

공기 구동 밸브 구동기의 성능 저하 진단 Observation of Performance Degradation for Air-Operated Valve Actuator

성계용, 권석준

한국원자력안전기술원, 대전광역시 유성구 구성동 19, k109sky@kins.re.kr

1. 서론

AOV 를 시험하는 기본적인 목적 중 하나는 밸브가 설계기준조건 하에서 요구되는 기능을 수행할 수 있는지를 진단하는 것이다. 이를 위해 AOV 에 수행되는 시험은 Bench Set 시험, 정적 시험, 동적 시험이 있고, 이를 근거로 구동기 출력성능 및 운전 여유도를 계산한다[1, 2]. 또한 건전한 상태의 AOV 에 대한 기본 시험데이터를 기준으로 주기적인 시험 분석을 통해 AOV 운전 변수들의 변화를 비교 분석함으로써 AOV 의 성능 및 고장을 진단할 수 있다. 본 연구에서는 이미 개발된 신호 취득 및 감시 시스템[3]을 통하여 정상 작동 AOV 운전변수를 분석하였고, AOV 구동 작동부에 모의 고장신호를 형성하여 운전변수의 변화를 관찰하였다.

2. 시스템 구성 및 실험 결과

2.1 AOV 성능 감시 시스템

AOV 성능 감시 시스템은 AOV 의 특성 신호를 디지털 데이터로 변환 취득하고, 이를 분석 및 디스플레이하는 소프트웨어로 구성된다.

일반적으로 AOV 를 작동 시키거나 제어할 때 쓰는 신호들은 다음과 같으며 이들 신호를 시간 함수로 관찰함으로써 각 신호의 건전성을 판단하고, 신호들을 조합 및 재구성하므로 전반적인 AOV 의 특성, I/P converter 의 특성, Positioner 의 특성, 성능저하 현상을 탐지할 수 있다.

- Control Current (mA) - 제어신호
- Control Air Pressure
- Supply Air Pressure
- Diaphragm Pressure
- Stem Displacement

2.2 모의 고장 실험

AOV 의 성능 감시 시스템을 통하여 실제 발생 가능한 고장을 확인 할 수 있는지를 실험하기 위하여 운전 경험을 통해 확인된 다음과 같은 모의 고장신호를 AOV 구동기에 유발시켰으며[4], 정상 신호와 비교 분석하였다.

- 공급공기 제한 : AOV 공기공급관 차단(70%)
- 컨트롤 압력 누설 : I/P converter 의 출력 배관에 구멍 형성.
- □ 다이어프램 압력 누설(소, 중) : 다이어프램 입력 배관에 구멍 형성.
- 다이어프램 입력 배관 막힘 : 다이어프램의 입력 배관 차단(70%).
- Pre-Load 높아짐 : Actuator spring 강성을 높임.
- Pre-Loads 낮아짐 : Actuator spring 강성을 최대로 낮춤.
- I/P converter 영점 높아짐 : I/P converter 영점을 높게 조정.
- I/P converter 영점 낮아짐 : I/P converter 영점을 낮게 조정.

2.3 실험 결과 및 분석

상기 고장들에 대해 정상신호와 고장신호를 감시 프로그램으로 분석하였다. 그 결과 분석의 일부를 그림 1, 그림 2 와 표 1 에 보였다. 그림 1 은 취득된 시간영역에서 5 가지 신호의 정상(진한색) / 고장(열은색)시 열림/닫힘 거동을 보여주고 있다. 이 경우 고장은 □ 다이어프램 입력 배관 막힘에 대한 결과를 표시하고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 Diaphragm Pressure 와 Displacement 에서 정상 신호(진한색)에 비해 고장신호(열은색)의 stroke time 이 더 커진 것을 확인할 수 있다. 이 외에 여러 가지 차이를 식별할 수 있다.

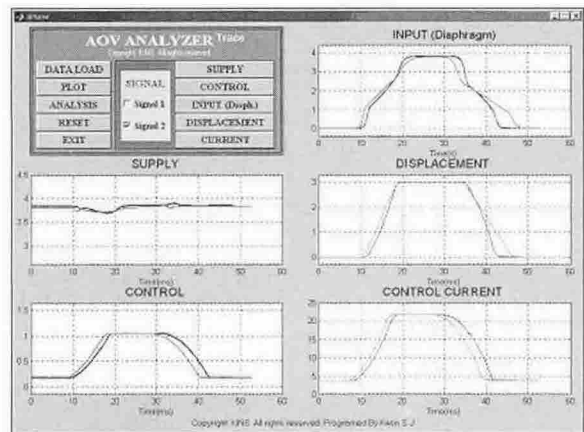


그림 1. 다이어프램 공기입력 막힘 시 정상/ 고장신호

그림 2 는 5 가지 신호들을 조합하여 AOV 의 각 구성 장치들에 대한 특성을 분석하고, 그 성능의 변화를 보다 쉽게 판단할 수 있는 프로그램이다. 그림 2 역시 □ 다이어프램 입력 배관 막힘에 대한 결과를 표시하고 있다. 그 중 Control Current / Diaphragm Pressure 조합신호(PLOT 2)를 단순히 관찰하여 보면 성능저하 시 다음과 같은 특성이 나타남을 알 수 있다(곡선의 아래 부분이 Air stroke 이고 위쪽 부분이 Spring stroke 이다).

- Air stroke 증가율(기울기)이 감소함.(↑)
- Air stroke 후반부 증가율(기울기)이 감소함.(↑)
- Spring stroke 감소율(기울기)이 크게 감소함.(↓)

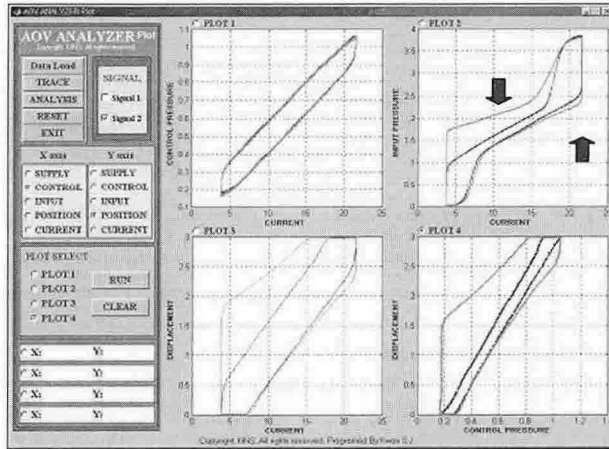


그림 2. 다이어프램 공기입력 막힘 시 정상/고장신호 (조합신호 Plot)

고장	Air Stroke					Spring Stroke				선형	선형
	후반부 증가 감소	증가 감소	최대값 감소	초기값 증가	지연 증가	감소 감소	감소 크게 감소	조기 감소	지연 감소	구간 상향 이동	구간 하향 이동
1	•										
2		•	•						•		
3			•						•		
4		•	•		•	•		•			
5	•	•				•	•			•	
6										•	
7											•
8				•					•	•	
9			•		•				•		•

표 1. 그림 2의 Control Current / Diaphragm Pressure (유측상단: Plot 2)에 대한 각 고장에 따른 특성변화 분포

Control Current / Displacement.*

- Air stroke(기)**

- Spring stroke.*

- Spring stroke(기)**

□ 다이어프램 압력 누설(중) 고장의 경우는 그림 2 중 Control Current / Diaphragm Pressure 조합신호 분석에서 다음의 특성 변화들이 나타난다.

- Air stroke 증가(기울기)이 감소함.
- Air stroke 최대값이 감소함.
- Air stroke 증가가 지연되어 시작됨.
- Spring stroke 감소(기울기)이 감소함
- Spring stroke 감소가 조기에 시작됨.

표 1은 9 가지 고장 실험의 결과를 5 가지 운전 변수의 조합신호 중 Control Current / Diaphragm Pressure 조합신호에 대해 정상/비정상 신호를 비교한 것이다.

실험을 통해 AOV의 성능저하로 인한 신호거동의 변화를 개발 중인 AOV 성능 감시 시스템을 통해 확인할 수 있었다. 그리고, 각 고장에 대한 신호의 특성 변화의 분포를 정리하였고, 역으로 임의 고장에 대한 원인을 추적할 수 있는 기본적 데이터 베이스를 확보할 수 있었다.

3. 결론 및 차후 연구방향

본 연구에서는 현재 개발 중인 AOV 구동기에 대한 성능감시시스템을 통해 AOV의 성능저하 거동을 진단할 수 있는지 확인해 보았다. 이를 위해 AOV 구동기에 자주 발생하는 고장을 모사하여 실험했고, 각 고장에 대한 AOV 운전변수의 거동변화를 정성적으로 특성화 하였다. 차후, 본 연구 결과를 토대로 고장과 신호 특성을 유형별로 정량적으로 패턴화 하여 운전원이 쉽게 고장을 감시할 수 있는 시스템을 구축하고자 한다. 개발된 AOV 성능 감시 시스템을 통해 규제 기술력 제고 및 규제요원 훈련 등 AOV 규제에 적절히 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

[1] NUREG/CR-6654, "A study of AOV in U. S. NPPs", USNRC ('00.2)
 [2] Joint Owners Group AOV Program (Rev.1), Duke Eng. ('00.12.13)
 [3] 성계용, 권석준, "규제활용을 위한 공기구동 액추에이터 성능감시 시스템 개발", 춘계원자력학회, 경주 (2004.5)
 [4] J.Holer, Final Report, "Air-Operated Valve Evaluation Guide", EPRI. ('99.5)