

MATLAB을 이용한 평판능동진동시스템의 전달함수 식별에 관한 연구

A Study on Transfer Function Identification of Plate Activity Vibration System using MATLAB

이 재 호*, 김 준 국**, 김이철**, 박 기 현***
 Jaeho Lee*, Joonkook Kim**, Yicheal Kim**, Kiheon Park***

Abstract - In many cases the systems are so complex that it is not possible to obtain reasonable models using physical laws. Also a model based on physical laws contains a number of unknown parameters even if the structure is derived from physical laws. These problems can be solved by system identification.

In this paper, plate activity vibration is selected as an example for system identification. The transfer functions of this system is derived by using ARMAX based on input/output data through experiment

Key Words : 시스템 식별법 : parametric 방법 : ARMAX 구조 : PRBS

1. 서 론

자동차, 산업용 기계, 가전, 항공기, 선박 등에서 사용되는 모든 시스템들은 안전하고 정확하고 효율적으로 동작되도록 제어되어야 한다. 이런 제어를 하기 위해서는 그 시스템을 정확하게 수학적으로 모델링을 해야만 한다. 일반적으로 사용되는 모델링은 시스템에 적용되는 물리적인 특성을 관찰하여 물리적인 법칙을 적용하여 시스템을 수학적으로 모델링하게 된다. 이때 사용되는 변수들은 각각 물리적인 의미를 가진다. 그러나 현대 사회에서 사용되는 시스템은 복잡하고 다양화 되는 추세이며, 이에 따라 고차원 시스템을 수학적으로 정확하게 모델링 하기란 쉽지 않다. 따라서 물리적인 법칙을 토대로 모델링한다는 것은 쉽지 않을 뿐만 아니라 모델을 구한다 하더라도 시스템 상수를 정확하게 구하기 힘들다. 이와 같은 시스템에 적용되는 방법으로 시스템 식별법(System Identification)이 있다.

시스템 식별법은 정확하게 구하기 힘든 시스템 상수가 존재하거나, 수학적으로 표현하기 어려운 특성을 가진 시스템이나, 물리학적 지식만으로 완전한 모델을 구할 수 없을 경우에 사용된다. 시스템 식별법은 같은 미지의 시스템에 적절한 실험을 통해 실제 시스템과 같은 특성을 갖는 모델을 구하는 방법이다. 시스템 식별 방법으로 크게 nonparametric 방법과 parametric 방법으로 나뉜다. 본 연구에서는 평판 능동 진동 시스템의 전달함수를 구하기 위해 동적 모델의 파라미터를 직접 추정하는 parametric 방법을 사용했으며, 시스템 구조는 ARMAX 구조를 사용했다. 또한 본 연구에서 사용된 시스템의 특징은 비선형시스템이며, MIMO시스템이다. 그리고 평판

능동 진동 시스템의 고유 진동주파수가 각 모드별로 수없이 많다. 본 시스템을 선형화하기 위해 3개의 진동주파수만을 고려하였으며, 선형화된 시스템을 통해 입력력 자료를 수집하고 이를 이용하여 전달함수를 추정하였다.

2. 본 론

2.1 평판 능동 진동 시스템

본 연구에서 사용되는 평판 능동 진동 시스템은 그림 1, 그림2와 같이 구성되어 있다. 평판 능동 진동 시스템은 유연체로 된 평판, 압전 센서와 액츄에이터로 구성되어 있으며, 외부 구성으로는 평판을 가진시키기 위한 파워 앰프와 압전 센서로부터 얻은 신호를 증폭시키기 위한 전압 증폭기로 구성되어 있다. 액츄에이터는 평판의 하단의 중심으로부터 두 액츄에이터가 서로 비대칭으로 부착했으며, 압전 센서 역시 평판의 중심으로부터 두 센서가 서로 서로 비대칭 되게 부착하였다.

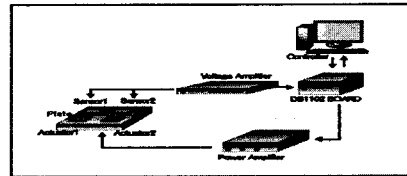


그림 1 평판능동진동 시스템의 구성도



그림 2 실제 시스템 구성도

저자 소개

- * 準 會 員 : 成均館大學 電子電氣工學科 碩士課程
- ** 準 會 員 : 成均館大學 電子電氣工學科 碩士課程
- *** 正 會 員 : 成均館大學 電子電氣工學科 助教授 · 工博

평판 능동 진동 시스템의 동작은 파워 앰프를 사용하여 고전압을 액츄에이터에 인가하여 평판이 진동할 수 있게 가전을 시키고, 이 진동에 대한 변위에 따라 압전 센서로부터 평판의 진동을 검출하게 되며, 압전 센서의 검출 값은 전압의 형태로 나타난다. 이때 검출된 전압은 수 m volt로, 이 전압은 증폭기를 거쳐 dSPACE에서 사용 가능한 전압을 만들었다. 또한 평판 능동 진동 시스템의 동작은 고유 진동수에 따라 모드별로 나타낼 수 있으며, 저주파 영역에서부터 고주파 영역까지 무한대로 분포되어 있다. 본 연구에서는 저주파에 대한 진동을 제어하는 것이 목적이므로 이 시스템에 영향을 가장 많이 주는 세 번째까지의 고유 진동수에 해당하는 모드만을 고려하였다.

2.2 시스템 식별

시스템 식별 절차는 그림 2와 같이 실험의 계획, 자료 수집, 모델 구조의 선택, 모델 선정 방법 선택, 파라미터 추정, 모델 검증의 순서로 구성되며, 이와 같은 과정을 반복하게 된다. [1], [2]

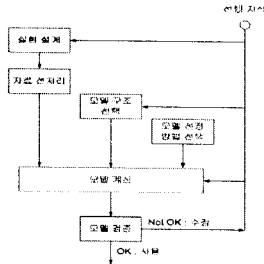


그림 3 시스템 식별 절차

2.2.1 ARMAX 모델

ARMAX 모델 구조는 다음과 같다. [3],[5]

$$A(q)y(t) = B(q)u(t) + C(q)e(t) \quad (1)$$

식 1을 전달함수 형태로 바꾸면 다음과 같다. [3]

$$C(q, \theta) = \frac{H(q)}{A(q)}, \quad H(q, \theta) = \frac{C(q)}{A(q)} \quad (2)$$

이 모델은 백색 잡음의 moving average로서 방정식의 오차 항을 나타낸다. [5]

2.3 실험 설계

2.3.1 PRBS (Pseudo Random Binary Signal) 생성

시스템 식별에 사용되는 입력 신호로는 시스템의 전체적인 특징을 잘 나타내는 입력을 사용해야 한다. 본 논문에서 사용되는 입력신호는 백색잡음의 특성을 잘 나타내는 PRBS(Pseudo Random Binary Signal)을 사용하였다. 이 신호는 0.4V와 -0.4V의 크기를 가지며, 3모드까지 고려할 수 있게 주파수를 선택하였다. 개루프 형태의 식별을 통한 PRBS신호를 Matlab을 이용하여 생성하였으며, 샘플링 자료는 1200개, 샘플링 간격은 0.005초로 하였다.

2.3.2 입출력 자료

각 입출력 자료는 PRBS 신호를 각 액츄에이터 인가하여 각 액츄에이터 하나당 각각의 센서의 출력을 dSPACE TRACE를 이용하여 얻었다. [4]

그림 4은 각 액츄에이터에 인가된 PRBS신호에 따른 각 센서의 출력을 나타낸다.

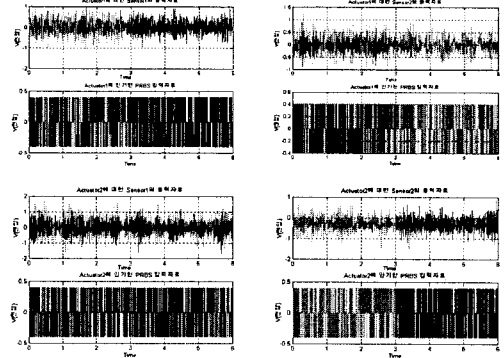


그림 4 입/출력 자료

2.3.3 실험 절차

실험절차는 dSPACE TRACE를 이용하여 입/출력 자료를 얻었으며, 수집된 입/출력 자료를 ARMAX 모델에 적용하였다. ARMAX 모델의 각각의 다항식의 차수를 바꿔가면서 실험을 하였고 가장 예측오차가 작은 차수를 적용하여 실험 결과를 얻었다.

2.4 실험 결과

입/출력 자료를 수집하여 MATLAB의 GUI-Identification 프로그램을 사용하여 시스템 식별을 하였다. 시스템 구조는 ARMAX 모델을 이용하였고, Model Validation은 residual test중 Autocorrelation test와 Cross-correlation test를 사용하였다.

그림 5, 그림 6, 그림 7, 그림 8은 실제 출력 값과 추정된 출력 값을 그래프로 나타내며 추정성능은 각 상관관계 그래프에서 confidence level 안에 그래프가 놓여 있는 것으로 만족할 만한 추정성능을 보임을 알 수 있다. 각 식별에서 추정된 출력이 실제 출력을 추정하는 비율이 약 85%에서 90%로 추정 모델의 정확성을 입증할 수 있다.

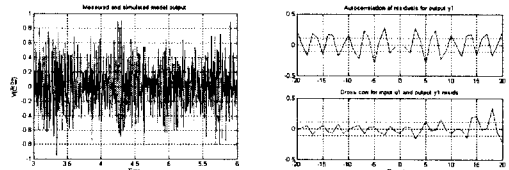


그림 5 액츄에이터1과 센서1에 대한 시뮬레이션 결과

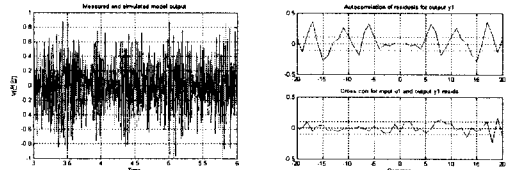


그림 6 액츄에이터1과 센서2에 대한 시뮬레이션 결과

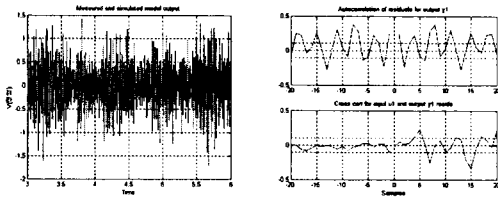


그림 7 액츄에이터2와 센서1에 대한 시뮬레이션 결과

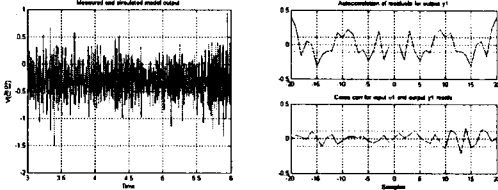


그림 8 액츄에이터2와 센서2에 대한 시뮬레이션 결과

G_{11} 은 액츄에이터1과 센서1에 대한 입출력 전달함수이며, H_{11} 은 외란과 센서1에 대한 잡음 대 출력에 대한 전달함수이다.

G_{12} , H_{12} , G_{21} , H_{21} , G_{22} , H_{22} 역시 G_{11} , H_{11} 과 같은 관계를 가지고 있다.

이 실험으로부터 얻은 평판 능동 진동 시스템의 전달함수를 다음과 같다.

$$G_{11} = \frac{36.03s^{10} - 9385s^9 + 2.775e^7s^8 + 2.591e^9s^7 + 6.795e^{12}s^6 + 3.489e^{15}s^5 + 4.955e^{17}s^4 + 5.147e^{20}s^3 + 4.372e^{21}s^2 + 7.088e^{24}s - 4.383e^{25}}{s^{11} + 280.1s^{10} + 1.026e^6s^9 + 2.076e^8s^8 + 3.589e^{11}s^7 + 4.907e^{13}s^6 + 4.928e^{16}s^5 + 3.911e^{18}s^4 + 2.256e^{21}s^3 + 8.763e^{22}s^2 + 2.554e^{25}s + 5.676e^{28}}$$

$$H_{11} = \frac{0.0821s^{11} + 34.38s^{10} + 8.172e^4s^9 + 2.582e^7s^8 + 2.677e^{10}s^7 + 6.159e^{12}s^6 + 3.253e^{15}s^5 + 4.86e^{17}s^4 + 1.154e^{20}s^3 + 1.183e^{22}s^2 + 9.04e^{23}s + 5.254e^{25}}{s^{11} + 280.1s^{10} + 1.026e^6s^9 + 2.076e^8s^8 + 3.589e^{11}s^7 + 4.907e^{13}s^6 + 4.928e^{16}s^5 + 3.911e^{18}s^4 + 2.256e^{21}s^3 + 8.763e^{22}s^2 + 2.554e^{25}s + 5.676e^{28}}$$

$$G_{12} = \frac{-59.89s^9 - 3.191e^4s^8 - 4.174e^7s^7 - 1.602e^{10}s^6 - 7.547e^{12}s^5 - 1.922e^{15}s^4 - 2.824e^{17}s^3 + 4.576e^{16}s^2 - 2.13e^{21}s + 4.31e^{22}}{s^{10} + 221.9s^9 + 7.647e^5s^8 + 1.341e^8s^7 + 2.016e^{11}s^6 + 2.406e^{13}s^5 + 2.17e^{16}s^4 + 1.306e^{19}s^3 + 8.594e^{20}s^2 + 1.653e^{22}s + 9.305e^{24}}$$

$$H_{12} = \frac{0.07512s^{10} + 22.12s^9 + 5.319e^4s^8 + 1.332e^7s^7 + 1.279e^{10}s^6 + 2.428e^{12}s^5 + 1.208e^{15}s^4 + 1.41e^{17}s^3 + 4.175e^{19}s^2 + 2.401e^{21}s + 3.962e^{23}}{s^{10} + 221.9s^9 + 7.647e^5s^8 + 1.341e^8s^7 + 2.016e^{11}s^6 + 2.406e^{13}s^5 + 2.17e^{16}s^4 + 1.306e^{19}s^3 + 8.594e^{20}s^2 + 1.653e^{22}s + 9.305e^{24}}$$

$$G_{21} = \frac{37.52s^{11} - 4.371e^4s^{10} - 2.741e^7s^9 - 6.506e^{10}s^8 - 3.212e^{13}s^7 - 2.681e^{16}s^6 - 7.378e^{18}s^5 - 3.629e^{21}s^4 - 4.528e^{23}s^3 - 9.043e^{25}s^2 - 6.957e^{27}s - 6.763e^{29}}{s^{12} + 563.8s^{11} + 1.484e^6s^{10} + 5.783e^8s^9 + 7.915e^{11}s^8 + 2.041e^{14}s^7 + 1.891e^{17}s^6 + 2.88e^{19}s^5 + 2.004e^{22}s^4 + 1.42e^{24}s^3 + 8.022e^{26}s^2 + 1.713e^{28}s + 8.701e^{30}}$$

$$H_{21} = \frac{0.1234s^{12} + 98.65s^{11} + 1.878e^5s^{10} + 1.005e^8s^9 + 9.682e^{10}s^8 + 3.511e^{13}s^7 + 2.035e^{16}s^6 + 4.897e^{18}s^5 + 1.841e^{21}s^4 + 2.36e^{23}s^3 + 6.018e^{25}s^2 + 2.921e^{27}s + 5.447e^{29}}{s^{12} + 563.8s^{11} + 1.484e^6s^{10} + 5.783e^8s^9 + 7.915e^{11}s^8 + 2.041e^{14}s^7 + 1.891e^{17}s^6 + 2.88e^{19}s^5 + 2.004e^{22}s^4 + 1.42e^{24}s^3 + 8.022e^{26}s^2 + 1.713e^{28}s + 8.701e^{30}}$$

$$G_{22} = \frac{184.2s^{10} + 1.769e^5s^9 + 1.652e^8s^8 + 7.946e^{10}s^7 + 5.414e^{13}s^6 + 1.057e^{16}s^5 + 6.199e^{18}s^4 + 5.012e^{20}s^3 + 2.229e^{22}s^2 + 5.124e^{24}s - 1.274e^{24}}{s^{11} + 1174s^{10} + 1.389e^6s^9 + 7.779e^8s^8 + 5.338e^{11}s^7 + 1.685e^{14}s^6 + 7.441e^{16}s^5 + 1.424e^{19}s^4 + 3.842e^{21}s^3 + 3.923e^{23}s^2 + 5.959e^{25}s - 1.011e^{24}}$$

$$H_{22} = \frac{0.09032s^{11} + 109.9s^{10} + 1.263e^5s^9 + 7.28e^7s^8 + 4.821e^{10}s^7 + 1.608e^{13}s^6 + 6.216e^{15}s^5 + 1.416e^{18}s^4 + 2.95e^{20}s^3 + 4.068e^{22}s^2 + 3.509e^{24}s - 7.167e^{24}}{s^{11} + 1174s^{10} + 1.389e^6s^9 + 7.779e^8s^8 + 5.338e^{11}s^7 + 1.685e^{14}s^6 + 7.441e^{16}s^5 + 1.424e^{19}s^4 + 3.842e^{21}s^3 + 3.923e^{23}s^2 + 5.959e^{25}s - 1.011e^{24}}$$

3. 결 론

본 연구에서는 평판 능동 진동 시스템의 전달함수를 식별 하는데 parametric 방법 중 ARMAX 모델 구조를 이용하여 전달함수를 구하였다. 실험은 개루프 실험을 통해 입력과 출력의 자료를 얻었으며, 이 자료를 ARMAX 모델 구조에 적용하여 시스템 식별을 하였다. 실험 결과 모든 예측된 모델의 특성이 실제 모델의 특성과 동일하게 나타남을 확인할 수 있었다. 따라서 비교적 정확한 전달함수를 구하였고 이를 이용하여 평판 능동 진동 시스템의 진동을 제어 할 수 있는 제어기를 설계 할 수 있을 것으로 생각된다. 또한, 전달함수를 물리적인 법칙으로 얻기 힘든 시스템이나, 복잡한 시스템을 모델링하는데 시스템 식별이 도움이 될 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Lennart Ljung, "System Identification Theory for the user", Prentice Hall, 1999.
- [2] Rolf Johansson, "System Modeling and Identification", Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1993.
- [3] Lennart Ljung, "System Identification Toolbox For Use with MATLAB", The MathWorks Inc., May 1995.
- [4] 최수영, "아라고 원판 시스템을 이용한 파라미터 모델 식별에 관한 연구", 2001년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2001.7.18-20.
- [5] Stacy S. Wilson, Charles L. Carnal, "System Identification with disturbances", Department of Electrical Engineering Tennessee Technological University Cookeville, TN 38505