

평판 능동 진동 시스템의 전달함수 식별에 관한 연구

이재호\*, 안재홍\*\*, 강기원\*\*\*, 박기현\*  
 \*성균관 대학교, \*\* SK 커뮤니케이션즈, \*\*\*정보통신연구진흥원

A Study on Transfer Function Identification of Plate Activity Vibration System

Jeaho Lee\*, Jaehong Ahn\*\*, Kiwon Kang\*\*\*, Kiheon Park\*  
 \*Sungkyunkwan University, \*\*SK Communications, \*\*\*Institute of Information Technology Assessment

**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.

1. 서 론

시스템을 안전하고 효율적으로 제어하기 위해서는 시스템의 정확한 수학적 모델이 필요하게 된다. 일반적으로 시스템을 모델링하는 데는 두 가지 방법이 있다. 첫 번째는 시스템에 적용된 물리적인 법칙을 이용하여 모델링하는 방법, 두 번째는 시스템에 실험을 통해 모델을 얻는 시스템 식별법(System Identification)이 있다. 물리적인 법칙을 이용하여 구한 모델에서 모델링에 사용된 여러 변수는 물리적인 의미를 갖는다. 그러나 물리적 법칙을 적용할 수 없는 시스템이나, 이를 적용한다 하더라도 시스템 상수를 정확하게 구하기 힘든 경우에는 물리적인 법칙으로 완전한 시스템 모델을 구하는 것이 힘들다. 따라서 이런 문제를 적절하게 해결할 수 있는 방법으로는 시스템 식별법이 있다.

시스템 식별은 시스템의 실험을 통해서 관측된 자료를 가지고 동적 모델의 수학적 모델을 찾는 것으로 시스템의 분석이나 제어를 위해 대상 시스템의 수학적 모델을 선정하여 식별하고 평가하는 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, 일반적으로 파라미터를 추정하는데 있어서 비교적 정확한 ARMAX 모델을 이용하여 전달함수를 추정하였다.

2. 본 론

2.1 평판 능동 진동 시스템

본 연구에서 사용되는 평판 능동 진동 시스템은 그림 1 와 같이 구성되어 있다. 평판 능동 진동 시스템은 유연체로 된 평판, 압전 센서와 액추에이터로 구성되어 있으며, 외부 구성으로는 평판을 가진시키기 위한 파워 앰프와 압전 센서로부터 얻은 신호를 증폭시키기 위한 전압 증폭기로 구성되었다. 액추에이터는 평판의 하단 중앙에 부착했으며, 압전 센서는 평판의 중심으로부터 두 센서가 서로 대칭되게 부착하였다.

평판 능동 진동 시스템의 동작은 파워 앰프를 사용하여 고전압을 액추에이터에 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 volt 로, 이 전압은 증폭기를 이용하여 dSPACE에서 사용 가능한 전압을 만들었다. 또한 평판 능동 진동 시스템의 동작은 고주 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 고주 진동수에 해당하는 모드만을 고려하였다.

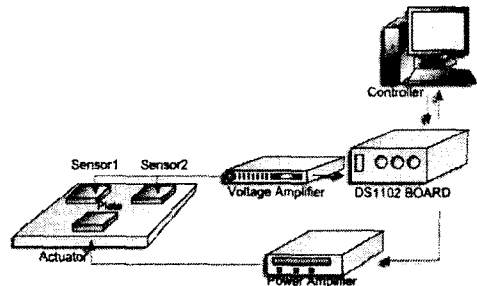


그림 1 평판 능동 진동 시스템의 구성도

2.2 시스템 식별

일반적인 시스템의 식별 절차는 그림 2와 같이 표현할 수 있다.[1],[2]

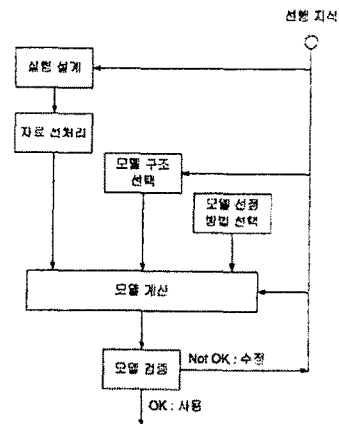


그림 2 시스템 식별 절차

2.2.1 일반적인 구조의 선형 모델

단일 출력에 대한 일반적인 선형 모델은 다음과 같다.

$$A(q)y(t) = \sum_{i=1}^n \frac{B_i(q)}{F_i(q)} u_i(t-nk) + \frac{C(q)}{D(q)} \alpha(t) \quad (1)$$

여기서  $u_i$ 는 입력,  $y(t)$ 는 출력,  $A, B_i, C, D, F_i$ 들은 다항 식이고,  $nk$ 는 time-delay이다.

### 2.2.2 특별한 경우에서의 모델

parametric 식별 방법에서 사용되는 대표적인 모델은 ARX 모델, ARMAX 모델, OE(Output Error) 모델, BJ(Box Jenkins) 모델이 있다. 본 연구에서는 일반적으로 파라미터 추정 성능이 좋은 ARMAX 모델을 사용하였다. 각 모델의 구조는 다음과 같다.

#### 2.2.2.1 ARX 모델

ARX 모델 구조는 다음 식과 같다.[3]

$$A(q)y(t) = B(q)u(t-nk) + \alpha(t) \quad (2)$$

이 모델은 덧셈항의 오차 항을 가지는 선형 방정식으로 나타내며 여기서  $\alpha(t)$ 는 백색 잡음을 나타낸다.

#### 2.2.2.2 ARMAX 모델

ARMAX 모델 구조는 다음 식과 같다.[3]

$$A(q)y(t) = B(q)u(t-nk) + C(q)\alpha(t) \quad (3)$$

이 모델은 백색 잡음의 moving average로서 방정식의 오차 항을 나타낸다.

#### 2.2.2.3 OE(Output Error) 모델

OE(Output Error) 모델 구조는 다음과 같다.[3]

$$y(t) = \frac{B(q)}{F(q)} u(t-nk) + \alpha(t) \quad (4)$$

여기서  $\alpha(t)$ 는 백색 잡음을 나타낸다.

#### 2.2.2.4 BJ(Box Jenkins) 모델

BJ(Box Jenkins) 모델 구조는 다음과 같다.[3]

$$y(t) = \frac{B(q)}{F(q)} u(t-nk) + \frac{C(q)}{D(q)} \alpha(t) \quad (5)$$

BJ 모델은 미지의 파라미터를 가지는 유리함수의 외란 전달함수를 가지며, 매우 일반적인 형태를 취한다.

## 2.3 실험 설계

시스템 식별에 사용되는 입력 신호로는 무한개의 주파수를 가진 백색 잡음을 사용하였다. 이 신호는 펄스 폭과 구형파의 크기가 매우 불규칙적으로 변한다. 이런 구형 펄스 파를 엑추에이터에 인가하였다. 그림 3에서와 같이 평판 능동 진동 시스템에 입력으로 백색 잡음을 인가하였고 개루프 형태의 식별을 통해 입/출력 자료를 얻었다.[4]



그림 3 개루프 실험 블록 선도

실험에 사용되는 백색 잡음은 Matlab을 이용하여 만들

었으며, 샘플링 자료는 1000개, 샘플링 간격은 0.001초로 하였다. 시스템 식별에 사용되는 백색 잡음은 다음 그림 4와 같다.

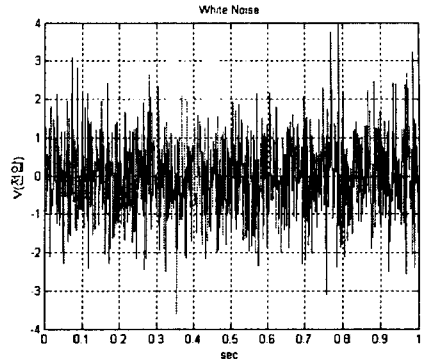


그림 4 시스템 식별에 이용되는 백색 잡음

## 2.4 실험 결과

### 2.4.1 입/출력 자료

실험을 통해 얻어진 입/출력 자료는 다음 그림 5와 그림 6과 같다. dSPACE TRACE를 이용하여 각 자료를 수집하였으며, 그림 5와 같이 입력은 엑추에이터에 가해진 전압[V]이고, 그림 6과 같이 출력은 센서1, 센서2에서 얻은 각각의 전압의 형태로 나타난다.

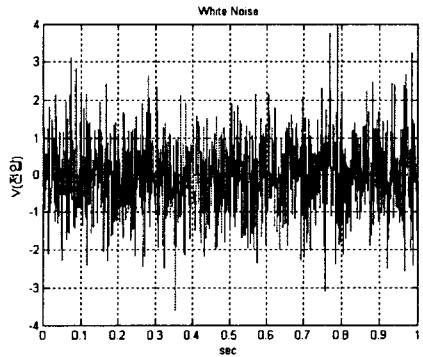


그림 5 실험으로 수집한 입력 자료

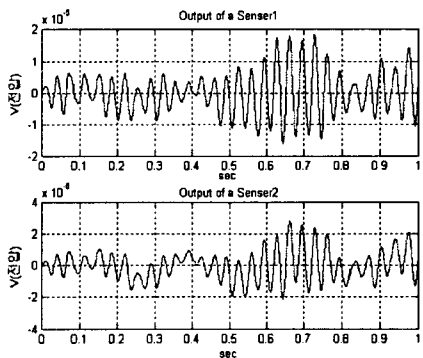


그림 6 실험으로 수집한 출력 자료

### 2.4.2 결과

입/출력 결과를 이용하여 각 모델의 추정된 출력값과 실제 출력값의 비교와 예측오차는 그림 7, 그림 8과 같이 나타내었다. 그림 7은 센서1에 대한 두 출력값 비교와 예측오차를 나타내며, 그림 8은 센서2에 대한 두 출력값 비교와 예측오차를 나타낸다. 이 두 실험 결과는 ARMAX 모델을 이용하여 얻은 그래프이다.

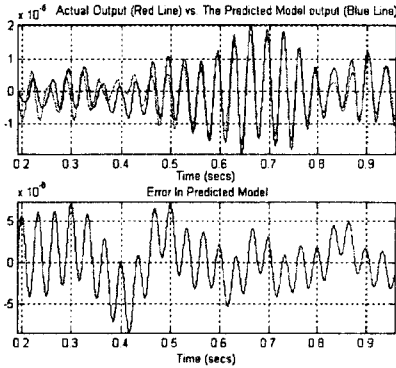


그림 7 센서1에 대한 추정된 출력값과 실제 출력값 비교와 예측 오차에 대한 그래프

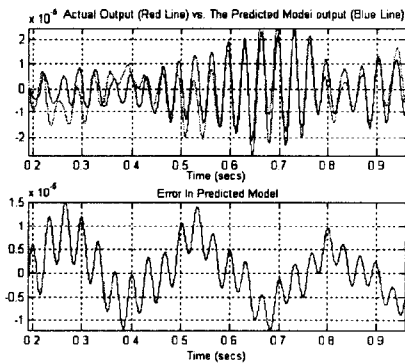


그림 8 센서2에 대한 추정된 출력값과 실제 출력값 비교와 예측 오차에 대한 그래프

그림 7과 그림8에서 보는 것과 같이 ARMAX 모델 구조를 사용하여 얻은 결과는 실제 출력과 예측된 모델의 출력이 거의 비슷한 출력을 얻었으며 각 그림에서처럼 예측 오차가 매우 작음을 확인할 수가 있다. 이 그림들은 ARMAX 모델의 각각의 다항식의 차수를 바꿔가면서 실험을 하였고 가장 예측 오차가 적은 차수를 적용하여 얻은 결과이다.  $A\phi, B\phi, C\phi$ 의 차수를 각각 5차로 하였다. 이 실험으로부터 얻은 평판 능동 진동 시스템의 전달함수를 다음과 같이 구하였다.

$$G_{11} = \frac{0.151s^4 + 67.27s^3 + 1.498e^6s^2 + 2.721e^6s + 4.654e^9}{s^6 + 452s^5 + 9.96e^6s^4 + 9.711e^7s^3 + 3.679e^{11}s^2 + 2.849e^{12}s + 7.211e^{14}} \quad (6)$$

$$G_{12} = \frac{0.1867s^4 + 80.62s^3 + 1.852e^6s^2 - 2943e^6s + 2.542e^9}{s^6 + 434.5s^5 + 9.953e^6s^4 + 2.632e^7s^3 + 3.6e^{11}s^2 + 2.814e^{12}s + 7.843e^{14}} \quad (7)$$

$G_{11}$ 은 액추에이터의 입력과 센서1의 출력 사이의 전달 함수 이고,  $G_{12}$ 는 액추에이터의 입력과 센서2의 출력 사이의 전달함수를 나타낸다. 두 전달함수가 다르게 나타나는 것은 평판의 물성이 대칭적으로 같이 않은 경우, 두 압전 센서의 부착이 정확하게 대칭되지 않은 경우 그리고 두 압전 센서의 전기적은 특성이 동일하지 않다는 것의 원인으로 추정된다.

### 3. 결 론

본 연구에서는 평판 능동 진동 시스템의 전달함수를 식별하는데 parametric 방법 중 ARMAX 모델 구조를 이용하여 전달함수 구하였다. 실험은 개루프 실험을 통해 입력과 출력의 자료를 얻었으며, 이 자료를 ARMAX 모델 구조에 적용하여 시스템 식별을 하였다. 또한 이 실험에서는 외란이 시스템에 영향을 미치지 않는 조건과 입력과 출력이 서로 독립이란 가정 하에 시스템 식별을 하였으므로 좋은 결과를 얻을 수 있었다. 본 연구에서 얻은 전달함수를 이용하여 평판 능동 진동 시스템의 진동을 제어 할 수 있는 제어를 설계할 수 있을 것으로 생각한다. 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.

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원 (R-2003-B-070-0-00) 주관으로 수행된 과제임