

자료원 사이의 종속성을 고려한 일반 기기 신뢰도 데이터 베이스 구축

황미정, 정원대
한국원자력연구소

임태진
숭실대학교

요약

문헌자료 간의 종속성을 고려한 베이지안(Bayesian) 방법을 개발하였으며, 이를 바탕으로 원자력 발전소의 일반 기기 신뢰도 데이터 베이스를 구축하였다. 기존에 개발되어 사용되어 온 3단계 베이지안 자료 분석 코드인 MPRDP (Multi-Purpose Reliability Data Process)[1,2,3]는 기존의 신뢰도 데이터 베이스 계산 코드들과는 달리 문헌자료를 2단계에서 처리한 후 3단계에서 발전소 고유 자료를 처리하여 계산하도록 개발되었다. 그러나 이전에는 일반 자료들간의 종속성을 고려하지 못하고 동일한 자료원을 근거로 만들어진 여러 자료원들을 모두 독립적인 것으로 처리하였다. 본 논문에서는 보수적 선형적 베이지안 방법의 일종인 ML-II(Type II Maximum Likelihood) 방법을 이용하여 자료들 간의 종속성을 처리[5]하였다. 솔레노이드 구동밸브를 예로 종속성 처리에 따른 분석 결과의 차이를 보여주었으며, 또한 일부 기기에 대한 국내 고유 자료를 바탕으로 MPRDP를 통한 기기신뢰도를 추정하였다.

1. 서론

원자력 발전소의 재해도를 정량화하는 확률론적 안전성 평가(Probabilistic Safety Assessment ; PSA)에 있어서 가장 기본적으로 필요한 정보는 원자력 발전소를 구성하는 개별 기기의 신뢰도라고 할 수 있다. 가장 이상적인 기기 신뢰도 데이터 베이스는 발전소 고유 운전 자료를 근거로 한 것이지만, 이는 운전이력이 짧거나 건설 중인 신규 발전소에 대해서는 불가능한 일이다. 그러므로 적절한 일반 기기신뢰도 데이터 베이스를 먼저 구축한 후 계속해서 운전 자료를 더하여 이를 개정하는 것이 일반적인 방법이며, 이때 베이지안 통계 처리 방법을 주로 사용한다. 국내에서는 일반 기기신뢰도 데이터베이스 구축을 위해 3단계 베이지안 분석 코드인 MPRDP 코드를 개발한 바 있다[1].

기기신뢰도에 대한 일반 자료로는 해외 발전소의 운전 이력에 근거한 일반 발전소 데이터와 타 PSA보고서나 신뢰도데이터 문헌자료집으로 구분할 수 있다. 일반 발전소 데이터는 운전시간 또는 작동 요구에 대한 실패 수로 표현되며, 수집이 어렵지만 각 데이터 간의 종속성이 없으므로 통계적인 계산 처리가 다소 쉽다. 반면, 일반 문헌 자료집은 수집이 용이하며, 몇 개의 발전소 데이터를 통계 처리하거나 타 문헌을 참고하여 얻은 추정치들이다. 따라서 고려된 발전소 자료가 중복되거나 동일한 참고문헌을 사용하였다면, 각 문헌자료 사이에 종속성이 내재한다.

기존의 신뢰도 자료 처리 방법들은 대부분 일반 발전소 자료만을 대상으로 하여 개발된 것이므로, 문헌 자료와 같이 상호 종속성을 갖는 통계량을 계산하는 데는 적합하지 않다. 과거 PSA에서는 분석자의 주관적인 선별 과정을 통해 문헌자료를 처리해왔으며, 이로 인해 일반 신뢰도 자료의 일관성과 정확성이 결여될 가능성이 높았다. 따라서 보다 정확한 기기 신뢰도 데이터베이스 구축을 위해서는 통계량 형태의

문헌자료를 처리할 수 있을 뿐만 아니라 이들 사이에 존재하는 종속성을 처리하는 새로운 방법이 필요하다.

본 논문에서는 기존에 개발된 MPRDP를 개선하기 위해 문헌 데이터 사이의 종속성을 고려한 기기신뢰도 추정 방법을 제시하였다. 문헌자료 간의 종속성 처리를 위해서 모수적 선형적 베이저안 방법(Parametric Empirical Bayesian : PEB)의 일종인 ML-II 방법을 이용하였다. 국내 발전소 고유자료의 수집이 아직 미미한 상태이므로, 본 논문을 통해서 2단계까지만 처리한 일반 기기신뢰도 데이터 베이스를 구축하였다. 또한 국내 고유 자료가 있는 일부 기기에 대해서 개선된 MPRDP를 사용하여 기기신뢰도를 추정하여, 대상 발전소 자료가 신뢰도 추정치에 어떤 영향을 주는지 분석하였다.

2. 자료 분석 방법

2.1 베이스 (Bayes) 이론에 근거한 기존의 일반 자료 분석 방법

해당 발전소의 최소한 고장 자료를 보완하기 위해 유사한 발전소의 고장 자료를 활용하는 체계적인 분석절차에 대한 첫 연구는 Kaplan[4]에 의하여 제안되었다. 그는 유사 발전소에서의 가동 중 고장자료를 이용하여 고장률의 모집단 변이 분포를 추정하고, 이를 다음 단계의 사전 분포로 하여 해당 발전소의 사후 분포를 추정하는 2단계 베이저안 방법을 제안하였다. 그러나 이 방법은 개별자료의 처리에만 집중되어 있고 문헌 추정치와 같이 요약된 자료의 활용방법은 제시하지 않고 있다.

2.2 일반 문헌자료 간의 종속성을 고려한 3단계 베이저안 방법

기존의 2단계 베이저안 방법과는 달리 문헌자료를 2단계에서 처리한 후 3단계에서 발전소 고유 자료를 처리하는 3단계 베이저안 방법 및 관련 전산 코드 MPRDP를 개발한 바 있다[1]. 본 논문에서는 문헌 자료 사이의 종속성을 처리하는 방법을 개발하고 이를 반영하여 MPRDP 코드를 개선하였다. 기존의 신뢰도 데이터 처리 방법들이 대부분 발전소 자료의 처리에 중점을 두는데 비해 이 방법은 2단계에서 일반 문헌 자료를 사용하여 사전분포를 구한다. 그러나 일반 자료의 사용으로 인해 발생할 수 있는 자료원들 간의 종속성을 고려해야 할 필요성이 있으므로, 2단계 처리 과정에 ML-II 방법을 이용하여 종속성을 처리하도록 하였다. 이 방법은 문헌 자료까지도 사전 분포를 구하는데 사용할 수 있으므로 기기 이력이나 시험 자료가 부족한 원자력 발전소에 대한 신뢰도 데이터 베이스의 통계처리에 유용할 것이다.

3. 자료 분석 절차

기존의 기기 신뢰도 데이터 베이스는 대부분 전문가의 주관적이고 정성적인 분석을 통하여 기기 고장률의 점 추정치만을 제시하고 있는데, 본 연구에서는 MPRDP 코드로 입력 자료를 처리하여 점 추정치 및 불확실성 추정치를 계산하였다. 고장률 분포로는 대수 정규 분포를 사용하였고 고장률의 평균값 추정치와 오차 추정치를 제시함으로써 고장률 분포를 구축하였다.

본 논문에서는 선별과정을 거쳐 31개의 문헌자료를 기본자료로 사용하였다. 이들 자료집은 현재까지 수행된 대부분의 PSA에서 고려된 대부분의 기기신뢰도 데이터베이스를 포함하고 있다. 유사 발전소의 자료, 문헌 자료 그리고 발전소 고유 자료로 구성된 자료의 처리를 위한 3단계 베이저안 분석 절차는 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 1단계 : 공학적 지식과 주어진 유사 발전소 자료를 베이저안 처리하여 모집단 변이 분포를 추정한다.
- 2 단계 : 1단계에서 구한 추정치와 다른 문헌자료를 베이저안 처리하여 모든 일반 자료를 반영한 모집단 변이 분포를 추정한다.

□ 3 단계 : 2단계에서 추정된 분포를 사전 분포로 놓고 발전소 고유 자료를 베이지안 처리하여 해당 발전소에서의 고장 모수의 사후 분포를 추정한다.

3.1 MPRDP 코드

1단계 처리과정은 기존의 코드들과 같으므로 2단계와 3단계에 대해서만 간단히 설명한다. 1단계에서 구한 모수추정치들은 2단계에서 하나의 일반 문헌자료로 간주한다. 다른 사용가능한 문헌자료가 없다면 1단계에서 얻은 추정치들이 그대로 3단계에서 사전 분포로 사용된다. 일반 발전소 자료가 없는 경우에는 2단계에서 사용 가능한 문헌 자료만으로 3단계 수행을 위한 사전 분포를 구한다. 2단계는 MPRDP Code 만이 수행하는 절차로 주어진 자료 E_0, E_1 과 E_2 로 조건부 우도(Likelihood) 계산을 다음의 두가지 식으로 표현한다.

$$P(\theta_{ij}|E_0, E_1, E_2) \cong \frac{P(\theta_{ij}|E_0)P(E_1, E_2|\theta_{ij}, E_0)}{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J P(\theta_{ij}|E_0)P(E_1, E_2|\theta_{ij}, E_0)} \quad (1)$$

$$\cong \frac{P(\theta_{ij}|E_0)P(E_1, E_2|\theta_{ij}, E_0)}{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J P(\theta_{ij}|E_0, E_1)P(E_2|\theta_{ij}, E_0, E_1)} \quad (2)$$

3단계에서는 2단계에서 얻은 사전 분포를 다음 식으로 표현한다.

$$P(\Lambda \in C_i|E) \cong \frac{P(\Lambda \in C_i|E_0, E_1, E_2)P(E_3|\lambda_i, E_0, E_1, E_2)}{\sum_{i=1}^k P(\Lambda \in C_i|E_0, E_1, E_2)P(E_3|\lambda_i, E_0, E_1, E_2)} \quad (3)$$

E_0 = 일반적인 공학적 지식 또는 가정

E_1 = 유사 발전소의 운전 이력으로부터 얻은 자료

E_2 = 문헌 자료에서 얻은 고장률 추정치 또는 고장률 분포

E_3 = 발전소 고유 자료

$P(E_1, E_2 | \theta_{ij})$ = joint distribution

$P(\theta_{ij}|E_0, E_1, E_2)$ = 사후 분포

$P(\theta_{ij}|E_0)$ = 사전분포

E_3 의 조건부 확률분포함수 $P(E_3|\lambda)$ 는 E_3 자료 형태에 따라 다르다. E_3 가 운전중 고장 사건으로 주어지면 확률분포함수는 Poisson 분포이고, 기동 실패 사건이면 이항 분포를 가진다. 3단계 베이지안 절차의 특징은 베이스 이론을 적용함에 있어서 사전 고장률 분포를 결정하기 위해 E_1 과 E_2 를 연속적으로 사용함에 있다. 뿐만 아니라 본 논문에서는 E_2 에서 사용되고 있는 자료들에 대한 가중치를 주어서 각 문헌들 간의 종속성을 처리한다.

3.2 모집단 변이 분포 추정[5]

문헌 자료들 간의 종속성은 자료 분석자들이 중복 혹은 참고 문헌의 중복에서 기인한다고 볼 수 있으나, 보다 근본적이고 정량화가 가능한 원인은 각 문헌에서 반영한 발전소 자료들의 중복에 있다. 따라서 종속성을 추정하는데 요구되는 최소한의 자료는 각 문헌에서 처리한 개별 발전소 자료의 수와 두 문헌에서 공통적으로 사용한 발전소 자료의 수가 된다. 모집단 변이 분포 (Population Variability Distribution; PVD) 를 모수적 분포로 제한한다면 모수 추정 문제가 된다. 주어진 모수에 대한 문헌 자료의 조건부 결합 분포가 유도된다면 베이스 정리를 이용하여 이 문제를 해결할 수 있으나 문헌 추정치는 발전소 자료들로 구성된 복잡한 통계량이므로 이들의 결합 분포가 확정적 형태를 갖는 경우는 드물고 추정치 자체가 확정적 형태로 표현되지 않는 모형도 다수 존재한다. 본 논문에서는 확정적

형태의 추정량을 갖게 되는 경우로서 대수 정규모형에 대하여 ML-II 방법에 기초하여 문헌 자료를 처리하는 방법을 사용한다.

ML-II 추정 방법은 PEB 방법의 일종으로서 모수의 사전 확률분포함수 π 가 주어졌을 때 자료 x 의 조건부 확률분포함수 $m(x|\pi)$ 를 π 에 대한 우도 함수로 하여 이를 최대화하는 사전 확률분포함수를 구하는 방법이다. 사전 분포 π 는 변수를 갖는 모수적 분포로 주어지므로 조건부 확률분포함수를 최대화하는 변수의 식을 구한다.

고장 자료는 조건부 독립적이고 고장 모수는 발전소 변이 분포라는 공통된 분포를 따르므로 PEB 방법의 적용이 가능하다. PEB는 공통의 분포를 모수적 분포로 모형화하여 분석하는 방법으로서 변수의 추정량에 대한 수리적 표현이 가능한 경우에는 문헌 자료와 같은 통계량의 처리에 적합하다.

4. 예제

4.1 종속성 고려시의 효과

자료간의 종속 정도가 크면, 독립적이라고 가정했을 때의 결과와 종속성 고려시의 결과에 많은 차이가 있다. 일 예로 솔레노이드 구동밸브의 기동 실패 확률에 대한 문헌 자료를 수집하여 표. 1에 정리하였다. 표에서와 같이 분포의 위치 모수 및 산포 모수 추정치가 자료에 따라 큰 차이를 보인다. 종속성 추정시의 가중계수 중에 음의 수는 여러번 중복되어 인용된 자료를 의미한다. 그림1 과 그림2는 가중 계수가 큰 문헌들의 PVD와 종속성 고려시의 PVD, 독립적일 때의 PVD를 도식하였다. 그림2를 보면 종속성을 고려시에는 PVD가 NUREG/CR-2728 [6]과 NUREG/CR-4550 [7]의 특성을 반영하고 있음을 알 수 있다. 표2는 종속성을 고려한 경우의 일반 기기 신뢰도 데이터 베이스 요약표의 일부분이다.

표 1 솔레노이드 구동 밸브 기동 고장 자료

No.	Source	mean (10e-3/ yr)	EF	$\hat{\xi}_i$	$\hat{\sigma}_i^2$	N_i	Dependency	$p_i(I)$	$p_i(D)$
1	WASH-1400	1.25	3.0	-6.91	0.45	20	2, 10, 16, 20 25	.45	.027
2	German-IAEA	13.	20.0	-6.00	3.32	22	1	.39	.037
10	NREP Guide DB	1.0	3.0	-7.13	0.45	60	1,13	.105	.083
13	NUREG/CR- 2728	1.0	3.0	-7.13	0.45	60	10,23,25	.105	.520
16	Seabrook PSS	2.4	9.5	-6.97	1.87	50	1,6,11,17	.088	.145
18	Midland PSA	2.4	9.5	-6.97	1.87	25	6,25	.044	.070
19	Oconee PRA	0.013	12.7	-12.44	2.39	20	1, 6, 25	.035	.003
20	NUREG/CR- 1740	1.7	19.1	-7.99	3.22	70	1, 25	.123	.135
21	Sweidsh NPP DB	0.25	5.2	-8.80	1.01	8	None	.014	.025
23	NUREG/CR- 2815	0.72	3.5	-7.53	0.58	65	13,24	.114	.329
24	NUREG/CR- 4550,V3	1.0	3.0	-7.13	0.45	15	13, 20, 23, 25	.026	.023
25	NUREG/CR- 4550,R0	2.0	3.0	-6.44	0.45	80	Most	.141	.208
27	Old PWR- IAEA	1.7	2.3	-6.52	0.26	30	N/A	.055	.088
29	French-900 PSA	0.23	2.7	-8.56	0.37	44	None	.77	.132
Independence		2.2	13.7	-7.40	2.53	569			
Dependence		2.1	9.4	-7.08	1.85				

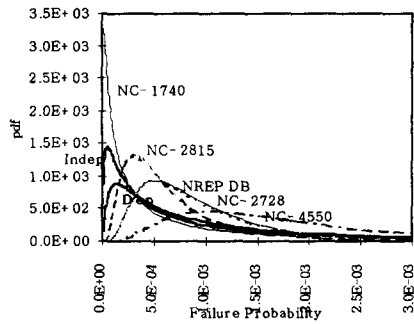


그림 1 독립성 가정하에서의 주요 문헌 추정치와 PVD

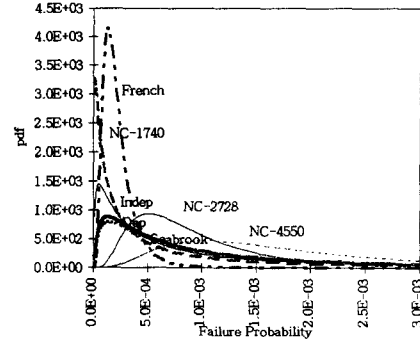


그림 2 종속성 고려시의 주요 문헌 추정치와 PVD

표 2 일반 기기 신뢰도 데이터 요약표

Component Name	Failure Mode	Type (*)	Code (**)	Dep		Indep	
				Mean	EF	Mean	EF
Motor operated valve	fail to open	0	MVO	4.84e-3	9.0	2.74e-3	3.7
	fail to close	0	MVC	4.84e-3	9.0	2.74e-3	3.7
	fail to remain open	3,1	MVT,MVP	1.70e-7	10.9	1.05e-7	3.2
	catastrophic internal leakage	3	MVL	5.36e-7	39.6	8.51e-7	66.3
Solenoid operated valve	fail to open	0	LVO	2.11e-3	9.4	9.37e-7	5.0
	fail to close	0	LVC	2.11e-3	9.4	9.37e-7	5.0
	transfer closed	3,1	LVT	5.94e-7	10.9	3.54e-7	4.6
Air operated valve	fail to open	0	AVO	2.17e-3	5.0	1.11e-3	2.4
	fail to close	0	AVC	2.17e-3	5.0	1.11e-3	2.4
	transfer closed	3,1	AVT	4.11e-7	10.5	3.01e-7	6.0
Check valve (Other than stop check)	fail to open	0	CVO	6.50e-4	12.5	4.57e-7	8.4
	fail to close	0	CVC	6.50e-4	12.5	4.57e-7	8.4
	transfer closed	3,1	CVT	3.80e-8	8.4	9.44e-8	8.9
	reverse leakage	3	CVL	1.38e-6	19.4	2.00e-6	21.5
Stop check valve	fail to open	0	CVO	6.80e-4	14.8	1.26e-3	13.1
	fail to close	0	CVC	6.80e-4	14.8	1.26e-3	13.1
	transfer closed	3,1	CVT	9.45e-8	18.1	1.65e-7	9.6
	reverse leakage	3	CVL	1.38e-6	6.7	1.82e-6	12.2
Check valve (All type)	internal rupture (catastrophic)	3	CVL	1.30e-8	41.7	3.46e-9	23.1
Manual Valve	fail to open	0	VVO	1.19e-4	10.0	6.06e-5	5.5
	fail to close	0	VVC	1.19e-4	10.0	6.06e-5	5.5
	fail to remain open	3,1	VVP,VVL	1.45e-7	11.6	9.42e-8	7.8
Pressurizer safety valve	fail to open	0	PZSVO	3.53e-3	15.4	1.56e-3	12.4
	fail to reclose	0	PZSVC	1.31e-2	9.2	8.69e-3	8.0
Pilot operated relief valve	fail to open	0	PVO	8.55e-3	17.7	9.58e-3	7.3
	fail to close	0	PVC	1.55e-2	9.8	1.48e-3	6.7
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

4.2 국내 고유 자료를 반영한 기기신뢰도 추정

발전소 고유 자료가 신뢰도 통계 처리 결과에 주는 영향을 파악하기 위하여 국내 고유 자료가 일부 가용한 기기에 대하여 MPRDP를 통한 기기신뢰도를 추정하였다. 고리 1호기 화학 및 체적제어계통 충전 펌프와 비상 디젤발전기(D/G)를 대상으로 하였다.

화학 및 체적 제어계통 충전 펌프 고장에 대한 자료는 '79년부터 '83년까지 5년간 고리 1호기에 대해 수집된 자료를 사용하였다. 기기에 대한 자료가 비교적 적은 경우이고 운전 중 고장 자료이다. 고장이력은 5년간 운전 중 4회 고장이력이 있었으며, 통계 처리 결과는 표 3과 그림 3에 정리하였다.

D/G에 대한 발전소 고유 자료는 다른 기기들에 대한 자료보다 비교적 풍부한 편이다. 계산 결과에서 알 수 있는 바와 같이 베이지안 처리를 한 결과가 각 기동 요구 실패수에 대한 단순산술평균과 크게 달라지지 않음을 알 수 있다. 그러나 오차인자가 일반 신뢰도 데이터에 비하여 현저히 낮아지므로

PSA에서 보다 신뢰도 있는 정량화 결과를 얻을 수 있을 것으로 예상된다. 통계 처리 결과는 표 4와 그림 4에 정리하였다.

표 3 3단계 처리 결과 (CVCS Charging Pump)

사전/사후	평균	EF	μ	σ
사전	1.25e-4	21.2	2.233e-5	1.856
사후	8.346e-5	2.383	6.94e-5	0.5279

표 4 3단계 처리 결과 (D/G)

발전소	사전/사후	평균	단순 산술평균	EF	μ	σ
고리3	사전	2.07e-2	12/294=	6.2	1.11e-2	1.11326
	사후	3.76e-2	4.08e-2	1.62	3.451e-2	2.919e-1
고리4	사전	2.07e-2	6/286=	6.2		
	사후	1.96e-2	2.1e-2	1.94	1.75e-2	4.04e-1
월성 1 SDG	사전	2.07e-2	19/746=	6.2		
	사후	2.46e-2	2.55e-2	1.46	2.285e-2	2.319e-1
월성 1 EPS	사전	2.07e-2	15/742=	6.2		
	사후	1.96e-2	2.02e-2	1.52	1.812e-2	2.561e-1

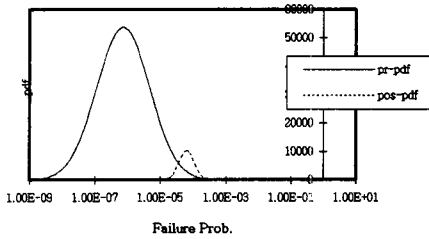


그림 3 PVD & Posterior pdf for CVCS Charging Pump

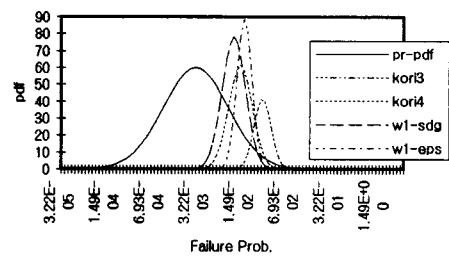


그림 4 PVD & Posterior pdf for D/G

5. 결론 및 토의

본 논문에서는 문헌자료 간의 종속성을 고려한 베이지안 방법을 제시하고, 이를 근거로 MPRDP 코드를 개선하였다. 또한 개선된 MPRDP 코드를 사용하여 원자력 발전소의 일반 기기신뢰도 데이터베이스를 구축하였다. 자료들간의 종속성 처리에는 PEB 방법의 일종인 ML-II방법을 사용하였다. 솔레노이드 구동밸브를 예로 종속성 처리에 따른 분석 결과의 차이를 보여주었으며, 또한 일부 기기에 대한 국내 고유 자료를 바탕으로 MPRDP를 통한 기기신뢰도를 추정하였다.

몇 가지 예제를 통한 추정 결과를 보면 문헌 추정치 간의 종속성은 최종 추정 결과에 큰 영향을 미칠 수 있음을 알 수 있다. 종속성의 증가에 따라 유효한 표본의 수가 감소하여 추정의 정밀도는 감소하며 상대적으로 독립성이 큰 자료의 비중이 증가함을 알 수 있다.

본 연구에서 사용한 가정은 몇 가지 제한성을 갖고 있다. 첫째, ML-II 방법은 PVD를 모수적 분포로 제한하므로 정보의 손실이 발생할 수 있다. 이에 대한 대안으로 후보 분포들의 우도를 반영한 평균적 분포 추정 방법을 생각할 수 있다. 또한 개별 발전소 자료의 추정 오차가 동일한 산포를 갖는다는 것도 제한적 가정의 하나로서 추후 연구 대상의 하나이다.

국내 고유 자료를 반영한 기기신뢰도 분석 결과를 보면 발전소 고유 자료가 적은 화학 및 제적 제어 계통 충전펌프에 있어서는 발전소 고유 자료가 사후 평균에 주는 영향이 클 뿐 아니라 추정 오차에 미치는 영향도 컸다. 반면, D/G의 경우에 있어서는 발전소 고유 자료를 입력하여 3단계 처리한 신뢰도가 일반 데이터 평균값 또는 기동 실패에 대한 단순 산술 평균값과 약간의 차이를 보일 뿐이다. 그러나 오차인자는 현저히 줄어들어 신뢰도 정도가 증가함을 보여 준다. 이는 종속성 처리로 인해 높아진 오차

인자를 줄여 주게 되므로 보다 신뢰성 있는 결과를 얻게 된다는 것을 의미한다. 그러므로 앞으로 보다 신뢰성 있는 데이터 베이스 구축을 위해 국내 고유 자료의 수집 및 이를 이용한 3단계 베이지안 분석이 요구된다.

참고 문헌

- 1) 일반 기기 신뢰도 자료 조사/비교 및 PSA 수행용 일반 데이터 베이스 구축, KAERI/TR-364, 1993. 5
- 2) Park, Chang K. and T.J. Lim, Introduction to MPRDP, a reliability data processing code, Proceeding. 9th Pacific Basin Nuclear Conference, pp. 685-692, 1994.5
- 3) T. J. Lim, and C.K. Park, "Enhancement of the Bayesian Procedure for Developing a Reliability Data Base," Proceedings of PSA International Topical Meeting, Florida, 1993
- 4) S. Kaplan, "On a Two-Stage Bayesian Procedure for Determining Failure Rates from Experimental Data," IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-102, No. 1, pp. 195-202, 1983
- 5) Lim, T.J., Estimating the population variability distribution using dependent estimates from generic sources, The Korean OR/MS Society, pp. 43-59, 1995. 12
- 6) NUREG/CR-4550, Analysis of Core Damage Frequency from Internal Events: Methodology Guidelines, SNL, 1987
- 7) Carlson, NUREG/CR-2728, Interlim Reliability Evaluation Program Procedure Guide, SNL, 1983