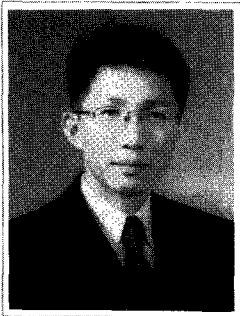


## 세계 최고의 PSA 정량화 엔진 FORTE 개발

### 정 우 식

한국전력기술(주) 전력기술개발연구소  
종합안전성평가연구그룹 책임연구원



#### 개발 현황

세계적으로 원자력발전소를 포함한 신뢰도 평가 시장은 확률론적 안전성 평가(Probabilistic Safety Assessment, PSA) 수행 능력보다 PSA 소프트웨어를 중심으로 통합되고 있다. PSA 소프트웨어의 핵심 기술은 고속의 정량화 엔진이다.

이러한 상황에서 1994년부터 개

인적 호기심으로 개발하고 있었던 정량화 엔진을 1996년 말 한기에 입사하여 불과 1년만에 FORTE (Fully Optimized Risk&Reliability quantification Engine)라는 초고속 고장수목 정량화 엔진으로 상품화하였다.

이 FORTE는 다른 정량화 엔진과 비교하여 10배에서 100배 이상 빨라 해외에 수출되고 있다.

FORTE는 1997년 상용화 이후 미국의 NASA를 포함하여 미국·캐나다·멕시코, 그리고 스페인의 17개 전력 회사들에 판매되어 40여 원전에서 사용중이며(미국 14개, 캐나다 1개, 멕시코 1개, 스페인 1개), 현재 미국과 캐나다의 5개 정도의 전력 회사들에 판매 협상중이고 조만간 캐나다와 미국을 석권할 것으로 예상되고 있다.

현재 미국의 NRC는 원자력발전

소의 정비 규정(10 CFR 50.65 a.(4))에 따라 기기 정비로 인한 원전의 위험도 증가를 최소화하도록 강제하고 있다.

안전 관련 기기의 정비 이전에 위험도 증가를 최소화하는 방향으로 기기 정비 계획을 최적화하고 이에 따라 정비를 수행하고 있다. 이러한 위험도에 근거한 원전의 운전 및 유지 보수는 세계적인 추세이며 우리나라를 포함한 다른 원전 보유국들도 이와 유사한 정비 규정 시행을 검토하고 있다.

이러한 위험도 정보 규제를 만족하기 위해 위험도 감시 전산 시스템을 사용하여 각 원전당 1년에 3천 번 정도의 위험도 정량화가 수행되기 때문에 세계적으로 초고속 정량화 엔진에 대한 수요가 빠르게 증가하고 있다.

현재 FORTE의 비교 우위를 유



지하기 위해 개선 작업 및 기능 추가를 계속하고 있고, FORTE를 이용한 종합 안전성 평가 소프트웨어 SAREX(Safety And Reliability EXpert)와 FORTE/SAREX에 기초한 위험도 감시 전산 시스템을 개발 중이다.

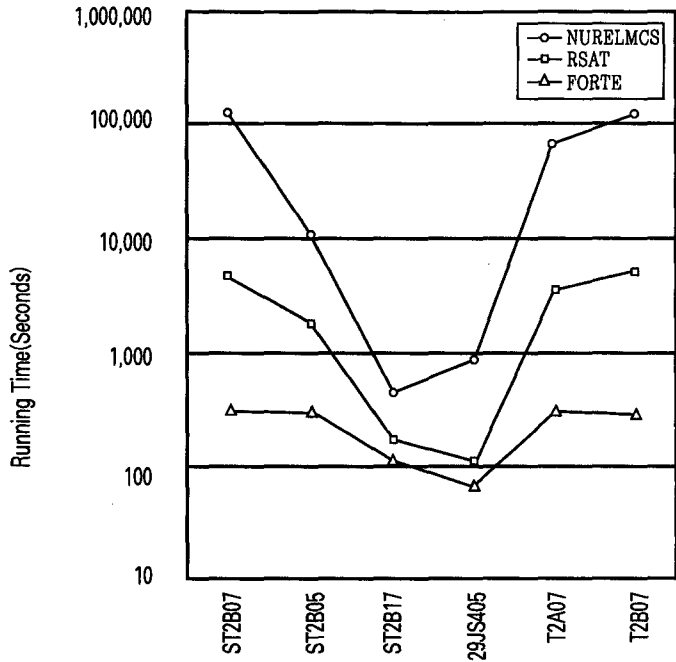
**PSA 소프트웨어의 필요성**

최근의 PSA는 위험도 감시 전산 시스템의 사용으로 위험도 정보 규제/활용을 통하여 원전에 대한 불필요 규제 요건을 완화함으로써 발전소 운영 경비 절감 및 자원의 효율적 사용을 통해 원전의 경제성 향상을 도모하는 방향으로 진행되고 있다.

세계적으로 신뢰도 평가 시장은 PSA 수행 능력보다 PSA 소프트웨어를 중심으로 통합되고 있으며 다음 세 개의 사용자 그룹으로 재편되어 각 사용자들은 해당 사용자 그룹에 연 회비를 제공하면서 PSA 소프트웨어를 공급받아 사용하고 있다.

- ① 미국 EPRI/DSS사의 CAFTA/EOOS (미국 시장을 양분)
- ② 미국 Scientech사의 Win-NUPRA/Safety Monitor (미국 시장을 양분)
- ③ 스웨덴 Relcon사의 RiskSpectrum (유럽 시장을 석권)

이러한 사용자 그룹 중심으로 관련 기술 동향 파악 및 정보 교환이



〈그림 1〉 고정수목 정량화 엔진들의 속도 비교

이루어지고 있고, 주요 현안이나 인허가 정보에 대하여서는 1년에 몇 차례씩 모여 정보를 교환하고 있으며, 자연스럽게 PSA 관련 용역/자문 등이 해당 사용자 그룹을 맡고 있는 소프트웨어 제작사들로 집중되고 있어 PSA 관련 분야의 우위 확보를 위해서는 자체 PSA 소프트웨어 개발이 필수적이다.

미국 Scientech사는 스웨덴의 Relcon사에서 정량화 엔진(NURELMCS)을 수입하여 미국에서 독점 판매하여 왔으나 Scientech사로부터 크게 이익을 얻지 못한 스웨덴 Relcon사는 1997년부터 새로운 정량화 엔진(RSAT)을 만들어 미국 시장을 공략하기 시작하였다.

또한 고속 정량화 엔진을 보유하지 못했던 미국 EPRI/DSS사는 정량화 엔진의 속도에 밀려 시장을 잃어가고 있던 상황에서 한기와 손을 잡고 FORTE를 판매하기 시작하여

1997년부터 기사회생하고 있다.

미국시장을 엿보던 스웨덴의 Relcon사는 FORTE로 인해 미국 시장에 독자적으로 진출하지 못하고 있다가 최근 미국의 ERIN사와 제휴하여 활로를 모색하고 있다.

Relcon사를 비롯한 다른 PSA 소프트웨어 제작사들은 FORTE의 속도를 앞지르기 위해 지난 수년간 많은 연구를 거듭하였지만 결국 실패하였으며, 과거 한때 미국 시장에서 주요한 위치를 점했던 미국 EQE사의 RiskMan의 경우 소프트웨어의 질을 유지하지 못하여 원자력 신뢰도 엔지니어링 시장에서 밀리고 있다.

**개발 동기**

PSA 기술과 용역이 소프트웨어 중심으로 이루어지고 있다는 것을 착안한 한기는 자체 소프트웨어를

개발하고자 PSA 그룹 자체적으로 여러 번 시도를 하였으나 가장 핵심이 되는 정량화 엔진을 개발하지 못하여 해외 구매까지 검토하였으나 조건이 맞지 않아 구매를 보류하고 있었다.

또한 외국의 PSA 전산 프로그램을 구입해 사용하던 한기 PSA 팀은 컴퓨터 환경이 바뀌어 개정 코드를 재구입해야 하거나 최신 Version을 구입하기 위해서는 수 만불에서 수십 만불 이상의 돈을 주기적으로 제공해야 하는 어려움에 봉착하였다.

이러한 PSA 정량화 엔진 및 소프트웨어 개발의 필요성 때문에 1996년 말 한기에 입사한 본인에게 PSA 전산 코드 개발 임무를 부여했으며 정량화 엔진 개발에 본격적으로 착수하게 되었다.

본격적인 정량화 엔진 개발은 아주 사소한 일로부터 시작되었다. 정량화 엔진을 간단하게 만들어 시험하고 있었던 1995년 해외 출장중에 있었던 일이다.

한 프랑스 젊은이가 학회 발표 중 위험도 감시 전산 시스템의 입력 모델을 5분 안에 풀었다고 발표하자, 어떻게 당신의 정량화 엔진으로 그 문제를 5분 안에 풀 수 있냐고 한 사람이 질문했다. 이 때 네댓 명의 유럽인들이 발표자의 말을 믿지 못하여 뒤에서 수근거리며 비웃기 시작했다. 많은 학회를 다녀 보았지만 보기 드문 광경이었다.

이들의 반응이 나의 지적 호기심을 자극했으며 위험도 감시 전산 시스템의 사용으로 더욱 빠른 정량화 엔진의 필요성이 대두할 것이라는 것을 직감할 수 있었다. 귀국 후 본격적으로 정량화 엔진 개발에 착수하여 현재의 FORTE를 개발하게 되었다.

### 개발 과정

초고속 정량화 엔진을 개발하기 위해서는 크게 ① 신뢰도 분석 이론에 대한 체계적인 지식 ② 전산 알고리즘과 데이터 구조에 대한 지식과 경험 ③ 독창적인 아이디어의 구현 ④ 그리고 연구를 지속하기 위한 체력 및 지구력을 겸비해야 한다. 이들 중 어느 한 가지라도 모자랐으면 FORTE의 개발은 불가능했을 것이다.

PSA 정량화 엔진 개발에 필요한 신뢰도 분석에 대한 체계적인 이론을 한국과학기술원(원자력공학과 석사/박사, 조남진 교수, 1987~1993)에서 습득하였다.

CANDU Simulator의 열역학 계산, Nodal 계산 후 노심의 미세 중성자속 분포 재생, Monte Carlo 방법에 의한 중성자속 계산, 계통의 중요도 및 Complexity 분석, 상부층의 노심 손상 빈도 기준으로부터 계통 및 기기의 신뢰도 할당, Markov 동신뢰도 분석 방법에 기

초한 계통의 시험 시간 및 시험 주기 최적화, 선형/비선형/다목적/Global 최적화 등 10여년의 지속적인 전산 코드 개발 경험을 축적할 수 있었다. 이를 통해 전산 알고리즘과 데이터 구조에 일가견을 가지게 되었다.

이 과정에서 전산 언어의 문법만을 아는 것은 전산 코드 개발 능력의 1%만을 얻은 것에 불과하다는 것을 알게 되었다. 최상급의 프로그래밍 능력이란 문제 분석과 동시에 가장 적합한 전산 알고리즘과 데이터 구조를 파악할 수 있어야 하며, 이를 사용하여 짧은 기간 안에 어느 누구도 쉽게 읽을 수 있도록 가장 단순하게 전산 프로그램을 작성함을 말한다. 본인은 이를 얻는 과정에 있다고 말할 수 있다.

개발 초기 연구 방향을 잡기 위해 많은 시간을 고민하여 기존의 다른 정량화 엔진을 참조해서 개발해봐야 그들의 아류를 벗어날 수 없다는 결론을 내렸다. 선입관을 배제하기 위해 기존에 공개되었던 정량화 엔진의 원시 코드를 무시하고 맨땅에서부터 시작하였다.

이 때부터 아이디어를 구현하기 위해 확장성이 좋으며 대용량의 문제를 쉽게 소화하기 위해 RAM 메모리를 적게 쓰는 데이터 구조를 찾기 위해 엄청난 시험이 시작되었다.

데이터 구조의 기본이 되는 배열 구조, 단일/이중 연결 리스트, 이진



목구조 등 거의 모든 데이터 구조를 테스트하여 데이터 구조를 확정하였다.

이후 정량화 엔진에 요구되는 다양한 기능을 수행하도록 전산 코드를 작성하였고 정확한 답을 얻기 위한 개선 작업이 빠르게 진행되었다.

다른 정량화 엔진들과 동일한 결과를 확인한 후 FORTE의 가속화를 위해 수 만 가지의 아이디어가 시험되었다. 1996년부터 1997년 초까지 엄청난 계산 속도의 개선을 이루어 다른 정량화 엔진보다 월등히 빠른 결과를 보이기 시작했다.

초기 몇 년 동안 회사에서, 집에서, 주중과 주말의 구분 없이 많은 아이디어를 시험하며 하루 16시간 이상을 FORTE 개발에 투자했다. 다른 정량화 엔진에 없었던 영동하지만 이론에 입각한 아이디어들이 FORTE에 구현되었다.

지금도 지구력과 밤새는 체력이 라면 어느 누구보다 낫다고 장담한다. 지금까지의 최고 기록은 일주일 간을 한숨도 안자고 식사는 후배들이 배달하고 논문 작성을 했던 기록이 있다. 1999년까지 일주일에 최소한 이틀은 FORTE 개발을 위해 밤을 지새웠다.

또한 FORTE의 성공적인 개발 및 판매에 운도 많이 따랐다. 1997년 봄 KEPRI를 강사로서 방문한 DSS사의 위험도 감시 전산 시스템 EOOS 개발자인 Mr. Chris

Cragg를 우연히 만나 3일 동안 정량화 엔진에 대한 많은 아이디어를 토론했다.

FORTE의 속도에 놀란 그는 미국의 EPRI 신뢰도 그룹에 FORTE 판매의 길을 열어 주었고 많은 Benchmark 문제를 보내 주고 있다.

그를 만나지 않았다면 최소한 5년 이상은 더 투자해야 현재의 FORTE 계산 속도를 얻을 수 있었을 것이라고 예상한다.

최근의 FORTE 계산 속도의 개선은 많은 Benchmark 시험을 통해 이루어졌기 때문이다.

### 개발시 고충

신뢰도 평가 이론 및 전산 프로그래밍에 대한 일정 수준의 토론 상대가 없어 아이디어를 혼자 검증해야 했기 때문에 어려움이 매우 많았다. 또한 FORTE의 해외 판매 이후 밤을 새는 날이 무척 많아 육체적으로 많이 고달팠다. 해외에서 FORTE의 문제점이나 의문 사항이 있을 경우 당일 혹은 익일 처리 원칙으로 문제를 해결하여 바로 답을 해주어야 했기 때문이다.

특히 미국과 한국은 밤낮이 바뀌어 있기 때문에 그들의 일과 시간에 맞추어 답을 해주다 보니 한 두 시간의 수면 이후 출근했기 때문에 지각이 무척 많았다.

### 기대 효과 및 향후 계획

PSA 소프트웨어 개발로 해외의 기술 종속에서 탈피, PSA 전산 코드의 수입 대체 효과, 한국의 PSA 능력의 국내의 인지도 제고, 그리고 한국 고유의 PSA 전산 코드를 동반한 용역 수주 가능성을 높이는 등의 경쟁력 강화 등이 주요 개발 효과이다. 향후 계획은 세계 제일의 고장수목 정량화 소프트웨어 FORTE의 위치 유지와 세계 제일의 종합 안전성 평가 소프트웨어 SAREX 및 위험도 감시 전산 시스템 완성 및 해외 시장 개척이다.

### 결어

가끔은 생각한다. 무엇을 위해 보상 없는 그 많은 시간과 노력을 성공 가능성도 없었던 FORTE 개발에 무모하게 투자했는가? 젊은 나이에 보람있는 그 어떤 것을 이루고 싶었음이 정답이다. 신뢰도 평가 기법과 연구자의 자세를 전수해주신 조남진 지도교수님, 계속 격려해주셨던 한국전력기술(주) 사장님 이하 임원분들, 그리고 사업 수행에 바쁜 와중에도 잡무 없이 FORTE 개발에만 몰두할 수 있는 환경을 마련해주신 강선구 처장님과 팀원들의 배려에 감사한다. 또한 큰상을 주신 원자력산업회의에 감사드린다.