

# 휴머노이드 로봇 KHR-2의 개발

김정엽, 박일우, 오준호  
한국과학기술원 기계공학과

## 1. 서론

로봇(Robot)이란 단어는 1921년에 최초로 연극이름에서 사용되었고, 체코어인 robota(강제노동)와 robotik(노동자)의 합성어이다. 이러한 로봇은 현대 사회에서 보통 산업용 로봇을 뜻한다. 곧, 공장에서 하기 힘든 반복적인 일들을 인간을 대신하여 작업하는 기계들을 가르켜 로봇이라고 하였다. 그런데 최근에 와서 컴퓨터와 각종 기계, 전자 산업이 발전하면서 로봇이라는 의미가 공장안의 매니플레이터에서 점차 지능적이고 인간 생활환경에서 적용하고 인간과 친근할 수 있는 지능형 로봇으로 바뀌어 가고 있다. 대표적으로 휴머노이드(Humanoid)라는 인간과 닮은 2족 보행로봇을 예로 들 수 있다. 이미 일본에서는 1970년대에 와세다 대학에서 WABOT-1이라는 최초의 진신 휴머노이드 로봇을 개발하였고, 1980년대부터 혼다사에서 EO를 기점으로 하여 2000년도에 아시모(ASIMO)라는 자율보행이 가능한 첨단 휴머노이드 로봇을 개발한 바 있다. 이 밖에도 일본의 소니(SONY)사의 SDR 시리즈 등 여러 대학과 연구기관에서 휴머노이드에 대한 연구가 활발한 실정이다. 반면 우리나라의 경우 1990년대 중반부터 인간형 로봇에 대한 연구가 조금씩 시작되었으나 아직까지 일본의 아시모와 같이 자율동적보행이 가능한 휴머노이드 로봇이 거의 전무한 실정이다.

본 논문에서는 생활환경에서 인간과 같이 생활하며, 궁극적으로 인간을 이롭게 할 수 있는 휴머노이드 로봇의 개발을 목표로 하여, KHR-2 (KAIST Humanoid Robot -2)라는 인간형 로봇의 개발에 대해 연구하였다. 로봇이 인간 생활에 적응하기 위해서는 인간과 흡사한 외형을 가져야 하며 인간의 동작을 따라할 수 있는 관절을 가져야 한다. 또한 인간이 느끼는 감각정보를 계측할 수 있는 센서를 갖추고 있어야 한다. 따라서 KHR-2는 실용성과 전력의 효율성 및 인간 친화성을 고려하여, 외형적으로 어린이 크기의 로봇으로 설계하였다. 총 자유도는 41개로서 인간이 걸을 때 필요한 최소한의 관절과 기본적인 동작을 행할 수 있는 관절의 수를 갖추도록 설계되었고, 사람의 눈과 전정기관을 대체할 스테레오 CCD 카메라와 각속도 센서 및 가속도센서를 갖추고 있다. 또한 동적 걸음 시 발바닥의 ZMP(Zero Moment Point)를 측정하기 위해 힘/모멘트 센서를 발바닥에 장착하였다. 이 힘/모멘트 센서는 손목에도 장착되어 악수하기와

같이 인간과의 상호작용 시 사용하도록 하였다.

이와 같은 다관절 로봇을 효율적으로 제어하기 위해서는 우선 기본적으로 실시간성이 보장되어야 한다. 여기서 실시간이라는 것은 모든 관절의 제어 입력과 센서데이터 수신 등이 전체 시스템의 메인시간에 동기화되어 작동하는 것을 말한다. 따라서 정확한 시간스케줄에 맞추어 모든 제어가 짜임새 있게 작동할 때, 모든 관절의 원활한 제어가 가능해진다. 그 다음으로 제어 방식을 설정하여야 한다. 다시 말해서 중앙집중제어방식을 채택할 것인지 아니면 분산제어방식을 사용할 것인지에 대한 결정이 필요하다. 기존의 KHR-0와 KHR-1은 메인컴퓨터의 OS로 DOS를 이용하여 컴퓨터 내부타이머를 이용하여 모든 관절을 실시간 제어하는 중앙집중제어방식이었다. 이러한 방식은 개발속도도 빠르며, 메인 컴퓨터에서 모든 정보를 손쉽게 알 수 있으나, 확장성이 용이하지 않고, 메인 컴퓨터의 계산부담이 커지게 된다. 그러나 KHR-2에서는 자유도가 KHR-1에 비해 약 2배 늘어났고, 비전시스템과 같은 여러 추가 어플리케이션등이 부가되어 메인 컴퓨터의 계산부담이 커졌으며 각종 센서 모듈의 확장성을 고려하여야 하기 때문에 분산제어방식을 채택하였다. 분산제어방식으로 인해 메인 컴퓨터에서의 계산부담이 획기적으로 줄어들었으나 각 관절을 제어하는 하위 제어기와 명령전달 및 센서데이터 수신을 위해 빠르고 효율적이며 확장성이 용이한 실시간 통신프로토콜이 필요하게 되며, 메인 컴퓨터의 실시간 명령을 보장하기 위해 실시간 OS 역시 요구된다. 이에 따라 KHR-2에서는 위의 조건을 모두 만족하는 실시간 고속직렬 통신인 CAN(Controller Area Network) 프로토콜과 Windows OS 환경에서 실시간성을 보장해주는 RTX HAL(Hardware Abstraction Layer) 확장 프로그램을 설치하여 모든 하위제어기 및 센서 모듈과의 통신을 손쉽게 원활히 하였다. 이에 따라 KHR-2에 사용되는 모든 하위제어기 및 센서 모듈 역시 CAN 통신 모듈이 내부에 탑재된 마이크로 프로세서를 이용하여 직접 개발하여 실시간 제어 및 메인 컴퓨터와의 통신을 실현시켰다.

## 2. 기계학적 설계

KHR-2을 개발하는 데에 있어서 설계 철학은 아래와 같이 5가지로 요약해서 말할 수 있다.

• Human like shape and movement

인간과 친근감을 느끼도록 최대한 인간과 비슷한 비율과 형상으로 설계하였다. 또한 인간의 동작을 흉내 내어 따라할 수 있도록 필요한 자유도를 엄선하였으며, 각 관절의 회전반경 역시 인간과 비슷한 범위를 갖도록 하였다.

• Light, compact and backlash free joint

각 주요관절의 감속기로서 하모닉 드라이브 기어(Harmonic drive gear)를 사용하였다. 하모닉 드라이브 기어는 가볍고 소형화 되어 있으며, 백래쉬(Backlash)가 없다. 또한 백 드라이브(back-drive)가 원활히 가능하므로 휴머노이드의 감속기로서 아주 좋은 이점을 가지고 있다.

• Self-contained system

KHR-2를 작동시키는 모든 부품 즉, 메인 컨트롤러, 서브 컨트롤러, 모터 드라이브 앰프, 배터리등이 자체적으로 내장되어, 생활환경에서 외부로의 전기적인 배선이 필요없이 작동이 가능하도록 하였다.

• Kinematically simple structure

각 주요관절의 축이 한점에서 교차되도록 하여, 역기구학의 닫힌해(Closed-form solution)을 얻을 수 있도록 기구학적으로 간단명료하게 설계하였다. 예를 들어, 고관절의 피치(Pitch), 롤(Roll), 요(Yaw) 축이 오프셋(Offset) 없이 한점에서 교차하며 발목관절 역시 피치와 롤축이 한점에서 교차한다.

• Low power consumption

궁극적으로 자율보행을 실현시키려면 외부의 전원공급없이 어느 정도 일정시간동안의 작동이 필요하다. 우리의 목표는 KHR-2가 자체 배터리로 약 1시간정도 자율적으로 동작하도록 하려한다. 이러한 저전력 시스템은 여러 가지 관점에서 실현시킬 수 있다. 첫째로 전기적인 관점에서 전기적인 부품들이 되도록 적은 전류를 소모하도록 설계되어야 한다. 둘째로 기계부설계관점에서 기구부의 사이즈를 최소화하고 기계적인 부품들을 가볍고 작은 크기로 선택하여야한다. 셋째로 프로그램관점에서 전력을 낭비하는 동작을 최소화하고, 최소의 전력으로 동적걸음이 실현되도록 해야 할 것이다.

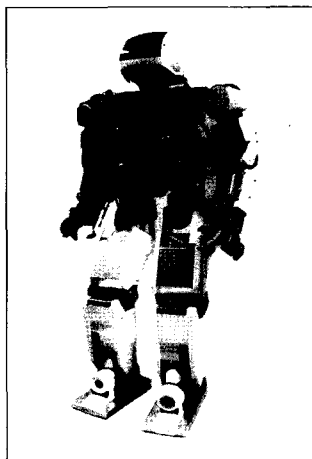


그림 1. Photograph of KHR-2.

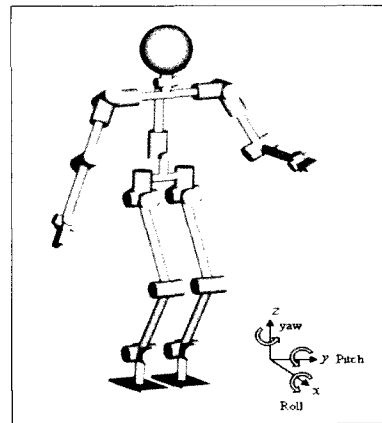


그림 2. Joint structure of KHR-2.

위의 설계 개념에 맞추어 120 cm의 키를 가진 어린이 크기의 휴머노이드 로봇을 설계하였다.(그림 1) 총 중량은 약 56 Kg 이고, 총 41자유도를 가지고 있으며, 모든 관절의 구동기로서 DC 모터를 이용하였다. 구동기로서 DC 모터를 사용한 이유는 위치제어가 용이하고, 작은 크기의 이점을 가지고 있기 때문이다. 표 1에 KHR-2의 전반적인 사항을 표시하였고, 표 2에 KHR-2가 가지는 자유도를 상세히 표시하였다. 아래의 그림(그림 1, 2)들은 각각 KHR-2의 전체 사진과 관절구조를 보여준다.

표 1. Specification of KHR-2.

키	120 cm	
중량	56 Kg	
보행속도	0 ~ 1.0 Km/h	
보행주기	0~0.98 초	
악력	약 0.5Kg/finger	
액츄에이터	DC서보모터, 하모닉 드라이브 기어 감속기, 구동장치	
제어장치	걸음세 제어장치, 위치제어장치, 배터리 전송장치	
센서	힘/모멘트 센서(발, 손목) 각속도/가속도 센서(몸통)	
전원부	배터리(Ni-H)	24V/8AH, 12V/12AH
	외부전원	12V, 24V
조종부	키보드/마우스, 무선랜을 이용한 외부 컴퓨터	

표 2. DOF(Degree of freedom) of KHR-2.

머리	목(Pan/Tilt)	2 DOF
	눈(Pan/Tilt)	2 DOF × 2 눈 = 4 DOF
팔	어깨(Roll/Pitch/Yaw)	3 DOF
	팔꿈치(Pitch)	1 DOF
		4 DOF × 2 팔 = 8 DOF
손	손목(Roll/Pitch)	2 DOF
	손가락(Pitch)	1 DOF × 5 DOF
		7 DOF × 2 손 = 14 DOF
몸통	Yaw	1 DOF
다리	고관절(Roll/Pitch/Yaw)	3 DOF
	무릎(Pitch)	1 DOF
	발목(Roll/Pitch)	2 DOF
		6 DOF × 2 다리 = 12 DOF
총 DOF		41 DOF

### 2.1. 상체 설계

KHR-2의 상체는 머리, 팔, 손 그리고 몸통으로 구성 되어있으며, 총 29개의 자유도를 가지고 있다. 이러한 상 체에는 인간의 뇌역할을 하는 메인 컴퓨터와 심장역할을 하는 대용량 배터리가 장착되어지기 때문에 하체에 비해 공간 활용도가 매우 중요한 부분이다. 따라서 구조적으로 가장 간결하면서 충분한 강성을 지닐 수 있는 구조로 설계 되어야 한다. KHR-2의 경우 'ㄱ'형 메인 프레임이 가슴 에 위치하고 상체와 하체는 인간의 척추를 대신하는 두꺼 운 컬럼(Column)으로 지지 및 연결되어 있다. 각각의 상 체 구성 요소들은 세부적으로 다시 설명할 것이며 각 관절 을 구동하는 액추에이터 타입을 표 3에 정리하였다.

표 3. Actuator types in upper body.

		동력 전달 방식	DC모터 용량
머리	눈(Tilt)	Planetary gear head + Pulley/Belt	24V/2.64 W
	눈(Pan)	Planetary gear head	24V/2.64 W
	목(Tilt)	Planetary gear head + Pulley/Belt	24V/11 W
	목(Pan)	Planetary gear head	24V/11 W
팔	어깨(Roll)	Harmonic drive gear	24V/90 W
	어깨(Pitch)	Harmonic drive gear + Pulley/Belt	24V/90 W
	어깨(Yaw)	Harmonic drive gear	24V/90 W
	팔꿈치	Harmonic drive gear	24V/90 W
손	손가락	Planetary gear head + Pulley/Belt	24V/2.64 W
	손목(Roll)	Planetary gear head	24V/11 W
	손목(Pitch)	Planetary gear head + Pulley/Belt	24V/3.4 W
몸통(Yaw)		Harmonic drive gear	24V/90 W

#### 2.1.1 머리 설계

KHR-2의 머리에는 사람과 흡사한 두개의 눈이 장착 되어있다. 눈으로 쓰이는 센서는 CCD 카메라로써 표 4 에 사양을 나타내었다. CCD 카메라에서 나오는 영상출력 은 NTSC 신호로써 프레임 그레버(Frame Grabber)카드 를 이용하여 컴퓨터에 전송된다. 프레임 그레버의 사양 은 표 5에 나타내었다. CCD 카메라를 움직이는 고정대는 각각 팬엔틸트(Pan and Tilt) 구조로 되어있어서 2자유 도를 갖는다. 또한 머리와 몸통이 부착되는 목부분 역시 팬엔틸트구조로 되어있어 2자유도를 갖기 때문에 머리 전 체는 모두 6자유도를 가지게 된다. 그림 3에서 3-D 모델 러를 이용한 머리의 입체도를 보여준다. 머리의 모든 관절 을 구동하기위해 DC 모터가 장착되었고, 이를 제어하는 제어기는 뒷통수 부분 장착된다.

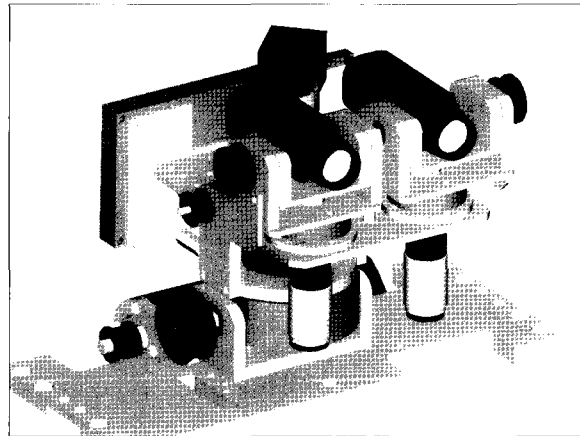


그림 3. 3D Model of KHR-2's head.

표 4. Specification of the CCD Camera.

제품명	GIC-100PC
촬상소자	1/4" CCD
출력신호	NTSC
유효화수	640 × 480 Pixel
치수	22mm × 67.5(D)mm
무게	100 g

표 5. Specification of the frame grabber.

제품명	Matrox Meteor-II Standard
버스 타입	PC/104 Plus
입력가능신호	NTSC, PAL, RS-170, CCIR
비디오입력가능갯수	12
지원가능OS	Windows 98, Me, NT 4.0, 2000, XP
카메라전원출력	5V or 12V

#### 2.1.2 손 설계

KHR-2의 손 역시 사람과 같이 5개의 손가락과 손목을 가지고 있다. 총 7개의 자유도를 가지고 있는데, 각 손가락 당 1개의 자유도를 가지고 있고 손목에는 2개의 자유도를 가지고 있다. 실용적 측면에서 생각한다면 손가락의 개수를 줄이고 손가락 하나당 자유도를 늘리는 것이 더 효율적일 수도 있으나 5개의 손가락을 갖도록 설계한 이유는 인간 을 모방하기 위함이지 다른 특별한 이유는 없다. 그림 4 에서 손의 입체도를 볼 수 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 손가락하나당 축이 3개씩 존재한다. 그러나 각각의 축이 모두 자유도를 갖기에는 액추에이터를 장착할 공간이 부족하므로 첫 번째 마디에 풀리/벨트 구동방식으로 축을 구 동하고 나머지 2개의 축들은 같은 각도로 벨트에 의해 연 동되어 구동되어진다. 손의 구동할 액추에이터로는 DC 모터를 사용하였고, 모터를 제어하는 제어기는 머리에 사용 되었던 제어기와 같은 제어기를 이용하였다. 그리고 손목에 작용하는 힘과 모멘트를 측정하기위해서 3축힘/모멘트 센서 를 개발하였고 그 사진은 그림 9에 나타나 있다. 또한 나중 에 물건을 집는 동작을 위해 압력센서가 5개의 손가락 끝 마디에 장착될 예정이다.

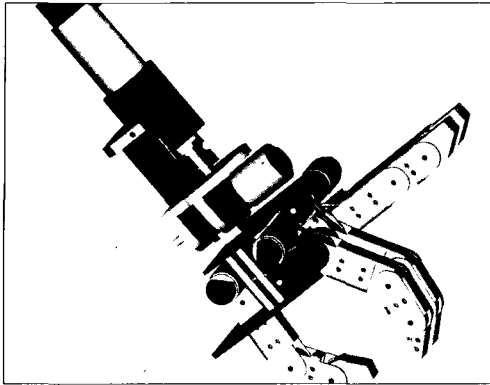


그림 4. 3D Model of KHR-2's hand.

2.1.3 팔 설계

KHR-2의 팔에는 총 4개의 자유도를 가지고 있다. 어깨에 3개의 자유도를 가지고 있고, 팔꿈치에 1개의 자유도를 가지고 있다. 그림 5에 사진을 나타내었다. 각각의 축을 구동하는 액츄에이터로 DC 모터가 쓰였고, 이를 제어할 제어기 또한 개발하였다. 각 관절에서 사용된 감속기는 하모닉 감속기를 사용하였다. 하모닉 감속기는 가볍고 작고 백래쉬가 없는 감속기로 매우 잘 알려져 있다. 이미 KHR-1에서 그 성능에 만족하였고 KHR-2에도 하모닉 감속기를 메인감속기로 사용하였다. 그런데 상체와 하체와 달리 공간이 매우 협소해서 하우징이 일체형으로 구성된 하모닉 감속기는 사용이 부적절하다. 따라서 하모닉 감속기의 부품을 구입하여, 로봇 프레임인 동시에 감속기 하우징으로 설계 제작하여 하모닉 감속기를 사용하였다.

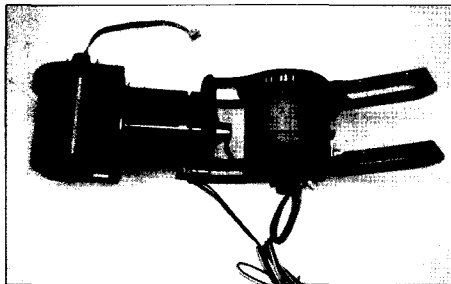


그림 5. Photograph of KHR-2's arm.

2.2. 하체 설계

휴머노이드 로봇의 가장 큰 특징인 2족 보행이라는 것만으로도 하체 설계가 매우 중요하다는 것을 알 수 있다. 하체 설계를 어떻게 하느냐에 따라 걸음새가 달라질 수 있으며, 움직임의 제한에 직접적인 영향을 미친다. 따라서 하체의 각 관절의 움직임 범위를 적절히 선정해야 할 것이며, 모터 역시 움직임을 충분히 고려하여 선정해야 한다. 표 6, 7에 하체의 구동 범위와 장착되는 액츄에이터 타입을 각각 정리하였다. 모든 하체의 감속기는 하모닉 감속기를 사용하였고, 특히 무릎관절에는 같은 종류의 모터 2개를 병렬로 연결하여 계단

오르기와 같은 무릎에 큰 토크가 가해지는 동작을 대비하였다. 구동 범위와 조작의 편의성 및 감속비의 조정을 모두 만족시키기 위해 모든 관절의 하모닉 감속기 입력단이 폴리/벨트 메카니즘으로 이루어져 있다. 그리고 적당한 장력을 부과하기 위해 각각 장력조절장치를 장착하였다. 그림 6에 KHR-2의 하체사진을 나타내었다.

표 6. Movable angle range of lower body joints.

		Movable angle range(deg)
고관절	Roll	-90 ~ +38
	Pitch	-90 ~ +90
	Yaw	-77 ~ +60
무릎		0 ~ +150
발목	Roll	-40 ~ +23
	Pitch	-90 ~ +90

표 7. Actuator types in lower body.

		동력 전달 방식	DC 모터 용량
고관절	Roll	Harmonic drive gear + Pulley/Belt	24V/150W
	Pitch		24V/150W
	Yaw		24V/90W
무릎			24V/150W X2
발목	Roll		24V/90W
	Pitch		24V/90W

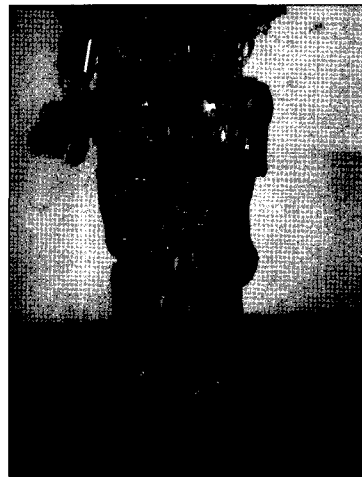


그림 6. Photograph of the lower body.

3. 시스템 집성

KHR-2는 실시간 분산제어 방식으로 이루어져 있다. 따라서 시스템을 총괄하는 메인 컨트롤러와 메인 컨트롤러의 명령에 자기의 역할을 하는 하위 컨트롤러가 존재하고 이 두 장치의 다리역할을 하는 통신라인 역시 구축되어 있다. 또한 CCD 카메라와 같은 응용장치의 통합도 중요하다. 그림 7에 전체 시스템 구성도를 나타내었다.

### 3.1. 메인 콘트롤러

KHR-2의 메인 콘트롤러로서 싱글보드컴퓨터(Single Board Computer)를 사용하였다. DSP를 이용한 마이크로 콘트롤러 대신 이러한 소형컴퓨터를 사용한 이유는 Windows XP를 OS 로 하여 다루기 쉬운 인터페이스 환경으로부터 개발 속도를 최대한 늘리는 데에 있다.

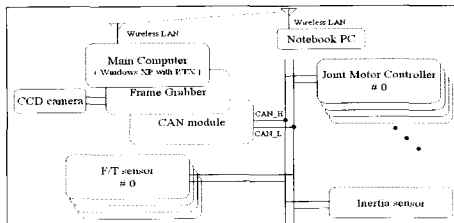


그림 7. Overall system configuration of KHR-2.

#### 3.1.1 CAN (Controller Area Network) 통신 프로토콜

메인 컴퓨터에서 다수의 하위 제어기로 명령을 주거나 데이터를 받으려면 우선 통신 속도가 빨라야 한다. 또한 데이터 간의 충돌없이 원활히 송/수신이 가능해야 한다. 따라서 이 조건들을 두루 만족하며 이미 자동차 산업에서 검증된 CAN 프로토콜을 이용하였다. CAN 통신의 특징은 아래와 같다.

- Multi-Master/ Multi-Slave
- 빠른 통신 속도 (1Mbit/sec)
- 탁월한 오류 처리와 오류 제한
- 결함 메시지의 자동적인 재전송
- 물리적 결함이 추정되는 노드들의 자동적인 버스 연결 절단

#### 3.1.2 RTX HAL 확장 프로그램

메인컴퓨터에서 명령송신과 데이터 수신을 정확한 시간 간격으로 주고받기 위해서는 Windows XP 에서 실시간성이 보장되어야 한다. 만약 응용프로그램에서 윈도우 타이머를 쓰게 된다면, 시스템 레이턴시(Latency)로 인해 실시간이 보장되지 않을 것이다. 따라서 미국의 VenturCom에서 개발한 RTX 라는 HAL 확장프로그램을 이용함으로써 윈도우즈 기반 실시간 제어를 구현하였다.

### 3.2. 하위 제어기

하위 제어기는 관절모터제어기(Joint Motor Controller)와 센서 모듈 등을 포함하며 총 19개의 하위제어기로 이루어져 있다. 기본적으로 CAN 통신 모듈을 갖추고 있다.

#### 3.2.1 관절모터제어기(JMC, Joint Motor Controller)

KHR-2 에는 총 14개의 CAN 통신이 가능한 관절모터제어기가 장착되어 있다. 관절모터제어기는 다시 두가지 타입으로 나뉜다. 첫 번째 타입은 손과 머리에 장착되며 각각 7개의 소용량 DC 모터를 제어하는데 쓰이고, 두 번째 타입은 손과 머리를 제외한 나머지 관절을 제어하는데 쓰이는데 각각 2개의

대용량 DC 모터를 제어하는데 쓰인다. 기본적으로 같은 마이크로 프로세서를 이용하고, 첫 번째 타입제어기는 추후에 장착될 손가락 끝 입력센서를 장착할 수 있도록 5개의 A/D 변환 포트가 설치되어있고 약 48W/Ch 의 용량을 가지고 있다. 두 번째 타입 제어기는 여분 센서를 장착하도록 2개의 A/D 변환 포트가 설치되어있으며, 약 400 W/Ch 의 용량을 가지고 있다. 그림 8 에서 관절 모터 제어기의 사진을 보여주고 있다.

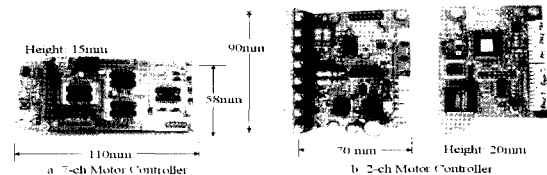


그림 8. Joint motor controller.

#### 3.2.2 센서 모듈

센서 모듈은 현재 2가지 종류가 있으며, JMC 와 같은 마이크로 프로세서를 사용했고 CAN 통신이 가능하다.

#### 3.2.3 힘/모멘트 센서

총 4개의 힘/모멘트 센서가 KHR-2 에 장착되어 있으며, 2개는 손목에 나머지 2개는 발에 장착되어 있다. 모두 3축 힘/모멘트 센서이며, 1개의 수직력과 2개의 롤, 피치 모멘트를 측정할 수 있다. 따라서 손목용은 악수하기와 같이 인간과 상호작용을 할 때 쓰이고, 발용은 동적걸음시 ZMP를 측정하기 위해 사용된다. 그림 9에 힘/모멘트 센서 모듈의 사진을 나타내었다.

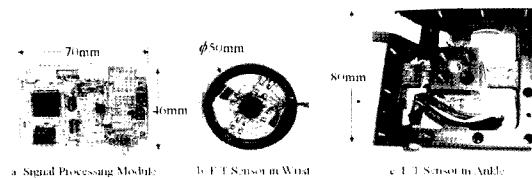


그림 9. F/T sensor module.

#### 3.2.4 관성 센서

KHR-2 에는 기울기 정보를 알아내기 위하여 관성센서를 이용한다. 관성센서에는 2축 가속도센서와 2축 각속도 센서가 장착되어있고, 이 두 가지 종류의 센서를 적절한 주파수 대역에서 혼합하여 기울기를 알아낸다. 그림 10에 관성 센서 모듈의 사진을 나타내었다.

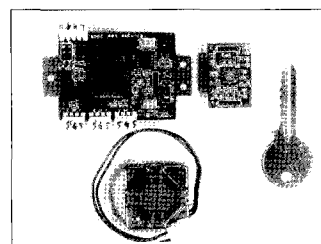


그림 10. Inertia sensor module.

4. 결론

본 연구에서는 제시되었던 설계 개념에 맞추어, 인간형 로봇인 KHR-2 를 개발하였다. 2D/3D CAD를 이용하여 KHR-2 의 기계 설계를 하였고, 시뮬레이션을 통한 모터, 감속기 및 구동 메커니즘을 선정하여 기계구조를 완성하였다. 분산제어시스템의 메인 컨트롤러로써 싱글보드 컴퓨터를 선정하였고, RTX HAL 확장 프로그램을 이용하여 실시간성을 확보하였다. 하위제어기로서, 각종 관절 모터 제어기와 힘/모멘트 센서모듈 및 관성센서 모듈등을 직접 개발하여 KHR-2 에 가장 알맞도록 장착하였고, 메인컴퓨터와 하위 제어기들과의 통신을 위하여, 고속 직렬 통신인 CAN 통신 프로토콜을 사용하였다. 또한 로봇의 시각센서로써 CCD 카메라를 2대를 장착하고 프레임 그레이버를 이용하여 초당 약 15프레임을 전송함으로써, 스테레오 비전시스템을 구축하였다.

참고 문헌

1. K. Hirai, M. Hirose, Y. Haikawa, and T. Takenaka, "The Development of Honda Humanoid Robot," *Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automations*, pp. 1321-1326, 1998.
2. Y. Sakagami, R. Watanabe, C. Aoyama, S. Matsunaga, N. Higaki, and K. Fujimura, "The intelligent ASIMO: System overview and integration," *Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp. 2478-2483, 2002.
3. S. Kagami, K. Nishiwaki, J. J. Kuffner Jr., Y. Kuniyoshi, M. Inaba and H. Inoue, Online 3D Vision, "Motion Planning and Biped Locomotion Control Coupling System of Humanoid Robot : H7," *Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp. 2557-2562, 2002.
4. H. Lim, Y. Kaneshima, and A. Takanishi, "Online Walking Pattern Generation for Biped Humanoid Robot with Trunk," *Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics & Automation*, pp. 3111-3116, 2002.
5. J. H. Kim, S. W. Park, I. W. Park, and J. H. Oh, "Development of a Humanoid Biped Walking Robot Platform KHR-1 Initial Design and Its Performance Evaluation," *Proc. of 3rd IARP Int. Work. on Humanoid and Human Friendly Robotics*, pp.1421, 2002.

..... 저자약력 .....



《김정엽 (金廷燁)》

- 1976년 12월 7일생.
- 1999년 2월 인하대학교 기계공학과 (공학사).
- 2001년 2월 인하대학교 기계공학과

(공학석사).

- 2004년 6월 현재 한국과학기술원 박사과정.
- 주 관심분야 : 마이크로 콘트롤러 설계, 휴머노이드 로봇의 기계설계 및 동적 걸음새 제어, 스테레오 비전 알고리즘, 실시간 제어.



《박일우 (朴一雨)》

- 1977년 4월 5일생.
- 2000년 2월 한국과학기술원 기계공학과 (공학사).
- 2002년 2월 한국과학기술원 기계공학과

(공학석사).

- 2004년 6월 현재 한국과학기술원 박사과정.
- 주 관심분야 : 마이크로 콘트롤러 설계, 휴머노이드 로봇의 기계설계 및 동적 걸음새 제어, 2족 보행 이론, 실시간 제어.



《오준호 (吳俊鎭)》

- 1954년 10월 3일생.
- 1977년 2월 연세대학교 기계공학과 (공학사).
- 1979년 2월 연세대학교 기계공학과

(공학석사).

- 1985년 Univ. of California, Berkeley 기계공학과 (공학박사).
- 1979년~1981년 Korea Atomic Energy Research Institute 연구원.
- 1996년~1997년 U. of Texas, Austin 방문 교수.
- 1985년~현재 한국과학기술원 교수.
- 주 관심분야 : Multi-rate generalized predictive control of a MIMO system. Design of a self-organizing fuzzy controller, Control for a flexible arm. Mechanical design and dynamic walking control of a humanoid robot. Design of a servo-type precision accelerometer and moving target tracking by visual information.