

건축구조물의 지진응답제어를 위한 시스템 식별의 실험적 연구⁽¹⁾

Experimental Study of System Identification for Seismic Response Control of Building Structure

토의자 : 문 석 준*

Discussion by Moon, Seok Jun

1. 서 론

건축 구조물의 system identification은 structural control 측면에서 매우 중요한 분야이며, 계속해서 많은 연구가 수행되어야 할 것입니다. 이런 면에서 본 연구는 매우 바람직한 시도로 판단됩니다. 다음은 본 논문을 읽으면서 의문시된 내용을 정리한 것입니다. 저자의 성실한 답변을 부탁드립니다.

1. 표 1은 AMD가진시 가진입력의 설정에 따른 1자유도 시스템의 동적특성치 변화를 보여주고 있으나, 시스템의 동적 특성치(고유진동수, 감쇠비등)는 가진 입력에 의해 변경되지 않는 고유한 특성치입니다. 따라서 표 1은 수정되어야 할 것으로 사료됩니다.
2. P.50과 p.51에서 저자는 LVDT의 스프링에 의해 구조물의 강성 및 감쇠가 바뀐다고 기술하고 있으며, 그림에도 불구하고 같은 종류의 LVDT를 사용하고 있습니다. 이는 본 실험적 연구에 부적절하며, LVDT의 선정이 잘못된 것으로 사료됩니다. 가능하다면 스프링이 없는 LVDT의 사용이 현명할 것으로 생각합니다. 만약 구조물의 강성 및 감쇠에 영향을 주는 LVDT를 사용할 경우 LVDT의 동 특성을 수학적으로 모델링하여 전체 시

스템 모델링에 포함시켜야 할 것입니다. 저자는 이러한 절차를 거치지 않았으며, 시험 결과의 신뢰성에 문제가 있을 것으로 사료됩니다.

3. 그림 10~12는 AMD의 상대가속도에 대한 각 층에서의 전달함수를 도시하고 있습니다. 일반적으로 가속도계에서 계측되는 물리적 양은 절대가속도이며, 본 시험에서 특별한 계측기를 사용하지 않았다면, 역시 절대가속도가 계측되었을 것으로 판단됩니다. 상대가속도는 어떻게 계측했는지, 왜 상대가속도를 사용하고 있는지 등의 기술이 필요할 것으로 사료됩니다. 또한 5.2장 시스템 식별의 AMD의 동적 특성 규명에서 기술한 상대가속도는 바닥이 고정되어 있으므로 상대가속도라고 하기보다는 절대가속도라는 표현을 사용하는 것이 옳을 것으로 사료됩니다.
4. 결론에서 저자는 3층 전단 건물의 시스템 식별결과 8개의 고유모드를, AMD의 시스템 식별결과 2개의 고유모드를 얻었다고 기술하고 있습니다. 그러나 상태방정식에서 구한 것은 고유모드가 아니고 고유벡터(eigenvector)인 것으로 판단됩니다. 고유 모드라는 것은 구조물의 고유 진동형으로서, 3층 전단 건물의 고유모드는 3개이며(AMD를 포함할 경우는 4개), AMD는 1개의 고유모드를 갖습니다. 따라서 결론에 기술한 8개의 고유모드(건물) 및 2개의 고유모드(AMD)는 4개의 고유모드(건물) 및 1개의 고유모드(AMD) 내용은 수정해야 할 것으로 사료됩니다.

(1) 원저자 : 주석준, 박지훈, 민경원, 홍성목, 제3권 제4호 / 1999년 12월

* 정회원 · 한국기계연구원 구조시스템연구부 선임연구원

회답자 : 홍성목*
Closure by Hong, Sung Mok

먼저 토의자의 시스템 식별의 실험적인 연구에 대한 관심과 질의사항을 보내주신 열의에 감사드립니다. 질의 사항에 대하여 항목별로 답변 드리면 다음과 같습니다.

1. 토의자가 언급한 바와 같이 시스템의 동적 특성치는 시스템이 동일할 경우 가진입력의 형태에 따라 변화하지 않습니다. 그러나 AMD에 의한 가진입력을 AMD 이동질량의 상대가속도 또는 절대가속도로 설정하는 것은 시스템 식별의 대상이 되는 시스템에 AMD 이동질량을 포함 또는 제외하는 것을 의미하며, 이것은 시스템이 달리 정의되는 것을 의미합니다. 따라서 표 1의 동적 특성치의 변화는 동일한 시스템에 대한 사항이 아니라, 가진입력의 설정에 따른 시스템의 변화와 이에 따른 동적 특성치의 변화로 볼 수 있습니다. 시스템의 변화는 운동방정식의 차이로부터 확인할 수 있습니다.
2. 시스템 식별은 그림 19의 입력과 출력 사이의 구조시스템에 대한 수학적 모델을 구하는 것입니다. 이 때의 구조시스템은 입력에 의하여 출력에 영향을 미치는 모든 구성요소를 포함합니다. 본 연구에서 변위계로 사용된 LVDT는 건물모델의 강성, 감쇠를 변화시키는 하지만 기동과 같은 구조시스템의 일부로 볼 수 있으며 기동과 마찬가지로 별도의 시스템 식별을 필요로 하지 않습니다. 여기서 중요한 것은 LVDT가 설치된 건물모델이 실제 건축구조물의 동적 특성을 나타낼 수 있는 것입니다. 이는 시스템 식별로 파악된 건물모델의 고유주파수(표 3), 감쇠비(표 4)로

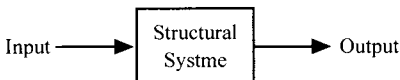


그림 19 시스템 식별을 위한 입력력 다이어그램

부터 확인되었습니다. 그러나 접촉식의 LVDT에 의한 건물모델의 동적 특성의 변화가 바람직하지 않거나, 시스템 식별의 대상이 되는 시스템에서 의도적으로 LVDT를 제외하고자 한다면 비접촉식의 LVDT를 별도로 설치하는 것이 바람직하다고 생각합니다.

그리고 제어기의 설계 및 제어실험은 시스템 식별 실험과 동일하게 LVDT가 설치된 건물 모델을 대상으로 일관되게 수행하면 됩니다.

3. 시스템 식별에 사용될 시간이력 데이터를 구하기 위하여 진동대 바닥판과 각 층 바닥판, 그리고 AMD 이동질량에 각각 가속도계를 설치하였습니다. 각 가속도계로부터 설치된 지점의 절대가속도가 측정됩니다. AMD 이동질량의 3층에 대한 상대가속도는 AMD 이동질량의 절대가속도에서 3층의 절대가속도를 감하여 식(16)과 같이 계산할 수 있습니다.

$$\ddot{x}_d(t) = \ddot{x}_a(t) - y_3(t) \quad (16)$$

이렇게 구한 AMD 이동질량의 상대가속도는 3층의 절대가속도와는 무관하며, AMD 모터 구동신호 u 와 직접적인 관계를 갖게 됩니다. 이로부터 그림 20의 폐회로 루프의 구성이 용이하게 됩니다. 그리고 4.2절에서 보인 바와 같이 시스템 식별을 위한 데이터 취집할 때 AMD 가진시의 가진입력을 AMD 이동질량의 절대가속도(상대가속도)로 설정할 경우에는 진동대 가진시에 AMD 이동질량을 제거(부착)하여야 하는데, 본 연구에서는 AMD 이동질량의 분리가 어려워 AMD에 의한 가

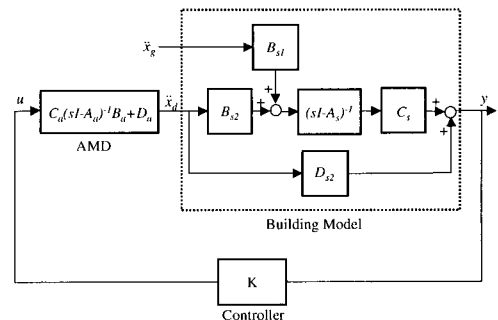


그림 20 응답제어를 위한 폐회로 루프

* 정희원 · 서울대학교 건축공학과 교수

진입력을 AMD 이동질량의 상대가속도로 지정하였습니다.

그림 10~12의 시스템 식별 결과의 검증에 사용된 AMD 이동질량의 상대가속도로부터 각 층 절대가속도로의 전달함수 $G(s)$ 는 먼저 주파수 분석기를 이용하여 AMD 이동질량의 절대가속도로부터 각 층 절대가속도로의 전달함수 $\bar{G}(s)$ 를 구하고, 이를 수식적으로 처리하여 구할 수 있습니다. $\bar{G}(s)$ 에 대한 수식적인 처리 과정은 식 (17)~(21)로 기술할 수 있습니다. 먼저 각 층의 절대가속도와 AMD 이동질량의 상대가속도 또는 절대가속도 사이의 관계식을 다음과 같이 표현할 수 있습니다.

$$Y(s) = \bar{G}(s)X_a(s) \quad (17)$$

$$Y(s) = G(s)X_d(s) \quad (18)$$

여기서 $Y(s) = [Y_1(s), Y_2(s), Y_3(s)]^T$

$Y_i(s) = Y_i(t)$ 의 라플라스 변환

$X_a(s) = \ddot{x}_a(t)$ 의 라플라스 변환

$X_d(s) = \ddot{x}_d(t)$ 의 라플라스 변환

그리고 AMD 이동질량의 절대가속도는 AMD가 설치된 3층의 절대가속도와 AMD 이동질량의 상대가속도의 합이므로 다음 식이 성립됩니다.

$$X_a(s) = Y_3(s) + X_d(s) = [0 \ 0 \ 1]Y(s) + X_d(s) \quad (19)$$

식 (19)를 식 (17)에 대입하여 $Y(s)$ 와 $X_d(s)$ 에 대하여 정리하면 다음과 같습니다.

$$Y(s) = (I - \bar{G}(s)[0 \ 0 \ 1])^{-1} \bar{G}(s)X_d(s) \quad (20)$$

식 (18)과 식 (20)을 비교하여, $G(s)$ 는 $\bar{G}(s)$ 로부터 다음과 같이 구할 수 있습니다.

$$G(s) = (I - \bar{G}(s)[0 \ 0 \ 1])^{-1} \bar{G}(s) \quad (21)$$

4. 토의자가 지적하신 바와 같이 결론 부분의 일부 문구가 본문의 내용과 일치하지 않으므로 다음과 같이 수정하고자 합니다. 결론(3)의 "8개의 고유모드들"을 "4개의 고유모드들"로, 결론(4)의 "두개의 모드들"을 "하나의 모드들"로 수정합니다.