원자력 운전 경험을 활용한 규제 대응 방안

이 익 환
한국과학기술정보연구원 전문연구위원

서론

OECD/NEA의 원자력규제활동위원회(CNRA; Committee on Nuclear Regulatory Activities)는 원자력 규제 관리자의 국제 모임으로 1989년에 창립되었으며 원자력 규제 조직에서 정보를 교환하고 규제 요건에 영향을 줄 수 있는 발전적 검토를 목적으로 운영되고 있다.

CNRA 회원국의 합의에 의해 2004년 중견 전문가 그룹이 발족되었으며, 「원자력 운전 경험을 활용한 규제 대응 방안」이라는 보고서를 만들기로 합의하였다.

이 보고서 작성의 목적은 모든 규제 기관이 원자력 발전 회사가 발전소를 안전하게 운전하게 하는 데 있다.

이 보고서는 발전소 운전 경험이 안전성을 개선해 왔다는 사실에 근거하여 안전 규제 요원을 위한 지침(가이드)을 제공하기 위하여 작성된 것이다.

OECD 국가들의 원전 운전 경험은 그동안 40년에 달하고, 이러한 내적 성숙은 원전의 운전 안전성의 안정적인 개선을 가져다주었다.

개선된 운전 실적에 대한 분석의 주원인 중 하나는 운전 경험에서 온 교훈을 근거로 안전 시스템, 즉 운전원의 실수를 방지하는 훈련, 비상 절차의 개발, 인간 실수에 대한 주의, 안전 문화 및 원자력 품질 관리 등에 초점을 맞추어 시스템을 개선하는 것이다.

그러나 최근에는 운전 경험에 따른 교훈이 중요한 만큼 이 교훈을 제대로 활용되고 있는지의 여부에 대한 몇 가지 의문점이 제기되고 있는 게 사실이다.

즉, 외국 원전 운전의 경험은 실제로 본인이 근무하는 발전소와 다른 것으로 생각하는 경향이 있고, 운전 경험에 대한 보고가 안전성 개선에 실제로 사용되지 않는다면 의미가 없다는 등 의문점들을 제기되고 있는 실정이다.

이에 대해 OECD/NEA 운전 경험 실무자 그룹은 그 이유로서 원전 사업자 측과 규제자 측이 서로 광범위하게 연계되어 있어 보고 양식에 맞추어 준비하고 번역하고 하는 데 시간이 너무 많이 걸리고, 원전 운전중에 일어난 사건이나 조건들에 대해 충분히 분석하고 이해되기 이전에 미결된 부적절한 정보를 국제 보고 체계에 제공하기 때문이라고 분석하였다.

따라서 최근의 양호한 운전 안전 성능을 유지하기 위한 대응 방안은 운전 경험들이 이미 확립된 국제 보

고 체계에 신속히 보고되고 체험한 교훈이 안전성 개선에 반영되도록 하는 것이다.

즉, 이 보고서를 작성한 일차적인 초점은 규제 기관이 어떠한 방법으로 원전의 안전성을 향상시킬 수 있도록 운전 경험을 효과적으로 활용할 것인가를 확실히 하는 데 있다고 하겠다.

안전성에 대한 운전 경험의 중요성

원자력 발전은 매우 복잡한 시스템으로 구성되어 있어 여러 안전 계통과 다양한 기기, 전기 및 제어 계통들이 설치되어 있다.

운전 경력이 늘어나면서 그때마다 계통이나 기기들의 성능 결함이 발생되는데, 이는 안전성과 관계없이 일어나기도 한다. 이러한 결함에는 인간 및 조직적인 함수가 포함되기도 한다.

따라서 운전 경험(Operating Experience)의 활용은 다중 방어 개념을 강화하는 데 매우 효과적이다.

국제원자력기구(IAEA)는 원자력 안전을 제고하기 위한 노력으로, 강력한 운전 경험 프로그램의 중요성에 대한 좋은 이론적 논리를 제공하고 있는데, 이를 간략하게 소개하면 다음과 같다.

보다 심각한 사건과 이 조건들을 확인하고 정량화하고, 사건의 근본 원인을 규명하며, 조치 사항을 이행하도록 이를 제안한다.

또한 최근의 성향이나 잠재적 안전 중요도의 패턴을 발견하도록 하고, 사건의 심각성과 발생할 수 있는 조건들에 대해 평가하도록 한다.

그리고 사건의 일반적 적용 가능성을 평가하고, 유사한 사건의 재발을 막는 순서나 단계를 권고하도록 제시하고 있다.

이 보고서에는 원자력 안전에 영향을 줄 수 있는 모든 사건, 조건, 관측이나 새로운 정보와 같은 운전 경험을 정의하고 있다. 운전 경험의 정의는 다음 범주들을 포함하고 있다.

- 기기의 결함, 인간 실수나 기타 이례적인 행위에 의해 일어난 운전중 사건으로 발전소 과도 현상.
- 발전소 과도 현상과 관계없이 계통 상실, 구조나 기기의 상실 또는 인간 오류.
- 계통의 상실, 구조나 기기의 상실로 이어질 수 있는 설계의 결함, 기기의 성능 저하 및 노후와 같은 안전성에 나쁜 영향을 주는 조건.
- 심각한 일기 조건, 홍수, 강풍이나 안전상 위협 등과 같은 외부 조건.
- 조직적이거나 인간 함수와 관련되는 사건들, 예를 들면 발전소에서 안전 문화의 저하, 인간 오류, 적절하지 못한 품질 보증 프로그램, 적절하지 못한 절차서, 적합하지 않는 훈련 및 현장에서의 적절하지 못한 계약자 관리 등.
- 안전 계통이나 핵연료 상실 취약성 등 잘 알려지지 않은 연구 결과나 새로운 안전성 분석과 같은 새로운 정보.
- 비원자력 구조물이나 기기에 대해 기기 결점이나 내진 효과와 같은 비 원자력 경험.

효과적 운전 경험 프로그램을 위한 규제 접근 방안

원자력 안전 규제 기관의 기본 목적은 전력 회사가 언제나 적절하게 안전한 방법으로 발전소를 운전하게 하는 데 있다.

이 보고서 역시 목표하는 초점은 원전 운전원이 발전소를 안전하게 운전하는 방향으로 운전 경험을 쌓게 하는 데 있다.

OECD 각국은 관련법과 규제와 고객은 다르지만 운전원이 자료를 수집, 분석하고 안전성에 영향을 줄 수 있는 운전 경험 프로그램을 통한 교훈 등을 축적하도록 사업자를 감독할 수 있는 방안을 가져야 한다.

지난 수 년 동안 각국의 규제 기관은 자국의 요구에 맞는 운전 경험 보고 요건을 관리, 처리할 수 있는 체제를 개발하여 왔다.

운전 경험 보고서에 포함될 내용들은 보다 광범위하게 설계 조직, 기기 공급자, 핵연료 공급자, 기타 원자력 용역 회사에 의한 것까지 포함하도록 해야 한다.

규제 기관은 경우에 따라 다른 사건과 조건을 비교 분석할 수 있도

록 사소한 것이나 안전성과 무관한 기기와 계통의 상실에 대한 정보도 요구할 수 있다.

효과적인 운전 경험 프로그램에 서술될 사항들을 나열하면 모든 관련 운전 경험 정보의 수집, 안전성에 영향을 줄 특이한 사항의 선별, 특이한 사건이나 조건의 분석, 발견된 어떤 문제나 결점의 시정 조치, 그리고 만족하게 완결된 조치 사항에 대한 확인 및 처리 내용 등이 포함되어야 한다.

규제 기관이 운전 경험에서 얻은 교훈을 분석하기 위해 활용할 수 있는 방법이나 기술은 여러 가지 방법이 있다.

예를 들자면 사례 연구 방식은 매우 강력한 도구로 신규 규제 요원에게 복잡한 사안을 교육하는 데 적합할 수 있고, 운전 중 사건이나 조건을 분석할 때 인간과 조직 간의 함수를 고려할 수 있다.

또한 확률론적 안전성 평가(PSA)에 대한 것으로 효율적인 운전 경험 프로그램에 반드시 절대적인 것은 아니지만, 운전원이 PSA 분석에 대한 분석 능력을 갖도록 하는 것이 필요하다.

조직이 다르거나 현장이 다른 몇몇 나라에서는 사건이 일어나기 이전의 전조 사건을 분석하기 위해서 확률론적 방식을 사용하는 것이 매우 유용하다.

원전에서 실제 리스크를 평가하기 위한 신뢰성 있는 정보는 과거 있었던 조사와 운전 중 일어났던 사건에 대한 확실성에서 온다고 하겠다.

이는 조건부 노심 손상 확률을 계산하는ASP(Accident Sequence Precursor)에 의해 계산될 수 있다.

ASP는 실제 다른 가상 사건들이 일어났을 때 노심 손상 사고로 이어질 수 있는 실제 최초 사건(initiating event)이나 조건들인 것이다.

PSA 방법은 각각의 전조 사건과 연관된 노심 손상의 조건부 확률을 계산하는 데 사용되고 있다.

운전 경험 프로그램은 세계적인 운전 경험이 모두 망라되지 않는 한 최대의 효과를 거둘 수 없다.

OECD 국가들에게는 운전 경험의 상당한 정보가 OECD 국가 외에서 제공되고 있는데, 이 이유는 규제 기관이나 운전자 모두가 국제원자력기구(IAEA)와 NEA(OECD 소속의 원자력에너지기구)가 공동으로 운영하고 있는 사건 보고체계(IRS)와 같은 국제 정보를 접속, 이를 활용할 수 있기 때문이다.

또한 세계원자력발전사업자협회(WANO)와 원자력발전운전협회(INPO) 역시 범세계적으로 운전 중인 원전의 사건을 분석하고, 회원국 원전발전회사들이 사용할 수 있도록 결과를 제공하고 있다.

운전 경험의 안전성 제고 확신을 위한 규제 접근

다른 발전소의 운전 경험에서 얻는 교훈이 과연 본인이 근무하는 원전에 도움을 주었느냐는 것은 의문이 아닐 수 없다는 언급은 이미 서론에서 말한 바 있다.

이것은 운전원이 운전 경험의 자료를 수집하고 분석한다 하더라도 본인이 근무하는 발전소에서 발생할 수 있는 같은 사건이나 조건을 방지하도록 조치를 적절하게 취하지 못하고 있다는 것에 대한 의문인 것이다. 바로 이것에 대한 역할이 규제 기관에서 해야 할 임무인 것이다.

안전 규제 기관은 발전소 운전 경험이 안전성을 향상시키도록 어떤 역할과 방법을 강구할 것인가 하는 것이다.

운전 경험 프로그램을 준비하는 운전자들에게 요구되는 법적 기준은 OECD 국가에서 다양하다.

그러나 이러한 규제 기준과는 무관하게 규제자는 발전 회사의 상위층으로 하여금 운전 경험을 중요하게 생각하지 않을 수도 있는 운전자에게 조직적으로 이를 강조할 수 있는 방안이 있다.

규제자가 해당 운전 경험 프로그램에 관심을 갖게 되면 운전자는 그가 할 일의 우선 순위에 영향을 주게 되며, 일반 규제 검사에 운전 경험을 포함시키고 발전소의 상위층과의 회합을 통함으로써 가능한 것이다.

운전자의 운전 경험 프로그램이 적절하고 효율적인지를 평가함에, 규제 당국은 운전 경험 프로그램이 기본 요소를 내포하고 있는지의 여

터빈 정비. 안전성을 확인하는 임무 중 한 부분으로 규제자는 안전성 관련 운전 경험, 특히 사고 전조 사건 들이 운전원에 의해 무심코 지나치지 않고 확인되어야 한다는 것이다.

부를 확인해 보도록 IAEA의 안전 지침을 사용하도록 한다.

경험상 성공적인 운전 경험 프로그램에 대한 중요한 몇 가지 속성(屬性)이 있다.

– 절차를 수립하는 데 세부적인 운전 경험 절차가 있어야 하고, 적절한 자원이 있어야 함.

– 프로그램의 확인 책임을 갖는 직원(조정자)은 절차서 관련 및 수정 조치와 관련된 후속 조치를 담당하는 데 능력이 있고, 부지런한 직원이어야 함.

– 국제적 정보와 비원자력 경험이 포함된 운전 경험의 정보 자원을 광범위하게 접근할 수 있는 준비가 되어야 함.

– 중요하게 선별된 안전성 이슈가 진행되어 마무리될 때까지 추적 관리가 되는지에 대한 확인 절차가 필요함.

– 사건과 원인 분석을 실행함에 우수한 직원을 참여하게 함.

– 운전 경험을 가치 있는 것으로 평가하는 관리 태도는 모든 정보원을 수용할 수 있고, 운전을 통한 교훈에 근거한 수정 조치를 취하게 함.

– 스스로 수행하고 있는 운전 경험 프로그램이 효과적인지를 확인하기 위해서는 내부의 주기적 평가 및 외부의 평가도 필요함.

규제 기관은 정규적인 검사 계획의 한 부분으로, 특히 다음과 같은 운전 중 사건들에 대해서 민감한 검사의 한 부분으로 운전 경험 프로그램에 관심의 초점을 맞추도록 할 수 있다.

또한 이 프로그램에 필요한 요소가 포함되었는지 여부를 확인하는 것은 물론 다음 사항과 같은 의문점을 제기할 수도 있다.

– 원전 발전 회사는 근본 원인을 분석하고 비슷한 방법론에서 이를 수행할 수 있는 우수한 직원을 두고 있는가?

– 운전 경험의 정보가 실행에 옮길 수 있는 형태로 신뢰성 있게 최종 수요자에게까지 도달될 수 있는가?

– 원전원은 품질 보증(QA) 감시 계획서에 운전 경험에 대한 정기 감사를 포함시키고 있는가?

– 운전원이 중요한 운전 경험에서 얻은 교훈을 받아들이고 수정 조치사항 계획을 만들어 완결하도록 하는 효율적인 수정 조치 사항을 포함시키고 있는가?

– 운전 경험의 정보가 제어실 운전원은 물론이고 발전소 직원들에게 사용되고 있는가?

– 운전 경험의 자료가 발전소 계통과 기기의 신뢰성 분석에 사용되고 있는가?

– 발전소 운영 간부들이 운전 경험 프로그램을 긍정적으로 지원하는 데 관심을 갖고 있는가?

규제자가 검사를 하는 동안 원전 사업자는 물론 핵연료 및 기기 공급자, 발전소 설계자, 기타 원자로 관련 용역 회사들의 대외비 서류를 열람할 수 있어야 한다.

규제 검사는 민감한 부분에는 서명을 해야 하는데 발전소의 운전 경험 프로그램에서 충실하지 못한 부분과 비효율적인 면이 그 대상이 될

수 있다.

검사의 결과가 이해되면 규제자는 운전 경험 프로그램의 타당함과 효율적임을 일차 판단할 수 있게 될 것이다.

만일 부적절함이 발견된다면 물론 발전 회사에 이를 권고할 수 있고, 검사 후속 조치 일정이나 발전소의 관리자와의 회합을 계획하게 될 것이다.

이러한 행위는 원전 운전자가 수정 조치하는 데 좋은 방법이지만, 그 부적절함이 심각하면 규제 기관은 다른 강제 조항을 고려할 수 있을 것이다.

규제자 관리 시스템 운전 경험의 역할

TMI-2호기 사고에서 얻은 교훈 중 하나는 규제자에 의해 운전 경험을 체계적으로 분석할 필요성이 있다는 것이었다.

안전성을 확인하는 임무 중 한 부분으로 규제자는 안전성 관련 운전 경험, 특히 사고 전조 사건 들이 운전원에 의해 무심코 지나치지 않고 확인되어야 한다는 것이다.

규제 기관이라는 조직은 규제의 권한 자체보다는 사업자의 기술적 지원에 더 우선을 두어야 함은 당연하다. 사실 규제의 권위는 복잡한 사건들을 분석, 이를테면 PSA 방법론과 같은 전문성을 통해 사업자에게 신뢰를 쌓게 하는 게 가장 권위를 갖게 하는 것임을 발견하게 될 것이다.

운전 경험 자료를 수집하고 분석하는 것은 어느 한 발전소를 지정하거나 사업자에 의해 수행되는 결과를 활용할 수도 있을 것이다.

규제자용 운전 경험 프로그램은 상세한 절차로 잘 안내되어야 하고, 이미 언급한 바 있는 수행 내용의 요소, 즉 자료의 수집, 이들의 선별 및 분석, 수정조치, 추적 및 후속 조치 등이 포함되어야 한다.

물론 규제자의 운전 경험 프로그램은 운전자의 프로그램과 독립적이어야 하며, 확실히 달라야 한다.

예를 들어 운전자의 운전 경험 프로그램에는 다른 나라의 결과나 폭넓은 비원자력 분야 경험이 포함되는 것은 바람하지 않으나 규제용 프로그램은 관련 연구 결과나 비원자력 분야 경험의 자료 수집, 분석 등의 포함될 수 있다.

일반적으로 운전중 사건이나 조건에 대한 규제자의 분석은 사건이 일어난 발전소에 중복을 피하기 위해 운전자의 분석과 같이 구체적일 필요는 없다. 다시 말하면 운전자의 분석이 구체적이지 못해 부족하다고 판단되면 그때 구체적 분석을 수행하면 된다는 뜻이다.

특히 규제자는 인간 및 조직적인 함수 그리고 산업체 측면의 추세를 고려한 분석 능력을 갖추도록 해야 한다.

규제자용 운전 경험 담당 직원은 다른 나라와의 규제 담당자뿐만 아니라 산업체 운전 경험 활동과도 긴밀한 관계를 맺고 있어야 한다.

신고 의무와 관련, 검사 계획과 인허가 절차와 연계되어 내포하고 있는 의미를 확인하기 위해 사건 분석을 평가해 보아야 한다.

규제자의 운전 경험 프로그램의 주된 목적은 새롭거나 수정된 법규, 기준, 규제 지침에 대한 필요성을 확인하는 데 있으나, 여기에는 추가적인 안전성연구에 대한 필요성도 포함된다.

새로운 후속 조치가 이행될 때, 이것이 발전소의 단일 호기이건 모든 발전소에 적용되던 간에 규제자는 후속 조치의 진행 사항을 감시해야 한다.

또한 후속 조치 임무 사항은 후속 조치 인허가 이행 사항 및 요구 사항에 따라 규제자의 일반 관리 시스템에 포함시켜야 한다.

운전 경험의 역할은 원자력 규제자가 안전성을 무심코 지나치지 않고 충실히 이를 수행해야 하는 막중한 역할을 하게 될 것에 의심할 여지가 없을 것이므로 이를 규제용 관리 시스템의 한 부분으로 잘 정리하여야 할 것이다. 따라서 규제 기관이 정기적으로 이를 자체 평가하거나 외부 용역을 주어 분석하거나 하는 것은 좋은 선례가 된다.

요약 및 결론

발전 회사와 규제 기관은 운전 경험에 대한 조직적인 평가가 원전의 지속적 안전 운전에 필수적임이

라는 사실에 의심할 여지가 없다.

만일 OECD 국가 중에서 운전 중 사건들을 보고, 분석하며 조치 사항을 취함에 있어 사실을 숨기고 자기 위주로 흐른다면 과거의 경험에 비추어 볼 때 비슷하거나, 보다 더 심각한 사건들로 재발할 수 있다는 것을 암시해 준다는 사실을 명심해야 한다.

이 보고서는 규제자가 운전자들이 재발될 수 있는 사건이나 조건을 방지하는 행동을 이행하게 하는 단계로 운전 경험을 통해 자료를 수집, 분석하여 효과적인 프로그램을 보유하도록 어떤 활동을 취할 수 있을까 하는 데 있다. 이러한 규제 활동은 운전자용 운전 경험 프로그램에 의한 특별 검사 실시와 효율적인 운전 경험 프로그램의 보유 자체가 중요하다는 내용의 주제로 발전소 관리층과 협의하여야 한다.

운전자용 프로그램을 감독하는 것에 추가하여 규제자는 국내외 산업 측면의 방향을 감독해야 하는 것에 대해 광범위한 의무를 갖는다.

이런 책임을 완수하기 위해 규제기관은 스스로 자신의 운전 경험 프로그램을 가져야 한다.

규제자가 운전 경험 이슈의 모든 영역, 예를 들자면 새로운 연구 개발 결과나 국제적인 원전 운전 경험이나 광범위한 산업체의 방향 정보 등 운전자용 운전 경험 프로그램에서 언급되어 있지 않는 것까지 포함하여 이를 평가할 능력을 갖는다는 것은 매우 중요하다.

OECD/NEA의 원자력규제활동위원회가 회원국의 합의에 의해 2004년 발족되고 「원자력 운전 경험을 활용한 규제 대응 방안(Regulatory Challenges in Using Nuclear Operating Experience)」이라는 보고서가 정리되어 발표되고 있다.

이 보고서의 목적은 모든 규제기관의 감독하에 원자력 발전 회사가 발전소를 안전하게 운전하도록 하는 데 있는 것이다.

원자력 발전을 운전하고 있는 나라는 몇 개국을 제외하고는 대부분이 OECD국가들이며, 발전소 운전 경험이 약 40년에 육박하고 있다.

이러한 내적 성숙은 원전의 운전 안전성의 안정적인 개선을 가져다 준 것이 사실이다.

개선된 운전 실적은 운전 경험을 통해 배운 교훈을 근거로 안전 시스템, 즉 운전원의 실수 방지 훈련, 비상 절차의 개발, 인간 실수에 대한 주의, 안전 문화와 원자력 품질 관리 등에 초점을 맞추어 시스템을 개조 또는 개선해 온 데서 기인된 것이라 할 수 있다.

1979년에 발생한 TMI 원전 사고는 운전중인 모든 원전에 대한 체계적인 평가의 필요성을 사업자인 발전 회사나 이를 규제하는 규제 기관에게 주었다. 또한 국제 기구인 IAEA와 OECD산하의 NEA가 공동으로 발전소 운전 경험을 통한 사건 보고 체계(IRS; Incident Reporting System)를 운용하여 국제 간 운전 경험을 통한 정보 자료, 분석 자료 및 교훈을 교환하고 있는 것은 매우 뜻있는 일이 아닐 수 없다.

운전 경험에 의한 정보 자료, 이의 분석 그리고 체험에 의해 얻은 교훈이 신속하고 정확하게 원전 운전자에게 전달되고 있고, 이에 대한 조치 사항이 적절히 이루어지는지에 대한 의문점이 그동안 제기되어 왔다.

타발전소의 교훈이 제대로 본인이 근무하는 발전소에 유용되지 않는 근본 원인은 운전원의 능동적이지 못한 태도에도 원인이 있으나, 발전소 관리층의 무관심에도 원인이 있다는 분석이다.

이러한 사안을 해결할 수 있는 방안이 바로 규제 기관의 적절한 검사와 감독에 의해 가능하다고 결론을 내리고 있다.

즉 규제자가 운전 경험에 대해 관심을 가지면 당연히 발전 회사는 이에 따를 수밖에 없는 것이다.

결국 타발전소의 운전 경험의 교훈을 반영한 운전 경험 프로그램을 발전 회사 및 규제 기관이 각각 가져야 목표하는 소기의 안전 운전을 달성할 수 있다는 것이다.

(ikhlee12@reseat.re.kr)

〈참고 자료〉

NEA, "Regulatory Challenges in Using Nuclear Operating Experience", OECD, NEA No. 6159, 2006, pp.1~23