

퍼스널 로봇의 메커니즘 및 핵심부품

정종기 / 전자부품연구원 정밀기기연구센터

최근 일본에서 발표된 혼다의 ASIMO, 소니의 AIBO, SDR-3X, SDR-4X 등의 로봇에 힘입어 전 세계적으로 퍼스널 로봇의 연구개발이 활성화되고 있으며, 국내에서도 소규모 벤처 로봇 업체를 중심으로 이전의 산업용 로봇으로부터 퍼스널 로봇으로 개발방향을 선회하고 있는 실정이다. 이미 인터넷이나 신문매체를 통하여 접할 수 있는 구미의 실용적인 서비스 로봇기술과 함께, 마치 정말로 살아서 움직이는 듯한 동작을 표현하는 일본의 로봇기술은 개발하는 사람으로서도 절로 감탄을 자아내게 만든다. 이러한 로봇 및 제어기술에 대한 국내의 로봇 벤처기업의 반응은 이를 구현할 수 있는 일본의 산업인프라가 부럽다는 것이다. 즉 모터, 센서, 전지 등의 핵심부품만 받쳐준다면 해볼만하다는 것이다. 여기에는 여러 가지 메커니즘 및 핵심부품이 있으나 이 글에서는 산업자원부의 자금으로 수행하고 있는 퍼스널 로봇용 기반기술 과제를 중심으로 메커니즘 부분에는 모듈형 로봇 팔과 이동 메커니즘, 그리고 핵심부품부분에는 구동부품과 스테레오 시각센서에 관하여 소개하고자 한다.

메커니즘

가. 모듈형 로봇 팔

1) 모듈형 로봇의 배경

산업용 로봇은 생산성, 정확성, 경제성 측면에서의

우위를 통해 자동화된 공장에서 인간을 대신하고 있다. 로봇 기술이 발전함에 따라 인간 생활 속에서도 로봇을 활용하려는 시도들이 오래 전부터 되어 오고 있다. 퍼스널(personal) 로봇은 산업용 로봇과 달리 정해지지 않은 환경에서 다양한 작업을 수행할 수 있어야 하며, 전문가가 아닌 일반인들도 쉽게 다룰 수 있어야 한다. 이러한 조건을 만족시키기 위해 제안된 여러 방안들 중의 하나가 모듈형 로봇의 개념이다.

2) 모듈형 로봇의 소개

일반형 로봇 팔은 인간의 팔처럼 다수의 관절을 가지고, 각 관절은 모터, 감속기, 그리고 동력전달기구로 구성되어 있다. 로봇 제어기(controller)에서 각 관절을 구동하여 로봇선단에서 원하는 동작이 수행되도록 제어한다. 아래 그림에서와 같이 각 관절은 서보드라이브(servo-drive)에 독립적으로 제어전원 및 위치신호를 주고받는 구조이기 때문에, 로봇 팔의 자유도나 작업영역 변경이 불가능하고 관절의 교체작업등이 난해하다.

모듈형 로봇 팔에서는 각 관절(모듈)내에 위치제어형 서보드라이브를 내장하고 있어서, 전원과 통신 명령만을 공급하면 각 관절을 독립적으로 구동할 수 있다. 각 관절은 전원과 통신의 직렬(serial)적 전달을 위해 간단하고 표준화된 인터페이스를 가지고 있다.

이러한 모듈형 로봇 팔의 구성 및 인터페이스 때문에 관절(모듈)의 조합을 달리해서 작업 영역을 쉽게 변경

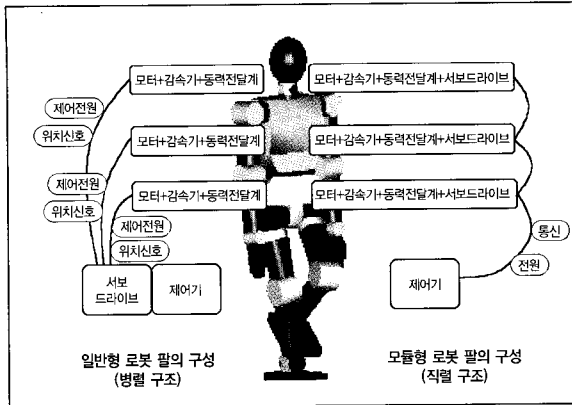


그림 1 일반형 로봇 팔과 모듈형 로봇 팔의 구성차이점

할 수 있고, 모듈 교체 등의 유지보수작업이 간단해지기 때문에 일반인들도 쉽게 다룰 수도 있다.

3) 모듈의 구성 및 조합

모듈(Module)은 아래 그림에서와 같이, 모터, 엔코더, 브레이크, 센서 등의 전기 요소품과 감속기, 베어링 등의 기계 요소품 및 제어를 담당하는 서보드라이브와 위치결정 제어기 등으로 구성된다. 각 모듈은 전원 및 통신을 위한 표준화된 인터페이스를 가지고 있어야 한다.

모듈의 크기 및 형상과 동작 사양 등은 다양한 작업에 대응할 수 있도록 설계되어야 한다.

4) 모듈형 로봇의 제어

로봇 제어기는 모듈로 조합 가능한 모든 형태의 팔에 대한 기구학적 모델링 정보를 내장하고 있으며 각 관절

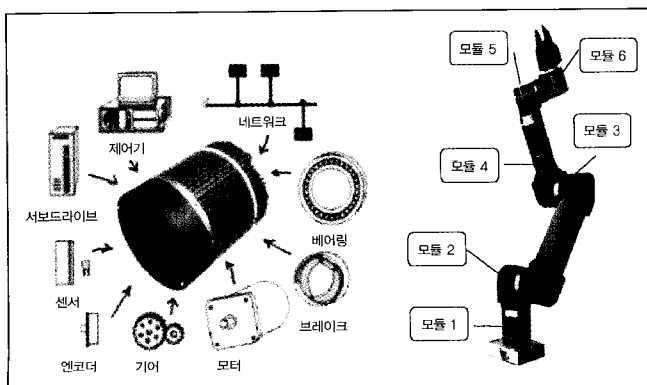


그림 2 모듈의 구성 및 조합 예

을 동시에 구동해서 특정 패턴의 동작을 할 수 있도록 모션 라이브러리를 포함하고 있어야 한다. 각 모듈로의 제어 명령의 전송은 보통 CAN통신에 의해 수행되고, 전송된 위치명령은 모듈내의 위치제어기에 의해 수행된다.

5) 모듈형 로봇의 발전 방향

모듈형 로봇 팔은 퍼스널 로봇용으로써 적합한 여러 가지 장점을 가지고 있으며, 관절 내에 서보드라이브의 내장에 따른 관절 크기의 증가 등이 기술적으로 해결해야 될 문제로 남아 있다. 모터 및 드라이브의 설계기술 발전과 함께 모듈의 소형화도 실현될 것이다. 다양한 작업 및 모듈 변경에 따른 제어 소프트웨어의 대응 능력 등이 앞으로 계속 연구되어야 할 과제이다,

나. 이동 메커니즘

1) 동기식 이동메커니즘 소개

퍼스널 로봇에서 아직 인간형 로봇기술이 본격 상용화되어 저가화가 되기까지는 이동 메커니즘으로서 2족 보행보다 바퀴타입이나 캐터필러 타입이 대부분을 차지할 것이다. 이중 동기식 이동 메커니즘은 이동시 후술하는 바와 같은 장점들을 가지고 있기 때문에 여러 형태의 메커니즘이 개발되고 있다. 동기식 이동 로봇(Synchro-drive mobile robot)은 로봇의 모든 바퀴가 동기적으로 주행, 조향된다. 모든 바퀴가 일치되게 회전하며 평행하게 주행하여 서로 같은 길이의 경로를 갖는다. 플랫폼은 바퀴의 조향에 대해 회전하지 않으므로 어느 방향으로 이동하더라도 항상 같은 방향을 유지한다. 터렛이 스티어링과 일치하게 회전하면 이동로봇은 전진방향으로 향하여 어떤 형상의 경로도 추종할 수 있다. 동기식 이동 로봇은 많은 장점을 가지고 있다. 예를 들면, 우수한 odometry, 큰 주행 마찰력, 회전반경 없는 회전, 높은 조종성, 바닥에 낮은 파괴력, 쉬운 제어와 효율성을 갖는다. 모든 바퀴가 평행하게 힘을 받아, 큰 마찰력과 상대운동의 정확한 측정(Odometry)의 특징을 갖는다. 그리고 모든 바퀴가 동일한 모터로부터 구동되기 때문에 한 바퀴의 부하를 다른 바퀴들이 감당하기에 이동 로봇은 이동하기위한 마찰력을

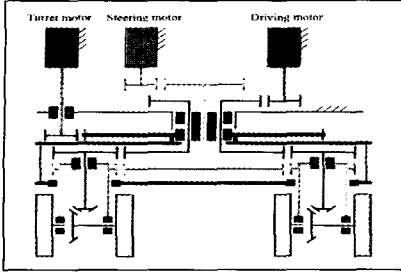


그림 3 동기식 이동 메커니즘 구조

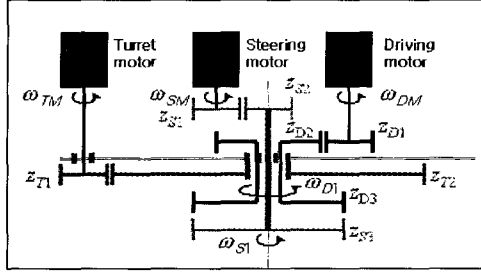


그림 4 터릿에 의한 드라이빙 및 스티어링 커플링

있지 않는다. 가장 중요한 특징으로, 동기식 구동 방식은 다른 이동 방식 보다 주행력과 조향력 사이에 매우 작은 커플링이 존재한다. 이 특징으로 인해 둔턱이나 미끄러짐에 의해 발생할 수 있는 heading error를 최소화할 수 있다. 동기식 이동 로봇의 구동에는 매우 작은 반력만이 존재하므로, 로봇의 자체 움직임에 의한 배터리 손실이 적다.

2) 동기식 이동 메커니즘 개발

본 과제를 통한 동기식 이동 메커니즘 개발에서 동기식 이동 로봇의 터릿 위에 모터 및 모든 전자부를 배치하여 기계부와 분리하였다. 터릿의 회전에 의한 전선의 꼬임을 제거하여 터릿의 무한 회전이 가능하도록 하였다. 터릿의 드라이빙 모터와 스티어링 모터로부터 바퀴까지 동력전달을 위해 그림 3과 같이 3중축을 구성하고 기어를 배치하였다.

가) 스티어링 모션

만약 드라이빙 축이 고정되어 있고, 스티어링 입력이 있다면, 그림 3에서와 같이 다리 몸체의 회전에 의해 바퀴의 베벨기어가 고정된 드라이빙 축의 베벨기어에 맞물려 회전한다. 다리의 몸체를 고정하고 드라이빙 축을 회전시키는 것과 드라이빙 축을 고정하고 다리의 몸체를 드라이빙 회전의 반대 방향으로 회전시키는 것은 바퀴의 입장에서 보면 상대적으로 같다. 이때 기어비에 의해 드라이빙 축과 바퀴의 회전속도비를 계산할 수 있으며, 스티어링 운동에 의한 드라이빙 운동 커플링을 제거하기 위해 조건식을 구하여 스티어링 모션을 구현한다.

나) 터릿의 회전에 의한 드라이빙과 스티어링 커플링

그림 4를 보게 되면 터릿 모터의 회전에 의해 터릿 원판에 고정된 스티어링과 드라이빙 모터가 회전하는 것을 알 수 있다. 터릿 원판이 회전하는 경우, 터릿 원판에 고정된 스티어링과 드라이빙 모터에 의해 각각의 동력 전달축이 회전하지 않도록, 드라이빙과 스티어링 모터를 터릿 원판과 같이 회전시킨다. 이때 터릿 모터와 주행 모터의 커플된 회전 속도비와 터릿 모터와 조향 모터의 커플된 회전 속도비는 식(1), (2), (3) 과 같다.

$$\omega^T = \omega^{S1} = \omega^{D1}, \quad \frac{\omega^T}{\omega^{TM}} = -\frac{z_{T1}}{z_{T2}}, \quad \frac{\omega^{S1}}{\omega^{SM}} = -\frac{z_{S1}}{z_{S2}}, \quad \frac{\omega^{D1}}{\omega^{DM}} = -\frac{z_{D1}}{z_{D2}}, \quad (1)$$

$$\omega^{DM} = -\frac{z_{D2}}{z_{D1}} \omega^{D1} = -\frac{z_{D2}}{z_{D1}} \omega^T = \frac{z_{D2}}{z_{D1}} \frac{z_{T1}}{z_{T2}} \omega^{TM} \quad (2)$$

$$\omega^{SM} = -\frac{z_{S2}}{z_{S1}} \omega^{S1} = -\frac{z_{S2}}{z_{S1}} \omega^T = \frac{z_{S2}}{z_{S1}} \frac{z_{T1}}{z_{T2}} \omega^{TM} \quad (3)$$

3) 시작품 설계 및 제작

동기식 이동 로봇 시제품 사진을 그림 3에 나타내었다. 기구부의 구체적인 사양은 무게 13Kg, 직경 35cm, 높이 20cm 이다.



(a) 1차 시작품

(b) 2차 시작품

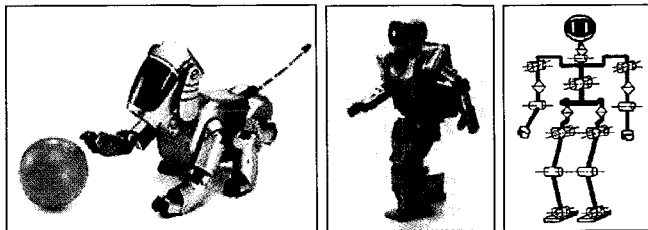
그림 5 동기식 이동 로봇 외관

핵심부품

가. 구동부품

일반적으로, 엔터테인먼트 로봇의 핵심 구동원으로는 경제성을 고려하여 대부분 브러시를 갖는 DC 모터를 사용하고 있다. 그러나, 브러시를 갖는 DC모터는 기계적 구조로 인한 단 수명, 고속화의 한계성과 브러시 스파크 전압으로 인한 전기적, 기계적 노이즈로 인하여 고 정밀 메커니즘의 적용에 어려움이 있어 고급화할수록 BLDC 모터를 사용하게 된다. 소니의 경우 상대적으로 저가인 AIBO에 DC모터를 사용하고 있으며 SDR-3X에는 BLDC모터를 사용하고 있다.

그림 6은 일본 SONY社의 로봇 강아지를 보이고 있으며, 표 1은 다리 관절용으로 사용되고 있는 DC모터의 사양을 나타낸다. 2 자유도를 갖는 다리관절용으로 1.3[W]급의 소형 DC 모터가 사용됨을 알 수 있다. 그림 7은 동일한 회사에서 개발된 2족 보행 로봇용 모터이다. 로봇 강아지의 관절과 달리 많은 자유도와 고 토크의 필요성에 따라 BLDC 모터의 구조를 갖는 Actuator의 개발이 이루어 졌음을 알 수 있으며, 여기에 사용된 고 출력 BLDC 모터의 간단한 spec.을 표2에서 나타낸다. 소니에서 이야기하는 ISA(Intelligent



(a) AIBO

(b) SDR-3X(총24자유도)

그림 6 엔터테인먼트 로봇(일본 SONY社)

표 1 AIBO 다리관절용 DC모터 사양

| 항 목 | 단 위 | 값 |
|---------|-------------------|------------|
| 정격전압 | V | 7.2 |
| 정격속도 | rpm | 12,700 |
| 정격출력 | W | 1.3 |
| 최대효율 | % | 57 |
| 모터크기 | mm | φ14.5 x 20 |
| 제적당 출력비 | W/cm ² | 0.41 |

servo actuator)는 그림 7의 구조에서와 같이 속에 모터 드라이버, 모터 콘트롤러, 감속기가 일체화되어 자체의 OS를 통한 통신으로 모터를 자유자재로 제어할 수 있는 것으로 향후의 actuator는 대부분 이러한 형태로 발전할 것으로 판단된다.

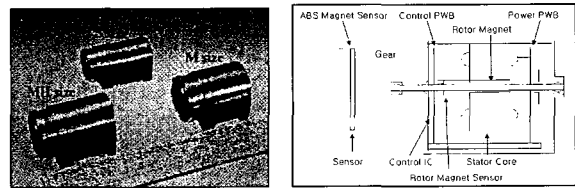


그림 7 Intelligent servo actuator 및 구성도

표 2 Intelligent servo actuator(ISAseries) 사양

| 종 류 | ISA-A | ISA-M | ISA-MH |
|-----------------------|----------|----------|----------|
| 정격토크 [at 1A, kgcm] | 6.2 | 15.9 | 24 |
| 크기[mm] | Φ24x49.5 | Φ31x47.5 | Φ31x52.5 |
| 중량 [g] | 73.5 | 119.7 | 143.2 |

일반적으로 엔터테인먼트용 로봇에는 다음과 같은 특성의 모터가 요구된다.

첫째, 체적대비 출력이 클 것, 둘째 중량대비 출력이 클 것, 셋째 소음이 작고 저 손실일 것, 넷째 수명이 길 것 등이 요구된다. 이에 따라서, 개인용 로봇의 구동원으로 사용되는 핵심 부품인 액츄에이터에 대한 연구의 일환으로써 소형이면서 고출력을 가지며, 기존의 DC 모터의 경우에 발생하는 단 수명 문제와 고속 회전이 힘든 문제를 해결할 수 있는 저가형 브러시리스 타입의 모터와 정밀 감속기의 개발에 대하여 간략히 소개한다.

1) 소형 고출력 BLDC 모터

최적화 치수를 설계하기 위하여 정격전류 인가시의 모터 코어부의 자속밀도 분포도 및 정토크 특성을 유한 요소 해석을 통하여 구하고 검토하여 설계 패러미터를 바꾸어 다시 해석하는 과정을 반복하여 바라고자하는 설계치수를 구한다. 표3은 이러한 최적설계를 통하여 도출된 BLDC 모터부의 제원을 나타내고 있으며, 실제

로 제작되어진 BLDC 모터의 N-T-I 특성곡선을 측정한 결과 정격출력 20[W]에서 162.6[mW/g]의 높은 출력밀도를 가지는 모터를 개발하였다.

표 3 엔터테인먼트 로봇용 BLDC모터 설계사항

| 구분 | 단위 | 제원 |
|---------|-------|-----------|
| 스테이터 외경 | mm | 30 |
| 스테이터 내경 | mm | 11.7 |
| 슬롯수 | slots | 6 |
| 권선경 | mm | 0.41 |
| 상당 권선수 | turns | 100 |
| 적층폭 | mm | 20 |
| 공극 | mm | 0.35 |
| 극수 | poles | 4 |
| 마그네트 종류 | | Nd Bonded |

2) 유성치차형 감속기

유성치차형 감속기는 단위 체적당 고출력과 높은 전달효율로 인하여 정밀 메커니즘에 활용도가 매우 높다. 여기서는 로봇구동용 BLDC 모터에 체결하여 사용할 수 있는 외경 32mm급의 소형 유성치차형 감속기를 제작하였다. 유성치차형 기어설계 프로그램을 이용하여, 치형설계 및 강도 설계를 하였으며, 이로부터 CNC Hobbing M/C 등의 정밀 가공기술을 이용한 제작을 행하였다. 그림 9는 유성치차형 감속기의 단면도이며 링기어 내부에 4개의 유성치차를 구성하여 하중을 분담하고 이러한 유성치차 2단을 사용하여 33:1의 감속비를 얻었다.

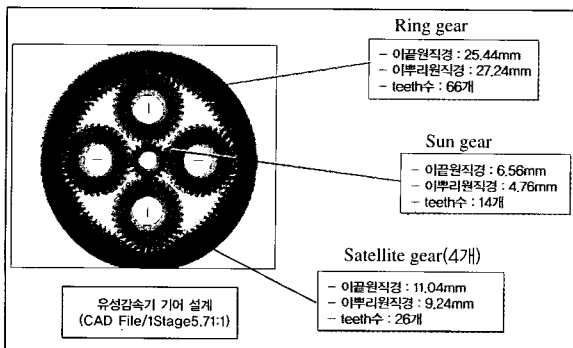


그림 9 유성치차형 감속기 내부도

를 얻었다.

본 절에서는 고 출력 밀도를 갖는 엔터테인먼트 로봇 구동용 BLDC 모터 및 유성치차형 감속기 의 설계 및 제작기술에 관하여 기술하였다. 개발과정에 습득한 설계 및 제작기술은 정밀메커니즘 구동용 Actuator에 활용이 가능할 것으로 생각되며, 개발되어진 20W급 고 출력 밀도를 갖는 Actuator 모듈은 로봇 구동용으로의 활용도가 높을 것으로 본다. 차후, 로봇을 포함한 정밀 메커니즘의 소형화 및 정밀화를 위해서는 핵심 구동부품의 소형화 및 정밀 가공기술을 이용한 고 출력 특성을 갖는 Actuator 개발이 이루어져야 할 것이다.

나. 스테레오 시각센서

퍼스널 로봇의 가장 큰 특징은 인간과 유사한 감성을 가지고 표현할 수 있다는 점이다. 이중 로봇이 외부로부터 복잡한 정보를 취득하는데 90%이상을 시각센서가 담당하고 있다. 주변 환경인식 및 사람의 얼굴인식에 및 가장 많이 사용되고 있는 시각센서로서 CCD (Charge Coupled Device)센서와 CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor)를 들 수 있다. CMOS Image Sensor는 광전변환부에 축적된 전하를 Analog Shift Register로 전송하는 CCD(Charge Coupled Device)와 달리, 하나의 Pixel 단위 Cell의 내부에 하나 이상의 Tr.과 Photodetector인 Photo Diode로 화상을 촬상하는 소자를 말한다. 즉, 평면상으로 나열된 Photo Diode의 광전변환에 의한 전하를 내부의 MOS Tr.로 증폭하고 Switching 회로로 1화소씩 Readout하는 Image Capture Device이다. 따라서, 각 화소마다 증폭기능을 갖기 때문에 고감도 및 High SNR을 얻을 수 있는 가능성이 크고, 수평, 수직의 신호선을 각각 하나씩 선택해서 임의의 화소를 Readout할 수 있는 Random Access 기능을 갖는다

퍼스널 로봇의 공간 인식 및 환경인식을 위한 스테레오 비전시스템을 개발하기 위하여서는 다음과 같이 CMOS 이미지 센서용 마이크로 렌즈 및 구동회로가 필요하며 이의 스테레오 영상을 취득하여 거리정보를 추출할 수 있는 하드웨어 및 소프트웨어가 필요하다.

1) 1/7" 용 CMOS Image Sensor-용 렌즈

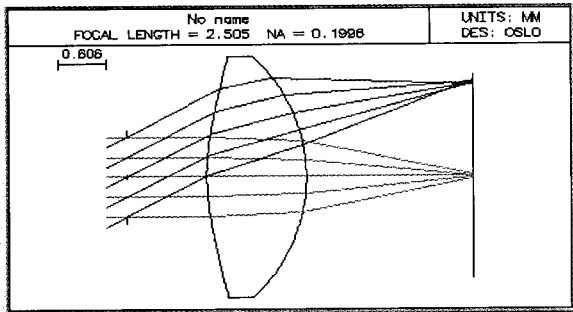


그림 10 설계된 렌즈의 raytracing

다음은 그림 10는 설계된 광학계의 raytracing을 나타낸 것이다.

광학계 설계를 위해 사용한 1/7"용 CMOS Image Sensor 광학계 설계로 렌즈 전체적인 직경이 2.5mm이며, 유효초점길이는 2.5mm이며, 화각(Field of view)은 54°이며, CMOS Image Sensor는 CIF급(352x288)로 한 픽셀 당 크기가 6μm이다.

2) CMOS Image sensor 구동회로

CMOS image sensor 구동회로는 각 응용분야에 적용이 용이하도록 소형화, 경량화 및 저 전력화의 특징을 갖도록 설계한다. 현재 출시되고 있는 CMOS image sensor 모듈의 경우 raw 데이터 출력의 sensor부와 raw 데이터를 각각의 응용분야에 적용할 수 있도록 YUV, NTSC/PAL 또는 USB 신호로 변화시켜주는 DSP(Digital Signal Processor)와 일체화 되어있다. 하나의 칩에 DSP와 image sensor를 같이 집적시켜 놓은 형태이다.

YUV 신호를 NTSC/PAL로 변환시키기 위하여 Philips의 SAA7127H encoder를 사용하였다.

3) 스테레오 비전시스템용 image processing 회로

CMOS 이미지 센서를 이용함으로써 소형, 저전력의 시스템을 구성할 수 있는 장점을 가지고 있어 적용분야를 확대할 수 있다. 구성은 영상을 받아들이는 CMOS 이미지 센서보드 2개와 이미지 프로세싱을 위한 DSP(TMSC6711)보드로 구성되며 전원은 외부에서 공급해 주는 방식으로 구성된다. 그림11은 스테레오 비

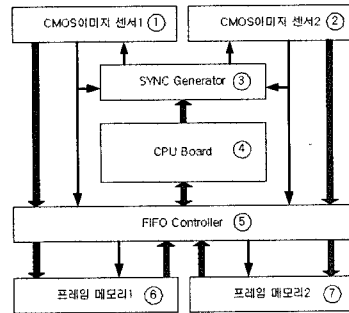


그림 11 스테레오 비전 시스템 구성 블록도

전시스템의 구성 블록도를 나타낸다.

이러한 비전 시스템은 향후 소형화를 거쳐 인간의 눈과 같은 동작을 할 수 있는 초소형 액츄에이터기술과 융합함으로써 진정한 시각센서로

서 발전할 것으로 기대된다.

맺음말

상기 메커니즘 및 핵심부품외에도 여러 가지 개발하여야 할 과제가 많지만 로봇기술이 융합기술이라는 특성상 응용할 수 있는 부품기술 및 부품이 너무 광범위하므로 상대적으로 실현가능성이 많고 퍼스널 로봇으로 사용하기 위하여 특별히 요구되는 요소를 선택하였다. 이과제의 1차개발 단계가 끝날 즈음이면 퍼스널 로봇에 필요한 핵심부품의 기반이 어느 정도 갖추어질 것으로 예상된다. 사회가 고령화, 개인화되면서 퍼스널 로봇에 대한 기대와 수요는 점점 증가할 수밖에 없다. 이러한 요소부품의 발전을 바탕으로 다양한 로봇이 등장하기를 바라며 또한 새로운 개념의 로봇이 나타나기를 바라는 바이다.

[참고문헌]

- [1] TJE Miller, Design of Brushless Permanent-Magnet Motors, OXFORD, 1994
- [2] 小泉 普, 기어와 호브반 작업, 機電研究社
- [3] 岸 義雄, 엔터테인먼트로봇에 모터의 응용, 2001 모터 기술 심포지움, 2001, 일본
- [4] 일본로봇공업회, 일본로봇산업현황과 전망, 1997.7
- [5] ARM Automation Inc. homepage <http://www.armautomation.com>