

원전 리스크 평가 연구 현황 및 전망

양준언

한국원자력연구원 종합안전평가부 부장



“

문제는 국민이 느끼는 리스크의 정의와 원자력 연구자들이 정의하는 리스크와는 엄청난 간격을 보인다는 점이다. 다수기 리스크는 실제 계산해 보면 그렇게 높게 나오지 않는다. 결국 원자력 담당자들이 온갖 노력을 기울여 이 두 개 시각의 간격을 좁혀야 한다는 점이 상당히 중요한 과제로 남는다.

”

원전 다수 호기 리스크, 새로운 이슈인가?

단일 부지에 여러 호기의 원자로가 인접해 운영되는, 이른바 원전 다수 호기 이슈(MUI)를 놓고 리스크의 안전성에 관련된 부분을 논하고자 한다. 다수기 문제에 대해서는 사람마다 조금 생각하는 바가 다르다. 어떤 사람은 A가 다수기라고 생각하고 어떤 사람은 B가 다수기라고 생각한다. 이번 발표는 다수기의 안전성, 특히 리스크 측면에서 설명하고자 한다. 첫 번째는 과연 다수기 문제가 지금 새로운 이슈냐 하는 부분이다. 사실 답부터 밝히면 이는 전혀 새로운 이슈는 아니라는 것이다.

미국 원자력규제위원회(NRC)가 권고한「10CFR Part 50, App.A, GDC 5」, 「10CFR 100.11(b)」를 보면 “중요한 안전 계통은 서로 공유해서는 안 된다. 그리고 어떤 원전들이 서로 아주 긴밀하게 연결이 돼서 한 개 원전의 사고가 다른 원전에 영향을 미친다면 소개되는 지역의 범위, 낮은 인구 밀도를 유지해야 하는 지역, 인구 최고 밀집 지역 이격 거리 등은 상호 관련된 원전이 가상된 방사성 물질을 동시에 방출할 것이라는 가정을 토대로 결정돼야 한다.”고 규정하고 있다.

사실 1980년 TMI 사고 때도 다수 호기 부지에서 인접한 원전의 사고가 다른 호기에 영향을 미칠 것인가를 검토해야 할 필요성을 제기한 바 있다 (NUREG-0660, TMI Action Plan(1980)).

1989년 체르노빌 사고 때도 4호기에서 폭발이 일어났는데 그때 나온 방사

〈표 1〉 국내에서의 원전 다수 호기 이슈 개관

분류	호기수	현황	비고
정상 운전	단일 호기	SAR (안전성분석보고서)	
	다수기	환경 영향 평가	• 다수기 동시 정상 운전 시의 환경 영향 평가 수행
DBA (설계기준사고)	단일 호기	SAR	
	다수기	설계 요건	• 중요 안전 계통 공유 금지 • 호기 간 이격 거리 요건
환경 영향 평가		• 다수기 중 1개 호기에서 DBA 발생 시의 환경 영향 평가 수행	
중대사고	단일 호기	PSA (확률론적 안전성 평가)	
	다수기	후쿠시마 후속 조치 (N+1)	• 다수기 리스크는 없다(?) (No Multi-unit Risk)(?)

성 물질이 1, 2, 3호기에도 영향을 미쳤는가 하는 부분이 논의됐다. 예를 들어 내부에서 안전검표를 결정할 때도 이런 안전검표를 원자로의 기준으로 결정할 것이냐 부지 차원에서 결정할 것이냐는 논의가 있었다.

이처럼 다수기의 리스크에 대한 문제가 사실은 계속 고민해온 문제이다. 후쿠시마 사고가 나고 난 뒤에도 미국 NRC는 다시 한 번 이 문제를 검토했다. 미국에서는 다수기의 리스크가 그렇게 큰 문제가 아니라는 잠정 결론을 내렸다.

이런 결론을 내린 이유는 자기들이 매우 보수적인 가정에 근거해 계산해 봐도 기존의 목표를 충족하고 있었다는 데 있다. 그래서 미국은 현재 규제 체제 기준 하에서 다수기 문제를 분석해 본다라는 것이다.

국내에서의 다수 호기 리스크 이슈

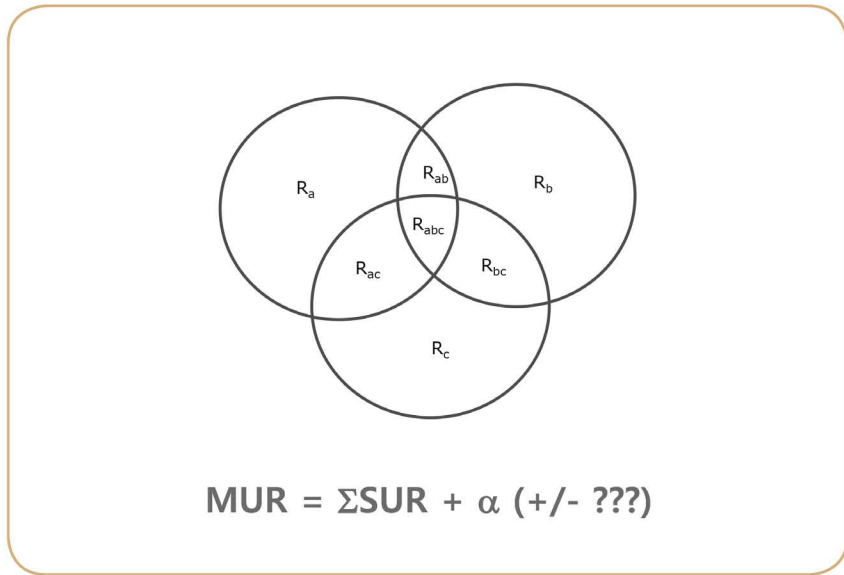
우리나라에서도 다수 호기에 대한 연구는 꾸준히 진

행해 왔다. 정상 운전 때, 설계 기준 사고 때, 중대사고 때를 보면 우선 정상 운전 시 다수기의 영향은 이미 환경 영향 평가(EIA)에서 분석하도록 요구를 하고 있다.

설계 기준 사고에 대해서는 우선 설계 요건으로 중요 안전 계통 공유 금지, 호기 간 이격 거리 유지 등을 두고 있다. 또 다수기 중 1개 호기에서 설계 기준 사고 발생 시 환경 영향 평가를 실시토록 규정했다.

중대사고의 경우 단일 호기에 대해서는 PSA(확률론적 안전성 평가)를 진행토록 한다. 다수기 중대사고는 기준치에 없었지만 후쿠시마 후속 조치와 관련이 있다. 모든 호기에 대해 이동형 발전기 같은 것을 한 대씩 추가한 데다 여기에 다시 한 대를 더 준비해라는 조치 등 동시에 중대사고가 난다는 상황을 상정해 준비하는 것이다.

가장 중요한 대목은 다수기에서 동시에 중대사고가 발생했을 때 그 영향은 어떻게 될 것이냐는 부분인데 논의가 충분히 이뤄져야 한다.



〈그림 1〉 단일 호기 리스크(SUR) vs. 다수 호기 리스크(MUR)

다수 호기 문제는 중요한 이슈인가?

미국의 경우 등에서 다수기를 중요하지 않다고 잠정 결론낸 바 있다고 설명했다. 그럼 그 결론이 모든 나라에 유효하냐는 점이다. 하지만 이것은 나라마다 상황이 다르다.

예를 들어 캐나다 같으면 어떤 매우 중요한 안전 계통을 여러 호기가 공유한다. 이렇게 되면 여러 대가 동시에 중대사고가 날 때 상당히 영향이 생긴다.

우리나라와 일본, 캐나다처럼 부지 한 곳에 호기가 많은 경우가 있다. 일본, 동유럽처럼 매우 극심한 자연 재해가 일어나는 나라가 있다. 높은 국민 선량(國民線量, population dose)이 예측되는 유럽, 일본, 한국 같은 경우도 있다. 이런 상황에 따라 나라마다 다수기의 안전성에 대한 문제는 중요할 수도 있고 중요하지 않을 수도

있다.

그런데 다수기의 리스크(MUR)라는 것은 다수 호기를 구성하는 개별 호기 리스크(SUR)를 더한 데서 추가적 위험(α)이 있느냐 없느냐 하는 부분이 중요한 문제로 남는다. 어떤 추가적인 위험이 발생하느냐, 안 하느냐, 발생하면 그 규모가 얼마나 클 것이냐, 이런 요소가 우리가 관심을 갖게 되는 부분이다.

다수 호기 리스크 평가의 연구 개발 참여 사례와 연구 결과물

앞서도 살펴본 바와 같이 다수 호기 리스크는 이미 옛날부터 평가가 이뤄졌다. 80년대 중반 미국의 Seabrook 원전, 90년대 후반의 Byron/Braidwood 원전의 사례가 있다.

일본에서도 2007년 이미 다수 호기 부지에 대해 지진 영향에 의한 PSA를 분석한 보고서(T. Hakada, 「Seismic PSA Method for Multiple Nuclear Power Plants in a Site」)가 발표됐다.

이처럼 다수기 리스크 평가가 있었지만 중차대한 리스크로 다뤄지지 않다가 본격적으로 리스크로 분석되기 시작한 시점은 후쿠시마 사고 이후로 새롭게 조명되면서 많은 활동이 시작됐다.

OECD/NEA에서도 2014년 CAPS 다수 호기 PSA 활동이 있었지만 각국의 현황을 조사하는 수준이었다. 이 밖에 프랑스 EdF(2013), 미국 NRC 레벨3 PRA 프로젝트(2012~2015), 한국원자력연구원(2012~2016) 등이 있다.

다수기 리스크 평가의 연구 결과물을 살펴보면, 지진에 의한 요인이 우선 꼽힌다. 지진에 의한 사고는 단일 부지 여러 호기에 동시에 영향을 미치는 가장 대표적인 사고이기 때문이다. 그리고 지진에 의한 영향은 그 지진이 두 호기에 대해 동시에 미치는 영향의 정도가 얼마나 크냐에 따라 달라진다.

앞서 언급한 2007년 일본 연구를 보면 의미심장하다. 일부 소개하면, 가장 리스크가 높은 원전에 의해 전체적인 부지 리스크가 결정이 된다는 점이다. 하지만 동일 부지에 여러 호기가 있는데 꼭 나쁘지만 않고 반대로 좋은 부분도 있다. 다른 호기로부터 지원받음으로써 리스크가 저감되는 영향도 나타난다.

물론 상황이 다르고 조직 성분이 다르고 기후가 다르기 때문에 똑같은 수는 없지만 이런 측면도 부지 내 다수 호기 원전 문제를 다룰 때 나타날 수 있는 현상이라고 한다.

한국원자력연구원은 후쿠시마 사태와 같은 극한·복합 사건에 대비해 극한 위험 요인에 대한 종합 리스크 평가 및 사고 관리 기술을 개발하고 있다. 특히 다수 호

기 부지의 경우 전 출력·정지 저출력 등 모든 운전 상태, 지진·내부 화재·침수 등 모든 위험 요소, 사이트 자체 위험성, 극한 재해/SFP(사용후핵연료 저장조) 리스크를 포함해 종합적으로 다수 호기 부지 리스크를 평가하고 있다.

이와 관련해 참고할 수 있는 샘플 예측 결과를 소개한다. <그림 2>의 윗부분에 있는 것은 루프(Loop)로 야기된 다수호기 리스크(MUR) 분석으로, 다수호기 동시 사고발생 확률이 두 호기에서 세 호기, 네 호기, 다섯 호기로 갈수록 급격하게 줄어든다는 것을 보여준다. 아랫부분 그림은 지진으로 인한 다수호기 리스크 분석이다. 지진이 났을 때도 한 호기, 두 호기, 세 호기, 네 호기, 다섯 호기로 갈수록 동시사고 발생 확률은 낮아지지만 같은 부지의 호기 간에 종속성이 얼마나 크냐에 따라 낮아지는 정도가 다르다. Case3의 초록색 기동처럼 상호간 종속성이 크면 많이 줄어들지 않는 반면 종속성이 적다고 하면 Case1의 파란색 바에 보는 것처럼 급속하게 줄어드는 현상을 볼 수 있다.

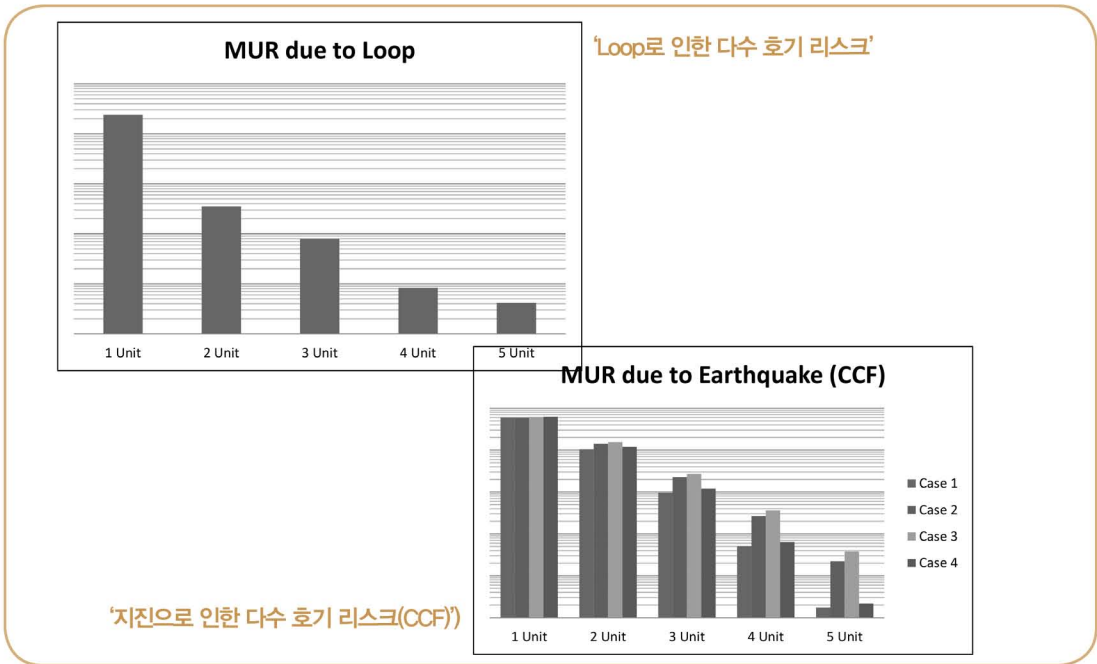
다수 호기 리스크 평가의 과제

- 단순하면서도 복잡, 불확실성도 문제

다수 호기 리스크 평가는 80년대 중반 미국에서 시작된 바 있지만 사실 방법은 매우 단순하다. 다수기 리스크는 단일 호기 리스크로부터 시작한다. 따라서 다수기의 리스크를 줄려면 단일 호기 리스크를 줄여야 한다.

이와 동시에 다수 호기 리스크 평가는 지금까지 발전했더라도 문제를 갖고 있는 것도 사실이다. 어떤 기술적인 문제를 갖고 있는 것도 있고 어떤 정책적인 리스크를 갖고 있는 부분도 있다.

예를 들어 우리가 다수기 리스크 평가 결과 나온 값이 과연 국민이 받아들일 만한 값이냐 아니냐, 그 기준은



〈그림 2〉 다수 호기 리스크(MUR) 샘플 예측 연구 결과

과연 무엇이나, 그 기준은 어떻게 결정할 것이냐 하는 부분이다.

하지만 앞서 강조했듯이 다수기 리스크라는 것은 단일 호기 리스크의 합이고 어느 정도 최상한선은 한정된다는 점이다. 특히 그 상한선이 우리 국내에서 우려하는 것만큼 그렇게 크지는 않다. 다수기 리스크 현안에서 가장 대답하기 어려운 것은 '만약에'가 들어간 질문이다. 예를 들어 '만약에 고리 10개 호기에서 모두 중대사고가 난다면 어떻게 됩니까?'하는 질문이다.

그렇게 되면 사실은 어떤 논의가 사실 불가능해진다. 반대의 경우라면 아무 문제가 없다. 결국 우리가 할 수 있는 것은 어떤 최선의 과학기술에 근거한 리스크를 갖고 평가할 수밖에 없다.

최근 경주 지진이 나고 많은 논란이 있었다. 일본 오나가와에서는 지진이 나고 주민들이 오나가와 원자력발전소로 많이 대피했다.

지진에 대해 계속 언급하는 이유는 아마 우리나라에서 다수기에 문제를 유발할 수 있는 가장 가능성이 높을 게 그나마 지진이라고 생각하기 때문이다.

그런데 다수기의 문제를 유발할 정도의 지진이 되려면 그 지진의 규모가 상당히 커야 된다. 우리가 생각하고 있는 것보다 상당히 커야 되는데, 오나가와를 보면 충분히 답이 나왔다고 본다.

오나가와 원전은 상당한 규모의 지진에도 원전의 안전성이 유지되었다. 문제를 일으킬 만큼 더 강한 지진이 오려면 정말 큰 지진이 와야 되지만 사실은 이런 규모의



한울원전 1~6호기

지진이 일어날 확률은 상당히 낮다.

그러나 문제는 이와 같은 규모의 지진을 평가하기에는 아직도 너무나 불확실한 부분이 있고 그런 불확실성은 여전히 앞으로의 연구를 통해 풀어야 될 문제이다.

결론

– 안전문화와 기술력 기초 위에 국민의 눈높이로 끊임없이 다가가야

원전의 안전성을 확보하려고 하면 우리가 생각할 수 있는 모든 것을 생각해야 한다. 우리의 인간적인 측면, 즉 안전문화를 비롯해 어떤 재해와 외부 환경에도 견디는 기술력을 갖춰야만 원전의 안전성을 확보할 수 있다. 더욱이 각 개별 원전의 안전성이 확보된다면 다수기의 리스크도 자연스럽게 줄어들 것이다.

다수 호기 리스크에 대한 정의를 했지만 무엇보다 국민이 받아들이는 정의가 너무 다르다는 점에 주목해야

한다. 어떤 재해가 일어나 국민이 격노할 때는 발생한 재해에 대한 정보가 제대로 주어지지 않는다는 재해 관리를 책임진 기관에 대한 불신이 상존하든가 하는 이유가 존재한다고 한다. 이로부터 국민이 느끼는 리스크의 정의가 있다는 것이다.

문제는 국민이 느끼는 리스크의 정의와 원자력 연구자들이 정의하는 리스크와는 엄청난 간격을 보인다는 점이다. 특히 다수기 문제에 가면 더욱 커진다.

앞서 설명한 대로 다수기 리스크는 실제 계산해 보면 그렇게 높게 나오지 않는다. 낮은 확률의 사건이 여러 번 곱해져야 그 일이 벌어지기 때문에 당연한 결과임에도 부산 지역 등의 시민이 느끼는 다수기 리스크의 부분은 상당히 높다고 생각한다.

결국 원자력 담당자들이 온갖 노력을 기울여 이 두 개 시각의 간격을 좁혀야 한다는 점이 상당히 중요한 과제로 남는다. 🍌