

공기구동밸브 신뢰도 분석 모듈 개발

허태영*, 양상민, 김봉호, 송동섭, 김찬용 (한빛파워서비스)
이우준 (한국신뢰성기술서비스)

Development of Reliability Analysis Program for Air Operated Valve

T.Y. Huh, S.M. Yang, B.H. Kim, D.S. Song, C.Y. Kim (Hanvit Power Service)
W.J. Lee (Korea Reliability Technology Service)

ABSTRACT

To develop a reliability analysis program applied to the diagnosis for air operated valve's integrity, we collected, analyzed AOV failure data from foreign and domestic nuclear power plants, and classified whole subjects of this program into several groups according to type and size. We established a theoretical basis using Lognormal Distribution and Bayesian Theory to develop analysis methodology. The result of this program was applied to the calculation of operational unavailability of AOV, and the effect of AOV's failure. Also this program can be applied to the development of diagnostic technique considering AOV environment (temperature, pressure), and setting-up maintenance cycle.

Key Words : Air Operated Valve (공기구동밸브), Reliability Analysis (신뢰도분석), Nuclear Power Plant (원자력발전소), Failure Rate (고장율)

1. 서론

원자력발전소 안전계통에서 설치, 운전되고 있는 공기구동밸브에 대한 중요성이 증대되면서 규제기관에서도 이들 기기들의 기능이 건전하게 유지되고 있음을 입증할 것을 요구하는 규제(안)이 준비되고 있으며, 이에 대한 대책으로 공기구동밸브의 건전성을 시험하고 진단하는 설비를 개발하고 있다. 이를 위해 각 공기구동밸브의 이용불능도를 산출하여 공기구동밸브 고장 시 해당 공기구동밸브가 속한 시스템에 미치는 영향까지 분석할 수 있는 신뢰도분석 프로그램을 개발하였다.

국내외의 발전소로부터 공기구동밸브의 고장 자료를 수집, 분석하였으며 공기구동밸브의 유형 및 사이즈에 따라 공기구동밸브를 분류하여 그룹화하였다. 또한, 지수정규분포 및 베이지안 이론을 분석 방법론을 개발하는 이론적 근거로 활용하였으며, 개발된 프로그램을 활용하여 해당 공기구동밸브의 이용불능도를 산출하는데 활용하였다.

2. 신뢰도분석 프로그램 설계

실제 원전에 적용 가능한 공기구동밸브의 이용 불능도를 산출하기 위해 신뢰도분석 프로그램 개발 프로세스를 AOV 선정, 각 고장 자료 수집 및 분석, BECHID Code 개발, AOV 고유 고장율 산출, .ktf 파일 생성 및 KIRAP 입력, 이용불능도 산출과 같이 확정하고, 이에 따라 개발을 진행하였다.

2.1 분석 방법

해외 및 국내 원자력발전소에서 취득한 고장자료를 근거로 하는 일반 고장율과 단순고장율을 조합, 해당 공기구동밸브의 고유 고장율을 산출하는 기능을 수행하며, 건전성 진단시스템의 하위 모듈로서 본 시스템에 통합 가능하도록 개발 되었다. 또한, 여러 확률 분포를 선택적으로 적용할 수 있도록 개발되었고, 자체 시험 및 검증을 수행하였다.

지수정규분포(Lognormal distribution)는 확률 변수 (여기서는 고장률)가 매우 작은 값의 구간 ($10^{-2} \sim 10^{-6}$)에서 주로 분포할 때 적용하는

분포함수이다. 공기구동밸브의 경우 고장률이 $10^{-2} \sim 10^{-4}$ 의 값을 가지므로 지수분포를 사용하는 것이 적당하다. Bayesian 이론을 이용한 공기구동밸브 고장률 추정방법은 다음과 같다.

고장률의 사전확률분포 (Prior Probability Distribution)가 지수정규분포이고 우도함수 (Likelihood function)가 포아송분포 (Poisson distribution)일 경우 Bayesian 이론을 사용하여 사후확률분포 (Posterior probability distribution)를 구할 수 있다. Bayesian 이론을 적용한 사후확률 분포는 다음과 같이 산출된다.

$$f(\lambda | E) = \frac{f(\lambda)L(E|\lambda)}{\int f(\lambda)L(E|\lambda)d\lambda}$$

여기서,

$$f(\lambda) = \frac{1}{\sigma \lambda \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2}(\ln \lambda - \mu)^2\right]$$

$$0 \leq \lambda \leq \infty, -\infty < \mu < \infty, \sigma^2 > 0$$

$$L(E|\lambda) = \frac{(\lambda t)^k e^{-\lambda t}}{k!}$$

$\mu = \ln \lambda$ 의 평균

$\sigma^2 = \ln \lambda$ 의 분산

2.2 고장 자료 분석

해외의 자료는 중수로형 발전소에서 기본 데이터로 활용하고 있는 "Ontario 84" 중 해당 부분을 활용하였고, 국내의 자료는 중수로형 원자력 발전소의 고장 데이터를 수집, 분석하였다. 다음 Table 1은 국내 고장 자료 중 일부에 대한 예이다.

Table 1 Example of Failure Data

Type & Size	No. of Failure	Comp. Population	Operation Time (Years)
Globe Pneumatic 2" 이하	2	18	99
Globe Pneumatic 2" 이상 12" 이하	3	11	60.5

- Type: 유체부의 종류 및 사이즈 별 분류
- Size: 공기구동밸브의 사이즈
- Number of Failure: Operation Time 동안 발생한 고장 건수
- Component Population: Type 분류에 속하는 공기구동밸브의 수량

- Operation Time (Year): 최초 계통 병입일 (1997.04.01), 상업 운전일 (1997.07.01), 동일 종류로 분류된 공기구동밸브의 수량 (Component Population)으로 계산한다. 즉, 상업운전일로부터 분석 기준일까지의 운전년수에 수량을 곱한 것이 Operation Time이다.

3. 신뢰도분석 모듈의 구성

3.1 Analysis

이 창은 입력, 결과출력, 그래프 표시영역의 세 부분으로 나누어져 있다. (Fig. 1 참조)

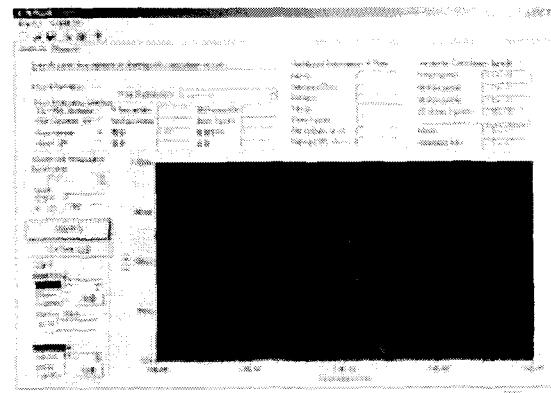


Fig. 1 Analysis Screen

3.1.1 입력

Prior Evaluation Method 부분에서 해당 입력방법을 선택, 필요한 변수를 입력한다.

3.1.2 계산하기 및 결과 출력

입력된 내용을 토대로 계산을 시작하여 그래프를 그리고, Report 창에 값을 표시한다.

3.1.3 KwTree 설정

Posterior Calculation Result 부분의 Mean 값을 기준의 KIRAP 프로그램으로 입력하여 기준의 Mean 값을 수정할 수 있다.

3.1.4 그래프

그래프 영역에는 Prior 와 Posterior 그래프 2개가 그려지고 위쪽에 있는 콤보박스나 버튼들은 그래프의 속성을 바꾸는데 사용하는 도구들이다.

3.2 Report

Fig. 2는 프린트로 인쇄하기 전에 값을 수정하기 위한 화면으로 기본값은 Analysis 창의

계산하기 버튼을 눌렀을 때의 결과가 기본적으로 기록 된다. 기록된 값을 수정하여 인쇄할 경우 이 창에서 수정할 수 있다. Fig 3 은 보고서 출력 전 인쇄 미리보기를 실행한 화면이다.

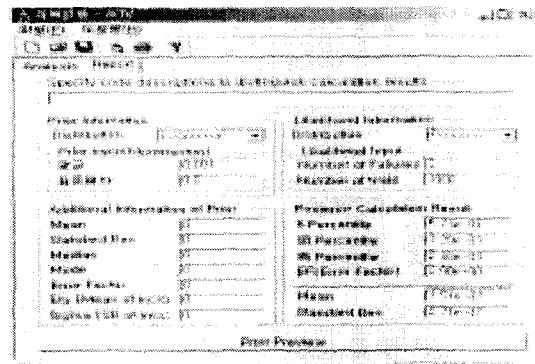


Fig. 2 Report Screen

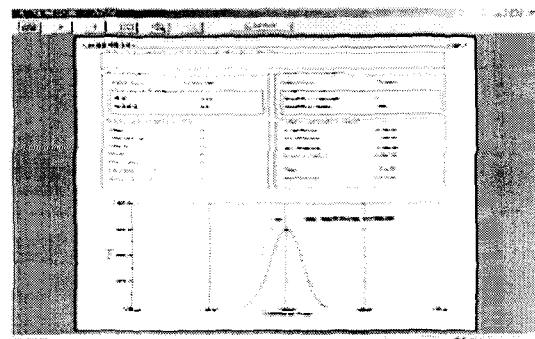


Fig. 3 Print Preview

4. 시험결과

개발된 프로그램을 이용하여 적용 대상인 공기 구동밸브의 평균 고장율을 산출한 결과는 Table 2 와 같다.

Table 2 Example of Analysis Result

밸브유형	사전 확률 (평균 고장률)	관측자료		사후 확률	
		고장 수	운영 연수	평균고장률	표준편차
Globe Pneumatic	0.093	2	99	0.0487	0.0003
Globe Pneumatic	0.094	3	60.5	0.0712	0.0006

Gate Pneumatic <2"	0.283	6	60.5	0.146	0.0017
Gate Pneumatic >2", <12"	0.234	0	27.5	0.114	0.0018

평균고장률은 고장수/운영기간 (90% 신뢰수준)이며, 고장유형은 All Mode를 대상으로 하였다.

표준편자는 ln(평균고장률)의 표준편차로 임의로 가정한 것이며, 90% 신뢰수준의 고장률을 사용한 것은 보수적인 분석을 위한 것이다.

5. 결론

개발된 신뢰도 분석 모듈은 공기구동밸브의 신뢰도를 평가하기 위하여 개발되어 미리 분류된 그룹별 공기구동밸브의 평균 고장율을 산출할 수 있어 신뢰도분석에 기초한 공기구동밸브의 중요도 산정 기준 및 공기구동밸브의 건전성 진단을 위한 기초자료로 활용하였으며, 공기구동밸브 건전성 진단 시험장비 개발과 관련된 진단 알고리즘의 set-point 결정, 데이터 유효범위 설정 등에 활용 예정이다.

참고문헌

1. Norman J. McCormick, Reliability and Risk Analysis, Academic Press, 1981
2. Harry F. Martz and Ray A. Waller, Bayesian Reliability Analysis, John Wiley & Sons, 1982
3. Stan Kaplan, On A "Two-stage" Bayesian Procedure for Determining Failure Rates for Experimental Data, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-102, No. 1, January 1983