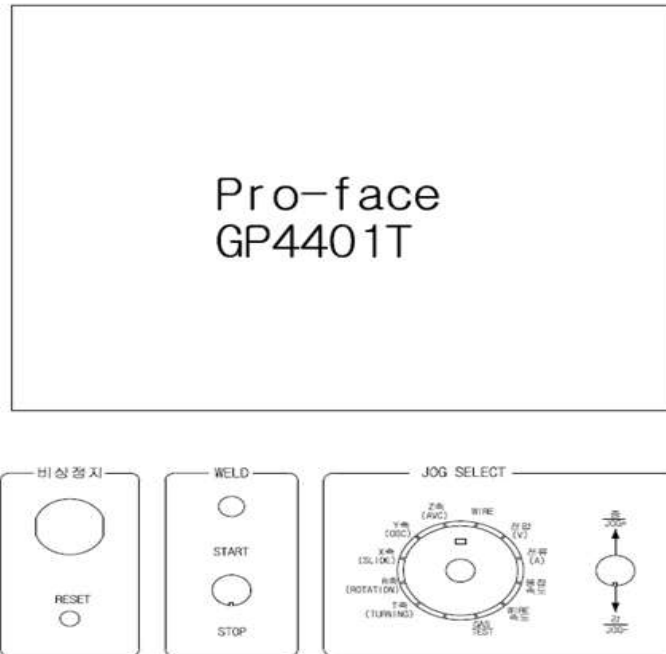
- ① 각축 모니터링
  - X축, Y축, Z축(높낮이), C축(경사축), R축(회전축) 위치 표시
- ② 속도 설정
  - 용접속도: 용접하고자 하는 속도 입력
- ③ 용접 종료
  - 용접종료 위치: 자동으로 용접이 종료되는 위치를 입력함
  - 용접종료 각도: 자동으로 용접이 종료되는 각도를 입력함
- ④ 전류/전압 표시: 용접 중 현재의 용접전류와 용접전압 표시
- ⑤ 용접 빔 On/Off: Start 스위치를 작동시킬 때 실제 빔 발생

#### (7) 수동조작 교시상자 구성

- ① 터치 스크린: 터치함으로 각종 기능을 선택 또는 수치 입력을 할 수 있는 스크린
- ② 로터리 스위치: 각종 기능을 선택하여, 변경시키고자 할 경우 사용하는 선택 스위치
  - X, Y, Z, C, R 축: 각 축을 Jog 형태로 움직이고자 할 때 사용
  - 전류(A): 용접 전 또는 용접중 전류를 증/감 시킬 때 사용
  - 용접속도: 용접 중에 용접속도를 증감 하고자 할 때 선택



- ③ 증감 토크스위치: 로터리 스위치에서 선택된 기능의 값을 조절하는 스위치
- ④ 자동 시작/정지 스위치: 설정 완료 후, 자동으로 시작 또는 정지시킬 목적의 스위치
- ⑤ 비상정지 스위치



<교시상자 레이아웃 및 기능>

작업 모드	4	모델명 : 25_2	용접 조건	AVC, WIRE OSC 설정	용접기보정 신공수동	작업설정	모델관리	알람			
T축_터닝속	0.0	R축_회전속	0.0	X축_SLIDE속	0.0	OSC속	0.0	AVC속	0.0	WIRE속 (cm)	0
용접작업 선택	SLIDE용접 OFF		T축_용접 OFF		R축_용접 ON		작업직경 368				
속도설정	용접속도 (mm/min) Max:800		70		WIRE속도 (cm/min) Max:500		105		전류 표시	0	A
용접종료	용접종료위치 Max:900.0(mm)				용접종료각도 Max:99999(deg)		361.0		전압 표시	0.0	V
용접기설정	용접전류 (A)		160		용접전압 (V)		10.8		작업 시간	14.7	초
1초이상		1초이상		1초이상		1초이상		1초이상		1초이상	
용접 아크_OFF		전체축 원점설정		작업등 OFF		부저 정지		알람 RESET			

<교시상자 터치스크린(Pro-face) 작화 구성>

## (8) 진공제어

### ① 요구 기능

- 진공 수준에 맞춰 진공 밸브 개폐 및 펌프 구동

### ② 구현

- 진공 밸브 개폐: PC 프로그램에서 신호를 받아 개폐 스위치 on/off
- 펌프 구동: PC 프로그램에서 신호를 받아 구동 스위치 on/off

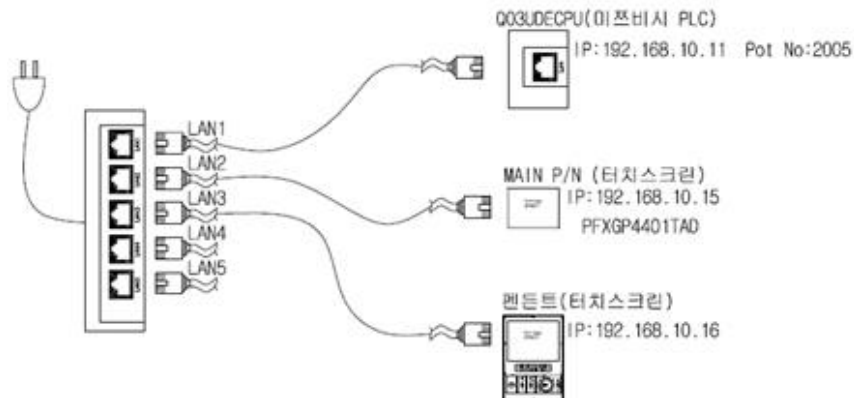
## (9) 운영 프로그램과 인터페이스

### ① 요구 기능

- PC 프로그램에서 생성된 위치교시, 궤적 데이터, 모터구동 동기화 신호수신

### ② 구현

- PC Interface 방식: 이더넷 통신
- 위치교시 데이터, 용접궤적 데이터, 모터 구동 동기화 신호 수신
- 빔 위치 확인: 엔코더 정보를 PC에 전달



<그림-제어시스템의 이더넷 연결계통의 예시>

## (10) 전기 계장

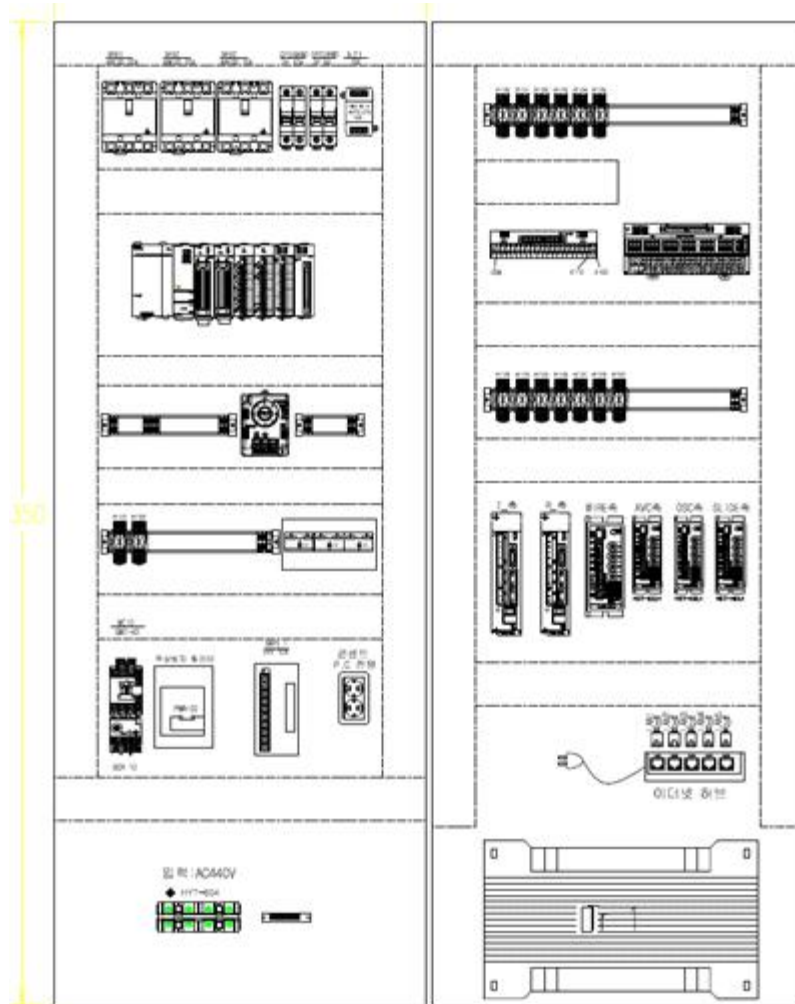
### ① 요구 기능

- 전원 공급: 안정적 전원 공급을 위한 AVR 사용 (3상 380 V)
- 신호 전달
- 진공도 감지: 저진공( $\sim 10^{-2}$ )에서 고진공( $\sim 10^{-6}$ Torr)까지 진공도 모니터링
- 센서 신호 감지

### ② 설계 및 제작

- 배전반 및 단자대설치
- 콘트롤 캐비닛설치
- 센서 장착: 구동부 리밋센서, 터치스크린은 고신뢰의 Proface급 이상 사용

- 진공 게이지 설치(사급)
- 케이블링: 기계부와 컨트롤러 간 연결은 분리/접속 용이 위해 connector 사용, 필요 pin 수의 10~30% 이상 여유 신호선 사용



<전장 캐비넷 구성도>

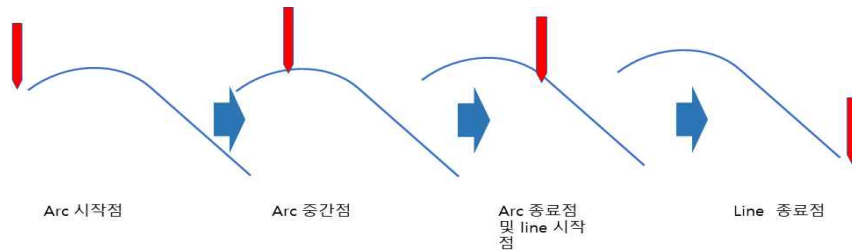
#### (11) Filler wire 사용

- Filler wire 장치 사용에 따른 시스템 컨트롤러 제어부 및 SW 구성

### 3.2 공정 SW 제작 요건

#### (1) 모니터링

- ① NC 실시간 좌표: 수동 티칭 및 좌표 변환시위치 획득에 사용
- ② 게이지별 진공상태 값 표시: 진공 제어시 사용
- ③ 시스템 에러 상태: run, stop



<전자빔 용접위치의 위치 좌표 실시간 모니터링 예시>



<실시간 진공값 모니터링 예시>

Equipments	RUN	STOP
Low Vacuum Valve	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Rotary Pump 1-1, 1-2	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Rotary Pump 2-1, 2-2	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
D/P Line Rotary Pump	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
D/P Line Booster Pump	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
D/P Line Heater 1	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
D/P Line Heater 2	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Booster Pump 1	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Booster Pump 2	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
T.M.P Valve	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
T.M.P	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Light	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Main Vent	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Booster Pump Vent	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
CNC Stage	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sliding Door	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

<펌프, 히터, 밸브, 스테이지 작동 여부 실시간 모니터링 화면 구성 예시>

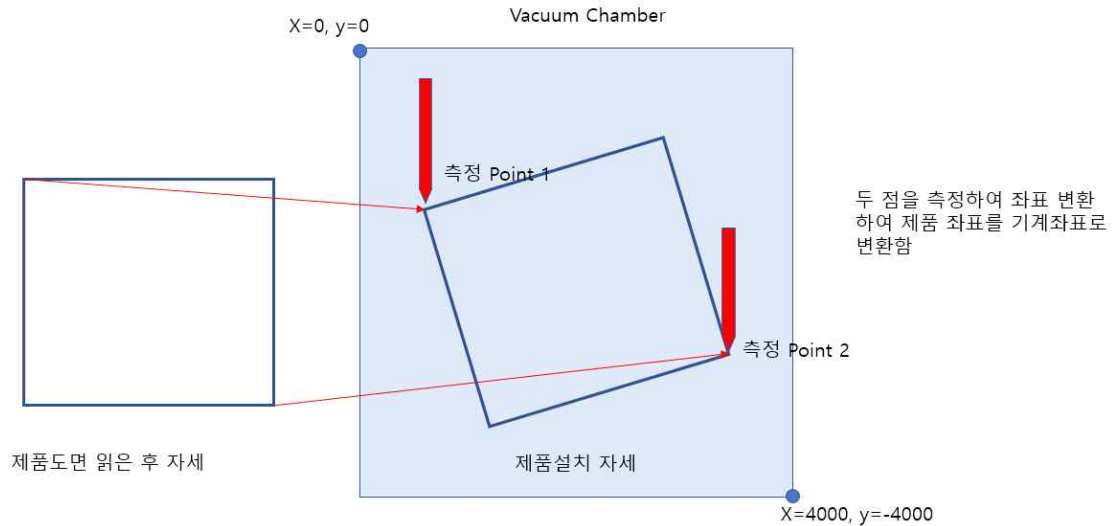
## (2) 도면 읽기: 용접궤적 추출

- ① AutoCad Dxf format
- ② AutoCad Dwg format
- ③ 3D igs format

### (3) 좌표변환 방법

#### ① 2 points: 두점 위치 명확한 경우

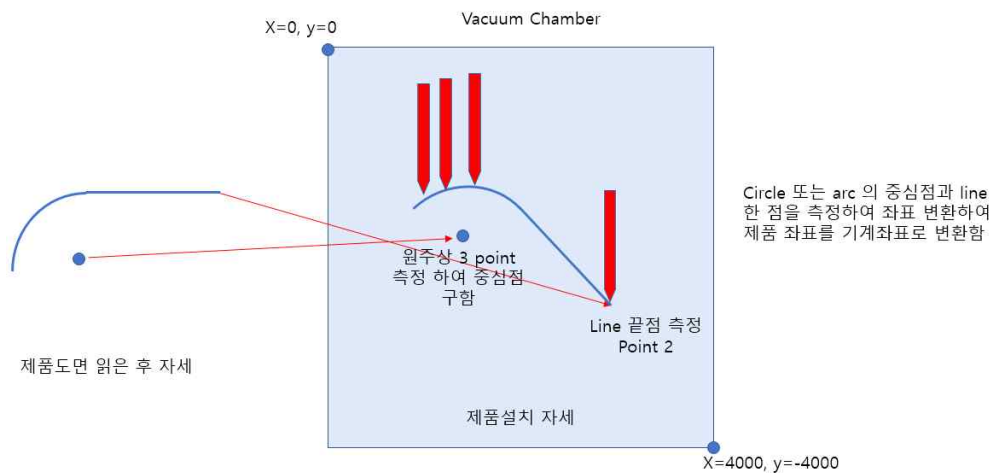
- 두 점을 측정하여 좌표 변환하여 제품 좌표를 기계좌표로 변환



<도면과 실제 제품 위치오차 보정 방법(점-점)>

#### ② Circle-Line: circle 또는 arc와 line이 있는 경우

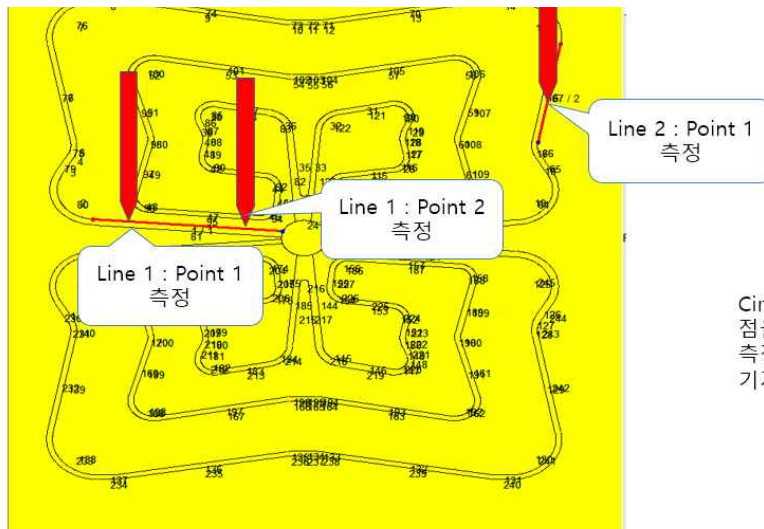
- Circle 또는 arc의 중심점과 line 한점을 측정하여 좌표 변환하여 제품 좌표를 기계좌표로 변환



<도면과 실제 제품 위치오차 보정 방법(호-라인)>

③ 2 Lines: circle 또는 arc의 접선으로 연결되어 시작과 끝점을 알 수 없는 경우

- 한 line을 2 points 측정하고 다른 한 line을 1점 측정하여 기계좌표로 변환

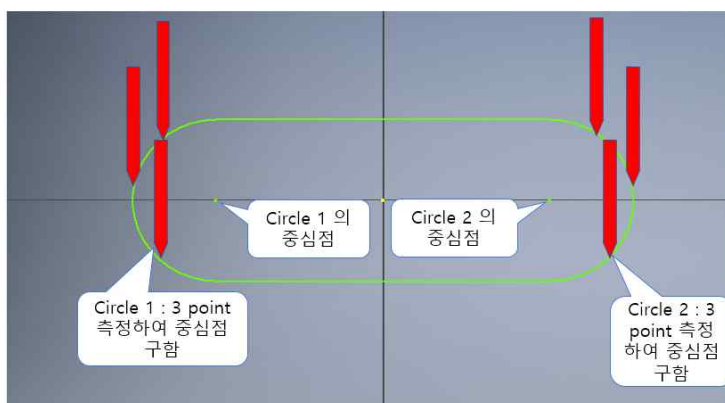


Circle 과 arc 와 line 으로 이루어져 지정 점을 알 수 없는 경우 한 line 을 2 point 측정하고 다른 한 line 을 1 점 측정하여 기계좌표로 변환함

<도면과 실제 제품 위치오차 보정 방법(라인-라인)>

④ Circle-Circle: circle 또는 arc의 접선으로 연결되어 시작과 끝점을 알 수 없는 경우

- 한 circle/arc 1을 3 points 측정하여 중심을 구하고 circle/arc2를 3점 측정하여 중심을 구하여 기계좌표로 변환

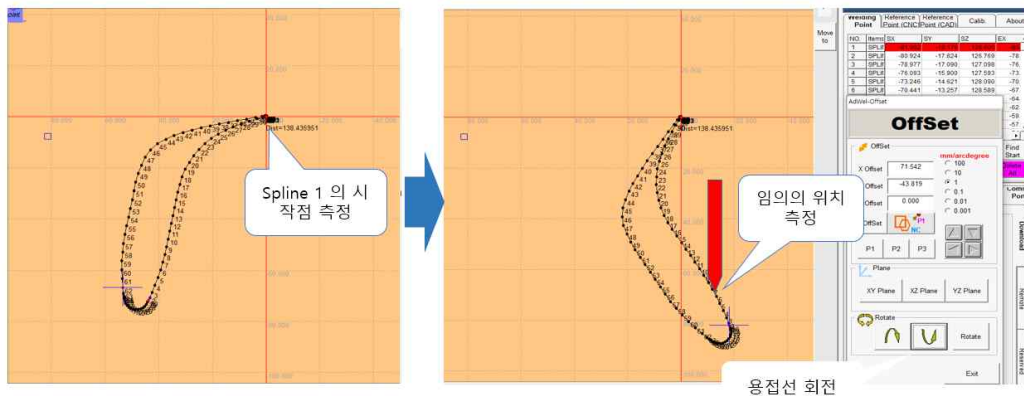


Circle 과 arc 와 line 으로 이루어져 지정점을 알 수 없는 경우 한 circle/arc 1 을 3 point 측정하여 중심을 구하고 circle/arc 2 를 3 점 측정하여 중심을 구하여 기계좌표로 변환함

<도면과 실제 제품 위치오차 보정 방법(원-원)>

⑤ 1 Point + 수동 이동 및 회전

- spline과 같이 미세한 점 또는 짧은 직선 다발로 구성된 경우

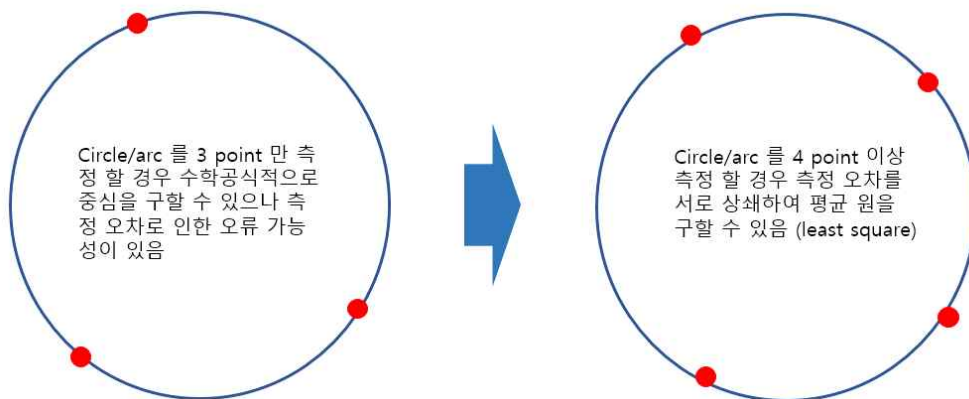


<도면과 실제 제품 위치오차 보정 방법(점-임의의 점)>

#### (4) Entity 측정 방법

##### ① Circle, Arc: 3 points 이상

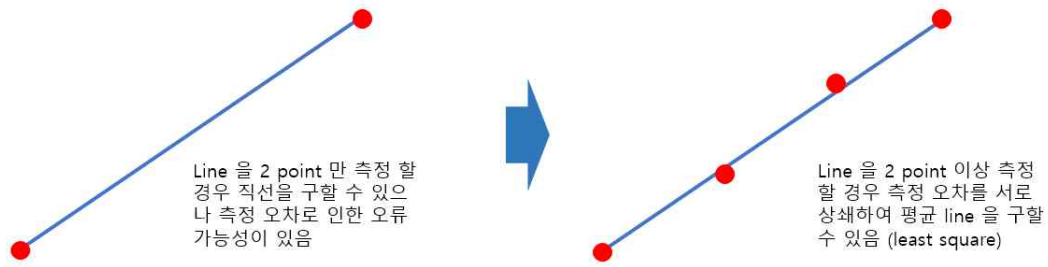
- Circle/arc를 3 points 만 측정할 경우 수학 공식적으로 중심을 구할 수 있으나 측정 오차로 인한 오류 가능성이 있음
- Circle/arc를 4 points 이상 측정할 경우 측정 오차를 서로 상쇄하여 평균 원을 구할 수 있음 (least square)



<3점 입력 원 경로 생성 방법>

##### ② Line : 2 Points 이상

- Line을 2 points 만 측정할 경우 직선을 구할 수 있으나 측정오차로 인한 오류 가능성이 있음
- Line을 2 points 이상 측정할 경우 측정 오차를 서로 상쇄하여 평균 line을 구할 수 있음 (least square)

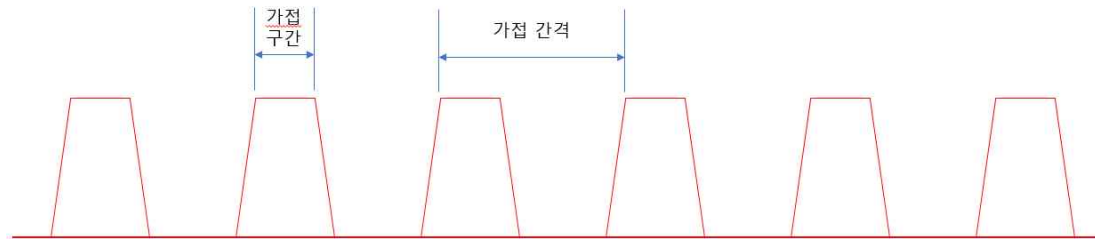


<2점 입력 직선 경로 생성 방법>

(5) 빔 프로그램

① 가접 프로그램

- 가접구간에 따라 빔을 일정 간격으로 주사하여 가접



<Beam을 일정간격으로 가접>

② 본 용접 프로그램: 출력 상승구간 → 본 용접 유지구간 → 하강구간

- 용접 구간에 따라 빔을 일정한 세기 또는 가변 세기로 주사하여 용접



<용접구간에 Beam 주사 형태>

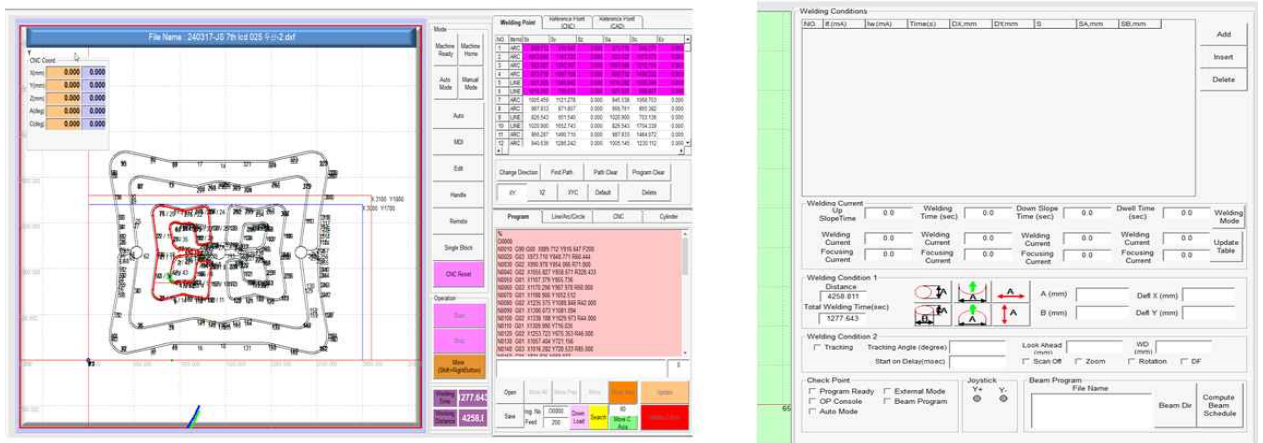
(6) 작업 기능

- ① 구동부 ↔ 빔 신호 동기화
- ② 용접경로 탐색: 시작경로 선택과 용접경로 설정





### ③ 용접시간 과 거리 계산: 빔 프로그램 적용

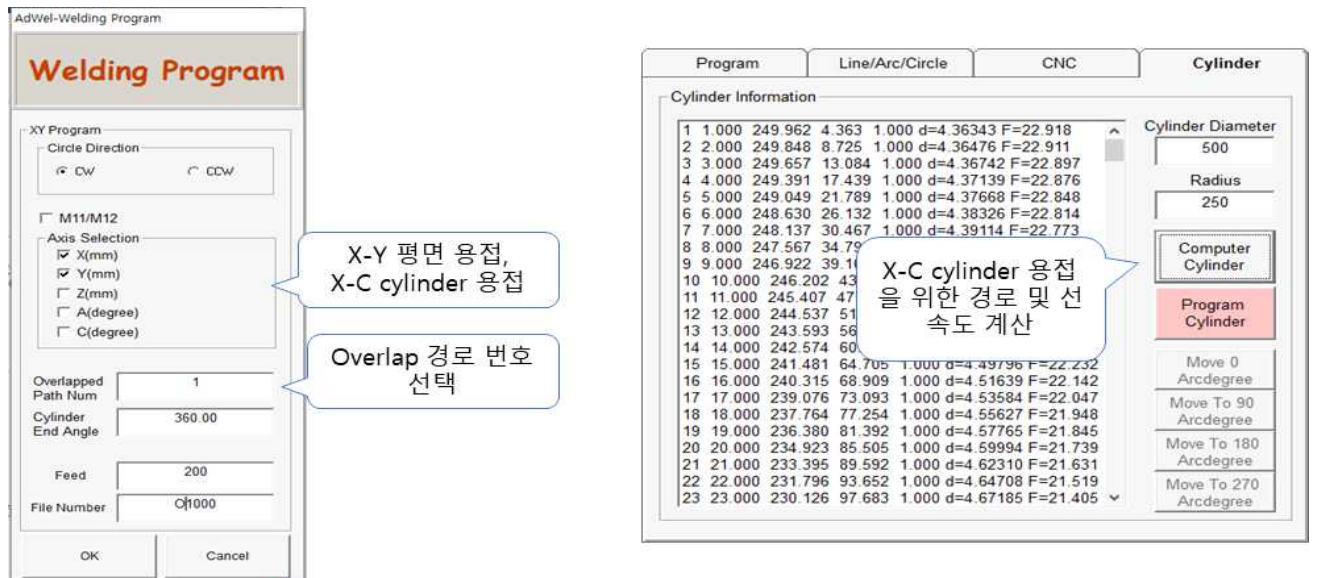


### ④ CCD, 2차전자 화면 표시: 빔 시스템에서 영상 획득

### ⑤ 도면이 없는 경우 티칭 기능: Circle, Arc, Line

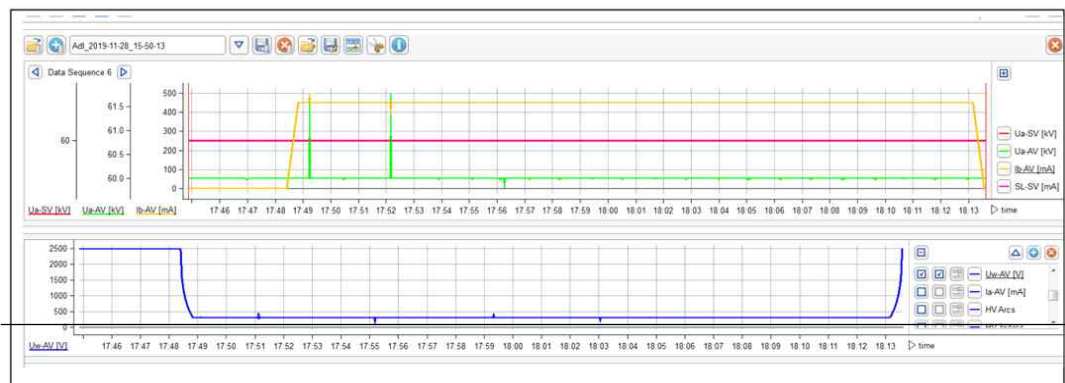
Program	Line/Arc/Circle	CNC	Cylinder
Circle Point	Middle Point/90	End Point/180	270 Deg
Start Point/0	Deg	Deg	Deg
X(mm)	0.000	0.000	0.000
Y(mm)	0.000	0.000	0.000
Z(mm)	0.000	0.000	0.000
A(deg)	0.000	0.000	0.000
C(deg)	0.000	0.000	0.000
수동 티칭 기능			
Read Start Point/0 Deg	Read Middle Point/90 Deg	Read End Point/180 Deg	Read 270 Deg
Line	Arc	Compute Cylinder Start Position	Move CNC
Add Point	Circle	X(mm)	
		C(deg)	

- ⑥ 용접 경로 overlap: 정방향, 역방향
- ⑦ 평면 용접: XY 평면
- ⑧ 실린더 용접: X-C 제어, 경로 및 선속도 계산



## (7) 용접 데이터 확보

용접 후 용접조건 분석을 위해 아래의 형태로 Data logging 기능이 포함되어야 함



## (8) 기타 주요사항

- ① 공정 SW 설치 후 성능 점검 시 사용상 편의의 목적으로 operator의 요청에 따른 프로그램 보완이 필요함

## 4. 일반 사양

### 4.1 기술적 사항

- (1) 사용되는 주요 소재의 사양 및 구입처는 사용자와 사전에 협의되어야 한다.
- (2) 제작자는 승인된 도면에 근거하여 수행하되 제작 및 설치과정에서 발생하는 중요한 기술적 사항은 사용자와 협의한다.
- (3) 제작 수행과정에서 사용자에게 의한 변경사항 발생 시에는 요구기능 준수 및 성능 향상 측면에 근거하여 상호 협의하여 결정한다.
- (4) 재하도급을 금하며 제작자가 직접 제조하지 않는 제작품에 대하여는 외주 제작업체 리스트를 제공하여 승인을 받는다.
- (5) 전문 자격(증)이 요구되는 작업(전기배선 공사 등)은 적정 자격을 소지한 기업(인원)이 실시하여야 한다.
- (6) 제작 사양에 명시되지 않는 사항은 국가를 당사자로 하는 계약에 관한 법률(국가계약법)에 따른다.

### 4.2 부속품 및 소모품

- (1) 운전 유지를 위해 부속품은 장치 비용에 포함되며 List를 작성하여 제공한다.
- (2) 1년간 기준으로 소모품은 장치 비용에 포함되며 List를 작성하여 제공한다.

### 4.3 검사 및 교육

- (1) 성능검증은 입회검사가 요구되며, 제작자는 3일 전에 사용자에게 통보한다
  - 전기공사 및 전장부분 구성 및 시스템 제어에 대한 성능 검증
  - 공정 SW 기능, 안정성(stability) 및 전자빔용접 시험을 통한 적용성 검증
- (2) 사전에 자체검사 결과에 대한 sheet를 작성하여 입회 검사 시에 제시한다.
- (3) 최종설치 조립이 완료되면 사용자에게 운용 및 유지보수 교육이 시행되어야 한다.
- (4) 검사 및 교육 비용은 계약에 포함된다.

## 5. 자료 및 보증

### 5.1 제작자 제출서류

- (1) 시스템 컨트롤러 매뉴얼: 출력물 2부, 한글 또는 MS워드 파일 1부, 사용자 교육
- (2) 도면 및 기술자료 일체: 전기 및 기계 도면(AutoCAD2002 이상) 파일 1부, 출력도면 3부, 구매품 보증서 등 1부

### 5.2 성능보증

- (1) 사용자 shop에서 초기운전 후 1년 동안 장치에 대한 성능이 보증되어야 한다.
- (2) 보증기간 내 사안은 즉시 무상조치되어야 하며, 중요사항은 협의하여 처리한다.