

RC 서보모듈을 이용한 식사지원 로봇

강철웅* · 임종환*

Compact Robotics Arm to Assist with Eating Using a Radio-control Servo-module

Chul-Ung Kang* and Jong-Hwan Lim*

ABSTRACT

We succeeded to build a cost effective assistance robotic arm with a compact and lightweight body. The robotics arm has three joints, and the tip of robotic arm to install tools consists of a closed link mechanism, which consisted of two actuators and several links. The robotic arm has been mad possible by the use of actuators typically used in radio-control servo-modules. The controller of the robotic arm consist of a single chip PIC only. The robotic arm has a friendly user interface, as the operators are aged and disabled in most cases. The operator can manipulate the robotic arm by voice commands of or pressing a push button. The robotic arm has been successfully portotyped and tested on an elderly patient to assist with eating. the results of field test were satisfactory.

Key Words : Compact robotics arm, closed link mechanism, radio-control servo-module, PIC

1. 서론

엔터테인먼트, 복지 등 다양한 분야에서 로봇을 이용하여 삶의 질을 향상시켜보려는 요구가 최근 강하게 나타나고 있다. 특히, 복지 분야에서 이용되고 있는 식사지원 로봇[1]을 한정하여 그 예를 살펴보면, 영국의 HANDY1[2], 네덜란드의 MANUS[3] 그리고 일본의 MYSOON[4] 등이 개발되어 실제 장애자의 일상생활 지원[5]에 이용되고 있지만, 구조적인 크기, 안정성, 조작법 그리고 가격에 있어서 개선해야 할 여지가 아

직까지 많이 남아있고, 인간을 대상으로 하여 사용되는 것을 전제로 하고 있기 때문에 구조적인 크기는 매우 중요한 요소이지만, 상기의 3기종은 구조적으로 소형이라 할 수 있는 것이 아니다. 최근 구조적으로 소형인 로봇을 실현하기 위한 수단으로 RC 비행기나 헬리콥터에 사용되는 RC 서보모듈을 이용한 방법이 널리 알려져 소형로봇 개발에 광범위하게 이용되고 있다.

본 연구에서는 RC 서보모듈을 이용하여 상반신 장애자의 식사를 지원하는 소형로봇을 개발하였다. 로봇은 2개의 서보모듈로 구동되는 크로스 링크 기구를 채용한 로봇팔과 로봇팔 끝에 장착한 스펀과 연계동작에 의해 접시에 준비된 음식물을 떠서 장애자의 입까지

* 제주대학교 기계에너지생산공학부, 첨단기술연구소
Faculty of Mechanical, Energy & Production Eng., Research Institute
of Advanced Technology, Cheju Nat'l Univ.

운반한다. 로봇과 조작자와의 인터페이스는, 조작자인 장애자는 간단한 가전제품의 조작조차도 어려워하는 점을 고려하여, 로봇에 대한 명령을 직감적으로 습득할 수 있도록 푸시버튼 혹은 마이크로폰으로부터의 신호에 의해 로봇의 모든 동작을 제어하는 방법을 채택하고 있다. 또한, RC 서보모듈의 채용과 더불어 제어장치는 원 칩 컨트롤러로서 평판이 좋은 PIC (Peripheral Interface Controller)을 채용하였고, 그 결과 구조적으로 소형화할 수 있었으며 가격에 있어서도 경제성을 갖춘 소형 식사지원 로봇을 실현할 수 있었다.

본 논문에서는 소형 식사지원 로봇의 시스템 구성, 컨트롤러 구성 그리고 상반신 장애를 가진 고령자가 소형 식사지원 로봇을 사용하여 식사를 행한 결과와 본 로봇 시스템의 유효성을 대하여 서술하겠다.

II. 소형 식사지원 로봇 시스템

2.1. 로봇 시스템 구성

RC 서보모듈 4개를 이용하여 실현한 소형 식사지

원 로봇의 시스템 구성을 Fig. 1에 나타내고 있다. 로봇팔의 수평면내의 동작을 실현하기 위해 복수의 링크로 결합된 크로스 링크 기구를 채용하고 있으며, 서보모듈 1, 2의 구동에 의해 크로스 링크기구의 각 링크를 움직여 수평면내의 동작을 실현한다. 로봇의 상하방향의 동작은 랙크와 피니언 기구에 채용하여 실현하고 있고, 서보모듈 3이 피니언 기어를 구동시켜 랙크를 따라 상하방향으로 이동할 수 있도록 되어 있다. 서보모듈 4는 로봇팔 끝에 장착된 스푼의 각도를 조절하여 접시에 준비된 음식물을 뜨도록 한다. 로봇의 제어장치는 원 칩 컨트롤러인 PIC16F873을 채용하여 구성하였고, 조작자는 푸시버튼 혹은 마이크로폰으로부터의 신호에 의해 로봇의 모든 동작을 제어할 수 있다.

Fig. 2는 로봇팔의 크로스 링크기구와 스푼과의 관계를 나타내고 있다. 서보모듈 1과 2는 각각 2개의 링크에 의해 접속되어 있고, 회전각을 조절하여 로봇팔의 위치를 임의의 수평면내의 원하는 위치에 이동시킬 수 있다. 여기서, 로봇팔을 조작하여 음식물을 터서 조작자의 입까지 운반하는 과정에서 스푼의 방향을 항상 조작자를 향하도록 하기 위해 Fig. 2와 같이

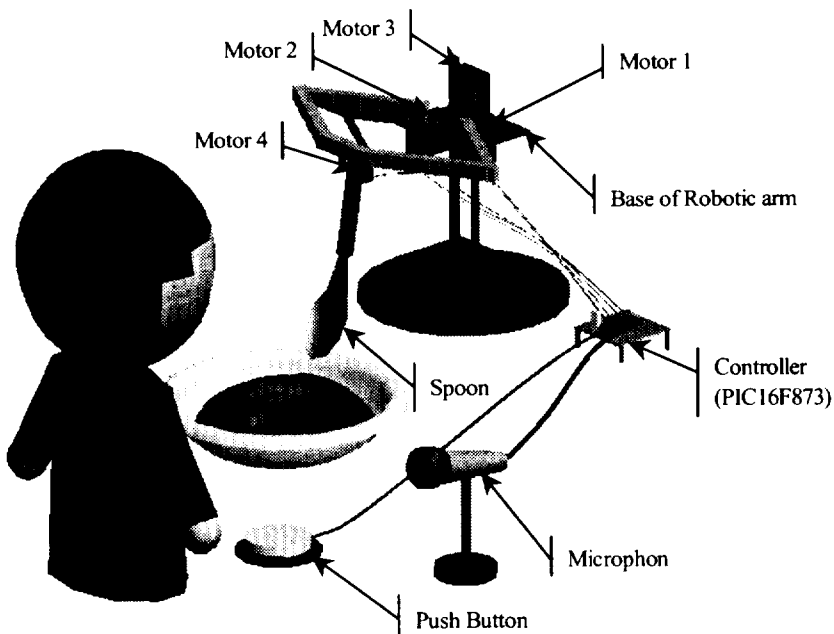


Fig. 1. System configuration of robotic arm using closed link mechanism.

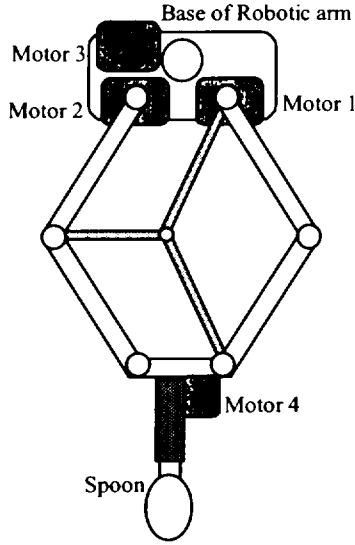


Fig. 2. Closed link mechanism of robotic arm (upper view).

크로스 링크기구에 2개의 링크를 설치하여 접속한 병렬 링크기구로 구성하였다.

서보모듈 3은 랙과 피니언 기구를 이용하여 로봇팔의 상하이동을 조절하지만, 로봇팔의 필요한 상하 운동량을 확보하기 위해서는 수회전의 피니언 축 회전이 필요하다. 그러나 상용 RC 서보모듈은 내부에 위치제어 회로와 회전량을 제한하는 기계적 기구가 내장되어 있다. 피니언 기어에 접속한 서보모듈 3의 필요한 축 회전량을 확보하기 위해 본 로봇 시스템에서는 위치제어 회로를 제거하였으며 동시에 회전량을 제한하는 기계적 기구를 제거하여 로봇팔의 상하이동에 필요한 회전을 가능토록 하였다. 또한 로봇팔의 상하 운동량을 검출하기 위해서는 서보모듈 3의 회전량을 검출하여야 하기 때문에, 본 로봇 시스템에서는 서터와 2개의 포인터럽터로 구성된 각도센서를 제작하여, 서터는 피니언 기어에 포인터럽터는 로봇팔의 베이스에 설치하여 서보모듈 3의 회전량을 검출하였다.

2.2. 크로스 링크기구

크로스 링크기구를 채용한 로봇팔의 임의의 수평내의 동작을 실현시키기 위해서는 로봇팔의 베이스에

설치된 2개의 서보모듈을 작동시켜야 하고, 로봇팔 끝의 위치는 로봇팔 베이스에 설치된 2개의 서보모듈의 회전각에 의해 결정된다. 먼저, Fig. 3(a)와 같이 2개의 링크만으로 접속된 간단한 링크기구를 생각할 수 있으며, 링크기구의 끝의 위치 $A_1(x_1, y_1)$ 는 링크 L_{11} 의 회전각 θ_{11} 과 링크 L_{11} 과 L_{12} 의 사이각 θ_{12} 에 의해 다음과 같이 결정된다.

$$\begin{aligned} x_1 &= L_{11} \cos \theta_{11} + L_{12} \cos(\theta_{11} + \theta_{12}) \\ y_1 &= L_{11} \sin \theta_{11} + L_{12} \sin(\theta_{11} + \theta_{12}) \end{aligned} \quad (1)$$

그리고 기하학적 관계에 의해 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$L_{12}^2 = \{L_{11} \cos(\theta_{11} + \theta_{12})\}^2 + \{L_{11} \sin(\theta_{11} + \theta_{12})\}^2 \quad (2)$$

식 (2)에 식 (1)을 적용하면,

$$x_1 \cos \theta_{11} + y_1 \sin \theta_{11} = \frac{x_1^2 + y_1^2 + L_{11}^2 - L_{12}^2}{2L_{11}} \quad (3)$$

을 얻을 수 있으며, 여기서 $x_1 \cos \theta_{11} + y_1 \sin \theta_{11} = c_1$ 라 하면, $\phi = \tan^{-1}(y_1 / x_1)$ 가 정의되고 삼각함수 공식으로부터 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \cos(\phi - \theta_{11}) &= \frac{c_1}{\sqrt{x_1^2 + y_1^2}} \\ \sin(\phi - \theta_{11}) &= \pm \sqrt{\frac{x_1^2 + y_1^2 - c_1^2}{x_1^2 + y_1^2}} \end{aligned} \quad (4)$$

따라서 Fig. 3(a)의 O_1 을 기준으로 하였을 때, 링크 L_{11} 의 회전각 θ_{11} 은 식 (4)로부터 다음과 같이 결정된다.

$$\theta_{11} = \tan^{-1} \frac{y_1}{x_1} - \tan^{-1} \frac{\pm \sqrt{x_1^2 + y_1^2 - c_1^2}}{c_1} \quad (5)$$

여기서 $c_1 = (x_1^2 + y_1^2 + L_{11}^2 - L_{12}^2) / 2L_{11}$ 이다.

크로스 링크기구는 Fig. 3(a)에서 보여준 링크기구의 결합에 의해 구성할 수 있고, 병렬 링크기구를 결합하지 않은 상태의 링크기구는 Fig. 3(b)와 같은 모델로 나타낼 수 있다. Fig. 3(b)에서의 O_2 를 기준으로 하였을 때, 링크 L_{21} 의 회전각 θ_{21} 은 회전각 θ_{11} 를 결정하는 동일한 방법에 의해 다음과 같이 결정된다.

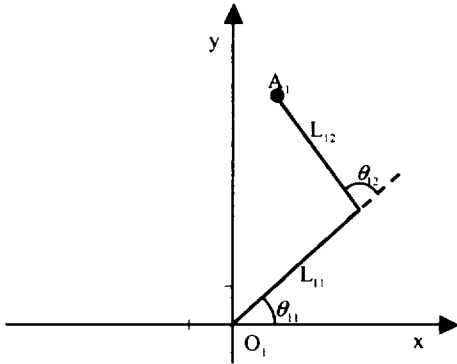


Fig. 3.(a) Simple closed link mechanism model connected two links.

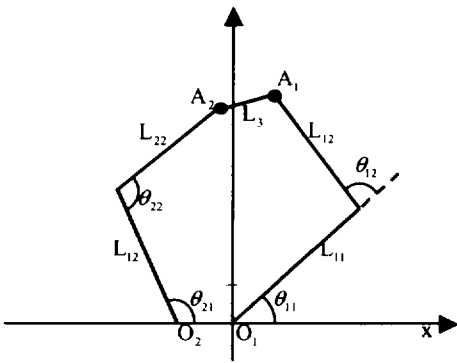


Fig. 3.(b) Closed link mechanism model unconnected parallel link mechanism.

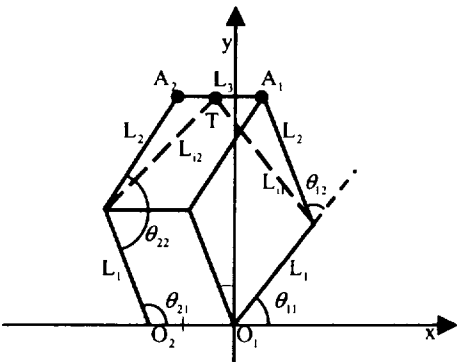


Fig. 3.(c) Closed link mechanism model connected parallel link mechanism and homogenous closed link mechanism model.

$$\theta_{21} = \tan^{-1} \frac{y_2}{x_2} - \tan^{-1} \frac{\pm \sqrt{x_2^2 + y_2^2 - c_2^2}}{c_2} \quad (6)$$

여기서 $c_2 = (x_2^2 + y_2^2 + L_{21}^2 - L_{22}^2) / 2L_{21}$ 이다.

본 연구에서 개발한 소형 식사지원 로봇팔에 채용한 크로스 링크기구는 $L_{11} = L_{21}$, $L_{12} = L_{22}$ 가 되도록 제작하였고, Fig. 2에서 보여준 것처럼 스푼의 방향을 항상 조작자를 향하도록 하기 위해 Fig. 3(c)와 같이 병렬 링크기구에 의해 접속되어 있다. 링크 L_3 이 병렬 링크기구에 의해 항상 조작자를 향하도록 유지하고 있기 때문에 로봇팔 끝의 위치는 링크 L_3 의 1/2 위치인 T와 같고, Fig. 3(c)에서의 크로스 링크기구 (O_1, A_1, A_2, O_2) 는 가변 가상 링크 L_{11} 과 L_{12} 에 의해 접속된 동차 크로스 링크기구 (O_1, T, O_2) 로 나타낼 수 있다. 가변 가상 링크 L_{11} 과 L_{12} 는 기하학적 관계로부터 다음과 같이 결정되며,

$$L_{11}^2 = L_2^2 + \left(\frac{L_3}{2}\right)^2 - L_2 L_3 \cos(\theta_{11} + \theta_{12})$$

$$L_{12}^2 = L_2^2 + \left(\frac{L_3}{2}\right)^2 - L_2 L_3 \cos(\theta_{21} + \theta_{22}) \quad (7)$$

로봇팔 끝의 위치를 $T(x, y)$ 라 하였을 때, 로봇팔의 위치를 결정하기 위한 Fig. 3(c)의 회전각 θ_{11} 과 θ_{21} 는 다음과 같이 결정된다.

$$\theta_{11} = \tan^{-1} \frac{y_i}{x_i} - \tan^{-1} \frac{\pm \sqrt{x_i^2 + y_i^2 - c_1^2}}{c_1}$$

$$\theta_{21} = \tan^{-1} \frac{y_i}{x_i} - \tan^{-1} \frac{\pm \sqrt{x_i^2 + y_i^2 - c_2^2}}{c_2} \quad (8)$$

여기서 $c_k = (x_i^2 + y_i^2 + L_1^2 - L_k^2) / 2L_1$ 이고, $k = 1 \sim 2$ 이다.

III. 소형 식사지원 로봇 컨트롤러

3.1. 컨트롤러 구성

소형 식사지원 로봇의 컨트롤러 구성을 Fig. 4에 나타내고 있다. 컨트롤러는 로봇 시스템을 소형화하고 경제성을 고려하여 본 시스템에서는 오직 1개의

PIC만을 이용하여 개발하였다. 본 시스템에서 이용한 PIC은 PIC16F873(Microchip Co U.S.A.)로 타이머, I/O 컨트롤러, A/D 변환기, 비동기식 직렬 통신 컨트롤러 그리고 동기식 직렬 통신 컨트롤러 등의 내장되어 있어, 자전제품의 컨트롤러 개발, 로봇의 분산 시스템 개발 등 광범위하게 활용되고 있다.

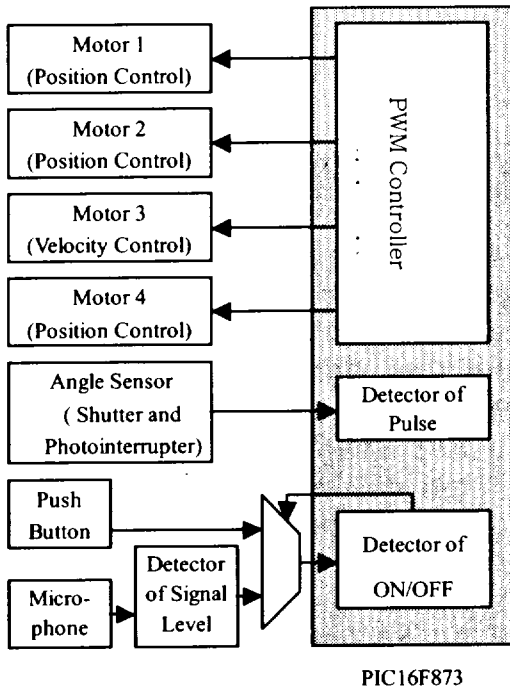


Fig. 4. Block diagram of robotic arm controller system using PIC one-chip micro-controller.

로봇의 컨트롤러는 Fig. 4에 나타난 것처럼 4채널의 PWM(Plus Width Modulation) 컨트롤러, 펄스 검출기, ON/OFF 검출기로 구성되어 있다.

PWM 컨트롤러는 4채널의 PWM 신호를 사전에 결정된 로봇의 이동량에 따라 작성하여 RC 서보모듈을 구동 시킨다. 식사지원에 필요한 로봇의 이동량을 결정하는 각 서보모터의 제어량은 Look-up 테이블 데이터를 이용한다. 4채널 중 서보모듈 1, 4 그리고 4에 접속된 PWM 컨트롤러는 각도제어용 PWM 신호를 작성하며, 서보모듈 3에 접속된 PWM 컨트롤러는 속도제어용 PWM 신호를 작성한다.

식사지원 로봇의 상하운동을 실현하기 위해서는 필

요한 회전량을 확보할 필요가 있으나, 상용 RC 서보모듈은 위치제어 회로와 기계적 기구에 의해 회전량을 제한한 위치제어 서보모듈이기 때문에, 본 로봇 시스템에서는 상하운동을 실현하기 위해 필요한 회전량 확보를 위해 위치제어 서보모듈을 속도제어 서보모듈로 개조하여 로봇의 상하운동을 실현하고 있다. 따라서 로봇의 상하 운동량을 검출하기 위해서는 속도제어가 가능하도록 개조된 서보모듈의 회전량을 검출할 필요가 있고, 본 로봇 시스템에서는 서터와 2개의 포터인터럽터로 구성된 각도센서를 제작하여 회전량을 검출하였다. 펄스 검출기는 각도센서의 펄스를 검출하여 카운터하며, 카운터 값과 서터의 간격에 의해 로봇의 상하 운동량을 산출하였다. 각도센서의 분해능은 22.5°가 되도록 설계하였다. 소형 식사지원 로봇은 상반신 장애를 가진 장애자의 식사지원을 대상으로 하고 있고, 조작자인 장애자가 로봇의 각 동작을 제어하면서 식사를 행할 수 있도록 개발하였다. 기계나 자전제품의 조작을 어려워하는 장애자가 식사지원 로봇을 이용하여 식사를 행할 것을 고려하였을 때, 우수한 로봇의 기능과 더불어 사용하기 쉬운 간단한 사용자 인터페이스를 실현할 필요가 있다. 본 로봇 시스템에서는 조작자가 직감적으로 로봇의 각 동작을 제어하는 명령을 간단히 습득할 수 있도록 하기 위해 푸시버튼 혹은 마이크로폰을 이용하여 조작할 수 있는 사용자 인터페이스를 개발하였다. 로봇은 식사지원 동작을 수행하는 과정에서 푸시버튼 혹은 마이크로폰으로부터의 ON 신호를 검출하면 식사지원에 필요한 다음동작으로 이행한다. ON/OFF 검출기는 푸시버튼 혹은 마이크로폰으로부터의 ON 신호를 검출하여 식사지원에 필요한 다음동작으로 이행할 수 있도록 PWM 컨트롤러에 알려 필요한 PWM 신호를 작성하도록 한다.

구조적으로 소형인 식사지원 로봇을 실현하기 위해 본 로봇 시스템에서는 소형 로봇 실현에 유효한 RC 서보모듈을 이용하였다. 크로스 링크기구를 동작시키기 위해 2개, 상하운동을 실현하기 위해 1개 그리고 스프의 각도를 조절하기 위해 1개, 총 4개의 서보모듈(Futaba Co. Japan)를 이용하였다. RC 서보모듈에는 이미 미니모터, 퍼텐셜 미터, 감속기 그리고 서보 제어회로가 내장되어 있다.

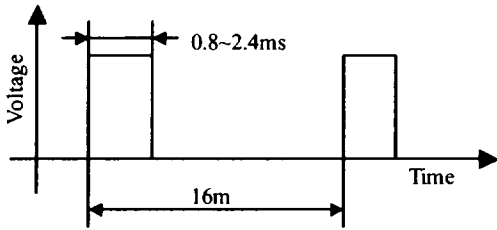


Fig. 5. Control signal of servo-module using PWM.

서보모듈의 제어용 신호를 Fig. 5에 나타내고 있다. 위치제어 서보모듈로 사용되고 있는 서보모듈 1, 2 그리고 4(Fig. 1)의 회전각은 서보모듈에 입력되는 PWM 신호의 듀티비에 비례한다. PWM 신호의 주기는 16ms이고, High 레벨 펄스폭은 0.8~2.4ms이다. 본 로봇 시스템에 이용한 서보모듈은 High 레벨 펄스폭이 1.52ms일 때 중립위치로 위치하며, 회전 가능한 가변범위는 중립위치로부터 $\pm 60^\circ$ 이다.

속도제어가 가능하도록 개조된 서보모듈 3(Fig. 1)을 제어하기 위한 PWM 신호의 주기와 High 레벨 펄스폭은 위치제어 PWM 신호와 동일하다. 단 High 레벨 펄스폭이 1.52ms일 때 모터는 정지하며, High 레벨 펄스폭이 증가하면 증가한 펄스폭에 비례하여 정방향 회전 속도가 증가하고, 감소하면 감소한 펄스폭에 비례하여 역방향 회전 속도가 증가한다.

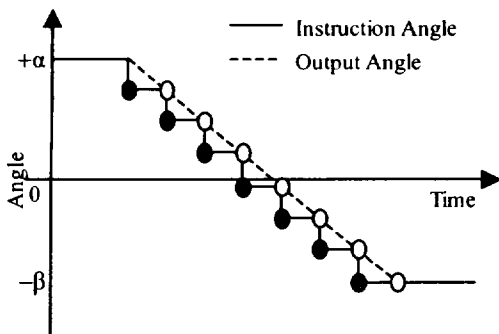


Fig. 6. Relation of instruction angle and output angle when the servo-module is controlled to the method of sampling time.

RC 서보모듈은 펄스폭에 의해 각도제어를 행하고 있기 때문에 회전량을 제한하고 있는 위치제어 회로

와 기계적 기구를 제거하지 않았을 때 서보모듈이 정지할 위치만 제어가 가능하다. 본 로봇 시스템에서는 크로스 링크기구와 스푼의 이동궤도를 제어하기 위해 Fig. 6과 같이 목표위치를 고속으로 갱신하여 최종 목표위치에 도달하도록 하였다. 목표위치를 갱신하는 샘플링 시간은 컨트롤러에 내장된 타이머를 이용하여 서보모터의 PWM 신호의 주기와 동일한 16ms로 하였다. Fig. 6은 $+\alpha$ 의 위치에서 $-\beta$ 의 위치에 이동시키고자 할 때의 목표위치와 출력위치와의 관계를 나타내고 있다.

3.2. 컨트롤러의 소프트웨어

조작자가 소형 식사지원 로봇을 푸시버튼 혹은 마이크로폰만을 이용하여 간단히 조작할 수 있도록 컨트롤러의 소프트웨어를 설계하였다. Fig. 7은 소프트웨어의 구성을 나타내고 있고, 다음과 같은 방법의 의해 로봇은 동작한다.

- 1) 전원을 넣으면, 로봇팔은 사전에 설정된 접시위의 각 위치를 계속해서 선회한다.
- 2) 조작자가 푸시버튼 혹은 마이크로폰으로 명령하면 음식물을 뜨기 위해 로봇팔을 하강시킨다.
- 3) 음식물을 뜨기 위해 사전에 설정된 위치에 도달하기 전에 조작자로부터의 명령이 있을 경우는 명령이 전달된 위치로부터 접시에 준비된 음식을 뜬다. 그러나 사전에 설정된 위치에 도달할 때까지 조작자의 명령이 없을 경우에는 하강이 완료된 위치에서 음식을 뜬다.
- 4) 마지막으로 음식을 뜬 스푼을 조작자의 입까지 운반한다.

본 로봇 시스템에 채용한 소프트웨어의 구성은 게임센터에 있는 인형 등의 경품이 걸려있는 UFO 캐치게임의 동작을 참고하였고, 로봇의 모든 동작의 제어를 ON/OFF 신호만으로 가능케 하는 사용자 인터페이스를 개발함으로써 육체적인 부담을 가지고 있는 장애자라도 직감적으로 쉽게 로봇의 조작방법을 습득할 수 있도록 하였다. 또한 로봇을 조작하기 위한 명령신호로 ON/OFF 신호를 사용하고 있기 때문에 로봇의 구조와 컨트롤러의 변경 없이 푸시버튼, 마이크로폰, 압력스위치 등 조작자의 육체적인 상황에 따라

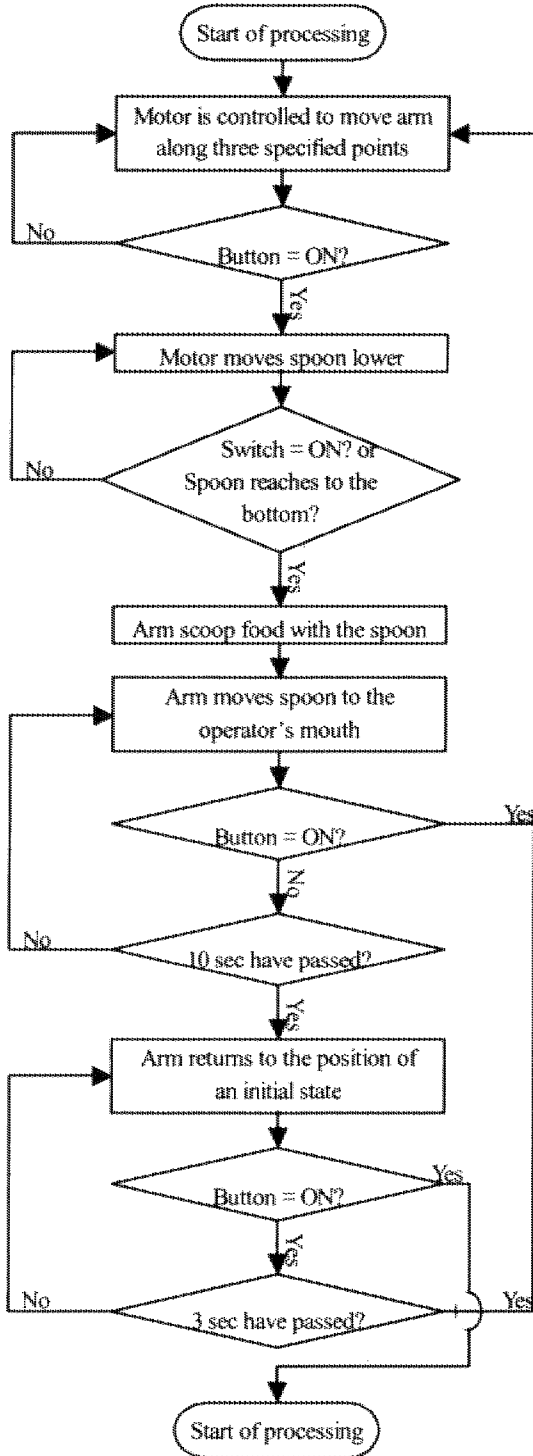


Fig. 7. Software of eating-assistant robotic arm.

적합한 인터페이스를 선택할 수 있다.

IV. 식사지원 실험

병원에 도움을 얻어 뇌졸중으로 인하여 상반신을 움직일 수 없는 고령자에게 본 로봇 시스템을 이용한 식사지원 실험을 행하였다. Fig. 8은 본 로봇 시스템을 이용한 식사지원 상황을 나타내고 있다. 처음에는 미역국, 두 번째로 볶음밥을 대상으로 하여 식사를 해보도록 하였다. 로봇은 조작자에게 부담을 느끼지 않는 동작으로 식사지원 동작을 정확히 수행할 수 있었다. 식사 후에 조작자로부터 다음과 같은 코멘트를 얻었다.

- 1) 사용자 인터페이스가 간단하여 쉽게 로봇의 조작방법을 습득할 수 있었다.
- 2) 로봇에 대한 공포감 없이 식사를 할 수 있었다.



Fig. 8. Eating-assistant test for the aged patient at the hospital.

V. 결론

RC 서보모듈과 PIC를 이용하여 구조적으로 소형인 경제성을 갖춘 식사지원 로봇을 개발하였다. 본 로봇을 이용하여 상반신 장애 가진 장애자에게 식사 지원을 행한 결과, 식사지원 동작을 행하는데 로봇이 정확하고 유효하게 동작하는 것을 확인할 수 있었다.

본 연구에서는 장애자의 상반신 움직임을 전혀 이용하지 않는 로봇을 실현하였으나 상반신을 조금이라도 움직일 수 있을 경우 장애자의 재활의지를 높이기 위해서는 잔존 신체 움직임을 능동적으로 활용하는 방법이 필요하다. 현재 장애자의 잔존 신체 움직임을 능동적으로 활용하여 장애자의 일상생활을 지원하기 위한 로봇과 접시, 컵 등에 준비된 음식물을 대상으로 한 로봇에 대하여 연구를 진행하고 있다.

참고문헌

- 1) Tejima, N., 1996, "Rehabilitation Manipulator for Eating". JSME Vol.15, No.5, pp.624-627.
- 2) Whittaker, M., 1992, "Handy Robotic Aid to Eating". Proc. RESNA Int. 92, pp.586-594.
- 3) Ishii, S., Tanaka, S., and Hiramatsu, F., 1995, "Meal Assistance Robot for severely Handicapped People". Proc. of IEEE Robotics and Automation Vol.2, pp.1308-1313.
- 4) Verburg, G., 1992, "An Evaluation of MANUS Wheel-chair Mounted Manipulator". Proc. RESNA Int. 92, pp.602-204.
- 5) Mahoney, P., 1997, "Robotic Products for Rehabilitation : Status and Strategy". Proc. 4th Conf. Rehabilitation Robotics, pp.12-20.