

# 공작기계의 정밀도 향상을 위한 전산 메카트로닉스 해석 Computational Mechatronics Analysis to Design High Precision N.C. Machine

김동현† · 김동만\* · 박강균\*

Dong Hyun Kim, Dong Man Kim, Kang Kyun Park

**Key Words** : Computational Mechatronics Analysis(전산메카트로닉스 해석) FEM(유한요소기법), N.C.(수치제어), CSD(전산구조동역학해석), CAE(전산응용공학)

### ABSTRACT

In this study, very accurate computational mechatronics method has been developed for typical N.C. machine model applying to manufacturing industry in these days. Computation analysis of high speed machine tools like N.C. machine needs consideration about mechatronical features because the machine shows close interaction between dynamic behavior of the mechanical structure, drives and numerical control. For this, nonlinear structural analysis tools based on FEM are linked numerical control program to control the dynamic behavior. In this study, we studied the dynamic feature of N.C. machine by using SAMCEF as nonlinear computational structural analysis tool and simulink as drivers.

### 1. 서론

오늘날, 제조산업에서의 정밀하고 빠른 제조공정의 요구에 따라 Mechatronics가 발전하고 있다. 제품의 부품가공에 사용되는 공작기계는 오래전부터 Mechatronics가 활용된 분야이며, 자동차, 전자 등 우리나라 주요 산업에서 제조공정에 활용되고 있는 로봇은 Mechatronics의 한 부분이라 할 수 있다.

공작기계는 공통된 형상과 기능으로 설계되어 대량으로 생산되어 왔으나, 현재는 가공품의 특성에 맞는 다양한 공작기계를 생산을 하고 있다. 이런 다양한 공작기계의 설계에 대한 안정성을 확립하기 위해서 전산구조동역학해석기법이 활용되고 있다.

본 연구에서는 수치제어에 의해 운동하는 공작기계의 동적운동을 전산해석기법을 통하여 예측하였다. 이를 위해서는 공작기계의 운동을 제어하는 수치제어 프로그램과 수치제어 프로그램으로 부터 전달되는 명령을 수행하는 동적유한요소 해석 프로그램이 상호작용하는 전산구조동역학해석기법이 필요하다. 공작기계의 구조해석에서 제어기와 해석프로그램의 상호작용 없이 해석프로그램을 이용하여 해석할 경우 외부요소를 충분히 고려되지 못하고, 해석 프로그램 내의 지

정된 경로에 의해 운동하게 된다. 제어기와 해석 프로그램의 연계 해석기법을 확립하기 위하여 본 연구에서는 제어 프로그램으로 많이 활용되고 있는 Matlab에서 지원하는 Simulink를 사용하였고, 해석 프로그램은 유럽에서 동역학 해석 프로그램으로 널리 사용되는 SAMCEF Field를 사용하였다. Simulink와 SAMCEF(Ver. 6.1)의 MECANO 연동하여 공작기계의 동적운동을 알아보았다.

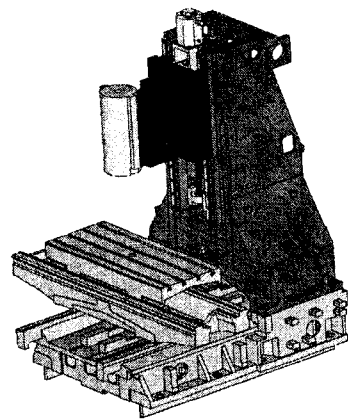


Fig. 1 Geometric configuration of the N.C. machine

Fig. 1은 현재 부품 가공에 사용되고 있는 3축 공작

† 교신저자; 국립경상대학교 기계항공공학부 조교수

E-mail : dhk@gnu.ac.kr

Tel : (055) 755-2083, Fax : (055) 755-2081

\* 국립경상대학교 기계항공공학부

기계의 형상으로서 칼럼(Column), 새들(Saddle), 테이블(Table), 모터(Motor), 헤드(Head), 가이드(Guide), 스크류(Screw) 등으로 구성되어 있다. 파란색의 칼럼이 상하 운동을 하고 아랫부분의 새들과 테이블이 앞뒤, 좌우 운동을 한다. 하지만 이번 연구에서는 공작기계의 헤드의 상하 운동만 정의하였고, 외부요소는 고려하지 않았다.

Fig. 2는 Simulink의 파일을 이용하여 일련의 과정을 거쳐 제어기와 연동된 해석 Solver를 생성을 하는 과정을 나타내고 있다. 새롭게 생성된 Solver를 사용하여 Kinematic 운동요소와 경계조건으로 구성된 동적 유한요소 구조물에 적용하여 공작기계의 동적운동을 파악하였으며, 제어기와 연계된 경우와 그렇지 않은 경우를 비교하였다.

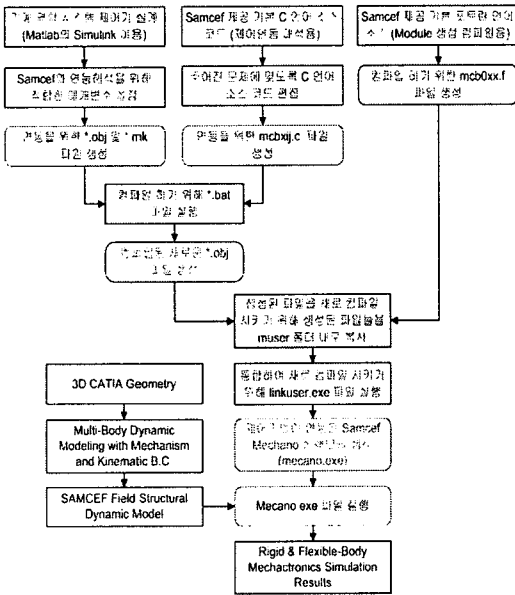


Fig. 2 Simulink linked SAMCEF process

## 2. 제어-동적해석 연계

제어기(Simulink)와 전산구조동역학해석 프로그램(SAMCEF)은 서로 정보를 Feed Back 하면서 공작기계의 운동을 제어한다. 동적해석 정보를 제어기에 전달하면 제어기에서 전달된 정보를 바탕으로 명령을 생성하여 전산구조동역학해석 프로그램에 전달한다. 전산구조동역학해석 프로그램은 전달된 명령을 수행하고, 결과를 다시 전달한다. 이런 과정은 매 Time step 마다 반복된다.

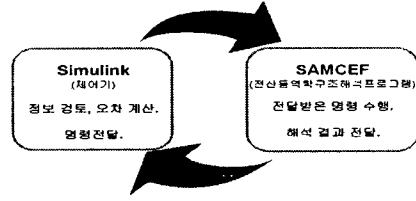


Fig. 3 Simulink linked SAMCEF

### 2.1 제어기

제어기는 제어-동적해석 연계에서 입력되는 정보를 바탕으로 새로운 명령을 생성 및 해석 프로그램으로 전달하는 과정을 하는 부분으로써, 공작기계의 동적 움직임을 제어기의 프로그래밍에 의해 결정된다.

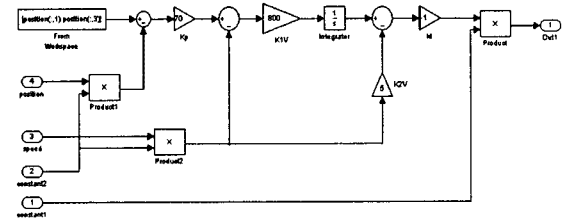


Fig. 4 Simulink controller

지금까지 업체에서는 Simulink를 활용하여 동역학 방정식으로 공작기계의 동적움직임을 예측하였으나, 각 요소들의 탄성적효과를 반영하는데 한계가 있어 이번 연구에서는 동적해석을 동적유한요소 해석프로그램인 SAMCEF의 비선형 다물체 동역학 해석틀인 MECANO module로 대체하였다. Fig. 4는 Simulink에 모델링된 제어기를 나타내고 있으며, 공작기계의 동적해석을 위해 Simulink모델의 제어부분만 따로 분리한 것이다.

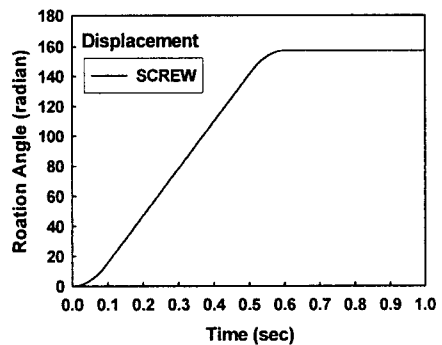


Fig. 5 Rotational displacement destination

제어기는 스크류의 회전변위(헤드의 이동경로)와 회전속도(헤드의 이동속도)가 Fig. 5와 같이 정의되어 있으며, 정의된 회전변위를 바탕으로 해석프로그램으로부터 입력되는 헤드의 변위와 이동속도와 비교하여 발생하는 오차를 바탕으로 새로운 명령을 모터에 전달되는 전압을 조절하고, 조절된 전압에 따라 모터의 출력(토크)가 결정되는 일련의 과정을 거쳐 생성한다. 새로운 명령은 해석프로그램으로 전달된다.

## 2.2 Kinematic chain

Simulink의 동적해석 부분을 대체하기 위한 해석프로그램에서는 제어기로부터 전달되는 명령을 정의되어 있는 기구학적 연결(Kinematic chain)을 통하여 명령을 수행한다. 동작기계의 운동 특성과 같은 기구학적 요소들과 재료의 성질을 갖는 물성치, 경계조건을 정의해야 한다. 정의된 요소들은 서로 유기적으로 연계하며, 제어기로부터 전달되는 명령을 수행하게 되어 실제 동작기계가 움직이는 과정과 똑같은 과정으로 운동하게 된다. 기구학적 요소는 Fig. 6와 같이 각 운동특성에 맞게 각 부분에 정의되어 있다.

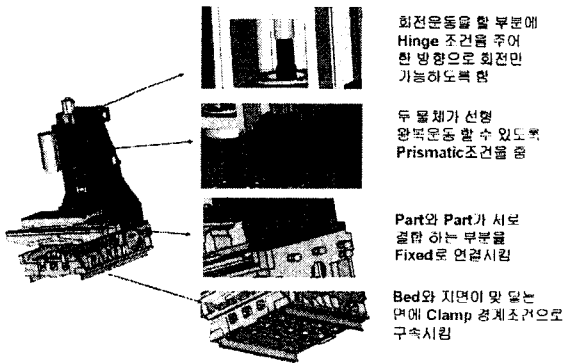


Fig. 6 Kinematic chain for multi-body dynamics analysis

힌지(Hinge) 요소는 결합되는 두 부분의 운동을 한 방향의 회전운동을 제외하고 세 방향의 병진운동과 두 방향 회전운동을 구속하는 요소로서 1축 회전만 가능하게 한다. 힌지 요소는 동작기계에서 회전운동을 하는 부분, 즉 모터, 베어링(bearing)같은 부분에 추가되었다. 프리즈메틱(prismatic)은 결합되는 두 부분사이의 한 방향 병진운동만 가능하게 한다. 이 요소는 블록(block)과 가이드(guide)사이의 운동을 모델링하는데 추가되었다. 스크류(Screw)요소는 전달되는 회전운동을 정의된 한 방향의 병진운동으로 전환하는 요소로서 모터로부터 전달되는 회전운동을 헤드가 병진운동을 하도록 추가하였다.

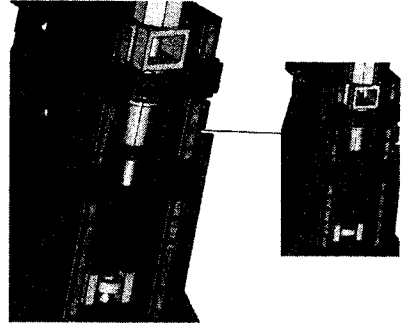


Fig. 7 Screw element

강체바디(Rigid Body)로 모델링된 구조물은 탄성력을 가지고 있지 않기 때문에 각 부분의 탄성력을 추가하기 위해서 스프링 요소를 추가하였다. 추가된 각 스프링 강성은 실제 추가된 강성은 각 부분의 강성을 고려하여 추가하였다.

## 2.3 결과비교

모델링된 동적유한요소모델을 이용하여 제어기와 연계하지 않고 모터 회전 명령을 Fig. 4와 같이 추가하여 동적 움직임을 알아보았다. 그 결과 헤드의 Z-축 방향 변위가 Fig. 8의 "Not linked" 같이 나타났다. 이와 같은 결과가 우리가 원하는 이상적인 결과이지만, 공작물 제작과정 중에 발생하는 반력을 고려하여 능동적으로 반응하지 못한다. 이런 실제 작동환경을 고려하기 위해 제어기와 동적유한요소모델을 연계하는 것이다. 제어기와 연동하여 해석한 결과 동작기계의 변위가 Fig. 8의 "Linked"와 같이 나타났다. Fig. 8의 두 결과 그래프를 확인해보면 두 결과사이 시간차이가 있음을 확인할 수 있다. 이런 두 결과사이 시간차이가 나타나는 것은 제어기와 해석 프로그램사이의 Feed Back(Time step)에 걸리는 시간 때문이다. Fig. 9은 동작기계가 작동을 멈추는 순간, 두 결과 그래프를 확대한 것이다. 결과를 보면 원래 경로를 넘어섰다 다시 회복하는 것을 알 수 있다. 이 역시 Time step의 시간차 때문이다. 두 결과의 비교를 통해 나타난 시간적 오차는 Time step을 줄여서 시간차이를 줄일 수 있으나, Time step을 줄일 경우 해석이 오래 걸리고 실제 작동환경과 달라질 수도 있다.

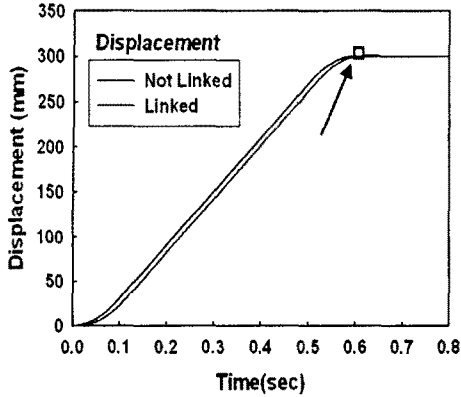


Fig. 8 Z-displacement of head structure

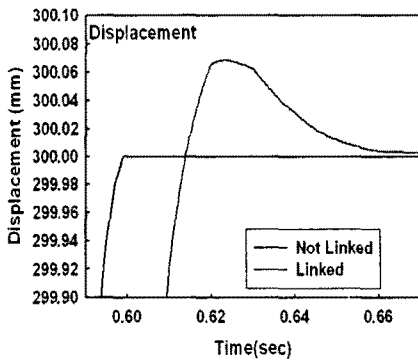


Fig. 9 Zoomed view of overshoot displacement (head structure)

Figs. 10, 11의 해석결과의 헤드의 이동 속도와 가속도를 비교해보면 눈에 띄는 차이를 알 수 있으며, 이런 차이로 인해 제어기 연계해석의 필요성을 알 수 있다.

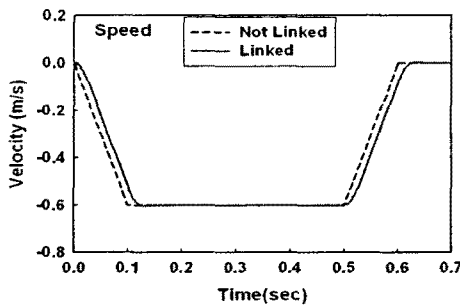


Fig. 10 Comparison of velocity response for moving head structure

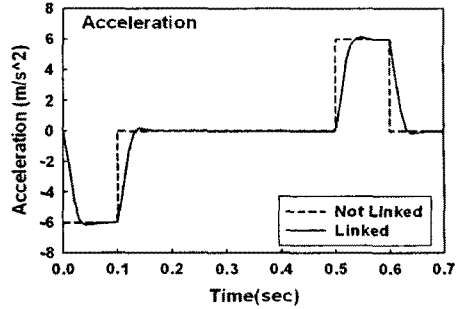


Fig. 11 Comparison of acceleration response for moving head structure

### 3. 유한요소모델

지금까지 공작기계의 몸체를 강체로 고려하고 해석하였다. 몸체를 강체로 고려할 경우 각 부분의 관성은 고려될 수 있으나, 각 몸체의 형상과 재질에 따른 강성이 정확히 고려되지 않아 실제 작동환경에서 나타나는 거동이 나타나지 않을 수 있으며, 이런 문제를 해결하기 위해 각 요소에 강성을 부가하여 해석할 수 있으나, 각 부분의 정확한 강성 계산이 거의 불가능하므로 탄성구조물의 강성을 고려하기 위해서 형상을 토대로 한 유한요소모델을 생성하였다.

공작기계의 재질의 탄성력을 고려하기 위하여 칼럼을 유한요소모델을 생성하였다. 칼럼의 유한요소모델은 Fig. 12과 같이 생성하였다.

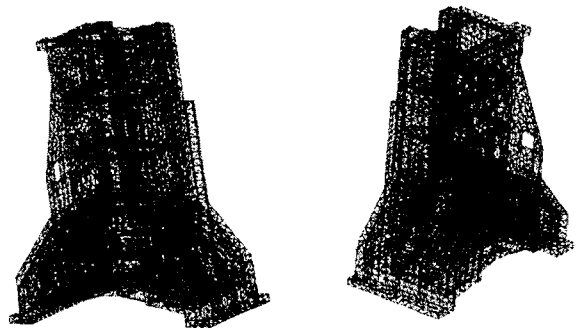


Fig. 12 Finite element model for column structure of typical N.C. machine

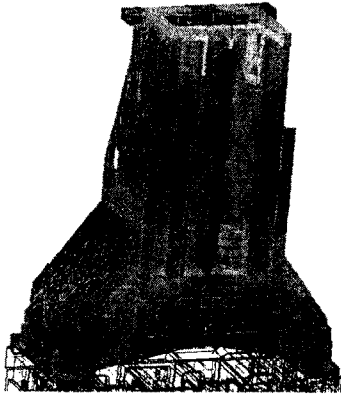


Fig. 13 Stantenuous dynamic stress contour

동적구조해석 결과 Fig. 13과 같이 응력분포가 나타났다. 응력분포를 살펴보면 스크류를 지지하는 부분에서 가장 큰 응력이 발생하였다. 가장 큰 응력이 발생한 부분의 시간에 따른 응력을 보면 Fig. 14와 같이 나타났다. 운동의 변화가 큰 시간에서 응력이 크게 발생한 것을 알 수 있으나, 응력의 크기가 구조물에 큰 영향을 미치지 않을 정도로 나타났다.

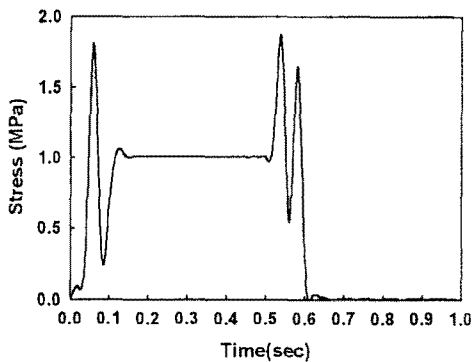


Fig. 14 Dynamic induced stress on column support structure

### 3. 결 론

본 연구는 Matlab(Ver. 6.5) Simulink와 SAMCEF(Ver. 6.1)를 활용하여 제어기와 전산 메카트로닉스 해석기법을 확립하였다. 제어기와 전산구조동역학해석 직접 연계해석 기법은 아직 국내에서 시도되지 않은 생소한 초경밀 전산해석 기법에 해당한다. 제어기와 연동된 기법과 제어기와 연동되지 않은 기법의 결과를 비교하였을 때, 제어기가 연동되지 않은 경우 이론적인 강체구조와 실제 탄성구조의 응답의 중요한 차이를 파악할 수 있었다. 따라서, 이러한 해석기법을

활용하면 고정밀도 공작기계의 개발기간을 상당히 단축시킬 수 있을 것이다.

### 후 기

본 연구가 잘 진행될 수 있도록 다양한 협조를 해 주신 두산인프라코어 공기자동화BG 관계자 여러분께 감사드리며, 아울러 본 연구는 2단계 BK21 사업의 후원으로 수행되었다.

### 참 고 문 헌

- (1) Ramon Maj, Giacomo Bianchi, 2005, "Mechatronic Analysis of Machine Tools", 9th SAMCEF Users Conference 2005.
- (2) SAMCEF ver 11.1, User's Manual, SAMTECH Co., 2006.