II. 원자력안전쎈터의 입장

한 기 인
한국에너지연구소·원자력안전쎈터

원자력 안전쎈터가 ATWS문제에 대하여 집중적인 관심을 갖기 시작한 것은 1983년 2월 미국 Public Services Electric & Gas사의 Salem-1 원자력발전소에서 ATWS고가 발생한 후의 일이다. 물론 그 전에도 원자력발전소의 건설 및 운영에 따른 인허가와 관련하여 본 문제를 다루어 왔지만 미국에서도 최종해결안이 확정되지 않은채 원자력규제기관과 원자력산업체 사이에서 논란의 대상이 되고 있었으므로 원자력안전쎈터는 미국에서 최종해결책이 확립될 때 까지 기다리는 수동적인 입장을 취해왔었다.

Salem발전소 ATWS사고 발생의 직접적인 원인은 원자로정지차단기의 저전압트립계전기 (under-voltage trip relay)가 윤활작용 불량으로 고착되어 원자로 정지신호의 발생에도 불구하고 원자로정지차단기가 개방되지 않은데 있었다. 즉 Salem 발전소가 계통병입 직후 14% 출력으로 운전되고 있던중 증기발생기 "A"에서 저—저수위 경보가 발생하였는데 이는 Salem 발전소 20개 트립 논리회로중의 하나로서 당연히 원자로보호계통의 기능에 의하여 원자로정지차단기를 개방시켰어야 했다. 이상과 같이 저—저수위 경보 발생에도 불구하고 원자로가 트립되지 않자 운전원은 경보발생 25초만에 원자로를 수동정지시키고 발전소를 상온정지상태로 전환시킴으로써 발전소의 안전성을 유지하였다.

본 사고가 발생한 후 Salem발전소에서는 사후조치로서 저전압트립계전기를 교체하고 차단기에 대한 예방보수를 강화했으며 감시시험횟수를 증가시키고 원자로가 자동정지되지 않는 경우에는 수동정지시키도록 비상운전절차서를 개정하였다. 또한 저전압트립계전기의 고착원인이 차단기연결부의 지나친 마찰에 있었으므로 청소를 자주하고 윤활유를 수시로 공급하여 재발을 방지하도록 하였다. 본 사고의 발생 후 원인 규명과 사고사례의 조사에서 밝혀진 사실은 Westinghouse사가 제작한 DB-50 차단기의 과거 자동개방 실패횟수는 1972년 이래 16번이나 되었으며 Salem발전소에서는 Westinghouse의 예방보수에 대한 권고사항을 준수하지 않았다는 점이었다.

Salem ATWS사고발생에 대한 응급조치로 NRC는 IE Bullitin 83-01을 작성하여 동 사고에 대한 정보를 각 발전소에 제공하고 Westinghouse가 제작한 DB 차단기를 사용하고 있는 발전소에게는 차단기를 시험하고 보수절차서를 검토하며 운전원들에게는 원자로 자동정지실패에 대비한 교육을 충분히 시키도록 요구하였다. 또한 2월 28일에는 Region 1사무소로 하여금 본 사고의 원인을 철저히 규명하도록 지시했으며 본 사고에 대한 포괄적인 조사를 수행할 특별전담반(5월에 NUREG-1000보고서 작성)을 결성하였다.

Salem발전소에서의 원자로정지차단기 불작동사고소식에 접한 원자력안전쎈터는 관련기술진을 원자력 1호기 현장에 파견하여 원자로정지차단기를 점검토록 하였다. 원자력 1호기의 정지차단기는 Salem발전소의 차단기와 동일한 DB-50으로 한국전력측에서는 Salem사고발생 직후 차단기의 보수 및 점검절차서를 개정하고 예방보수를 강화하였으며 감시시험에 철저를 기하였다. 새로 작성된 점검절차서에 따라 저전압코일과 shunt트립코일의 동작상태를 확인한 결과 각 코일의 동작상태는 모두 양호한 것으로 평가되었다. 또한 코일의 동작에 따른 차단기의 on-off상태와 중앙제어반의 경보상태를 점검함으로써 원자로정지계통 전반에 대한 건전성도 확인하였다.

원자력 1호기의 원자로정지차단기점검에 이어서 원자력 2호기의 정지차단기도 점검하였다. 2호기 원자로정지차단기는 DS-416타입으로 DB-50차단기와는 형태가 상이하지만 원자로정지신호를 받으면 저전압정지코일이 작동하는 방법 등이 유사하고 또 미국내에서 DS-416차단기가 단락시험중 여러번 개방되지 않았던 사례가 있었던 점등으로 보아 제작자의 권고사항을 받아들여 보수 및 점검절차서를 재작성하도록 요구하였다. 또한 Westinghouse사가 DS-416차단기를 사용하는 발전소에 대하여 원자로자동정지신호가 발생할 때는 필히 운전원으로 하여금 수동정지를 시도하도록 요구하는 임시운전절차서의 채택을 권유한 점[2]과 적절한 비상운전절차서의 확립과 운전원 교육의 중요성을 인

지하여 한전에게 ATWS발생에 대비하여 기존비상운전절차서 및 운전원 교육계획을 재검토하도록 권고하였다.

ATWS에 대한 안전센터의 관심이 높아지고 보다 구체적인 조사분석 업무를 시작하게 된 것은 1983년 10월말에 미국 NUS (Nuclear Utilities Services)사가 주최한 USIR/NRR (Unresolved Safety Issues Review/Nuclear Rulemaking Review)세미나에 안전센터 직원이 참석한 후의 일이다. NUS가 주관하는 USIR/NRR 프로그램의 내용을 검토한 후 안전센터는 동 프로그램을 이용하기로 결정하였다. NUS사가 제공하는 USIR Source Book[3]에는 ATWS (task number A-9) 이외에도 미국 NRC가 설정한 20여개의 미해결안전성 문제에 대한 자료가 수록되어 있다. 그중 ATWS에 관한 내용은 초록, ATWS에 관한 간단한 기술, 문제해결을 위한 NRC의 계획, 원자력산업체의 입장, 진행경과의 요약, 규제분석 및 경향 그리고 참고문헌 등으로 구성되 있다. USIR Source Book을 접한 후 원자력안전센터에서는 ATWS가 미국 NRC에 의하여 미해결안정성 문제로 지정되게 된 배경을 이해하고 1984년 6월 26일 ATWS에 대한 최종해결책이 확정될 때까지의 경위를 추적하였으며 관련 참고문헌도 수집하였다.

원자력안전센터에서는 우선 ATWS의 발생원인, 진행과정 및 결과의 심각성을 철저히 이해하고 사고에 대한 수습방안을 모색할 목적으로 ATWS를 분석하기 위한 연구를 시작하여 현재 분석내용 및 범위를 설정하고 분석용 전산코드를 정비하고 있다.

원자력발전소의 건설 및 운영에 따른 안전심사업무를 수행하고 있는 안전센터는 원자력 5, 6호기[4]의 운영허가와 관련하여 ATWS에 대한 원자력 5, 6호기 설계의 안전성을 검토하였다.[5] 5, 6 호기의 경우도 외국에 현재건설, 운영되고 있는 발전소와 마찬가지로 미국 NRC가 요구하고 있는 AMSAC(ATWS mitigating system actuation circuitry) 즉 ATWS가 발생할 경우 이를 감지하여 보조급수계통을 자동기동시키고 터빈을 정지시킬 수 있는 설비가 설치되어 있지 않다. 그러나 5, 6호기의 운영허가와 관련하여 안전성을 심사할 당시 (1984년 8월)에는 미국 NRC가 ATWS에 대한 최종법령을 공포한 직후부터 동 법이 효력을 발생하기 전이었으므로 AMSAC의 설치가 운영허가승인을 위한 요구조건은 될 수 없다고 판단하였다. 참고로 미국에서 동 법이효력을 발생하는 시기는 ATWS기기에 대한 품질보증지침이 확정된 후 180일이 경과된 시점으로 되어 있고 그후 전력회사는 AMSAC설비의 설치계획을 제출하도록 되어 있다. 따라서 안전센터는 한국전력측으로 하여금 미국에서의 ATWS에 대한 조치현황을 주시하고 추후 AMSAC등 ATWS 예방 및 완화설비의 설치계획을 제출하도록 하였으며 본 사고의 리스크를 감소시키기 위하여 관련 비상운전절차서를 개발하고 운전원에 대한 교육을 철저히 하도록 요구하였다.

한국전력측의 ATWS에 대한 비상운전차서의 작성은 TMI요구조건[6] (NUREG-0737; Clarification of TMI Action Plan Requirement, I.C. 1)을 만족시키며 기존의 절차서를 개선보완하여 운전원이 사용하기에 편리하고 향상된 비상운전절차서를 작성하기 위한 노력의 일환으로 수행되었다. 한전은 우선 가동중에 있는 원자력 1호기에 대한 비상운전절차서를 작성하였으며 WOG(Westinghouse. Owners Group)가 Westinghouse와 공동으로 작성한 비상응답지침서[7] (emergency response guideline)를 근간으로 하였다. 원자력안전센터는 원자력 1호기 비상운전절차서 작성에 있어서 한전측이 결정하기 난해한 계기 등의 오차를 정량적으로 계산하여 운전자로나 각 기기의 정지 및 기동 설정점(setpoints)을 결정해주었으며 보다 체계적인 절차서가 되도록 기술자문을 제공하였다. 한국전력과 안전센터의 협조로 원자력 1호기 비상운전절차서는 1984년 12월말에 완성되었으며 확인시험(validation)을 하기 위한 계획의 수립중에 있다. 특히 대만과 미국이나 일본내 일부 전력회사가 비상운전절차서의 작성을 원자로제작회서에 의뢰한 점을 감안할 때 한전과 안전센터의 공동노력에 의하여 본 절차서를 완성시킨 것은 외화 절약이라는 경제적인 면은 물론 두기관의 능력향상과 기술축적이라는 관점에서 매우 고무적이라 할 수 있다.

원자력 1호기의 ATWS에 대한 비상운전절차를 순서에 따라 기술하면 다음과 같다:

(1) 원자로의 정지를 확인하고 만약 정지되지 않았으면 수동으로 정지시킨다.

(2) 터빈의 정지를 확인하고 만약 정지되지 않았으면 수동으로 정지시킨다.

(3) 보조급수펌프의 가동을 확인하고 만약 작동치 않으면 수동으로 기동시킨다.

(4) 원자로냉각계통의 비상붕산주입을 시작한다.

(5) 원자로와 터빈의 정지를 확인하고 만약 정지되지 않았으면 현장에서 정지시킨다.

(6) 보조급수유량을 확인하고 만약 유량이 확인되지 않으면 펌프를 수동으로 기동시키고 필요할 밸브를 정열시킨다.

(7) 붕산희석유로가 모두 차단되었는지 확인하고 모두 차단되지 않았으면 수동으로 차단시킨다.

(8) 원자로냉각계통이 제어불능한 상태로 냉각되며

반응도가 삽입되는 가를 점검하고 만약 제어불능한 냉각이 진행중이면 주증기차단밸브를 폐쇄하고 손상된 증기발생기가 있으면 이를 차단시키며 원자로가 미임계 상태에 있는가를 확인한다.

이상과 같이 ATWS에 대한 비상운전절차서의 요지는 AMSAC의 기능을 운전원이 대신하는 절차 즉 보조급수를 주입시키고 터빈을 정지시키는 절차와 원자로를 수동으로 정지시키며 미임계가 유지되도록 조치하는 절차로 요약될 수 있다. 다만 문제는 운전원이 어떻게 ATWS의 발생을 신속히 감지하여 조치를 취하느냐 하는 점과 교육의 강화로 어느정도 운전원의 능력이 향상되느냐 하는 점이다.

이제 까지는 원자력안전센터가 ATWS와 관련하여 수행해왔던 업무를 소개하고 각각의 내용을 간단히 기술하였으나 이제 부터는 ATWS와 관련하여 원자력안전센터가 취해야 할 기본 입장을 밝히려한다. 그러나 여기서 명확히 해두어야 할 점은 개인의 의견이 안전센터 전체의 의견을 대변할 수는 없는 일이며 여러가지 다른 견해가 있을 수 있다는 점이다. 따라서 이제부터 이야기하려는 ATWS에 대한 안전센터의 입장이란 앞으로 안전센터가 어떻게 ATWS문제에 접근하고 해결하는 것이 바람직한 가를 밝히는 일종의 방향제시라 할 수 있겠다.

ATWS에 대한 안전센터의 기본 입장은 안전규제, 기술자문 그리고 자체 연구 등 크게 세가지 측면으로 나눌 수 있다. 먼저 규제적인 측면에서는 미국을 포함한 외국에서의 ATWS에 대한 법령제정 및 시행방안 확립 현황을 조사분석하고 국내 여건에 알맞는 조치방안을 모색하여 새로 건설, 가동될 원자력발전소의 인허가와 가동중인 발전소의 backfitting에 반영시켜야 한다. 건설승인이나 운영허가 전의 발전소 경우에는 ATWS사고에 대비한 예방/완화설비의 설치를 인허가 조건으로 하여 필요설비를 설치토록 하거나 운전원 교육을 강화시키도록 할 수 있다. 운전중인 발전소에 대한 상기계통의 backfitting은 한국전력측으로 하여금 설치계획을 작성하여 제출하도록 하고 이를 검토하여 가장 효과적으로 설치할 수 있도록 하며 운전원에 대한 교육문제는 운전원 재교육과정에 이를 반영시키도록한다

안전센터의 ATWS문제 해결을 위한 기술지원 측면은 정보의 제공, 예방/완화시설 설치계획의 공동작성 또는 타당성 검토, 그리고 비상운전절차서의 작성 및 운전원 교육 등을 들 수 있다. ATWS에 대한 정보의 제공에 있어서 미해결안전성문제의 조사분석사업을 수행하고 있는 원자력안전센터는 미국 NRC로 부터 관련 정보를 체계적으로 수집하며 또 이를 소화하여 정리하고 있으므로 발전소의 경제/안전운전에 전념하고 있는 한전에 비하여 시간적으로나 전문성의 활용면에서 유리한 조건에 있고 한전측에서 볼 때도 이같이 정리된 정보를 이용하는 것이 효율적일 것이다.

ATWS 예방/완화시설의 설치는 많은 예산이 소요되고 장시간을 요하는 작업이므로 신중한 계획을 세워야 한다. 원자력안전센터는 한전측의 계획을 사전 검토하여 타당성을 평가하거나 필요하다면 공동작업을 통하여 타당한 계획을 수립함으로써 계획의 변경으로 인한 시간 낭비와 경제적인 손실을 방지할 수 있다.

비상운전절차서의 작성은 비단 ATWS에 대한 절차서 뿐만 아니라 그밖의 이상사태에 대한 절차서의 작성과 동시에 수행하는 것이 바람직하다. 안전센터는 원자력 1호기의 경우 이미 앞에서 언급한 바와 같이 한전의 비상운전절차서 작성에 참여하여 기술자문을 제공하였으며 앞으로 본 절차서의 확인시험(validation) 및 타호기 비상운전절차서의 작성도 기술적으로 지원할 계획이다. 이와 같은 기술협조는 전문기술 인력의 효율적인 이용을 가능케 하며 관련기술의 축적을 통할 기술자립에 크게 기여할 수 있다. 특히 비상운전절차서의 작성은 원자력발전소 각 계통의 설계 및 성능에 대한 지식과 예상사고 및 가상사고를 평가분석할 수 있는 종합적인 기술능력을 필요로 하는 바 전자의 경우는 한전측에 전문성이 풍부하고 후자의 경우는 안전센터에 전문성이 풍부하므로 두 기관의 협조는 약점의 상호보완과 이를 통해 서로의 능력을 향상시킬 수 있다는 관점에서 특히 바람직하다.

원자력안전센터는 비상운전절차서의 작성뿐아니라 ATWS를 포함한 각종 비상사태에 대한 운전원의 대처능력을 향상시킬 수 있도록 노력하여야 한다. 물론 한전에서도 이에 대하여 꾸준히 노력하고 있지만 원자로의 비정상운전보다는 정상운전쪽에 치중하는 경향이 있었다. 안전센터는 한전(연수원)의 운전원 교육프로그램을 검토하여 좀더 개선되어야 할 분야를 찾아내고 그 분야를 보강할 수 있는 방안을 제시하며 필요하다면 관련 전문가를 추천하여 한전이 운전원 교육계획을 강화시킬 수 있도록 협조하는 것이 바람직하다. 특히 원자력발전소에 사고가 발생했을 경우 이의 수습은 전적으로 운전원의 능력에 의하여 좌우되는 바 평소 사고수습을 위한 교육, 훈련을 철저히 하여야 한다. 이상과 같이 원자력발전소의 운영에 따른 안전성을 제고시키기 위해서는 운전원의 비상운전능력 확보가 필수적이나 현재까지 안전센터는 운전원에 대한 교육의 강화쪽 보다는 안전설비의 설치를 통한 원자력발전소의 안전성 제고에 보다 많은 관심을 기울여 왔었다고 사

료된다. 이는 운전원 교육의 중요성을 깊이 인식하지 못한 데도 이유가 있겠지만 교육에 의한 운전원 자질의 향상정도를 정량적으로 평가하기 어렵다는 데에 더 큰 이유가 있었다고 사료된다.

끝으로 ATWS에 대한 안전센터의 자체 연구는 외국에서의 연구결과와 관련 경험을 입수하여 소화하는 한편 ATWS문제의 해결을 외국에서의 해결방안에 전적으로 의존하지 않고 국내여건을 고려하여 독자적인 해결방안을 제시하는 방향으로 수행되어야 할 것이다. 특히 미국 NRC가 Westinghouse의 가압경수로에 대해서는 다중원자로정지계통의 설치필요성을 결정짓지 못하고 있는 바 안전센터에서도 이에 대한 연구를 수행하는 것이 바람직하며 현재 가동중인 국내원자로에서의 ATWS완화능력을 평가하여 한전의 backfitting계획을 지원하고 평가할 수 있는 능력을 개발하여야 할 것이다.

결론적으로 ATWS에 대한 원자력안전센터의 입장은 과학기술처의 규제업무를 지원하는 규제적인 측면과 한국전력에 관련 정보를 제공하거나 문제를 같이 해결하는 지술지원적 측면을 동시에 취해야 하며 아울러 연구기관으로서의 특성을 살려 독자적인 연구를 수행함으로써 국내 ATWS문제 해결을 위해 심층분석업무를 수행하는 3위 1체적인 입장을 취하는 것이 바람직할 것이다.

참 고 문 헌

1. 원자력 1호기 1983년도 정기검사보고서, 한국에너지연구소, KAERI/TR-51/83, 1983. 9.
2. Letter to Bo Hun Chung from P.L. Ruddle on KEPCO Ko-Ri Unit 2 DS-416 Breaker, Westinghouse, 1983. 3. 25.
3. Unresolved Safety Issues Source Book, Nuclear Utilities Service Corporation.
4. 원자력 5, 6호기 최종안전성분석보고서, 한국전력공사.
5. 원자력 5, 6호기 최종안전성분석보고서 심사보고서, 한국에너지연구소(원자력안전센터), KAERI/NSC-105/84, 1984. 8. 31
6. Clarification of TMI Action Plan Requirement, USNRC, NUREG-0737, 1980, 9.
7. Westinghouse Owners Group Emergency Response Guidelines Rev. 1, Westinghouse