2004 춘계 학술발표회 논문집

한국원자력학회

위험도 정보 활용에서의 기기 이용불능시 위험도계산

Quantification of Risk for the Cases Where the Component is Unavailable in the Risk-Informed Applications

강대일, 김길유, 황미정, 양준언

한국원자력연구소

요약

본 논문에서는 위험도 정보활용에서 기기 이용불능시의 위험도계산에 대한 방법과 결과를 기술하였다. 기기 이용불능 원인을 정비시, 실질적인 고장 발생 경우, 그리고 가상적인 고장 발생일 경우로 구분하여 공통원인고장 확률과 계통이용불능도, 위험도 계산방법을 간단한 예제를 통해 기술하였다. 본 논문에서 가상적인 기기 고장은 고장수목으로 표시된 기기고장 사건중 임의의 기본사건이 발생했을 경우의 기기고장으로 정의하였다. 두개 이상의 독립사건과 한개 이상의 공통원인고장으로 이루어진 기기에서 기기의 가상고장 발생할 경우의 위험도계산 결과는 기기의 실질적인 고장 발생한 경우보다 작아짐을 알 수 있었다.

Abstract

This paper presents the methods and results on the quantification of risk for the cases where the component is unavailable in the risk-informed applications. We classify the causes of the component unavailable into the cases of the maintenance, the actual failures, and the hypothetical failures, and present the calculation method of the risk for each case through simple examples. In this paper, we define the hypothetical failures of a component as the occurrence of any basic event for its failures represented by the fault tree of the PSA. This study shows that the calculation results of the risk for the hypothetical failure of the component is smaller than those for the actual failure of the component if the component failure represented by the fault tree consist of several independent failure events and more single common cause failure events.

1. 서론

위험도정보활용에서 기기 이용불능시의 위험도 계산은 일반적으로 이용불능 기기에 'TRUE(omega)'의 값을 할당하여 계산한다. 만일 기기의 이용불능 원인이 독립원인고장이 아니라 공통원인고장으로 발생되었다면 이용불능 기기와 유사한 다른 기기 역시 동일 원인으로 이용불능일 수 있기 때문에 공통원인고장 확률을 재계산하여 조건부 위험도를 정량화한다. 이와 같이 위험도 정보활용에서 기기 이용불능시 조건부 위험도를 계산하는 경우는 다음과 같다[1]:

- 예방정비 또는 고장정비시의 위험도 계산
- 안전계통 기기 고장 또는 안전심각도 결정과 같이 실제 기기 고장 발생시의 위험도 계산
- 기기 위험도 달성가치 계산이나 허용정지시간의 영구적 변경에 대한 조건부 위험도확률 계산과 같이 기기 고장을 가상적으로 다룰 경우의 위험도 계산

본 논문에서는 기기 고장을 실제적인 고장과 가상적인 고장으로 구분하고자 한다. 실제적인 기기 고장은 말 그대로 정상 상태의 기기가 고장으로 이용불능된 경우이다. 가상적인 기기 고장은 고장수목으로 표시된 기기고장 사건중 임의의 기본사건이 발생했을 경우의 기기고장으로 정의한다. 기기에 대한 고장수목에서 고려하는 기기 이용불능 사건은 기기의 실질적인 고장뿐만 아니라 정비로 인한 기기 이용불능사건도 포함된다. 이러한 가상적인 기기 고장 발생시 이를 실질적인 기기 고장 사건으로 간주하고 조건부 공통원인고장 확률과 위험도를 계산하면, 기기 고장이 다수 독립사건과 단일 또는 다수 공통원인고장 사건으로 이루어졌을 경우 보수적인 결과를 얻을 수 있다.

지금까지 수행된 기기 이용불능시의 조건부 위험도에 관한 연구는 기기 정비와 실제적인 기기고장 사건 발생일 경우이었다. P.K. Samanta et al.[2]는 공통원인고장확률이 MGL 모수로 표시되었을 경우, 기기 정비와 허용정지시간 변경에 대한 조건부 위험도 계산을, Deal M. Rasmuson[3]은 공통원인고장확률이 알파 (α) 모수로 표시되었을 경우 기기 정비와 안전계통 기기의 고장사건 발생시의 조건부 위험도 계산을 수행하였다. P.K. Samanta et al.는 허용정지시간의 영구적 변경에 대한 위험도 계산을 실질적인 기기고장 발생으로 가정하고 위험도를 계산하였지만 저자들은 가상적인 기기 고장으로 판단한다. 가상적인 고장으로 보는 이유는 허용정지시간 변경에 대한 규제 지침서인 RG 1.177[4]에서는 기기 고장 (failure)이 아닌 기기 정지 (out of service)라는 용어를 사용하여 조건부 위험도를 계산하라고 요구하고 있기 때문이다. 기기 정지는 실제적인 기기 고장뿐만 아니라 기기 정비상태도 포함되고 있다.

이에 본 논문에서는 MGL 방법(베타방법)을 이용하여 기기의 이용불능 원인이 정비일 경우, 실질적인 고장 발생 경우, 그리고 가상적인 고장 발생일 경우의 공통원인고장 확률과 계통이용불능도, 위험도 계산방법을 간단한 예제를 통해 기술하였다. 2장에서는 기기 고장이 단일 독립원인 고장과 단일 공통원인고장일 경우에 대한 정비와 실제적인 고장, 가상적인 고장일 경우의 공통원인고장확률, 계통

이용불능도, 위험도 계산 방법을 기술하였다. 3장에서는 기기고장이 두개의 독립사건과 하나의 공통원인고장 사건으로 이루어졌을 경우에 대해 기술하였다. 4장에서는 기기의 가상적인 고장 경우에 대한 실제의 예인 PSA에서 기기 위험도 달성가치 계산 경우와 영구적인 허용정지시간 변경시의 위험도 계산에 대해 기술하였다. 끝으로 5장에서는 결론을 기술하였다.

2. 기기이용불능이 단일 독립고장 사건과 공통원인고장 사건으로 이루어진 경우

그림 1처럼 두 개의 유사형태기기 A, B로 이루어진 계통을 생각하자. 이 계통의 성공기준을 두 개중 한 개의 성공으로 가정할 경우, 계통 실패에 대한 Boolean 식은 다음과 같이 표현할 수 있다:

$S_{fail} = A_T * B_T = A_I * B_I + C_{AB}$ ……..……..……(1)

여기서, X_T는 기기 X의 전체 고장, X_I는 기기 X의 독립 원인 고장, C_{XY}는 기기 X와 Y의 공통원인고장을 나타낸다. 위의 (식1)에서 각 기기의 고장을 나타내는 기본사건들은 서로 배타적이다(mutually exclusive).

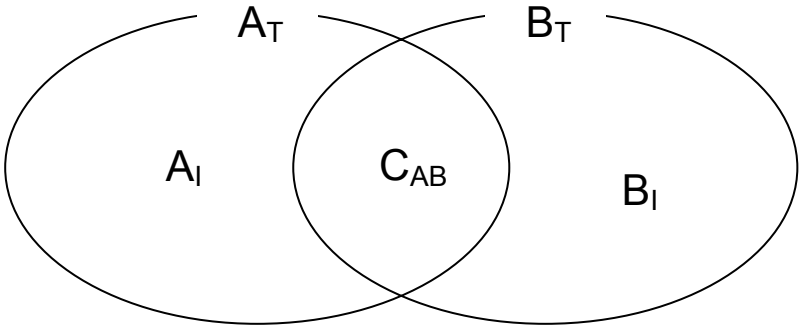

그림 1. 단일 독립고장과 공통원인고장으로 이루어진 기기 A와 B

유사 형태 기기와 관련된 유사 사건의 확률은 동일하다는 가정을 할 경우, 즉, P(x)는 사건 x의 확률이고 $P(A_T) = P(B_T) = Q_T$, $P(A_1) = P(B_1) = Q_1$, $P(C_{AB}) = Q_2$라고 할 경우, 계통 이용불능(S_{fail})에 대한 부울리안 식을 확률로 표현하면 희사상 근사(rare event approximation)에 의해 다음과 같다:

$P(S_{fail})=Q_{SYS} \approx P(A_T * B_T)=P(A_I * B_I + C_{AB}) = P(A_I * B_I) + P(C_{AB}) = Q_1^2 + Q_2$……(2)

공통원인 고장에 MGL(multiple greek letter) 방법 또는 베타(β)방법을 사용하였다면, 시차시험(staggered testing)인 경우 MGL 모수와 기기 전체 고장, 독립원인 고장, 그리고 공통원인고장 사이에는 다음과 같은 관계가 성립된다[5, 6]:

$Q_1 = (1-\beta)\, Q_T$

$Q_2 = \beta Q_T$……(3)

단, $\beta = Q_2 / Q_T$

(식2)에 (식3)를 대입하여 계통 이용불능도를 기기 전체 고장확률 Q_T와 MGL 모수 β로 표현하면 다음과 같다:

$$Q_{SYS} \approx \{(1-\beta)\, Q_T\}^2 + \beta Q_T \quad \text{.....(4)}$$

기기 정비시

기기 A가 예방정비로 이용불능일 경우, 계통 이용불능도는 하나의 기기가 있을 경우와 마찬가지이다. 기기 A가 정비이므로 (식1)에서 기기 고장사건 A_I을 제외시키고 공통원인고장 사건은 B로 인해 발생될 수 있기 때문에 그대로 둔다. 따라서 식 (2)는 다음과 같이 변경된다:

$$Q_{SYS} \approx P(B_T) = P(B_I + C_{AB}) = (1-\beta)Q_T + \beta Q_T \quad \text{.....(5)}$$

만일 기기 A의 실제적인 고장으로 고장정비를 수행한다면 기기 A가 고장이기 때문에 이를 고려하여 계통 이용불능도를 계산해야 한다. 위험도는 정비로 이용불능된 기기 A에 'TRUE(omega)'의 값을 할당하여 계산한다

기기의 실제적인 고장시

기기 A가 실제적인 고장으로 이용불능일 경우는 (식1)에서 사건 A_I, 또는 사건 C_{AB}가 발생한 것이다. 따라서 기기 B도 동일 원인으로 고장날 가능성이 있기 때문에 계통 이용불능도 확률 식은 다음과 같이 표현된다:

$$P(S_{fail} \mid A_T) = P(A_I * B_I + C_{AB} \mid A_T)$$

$$= P(A_I * B_I \mid A_T) + P(C_{AB} \mid A_T) = Q_1^2/Q_T + Q_2/Q_T \quad \text{.....(6)}$$

(식 3)을 (식 6)에 대입하여 계통 이용불능도 식을 기기 전체 고장확률 Q_T와 MGL 모수 β로 나타내면 다음과 같다:

$$P(S_{fail} \mid A_T) = (1-\beta)^2 Q_T + \beta \quad \text{.....(7)}$$

위험도를 계산할 경우에는 기기 A를 "TRUE(omega)", 공통원인고장 확률은 β로 놓고 계산한다.

기기의 가상적인 고장시

기기 A의 가상적인 고장시, 즉 다시말해 기기 A의 고장을 나타내는 고장수목의 기본사건 중의 한 사건이 발생되어 기기 A가 이용불능될 경우의 계통이용불능도를 계산해보자. 기기 A가 이용불능될 수 있는 사건은 실제의 고장으로 기기가 이용불능된 경우와 동일하므로 계통이용불능도와 위험도 평가 결과는 동일하게 된다.

3. 기기 고장이 두개의 독립고장 사건과 하나의 공통원인고장 사건으로 이루어진 경우

PSA의 고장수목에서 기기에 모델링되어 있는 기본 사건을 보면 한 가지 이상의

사건들이 공통원인고장과 함께 모델링되어 있다. 2개의 유사 밸브 A와 B로 이루어진 계통을 생각하자. 그림 2와 같이 밸브 A와 B의 고장 사건은 각각, 'Fail to Open', '정비로 인한 이용불능', '공통원인고장으로 인한 Fail to Open' 고장으로 이루어졌다고 가정한다. 계통의 성공기준이 1 of 2라면 계통실패에 대한 부울리안 식은 다음과 같이 표현될 수 있다:

$$S_{fail} = A_T * B_T = A_{FO} * B_{FO} + A_{FO} * B_{MA} + A_{MA} * B_{FO} + A_{MA} * B_{MA} + C_{AB\text{-}FO} \quad \ldots\ldots(8)$$

앞의 2절과 마찬가지로 여기서, X_T는 기기 X의 전체 고장, X_{FO}는 기기 X의 'Fail to Open', X_{MA}는 기기 X의 '정비로 인한 이용불능', $C_{XY\text{-}FO}$는 기기 X와 Y의 '공통원인고장으로 인한 Fail to Open' 고장모드에 관한 공통원인고장을 나타낸다.

P(x)는 사건 x의 확률이고 $P(A_T) = P(B_T) = Q_T$, $P(A_{FO}) = P(B_{FO}) = Q_{1FO}$, $P(A_{MA}) = P(B_{MA}) = Q_{1MA}$, $P(C_{AB\text{-}FO}) = Q_{2FO}$라고 할 경우, 공통원인 고장분석에 베타방법이나 MGL 방법을 사용하였다면 Q_{1FO}와 Q_{2FO}는 다음과 같이 표현된다:

$$Q_{1FO} = (1-\beta_{FO})Q_{TFO},$$

$$Q_{2FO} = \beta_{FO} Q_{TFO} \quad \ldots\ldots(9)$$

단, $Q_{TFO} = Q_{1FO} + Q_{2FO}$

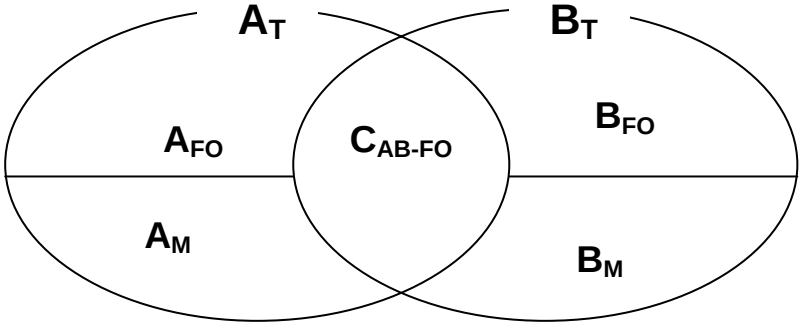

그림 2. 두개의 독립고장들과 하나의 공통원인고장으로 이루어진 기기 A와 B

각 기본사건 확률을 기기 전체 확률 Q_T로 표현하기 위하여 $Q_{1FO} + Q_{1MA} = Q'_1$라 가정하고 새로운 모수 β'를 다음과 같이 정의하자:

$$Q'_1 = (1-\beta')\, Q_T$$

$$Q_{2FO} = \beta' Q_T \quad \ldots\ldots(10)$$

단, $\beta' = Q_{2FO} / Q_T$, $\quad Q_T = Q_{1MA} + Q_{TFO}$

(식9)와 (식10)을 이용하면 (식8)의 계통 이용불능도 식은 다음과 같다:

$$P(S_{fail}) = Q_{SYS} \approx P(A_T * B_T) = P(A_{FO} * B_{FO} + A_{FO} * B_{MA} + A_{MA} * B_{FO} + A_{MA} * B_{MA} + C_{AB\text{-}FO})$$

$$\approx Q_{1FO}^2 + 2Q_{1FO}Q_{1MA} + Q_{1MA}^2 + Q_{2FO}$$

$$= Q'^2_1 + \beta' Q_{2FO} = (1-\beta')Q_T * (1-\beta')Q_T + \beta' Q_T \quad \ldots\ldots(11)$$

기기 정비시

기기 A가 예방정비로 이용불능일 경우, 2절의 경우와 동일하다. 계통 이용불능도는 하나의 기기가 있을 경우와 마찬가지이므로 식 (11)는 다음과 같이 변경된다:

$$Q_{SYS} \approx P(B_T) = P(B_{FO}+B_{MA}+C_{AB}) = (1-\beta_{FO})Q_{TFO}+Q_{1MA}+\beta_{FO}Q_{TFO} \cdots\cdots\cdots\cdots (12)$$

만일 기기 A의 실제적인 고장으로 고장정비를 수행한다면 기기 A가 고장이기 때문에 이를 고려하여 계통 이용불능도를 계산해야 한다. 위험도는 정비로 이용불능된 기기 A를 'TRUE(omega)'의 값을 할당하여 계산한다

기기의 실제적인 고장시

기기 A의 실제적인 고장으로 이용불능일 경우, 즉 다시 말해 사건 A_{FO} 또는 C_{AB-FO}가 발생할 경우, 기기 B도 동일 원인으로 고장날 가능성이 있다. 여기서 사건 A_{TFO}를 사건 A_{FO} 또는 C_{AB-FO}가 발생한 경우로 표시한다. (식8)에서 A_{MA}은 제외한다. 따라서 계통 이용불능도 확률 식은 다음과 같이 표현된다:

$$P(S_{fail} \mid A_{TFO}) = P(A_{FO}* B_{FO} + A_{FO}* B_{MA} + C_{AB-FO} \mid A_{TFO})$$
$$\approx P(A_{FO}*B_{FO} \mid A_{TFO}) + P(A_{FO}*B_{MA} \mid A_{TFO}) + P(C_{AB-FO} \mid A_{TFO})$$
$$= (1-\beta_{FO})(1-\beta_{FO})Q_{TFO} + (1-\beta_{FO})Q_{1MA} + \beta_{FO} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (13)$$

위험도를 계산할 경우에는 기기 A를 "TRUE(omega)", 공통원인고장 확률은 β_{FO}로 놓고 계산한다.

기기의 가상적인 고장시

기기 A의 가상적인 고장시, 즉 다시말해 기기 A의 고장을 나타내는 고장수목의 기본사건 중의 한 사건이 발생되어 기기 A가 이용불능될 경우의 계통이용불능도를 계산해보자. 이 경우 기기 A를 이용불능하게 하는 사건들은 'fail to open' 고장사건 뿐만 아니라, 공통원인고장, 정비로 인한 불능 사건도 포함된다. 따라서, 계통 이용불능도 식은 다음과 같이 표현된다:

$$P(S_{fail} \mid A_T) = P(S_{fail} \mid A_T) = P(A_{FO}* B_{FO} + A_{FO}* B_{MA} + A_{MA}*B_{FO} + A_{MA}*B_{MA} + C_{AB-FO} \mid A_T)$$
$$= [(1-\beta')Q_T*(1-\beta')Q_T + \beta'Q_T]/Q_T = (1-\beta')*(1-\beta')Q_T + \beta' \cdots\cdots\cdots\cdots (14)$$

위험도를 계산할 경우에는 기기 A를 "TRUE(omega)", 공통원인고장 확률은 β'로 놓고 계산한다. β'는 기기 A가 이용불능되는 전체 사건을 A_T, 공통원인 고장으로 일어나는 사건을 C_{AB-FO}라면 기기 A의 전체 고장사건 중 공통원인 고장으로 일어나는 사건의 비가 된다.

(식9)와 (식10)에서 알 수 있듯이 기기의 고장이 두가지이상 독립원인 고장과 단일 공통원인고장 또는 다수 공통원인고장으로 이루어졌을 경우, 기기의 가상적인 고장이 발생했을 경우의 공통원인고장확률은 기기의 실질적인 고장이 발생했을 경우보다 작아진다. 작아진 공통원인고장 확률을 이용해 위험도를 평가하면 가상적인 고장

발생했을 경우의 위험도가 역시 실질적인 기기 고장 발생했을 경우보다 작아진다. 참고문헌 1에는 여러가지 기기 고장모드와 성공기준에 대해 가상적인 기기 고장 발생했을 경우에 대해 기술하고 있다.

4. PSA에서의 기기 위험도 달성가치 계산과 허용정시간의 영구적 변경시의 조건부 위험도 계산

본 절에서는 기기의 고장을 가상적으로 볼 경우에 대한 예를 기술하고 있다.

4.1 PSA에서의 기기 위험도 달성가치 계산위험도 달성가치 계산

1단계 PSA의 결과물인 노심손상빈도를 나타내는 사고경위의 단절집합은 초기사건과 기본사건들과의 곱으로 나타나 있다. 전체 노심손상빈도에 대한 중요도분석 결과에서는 기본사건에 대한 중요도분석 결과만을 보여주기 때문에 기기의 중요도 분석 결과를 직접 알 수 없다. 기기의 위험도 달성가치를 계산할 경우, Martorell 외[7]와 김길유 등[8]은 기기의 고장을 이루고 있는 기본사건들의 FV 중요도로 기기 위험도 달성가치를 계산하는 방안을 다음과 같이 제시하였다:

$$RAW(Q) = 1 + [(1-P(Q))/P(Q)]* FV(Q) \quad \text{.....(15)}$$

$$FV(Q) = \sum^{m} FV(Q_i),\ P(Q) = \sum^{m} P(Q_i),\quad i= 1, 2, 3, \ldots m.$$

여기서, RAW(Q): 전체 위험도에 대해 특정 기기 Q가 고장시 위험도 비이고,

FV(Q): 전체 위험도 중에 특정 기기 Q가 차지하는 위험도 비

P(Q): 특정기기 Q의 전체 고장확률

$P(Q_i)$: 특정 기기 Q의 고장모드 i에 대한 고장확률

(식15)의 유도과정 및 위험도달성가치 사용에 대해서는 김길유 외[8]의 논문에 상세히 기술되어 있다. (식15)에서 위험도달성가치 계산시 기기 고장은 가상적인 고장으로 생각을 해야 한다. 즉, 기기 A를 이용불능하게 하는 모든 사건들 중의 하나가 발생했을 경우를 기기 고장으로 생각하여야 한다. 앞의 2절에 있는 (식11)과 같이 표시된 계통의 부울리안 식에 대해 계통 이용불능도와 각 기본사건에 대한 중요도분석 결과가 표 1에 나타나 있다. 위험도 달성가치의 정의에 따라 기기 A 이용불능시의 계통 이용불능도와 위험도달성가치를 계산해보자. 앞의 (식9)와 (식10)에 의해 Q_T = 5.504E-3, β' 값은 0.0534157가 되고, 계통 이용불능도는 5.8347E-2가 된다. 따라서, 밸브 A가 이용불능일 경우의 RAW(A)는 181.71이 된다. (식15)를 이용한 기기 A에 대한 위험도 달성가치는 181.68로 나타났다. (식15)의 FV 중요도를 이용한 기기 위험도달성가치와 위험도달성가치 정의에 의해 계산된 위험도 달성가치가 거의 같아 기기 위험도 달성가치에서의 기기 고장은 가상적인 고장으로 생각함이 타당함을 나타내었다. 만일 기기 위험도 달성가치에서의 기기 고장을 기기 A의 실제적인 고장으로 생각하면 (식13)을 이용시 위험도 달성가치는 244.8로 계산된다. 이 값은 (식15)을 사용해 얻어진 위험도달성가치보다 높은 값이다.

표 1. 성공기준이 1/2일 경우의 FV를 이용한 RAW 계산

Basic Events	$P(Q_i)$	FV_i	RAW_i
CCF-FO-AB	2.94E-4	0.9155	3113.95
FO-A	3.71E-3	0.0602	17.16
FO-B	3.71E-3	0.0602	17.16
MA-A	1.5E-3	0.0243	17.2
MA-B	1.5E-3	0.0243	17.2
System Unavailability	$Q_{SYS} \approx Q^2_{1FO} + Q^2_{1MA} + 2Q_{1FO}*Q_{1MA} + Q_{2FO}$ =3.211E-4		
P(Q), FV(Q), and RAW of valve A	$P(Q)=\sum P(Q_i)$= 5.504E-3	$FV(Q)=\sum (FV_i)$= 1	
	RAW = 1 +((1-P(Q))/P(Q))*FV(Q) = 181.68		

4.2 허용정지간의 영구적 변경시의 조건부 위험도 계산

RG 1.177[4]은 안전계통의 허용정지시간의 영구적 변경에 대해 기기 이용불능시의 조건부 위험도(증가된 조건부 노심손상확률과 증가된 조건부 조건부 대량초기누출확률) 계산을 요구하고 있다. RG 1.177에서의 증가된 조건부 노심손상확률의 정의는 다음과 같다:

증가된 조건부 노심손상확률(incremental conditional core damage probability: ICCDP) = [기기 정지시의(out of service) 조건부 노심손상빈도 – 기본 노심손상빈도]*허용정지사간 고려 시간 ……..(16)

위의 (식16)에서 기기 정지시의 조건부 노심손상빈도 계산은 허용정지시간 변경 대상 계통 중에서 비계획 정비로 인한 이용불능도가 가장 큰 기기에 대해 수행한다. 예를 들면, 유체 안전계통의 경우에는 대부분 펌프를 대상으로 하고 있다. 위의 (식16)에 따라 위험도를 계산할 경우, 기기 정지를 가져다 줄 수 있는 사건은 기기의 실제 고장뿐만 아니라 기기의 불시정비 사건도 포함되기 때문에 가상적인 고장으로 보아야 한다. PSA의 고장수목에서 다루는 기본사건들은 원전의 1년 운전동안 발생할 수 있는 사건들로 확률론적 입장에서는 기기의 실제적인 고장뿐만 아니라 기기의 정비로 인한 이용불능사건을 포함하여 모든 사건들이 발생할 수 있기 때문이다.

표 2에는 두개의 펌프로 이루어진 계통에서 한 펌프의 실제적 고장과 가상적 고장시의 공통원인고장 확률이 나타나 있다. 실제적 고장시의 공통원인고장 확률은 공통원인고장 분석에 MGL 방법을 사용했기에 β와 같고, 가상적인 고장시의 공통원인고장 확률은 β보다 작게됨을 알 수 있다. 허용정지시간 고려시간을 0.0046(yr)로 할 경우, 증가된 조건부 노심손상확률(ICCDP)은 기기 정지(out of service)를 실제적인 고장으로 볼 경우 ICCDP는 1.27E-7로, 가상적인 고장으로 볼 경우의 ICCDP는 4.06E-8로 나타났다. 기존

허용정지시간 변경에 대한 연구에서는 대부분 보수적으로 실제적인 고장을 간주하고 ICCDP 계산을 수행하였다[2,9]. 표 2의 펌프 불시정비에 대한 데이터가 펌프 자체에 대한 실제적인 데이터가 아니라 해당 펌프가 있는 계열 전체의 불시정비에 대한 데이터이기 때문에 실제적인 펌프의 불시정비 이용불능도는 이보다 더 작다. 따라서, 비록 허용정지시간의 영구적 변경시 수행하는 ICCDP 계산에서 기기 고장을 가상적으로 생각하더라도, 보수적인 측면에서 기기의 이용불능을 유발하는 사건들 대부분을 펌프의 실제적인 고장으로 간주하여 ICCDP를 계산한다. 하지만, 기기의 불시정비로 인한 이용불능도가 매우 높다면 본 논문에서 언급했듯이 이를 가상적 고장으로 생각하여 ICCDP를 평가하여야 한다고 판단된다.

표 2. 두개의 펌프로 이루어진 계통의 한 펌프 고장시 공통원인고장 확률

고장 모드	Fail to start	Fail to run	Unscheduled Maintenance	fail to start due to CCF	fail to run due to CCF
확률	2.3E-3	2.4E-4	1.76E-3	1.36E-4	1.92E-5
기기의 실제적 고장시 공통원인고장확률				0.0558	0.074
기기의 가상적 고장시 공통원인고장확률				0.0305	0.0043

4. 결론

본 논문에서는 MGL 방법(베타방법)을 이용하여 기기의 이용불능 원인이 정비일 경우, 실질적인 고장 발생 경우, 그리고 가상적인 고장 발생일 경우의 공통원인고장 확률과 계통이용불능도, 위험도 계산방법을 간단한 예제를 통해 기술하였다. 기존에는 기기 고장을 단순히 실제적인 고장만을 생각하였지만 본 논문에서는 가상적인 기기 고장도 고려하였다. 본 논문에서 가상적인 기기 고장은 고장수목으로 표시된 기기고장 사건중 임의의 기본사건이 발생했을 경우의 기기고장으로 정의하였다. 가상적 고장의 예는 기기 위험도달성가치 계산이나 허용정지시간 변경시의 위험도 계산이다. 기기의 고장이 두 가지이상 독립원인 고장과 단일 공통원인고장 또는 다수 공통원인고장으로 이루어졌을 경우, 기기의 가상적 고장 발생시 공통원인고장확률과 위험도 평가결과는 기기의 실질적 고장이 발생했을 경우보다 작아진다. 본 논문의 결과는 위험도정보활용/규제분야에서 가동중 정비나 운전 중 안전 기기의 고장, 허용정지시간 변경 등에 대한 위험도 계산시 유용하게 사용될 수 있으리라 판단된다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 원자력연구개발 사업의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Dae-Il, Kang et al., “Calculation of the Conditional Common Cause Failure Probabilities in Risk-Informed Applications”, (unpublished paper)
2. P. K. Samanta, I.S. Kim, T. Mankamo, and W.E. Vesely, “Handbook of Methods for Risk-Based Analyses of Technical Specification”, NUREG/CR-6141, NRC(1994)
3. Dale M. Rasmuson, “Treatment of Common-Cause Failures in Event Assessment”, *PSAM4*, USA NY(1998)
4. USNRC, “An Approach for Plant-Specific, Risk-Informed Decisionmaking: Technical Specifications”, Regulatory Guide 1.177, NRC(1998)
5. A. Mosley et al., “Procedures for Treating Common Cause Failures in Safety and Reliability Studies”, NUREG/CR-4780, NRC(1987)
6. Mee-Jung, Hwang et al., “Guidance for Common Cause Failure Analysis”, KAERI/TR-2444/2003, KOREA(2003)(in Korean)
7. S. Martorell,et.al., “Safety-Related Equipment Prioritization for Reliability Centered Maintenance Purposes Based on a Plant Specific Level 1 PSA”, *Reliability Eng. And System Safety*, Vol 52(1996)
8. Kil-Yoo Kim et al., “On the Use of the Balancing Method for Calculating Component RAW Involving CCF of Interest in SSC Categorization”, (to be summitted to the *Reliability Eng. And System Safety, 2004*)
9. 강대일 외, “위험도 정보를 이용한 울진 3,4호기의 허용정지시간 변경”, KAERI/TR-1772/2001, 한국원자력연구소, 2001