

로봇 설계 프로그램 개발

서종휘*, 김창수#, 정일호**, 박태원***, 김혁****, 최재락****, 변경석****

Development of a Robot Design Program

Jong Hwi Seo*, Chang Su Kim[#], Il Ho Jung**, Tae Won Park***,
Hyk Kim****, Jae Rak Choi**** and Kyng Seok Byun****

ABSTRACT

This paper presents the development of a virtual robot design program. Robot design requires numerical software, robot solution software and multi-body dynamics software to complete several designs. However using a commercialized software implies some disadvantages, such as the waste of time and money it costs to learn how to use the software.

We developed a virtual robot design program with which a user can design a robot with rapidity and reliability. The virtual robot design program is composed of robot kinematics module and robot dynamics module. The program is powerful software which may be used to solve various problems of a robot. The 3D animator and a 2D/3D graph of the program can analyze the design results into visual data. The virtual robot design program is expected to increase the competitiveness and efficiency of the robot industry.

Key Words : Robot Design(로봇 설계), Robot Kinematics(로봇 기구학), Robot Dynamics(로봇 동역학)

1. 서론

현대 산업사회에서 로봇의 성능은 제품의 생산성을 결정하는 중요한 요소이며 최근 광범위하게 그 활용범위를 넓혀가고 있다. 이러한 로봇의 성능을 개선하거나 새로운 목적에 맞게 설계하기 위해 서는 많은 부분에서 컴퓨터가 응용되고 있다. 컴퓨-

터를 이용하여 신뢰성 있는 로봇 설계 프로그램을 구현함으로써 설계에 필요한 자료를 짧은 시간에 저 비용으로 확보할 수 있어 제품의 경쟁력을 향상시킬 수 있다.

로봇 설계에서 컴퓨터를 이용한 로봇의 설계 과정을 로봇의 기본 구성에 대한 개념/기초설계, 로봇 시뮬레이션을 이용한 상세설계, 상세설계의 결과를 이용하여 로봇의 중요 요소를 결정하는 시

* 접수일: 2004년 7월 27일; 게재승인일: 2005년 2월 18일

아주대학교 대학원

교신저자: 아주대학교 기계공학과

E-mail geo2477@naver.com Tel. (031) 219-2952

** 아주대학교 대학원

*** 아주대

**** 삼성전자

험평가설계로 나눌 수 있다. 컴퓨터를 이용하여 이와 같은 설계의 과정을 개별적으로 수행하기 위해 서는 수치계산 소프트웨어, 로봇 해석 소프트웨어, 다물체 동역학 시뮬레이션 소프트웨어 등 여러 가지 상업적인 소프트웨어가 필요하다. 그러나 다양한 소프트웨어를 이용할 경우 경제적 손실, 시간적 손실 및 여러 가지 소프트웨어에 대한 전반적인 노하우가 요구되는 문제점이 있다.

본 연구에서는 로봇 설계를 위한 전용 설계 프로그램을 제시한다.¹ 개발된 로봇 설계 프로그램은 로봇의 기구설계와 로봇 동역학 모델링을 구성하여 동역학 해석 수행과 요소품 선정을 할 수 있다. 로봇 설계 프로그램은 로봇 설계 과정을 통합적으로 관리하고 사용자 요구에 맞게 개발되어 여러 가지 상업용 소프트웨어를 사용할 때보다 로봇설계의 효율성과 경쟁력을 향상시킬 수 있을 것으로 전망한다. 프로그램 개발은 Microsoft 사의 Visual C++² 라이브러리를 사용하였으며, 그래픽은 OpenGL 기반의 OpenInventor³ 라이브러리를 사용하였다.

2. 로봇 설계 프로그램

2.1 프로그램 구조

Fig. 1 은 본 논문에서 소개하는 로봇 설계 프로그램의 구조를 보여주고 있다. 프로그램은 로봇 전용화모듈(customized module), 로봇 동역학해석모듈(dynamic analysis module), 요소품설계모듈(element design module), 후처리분석모듈(post process module)로 구성되었다. 각각의 모듈은 다른 모듈과의 연계를 가지며 모듈의 특징을 가지고 있다.

로봇 전용화모듈은 로봇 기구설계인 테나비트-하텐버그 인자(D-H parameter), 로봇 기구학(forward kinematics), 로봇 역기구학(inverse kinematics), 경로 계획(motion plan), 작업영역(workspace) 등을 설계할 수 있다.⁴⁻¹⁰ 로봇 동역학해석모듈은 동역학 로봇 모델을 구성할 수 있는 동역학모델러(dynamic modeler)와 다물체 동역학 이론에 기술한 동역학 해석모듈(dynamic solver)이 개발되었다.¹¹⁻¹³ 요소품 설계모듈은 로봇 요소품의 특성인 질량, 강성 특성을 동역학 모델에 반영할 수 있으며, 로봇 성능을 발휘하는 요소품을 선정할 수 있도록 개발되었다.

¹⁴

후처리분석모듈은 로봇 시뮬레이션에 대한 분

석을 위해 3 차원 애니메이터(3D animator), 그래프(graph) 기능을 지원한다. 3 차원 애니메이터를 이용하여 로봇 시뮬레이션을 관찰할 수 있고, 그래프를 이용하여 로봇에 발생하는 특성을 2D/3D 그래프로 분석할 수 있다. 후처리분석모듈을 이용하여 로봇의 특성을 분석하고 로봇 설계에 필요한 자료를 확보할 수 있도록 연구되었다.

Robot Design Program

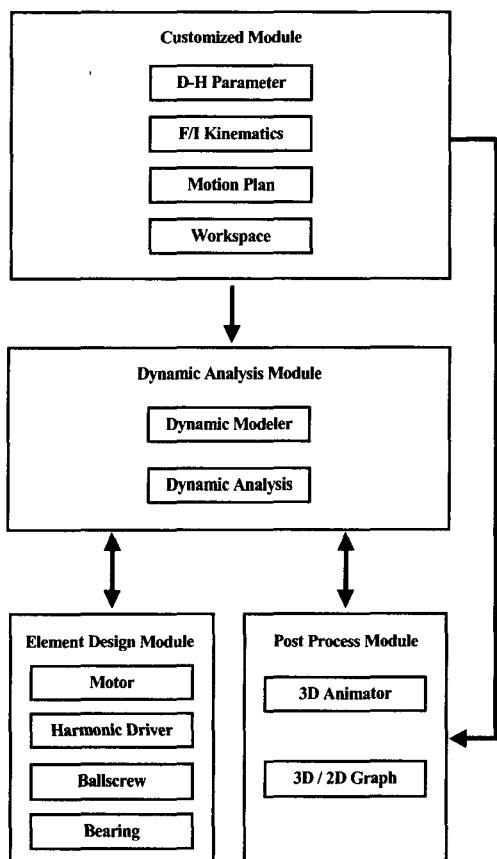


Fig. 1 Robot design program architecture

2.2 로봇 전용화모듈

본 논문에서 제시하는 로봇 설계 프로그램에서 로봇 기구설계에 해당하며 전체 로봇 설계 과정 중 개념/기초설계를 수행할 수 있도록 로봇 전용화모듈을 개발 하였다.

Fig. 2 는 로봇 전용화모듈의 전체 구성을 보여주고 있다. 로봇 전용화모듈에서의 첫 번째 설계

순서는 설계자가 설계하고자 하는 로봇이 몇 개의 자유도와 특징을 갖는 로봇인지를 결정하는 로봇 형상(robot type) 설정이다. 두 번째는 선택된 로봇 형상의 링크와 링크 사이의 길이와 조인트의 위치를 결정하는 데나비트-하텐버그 인자 설정이다. 세 번째는 로봇 기구학, 로봇 역기구학, 로봇 경로계획, 작업영역등을 설계한다. 로봇 전용화모듈에서 는 로봇 기구학에서 결정한 데나비트-하텐버그 인자를 기초로 로봇 동역학모델링을 구성할 수 있는 동역학모델(dynamic model) 메뉴 창을 제공할 수 있도록 개발하였다.

Fig. 3 은 로봇 형상(robot type) 설정 창이다. 설계 할 로봇 타입과 이름이 결정되면 프로그램 내에서 로봇 전용화모듈에서 이루어진 기구설계 자료를 관리할 자료 구조체를 만든다. 구조체를 이용하여 로봇기구설계에서 수행되는 모든 자료를 통합적으로 관리할 수 있도록 연구되었다.

로봇 설계 프로그램에는 Fig. 4 에서처럼 데나비트-하텐버그 인자 입력 항을 로봇 타입에 따라 활성화, 비활성화 되도록 개발 하였고, 로봇 설계자는 링크의 위치와 조인트 방위 정보를 Fig. 4 (a) 에서 확인하고, Fig. 4 (b)에서 인자 값을 입력할 수 있도록 하였다.

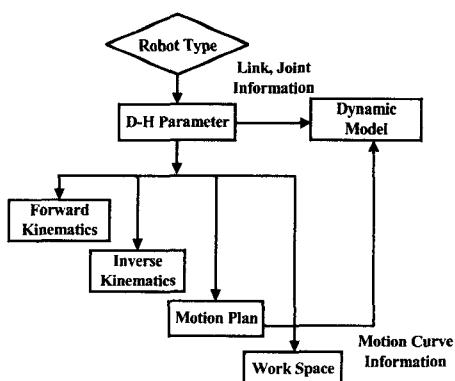


Fig. 2 Customized module

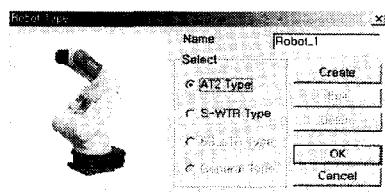
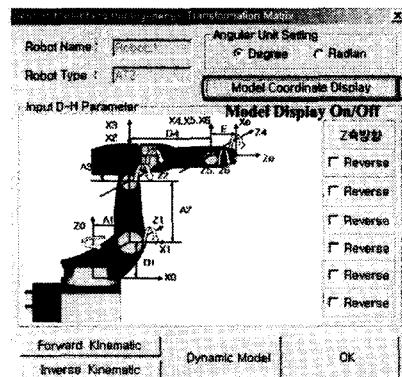
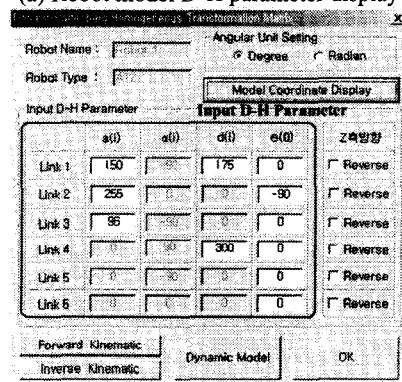


Fig. 3 Dialog box of robot type



(a) Robot model D-H parameter display



(b) D-H parameter input display

Fig.4 Dialog box of D-H parameter input

Fig. 5 는 데나비트-하텐버그 인자를 기초로 하여 설정된 로봇 타입의 각 조인트 값을 입력 받아 로봇 링크의 끝점을 계산할 수 있는 로봇 기구학을 개발하였다. 링크 끝점의 결과 값은 글로벌 좌표(global coordinate) 기준으로 계산한 위치와 방위 좌표 값이다.

Fig. 6 은 로봇 글로벌 좌표에서의 로봇 링크 끝점에 대한 위치와 방위 값이 입력되면, 로봇의 각 조인트가 위치할 자세 값을 계산하는 로봇 역기구학 창이다. 로봇 설계자는 설계한 로봇 경로를 계획한 각 모터 속도를 Fig. 8 에서처럼 그래프로 확인하고 Fig. 9 에서처럼 3 차원 애니메이션으로

로봇 설계 프로그램에서는 로봇의 링크 끝점이 공간상의 점을 경유하며 움직이는 로봇 동작 명령 어인 PTP, CP, Circle, Con't motion 에 대한 연구를 수행하여 프로그램화 하였다. Fig.7 은 로봇 경로 계획 창 이다. 로봇 설계자는 설계한 로봇 경로를 계획한 각 모터 속도를 Fig. 8 에서처럼 그래프로 확인하고 Fig. 9 에서처럼 3 차원 애니메이션으로

로봇의 움직임을 구현하여 실제 거동을 3 차원공간 상에서 확인할 수 있도록 기획하였다.

Fig. 10 은 로봇 설계자가 설계하는 로봇의 작업 영역을 3 차원 그리드(grid)로 표현하여 로봇의 작업영역이 설계자의 의도에 맞는지 판단할 수 있도록 고안하였다.

결론적으로 로봇 전용화모듈은 로봇 설계자에게 다음과 같은 장점을 제공한다. 첫째, 다양한 로봇 기구문제를 해결하여, 로봇 개념설계와 기초설계를 통합적이며 체계적으로 설계할 수 있도록 한다. 둘째, 로봇 전용화모듈에서 계산되는 결과를 로봇 태입과 이름으로 구분하고 구조체로 데이터를 저장함으로 설계 데이터를 효율적으로 관리 할 수 있다. 셋째, 여러 상용 소프트웨어를 사용하지 않고 로봇 설계 프로그램으로 다양한 로봇 개념/기초설계가 이뤄질 수 있다.

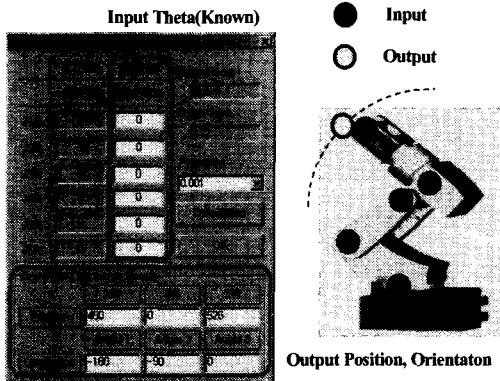


Fig. 5 Dialog box of forward kinematics

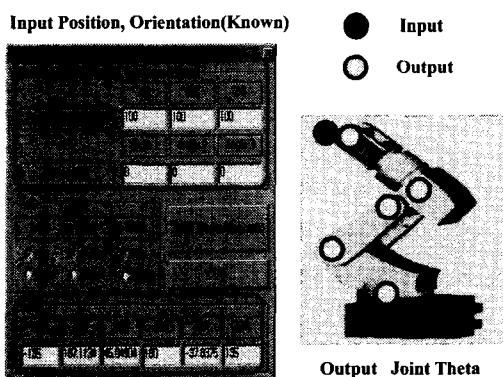


Fig. 6 Dialog box of inverse kinematics

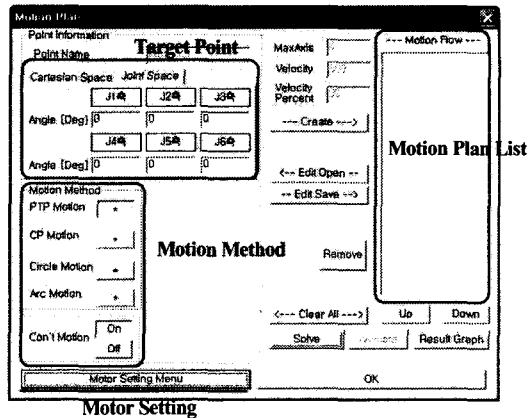


Fig. 7 Dialog box of motion plan

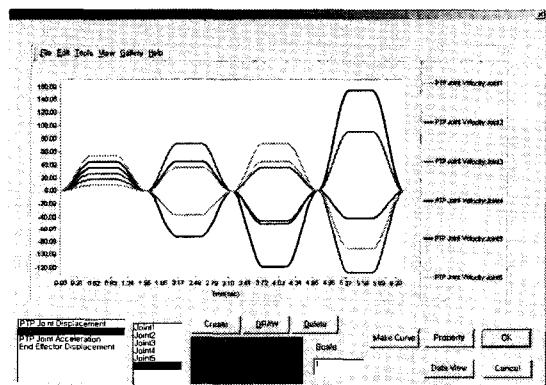


Fig. 8 Joint motor velocity

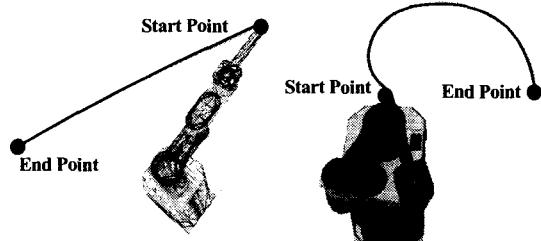


Fig. 9 Animation motion plan

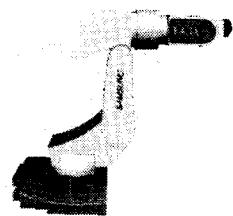


Fig. 10 Work space

2.3 동역학해석모듈

로봇 설계 프로그램에서는 로봇 동역학설계를 위해 다물체 동역학 기능을 수행하는 동역학해석 모듈(dynamic analysis module)을 개발하였다. Fig.11은 동역학 해석모듈과 후처리분석모듈(post process module) 사이의 프로그램 흐름 및 연관관계를 도시하였다.

동역학 해석모듈은 로봇 동역학해석을 수행하는 모듈이다. 동역학해석을 통하여 링크의 변위, 속도, 가속도, 부하 힘, 토크 등을 계산할 수 있다. 전체 구성은 동역학모델러(dynamic modeler)와 동역학해석기(dynamic solver)로 구성되어 있다. 로봇 동역학을 수행하기 위해 필요한 기본 요소로는 링크, 구속 조건, 링크 구동 조건, 힘 요소 등이다. 로봇 설계 프로그램에서 이를 구성할 수 있는 동역학 모델러는 링크(body), 조인트(joint), 힘(force), 구동(driver), 구동 모선(curve)의 주 메뉴 창과 부 메뉴 창으로 구성되어 있다.

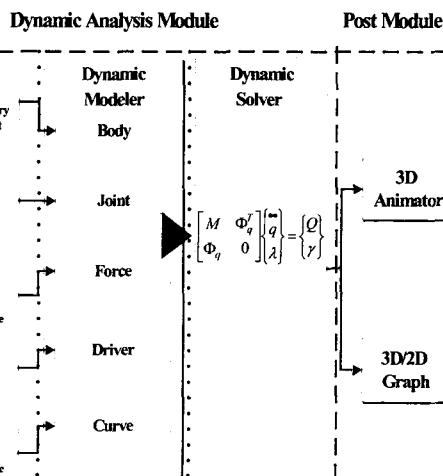


Fig. 11 Dynamic analysis module and post module

동역학해석기는 동역학모델러를 이용하여 구성한 로봇 모델링 데이터를 호출하여 식 (1)과 같이 다물체 동역학 운동 방정식을 정의한다.

$$\begin{bmatrix} M & \Phi_q^T \\ \Phi_q & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{q} \\ \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q \\ \gamma \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서

q : position vector

\dot{q} : velocity vector

\ddot{q} : acceleration vector

M : mass matrix

$\Phi_q \equiv [\partial \Phi_j / \partial q_i]_{m \times n}$: constraint Jacobian matrix

λ : Lagrange multiplier

Q : generalized force

γ : right side of constraint acceleration

정의한 다물체 동역학 운동 방정식을 이용하여 로봇 동역학 모델이 동적 해를 구할 수 있도록 연구되었다.

Fig. 12 를 로봇 설계 프로그램에서 동역학모델러를 이용하여 로봇 동역학모델링을 구성한 후 동역학 해석 수행으로 구한 링크의 위치 정보로 애니메이션을 수행하여 로봇 거동을 확인하는 그림이다. 각 조인트에 부하 되는 힘이나 토크는 그래프를 통하여 그 특성을 분석할 수 있도록 연구되었다.

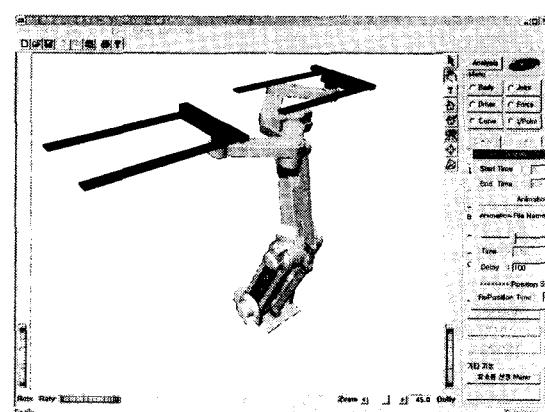


Fig. 12 Dynamic modeling of robot design

2.4 요소설계모듈

로봇 요소품은 로봇 운동을 구현하는 실질적 부품이다. 로봇 설계 프로그램에서는 링크의 움직임을 구동 시키는 모터(motor), 감속기(harmonic driver), 볼 나사(ball screw) 그리고 베어링(bearing) 등을 요소품 선정 모듈로 개발하였다. 로봇 요소품을 설계하는데 있어 가장 중요한 변수는 성능과 수명이다. 로봇 요소품은 요구되는 운동능력을 충분히 발휘할 수 있는 성능(performance)과 장시간 그 운동을 지속할 수 있는 수명(life time)을 지니고 있어야 한다.

Fig. 13 과 같은 알고리즘을 기반으로 로봇 요소품설계 프로그램을 개발하였다. Fig. 14 (a) 는 요소품 선정에 필요한 로봇 동역학 해석모델이며, 이 결과는 Fig. 14 (b) 요소품 가선정 데이터와 함께 비교 검토되어 Fig. 14 (c)에서처럼 개발하려는 로봇이 가 선정 요소품으로 최적 수행을 할 수 있는지를 판단할 수 있도록 개발하였다.

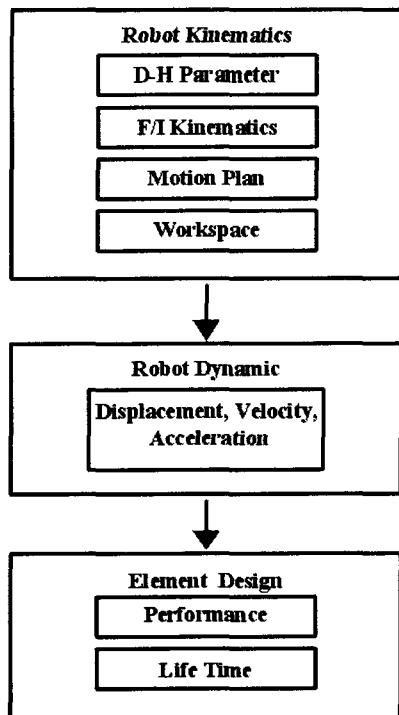


Fig. 13 Flow Chart of Element Design

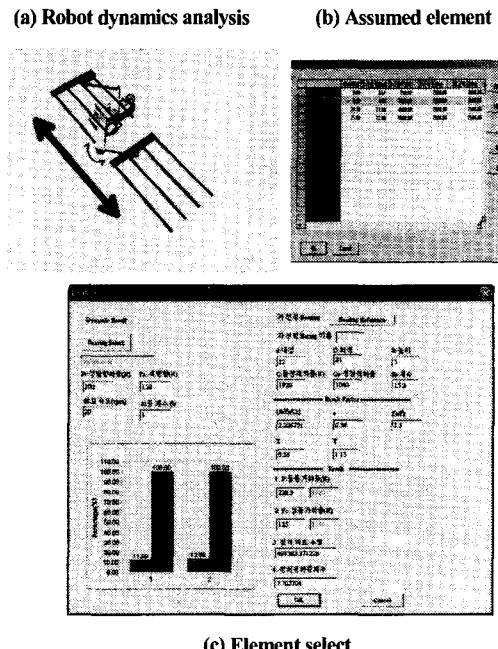


Fig. 14 Element design

2.5 후처리분석모듈

후처리분석모듈은 3 차원 애니메이터, 2D/3D 그래프가 개발 되었다. 3 차원 애니메이터는 동역학 해석 결과 파일을 읽어 들여 로봇 설계 프로그램 화면창에 3 차원 애니메이션을 이용하여 해석결과 분석 및 가시화할 수 있도록 연구되었다. 2D/3D 그래프는 동적 해석 결과 파일을 읽어 들여 데이터를 그래프 화면에 표현하여, 로봇 설계자가 관찰하고자 하는 결과를 분석할 수 있도록 개발되었다.

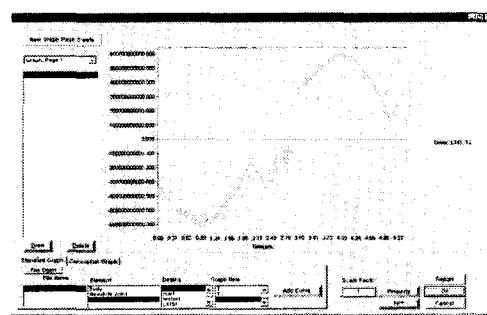


Fig. 15 Dialog box of graph

3. 적용

본 논문에서 소개한 로봇 설계 프로그램으로 LCD 글래스(glass) 이송 로봇 동역학 모델을 구성하여 로봇 동적 해석을 수행하였다. 로봇의 동역학 모델링은 Fig. 12에서처럼 동역학모델러를 이용하여 로봇 구동에 필요한 로봇 링크, 조인트, 구속 조건을 구성하였고, Fig. 11에서처럼 동역학해석기를 이용하여 해석을 수행하였다. 물성치는 로봇 부품에서 가장 큰 영향을 미치는 모터, 감속기, 로봇 링크를 고려하여 하였다. 로봇 동역학 모델의 동역학 해석을 수행하기 위해서 필요한 조인트의 구동 파일은 실제 로봇을 구동시키는 모터 구동 조건을 시뮬레이션 모델링에 입력하여 해석하였다.

Fig. 16은 로봇 동역학모델링의 구동 동작이며, Upper Arm의 선후 수평운동이다. Fig. 17은 구동 동작의 속도 그래프이다. Fig. 18은 로봇을 구동하면서 실제 로봇의 모터 축에 걸리는 부하 토크를 측정한 것과 로봇 설계 프로그램에서 구한 모터 토크를 비교한 것이다. 토크 단위 표시는 모터 사양

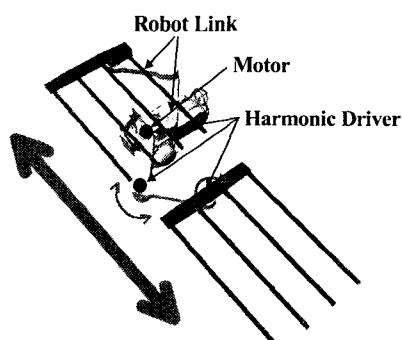


Fig. 16 Upper arm motion

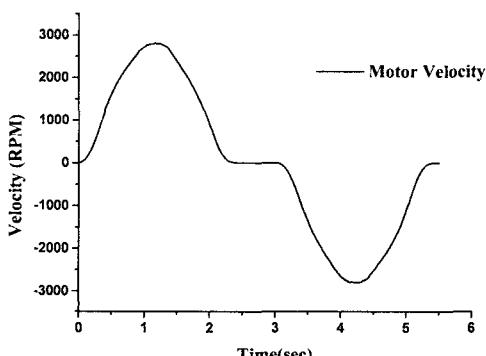


Fig. 17 Upper arm motor velocity

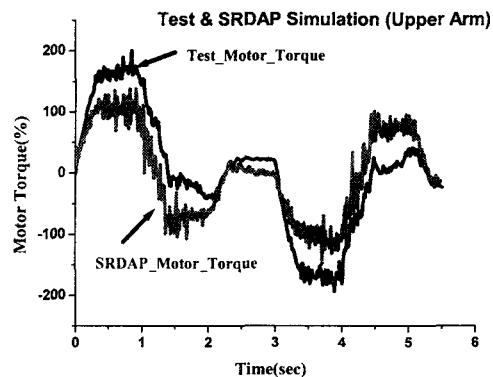


Fig. 18 Motor torque

정격 토크의 비로 표현하였다.

Upper Arm의 모델링은 하나의 모터가 각각의 링크를 구동하기 위하여 세개의 감속기가 벨트로 연결 되었다. 실제 모터 토크와 상하 차이는 모터와 감속기 연결관계에서 발생하는 미지의 힘과 프로그램에 입력한 모터, 감속기, 링크의 물성치가 실제와 정확하게 일치하지 않아 발생하는 것으로 사료된다.

4. 결론

본 논문에서는 로봇 설계 프로그램을 소개하였다. 실제 로봇을 설계하기 위해서는 다양한 설계 문제를 해결해야 한다. 로봇 설계 프로그램은 로봇 설계에 필요한 여러 기능을 통합적이고 체계적으로 제공하여 이러한 문제를 쉽고 빠르게 해결할 수 있게 해줄 것이다. 로봇 설계자는 본 개발 프로그램의 이용하여 로봇 설계에 필요한 로봇 기구 및 동역학적 문제를 해결할 수 있으며, 로봇 설계에 필요한 데이터를 가시적으로 확인할 수 있어 로봇 설계의 효율성을 높일 것으로 기대 된다.

무엇보다 본 프로그램의 강점은 모든 로봇 설계모듈을 로봇 설계자와 함께 기획하고 계획하여 개발하였으며, 실제 검증을 통하여 신뢰성을 높였다.

참고문현

- Park, T. W., "Development of Virtual Robot Design Program," J. of the KSPE, 03F248, 2003.

2. <http://www.msdn.com/>
3. Josie, W., "The Inventor Mentor," Addison-Wesley, 1994.
4. Fu, K. S., Gonzalez, R. C., Lee, S. G., "ROBOTICS," McGraw-Hill Book Company, pp.36-76, 1987.
5. Craig, J. J., "Introduction To Robotics Mechanics and Control," Addison-Wesley, 1986.
6. Elmaraghy, H. A., Hamid, L., "ROBOCELL : A Computer Aided Robots Modelling and Workstation Layout System," International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.2, No.2, pp. 43-59, 1985.
7. Kang, S. G., Son, K. and Choi, H. J., "Path Optimization Using an Genetic Algorithm for Robots in Off-Line Programming," J. of the KSPE, Vol. 19, No. 10, pp. 66-76, 2002.
8. Wu, C., "A Kinematic CAD Tool for the Design and Control of a Robot Manipulator," International Journal of Robotic Research, Vol.3, No.1, pp. 58-67, 1984.
9. Eydgahi, A. M., Sheehan, J. J., "A Computer Animation of Robotic Manipulator and Workcells," IEE Control System, pp. 56-59, 1991.
10. Kang, H. J., "Study on Kinematics and Dynamics of the Modular Robot," Proc. Of kspe, pp.46-53, December, 2002.
11. Haug, E. J., "Computer Aided Kinematics And Dynamics of Mechanical Systems," Allyn and Bacon, 1989.
12. Nikravesh, P. E., "Computer-Aided Analysis of Mechanical Systems," Prentice-Hall International, pp.186-248, 1988.
13. Shabana, A. A., "Computational Dynamics," JOHN WILEY & SONS, pp.96-460, 2001.
14. Kim, C. S., "Development of Robot Element Design Module is founded Virtual Robot Design Program," J. of the KSPE, 04S088, 2004.