

各國의 異常故障情報시스템

TMI-2事故以後, 원자력발전소의 安全性向上을 위해서는 운전경험 데이터를 分析·評價하여 이것을 設計·運轉·規制 등에 반영시키는 것이 중요하다는 認識이 各國에서 공통적으로 증대되었다. 다음은 美國, 歐洲 및 日本에서의 異常故障情報에 관한 시스템과 異常事象情報 利用의 現況이다.

1. 美國原子力規制委員會(USNRC)

TMI事故의 교훈을 기반으로 하여 運轉經驗을 계통적으로 수집·평가·분석하여, 그것을 NRC의 認許可, 檢査, 規格, 研究나 설치자의 대응에 피이드백하는 종합적인 프로그램을 확립하는 것이 TMI액션플랜의 하나로 제시되었다. 이 프로그램은 設置者, 벤더, NSAC, INPO, 및 NRC의 참가에 의한 것인데 美國이외의 운전경험도 이용토록 하고 있다. 1979년 NRC는 이 프로그램의 일환으로 AEOD를 新設하였는데, 이 AEOD活動의 중심은 LER에 의해서 보고된 發電所의 운전경험 분석과 평가이다.

LER은 설치자가 NRC에 대해 플랜트에서 일어난 異常·故障를 보고하는 시스템으로서 法的으로 보고가 의무화되어 있다. LER은 Regulatory Guide (規制指針, RG) 1.16에 따라 보고된다. RG1.16은 1971년 6월에 制定된 후 여러번 개정되었는데 개정 3판까지는 原子力委員會(AEC)가 발간하였고, 개정 4판이후는 1975년 1월에 발족된 NRC에 의해서 제정되고 있다. 현재는 1984년 1월 1일에 發效된 것이 사용되고 있다.

LER은 1973년에 컴퓨터處理가 시작 되었는데 이때 1969년 1월까지 소급하여 대상이 되는 事象을 報告시키고 있다. 1977년 7월에 LER의 기재법을 나타낸 보고서가 나왔으며, 1983

年 9월에 現行시스템에 대한 說明과 기재법을 표시한 보고서가 나왔다.

LER의 件數는 1969년에 50件에서 1979년에는 약 3,100件, 1982년에는 약 4,500件으로 증대되고 있으며, 1982년까지의 수록건수는 약 35,000件이다. 이와 같은 LER報告件數의 증가는 原子爐基數가 증가했다는 것과 標準保安規定(Standard Technical Specification)의 정비에 의해서 새로운 原子爐일수록 많은 보고가 必要하게 되었다는 두가지 이유에 의한다.

이 多數의 LER을 Screening하여 AEOD는 안전상 중요한 事象이나 傾向을 識別한다. 現行 AEOD의 분석평가프로그램을 그림1에 나타내었다. Screening의 處理는 AEOD의 절차서에 따라 행하여지는데, 이에 의해서 工學的 評價나 Case Study를 행할 것인가, 異常故障報告書(Abnormal Occurrence Reports) 및 發電爐事象(Power Reactor Events)이라고 하는 AEOD가 발행하는 보고서에 기재할 것인가 여부 또는 別報로 詳述하는 OECD/NEA에 로의 보고기준에 合致하는 가를 결정한다.

各 LER을 Screening할때 AEOD는 반복하여 발생되는 사고나 고장을 식별하는데 특히 유의하고 있다. 빈도가 높은 사고·고장이나, 이들의 組合에 의한 중요한 사고시이퀀스가 식별되면 과거의 運轉歷史에서 유사한 事象을 찾

아서 원인, 영향, 운전원의 對應에 초점을 맞춘 研究를 한다. 이와 같은 研究에 대해 종래의 LER 컴퓨터 處理形式, 즉 코드화된 데이터 영역과 850자정도까지의 記述部分으로 된 要旨形式은 單一機器故障의 記述에는 좋으나 몇가지의 고장이 연속하여 일어나는 事象에는 적당하지 않다. 그래서 이 결점을 보완하기 위해서 AEOD는 SCSS(Sequence Coding and Search System)라는 새로운 컴퓨터處理시스템을 開發했다.

이 SCSS에 의한 事象의 기술은 먼저 LER 情報를 시간에 따라서 스텝마다 기술하며 前後關係, 시스템, 콤포넌트, 원인 등을 코드(記號)에 의해서 표현한다. 이 記述形式을 사용하면 예를 들어 스위치가 고장이 나서 펌프에 起動信號를 보내지 않음으로서 펌프가 作動을 하지 않는 事象의 경우, 그 원인이 펌프의 고장이 아니라 스위치機器의 고장으로 식별할 수가 있다. 따라서 이 데이터베이스에 의해 안전상 중요한 傾向이나 패턴을 자동적으로 식별하거나 통계

적으로 傾向을 분석하는데 도움이 되고 있다.

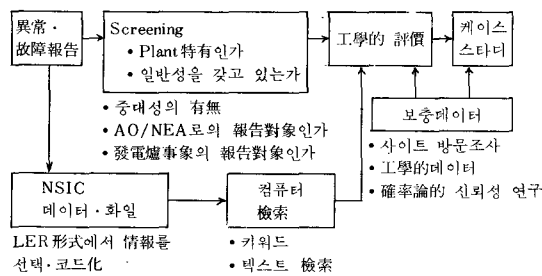
SCSS는 현재 AEOD에 의해 試用되고 있는데 이것이 정식으로 運用되게 되면, AEOD의 Screening과 評價를 위한 프로그램은 그림 2와 같다.

최근의 운전경험에서 지식을 얻기 위하여 AEOD는 1982년에 제출된 LER을 코드화한 SCSS의 데이터를 분석하고 있다. 이 分析에서는 各 事象 또는 部分事象은 原因/結果에 따라 13개 항목으로 분류되어 있다. 그 결과 事象 및 部分事象 總數 11,182件中 약35%에 상당하는 3,920件이 原因不明으로 남겨져 있다. 이와 같은 것은 LER에 各 事象의 근본원인이 기술되어 있지 않았음을 의미한다. 한편 식별된 원인중에서는 人的過誤가 3,053件(전체의 약 27%)으로 최대이다.

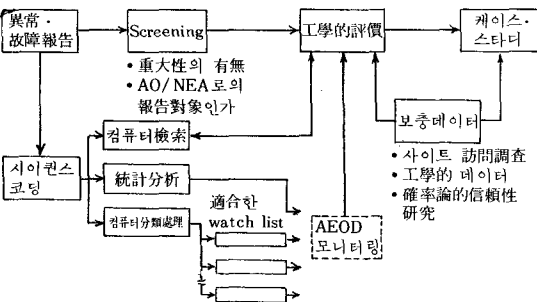
운전경험정보에서 부터 파생되는 主要論題의 하나로 인적과오의 빈도가 취급되는데 이 데이터는 이것을 뒷받침하는데 충분하다. 不明 또는 人的過誤가 많다는 傾向은 Salem 事故에서 얻은 교훈에도 나타나고 있다.

NRC는 不明이 많다는 것에 대해서 몇가지의 對應을 보이고 있다. 그 하나는 1984년 1월 1일에 發效된 LER에 관한 새로운 규칙의 公布에 의해서 報告對象事象을 중요도가 큰 것으로 하는 한편 보다 완전한 조사의 분석을 요구하고 있다. 또 人的過誤에 대해서는 原子力 플랜트 종사자의 훈련과 자격부여에 관한 規則(案)을 제시하고 있는데 그 중에는 안전상 중요한 역할을 하는 종사자의 훈련을 요구하는 것이 포함되어 있다.

(그림 1) AEOD의 運轉經驗分析·評價프로그램(現行)



(그림 2) AEOD의 運轉經驗分析·評價프로그램(計劃)



2. 美國의 原子力發電運轉協會(INPO)

美國의 原子力産業界는 TMI 사고 후 운전경험의 이용을 목적으로 原子力發電運轉協會(INPO: Institute of Nuclear Power Operations)와 原子力安全解析所(NSAC: Nuclear

Safety Analysis Center) 를 設立하였다.

이 두기관은 운전경험을 분석평가하여 거기서 얻은 교훈을 電力會社에 권고함으로써 사고의 발생을 미연에 방지하는 것을 공통의 업무로 하고 있는데 발족초기에는 활동이 중복되는 것이 있었으나 1981년 10월에 INPO는 運轉事象의 전반을 취급하고 INPO에 의해서 어떤 事象이 중요하며 또한 일반성이 있다고 판단되면 그 事象에 대해서 NSAC가 깊게 分析한다는 역할의 분담이 정해졌다.

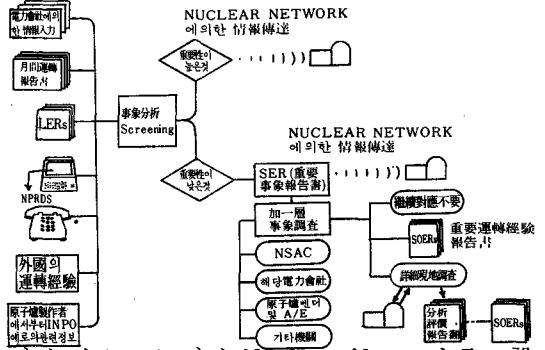
INPO에 의해서 運轉데이터를 계통적으로 分析·評價·利用하는 프로그램은 SEE-IN(Significant Event Evaluation and Information Network) 이라고 불린다. SEE-IN은 당초 NSAC에 의해 開發이 시작되었으나 1981년에 INPO가 그 관리를 하도록 변경되었다. SEE-IN의 목적은 運轉經驗을 分析·評價하여 거기서 얻은 정보를 적절하게 전달함으로써 原子力플랜트의 安全性과 사회성을 향상시키는데 있다. SEE-IN의 프로그램은 그림 3과 같은 순서로 행해진다.

① 먼저 분석의 대상이 되는 情報를 入手한다. INPO는 LER, 月間運轉報告(MOR) 등 여러가지 情報源을 入手하여 컴퓨터處理하고 있다. 컴퓨터로는 PRIME750을 사용하여 逆파일(Inverted File)을 작성해서 檢索이 可能토록 하는 데이터베이스 매니지먼트시스템SEE-K를 活用하고 있다.

② 原데이터를 Screening하여 安全上 중요한 것과 그렇지 않은 것으로 분류한다. Screening을 일정한 기준으로 행하기 위해서 Screening Sheet가 준비되어 있다.

③ 安全上 중요하다고 판단되는 事象은 重要 事象報告書(SER)로 하여서 電話回線을 利用한 Nuclear Network정보전달시스템을 통해 전력회사 등에 보내지며 安全上 중요하다고 판단되지 않은 것에도 운전·보수에 도움을 주는

(그림 3) SEE-IN 프로그램과 情報 네트워크



것이 많으므로 역시 Nuclear Network로 設置者 등에게 보내진다.

④ SER에 보고된 事象은 그 후에 必要에 따라서 NSAC, 해당 전력회사와 협력하여 조사를 한다.

⑤ 특히 복잡한 事象에 대해서는 세밀한 現地 調査를 하여 그 결과를 보고서로 정리한다.

⑥ INPO/NSAC에 의한 최종 견해는 重要 運轉經驗報告書(SOER)로 정리한다. 여기에는 事象의 개요, 事象이 중요한 이유, 분석의 결과에서 나온 앞으로 이와 같은 종류의 사고를 피하기 위한 혹은 영향의 완화를 위한 권고가 간략하게 記述된다. SOER은 重要도에 따라 赤, 黃, 綠 세가지 색의 보고서로 분류되어 각각 至急注意, 迅速注意, 通常注意로 대응되고 있다.

이와 같은 순서에 따라 重要 事象의 보고서가 작성되는데 年間 LER 약 5,000件에 대해 SER은 약 100件, SOER은 약 30件이 된다. 그리고 INPO는 各 事象에 대해 SEE-IN의 권고가 어느 정도까지 실시되고 있는 가를 추적하고 있다. SEE-IN에서 나오는 이들 SER, SOER 등은 모두 중요한 運轉經驗의 情報源이다.

또한 INPO는 機器故障데이터에 대해 原子力發電爐의 安全性에 관한 시스템/컴포넌트를 대상으로 한 신뢰성 데이터의 수집·보고시스템인 原子力플랜트 신뢰성 데이터시스템(NPR

DS)을 갖고 있다. 이 데이터베이스는 원래 S-wRI가 관리하고 있었는데 電力會社의 참가가 임의였기 때문에 電力會社에 따라 報告數나 報告基準이 일정하지 않아 시스템의 신뢰성평가 등으로 사용하기 위한 데이터베이스로는 불충분하다는 비판이 있었다.

그래서 NRC는 NPRDS를 法制化하여 LE-R과 NPRDS를 결합시켜 새로운 시스템을 발족시킬 것을 계획하던중 1981년 INPO가 NP-RDS를 인제하도록 결정되어 NRC는 INPO에 의한 NPRDS 개선을 기대하여 法制化를 무기한 연기시키고 있다.

3. 歐洲에서의 異常事象報告시스템

歐洲에서는 各國의 異常事象情報外에 國際協力에 의해서 정보교류를 도모하여 外國의 異常事象報告도 利用하고 있다. 各國의 異常事象情報의 대표적인 것을 알아보면 프랑스原子力庁(CEA)의 Fichier d'Incident, 프랑스電力庁(EDF)의 Event Data File, 서독의 Licensee Event Report, 스웨덴SKI의 Swedish Reporting System 등이 있다.

國際協力으로는 歐洲共同體(EC)加盟國을 위해 設立된 AORS(Abnormal Occurrence Reporting System), 經濟協力開發機構 原子力機關(OECD/NEA)에 의한 참가국간의 國際的運轉經驗報告시스템 IRS(Incident Reporting System), IAEA 참가국간의 IRS 등이 있다.

서독에서는 原子力安全研究協會(GRS)가 서독의 異常事象報告에 관한 활동의 중추적 역할을 하고 있으며 OECD/NEA의 IRS 참가멤버로 되어 있다. GRS는 設置者에서 부터 州規制當局에 제출된 異常事象報告書를 연방정부를 위해 수집하여 Screening해서 중요한 事象을 선택하고 분석·평가함으로써 시스템의 약점을 발견해서 권고한다.

이것들은 4半期報告 및 不定期인 重要事象

세부보고서에 정리되어 聯邦內務省, 州의 주무관청, 설치자, 原子爐安全委員會(RSK) 및 技術檢査協會(TÜV)에 배포되고 있다.

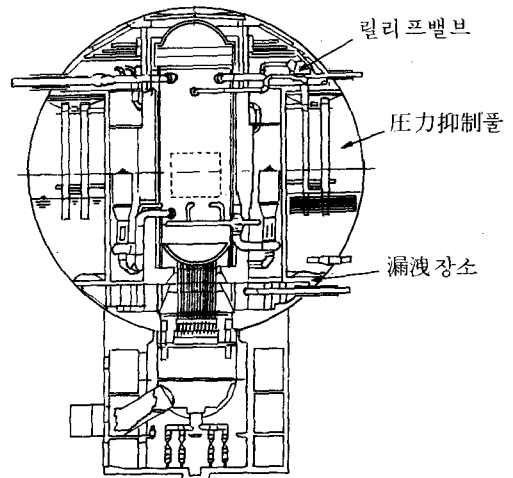
한편 독일리스크研究(the German Risk Study)와 관련하여 transient의 확률론적 해석에 도움이 되도록 서독의 3基의 PWR을 대상으로 하여 計劃外出力變動에 관한 정보를 수집해서 통계분석을 하고 있다. GRS에서의 原子力發電所 運轉經驗情報 分析例를 異常事象報告 및 PWR에서의 非計劃出力變動情報에 대해 한 가지씩 들어 본다.

(1) 重要事象의 선정, 평가에 의한 시스템약점발견의 예

BWR의 壓力抑制풀에서의 누설이 Würgassen爐에서 起動試驗中에 발생했다. 그림 4에 누설된 곳을 나타내었다. 원인은 58% 出力時에 릴리프밸브를 닫는데 실패했기 때문이다. 이로 인해 壓力抑制풀에 증기가 유출되어 泔水의 온도가 약 30분후에 90℃까지 상승되었다. 泔水의 응축속도는 泔水의 온도가 약 70℃를 넘으면 늦어져서 응축에 의한 荷重은 주목할 만한 증대를 나타낸다.

응축에 의한 큰 荷重은 이 하중을 받는 압력

〈그림 4〉 西獨 Würgassen爐에서의 格納容器와 漏洩장소



내 발전소에서 부터 法에 의해 보고된 사고, 고장 및 기기설계사양에 관한 데이터를 수집·관리·이용하는 데이터시스템의 소프트웨어를 종래부터 개발되어오던 技術의 일부를 응용해서 開發·改良하고 있다.

(2) 美國 LER의 自動檢索·集計시스템

미국의 發電爐 異常故障報告시스템 LER의 데이터를 입수하여 이것을 관리·이용하는 데이터시스템의 소프트웨어를 개발·개량하고 있다.

(3) 原子力發電所의 신뢰성조사시스템

일본의 電氣事業聯合會의 의뢰에 의해서 國內 發電爐의 기기고장데이터를 수집·관리·이용하는 데이터시스템의 개발을 하고 있다.

(4) Nuclear Network 情報

日本の 電力會社를 代表하여 운전데이터의 국제적정보교환시스템 Nuclear Network(舊 Nuclear Notepad)에 참가하여 入力情報를 분석해서 國內 電力會社에 전달하고 있다.

다음은 각 항목에 대한 구체적 설명이다.

○ 原子力發電所事故情報 등 收集處理 시스템 : 이 데이터시스템은 일본의 電中研이 通産省의 위탁을 받아 1980년 부터 소프트웨어 개발을 하고 있는 것이다. 대상은 國內 發電所에서 法에 따라 통산성에 보고된 異常報告이다. 1983년 까지의 異常報告件數는 약 190件이다.

데이터시스템의 목적은 ①지금까지 어떤 異常이 있었으며 어떤 대책을 취했는가, ② 異常報告를 분류하여 무엇이 몇 件있었는가를 檢索하는 것 등이다.

이 데이터시스템은 日本語를 사용해서 檢索하는 것을 目的으로 하고 있으며 日本語에 의한 정보의 축적·검색시스템을 개발하고 있다. 기본이 되는 데이터베이스 매니지먼트시스템으로는 FAIRS + α 를 使用하고 있다.

○ 美國 LER의 自動檢索·集計시스템 : 美國의 電力會社에서 부터 NRC로의 LER정보를 수집·관리하여 시스템 및 콤포넨트마다 정리

해서 어느 콤포넨트에 고장이 많은가 등을 조사하고 있다.

예를 들면, 콤포넨트라는 항목을 지정 하면 거기에 속한 키워드가 件數가 많은 순으로 CRT 畫面上에 표시되어 각각을 키보드 등을 사용하여 선택함으로써 檢索이 행해진다. 기본이 되는 데이터베이스매니지먼트시스템은 原子力發電所事故情報 등 수집처리시스템과 같이 FAIRS를 개량한 것을 사용하고 있다.

○ 原子力發電所의 신뢰성조사시스템 : 이 시스템은 電中研이 電氣事業聯合會와 협력해서 개발하여온 것인데 國內와 原子力發電所에 대해 대상기기의 형식사양 등의 정보를 수집함과 함께 대상기기의 고장에 관한 정보를 수집하여 통계의 母集團을 확립함으로써 이들 기기의 고장발생확률, 즉 신뢰도를 명확히 하고 기기의 신뢰도 향상을 위한 대책의 검토 나아가서는 原子力發電所의 확률론적 리스크평가 검토에 도움을 줌과 동시에 고장발생기기와 동일한 기기를 母集團에서 檢索하여 같거나 유사한 고장을 미연에 방지하는 것을 목적으로 한다. 이 시스템의 目的은 美國의 原子力發電所 신뢰성 데이터시스템 NPRDS와 같다. 이 시스템은 1977년부터 개발에 착수되어 1981년 10월에 實運轉에 들어 갔다.

○ Nuclear Network 情報 : Nuclear Network은 原子力發電所를 보유하고 있는 美國의 電力會社와 프랑스, 서독, 일본, 캐나다 등 13個國이 참가하고 있으며 情報項目에 따라서 美國內的 메이커, 컨설턴트 12個社도 참가한 國際的인 정보교환시스템이다. 日本에서는 電中研이 全電力會社를 대표해서 이 시스템에 참가하고 있다.

Nuclear Network의 운영은 INPO가 하고 있으며 日本과의 정보흐름은 그림 6과 같이 KDD의 ICAS망을 통해서 美國의 TYMNET통신망과 연결되어 있다.