



경고

모든 설치 작업은 반드시 자격있는
설치기사에 의해 수행되어야 하며
관련 법규 및 규정을 준수하여야 합니다.





Hi5a 제어기 기능설명서

Sensor Based Force Ctrl





본 제품 설명서에서 제공되는 정보는 현대로보틱스의 자산입니다.
현대로보틱스의 서면에 의한 동의 없이 전부 또는 일부를 무단 전재 및 재배포할 수 없으며,
제 3 자에게 제공되거나 다른 목적에 사용할 수 없습니다.

본 설명서는 사전 예고 없이 변경될 수 있습니다.

Printed in Korea - 2023 년 6 월. 3 판
Copyright © 2023 by Hyundai Robotics Co., Ltd



목 차

1. 기능 개요.....	1-1
1.1. 서론	1-2
1.2. 기능 요약.....	1-2
2. 사용 방법.....	2-1
2.1. 요약	2-2
2.2. 힘센서 설치.....	2-2
2.3. 사용환경 설정	2-4
2.4. 힘제어 톨 데이터 입력.....	2-7
2.4.1. 힘제어 톨 데이터	2-7
2.4.2. 센서기반 부하추정	2-9
2.5. 명령어 설명.....	2-10
2.5.1. ForceCtrl.....	2-10
2.5.2. FCset	2-11
2.5.3. LIMIT	2-12
2.5.4. $_F^*$	2-13
2.5.5. P^*	2-14
2.6. 예제 프로그램	2-15
2.6.1. 부품 조립 예제	2-15
2.6.2. 기계가공 예제(디버링, 챔퍼링)	2-17
2.6.3. 기계가공 예제(피니싱)	2-19
2.7. 힘센서 데이터 모니터링	2-21
3. 에러 및 경고.....	3-1
3.1. 에러	3-2
4. 부록.....	4-1
4.1. 6축 힘/토크 센서(ATI 社).....	4-2
4.2. 단축로드셀(Burster 社) & 시리얼통신 모듈(Beckhoff 社).....	4-4

그림 목차

그림 2.1 제어기 네트워크 환경설정	2-2
그림 2.2 시리얼 포트 환경설정	2-3
그림 2.3 힘제어 메뉴	2-4
그림 2.4 사용환경 설정 메뉴	2-5
그림 2.5 사용환경 설정 화면	2-6
그림 2.6 힘제어 톨 데이터 메뉴	2-7
그림 2.7 힘제어 톨 데이터 화면	2-8
그림 2.8 센서기반 부하 추정 설정 화면	2-9
그림 2.9 부품 조립 예제 프로그램	2-15
그림 2.10 기계가공(디버링, 챔퍼링) 예제 프로그램	2-17
그림 2.11 기계가공(피니싱) 예제 프로그램	2-19
그림 2.12 힘센서 데이터 모니터링	2-21
그림 4.1 센서의 좌표계	4-2
그림 4.2 센서좌표계(Xs,Ys,Zs)와 로봇좌표계(Xr,Yr,Zr)	4-3
그림 4.3 센서-Net box-로봇제어기의 케이블 연결	4-3
그림 4.4 Net Box 전원 연결, 점등상태 확인	4-3
그림 4.5 센서의 좌표계	4-4
그림 4.6 시리얼통신모듈	4-5



표 목차

표 2-1 부품 조립 예제 프로그램	2-16
표 2-2 기계가공(디버링, 챔퍼링) 예제 프로그램	2-18
표 2-3 기계가공(피니싱) 예제 프로그램	2-20
표 4-1 6 축 힘/토크센서의 측정범위	4-2
표 4-2 로드셀의 측정범위	4-4
표 4-3 로드셀과 통신모듈의 배선	4-5
표 4-4 시리얼 통신 환경설정	4-6
표 4-5 명령어 파라미터	4-6







HD

HYUNDAI
ROBOTICS

1

기능 개요



1. 기능 개요

Sensor Based Force Ctrl

1.1. 서론

ForceCtrl은 힘센서를 사용하여 로봇이 외부의 환경에 실시간으로 대응할 수 있는 기술입니다. 본 기술은 사용자가 설정한 외부와의 접촉력을 일정하게 유지하도록 로봇의 자세를 제어하여 로봇의 유연한 동작을 가능하게 합니다. 본 기능은 조립 및 기계가공 등 자동화가 필요한 분야에 적용하여 작업의 효율성을 증대시킬 수 있습니다.

1.2. 기능 요약

- 힘센서를 이용하여 사용자가 설정한 접촉력을 유지하도록 로봇을 제어함.
- 작업용 툴의 정보를 센서기반 부하추정을 통해 획득, 직접 입력도 가능함.
- 로봇 T/P의 모니터링 창을 이용하여 힘 센서 데이터를 모니터링 할 수 있음.
- ForceCtrl은 조립 및 기계가공 등에 활용할 수 있음.
- 소프트웨어 버전 : 메인 V40.05-00 이상, DSP SV6.11 이상





HD

HYUNDAI
ROBOTICS

2

사용 방법



2. 사용 방법

Sensor Based Force Ctrl

2.1. 요약

- 힘센서 설치
- 힘제어 사용환경 설정
([시스템]-[응용 파라미터]-[힘제어]-[사용환경 설정])
- 톨 데이터를 위한 센서기반 부하추정 실행
([시스템]-[응용 파라미터]-[힘제어]-[힘제어 톨 데이터])
- 힘제어 명령어를 이용하여 JOB 프로그램 작성
- 힘센서 데이터 모니터링 창 실행

2.2. 힘센서 설치

본 절에서는 센서의 종류에 무관한 일반적인 내용만을 다루고 있습니다. 센서별 자세한 설치법은 부록을 확인하십시오.

- ① 로봇의 R1 축과 R2 축을 0deg 로 맞춘 후 해당 센서를 로봇에 부착합니다.
- ② 센서와 로봇 제어기를 해당 통신케이블로 연결합니다.
- ③ 센서 및 통신모듈에 전원케이블을 연결하여 전원을 공급합니다.
- ④ 센서에 해당하는 통신 환경을 알맞게 설정해줍니다.
 - A. 이더넷통신을 사용하는 센서(예: ATI 사 6 축 센서)
TP 에서 EN2(범용)의 IP 를 그림 1 과 같이 설정합니다. IP 주소의 마지막 칸은 2~255 사이의 숫자를 입력하십시오.
(『F2』: 시스템』 → 『2: 제어 파라미터』 → 『9: 네트워크』 → 『1: 환경설정』)

2000.03.25 [토] 08:50:21 PM

수 동 S

기록조건

환경설정

EN0 (협조제어)	EN1 (T/P-main)	EN2 (범용)	EN-TP (범용)
------------	----------------	----------	------------

실행단위

Step

조그인칭

QuickOpen

도움말

수동출력

참조정

소프트키보드

사용자키

PREV/NEXT

주의사항

- EN0, EN1, EN2 포트의 IP주소는 서브넷 부분을 서로 다르게 설정해야 합니다.
- 설정을 변경한 후에는 로봇제어기를 재부팅하십시오.

항목선택 수치입력후 [ENTER]키를 누르십시오. [0 - 255]

이전 탭 다음 탭 완료

그림 2.1 제어기 네트워크 환경설정

2. 사용 방법

- B. 시리얼 통신을 사용하는 센서(예: Burster 사 로드셀)
제어기에 연결된 시리얼 포트를 다음 경로에서 선택하여 통신환경을 설정하십시오.
(『[F2]: 시스템』 → 『2: 제어 파라미터』 → 『3: 시리얼 포트』)
통신환경은 부착하는 센서모듈의 통신설정을 확인 후 입력해야 합니다. 센서모듈의 통신설정은 부록을 참조하세요.

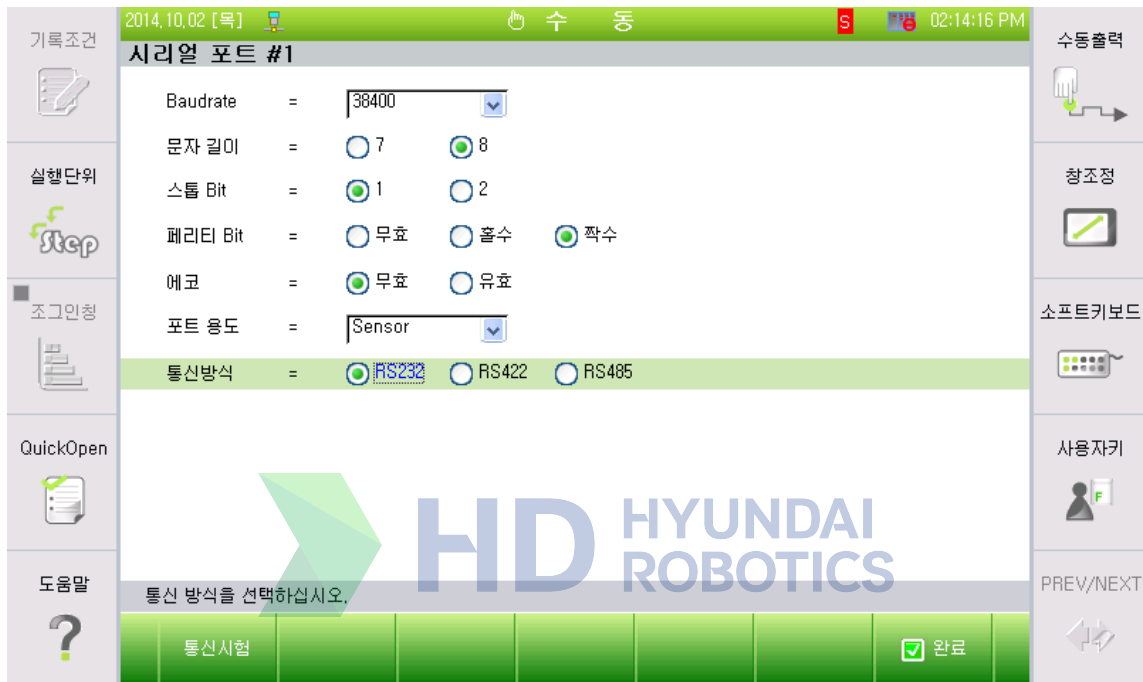


그림 2.2 시리얼 포트 환경설정

2.3. 사용환경 설정

힘제어 기능을 사용하기 전 사용환경 설정을 수행해야 합니다.

(『F2』: 시스템』 → 『4: 응용 파라미터』 → 『14: 힘제어』 → 『1: 사용환경 설정』)



그림 2.3 힘제어 메뉴

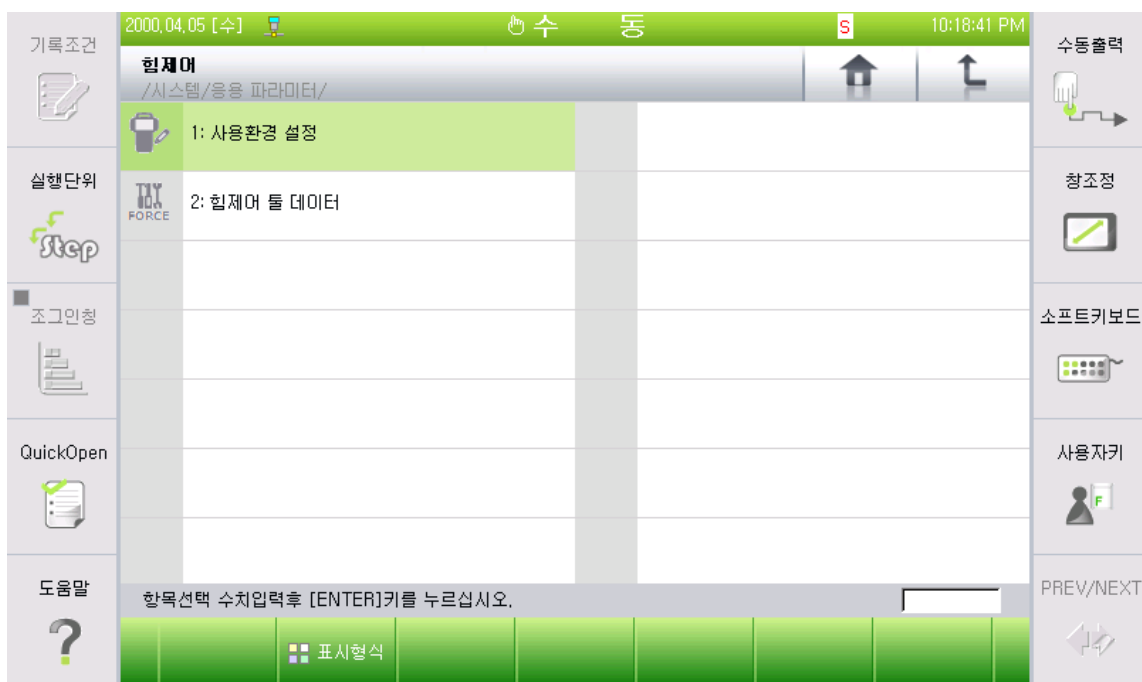


그림 2.4 사용환경 설정 메뉴



- ① 힘제어 기능사용을 유효로 설정해줍니다. 본 기능을 유효로 설정하여야 힘제어 기능 사용 및 힘센서 데이터 모니터링이 가능합니다.
- ② 센서의 종류를 설정합니다. 등록된 센서 이외의 센서 사용을 원하실 때에는 당사에 문의하여 주십시오. 센서종류를 선택하여야 기능 설정이 완료되며 힘제어 기능을 사용할 수 있습니다.



그림 2.5 사용환경 설정 화면

2.4. 힘제어 톨 데이터 입력

힘제어 톨이란 센서에 부착되는 작업용 톨을 의미하며 힘제어 톨 데이터는 작업용 톨의 중량과 중심을 말합니다. 힘제어 톨 데이터 및 센서기반 부하추정은 센서의 종류에 따라 지원유무가 달라지며, 지원하는 센서를 설정한 경우에만 메뉴가 표시됩니다.

2.4.1. 힘제어 톨 데이터

본 기능을 지원하는 센서를 사용하는 경우 그림 7 과 같이 항목이 표시되며, 정확한 힘제어를 위해 힘제어 톨 데이터가 반드시 입력되어야 합니다.

(『[F2]: 시스템』 → 『4: 응용 파라미터』 → 『14: 힘제어』 → 『2: 힘제어 톨 데이터』)



그림 2.6 힘제어 톨 데이터 메뉴



그림 2.7 힘제어 툴 데이터 화면

힘제어 툴 데이터의 중량과 중심을 정확히 알고 있는 경우, 직접 입력할 수 있습니다. 중심의 위치는 TP 에 첨부된 로봇 끝단의 좌표계를 기준으로 입력하십시오. 힘제어 툴에 대한 정확한 정보가 없는 경우 센서기반 부하 추정 기능을 사용하여 입력해야 합니다. 툴 데이터는 총 32 개까지 저장 가능하며, 입력된 툴 데이터를 다른 툴번호로 복사/붙여넣기가 가능합니다.

2.4.2. 센서기반 부하추정

센서기반 부하추정은 기존의 부하추정과 달리 힘센서를 이용하여 힘제어 툴의 중량과 중심을 추정하는 기능입니다. 힘제어 툴 데이터를 사용하지 않는 센서를 설정한 경우, 힘제어 툴 데이터 메뉴가 보이지 않으므로 센서기반 부하추정도 사용이 불가능합니다. 센서기반 부하추정 실행은 다음의 순서로 진행합니다.

(힘제어 툴 데이터 화면 하단의 『F1』: 센서기반 부하추정』으로 진입)

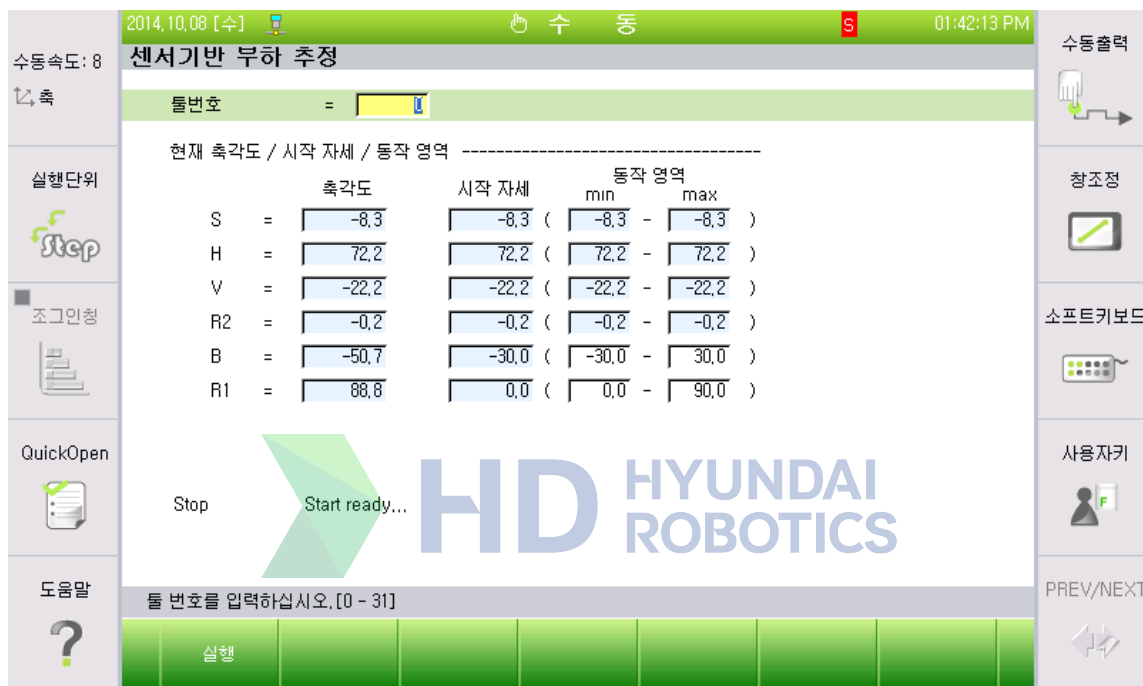


그림 2.8 센서기반 부하 추정 설정 화면

- ① 부하추정 결과값을 반영할 툴번호를 입력합니다.
- ② B 축과 R1 축의 동작영역을 입력합니다. 부하추정 수행시 B 축과 R1 축만 동작하므로 다른 축의 동작영역은 입력하지 않습니다.

로봇이 동작 중 주변의 장치와 충돌하지 않도록 유의하여 설정합니다.

- ③ [ENABLE] 스위치로 모터 ON 후 『F1』: 실행』 키를 눌러 부하추정을 수행합니다.
- ④ 부하추정이 끝나면 결과값이 출력됩니다.
- ⑤ 『F7』: 종료』 키를 눌러 반영여부를 설정합니다.
- ⑥ 설정한 힘제어 툴번호에 결과가 잘 반영되었는지 확인합니다.

참고: 로봇 파라미터의 툴 데이터와 부하추정은 로봇플랜지에 부착된 물체를 툴 데이터로서 취급합니다. 센서에 부착된 작업용 툴만을 다루는 힘제어 툴 데이터/센서기반 부하추정은 기존의 툴 데이터/부하추정과는 다름을 유의하십시오.

2.5. 명령어 설명

2.5.1. ForceCtrl

설명	힘제어 기능을 위한 인자를 설정하고, 해당기능 ON 또는 OFF		
입력방법	『[F6]: 명령입력』 → 『[F1]: 모션,I/O』 → 『ForceCtrl』		
문법	ForceCtrl ON, CRD=_,_,T=_,BC=_ ForceCtrl OFF		
파라미터	CRD	기준 좌표계	▪ 힘제어시 로봇이 동작할 기준 좌표계 (0: 베이스, 1: 로봇, 2: 툴, 3: U, 4: Un) ▪ 2 번에 해당하는 툴은 로봇의 툴 번호로, 현재활성화되어있는 툴번호를 기준으로 함 ▪ 3 번에 해당하는 사용자 좌표계는 현재 활성화 되어있는 사용자 좌표계를 기준으로 함 ▪ 4 번을 선택하면 해당하는 사용자 좌표계 번호를 우측에 입력해 주어야 함
	T	힘제어 툴번호	▪ 툴 데이터가 저장된 힘제어 툴번호를 선택 (0~31) ▪ 로봇의 툴번호와 다름을 유의
	BC	Bias Clear	▪ 센서의 초기값을 0 으로 초기화 (0: 미사용, 1: 사용) ▪ 툴이 외부와 접촉하지 않은 상태에서만 BC 를 1 로 설정하여 사용해야 함

2.5.2. FCset

설명	힘제어 기능 실행에 필요한 인자 설정		
입력방법	『[F6]: 명령입력』 → 『[F1]: 모션,I/O』 → 『FCset』		
문법	FCset Fd, X=_,Y=_,Z=_, Rx=_, Ry=_, Rz=_ FCset Dmp, Dt=_, Dr=_ FCset FLT, Ff=_, Bf=_, St=_, Ft=_, Sr=_, Fr=_		
파라미터	Fd	■ 유지하려는 접촉힘의 크기와 접촉방향을 설정 ■ 기준좌표계: ForceCtrl 명령어에서 설정한 좌표계(CRD) ■ 단위: X,Y,Z→[N], Rx,Ry,Rz→[Nm] ■ 크기: X,Y,Z→-5000~5000[N], Rx,Ry,Rz→-1400~1400[Nm] (센서의 측정범위 내의 값을 설정해야 함) 예) X=-100: 기준좌표계의 -X 방향으로 100N의 힘을 유지하고자 함	
		■ 로봇의 부드러운 정도를 설정 ■ 크기: 1~10 (숫자가 작을수록 로봇의 움직임이 빠르고 유연함)	
	Dmp	Dt	Translation(X,Y,Z)방향의 값을 설정
		Dr	Rotation(Rx,Ry,Rz)방향의 값을 설정
	FLT	■ 힘제어에 사용되는 필터를 설정	
		Ff	힘정보 필터의 cut-off 주파수[Hz]
		Bf	Bypass 필터의 cut-off 주파수[Hz]
		St	Translation 동작을 위한 가변 스케일[N] (기본 값은 0 임)
		Ft	
		Sr	Rotation 동작을 위한 가변 스케일[Nm] (기본 값은 0 임)
		Fr	

2.5.3. LIMIT

설명	로봇의 최대 동작영역과 최대 속도를 설정하는 기능	
입력방법	『[F6]: 명령입력』 → 『[F1]: 모션,I/O』 → 『LIMIT』	
문법	LIMIT POS, +X=_,-X=_,+Y=_,-Y=_,+Z=_,-Z=_ LIMIT VEL, X=_,Y=_,Z=_,RX=_,RY=_,RZ=_	
파라미터	POS	▪ 힘제어 시 로봇이 동작할 수 있는 영역을 힘제어를 시작하는 위치를 기준으로 설정[mm] ▪ 기준좌표계: 로봇좌표계
	VEL	▪ 힘제어 시 로봇이 동작할 수 있는 최대 속도를 설정[mm/s], [deg/s] ▪ 기준좌표계: ForceCtrl 명령어에서 설정한 좌표계(CRD)
사용 예	LIMIT POS,+X=500,-X=200,+Y=0,-Y=150,+Z=300,-Z=300 LIMIT VEL, X=200,Y=200,Z=200,RX=100,RY=100,RZ=100 ForceCtrl ON DELAY 10.0 ForceCtrl OFF	
참고사항	▪ ForceCtrl ON 과 ForceCtrl OFF 사이에서 LIMIT 명령을 여러번 사용할 수 있으나 LIMIT POS 는 ForceCtrl ON 실행 시 로봇의 위치를 기준으로 동작영역을 재설정하는 것에 유의해야 합니다. ▪ LIMIT POS 는 로봇좌표계, LIMIT VEL 은 ForceCtrl 명령어에서 설정한 좌표계(CRD)를 기준으로 설정해야 합니다. ▪ LIMIT VEL 을 0 으로 설정하는 것은 해당 방향으로 힘제어를 수행하지 않음을 의미합니다. ▪ LIMIT VEL 로 속도를 제한함으로써 방향별 로봇의 유연한 정도를 조절할 수 있습니다. 낮은 속도는 유연함을 낮추는 효과가 있어 Dmp 를 높이는 것과 유사합니다. 따라서 가장 빠른 반응이 필요한 방향을 기준으로 Dmp 를 설정한 후, 나머지 방향은 LIMIT VEL 로 조절해야 합니다.	

2.5.4. _F*

설명	현재 힘센서의 데이터. 읽기전용 변수이므로 값의 대입 불가.	
입력방법	조건문 입력시 → 『[F1]: 변수』 → 『[F6]: 시스템』 → 『F*』 → . → 『[F1]~[F6]』	
변수형	_F*.X	기준좌표계의 X 방향의 힘[N]
	_F*.Y	기준좌표계의 Y 방향의 힘[N]
	_F*.Z	기준좌표계의 Z 방향의 힘[N]
	_F*.Rx	기준좌표계의 X 방향의 토크[Nm]
	_F*.Ry	기준좌표계의 Y 방향의 토크[Nm]
	_F*.Rz	기준좌표계의 Z 방향의 토크[Nm]
사용 예	WAIT _F*.X>=500	X 방향의 힘이 500N 보다 커질 때까지 대기
	MOVE L,S=3mm/s,A=1,T=0 UNTIL _F*.Y=20	Y 방향의 힘이 20N 을 넘으면 MOVE 수행 멈춤
	IF _F*.Rz>=-10.0 THEN 3 ELSE 5	Z 방향의 토크가 -10Nm 보다 크면 3 번 행으로 이동 작으면 5 번행으로 이동
참고사항	_F*의 기준좌표계는 ForceCtrl 명령어 입력시 설정한 좌표계(CRD)을 의미합니다.	

2.5.5. P*

설명	로봇의 현재 위치를 얻는 포즈 변수. 읽기전용 변수이므로 값의 대입 불가.	
입력방법	전 방향의 위치	조건문 입력시→『[F1]: 변수』→『[F2]: pose』→『P*』
	각 방향의 위치	조건문 입력시→『[F1]: 변수』→『[F2]: pose』→『P*』 → . →『R5: PREV/NEXT』→『[F1]~[F6]』
환경설정	『[F2]: 시스템』→『1: 사용자 환경』의 8 번과 9 번 항목으로 P*의 좌표계와 값을 선택함	
	P* 좌표계	로봇의 위치를 얻을 기준좌표계를 설정
	P* 선택	로봇의 위치를 지령값으로 얻을지 현재값으로 얻을지 지정.
변수형	P*	기준좌표계의 전 방향의 위치[mm]
	P*.X	기준좌표계의 X 방향의 위치[mm]
	P*.Y	기준좌표계의 Y 방향의 위치[mm]
	P*.Z	기준좌표계의 Z 방향의 위치[mm]
	P*.RX	기준좌표계의 RX 방향의 위치[deg]
	P*.RY	기준좌표계의 RY 방향의 위치[deg]
	P*.RZ	기준좌표계의 RZ 방향의 위치[deg]
사용 예	WAIT (P1.Z-P*.Z)<=0.1	설정된 P1의 Z 방향 위치와 로봇의 현재 Z 방향 위치의 차가 0.1 보다 작을 때까지 대기
	IF P*.RX<P2.RX AND P*.RY<P2.RY THEN 9	RX 방향의 로봇의 위치가 P2의 값보다 작고, RY 방향의 위치도 P2의 값보다 작으면 9번 행으로 이동 조건이 만족하지 않을시 다음 행으로 이동
참고사항	- P*는 『[F2]: 시스템』→『1: 사용자 환경』에서 P*좌표계와 P*선택을 설정해 주어야 합니다. - P*선택은 현재값으로 설정하여야 현재 로봇의 위치를 얻을 수 있습니다.	

2.6. 예제 프로그램

다음 예제 프로그램을 참조하여 응용에 적합한 JOB 프로그램을 작성하십시오.

2.6.1. 부품 조립 예제

힘제어 기능을 이용하여 부품을 조립할 때에 참고할 수 있는 예제입니다. 상황에 맞게 각 파라미터 및 조건문을 수정하여 사용하십시오.

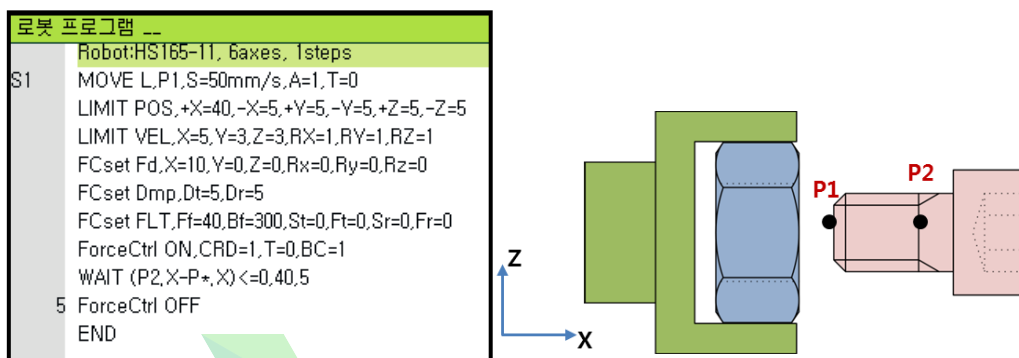


그림 2.9 부품 조립 예제 프로그램

표 2-1 부품 조립 예제 프로그램

로봇의 움직임	▪ S1에 저장된 P1의 위치로 이동한 후, 힘제어를 시작함. ▪ 힘제어가 시작되면 로봇좌표계의 X 방향으로 설정한 힘에 도달하기 위해 P2를 향해 이동함. ▪ 로봇이 P2의 위치에 도달했을 때 조립이 완료된 것으로 판단하여 프로그램을 종료함.
최대 동작 영역 (LIMIT POS)	▪ 로봇좌표계를 기준으로 힘제어 동작범위 설정함. ▪ X = -5 ~ 40[mm], Y = -5 ~ 5[mm], Z = -5 ~ 5[mm]
최대 동작 속도 (LIMIT VEL)	▪ 로봇좌표계 기준(ForceCtrl ON, CRD=1 이므로) ▪ X = 5[mm/s] ▪ Y, Z = 3[mm/s] ▪ RX, RY, RZ = 1[deg/s]
제어하려는 힘의 크기 (FCset Fd)	▪ Y, Z, Rx, Ry, Rz = 0 : 0N의 힘을 유지하도록 제어함. ▪ X = 10[N] : 로봇좌표계기준 X 방향으로 10N의 접촉힘이 되도록 제어함. 힘의 크기는 조립품간의 마찰을 고려하여 설정해야 함.
힘제어시 로봇의 조건 (FCset Dmp, FLT)	▪ Dt=5, Dr=5 : 모든 방향을 5단계의 유연함으로 제어함. ▪ FLT : Ff와 Bf 값으로 유연함을 조절함. 값이 작을수록 부드럽게 동작하지만 동작에 지연이 생길 수 있음.
ForceCtrl ON, CRD=1, T=0, BC=1	힘제어 실행 ▪ CRD=1 : 로봇좌표계(1) 기준으로 힘제어 동작 ▪ T=0 : 0번 힘제어 톨 데이터를 사용 ▪ BC=1 : 힘제어를 시작할 때 힘센서 데이터를 초기화
WAIT (P2.X-P*.X) <= 0, 40, 5	▪ P*.X(로봇의 X 방향의 현위치)와 P2.X(조립이 완료된 상태에서 로봇의 X 방향 위치)의 차이가 0보다 작거나 같을 때까지 힘제어를 수행함. ▪ 40, 5 : 40초동안 조건을 만족시키지 못할시 5번 행(ForceCtrl OFF)으로 분기되어 힘제어가 종료됨.
ForceCtrl OFF	힘제어 종료

2.6.2. 기계가공 예제(디버링, 챔퍼링)

힘제어 기능을 이용하여 디버링 또는 챔퍼링(모따기)과 같은 기계가공을 할 때에 참고할 수 있는 예제입니다. 버를 제거하거나 모서리를 가공하는 작업을 수행하는 경우 다음의 예제를 활용하여 프로그램을 작성하십시오.

로봇 프로그램 --	
S1	MOVE L,S=200mm/s,A=1,T=1
S2	MOVE L,S=50mm/s,A=1,T=1
	LIMIT POS,+X=20,-X=20,+Y=0,-Y=0,+Z=0,-Z=0
	LIMIT VEL,X=0,Y=0,Z=0,RX=0,RY=0,RZ=0
	FCset Fd,X=-10,Y=0,Z=0,Rx=0,Ry=0,Rz=0
	FCset Dmp,Dt=1,Dr=5
	FCset FLT,Ft=40,Bf=300,St=0,Ft=0,Sr=0,Fr=0
	ForceCtrl ON,CRD=1,T=0,BC=1
S3	MOVE L,S=50mm/s,A=1,T=1
S4	MOVE L,S=50mm/s,A=1,T=1
	LIMIT VEL,X=5,Y=0,Z=0,RX=0,RY=0,RZ=0
S5	MOVE L,S=100mm/s,A=1,T=1
	FCset Fd,X=0,Y=0,Z=0,Rx=0,Ry=0,Rz=0
	ForceCtrl OFF
	END

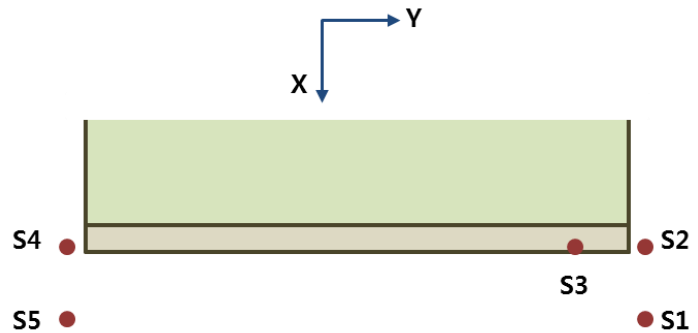


그림 2.10 기계가공(디버링, 챔퍼링) 예제 프로그램



표 2-2 기계가공(디버링, 챔퍼링) 예제 프로그램

로봇의 움직임	▪ S1에서 가공품의 시작점인 S2로 이동함. ▪ S2로 이동 후 힘제어를 ON 시키나, LIMIT VEL 을 0 으로 설정하여 힘제어를 하지 않음. ▪ S3 까지 힘제어를 하지 않으며 이동함. (S3 위치: S2 에서 진행방향으로 약 10mm 의 간격을 설정) ▪ S4 는 LIMIT VEL 을 설정하여 힘제어를 하며 이동함. ▪ S5 는 LIMIT VEL 을 0 으로 변경하여 힘제어 OFF 상태로 이동하고, 기능을 OFF 하며 프로그램을 종료함.
최대 동작 영역 (LIMIT POS)	▪ 힘제어를 시작하는 S2 의 위치에서 로봇좌표계를 기준으로 힘제어 동작범위 설정함. X= -20 ~ 20[mm] ▪ X 방향으로의 힘제어만 허용함.
최대 동작 속도 (LIMIT VEL)	▪ 로봇좌표계 기준(ForceCtrl ON, CRD=1 이므로) ▪ S2, S3: 0[mm/s] → 전 방향 힘제어 OFF ▪ S4: X=5[mm/s] → X 방향으로 힘제어 ON ▪ S5: 0[mm/s] → 전방향 힘제어 OFF
제어하려는 힘의 크기 (FCset Fd)	▪ X=-10[N] : -X 방향으로 10N 의 접촉힘을 유지하도록 제어함. ▪ 힘의 크기는 가공 정도를 고려하여 설정함.
힘제어시 로봇의 조건 (FCset Dmp, FLT)	▪ Dt=1 : X 방향을 1 단계의 유연함으로 제어 ▪ FLT : Ff 와 Bf 값으로 유연함을 조절함. 값이 작을수록 부드럽게 동작 하지만 동작에 지연이 생길 수 있음.
ForceCtrl ON, CRD=1, T=0, BC=1	힘제어 실행 ▪ CRD=1 : 로봇좌표계(1) 기준으로 힘제어 동작 ▪ T=0 : 0 번 힘제어 톨 데이터를 사용 ▪ BC=1 : 힘제어를 시작할 때 힘센서 데이터를 초기화
ForceCtrl OFF	힘제어 종료

2.6.3. 기계가공 예제(피니싱)

힘제어 기능을 이용하여 기계가공 중 표면가공(피니싱)을 할 때에 참고할 수 있는 예제입니다. 일정한 접촉력을 유지하며 표면의 형상에 따라 가공을 하는 경우 다음의 예제를 활용하여 프로그램을 작성하십시오.

```

로봇 프로그램 --
S1  MOVE L,S=50mm/s,A=1,T=1
    LIMIT POS,+X=500,-X=500,+Y=500,-Y=500,+Z=500,-Z=500
    LIMIT VEL,X=0,Y=0,Z=0,RX=0,RY=0,RZ=0
    FCset Fd,X=0,Y=0,Z=20,Rx=0,Ry=0,Rz=0
    FCset Dmp,Dt=2,Dr=5
    FCset FLT,Ft=40,Bf=300,St=0,Ft=0,Sr=0,Fr=0
    ForceCtrl ON,CRD=2,T=0,BC=1
S2  MOVE L,S=5mm/s,A=1,T=1 UNTIL ABS(_F*,Z)>=5
S3  MOVE L,S=5mm/s,A=1,T=1
    LIMIT VEL,X=0,Y=0,Z=2,RX=0,RY=0,RZ=0
S4  MOVE L,S=5mm/s,A=1,T=1
S5  MOVE L,S=5mm/s,A=1,T=1
S6  MOVE L,S=5mm/s,A=1,T=1
S7  MOVE L,S=5mm/s,A=1,T=1
    LIMIT VEL,X=0,Y=0,Z=0,RX=0,RY=0,RZ=0
    ForceCtrl OFF
    END
  
```

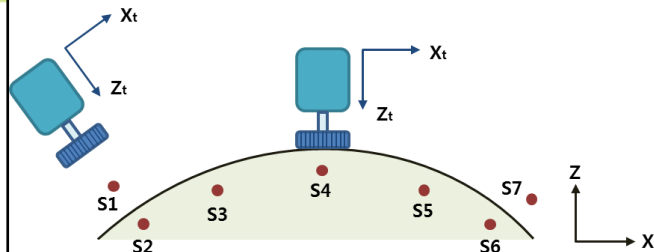


그림 2.11 기계가공(피니싱) 예제 프로그램



표 2-3 기계가공(피니싱) 예제 프로그램

로봇의 움직임	▪ S1 으로 이동하여 힘제어를 ON 시킴. LIMIT VEL 을 0 으로 설정하여 힘제어를 하지 않으며 이동함. ▪ S2 는 가공품과 접촉이 가능하도록 티칭하여 Z 방향의 접촉력이 5 보다 클 때까지만 이동함. ▪ S3 에서 Z 방향의 LIMIT VEL 을 설정하여 S6 까지 힘제어를 하며 이동함. ▪ S7 은 LIMIT VEL 을 0 으로 변경하여 힘제어 OFF 상태로 이동하고, 기능을 OFF 하며 프로그램을 종료함.
최대 동작 영역 (LIMIT POS)	▪ 힘제어를 시작하는 S1 의 위치에서 로봇좌표계를 기준으로 힘제어 동작범위 설정함. ▪ X= -500~500[mm], Y= -500~500[mm], Z= -500~500[mm]
최대 동작 속도 (LIMIT VEL)	▪ 톨좌표계 기준(ForceCtrl ON, CRD=2 이므로) ▪ S2: 0[mm/s] → 전 방향 힘제어 OFF ▪ S3~S6: Z=2[mm/s] → Z 방향으로 힘제어 ON ▪ S7: 0[mm/s] → 전방향 힘제어 OFF
제어하려는 힘의 크기 (FCset Fd)	▪ Z=20[N] : 톨좌표계 기준 +Z 방향으로 20N 의 접촉힘을 유지하도록 제어함. ▪ 힘의 크기는 가공 정도를 고려하여 설정함.
힘제어시 로봇의 조건 (FCset Dmp, FLT)	▪ Dt=2 : Z 방향을 2 단계의 유연함으로 제어 ▪ FLT : Ff 와 Bf 값으로 유연함을 조절함. 값이 작을수록 부드럽게 동작 하지만 동작에 지연이 생길 수 있음.
ForceCtrl ON, CRD=1, T=0, BC=1	힘제어 실행 ▪ CRD=2 : 톨좌표계(2) 기준으로 힘제어 동작 ▪ T=0 : 0 번 힘제어 톨 데이터를 사용 ▪ BC=1 : 힘제어를 시작할 때 힘센서 데이터를 초기화
ForceCtrl OFF	힘제어 종료

2.7. 힘센서 데이터 모니터링

힘제어 실행 중 힘센서 데이터를 모니터링 할 수 있는 기능입니다. 모니터링 데이터는 힘제어 환경설정에서 기능이 유효이고, ForceCtrl ON 명령을 만났을 시에만 업데이트됩니다. 표시되는 데이터는 힘제어하는 기준 좌표계에서의 힘과 토크의 값입니다.

(『F1』: 서비스』 → 『1: 모니터링』 → 『23: 힘 센서 데이터』)

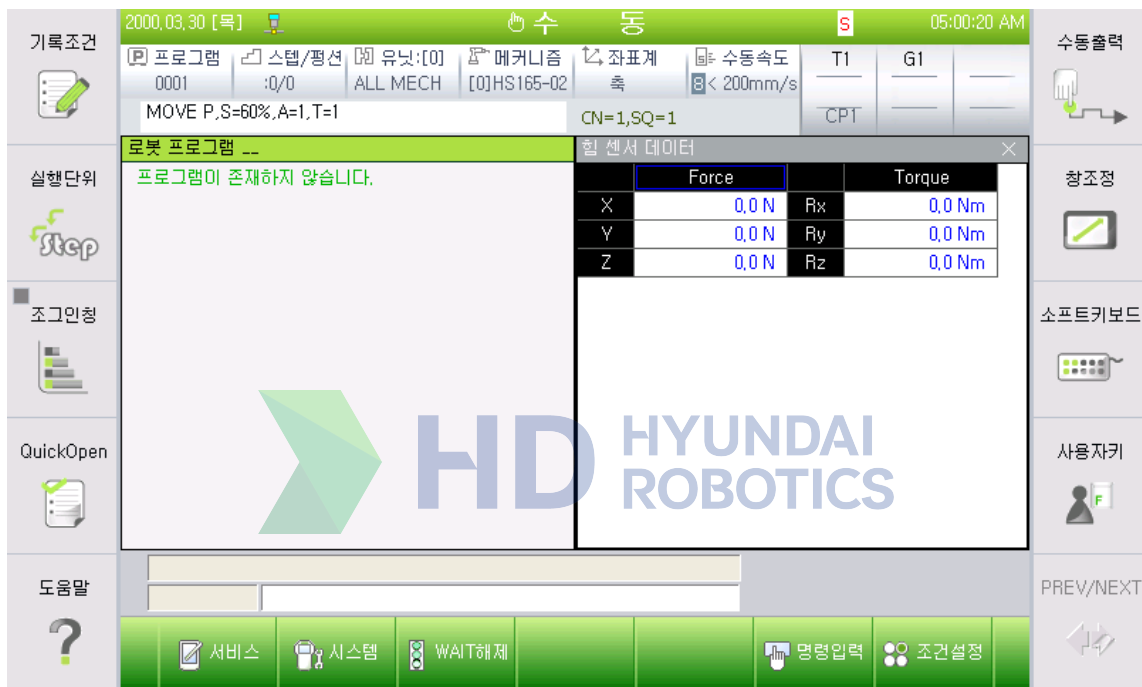


그림 2.12 힘센서 데이터 모니터링





HD

HYUNDAI
ROBOTICS

3

에러 및
경고



3. 에러 및 경고

Sensor Based Force Ctrl

3.1. 에러

코드	메시지	원 인	조 치
E0258	네트워크(EN2) 설정 오류	EN2 의 네트워크 설정(IP 주소, 서브넷마스 크, 게이트웨이)를 잘못 설정하였습니다.	기능설명서를 참조하여 EN2 의 네트 워크를 다시 설정하십시오.
E0259	힘센서 통신 실 패	케이블이 단선되었거나 센서의 전원이 차단 되었습니다.	센서와 제어기간의 케이블 및 전원 연결을 확인하십시오.
E0260	힘제어 기능 사 용 무효	힘제어 기능 사용이 무효로 설정되어있습니 다.	[힘제어]-[사용환경 설정]에서 기능 사용을 유효로 설정해 주십시오.





HD

HYUNDAI
ROBOTICS

4

부록



4. 부록

4.1.6 축 힘/토크 센서(ATI 社)

본 자료는 ATI 제조사에서 제작한 이더넷통신 기반의 6 축 힘/토크 센서에 해당하는 내용입니다. 기능설명서와 함께 참고하십시오.

- ① 센서 구성: 6 축 힘/토크 센서, Net Box, 센서케이블, 전원, 랜케이블
- ② 센서별 측정 범위

표 4-1 6 축 힘/토크센서의 측정범위

Sensor	Delta	Theta	Omega
Axes	SI660-60	SI2500-400	SI7200-1400
Fx, Fy($\pm$ N)	660	2500	7200
Fz($\pm$ N)	1980	6250	18000
Tx, Ty($\pm$ Nm)	60	400	1400
Tz($\pm$ Nm)	60	400	1400

- ③ 센서 부착: 그림 1 과 같이 센서에 표기된 센서의 좌표계가 그림 2 의 로봇말단에 표시된 센서좌표계 (X_s, Y_s, Z_s)와 일치하도록 센서를 부착합니다.

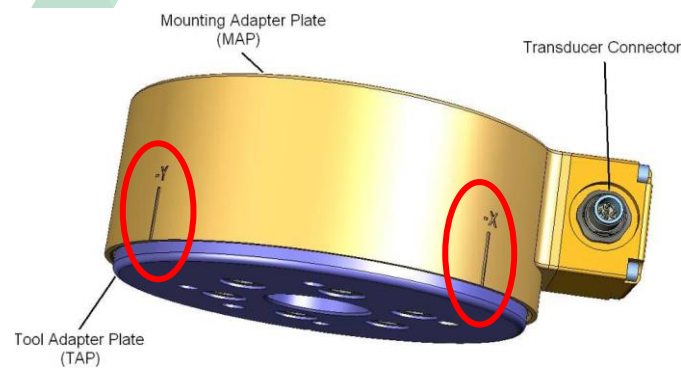


그림 4.1 센서의 좌표계

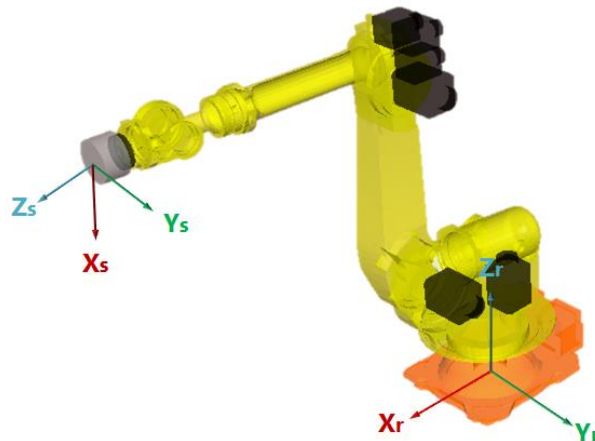


그림 4.2 센서좌표계(Xs,Ys,Zs)와 로봇좌표계(Xr,Yr,Zr)

- ④ 케이블 연결: 힘센서와 Net Box 는 센서케이블로, Net Box 와 로봇제어기는 랜선으로 연결해주어야 합니다.

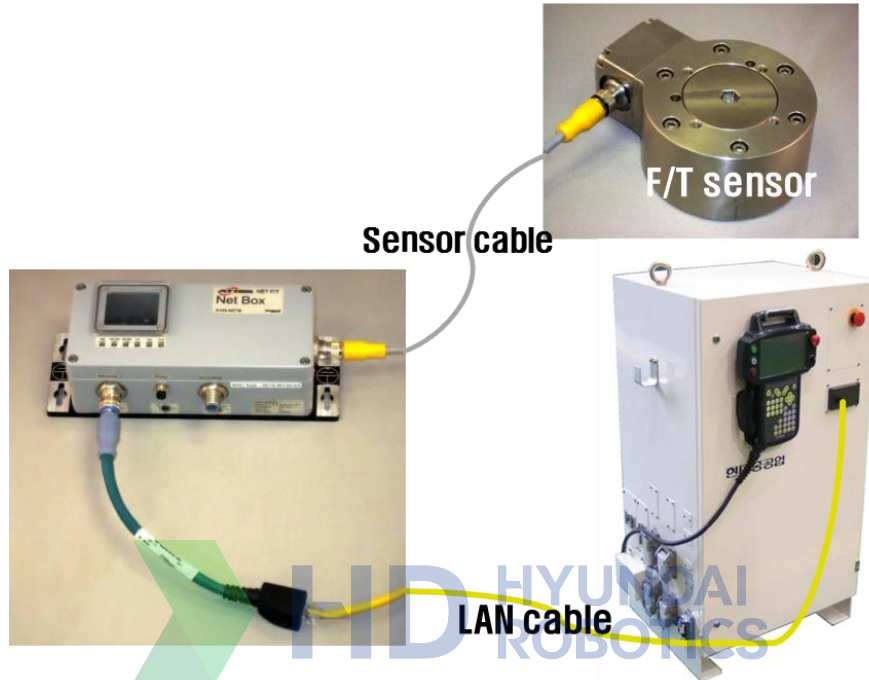


그림 4.3 센서-Net box-로봇제어기의 케이블 연결

- ⑤ 전원 연결: Net Box 에 전원 선을 연결하여 전원(24V)을 공급해줍니다. Net Box 의 점등상태로 연결을 확인합니다. 각 케이블과 전원의 연결이 정상인 경우 그림 4 의 점등 상태를 보입니다. 점등상태가 그림과 일치하지 않은 경우, 케이블 연결 및 전원 연결을 다시 확인하십시오.



그림 4.4 Net Box 전원 연결, 점등상태 확인

4.2. 단축로드셀(Burster 社) & 시리얼통신 모듈(Beckhoff 社)

본 자료는 Beckhoff 사의 시리얼통신모듈(RS232)과 함께 Burster 사의 단축로드셀을 사용하는 경우에 해당하는 설명자료입니다. 기능설명서와 함께 참고하십시오.

- ① 센서 구성: 단축로드셀(앰프연결 모델), 시리얼통신모듈(RS232), 시리얼 케이블(RS232)
- ② 센서별 측정범위: 앰프연결 모델의 모델명 및 측정범위는 표 1과 같습니다. Fd 설정시 이를 참조하여 범위 내의 값으로 설정하십시오.

표 4-2 로드셀의 측정범위

Sensor	Measurement range
8532-5500	0 ~ 500 N
8532-6001	0 ~ 1 KN
8532-6002	0 ~ 2 KN
8532-6005	0 ~ 5 KN
8532-6010	0 ~ 10 KN
8532-6020	0 ~ 20 KN

- ③ 센서 부착: 단축로드셀은 사용하려는 톨 좌표계의 +Z 방향과 그림 1에 표시된 단축로드셀의 +Z 방향이 일치하도록 설치해야 합니다.



그림 4.5 센서의 좌표계

- ④ 시리얼통신모듈 연결: 시리얼통신 모듈은 RS232 커플러(BK8100), 버스터미널(KL3100), 버스엔드터미널(KL9010)로 구성됩니다. 세 부품은 RS232 커플러-버스터미널-버스엔드터미널 순서로 조립하고, 통신모듈에 부착된 주소설정단자는 X1은 1, X10은 0으로 설정합니다.

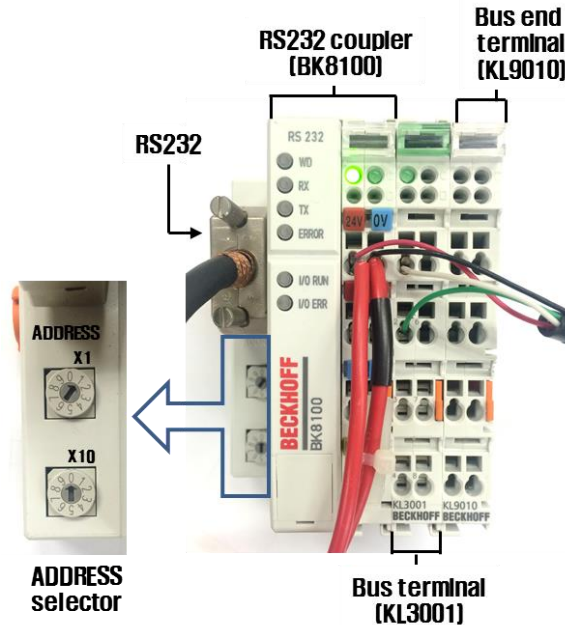


그림 4.6 시리얼통신모듈

- ⑤ 로드셀 선 연결: 로드셀의 신호선과 전원선을 그림 2와 표 2을 참고하여 통신모듈에 연결합니다.

표 4-3 로드셀과 통신모듈의 배선

	로드셀	시리얼통신모듈
신호선(+)	흰색 선	버스터미널의 1 번 단자
신호선(-)	녹색 선	버스터미널의 2 번 단자
전원(+)	붉은 선	RS232 커플러의 24V 단자
전원(-)	검은 선	RS232 커플러의 0V 단자

- ⑥ 전원 연결: 시리얼통신모듈의 전원을 로봇제어기의 전원에 연결하여 시리얼통신모듈과 로드셀에 전원을 공급합니다. 로드셀과 시리얼통신모듈 모두 24V 전압을 사용하므로, 로드셀이 연결된 시리얼통신모듈의 24V 와 0V 단자를 제어기의 24V 와 0V 단자에 각각 연결하여 사용합니다.
- ⑦ 시리얼 케이블 연결: 시리얼통신모듈의 시리얼포트와 로봇제어기의 시리얼포트#2 를 시리얼 케이블로 연결합니다. 시리얼 케이블은 15m 이내의 크로스 케이블을 사용해야 합니다.
- ⑧ 점등상태 확인: 신호선, 전원선, 시리얼케이블연결이 완료되면 로봇제어기의 전원을 인가하여 그림 2와 같이 시리얼통신모듈의 녹색 LED 가 점등되는지 확인합니다. 힘제어 수행중 붉은색 LED 가 점등될 시 각 모듈의 연결상태 및 통신설정을 확인하십시오.

- ⑨ 통신설정: 기능설명서 2.2.B 절과 표 3 를 참고하여 시리얼포트#2 의 통신환경을 설정합니다.

표 4-4 시리얼 통신 환경설정

Baudrate	38400
문자 길이	8
스톱 Bit	1
패리티 Bit	짝수
에코	무효
포트용도	Sensor
통신방식	RS232

- ⑩ 명령어 설정: 단축로드셀은 톨 좌표계 -Z 방향으로의 힘(센서를 누르는 힘)만 측정하므로, 힘제어에 사용하는 명령어는 톨좌표계 Z 방향을 기준으로 설정해야 합니다. 기능설명서 2.5 절과 표 4 참조하여 각 명령어에 적절한 파라미터를 설정하십시오.

표 4-5 명령어 파라미터

ForceCtrl	CRD	기준 좌표계	▪ 입력값과 무관
	T	힘제어 톨번호	▪ 입력값과 무관
	BC	Bias Clear	▪ 톨이 외부와 접촉하지 않은 상태에서 BC 를 1 로 설정하여 사용해야 함
FCset	Fd	▪ +Z 방향의 가압력을 설정	
	Dmp	Dt	Z 방향의 값을 설정
		Dr	입력값과 무관
LIMIT	POS	▪ 힘제어 시 로봇이 동작할 수 있는 영역을 힘제어를 시작하는 위치를 기준으로 설정[mm] ▪ 기준좌표계: 로봇좌표계	
	VEL	▪ 힘제어 시 로봇이 동작할 수 있는 Z 방향의 최대 속도를 설정[mm/s] ▪ 기준좌표계: 톨 좌표계	



● **Daegu Office (Head Office)**

50, Techno sunhwan-ro 3-gil, yuga, Dalseong-gun, Daegu, 43022, Korea

● **GRC**

477, Bundangsuseo-ro, Bundang-gu, Seongnam-si, Gyeonggi-do, Korea

● **대구 사무소**

(43022) 대구광역시 달성군 유가읍 테크노순환로 3 길 50

● **GRC**

(13553) 경기도 성남시 분당구 분당수서로 477

● **ARS : +82-1588-9997 (A/S center)**

● **E-mail : robotics@hyundai-robotics.com**

