

System Identification이란 무엇인가?

고 봉 환*

(동국대학교 기계로봇에너지공학과)

가끔씩 한글로 표현된 어떤 용어를 영어로 번역하는 것 보다 영어로 표현된 문장을 한글로 바꾸기가 더 어려울 때가 있다. 아마 System Identification(SI)이란 연구 분야명이 바로 그러한 예가 될 것 같다. 흔히 우리나라 학계에서는 “시스템 식별, 시스템 규명” 등 여러 가지 표현이 혼용되어 사용되는데, 필자가 생각하기에 딱히 그 의미를 제대로 표현한 예를 아직 찾지 못한 것 같다. 필자가 SI란 단어를 처음으로 접한 것은 유학시절 대학원 과목을 수강하면서 부터였다. 과목 이름이 System Identification이었는데, 왠지 모르게 신기하고 재미가 있을 것 같아서 잔뜩 기대하고 강의를 들었던 기억이 난다. 너무나 행복하게도 SI분야에서 세계적으로 명망이 높으신 Minh Phan 교수로부터 직접 강의를 들을 수 있는 호사 또한 누리게 되었다.

한마디로 표현한다면 SI란 실험적 데이터를 활용하여 물리적인 시스템의 수학적 모델을 개발하거나 향상시키는 과정을 의미한다. 여기서 말하는 실험적 데이터란 시스템의 입출력 신호가 될 수 있을 것이고, 수학적 모델이란 시스템의 특성을 표현하는 일종의 전달함수(transfer function)와 같은 의미를 가질 수 있다(그림 1 참조). 사실 이 분야는 현대 공학의 짧은 역사 속에서도 꽤 오랜 역사와

전통을 가지고 있는 분야이기도 하다. 흔히 우리가 접하는 주파수 분석(frequency analysis)도 일종의 SI라고 할 수 있다. 특정 시스템이 가지고 있는 고유한 주파수 성분을 외부에서 자극하여, 그 시스템의 동적 특성을 파악하는 것도 일종의 SI라고 볼 수 있기 때문이다.

모드 해석과 같은 전통적인 전달함수에 기반한 SI기법 이외에, 1980년대 접어들면서 항공우주 구조물의 제어와 관련된 기술의 급속한 발전과 더불어 시간영역(time-domain)에서의 SI가 많은 발전을 이루었다. 특히, 상태-공간모델(state-space model)상에서 입출력 정보를 통해 시스템의 eigen-structure를 구현하는

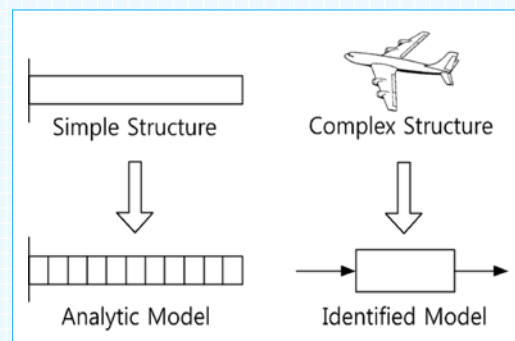


그림 1 실제 구조물, 유한요소 모델 그리고 SI를 통해 실험적으로 규명된 모델

* E-mail : bkoh@dongguk.edu / (02) 2260-8591

기법들이 많이 개발되었는데, Gilbert와 Kalman은 controllability와 observerability에 기반한 상태-공간 모델 구현이론을 정립한 대표적 인물이기도 하다. 이후, Ho와 Kalman은 Markov 파라미터(pulse response samples)와 같은 실존적 행렬형태의 시스템 구현이라는 새로운 접근을 시도하기도 하였다. 또한, Juang과 Pappa는 ERA(eigensystem realization algorithm)를 개발함으로써 실험 데이터를 활용하여 동적 시스템의 모드 변수(modal parameter) 및 모델 축소(model reduction) 등을 일괄적으로 처리할 수 있는 길이 열리게 되었다. 특히, Juang과 Phan은 선형 모델에서 Dead-beat observer개념을 통하여 Markov 파라미터를 도출함으로써 상태-공간모델과 observer를 동시에 규명할 수 있는 방법을 제시했는데, 이를 OKID(observer/Kalman filter identification)이라고 부른다(그림 2 참조).

최근에는 입출력 신호정보를 기반으로 시

스템의 유한요소 모델(finite element model)을 구현하려는 노력도 많이 이루어지고 있다. 예를 들면, 가진기를 통해 전달되는 외력과 외팔보 끝단에 부착된 가속도계에서 측정되는 신호값을 근거로 외팔보의 질량, 강성 그리고 감쇠행렬을 직접 구할 수 있기도 하다. 기존에는 단순히 시스템의 형상 정보와 재질의 특성에 근거로 유한요소를 모델링하였다. 당연히, 유한요소 모델과 실제 시스템의 거동이 상당한 차이를 나타낼 수밖에 없다. 일반적으로 이러한 문제는 모델 튜닝(model tuning)과 같은 최적화 개념을 통해서 해결하게 되는데, 이는 수렴의 안정성과 같이 부가적 문제를 야기하게 된다. 만약, 실험을 통한 입출력 데이터를 이용하여 대상 시스템의 유한요소 모델을 직접 구할 수 있다면, 유한요소 모델링이나 튜닝과 같은 부수적인 작업이 원천적으로 불필요하게 된다.

SI가 직접적으로 활용되는 분야는 매우 다

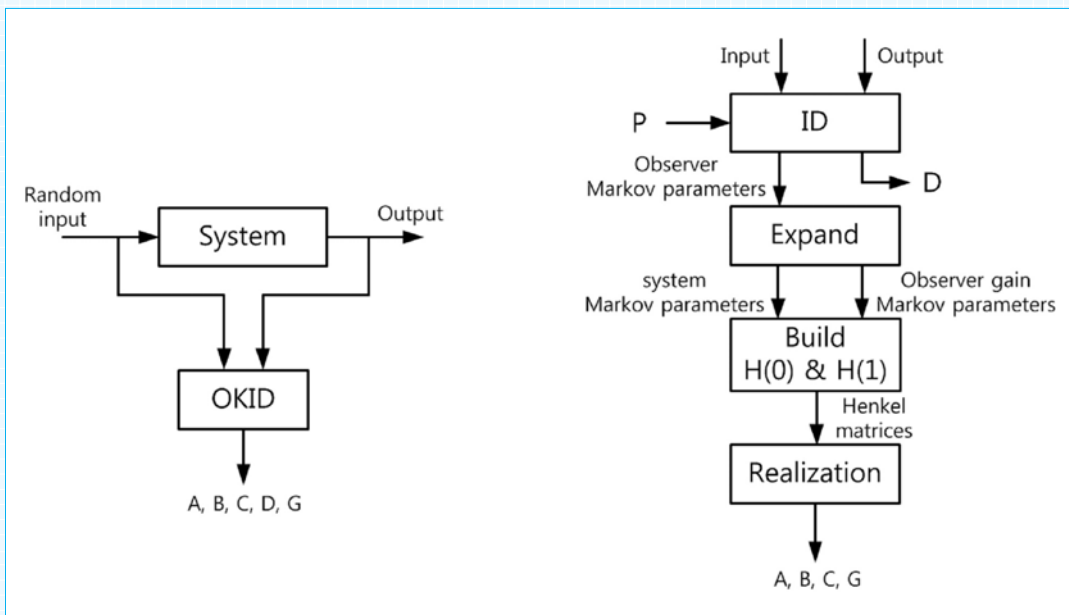


그림 2 OKID를 통한 시스템의 상태-공간 모델의 추출 흐름도

양하다. 입력과 출력신호를 통해 시스템의 모델을 구현한다는 의미에서 이는 철학적으로 역문제(inverse problem)에 해당한다. 존재하지 않는 모델을 입력과 출력의 관계를 통해 정의한다는 개념은 다양한 공학적 문제의 해결을 위한 다양한 실마리를 제공한다. 전통적으로는 피드백 제어기 구현에 필수적인 옵저버(observer) 설계를 위한 모델 개발에 많이 활용된다. 최근에는 기계시스템 내부에서 발생한 기계요소의 특성변화 또는 구조적 결함을 입력과 출력신호만으로 파악할 수 있는 기법이 SI를 통해서 개발되고 있다. 예를 들면, 항공기 터빈이나 블레이드에 발생한 결함을 시스템에서 가해지는 입력과 센서로부터 측정되는 출력신호를 통해서 알아내는 등, 시스템 내부에 발생한 결함의 위치와 정도 등을 규명할 수 있는 것이다. 이러한 기법들은 현재 구조물 건전성 모니터링(structural health monitoring: SHM) 등에 많이 활용되고 있다. SI의 전반적인 연구 흐름을 살펴보면, 2000년도 이후부터 입력에 대한 정보없이 출력만으로 시스템 모델을 구현하는 output-only SI기법들이 각광을 받기 시작했다. 시스템의 출력

은 센서를 통해서 비교적 측정하기 수월하나, 입력의 특성은 대부분 작동하중(operational load)인 경우가 많기 때문에 상대적으로 측정하기가 어렵다. 예를 들면, 장대교량에 다수의 센서를 부착하여 바람이나 차량의 진동에 의한 응답을 측정하기는 쉬우나, 교량전체에 가해지는 다양한 형태의 하중을 모두 측정하는 것은 거의 불가능하다.

SI는 기계, 항공, 토목, 조선, 전기 및 화학공학 등과 매우 밀접한 관련이 있는 흥미로운 연구 분야이다. 초기에 항공우주 구조물의 제어와 관련된 기술로부터 발전되기 시작하였으나 현재는 기계시스템의 모델링 및 안전성 평가 등에 유용하게 활용되고 있다. 최근에는 SI의 대상이 항공기 날개나 자동차 엔진 등과 같은 물리적인 시스템이 아닌, 대형도시의 교통망, 주식이나 선물시장과 같은 무형의 시스템의 모델링에 적용하려는 시도도 많아지고 있다. 향후 복잡계(complex system), 군집로봇, 박테리아, 세균 감염 및 확산 등과 같은 생물체의 거동 규명 등에도 적극적으로 확장될 수 있는 잠재력이 매우 높은 연구 분야로 판단된다. **KSNVE**

소음 · 진동 용어해설

(출처 : “소음 · 진동 용어해설집”, (사)한국소음진동공학회 발행)

Stiffness 강성(剛性)

어떤 형태를 이루고 있는 물체에 외력이 가해졌을 때 본래의 모양을 유지하려는 성질 또는 크기를 말한다.

선형 스프링의 경우, F 의 외력이 가해져 δ 만큼의 변형이 생겼을 때 $F = k\delta$ 의 관계식을 만족하며 이 때 k 를 강성 또는 강성계수라고 한다.

