

공기구동 밸브의 구조해석 코드개발

Development on the Structural Analysis Code of the Air-Operated Valve

이 현 승* · 이 영 신** · 조 택 동*** · 고 성 호** · 신 성 기*** · 이 호 영****

Lee, Hyun-Seung · Lee, Young-Shin · Cho, Taik-Dong · Ko, Sung-Ho · Shin, Sung-ky · Lee, Ho-Young

ABSTRACT

Air-operated valves are extensively used for process control and system isolation functions in nuclear power plant, where the safety is primary issue. The purpose of this study is to develop structural analysis code of various air-operated valves such as globe valve, gate valve, and butterfly valve. The thrust formula is derived for valve with the expected weak areas. The expected weak areas are referred from EPRI data. The structural stress analysis is carried out by analytical and commercial FEM code, ANSYS 8.0. The numerical results are compared together and verified on program procedures.

Keywords: AOV(Air Operated Valve), Structural Analysis, Code, Development

1. 서 론

본 연구개발은 산업자원부 전력산업 연구개발 사업의 일환으로, 원전 공기 구동밸브의 설계기준 성능을 평가하고 주기적으로 성능을 확인할 수 있는 기능을 갖춘 전산해석 프로그램 개발하는 것을 목적으로 하고 있다. 현재 원전에 사용 중인 밸브에 대한 성능평가는 주로 외국에서 개발된 진단시험장비나 성능해석 프로그램을 사용하고 있다. 이러한 프로그램은 개발된 국가에 맞춰져 있는 이유로 국내의 실정에 맞지 않는 부분이 있고, 불필요한 기능이 많이 있다. 이에 현 국내 실정에 맞는 프로그램 개발을 목적으로 두고 시작하였다. 본 논문에서는 공기 구동밸브 성능 평가 프로그램 개발 중 구조부분, 즉 취약부에 대한 프로그램 개발에 관한 연구 진행과정을 소개한다.

2. 공기 구동밸브의 자료 분석

2.1. 자료수집

- * 학생회원 · 충남대학교 기계설계공학과 석사과정 E-mail: leehs1997@cnu.ac.kr
- ** 정회원 · 충남대학교 기계설계공학과 교수 E-mail: leeys7@cnu.ac.kr
- ** 비회원 · 충남대학교 기계설계공학과 교수 E-mail: tdho@cun.ac.kr
- *** 비회원 · (주) 한빛파워서비스 전무
- **** 비회원 · 충남대학교 기계설계공학과 박사 E-mail: hovoung@cnu.ac.kr

본 연구의 해석 대상을 선정하기 위하여 밸브의 종류 및 크기에 대하여 조사를 하였다. <그림 1>은 원자력 발전소에서 사용 중인 밸브의 유형별 비중을 나타낸 것이다. 가장 높은 비중을 차지하고 있는 것은 61%로 Globe valve이다. 나머지는 Gate valve, Ball valve, Butterfly valve 순으로 사용비중이 높았다. <그림 2>는 밸브의 크기별 분포이다. 1 inch, 2 inch, 3 inch, 4 inch, 6 inch 밸브가 높은 비율로 사용되고 있음 알 수 있다. 자료조사 결과를 토대로, 프로그램의 해석 대상은 Globe Valve, Gate Valve, Butterfly Valve 로 결정하였다. 모든 밸브에 대하여 검증을 할 수 없으므로 가장 많이 사용되고 있는 밸브의 크기에 대하여 프로그램의 검증대상으로 하였다.

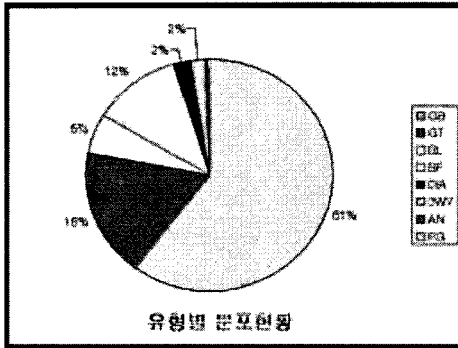


그림 1 밸브의 유형별 분포현황

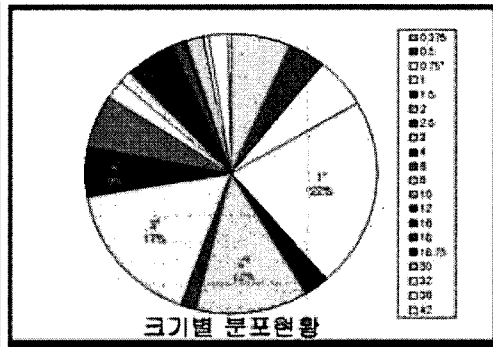


그림 2 밸브의 크기별 분포현황

표 1은 EPRI Project Manager인 Kenneth F. Barry가 전술한 "Air operated valve maintenance guide"에서 참조하였으며, 그 결과를 보면 30%정도가 주로 구동부에서 파손이 일어났다. 구동부의 파손 중 35%가 Diaphragm에서 파손되며, 29%가 Seal과 O-ring에서 일어났다. 구동부 다음으로 파손율이 높은 Solenoid valve는 22%의 파손율을 보였다. 그 다음 3번째는 7.5%를 보인 limit switch이다. limit switch의 파손 중 63%가 진동과 관련하여 파손되어졌다.

표 1 공기 구동밸브의 파손사례 비율

Rank	Sub-Component	% of Failures
1	Actuators	30.0
2	Solenoid Valve	22.0
3	Limit Switch	7.5
4	Positioner	3.2
5	Spring	3.2
6	Air Line	3.0
7	Maintenance Error	2.4
8	Design	2.0
9	Stern	2.0
10	Bolting	1.5

위의 파손사례 결과를 볼 때 밸브의 몸체에 대한 파손사례를 볼 수 없었다. 이는 밸브의 항복강도에 비하여 유압 및 진동에 의해 발생하는 응력이 매우 작기 때문이다. 따라서 이번 구조해석에 관련된 프로그램에서는 밸브몸체에 대해서는 취약부로 선택하지 않았으며, 밸브의 체결부등과 같은 연결부와 모터구동밸브와는 차이가 있는 스프링에 대해서 취약부를 선택하였다.

3. 밸브 형상 모델링

3.1. 3D-SCAN 을 이용한 형상 모델링

밸브 형상에 대한 정보가 없으므로, 정확한 형상 분석을 위하여 3D SCAN을 이용하여 밸브에 대한 형상을 분석하였다. 그림 3의 3D Scanner는 레이저광원의 비접촉식이며, 명칭은 SURVEYOR DS-4060이며, 작업규격은 1000*1500*635이다. 5축에 대한 측정방향을 갖고 있으며, 측정점은 2000pps, 4LINE/SEC이다. 정밀도는 8마이크로미터이다. 그림 4는 2 inch Globe Valve로 3D Scan을 하기 위하여 절개한 상태이다. 이와 같이 프로그램의 검증대상이 되는 밸브에 대해서 모두 절개하여 3D-Scan을 하였다.

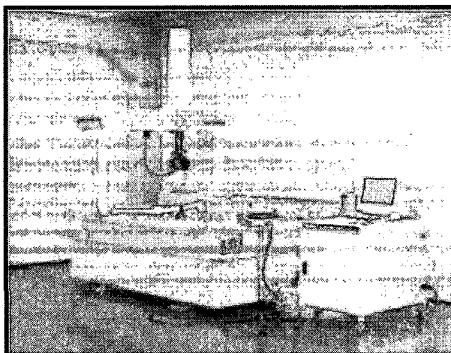


그림 3 3D Scan 기기

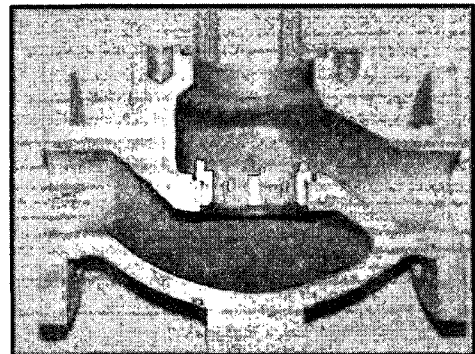


그림 4 3D Scan 을 위하여 절개한 Globe Valve

3.2. 3D CAD Catia V5을 이용한 형상 모델링

3D scan 이용하여 밸브의 각각의 부품에 형상정보를 토대로 하여 3D CAD 프로그램인 Catia V5를 이용하여 그림 5의 밸브 전체에 대한 조립형상을 얻었으며, 이를 토대로 하여 각 밸브의 도면을 얻을 수 있었다.

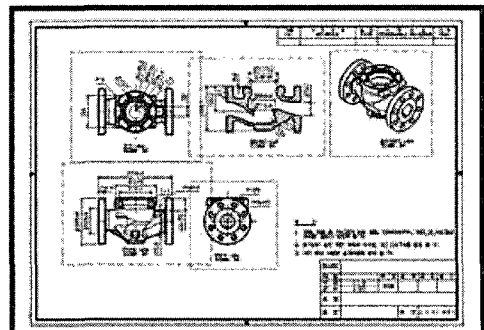
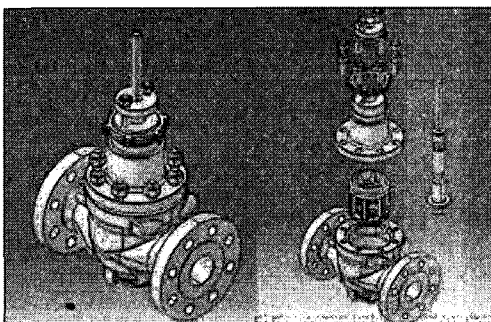


그림 5 스캔 데이터를 이용한 Valve 조립형상

그림 6 Caita V5를 이용한 도면 도출

3D Scan을 통하여 도면이 없는 제품에 대하여 정확한 형상 및 도면을 통해 유한요소프로그램으로 응력해석을 수행 시 모델링을 하는 시간을 단축시켜 시간적 이득을 볼 수 있었다.

4. 프로그램 작성

앞서 조사한 자료를 통하여 조사된 파손사례 등을 통하여 밸브의 유형에 따른 취약부를 선택하였다. 선택된 취약부 그림 7 과 같다.

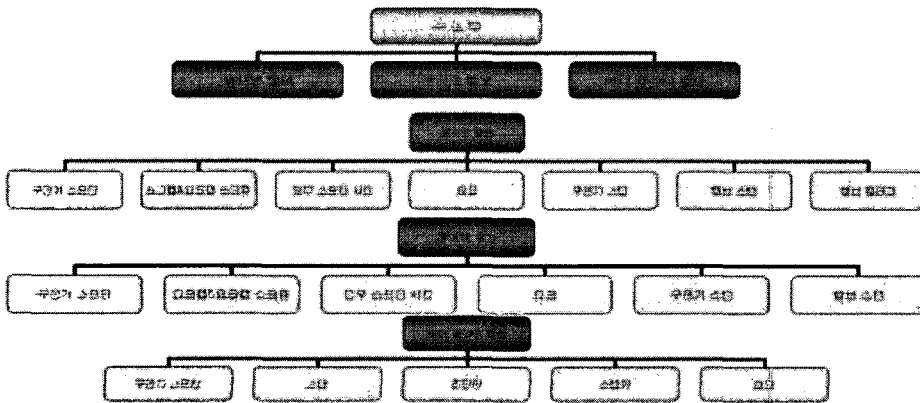


그림 7 Globe valve, Gate valve, Butterfly valve의 취약부 해석대상

이와 같은 방법으로 정해진 취약부와 각각의 형상에 대한 이론식을 기초토대를 하여 Visual c++ 6.0을 이용하여 개발된 프로그램의 형식은 다음과 같다. 그림 8은 이론식을 토대로 하여 만든 임시 프로그램이다. 이 프로그램으로 입력변수, 출력변수 등을 알 수 있으며, 계산식이 잘 맞는지를 확인하기 위함이다.

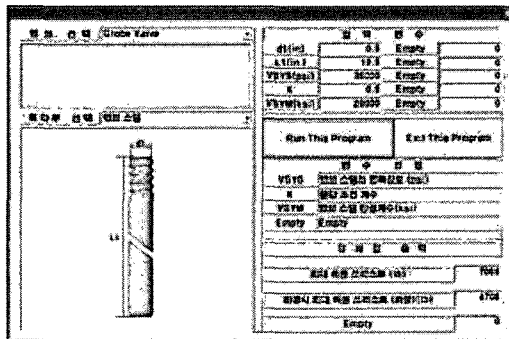


그림 8 Globe valve, Gate valve, Butterfly valve의 취약부 해석대상

프로그램의 순서는 밸브의 종류선택, 취약부 선택, 입력변수입력이다. 우선 밸브의 종류 선택은 누구라도 사용할 수 있도록 밸브에 대한 형상을 표시해주었다. 형상을 표시해 줌으로써 잘못 선택하는 실수를 없도록

하였다. 밸브의 종류를 선택하였다면 알고자 하는 취약부를 선택할 수 있다. 취약부 선택버튼을 누르면 각 밸브에 해당되는 취약부가 나타나고, 사용자가 원하는 취약부를 선택하면 밸브종류와 마찬가지로 취약부에 대한 도면이 나타나게 되어 있다. 이 도면을 통하여 취약부에 대한 형상을 알 수 있으며, 입력변수 중 기하변수에 대한 중요한 참고자료로 이용된다. 입력변수 중 도면을 통한 기하변수를 제외한 나머지 변수에 대해서는 따로 자세한 설명을 해주었으므로 사용자가 입력변수를 쉽게 대입할 수 있도록 하였다. 이처럼 입력변수에 대한 입력이 완료되었다면 결과 값을 통하여 본 프로그램의 목적인 최대 허용 쓰리스트를 알 수 있다.

5. 프로그램 검증

프로그램에서 작성된 이론식 검증을 위하여 상용 유한 요소 프로그램인 ANSYS 8.0을 이용하였다. 한 예로 스템의 좌굴해석이다. 그림 3은 3 inch Gate valve 스템의 좌굴해석 결과이다. 좌굴하중은 215KN으로 동일 형상에 대하여 프로그램의 결과값은 217 KN 으로 해석오차 2 KN 으로 오차율 0.9% 이므로 3 inch Gate valve에 대한 스템에 대한 프로그램 결과는 거의 일치 한다.

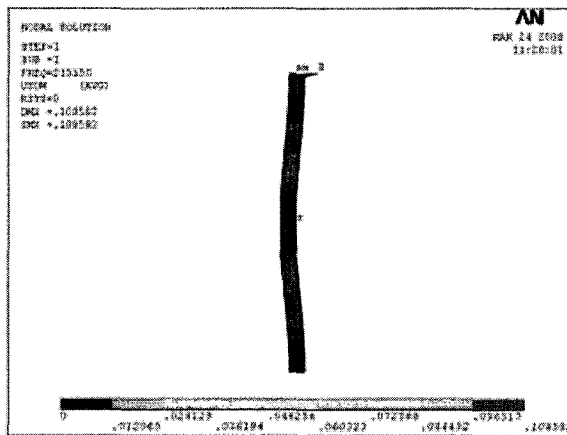


그림 9 3 inch Gate valve 스템의 좌굴해석 (좌굴하중 213 KN)

표 2 프로그램 검증을 위한 밸브의 좌굴해석 비교

해석 밸브		좌굴 해석		
		프로그램 결과	FEM 결과	오차(오차율%)
Globe valve	1 인 치 밸브 스템	45.5	45	0.5 KN (1 %)
	조광 2 인 치 밸브 스템	73.2	72	1.2 KN (1 %)
	Fisher 2 인 치 구동기 스템	1575	1501	74 KN (5 %)
	Fisher 2 인 치 밸브 스템	146	143	3 KN (2 %)
Gate valve	4 인 치 밸브 스템	1098	1041	57 KN (5 %)
	1 인 치 밸브 스템	252	242	10 KN (4 %)
	3 인 치 밸브 스템	217	215	2 KN (1 %)

표 2의 결과 결과비교의 해석 오차가 5 %이내 이므로 좌굴해석에 관한 프로그램의 결과 값은 타당하다.

6. 결 론

공기 구동밸브의 성능평가를 위하여 취약부에 해당하는 부분의 최대 허용응력을 구하는 프로그램을 작성하였다. 취약부의 선택은 파손사례를 통하여 선택하였으며, 선택된 취약부의 형상에 따라 이론식을 도출하였다. 도출된 이론식을 Visual c++ 6.0을 이용하여 임시 프로그램을 작성하였다. 작성된 임시 프로그램은 차후 완성될 프로그램의 기본 구조를 정의 한 것이며, 또한 프로그램 계산식이 정확히 계산되는지를 확인하기 위하여 작성하였다. 작성된 프로그램에 대해서는 상용 유한요소 프로그램인 ANSYS를 이용하여 해석 결과를 비교 하였으며, 그 결과 프로그램 해석 값과 유한 요소의 해석 값의 차이가 5% 이내로 프로그램의 유효성을 검증하였다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 전력산업 연구개발 사업인 공기 구동밸브 성능평가 프로그램 개발사업 위탁과제의 일부로 수행되었으며, 본 연구를 가능하게 한 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

- J.Hosler(1999) Air-operated Valve Evaluation Guide, EPRI Final Report TR-107322
 K.F.Barry(1996) Air-operated Valve Maintenance Guide, EPRI Final Report NP-7412R1
 P.D.Harvey(1982) Engineering Properties of Steel, American Society for Metals
 R.J.Roark , W.C.Young(1975) Formulas For Stress and Strain, Fifth Edition, McGraw-Hill,
 Spring Design Manual, Second Ed. AE-21. SAE, 1996