

Appendix V.

입력 성형을 위한
실험 시스템 (생기원) 구성

Test System of Input Shaping on a Linear Motion

V.1 실험 시스템 구성도 (CANopen / EtherCAT)

PC with USB to CANopen



CANopen

CANopen 모터 드라이버



상위 제어기 및 입력
성형기

서보 제어기/앰프/파
워

Power(U,V,W)
Hall Sensor
(A,B,C)

RPI 4B & EtherCAT Master



EtherCAT

EtherCAT 모터 드라이버






진동체 및 Linear 모터 (Hall 센서)

V.2 intelliThings iServo 특징

● iServo 주요 특징

- DC, BLDC, PMSM, 3-phase Stepper 모터 구동
- FOC(Field Oriented Control) 사용한 구동 효율 극대화
- 입력 성형, 반공진 필터, 노치 필터 적용으로 모터 및 장비 진동 저감
- 홀센서 배치 순서 자동 탐지
- 엔코더 해상도, 모터의 자극 수 자동 탐지
- 모터의 전기 파라미터(R, L, Ke) 자동 탐지
- 모터 및 기구부의 기계 파라미터(J, B, K, C) 자동 탐지
- 전류/속도/위치 제어기 이득 자동 동조
- 코킹 토크 탐지 및 보정
- 엔코더 축 뒤틀림 탐지 및 보정
- 전기각 오차 탐지 및 보정
- 주파수 응답 해석과 필터 적용: Notch filter, Lead-lag compensator, Low pass filter
- 구형파, 정현파, 포물선 속도 프로파일 사용, 이동 평균 필터를 사용한 S-curve 변환

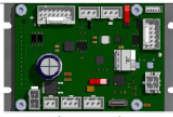
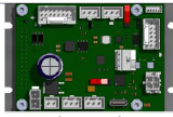
iServo box

Model	iServo pulse/(CAN,485,Eth)	iServo CANopen	iServo EtherCAT
Controller Power	24/48V DC, Continus 8A, max 16A	24V DC, < 200mA	24V DC, < 200mA
Motor Power	24/48V DC, Continus 8A, max 16A	24/48V DC, Continus 12A, max 24A	24/48V DC, Continus 12A, max 24A
Motor	DC, BLDC, PMSM ¹⁾ , 2/3-phase Stepper	DC, BLDC, PMSM, 2/3-phase Stepper	DC, BLDC, PMSM, 3-phase Stepper
Encoder	Quadrature, Hall sensors	Quadrature, Hall sensors, SSI, BiSS, EnDat, RS-485 ²⁾	Quadrature, Hall sensors, SSI, BiSS, EnDat, RS-485
Communication	USB, RS-485, CAN or Ethernet	USB, CAN(CANopen)	USB, EtherCAT
Digital Inputs (Shared with Pulse inputs)	4 (Pul/Dir, CW/CCW, Enc A/B)	4	4
Digital Outputs	2	2	2
Analog Inputs	1	1	1
Size (W, D, H) [mm]	 (133, 77, 26)	 (133, 77, 26)	 (133, 77, 26)

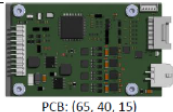
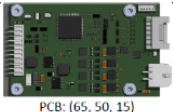
1) BLDC 모터로 설정된 경우 6-step 구동, PMSM 모터로 설정된 경우 FOC 구동

2) RS-485 엔코더 지원 모터: Tamagawa, Panasonic, Nidec, Mitsubishi, Hcfa

iServo mini

Model	iServo mini pmsm	iServo mini step	
Power	24/48V DC, Continus 5A, max 10A	24/48V DC, Continus 3A, max 6A	
Motor	DC, BLDC, PMSM, 3-phase Stepper	DC, BLDC, PMSM, 2/3-phase Stepper	
Encoder	Quadrature, Hall sensors, SSI, BiSS, EnDat, RS-485	Quadrature, Hall sensors	
Communication	USB, RS-485, CAN	USB, RS-485, CAN	
Digital Inputs (Shared with Pulse inputs)	4 (Pul/Dir, CW/CCW, Enc A/B)	4 (Pul/Dir, CW/CCW, Enc A/B)	
Digital Outputs	2	2	
Analog Inputs	1	1	
Size (W, D, H) [mm]	 (80, 50, 30)	 (80, 50, 30)	

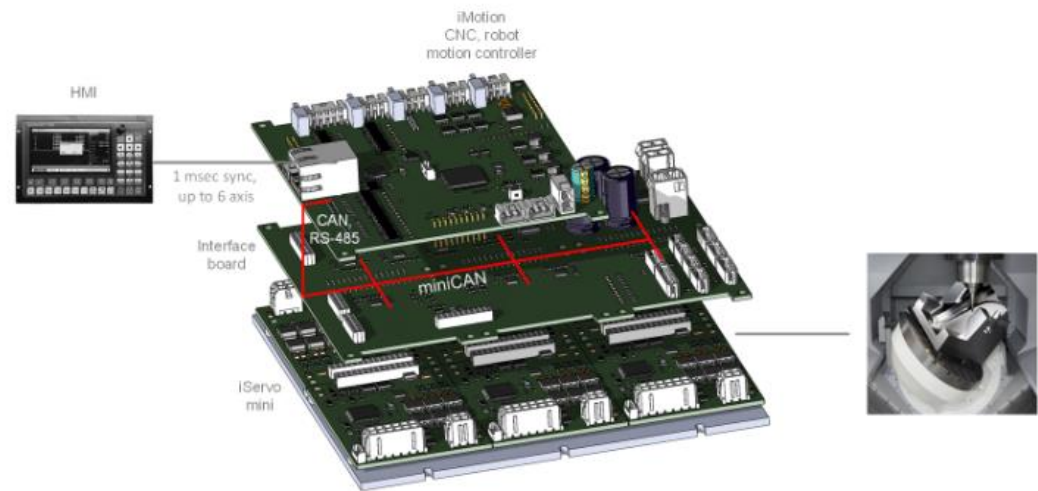
iServo slim

Model	iServo slim	iServo slim EtherCAT	
Power	24/48V DC, Continus 3A, max 6A	24/48V DC, Continus 3A, max 6A	
Motor	DC, BLDC, PMSM, 2/3-phase Stepper	DC, BLDC, PMSM, 2/3-phase Stepper	
Encoder	Quadrature, Hall sensors, SSI, BiSS, EnDat, RS-485	Quadrature, Hall sensors, SSI, BiSS, EnDat, RS-485	
Communication	USART, RS-485, CAN	USART, EtherCAT	
Digital Inputs (Shared with Pulse inputs)	4 (Pul/Dir, CW/CCW, Enc A/B)	4	
Digital Outputs	2	2	
Analog Inputs	1	1	
Size (W, D, H) [mm]	 PCB: (65, 40, 15)	 PCB: (65, 50, 15)	

V.3 intelliThings iServo 통신

miniCAN

miniCAN은 CAN, RS-485를 기반으로 하며, 간소화된 CANopen 프로토콜을 사용하여 고속 대용량 통신을 가능하게 합니다. CNC, 로봇 및 자동화 분야에서 단일 및 다중 축 위치 제어 작업에 적합합니다.



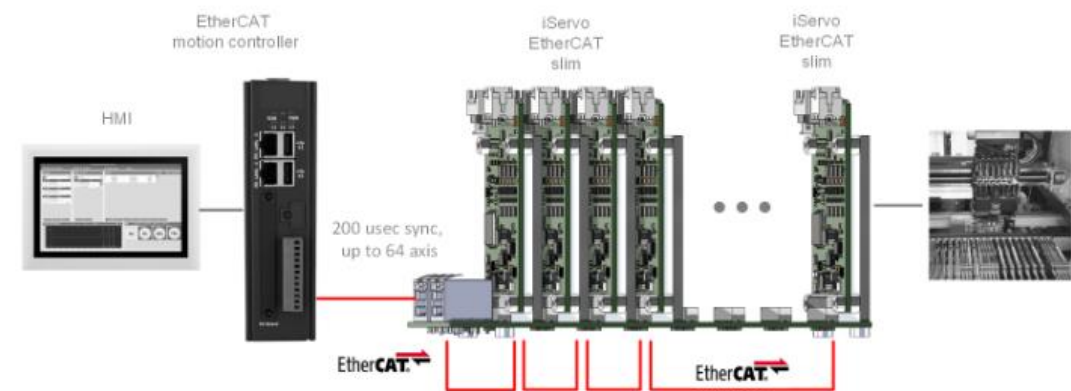
CANopen

CANopen은 CAN 기반 개방형 통신 프로토콜로 높은 호환성을 제공합니다. 범용의 CANopen 마스터 컨트롤러로 다양한 디바이스를 용이하게 통합합니다. 특히 높은 신뢰성을 보장하는 의료장비, 차량, 자동화 등 다양한 분야에서 사용되고 있습니다.



EtherCAT

EtherCAT은 이더넷 기반 필드 버스 시스템으로 고속의 동기 기능을 제공합니다. EtherCAT은 개방형 표준화된 드 버스, EtherCAT 포트가 있는 다른 서보 드라이버와 데이터를 교환할 수 있다는 장점이 있습니다.



Features	miniCAN	CANopen	EtherCAT
General features	Supports position, velocity and torque control		
	S-curve profile shape transform; vibration suppression; Generate speed and torque offset value only with position command		
	Profile Position/Velocity/Torque, Homing, Cyclic Synchronous Position/Velocity/Torque		
Real-time communication	miniCAN, Real-time communication 1Mbit/s	CANopen CiA301, CiA402, Real-time communication 1Mbit/s	Easy wiring using standard Ethernet cables (CAT5e, up to 100m between units) CAN over EtherCAT (CoE) CiA402, Real-time communication 100Mbit/s
Min. cycle time	1 msec, up to 6 axes	1 msec, up to 3 axes	200 usec, up to 64 axes
Supported Sync Modes	Custom PDO	PDO	Free Run, DC mode (Sync0)

V.4 주요 제원 및 사양

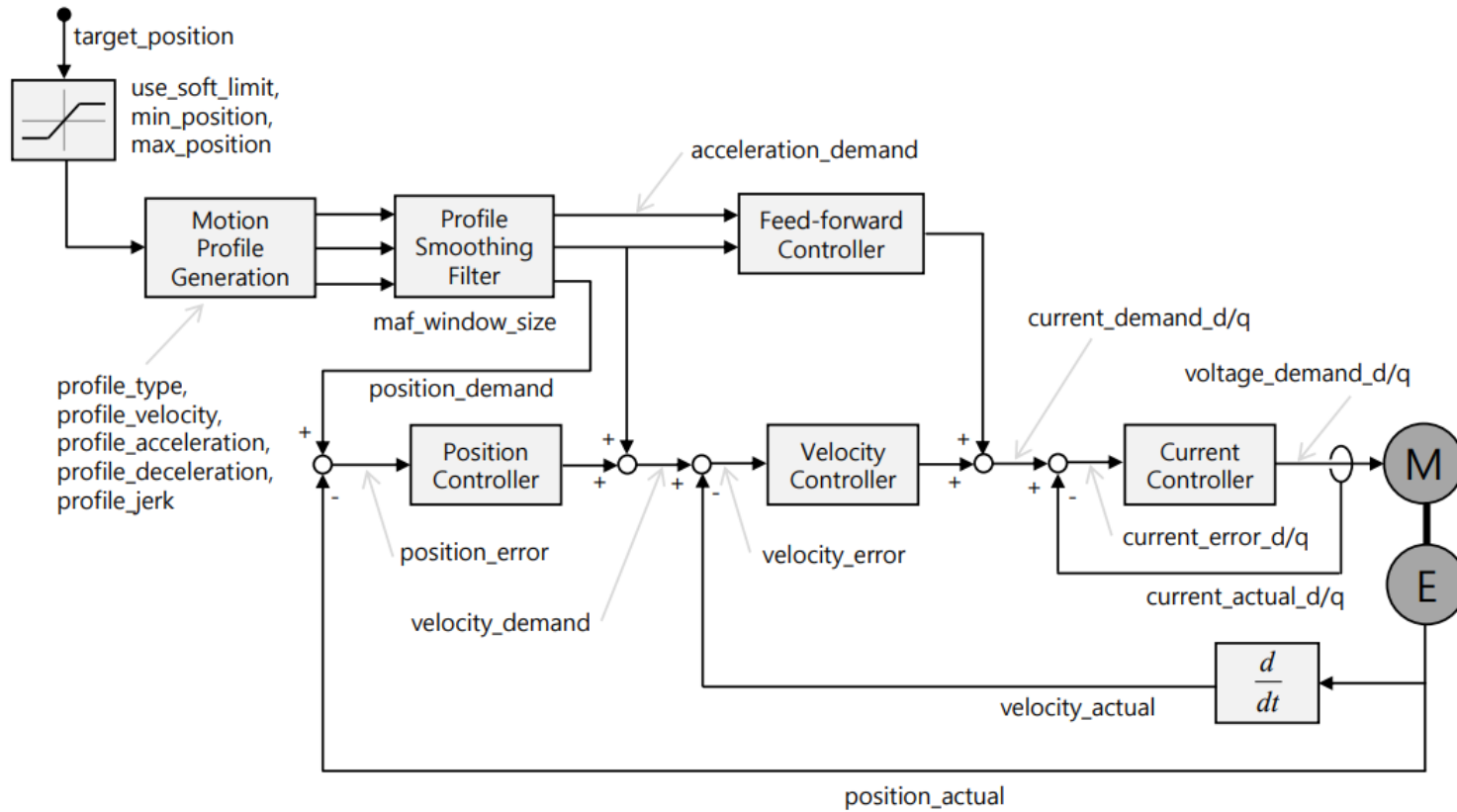
● iServo 주요 제원 및 사양 (CANopen/EtherCAT)

입력 전압	Control power: DC 24V, Motor power: DC 24 ~ 48V
연속/최대 전류	Continuous current: 12A, Peak current: 24A
사용 온도	Operating temperature: 0 ~ 55°C , Max: 80°C
제어 방식	Closed loop Position/Velocity controller (bandwidth 1kHz), Closde loop Current controller (bandwidth 2kHz), Open loop Micro-stepping controller, FOC (Field Oriented Control), 6-step control
모터 및 회전 속도	3-phase Stepper Motor: 0 ~ 3000 rpm, DC, BLDC, PMSM: 0 ~ 15000 rpm
엔코더 입력	32 ~ 65000 cpr, 1MHz quadrature encoder(9, 15 line type), Hall sensors RS-485 serial encoder (Tamagawa, Panasonic, Nidec, Mitsubishi, Hcfa) SSI, BiSS-C, EnDat, Analog sin/cos*1)
통신	USB(VCP) for UI connection, EtherCAT for EtherCAT master controller
I/O	Digital Input: 4ch (limit ±, home switch) Digital output: 2ch, Analog input: 1ch, PWM chopper: 1ch (brake, regen. voltage clamp)

Electrical Rating	Nominal power supply voltage	+15 ~ 50 VDC
	Absolute supply voltage +Vmin / +Vmax	+10 VDC / 58 VDC
	Output current Icont / Imax (< 30 s)	±12 A / ±24 A
	Pulse Width Modulation frequency	40 kHz
Inputs & Outputs	Digital Input 1 ~ 3	PLC compatible: 9 ~ 30 VDC
	Digital Output 1 ~ 2	max, 28 VDC / I < 50 mA
	Analog Input 1	Res, 12 bits, ± 10 VDC, Differential
	Pulse/Dir Inputs	PLC compatible: 9 ~ 30 VDC
	Digital Hall sensor signals HU, HV, HW	+4 ~ 10 VDC
	Encoder feedback signals: - Digital incremental encoder A, A#, B, B#, I, I# - Analog encoder Sin/Cos (optional) - 9-line hall/encoder signal acceptable	EIA RS422, max. 10.0 MHz, optional Res. 12 bits, ± 0.6 VDC, Differential
	Built-in brake or chopper circuit	S/W selectable, continuous 3 A
Volt, Outputs	Sensor supply voltage VSensor (Encoder)	+5 VDC / IL < 1 A
Motor Connections	Brushed DC motor, VCM	M1(+), M2(-)
	3-phase BLDC/PMSM/Stepper	M1(U), M2(V), M3(W)
Communication Interfaces	USB (VCP)	max, 921,600 bps
	EtherCAT	100 Mbit/s, Max. cycle time 200 usec
Dimension & Environment	Dimensions (W x D x H) [mm]	133 x 77 x 26
	Temperature (operating, max) [°C]	operating 0 ~ 55 °C, max 80 °C

V.5 서보 제어 루프 및 입력 성형기

● Servo Control Loop

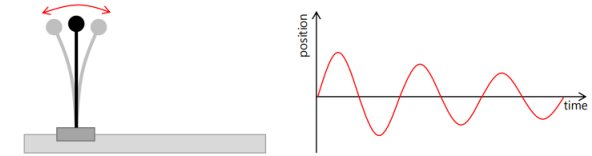


● Input Shaping

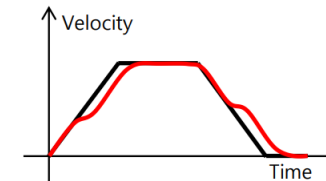
1.2.3 Vibration suppression filter



모터가 제어하는 대상이 외팔보와 같이 고유진동수를 가지는 경우, 목표 위치나 목표 속도에 도달 후 잔류진동이 존재하게 됩니다.



이때 Vibration suppression filter를 적용하여 위치나 속도 제어기에 입력되는 모션 프로파일의 형태를 변형하여 잔류진동을 억제합니다.



상기 그림에서 검은색 그래프가 필터를 통과하기 전의 속도 값이고 붉은색 그래프가 필터를 통과한 후의 속도 값입니다.

V.6 주요 구성품

구분	주요 항목	비고
진동체 HW	<ul style="list-style-type: none">MoGen Brushless Linear Servo Motor (2.6A, 50N, Hall sensor)Linear Module, 수직 진동 지지대 및 부하	<ul style="list-style-type: none">생산기술원 양광웅 수석 대여
모터 드라이버 및 통신	<ul style="list-style-type: none">iServo CANopen 드라이버 (₩460,000)USB to CAN Converter (₩330,000)	<ul style="list-style-type: none">http://www.eskorea-shop.kr/shop/detail.php?pno=E4DA3B7FBBCE2345D7772B0674A318D5&rURL=http%3A%2F%2Fwww.eskorea-shop.kr%2Fshop%2Fbig_section.php%3Fchno1%3D1019&ctype=1&chno1=1019https://smartstore.naver.com/robor/products/9248511362
	<ul style="list-style-type: none">iServo EtherCAT 드라이버 (₩495,000)FastCAT, PiCAT4	<ul style="list-style-type: none">https://www.devicemart.co.kr/goods/view?no=15206466https://github.com/nasa-jpl/fastcathttps://www.simplerobot.net/2021/04/picat4-real-ethercat-controller-by.html
Power Supply	<ul style="list-style-type: none">30V, 10A (드라이버/모터) (₩454,300)	<ul style="list-style-type: none">https://www.devicemart.co.kr/goods/view?no=12147397
상위 제어기	<ul style="list-style-type: none">Windows 기반 PC (드라이버 세팅 및 모니터링)USB to CAN 기반 궤적 생성 및 통신EtherCAT 기반 궤적 생성 및 통신 (Arduino/RPI/Jetson)	

V.7 주요 연구 예상 일정

[illegible]