

다수호기 부지에서의 AAC DG 공유 설계대안에 대한
안전성 평가

Risk Assessment for the sharing options of AAC DG
in Multi-unit Site

오해철, 정백순, 김명기, 홍승열

한전전력연구원
대전광역시 유성구 문지동 103-16

요 약

국내에서는 건설 및 가동중인 원전에 대해 그 부지에 기존에 설치되었는 AAC를 공유하거나, 새로 AAC를 추가하여 발전소정전사고 대처에 이용할 계획을 추진하고 있다. 다수호기가 공유하고 있는 부지에 소외전원상실사고(LOOP)가 발생하였을 경우, AAC 설치대수에 따른 AAC 이용 불능도 변화, 발전소정전사고 발생빈도, 노심손상빈도 변화등의 안전성 영향을 평가하였다

Abstract

To cope with an SBO event, It is proposed to share the existing AAC DG in the site or to install the new AAC DG for the construction/operating plants. For AAC DG sharing options depending on the number of AAC DG, PSA was performed to assess the effect on the AAC unavailabilities, SBO frequencies, Core Damage Frequencies if a LOOP events occurs in the multi-unit sites.

I. 서 론

원자력 발전소의 발전소정전사고(SBO)는 소외교류전원상실과 동시에 비상디젤발전기가 운전 불능상태로 되는 것을 말하며, 안전관련 모션 및 비안전 관련 모션 전부에 모든 교류전원이 완전 상실되므로 원자력 발전소의 안전정지를 위해 사용되는 잔열제거계통 등 많은 안전관련 계통들의 운전 불가능상태를 야기하므로 적절한 시간내에 복구가 되지 않으면 심각한 노심손상사고로 파급된다. 이와 같은 발전소정전사고는 태풍, 산불 등과 같은 외부환경요인이나 전력계통의 불안정으로 기인한 소외전원의 상실과 소내에 설치된 비상디젤발전기의 기계/전기적인 자체 고장이 동시

에 발생해야 하므로 발생확률은 아주 낮지만, 그 가능성은 항상 잠재하고 있고, 실제로 2001년 3월에 대만 만산 1호기에서 소내, 외 전원이 모두 상실되는 상태가 2시간 동안 지속되는 발전소정전사건이 발생하기도 하였다. 발전소정전사고를 대처와 관련된 규제지침은 교류전원이 상실된 상태에서 교류전원과 무관하게 발전소 정전사고를 극복하여 안전하게 정지상태에 도달할 수 있음을 보이는 방법 (Coping Analysis)이나 대체교류전원용 디젤발전기(AAC)를 추가로 설치하여 교류전원상실시 안전모션에 수동으로 연결하여 발전소를 안전하게 정지할 수 있도록 하는 방법 등을 통해 원전의 발전소정전사고 대처능력 입증을 요구하고 있다.

국내에서는 건설 및 가동중인 원전에 대해 그 부지에 기존에 설치된 AAC를 공유하거나, 새로 AAC를 추가하여 발전소정전사고 대처에 이용할 계획을 추진하고있다. 본 논문에서는 발전소정전(SBO) 대처 관련 규제요건들 중 AAC 설치 및 운용 관련 부분들을 집중적으로 살펴보았고, 다수호기가 공유하고 있는 사이트에서 AAC 설치대수에 따라 단일 호기에 소외전원상실사고(Plant LOOP)가 발생하였을 경우에 대한 AAC 이용불능도 변화, 발전소정전사고 발생빈도, 노심손상빈도 변화등의 안전성 영향을 평가하였다. 또한, 한 개 부지에 다수호기가 위치하고 있어 환경적인 조건(태풍, 산불 등)이 동일 부지내 전 원전에 영향을 미칠 수 있기 때문에 부지 전체 원전의 소외전원상실사고(Site LOOP)가 발생한 경우에 대한 영향도 아울러 평가하였다.

II. 발전소정전사고 관련 규제요건 검토

미국의 NRC는 1979년에 발전소정전사고 (SBO)를 미해결 안전이슈(Unresolved Safety Issue)로 분류하고 이를 USI A-44 항목으로 선정한 이래 이의 해결을 위한 연구결과를 근거로 1988년 6월에 발전소 정전사고규정 (10CFR50.2 및 10CFR50.63)을 법제화하고 이와 관련된 Reg. Guide 1.155를 발간하여 USI A-44를 해결하였다. 이와 같이 미국의 규제요건은 10CFR50.63, Reg. Guide 1.155 및 사업자 입장에서 기술된 SBO 대처능력 평가를 위한 자료인 NUMARC 87-00 등이 있다. 이와 같은 발전소정전사고 대처 규제요건들에 제시된 내용 중 AAC 설치 및 운용 관련 부분들을 아래 절에 기술하였다.

2.1 일반 사항 (Reg. Guide 1.155, NUMARC 87-00에 따름)

SBO에 대처하는 데 필요한 중요한 관련 정의 및 요건은 다음과 같다.

- 1) 발전소는 전 출력으로 적어도 100일 동안 운전중이고 운전조건은 정상상태이다.
- 2) 모든 소외전원 상실과 동시에 모든 소내 비상 교류전원의 상실이 일어난다.
- 3) 소외전력 상실(LOOP)는 한 부지내에 있는 모든 호기에서 동시에 일어날 수 있다고 가정한다.
- 4) 다수호기 부지의 경우에는 한번에 한 호기에서만 SBO가 일어나고 타 호기에는 적어도 하나의 EDG가 운전될 수 있다고 가정한다.
- 5) 안전정지에 필요한 최소 다중요건을 만족하고 남은 어떤 비상교류전원도 대체교류전원(AAC) 요건을 충족한다면 AAC 전원으로 쓸 수 있다.
- 6) SBO 대처(Coping)는 발전소를 안전정지상태 (Safety Shutdown)로 가져가고 유지하는 능력을 의미한다.

2.2 10CFR50.63 (Loss of All Alternating Current Power)

소내정전 대처요건, 적용범위 및 이행사항을 기술하고 있다.

- 1) 각 PWR형 원자력발전소는 소내정전시 다음 사항을 고려해 결정되는 대체시간동안 견딜

수 있어야 하며 또한 회복할 능력도 있어야 한다.

- 소외전력 상실예상빈도 (Expected Frequency)
- 비상교류전원 (EAC) 공급설비 설치수량 (Redundancy)
- 계산에 의한 비상발전기 신뢰도 (Calculated Reliability)
- 허용된 비상발전기 목표 신뢰도 (Allowed Target Reliability)

- 2) 소내 비상교류 전력을 호기간에 공유하지 않는 다수호기용 AAC 전원은 다수호기 중 어느 한 호기의 SBO시 대응할 수 있는 능력을 가져야 한다.
- 3) 대응능력은 적절한 대응분석 (Coping Analysis)을 수행 결정해야 한다.
- 4) 분석결과 대응능력이 대처시간보다 클 경우에는 AAC 전원은 불필요하다.
- 5) SBO 발생후 10분 이내에 대체교류전력 공급이 가능할 때는 대응분석(Coping Analysis)이 요구되지 않는다.

2.3 Reg. Guide 1.155 (Station Blackout)

SBO 사고에 대처와 관련된 규제지침서로서 10CFR50.63항 요건을 준수하기 위한 세부지침을 담고 있다.

1) AAC 전원공급설비 설계요건

- AAC 전원은 소내 우선전력계통 또는 소내정전된 발전소의 소내 비상교류전원계통에 상시, 직접 연결되지 않아야 한다.
- AAC 전원은 SBO 개시후 적기에 이용가능 하여야 하고 요구되는 다중 안전모선 중 하나 또는 전부에 수동으로 연결되도록 구성되어야 한다.
- AAC 전원은 1시간내에 이용가능 하여야 한다.
- AAC 전원이 SBO 개시 10분 이내에 이용 가능함을 시험으로 입증할 경우 SBO 대처분석은 하지 않아도 된다.
- AAC 전원은 SBO 대처(발전소 안전정지 및 안전정지상태 유지) 시간동안 필요계통을 운전할 수 있는 충분한 용량이어야 한다.
- AAC 전원 계통은 운전성과 신뢰도 입증을 위하여 주기적으로 유지, 보수 및 시험되어야 하며, 발전기 (D/G, Gas T/G 등) 신뢰도는 95% 이상이어야 한다.
- 비안전 1등급 (Non-1E)의 AAC 전원도 SBO용으로 사용 가능하다.

III. AAC 공유안에 대한 안전성 영향 계산

3.1 분석 범위

본 분석은 6개 이상의 다수호기 입지가 예상되는 원전부지를 대상으로 최대 12호기가 한 부지에 입지하였을 경우를 가상하여 AAC 공유방안에 대한 안전성 영향을 평가하였다. 이를 위해 1대 및 2대의 AAC를 설치하여 공유하는 대안에 대하여 AAC 이용불능도와 노심손상빈도(CDF)를 기준으로 상호 비교 검토함으로써 공유되는 호기수로 인한 영향을 검토하였다. AAC 이용불능도 및 노심손상빈도 분석에 있어서는 대표 원전으로 울진5호기를 기준으로 각 대안에 대하여 개별 노심손상빈도와 다호기부지의 노심손상빈도 평균치를 분석하고자 한다.

3.2 분석의 방법

가. 대체교류전원 공급(안)

본 연구에서 분석 대상이 되는 대체교류전원 공급(안)은 대체교류전원으로 비상디젤발전기 1대를 공유하는 데 각 원전의 4.16kV 안전모선에 전력을 공급하는 안이다. Case 1은 2대의 비상디

젤발전기가 설치되어 6개호기가 1대의 AAC를 공유하는 안이다. 비상전원은 각 원전의 4.16kV 안전모선 B에 연결되어 있다. Case 2는 1대의 비상디젤발전기가 설치되어 12대가 연결되어 공유하는 안이다.

나. 소내전력계통 신뢰도 평가모델

본 분석에서 사용된 소내전력계통 고장수목 모델 및 데이터는 울진 5, 6호기 PSA 중간보고서에서 사용된 데이터를 사용하였는데, 이는 EPRI-URD Generic Data를 사용하여 분석한 것이다. 또한 주요한 가정사항으로서 대체교류전원인 비상디젤발전기의 정비주기를 12개월, 정비기간을 15일로 하였다. 그리고 년차 정비기간이 18개월이므로 대체교류전원 비상디젤발전기의 정비작업은 출력 운전중에 수행한다고 가정하였다. 그리고 대체교류전원이 요구될 시에는 주체어실에서 운전원이 수동으로 전원을 투입할 수 있도록 되어 있어 운전원의 실수가 발생할 수 있으므로 운전원 오류 확률을 $1.36E-3$ 으로 간주하였다.

다. 노심손상빈도 분석

일부 원전에 대해서는 PSA가 완료되었으나 일부는 진행 혹은 계획 중에 있으므로 각 부지별 대체교류전원 확보 방안에 대한 노심손상빈도를 현 시점에서 정량적으로 정확하게 평가가 곤란하다. 본 분석에서는 울진 5호기를 대표 원전으로 하고 이와 같은 원전이 부지내에 1기부터 12기까지 설치되어 있는 다호기부지(그림1)를 가산하여 대체교류전원의 연결형태에 따른 노심손상빈도를 평가하고자 한다. 이렇게 대표원전을 기준으로 대체교류전원의 연결형태에 대한 최적 대안을 도출하는 방법은 모든 부지내 각 원전이 PWR 발전소로서 중대사고추이가 비슷하며 대체교류전원이 없을 경우에 소외전원상실사고가 가장 주요한 사고추이이고, 이에 따라 대체교류전원 설치로 그 영향을 파악할 수 있기 때문에 타당성이 있다. 비록 대체교류전원 추가로 인하여 발전소별 노심손상빈도가 다르나 대체교류전원 추가 설치시 노심손상빈도의 변화는 같은 경향을 보이기 때문에 대표원전을 설정하여 대체교류전원의 연결형태에 대한 민감도 분석을 수행할 수가 있다.

부지내 대체교류전원용 비상디젤발전기의 설치 대수에 따른 원전의 안전성 변화를 보기 위하여 개별 노심손상빈도 값과 다수 호기부지 전체노심손상빈도 평균치를 고려하였다. 개별 노심손상빈도 값은 AAC DG가 추가로 설치됨으로써 개별 원전의 안전성이 얼마나 향상되는가를 보기 위함이다. 예를 들어 그림1의 Case 1과 2와 같이 AAC DG를 다수호기에서 공유하고 있다면 어떤 한 호기에서 AAC DG가 사용되고 있다면 나머지 호기에서 AAC를 사용할 수 없으므로 SBO가 발생할 수 있다. 따라서 이런 조건부 확률을 기본사건(Basic Event)으로 고려하여 1호기의 평균 SBO 발생빈도 및 노심손상빈도를 구한다.

다음은 부지 전체로 볼 때 AAC DG가 추가로 설치됨으로서 부지 내에 있는 개별 원전의 노심손상빈도 평균치의 변화량을 보는 것이다. 이는 부지 내에 LOOP사고가 단독 호기별로 일어나지 않고 복수의 원전에서 동시에 발생할 경우 AAC DG의 설치 효과를 보다 잘 나타내 준다. 예를 들어 그림 1의 발전소 부지전체에서 LOOP사고가 발생하면 경우1에서는 원전 2기는 AAC DG의 전원을 공급받을 수 있고 나머지 10기는 전원을 공급받을 수 없다. 그리고 경우 2에서는 1기만 AAC DG의 전력을 공급받고 나머지 11기는 전력을 공급받을 수 없다. 그러므로 발전소 전체 부지측면에서 보면 각 개별 원전의 노심손상빈도의 평균치가 AAC DG 설치 효과를 보여주는 인자로 생각할 수 있다.

3.4 분석시 사용된 가정 및 제한사항

AAC 설치관련 규제요건에 제시된 일반사항들을 참고하고, 울진 5,6호기 PSA 모델을 사용하므로 인해 분석에서의 가정사항 및 제한사항을 아래와 같이 적용하였다.

- 1) AAC DG는 1개 호기의 SBO 부하만 담당할 수 있다.
- 2) AAC DG는 각 호기의 4.16 Kv B 모선으로 연결되어있다
- 3) LOOP 발생 빈도는 국내 자료인 $3.13E-2/R_Y$ 를 적용하였다.
- 4)부지전체가 LOOP가 될 빈도와 개별호기에서 독립적 LOOP가 발생할 빈도의 비율은 같다. 즉, 4건의 LOOP 발생경험을 가졌을 때 2건은 개별호기에서 발생하고 2건은 부지전체에서 발생하는 것으로 가정하였다.
- 5) 대표원전의 소내전력계통 모델은 1000 MWe급 울진 5호기 설계를 기준한다.
- 6) AAC DG를 기동하여 요구된 호기에 연결하는 운전원 행위실패확률은 호기수의 증가에 관계없이 같다.
- 7) 호기수가 증가함으로 인한 Interlock 고장 증가등을 고려하지 않았다.
- 8) 호기수가 증가함으로 인한 계통 전압강하로 인한 역효과는 고려하지 않았다.
- 9) 대체교류전원인 비상디젤발전기의 호기간의 공용화를 위해서는 제어계통이 설치되는 데, 본 분석에서는 이의 이용불능도를 고려하지 않았다.

3.5 분석 결과

1) CASE 1. 6호기가 1대를 공유해서 총 2대의 AAC DG를 설치하는 방안

가. 부지전체 LOOP 발생 시 부지평균 SBO 발생빈도

① AAC를 받지 못하는 5개 호기에서의 호기별 SBO 빈도 :

다른 호기에서 AAC를 사용하고 있으므로 해서 AAC를 못쓰는 경우이므로 AAC가 원래 없는 경우와 같게되서 LOOP가 발생하고, 2대의 EDG가 4.16 Kv 모선에 전기를 제공하지 못할 확률이 바로 SBO 빈도가 되며 그 빈도는 다음과 같이 계산된다.

= [LOOP 발생빈도] x [2대 EDG (A,B)의 독립고장에 의한 기동실패 + 2대 EDG의 공통원인고장에 의한 기동실패 + 2대 EDG의 Supporting System 고장 + 2대 EDG의 정비시험으로 이용불능 + 4.16 Kv Bus 연결실패(Breaker 고장포함)] = $8.022E-5/R_Y$

② AAC를 받을수 있는 1개 호기에서 SBO 발생빈도 :

LOOP가 발생하고 2개의 DG가 기동실패한 후에 AAC DG로부터 전원을 공급받아야 하는 데, AAC 고장으로 인해서 전원공급을 받지 못하므로 인한 SBO 발생빈도는 다음과 같이 계산된다.

= [LOOP 발생빈도] x [2대 EDG (A,B)의 독립고장 의한 기동실패 + 2대 EDG의 공통원인고장에 의한 기동실패 + 2대 EDG의 Support System 고장 + 2대 EDG의 정비시험으로 이용불능 + 4.16 Kv Bus 연결실패(Breaker 고장포함)] x [AAC DG의 독립고장에 의한 기동실패 + EDG (A,B,E)의 공통원인고장에 의한 기동실패 + AAC DG의 정비시험으로 인한 이용불능 + AAC DG의 Support System 고장 + 4.16 Kv Bus 연결 고장(Breaker 고장 포함) + 운전원 AAC 작동 및 연결실패] = $6.25E-6/R_Y$

③ 부지평균 SBO 발생빈도:

= $5/6 \times (8.022E-5/R_Y) + 1/6 \times (6.25E-6/R_Y) = 6.789E-5/R_Y$

나. AAC DG 평균 이용불능도

AAC DG의 평균 이용불능도는 (다른 호기의 AAC 사용으로 인한 Demand Failure + AAC로부터의 전원공급실패)로 계산되며 다른 호기의 AAC 사용으로 인해서 AAC로부터 전원을 받지 못하는 5개 호기의 경우는 SBO 빈도 (즉, LOOP 발생빈도 x 2대 EDG 이용불능도)만큼의 빈도로 AAC 사용을 요구받지만 사용하지 못하므로 바로 SBO 빈도가 AAC Demand Failure로 이어지며, 즉 AAC의 다른 호기 사용으로 인한 이용불능도이며, AAC로부터 전원을 받는 1개 호기의 경우 AAC의 이용불능도는 AAC 고장으로 인한 전원공급실패 (① AAC의 기동실패 + ② 4.16 Kv 연결실패 + ③운전원 AAC 작동 및 연결행위 실패)로 계산된다.

$$\begin{aligned} &= [5 \times (\text{LOOP 빈도}) \times (\text{2대의 DG로부터 4.16 Kv 모선으로의 전력공급 실패})] + [(\text{AAC DG 운전고장} + \text{AAC DG의 기동고장} + \text{EDG (A,B,E)의 running CCF} + \text{EDG (A,B,E)의 Start CCF} + \text{4.16 Kv Bus 연결 고장 (Breaker 고장 포함)} + \text{운전원이 AAC 기동 및 연결실패})] \\ &= (5 * (8.022\text{E-}5) + (6.14\text{E-}2)) \\ &= 6.18\text{E-}2 \end{aligned}$$

다. 부지전체 LOOP 사고 (Site LOOP) 발생시 노심손상빈도

- ① AAC가 가용한 호기에서의 노심손상빈도
= 7.230E-6/Ry
- ② AAC가 가용하지 않은 5 호기의 개별 노심손상빈도
= 1.60E-5/Ry
- ③ 부지 평균 개별원전 노심손상빈도
= (5*1.60E-5 + 7.23E-6)/6 = 1.454E-5/Ry

라. LOOP 사고가 독립적으로 일어날 경우(Plant LOOP)의 노심손상빈도

6개호기 공용으로 인한 AAC DG의 이용불능도 6.18E-2를 적용해서 호기별 SBO 발생빈도 및 CDF 계산을 계산하였다.

- ① 호기별 SBO 발생빈도 : 6.28E-6/Ry
- ② 호기별 노심손상빈도 : 7.237E-6/Ry

마. 전체 노심손상빈도 평균치

3.4절의 가정사항 4)를 적용하여 개별 및 부지전체 LOOP 발생이 같다고 가정하였을 경우 전체 노심손상빈도평균치는 다음과같이 계산된다.

$$= (1.454\text{E-}5 \times 0.5 + 7.237\text{E-}6 \times 0.5) = 1.088\text{E-}5/\text{Ry}$$

2) CASE 2 12호기가 1대를 공유해서 총 1대의 AAC DG를 설치하는 방안

가. 부지전체 LOOP 발생 시 부지평균 SBO 발생빈도

- ① AAC를 받지 못하는 11개 호기에서의 개별 SBO 빈도 :
= 8.022E-5/Ry (Case 1과 동일)
- ② AAC를 받을수 있는 1개 호기에서 SBO 발생빈도 :
= 6.25E-6/Ry (Case 1과 동일)
- ③ 부지평균 SBO 발생빈도
= 11/12 * (8.022E-5/Ry) + 1/12 * (6.25E-6/Ry) = 7.40E-5/Ry

나. AAC DG 이용불능도

(다른 호기에서의 사용으로 인한 Demand Failure) + (기기 고장 + 운전원 오류)
 = [11 * (LOOP 빈도) * (2대의 DG로부터 4.16 Kv 모선으로의 전력공급 실패)] + [(AAC DG running Failure + AAC DG의 Starting Failure + EDG (A,B,E)의 운전고장 CCF + EDG (A,B,E)의 기동고장 CCF + 4.16 Kv Bus 연결 고장(Breaker 고장 포함) + 운전원 AAC 작동 및 연결실패)]
 = (11 * 8.022E-5) + (6.14E-2)
 = 6.23E-2

다. 부지전체 LOOP 사고 발생 시(Site LOOP) 노심손상빈도 평균치

- ① AAC가 가용한 호기에서의 노심손상빈도
= 7.23E-6/Ry
- ② AAC가 가용하지 않은 11 호기의 개별 노심손상빈도
= 1.60E-5/Ry
- ③ 부지 평균 노심손상빈도
= (11*1.60E-5 + 7.23E-6)/12 = 1.527E-5/Ry

라. LOOP 사고가 독립적으로 일어날 경우(Plant LOOP)의 노심손상빈도

12개 호기 공유으로 인한 AAC DG의 이용불능도 6.23E-2를 적용해서 호기별 SBO 발생빈도 및 CDF를 계산하였다.

- ① 호기별 SBO 발생빈도 : 6.297E-6/Ry
- ② 호기별 노심손상빈도 : 7.237E-6/Ry

마. 전체 노심손상빈도 평균치

3.4항의 가정사항 4)를 적용하여 개별 및 부지전체 LOOP 발생확률이 같다고 가정하였을 경우 전체 노심손상빈도평균치는 다음과같이 계산된다.

= (1.527E-5 + 7.237E-6)/2 = 1.125E-5/Ry

3) Case 1, 2 결과의 비교

AAC 공유안에 대한 AAC DG 평균 이용불능도 및 개별노심손상빈도, 전체 노심손상빈도 평균치를 비교하여 표 1에 나타냈다.

표 1. AAC 공유안에 대한 안전성 평가결과 비교

분석항목	CASE 1 (6호기 공유)	CASE 2 (12호기 공유) (HRA 동일)	비고
Site LOOP발생시 평균 CDF	1.454E-5/Ry	1.527E-5/Ry	Case 1 기준시 ΔCDF는 7.3E-7/Ry로 5% 증가
Plant LOOP 발생시 평균 CDF	7.237E-6/Ry	7.237E-6/Ry	영향 없음
전체 CDF 평균치	1.088E-5/Ry	1.125E-5/Ry	Case 1기준시 ΔCDF는 3.7E-7/Ry로 3.4 % 증가

4) Case 2에 대한 운전원 오류확률 민감도 분석

운전원이 적기에 AAC DG를 기동하여 요구되는 호기로 적절하게 연결하는 행위를 실패할 확률은 12호기가 AAC 1대를 공유한 경우가 6호기가 1대의 AAC를 공유하고 있을 때 보다는 증가할 것이다. 이를 고려하여 운전원 오류확률값에 대한 민감도 분석을 수행하였다. 즉, 12개 호기가 공유할 경우에는 6개호기가 공유할 때의 운전원 오류 확률값 (1.36E-3)보다 10배와 100배 크게 가정하여 노심손상빈도에 대한 민감도 분석을 수행하였다. 평가결과는 다음 표 2와 표 3과 같이 나타났다.

표 2. 운전원 오류확률 증가(10 배)에 따른 민감도 분석결과

분석항목	CASE 1 (6호기 공유)	CASE 3 (12호기 공유, HRA 10배증가)	비고
Site LOOP발생시 평균 CDF	1.454E-5/Ry	1.527E-5/Ry	Case 1 기준시 ΔCDF는 7.3E-7/Ry로 5% 증가
Plant LOOP 발생시 평균 CDF	7.237E-6/Ry	7.25E-6/Ry	Case 1 기준시 0.2% 증가
전체 CDF 평균치	1.088E-5/Ry	1.126E-5/Ry	Case 1 기준시 ΔCDF는 3.8E-7/Ry로 3.5 % 증가

표 3. 운전원 오류확률 증가(100 배)에 따른 민감도 분석결과

분석항목	CASE 1 (6호기 공유)	CASE 3 (12호기 공유, HRA 100배증가)	비고
Site LOOP발생시 평균 CDF	1.454E-5/Ry	1.528E-5/Ry	Case 1 기준시 ΔCDF는 7.4E-7/Ry로 5.1% 증가
Plant LOOP 발생시 평균 CDF	7.237E-6/Ry	7.46E-6/Ry	Case 1 기준시 3% 증가
전체 CDF 평균치	1.088E-5/Ry	1.137E-5/Ry	Case 1 기준시 ΔCDF는 4.9E-7/Ry로 4.5 % 증가

IV. 결론

본 논문에서는 다수호기 부지내 대체교류전원용 비상디젤발전기의 설치 대수에 따른 원전의 안전성 변화를 보기 위하여 개별 노심손상빈도 값과 부지 전체노심손상빈도 평균치를 평가하였다. 평가결과, 12호기에서 AAD DG 1대를 공유하는 방안은 2대를 공유하는 방안에 비해서 부지 전체 LOOP 발생시 개별원전 평균 CDF에서 약 5%의 증가를 보였고, 상기의 ΔCDF 증가는 Reg. Guide 1.174의 안전성 평가기준에 따르면 미미한 것으로 해당된다. 따라서, 12개 호기에서 1대를 공유하는 방안이 가능한 것으로 평가되었다.

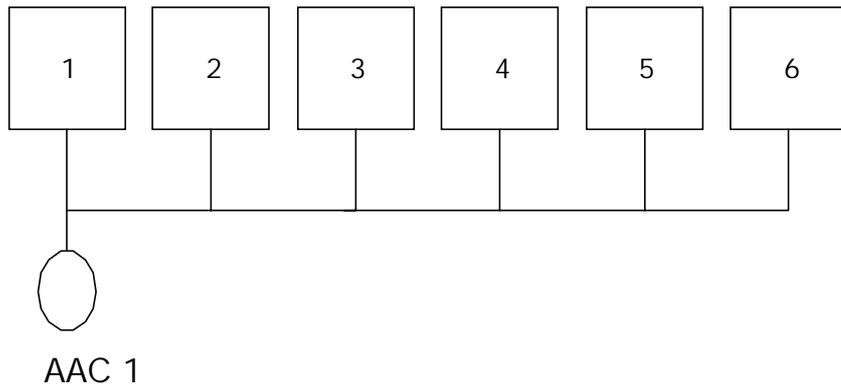
그러나 본 분석에서는 고려하지 않은 다음 가정사항들, 즉,

- 1) 호기별 연결 차단기수 증가에 따른 공통원인고장 반영
- 2) Interlock 등 논리회로의 복잡성 증가로 인한 AAC 제어계통 고장확률 증가 등은 공유하는 호기수에 따라 증가할 것이므로 위 두 사항들을 상세분석하여 반영하면, 본 평가결과는 달라질 수 있다. 따라서, 더 정확한 평가를 위해서는 위 두 사항들에 대한 상세 연구가 필요하다.

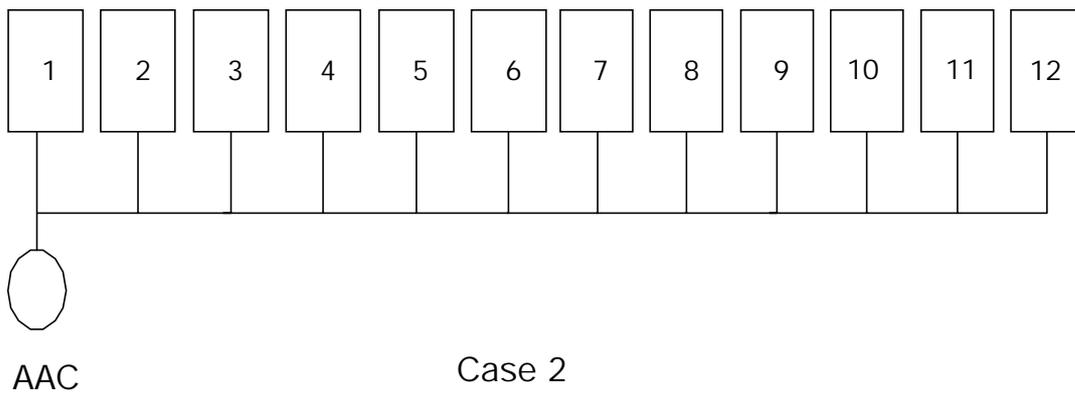
또한, 1대의 AAC를 2개호기 이상이 공유할 때 고려할 점은 부지전체에 LOOP가 발생할 경우, AAC를 어떤 호기에 우선 공급할 지에 대한 대처/복구 절차 및 훈련이 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] “원전의 소내정전에 관한 규제요건 및 평가지침 확립을 위한 연구”, KINS/AR-603, 한국원자력 안전기술원, 1998.12
- [2] 김명기, 정백순, “위험도에 의거한 다호기 부지의 대체교류전원용 DG 설치방안”, 2000년 춘계원자력학회 논문집, 2000.5
- [3] Reg. Guide 1.155, “Station Blackout”, Rev. 0-R, U.S. NRC, 1988.8
- [4] “Guidelines and Technical Bases for NUMARC Initiatives Addressing Station Blackout at Light Water Reactors”, NUMARC 87-00, 1987.11
- [5] “울진5,6호기 확률론적안전성평가(II 단계) 중간보고서”, KEPRI, 2000.7
- [6] “원전 소내전력계통 최적설계”, 한국전력공사 원자력건설처, 1996. 10



Case 1



Case 2

그림 1. 12개호기 부지에서의 AAC DG 공유 대안