

울진 3,4호기 안전성 관련

모터구동밸브의 예비 중요도 분석

**Preliminary Importance Analysis of Safety**

**Related Motor Operated Valves for Ulchin Units 3&4**

강대일, 김길유

한국원자력연구소

요 약

PSA 측면에서 울진 3,4호기의 안전성 관련 모터구동밸브에 대해 중요도 분석을 수행하였다. 국내 원전의 모터구동밸브 안전성 평가 시행은 울진 3,4 PSA에서 모터구동밸브 공통원인고장 사건 평가시 사용했던 경험 데이터에 영향을 주게 된다. 이에 본 논문에서는 울진 3,4 PSA의 모터구동밸브 공통원인고장 사건 평가에 사용되었던 MGL 모수를 재 추정 하고 중요도 분석을 수행하였다. 중요도 분석 결과, 종합적인 분석인 경우 HSSCs 갯수는 현재의 울진 3&4 PSA의 MGL 모수를 사용하여 분석한 경우보다 45% 감소되었고, 민감도 분석을 포함한 종합적인 분석인 경우에는 현재의 분석 결과보다 HSSCs 갯수가 35% 감소되었다.

**Abstract**

We perform an importance analysis of safety related motor operated valves(MOV) for Ulchin Units 3&4 from the viewpoint of Probabilistic Safety Assessment( PSA ). The safety evaluation of safety related MOV for domestic nuclear power plants affects the experience data used for the quantification of MOV common cause failure( CCF) events in Ulchin Units 3&4 PSA. Therefore, in this paper, we re-estimate MGL(multiple greek letter) parameter used for the evaluation of MOV CCF events in Ulchin Units 3&4 and perform importance analysis for safety related MOVs. The number of high safety significant components( HSSCs) by the integrated importance analysis using the changed MGL parameter is decreased by 45% compared with that using current MGL parameter in Ulchin Units 3&4 PSA. If sensitivity analysis results are incorporated into the integrated importance analysis results, the number of HSSCs by the integrated importance analysis using the changed MGL parameter is decreased by 35% compared with that using the current MGL parameter.

1. 서론

원전의 안전성 관련 모터구동밸브(motor operated valve: MOV)들은 가동중시험(In-Service Testing: IST) 요건을 규정하고 있는 ASME(American society of mechanical engineers) 코드 요건에 따라 시험되어 왔었지만 안전계통의 실제 작동 요구시 밸브들이 제대로 동작하지 않은

사건.사고가 많이 발생하였다[1,2,3]. ASME 코드 요건에 따른 안전성 관련 모터구동밸브 시험은 계통의 설계조건(사고시의 높은 압력, 온도 등)과는 다른 상태에서 밸브의 열림이나 닫힘에 대한 동작시험을 수행하는 것이다. 원전의 이상상태 발생으로 안전계통 작동 요구시 발생했던 많은 안전 관련 밸브들의 고장 사건들은 ASME 코드 요건에 따른 시험에 의해 확인이 안 되는 사건이나 사고였다. 이에 미국의 NRC에서는 안전관련 밸브들의 신뢰성 및 안전성을 확보하기 위해 GL 89-10[3], GL95-07[4], GL 96-05[5] 등을 발간하여 사업자들로 하여금 안전관련 밸브들의 안전성과 신뢰성을 평가하도록 하였다. 국내에서도 이에 발맞추어 1997년 6월 모터구동밸브 및 동력구동 게이트 밸브(power operated gate valve: POGV)에 대한 신뢰성 및 안전성을 확보하기 위해 과기처 규제 권고사항(원검 71233-205: GL 89-10/GL 95-07과 유사)이 발행되었다[6,7]. 국내 원전의 모터구동밸브에 대한 안전성 확인은 1999년부터 시작되어 2005년까지 걸쳐 수행이 완료될 계획이다. 이후에는 국내에서도 미국의 GL 96-05와 유사한 모터구동밸브에 대한 주기적 안전성 확인 규제 요건이 발표될 예정이다[6].

표 1. 모터구동밸브 안전성과 신뢰성 평가 관련 GL의 주된 내용

GL 종류	주된 내용
GL 89-10[3]	안전관련 MOV에 대해 DBA하의 설계조건 검토(전기적 요소포함) 및 시험실시, 발전소 전 운전기간동안 스위치 설정 값 선정/유지 절차서 등
GL 95-07[4]	열적 고착과 압력 잠김에 민감한 POGV에 대해 작동성 평가
GL 96-05[5]	GL 89-10에 대해 주기점검 프로그램 확립과 수행

표 1에 나타나 있듯이 GL 96-05의 주요 내용은 GL 89-10의 내용을 주기적으로 시행하는 것이다. 모터구동밸브의 주기적 안전성 확인은 PSA의 정량적인 기기 순위화 정보와 모터구동밸브의 안전성 평가[3,7] 성능시험에서 얻어진 밸브 성능에 대한 결정론적 정보를 이용하여 기기 중요도 분석을 수행하여 발전소의 안전성에 기여하는 정도에 따라 기기를 높은 안전성(high safety significant components: 이하 HSSCs) 기기와 낮은 안전성(low safety significant components: 이하 LSSCs) 기기로 분류한다 [5, 6, 8, 9, 10]. 필요에 따라서는 3가지로 분류할 수도 있다. 기기 분류 후 분류된 기기마다 별도의 안전성 확인 프로그램을 개발하여 발전소 운전기간동안 반복적으로 계속 시행한다[5, 6].

기존에 발생했던 안전관련 모터구동밸브의 고장들 가운데 많은 사건들은 한 개의 밸브에만 영향을 미치는 것이 아니라 동일 기능을 하는 밸브들이나 유사 유형의 밸브들 전체에 영향을 미치는 공통원인고장(common cause failure: CCF)사건이 많았다[3,11]. 이들 공통원인고장 사건 원인(causes)들을 보면 인적오류 등에 의해 반복적으로 발생하는 것도 있으나 기기 공급자가 제공하는 공학적인 데이터나(토크 또는 리미트 스위치 설정치, 모터 크기 등) 절차서 등이 잘못되어 발생한 사건들이 많았다[3, 11]. 이러한 공통원인고장 사건들은 GL 89-10[3]이나 국내의

모터구동벨브 안전성 확인 요건[7]에 따라 안전성 평가를 시행하면 그 발생 가능성이 매우 희박한 사건들이다. 올진 3,4 PSA에서 모터구동벨브의 공통원인고장 평가시 사용되었던 경험 데이터에는 위에서 언급한 사건들과 유사한 원인으로 발생한 공통원인고장 사건들이 있다[12]. 올진 3,4 PSA에서 공통원인고장 사건 평가에 사용된 MGL(Multiple Greek Letter) 모수(parameter)는 이 경험 데이터를 토대로 추정(estimation)되었다.

이에 본 논문에서는 올진 3,4호기를 참조발전소로 모터구동벨브의 안전성 평가 시행으로 영향을 받는 MGL 모수를 재 추정하고 중요도 분석을 수행하였다.

2절에서는 MGL 모수를 추정하는 방법과 중요도 분석 방법을, 3절에서는 모터구동 벨브의 안전성 평가에 대한 MGL 모수 추정 결과와 중요도 분석 결과를 기술하였다. 끝으로 4절에서는 결론을 기술하였다.

## 2. 방법론

이 절에서는 올진 3,4 PSA에서 기기 공통원인고장 평가에 사용된 MGL 모수 추정 방법[12, 13, 14, 15]을 소개하였고, 본 연구에서 사용된 중요도 분석 방법[16,17]을 간단히 소개하였다. 본 연구에 사용된 중요도 분석 방법은 참고문헌[16]과 이번 학회에 발표되는 다른 논문[17]에 상세히 기술되어 있다.

### 2.1 MGL 모수 추정 방법

공통원인고장이란 공통된 원인(shared causes)으로 2개 이상의 기기가 동시에 또는 짧은 시간에 고장나는 의존적인 사건들의 집합이다. 공통원인고장이 발생하는 원인으로서는 인적, 환경, 설계, 절차서 등 여러 가지가 있다[13]. 올진 3,4 PSA에서는 공통원인고장 확률에 대한 평가를 MGL 방법을 사용하였다.

크기 m인 공통 원인 기기 군에서 k(k = 1, 2, ..., m) 개의 특정 기기가 포함된 기본사건 확률을  $Q_k^{(m)}$ 라고 표시할 경우  $Q_k^{(m)}$ 은 아래의 (식 1)과 같이 표시되는데 MGL 모수는 여기서  $\theta_i$  (i = 2, 3, ...)를 말한다[12, 13];

$$Q_k^{(m)} = \frac{1}{m-1 C_{k-1}} \prod_{i=1}^k \theta_i (1 - \theta_{k+i}) Q_i \dots \dots \dots (식1)$$

이 때 k = 1, 2, ..., m

여기서,  $\theta_i$  (i = 1, 2, ..., m+1) = ( $\theta_1=1, \theta_2=\beta, \theta_3=\lambda, \dots, \theta_{m+1}=0$ )

Q<sub>i</sub>: 한 개 기기의 전체 고장 확률로서 m개의 공통원인 군에서 한 개의 기기에 대한 독립원인 고장사건과 공통원인고장 사건 전체에 대한 기기 고장 확률

m: 공통 원인 고장군 그룹 크기

(식 1)에서 공통원인고장 경험 데이터를 토대로 한 MGL 모수 계산은 아래의 (식 2)를 이용한다.

$$\theta_i = \frac{\sum_{k=i}^m k \cdot n_k}{\sum_{k=i-1}^m k \cdot n_k} \dots \dots \dots (식2)$$

이때, i = 2, 3, ..., m

여기서,  $\theta_i$  for  $i = 2, \dots, m$  : MGL 변수 ( $\theta_1=1, \theta_2=\beta, \theta_3=\lambda, \dots, \theta_{m+1}=0$ )

$n_k$  : k개 기기가 포함된 고장 사건의 수

MGL 모수를 추정하는 과정은 먼저 수집된 경험 데이터에 있는 사건이 평가 대상 발전소에 적용 가능한지 평가를 한다. 두 번 째로 경험 데이터에 있는 계통 크기와 평가 대상 계통의 크기를 조절하여 영향 벡터(impact vector)를 구한다. 세 번 째로 영향벡터를 합산해 고장 사건 수를 구하고 (식2)를 사용해 MGL 모수를 구한다[12,13,15].

크기 m개로 이루어진 기기그룹에서 사건발생시 이 사건의 영향벡터는 ( $P_0, P_1, \dots, P_m$ )로 정의되며 m+1 요소를 갖는다. 여기에서, 각  $P_j$ 는 공통원인고장 분석 전문가가 고장자료를 토대로 j개의 기기가 동시에 혹은 비슷한 시간에 고장날 가능성을 확률로 표시한 것이다. 경험데이터의 계통 크기와 평가 대상 계통의 크기가 같고, 적용 가능성에 대한 확률이  $P_{ap}$ 일 경우, 평균 영향 벡터 [ $P^*$ ]는 아래와 같이 표시된다;

$$[P^*] = P_{ap} * (P_0, P_1, \dots, P_m) \dots \dots \dots (식3)$$

계통 크기가 분석 대상 계통보다 크면 영향 벡터를 하향 배치(mapping down)한다. 만일 분석대상 계통 크기보다 사건의 본래 크기가 작다면, 영향 벡터를 상향 배치(mapping up)한다. 이때 영향 벡터의 상향 배치는 충격(shock) 형태에 따라 다르다. 치명적(lethal) 충격으로 인해 n개의 기기가 있는 계통에서, 모든 n개의 기기가 고장나는 확률은 변경없이 m개 기기 계통 내에서 모든 m개 기기가 고장나는 확률로 배치된다. 충격 형태가 비치명적이면 상향 배치는 주어진 충격에 대해 기기가 고장날 조건부 확률인  $\rho$  값을 사용해 평가한다. 참고문헌[12,13,15]에 따른 하향배치, 상향배치, 독립사건 배치에 대한 일반식은 다음과 같다;

계통크기 m+1에서 m으로의 하향배치 일반 식:

$$P_0^{(m)} = [1/(m+1)]P_1^{(m+1)} + P_0^{(m+1)},$$

$$P_k^{(m)} = [1-k/(m+1)]P_k^{(m+1)} + [(k+1)/(m+1)]P_{k+1}^{(m+1)}, \dots \dots \dots (식4)$$

이때  $k=1, \dots, m$

여기에서  $P_k^{(m)}$  : 계통 크기 m에 대한 영향 벡터 k+1 요소

비치명적 충격으로 m-1기기 계통에서 m기기 계통 상향 배치 일반식:

$$P_1^{(m)} = [m/(m-1)](1-\rho)P_1^{(m-1)}$$

$$P_k^{(m)} = \rho P_{k-1}^{(m-1)} + (1-\rho)P_k^{(m-1)}$$

$$P_m^{(m)}, = \rho P_{m-1}^{(m-1)} \dots \dots \dots (식5)$$

이때,  $k = 2, \dots, m-1,$

여기서,  $\rho$ 는 비치명적 충격이 있을 경우 기기가 고장나는 조건부 확률.

치명적 충격으로 n개의 기기 계통에서 m개 기기 계통으로 상향배치 경우:

$$P_m^{(m)} = P_n^{(n)} \dots \dots \dots (\text{식6}).$$

계통크기 n에서 계통크기 m으로의 독립 사건 배치 일반식:

$$P_l^{(m)} = (m/n)P_l^{(n)} \dots \dots \dots (\text{식 7})$$

여기서  $P_l^{(m)}$ 은 계통 크기 m에서 독립사건 수

고장사건 수를 계산하는 식은 다음과 같다;

$$n_k = \sum_{i=1}^T P_k^{(i)} \text{ for } k = 2, \dots, m,$$

$$n_1 = \sum_{i=1}^T P_1^{(i)} + n_{\text{IND}} \dots \dots \dots (\text{식8})$$

여기서,  $n_k$ : k 유사 기기 고장과 연관된 사건 총수

$P_k^{(i)}$ : 사건 i 영향 벡터의  $P_k$  요소

$n_{\text{IND}}$ : 독립 사건 총 수

T: 데이터 베이스에 경험사건 총 수

## 2.2 중요도 분석 방법

중요도 분석은 참고문헌 [16,17]에 따라 수행하였다. 참고문헌에 따른 중요도 분석 과정은 다음과 같다;

- PSA를 이용한 기기 중요도 순위화에 사용될 중요도 척도(importance measures)와 기준 값을 설정하고 민감도 분석(sensitivity analysis) 항목 선정
- PSA를 이용한 기기중요도 순위화
- PSA에 모델링 안되었거나 HSSCs가 아닌 기기에 대한 단순 고장모드 영향분석(failure mode and effect analysis)과 기기 고장 영향 평가
- PSA와 단순 고장모드 영향분석/ 고장영향 평가를 통한 종합적인 기기 순위화

참고문헌[16]에 따라 PSA를 이용한 기기 중요도 분석에서 사용될 중요도 척도는 FV(Fussel-Vesely)중요도와 위험도 달성가치(Risk Achievement Worth: RAW)이다. 이들에 대한 정의는 다음과 같다;

$$FV = [R_o - R_i(-)] / R_o = 1 - R_i(-) / R_o \dots \dots \dots (\text{식 9})$$

$$RAW = R_i(+)/ R_o \dots \dots \dots (\text{식 10})$$

$R_o$ : 기본 위험도,

$R_i(+)$ : 기기 i가 고장시 증가된 위험도,

$R_i(-)$ : 기기 i가 완벽 작동시 감소된 위험도

기기들을 중요도 척도 값에 따라 나누는 기준치는 참고문헌 [16,17]과는 다르게 설정하였다. 모터구동밸브의 안전성 평가는 원전의 안전성 증진을 위해 새로이 시행되는 것이고 발전소의 안전성에 미치는 영향 크기에 따른 기기분류는 주로 시험주기를 결정하기 위해 수행하는 것이기에 참고문헌[16,17]보다 다소 낙관적으로 다음과 같이 설정하였다;

- HSSCs(High Safety Significant components):  $FV > 0.005$
- ISSCs(Intermediate Safety Significant components):  $FV < 0.005$  &  $RAW > 2$
- LSSCs(Low Safety Significant components):  $FV < 0.005$  &  $RAW < 2$

참고문헌 [16,17]에 따라 민감도분석 항목을 다음과 같이 선정하였다;

- 공통원인고장 사건을 고려하지 않고 중요도 분석을 수행
- 회복행위를 고려하지 않고 중요도 분석 수행.
- HSSCs가 아닌 기기의 고장을 분포의 95% 값을 사용해 중요도 분석 수행.

중요도 분석시 단일사건과 공통원인고장 사건에 대한 중요도 분석 결과는 별도로 다루었다. 이는 공통원인고장 사건에 불확실성이 많기 때문이다. 분석시 사용한 절단치는  $1.0 \times 10^{-11}$ 이고 사용 전산 코드는 KIRAP[18]이었다. PSA를 이용한 중요도 분석에서 1단계 내.외부사건, 2단계 내부사건, 정지/저출력 운전 PSA 모델을 사용하였다. 참고문헌[16,17]에 따라 각각의 중요도 분석 결과는 다음과 같은 규칙아래 기기의 중요도를 평가하였다;

- 1) 기본분석 결과와 민감도분석(외부,정지, 2단계 제외) 결과 중 가장 높게 나온 값을 채택
- 2) 중요도 분석 결과가 동일하게 분류되면 다음과 같은 순서로 중요도 판정원을 표시; 기본 PSA → 공통원인고장 고려 안 한 경우 → 회복행위 고려안 한 경우 → 기기 이용불능도 95% 값일 경우 순으로 기재
- 3) 단일사건과 공통원인고장의 중요도가 동일한 범주로 분류되면 단일사건을 선정
- 4) 외부사건, 정지운전, 2단계 PSA에 대한 중요도 판정은 본 연구에서 개발된 종합적인 분석 방법에 따라 평가

PSA에 모델링 안되었거나 PSA를 이용한 중요도 분석에서 HSSCs가 아닌 기기로 판정된 기기에 대해서는 단순 고장모드 영향분석(failure mode and effect analysis)과 기기 고장이 가장 크게 미치는 영향을 정량화하여 중요도 분석을 하였다. 단순 고장모드 영향분석과 기기 고장 영향을 정량화하기 전에 평가 대상 기기의 기본정보를 파악하고 기기 고장으로 가장 크게 영향 받는 위험도 척도(노심손상빈도, 격납용기 격리실패, 계통 이용불능도)를 선정해 그 위험도와 관련된 기기 고장율을 정량화하였다. 이후 P&ID나 관련 안전성 보고서 등을 검토하여 영향받는 위험도에 대한 FV 중요도를 구해 역으로 기기 중요도를 평가하였다. 이에 관한 사항은 참고문헌[16,17]에 상세히 기술되어 있다.

### 3. 분석 결과

#### 3.1 MGL 모수 추정 결과

모터구동밸브의 안전성 평가가 모터구동밸브의 공통원인고장 경험 데이터에 미치는 영향을 파악하여 2.1에 소개한 MGL 모수 추정방법에 따라 울진 3,4 PSA에 사용된 MGL 모수를 손계산으로 재 추정하였다. 현재 울진 3,4 PSA에서 모터구동밸브의 MGL 모수 추정시 사용한 경험 데이터는 EPRI/NP-3967[14]이다. 이 데이터 가운데 모터구동밸브 안전성 평가 시행으로 확인이 되지만 반복적으로 발생되지 않은 사건을 파악하여 이 사건들을 경험 데이터에서 삭제하고 2.1에 기술된 MGL 모수 평가 방법에 따라 재평가 하였다. 베타( $\beta$ )이외의 다른 모수( $\gamma, \delta, \lambda...$ 등) 값은 불확실성이 크고 새로이 평가된 값과 차이가 별로 없을 것으로 판단되어  $\beta$ 만을 평가하였다. 평가시 다음과 같은 가정을 하였다;

- 안전성 평가는 모터구동밸브 안전성 평가 규정[7]에 따라 제대로 수행된다.
- 안전성 평가동안 별도로 확인된 모터구동밸브 공통원인고장은 없다.

울진 3,4 PSA의 모터구동밸브 공통원인고장 경험 데이터의 39개 사건중 18개 사건은 모터구동밸브 안전성 평가 시행으로 발견될 수 있는 사건이다. 18개의 사건 중 5개 사건은 반복적인 오류로 파악되었다. EPRI/NP-3967[13]에 나타난 13개 사건의 공통원인고장 원인은 설계(Design)나 절차서(Procedure), 또는 알 수 없는 것(Unknown)으로 확인이 되었다[12,14]. 이중 설계나 절차서 관련 공통원인고장 사건 10개를 울진 3,4 공통원인고장 경험데이터 원에서 삭제하고 나머지 원인을 알 수 없는 공통원인고장 3개는 50%만을 삭제하여 MGL 모수  $\beta$ 를 재평가 하였다. 표 2에는  $\beta$ 값의 평가결과가 나타나 있다.

표 2. 모터구동밸브 안전성 평가 시행으로 인한  $\beta$ 값 변화

계열	울진 3&4 현재 모델	MOV 안전성 평가 일차 종료후
2	0.0736	0.0501
3	0.0734	0.0507
4	0.0731	0.05
6	0.0732	0.0498
8	0.0701	0.0499

#### 3.2 중요도 분석 결과

울진 3,4호기의 모터구동밸브 안전성 평가 대상 밸브 수는 호기 당 121개로 이들 밸브 중 1단계 내부사건 PSA의 고장수목에 모델링 되어 있는 밸브 수는 시험 대상 기기의 56.19%인 68개이다. 이들 밸브들에 대한 세부적 사항이 표 3에 나타나 있다.

**표 3. MOV 시험 대상 밸브와 1단계 내부사건 PSA에 모델링되어 있는 기기 수**

	Butterfly	Gate	Globe	계
시험대상기기	33	57	31	121
모델링 수	12	39	17	68
모델링 비율	36.36%	68.42%	54.83%	56.19%

중요도 분석은 민감도분석과 MGL 모수 변화가 중요도 분석 결과에 미치는 영향을 파악하기 위해 다음과 같은 사항을 평가하였다;

- 현재의 울진 3,4호기 1단계 PSA 모델을 이용한 기본분석
- 현재의 울진 3,4호기 1단계 PSA 모델을 이용한 기본분석에 민감도 분석을 포함
- MGL 모수 변화에 따른 울진 3,4호기 1단계 PSA 모델을 이용한 기본분석
- MGL 모수 변화에 따른 울진 3,4호기 1단계 PSA 모델을 이용한 기본분석에 민감도 분석을 포함

기본분석은 1단계 내부사건만을 분석한 경우이고 기본분석에 민감도분석을 포함한 것은 2.2에서 언급한대로 기본분석의 중요도 값이 민감도분석의 값보다 작으면 민감도분석 값을 사용한 경우이다. 이들 각각의 경우에 대한 분석 결과가 표 4에 나타나 있다.

**표 4. 1단계 내부사건 PSA를 이용한 민감도 분석과 MGL 모수 변화에 따른 중요도 분석 결과**

분석 결과 종류	HSSCs	ISSCs	LSSCs
현재의 기본분석	20	16	32
MGL 모수 변화 기본분석	10	28	30
현재의 기본분석에 민감도 분석 포함	38	0	30
MGL 모수 변화 기본분석에 민감도 분석 포함	24	14	30

민감도분석 결과중 회복행위를 고려하지 않은 경우에는 새로이 HSSCs로 편입된 기기수가 많았다. 현재의 1단계 울진 3,4 PSA 모델을 이용하여 분석할 경우, 회복행위를 고려하지 않은 경우에 18개의 HSSCs가 새로이 추가되었고, MGL 모수 변화인 경우에는 새로이 14개의 HSSCs가 추가되었다. HSSCs나 ISSCs로 평가된 기기 대부분이 공통원인고장 사건으로 확인이 되었다. MGL 모수 변화에 따른 기본분석 결과를 보면 민감도분석을 포함시키지 않을 경우 HSSCs 갯수는 50%로 감소하는 것을 알 수 있다. 민감도분석을 포함시킬 경우 HSSCs 갯수는 36.8% 감소되는 것을 알 수 있다. ISSCs 개수는 변경된 MGL 모수를 사용하여 분석한 경우가 현재의 모수를 사용한 경우보다 증가하였다. 이는 변경된 MGL 모수를 사용한 경우, 현재의



모수를 사용한 평가에서 HSSCs로 평가된 모터구동밸브들이 변경된 MGL 모수 평가시 ISSCs로 평가되었기 때문이다.

외부사건 PSA와 정지/저출력 운전 PSA, 2단계 PSA를 이용하여 중요도 분석 결과 새로이 HSSCs로 추가 확인된 기기는 정지/저출력 운전 PSA에서 2개이다. ISSCs로 추가 확인된 기기는 정지/저출력 운전 PSA에서 2개, 2단계 PSA에서 2개이다. 1단계 PSA에서 HSSCs로 평가되지 않은 기기와 PSA에 모델링되지 않은 기기에 대한 단순 고장모드 영향분석(failure mode and effect analysis)과 기기 고장영향에 대한 정량화를 통한 기기 중요도 분석 결과 HSSCs로 추가 확인된 기기는 없었다.

표 5에는 MOV 시험대상 전체 기기에 대해 PSA 측면에서의 종합적인 분석 결과가 나타나 있다. 표 4에 나타난 HSSCs 개수에 새로이 2개의 HSSCs가 추가되어 변경된 MGL 모수를 사용한 종합적인 중요도 분석에서 HSSCs 갯수는 현재의 MGL 모수를 사용하여 분석한 경우보다 45% 감소되었고, 민감도 분석을 포함한 분석인 경우에는 현재의 분석 결과보다 HSSCs개수는 35%가 감소되었다.

본 연구에서 수행한 분석 결과와 기존에 수행되었던 South Texas 발전소[8]와 비교해 요약한 결과가 표 6에 나타나 있다. South Texas 발전소에 비해 HSSCs 기기가 울진 3,4호기에 많이 나타난 것은 두 발전소간의 PSA 특성차이와 평가시 이용한 PSA 범위 차이 때문인 것으로 판단된다.

**표 5. 민감도 분석과 MGL 모수 변화에 따른 종합적인 중요도 분석 결과**

분석 결과 종류	HSSCs	ISSCs	LSSCs
현재의 기본분석+외부.정지.2단계 PSA +단순 FMEA & 기기 고장 정량화	22	22	77
MGL 모수 변화 기본분석+외부.정지.2단계 PSA +단순 FMEA & 기기 고장 정량화	12	34	75
현재의 기본분석+민감도분석 +외부.정지.2단계 PSA +단순 FMEA & 기기 고장 정량화	40	6	75
MGL 모수 변화 기본 분석 +민감도 분석 +외부.정지.2단계 PSA +단순 FMEA & 기기 고장 정량화	26	20	75

표 6. 울진 3,4 호기와 South Texas 발전소 MOV 시험대상 기기 중요도 분석 비교

	울진 3,4호기		South Texas	
모델링/시험대상 기기 수	68/121(56.2%)		66/151(43.7%) – GL 89-10관련	
평가지 이용한 PSA 범위	1단계 내.외부사건, 정지/저출력, 2단계 내부사건 PSA		1.2단계 내부 사건 PSA	
민감도분석	회복행위 고려하지 않음, 공통원인고장 고려하지 않음, HSSCs가 아닌 기기 이용불능도 증가		회복행위 고려하지 않음	
PSA 측면서 분석 결과	HSSCs	26(40)*- 21.48%(33.05%)*	HSSCs	10 – 6.62%
	ISSCs	20(6)*- 16.53%(4.95%)*	ISSCs	27 – 17.88%
	LSSCs	75(75)*- 61.98%(61.98%)*	LSSCs	114– 75.49%

(\*): 현재의 울진 3,4 PSA 모델 사용하여 평가 경우

#### 4. 결론

본 논문에서는 PSA 측면에서 울진 3호기의 안전성 관련 모터구동밸브에 대해 중요도 분석을 수행하였다. 모터구동밸브의 안전성 평가 시행은 모터구동밸브의 공통원인고장 평가지 사용했던 경험 데이터에 영향을 주게 된다. 이에 본 연구에서는 울진 3,4 PSA에서 모터구동밸브의 공통원인고장 사건 평가에 사용되었던 MGL 모수를 재 추정하고 중요도 분석을 수행하였다. MGL 모수 추정 결과, 울진 3,4 PSA의 공통원인고장분석에 사용된 MGL 모수인 베타 값은 현재의 베타 값보다 약 30%가 감소되는 것으로 나타났다. 감소된 베타 값을 사용하여 모터구동밸브의 공통원인고장 확률을 평가하고, 중요도 분석을 수행하였다. 종합적인 중요도 분석 결과, HSSCs 갯수는 새로운 MGL 모수를 사용시 현재의 MGL 모수를 사용하여 분석한 경우보다 45% 감소되었고, 민감도 분석을 포함한 종합적인 분석인 경우에도 새로운 MGL 모수를 사용시 현재의 MGL 모수를 사용하여 분석한 결과보다 HSSCs 개수는 35%가 감소되었다.

추후 국내의 모터구동밸브에 대한 공통원인고장 데이터를 수집하여 MGL 모수를 평가하고 중요도 분석을 수행하면 HSSCs 갯수는 좀 더 줄어들 것으로 예상된다. 국내에서는 아직 국내의 공통원인고장 데이터의 수집과 평가가 제대로 이루어져 있지 않아 이에 대한 연구가 조속히 시행될 필요성이 있을 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구에 도움을 주신 안전기술원의 성계용님과 김월태님, 미국에 있는 조영균님에게 감사드립니다. 본 연구는 과학기술부의 원자력연구개발 사업의 일환으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

- [1]. 김월태, “안전관련 모터구동밸브 규제기술연구”, KINS/AR-454, 한국안전기술연구원, 1995
- [2] “모터구동밸브 및 동력구동 게이트 밸브 안전성 확인방안 검토 용역”, 한국전력공사, 1997
- [3]. GL 89-10, “*Safety-Related Motor Operated Testing and Surveillance*”, NRC, 1989
- [4]. GL 95-07, “*Pressure Locking and Thermal Binding of Safety-Related Power Operated Gate Valve*”, 1995
- [5]. GL 96-05, “*Periodic Verification of Design-Basis Capability of Safety-Related Motor Operated Valves*”, NRC, 1996
- [6]. 성계용, “*MOV Safety Evaluation*”, 세미나 자료, 2001
- [7]. “모터구동밸브 및 동력구동 게이트 밸브의 안전성 확인을 위한 권고사항”, 과학기술부, 1997
- [8]. Craig Sellers, Kar; Fleming, et al., “Optimized Periodic Verification Testing, Blended Risk and Performance-Based MOV IST Program, An Application of ASME Code Case OMN-1”, NUREG/CP-0152, Proceedings of the 4<sup>th</sup> NRC/ASME Symposium on Valve and Pump Testing, 1996
- [9]. “Risk Ranking Approach for MOVs in response to generic letter 96-05”, WOG, 1998
- [10]. ASME OMN-1 Code Case, “*Alternative Rules for Preservice and Inservice Testing of Certain Electric Motor Operated Valve Assemblies in LWR Power Plants*”, 1995
- [11]. IE Bulletin No. 8503, “*Motor Operated Valve Common Mode Failures during Plant Transients due to Improper Switch Settings*”, 1995
- [12]. “*Ulchin Units 3&4 Final Probabilistic Safety Assessment*”, 한국전력공사, 1995
- [13]. A. Mosley et al., “*Procedures for Treating Common Cause Failures in Safety and Reliability Studies*”, NUREG/CR-4780, NRC, 1987
- [14] “*Classification and Analysis of Reactor Operating Experience Involving Dependent Events*,” EPRI/NP-3967, PL&G Inc., 1985.
- [15]. 임태진 외, “PSA 수행용 기기 독립고장 자료 및 공통원인고장 자료 분석”, KAERI/CM-164/96, 1997, 한국원자력연구소
- [16]. 강대일 외. “울진 3,4호기 가동중시험 대상 기기의 위험도 정보를 이용한 중요도 분석”, KAERI/TR-xxx/2001, 미 발간 보고서, 한국원자력연구소
- [17]. 강대일 외, “울진 3,4호기 가동중시험 대상 기기의 위험도 정보를 이용한 중요도 분석”, 2001 추계 원자력학회,
- [18]. 김태운, 한상훈 외, “KIRAP을 이용한 사고경위 정량화 방법”, KAERI/TR-848/97, 한국원자력연구소, 1997