

'95 추계학술발표회 논문집  
한국원자력학회

한국표준원전 NPA (Nuclear Plant Analyzer) 개발 현황

정 원상, 홍 언영, 성 강식, 서 종태, 이 상근

한국원자력연구소

요 약

국내 최초의 한국표준원전 가압경수로인 울진 3,4 호기의 운전 특성을 정확하게 실시간으로 모사할 수 있는 한국표준원전 NPA가 개발되고 있다. 동 NPA는 발전소의 정상 및 비정상 운전 상태를 Desk-top 소형 컴퓨터에서 모사하여 그 결과를 그림화면(mimic)에 나타내고 운전원 조치 사항을 Interactive하게 수용할 수 있는 능력을 갖추고 있다. 한국표준원전 NPA의 개발을 위하여 울진 3,4 호기 한국표준원전의 설계 자료를 기준으로 그래픽사용자 인터페이스의 새로운 mimic 및 해석모델에서 사용하는 데이터베이스를 성공적으로 작성하였다. 향후 한국표준원전 NPA는 새로운 모델 개발을 완료한 후 발전소 운전자료와의 비교분석을 통해 성능검증을 거치면 교육용 및 엔지니어링 작업에 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

1. 서 론

1998년 상업운전을 목표로 설계 및 건설중에 있는 울진 3,4 호기는 국내 최초의 한국표준원전 가압경수로로서 주증기공급계통을 비롯한 여러 계통들이 국내의 선행 호기인 Westinghouse 사형 발전소와 많은 차이점을 가지고 있다. 따라서, 한국표준원전의 운전 특성 또한 기존 호기와 상이할 것으로 예측된다. 또한, 모든 원자력발전소는 발전소 운전원 또는 기술진의 교육을 위하여 발전소 고유의 전규모-모의제어반(Full-scope Simulator)을 가져야하는데, 이러한 전규모 Simulator는 해당 발전소의 거동을 정확하고 실시간(Real Time)으로 모사할 수 있어야 하며 높은 신뢰도를 가져야 한다.

Full-scope Simulator는 그 특성상 많은 설계자 또는 기술자들이 엔지니어링 목적으로 사용 불가능하며, 따라서, 발전소의 거동을 정확하게 실시간으로 모사할 수 있을 뿐만아니라 소형 컴퓨터에 탑재되어 이동이 용이하고 전산망을 통하여 다수의 이용자가 동시에 사용할 수 있는 원전분석기(NPA : Nuclear Plant Analyzer, [1])의 필요성이 대두되어 왔다. 본 논문에서는

한국표준원전의 특성을 잘 모사할 수 있도록 개발중에 있는 한국표준원전 NPA에 대한 소개와 개발 현황 및 향후 계획에 대하여 기술하였다.

## 2. NPA 의 구성

한국표준원전에 적용가능한 모델 개발을 목표로 하고있는 한국표준원전 NPA는 UNIX 운영체제의 Workstaion에서 실행되는 교육용 및 엔지니어링용 Desk-top 시뮬레이터로서 다양한 종류의 원자력발전소에 맞게 구성할 수 있으며, 일단, 특정한 발전소에 맞게 구성하면 그 발전소의 정상 또는 비정상상태 동안의 거동을 정확하게 모사할 수 있다.

한국표준원전 NPA는 그림 1에서 나타낸 바와 같이 해석모델(Process Model), 시뮬레이션 제어(Simulation Control) 및 그래픽사용자 인터페이스(GUI : Graphical User Interface)등 크게 3 가지로 구성되어 있다. CENTS[1] 코드를 근간으로 하고 있는 NPA 해석모델은 NSSS 및 BOP 그리고 이들을 제어하는 제어계통등 발전소의 거의 모든 계통을 포함하고 있다. CENTS 코드는 유체 계통의 모델링에 비평형/비균질 모델(Nonequilibrium and nonhomogeneous model)을 사용하므로 단상유동 및 이상유동까지 해석할 수 있기 때문에 발전소의 정상운전상태, 성능관련 설계기준사건, 대형 냉각재상실사고를 제외한 안전성관련 설계기준사고를 대상으로 발전소의 거동을 잘 모사할 수 있다. 특히, NPA에서 사용하는 CENTS 코드는 원자로심의 거동을 3차원으로 모사할 수 있도록 성능이 향상되었다.

시뮬레이션 제어는 UNISYSTEM[2]을 이용하여 해석모델 및 컴퓨터 화면으로의 출력에 사용하는 입출력 자료의 유지/관리, 그리고 계통 해석을 위한 명령 및 제어등을 수행한다. 사용자는 UNISYSTEM을 통하여 NPA 의 실행과 중지 또는 재실행등을 할 수 있을 뿐만아니라 해석 모델과 상호 연결되어 계산 수행중에 발전소 주요 변수값을 알아보거나 혹은 임의로 변경시킬 수 있으며 운전원 조작, 사건/사고(Malfunction)등을 일으킬 수 있다.

그래픽사용자 인터페이스는 NPA의 가장 중요한 특징중의 하나로, X-window 환경에서 운영되는 SL-GMS[3]를 이용하여 해석모델에서 계산된 주요 변수값들을 mimic에 숫자 및 그래프로 보여줌으로써 사용자가 발전소의 거동을 쉽고 정확하게 이해할 수 있도록 도와준다. 여기서 mimic이란 관련된 발전소 주요 계통 및 기기들을 개략적으로 그린 그림화면을 의미한다. 또한, 마우스를 이용하여 주어진 메뉴를 작동시켜 시뮬레이션을 제어할 수 있기때문에 시뮬레이션 제어의 복잡한 명령어에 익숙하지 못한 사용자도 NPA를 쉽게 활용할 수 있게 도움을 준다.

## 3. 한국표준원전 NPA 개발 현황

한국표준원전 NPA 개발에는 1차년도가 끝난 현재 해석모델에서 사용하는 데이터베이스의 작성 및 발전소 mimic의 수정/보완을 완료하였다. NPA의 mimic은 발전소 주요 계통을 중심

으로 1차/2차 계통의 주요 유로 및 부품들 뿐만아니라 이들과 연계된 보조계통들도 일목요연하게 나타내었다. 또한, 원자로심 출력분포를 3차원으로 나타낼 수 있는 원자로심 mimic을 포함하여 각종 제어판넬과 경고판넬등을 포함한 20여개의 mimic을 개발하였다. 이들 mimic에 나타나는 대부분의 부품들은 그것들의 운전상태를 알아볼수 있도록 동특성(Dynamic property)을 부여하였다. 또한, 영광 3,4 호기 설계 문서를 기초로하여 핵중기공급계통을 포함한 발전소 계통 및 원자로심 해석에 필요한 데이터를 합하여 약 3,500개의 입력 데이터를 작성한 후 검증 계산을 수행하였다.

그림 2 및 3은 한국표준원전에 맞도록 개발된 mimic의 일부로서, 그림 2의 1차계통 mimic에는 원자로, 증기발생기, 가압기, 냉각재펌프등과 같은 주요 부품들 뿐만아니라 이들과 연결된 외부 계통들, 즉, 원자로심, 2차 계통, 정지냉각계통(SCS), 화학 및 체적제어계통(CVCS), 안전주입계통(SIS)등이 표시되어 있다. 그림 3의 2차계통 mimic에는 증기발생기, 터빈/발전기, 복수기등의 주요 부품과 주급수계통, 보조급수계통, 전력계통등들을 나타내었다. 이들 mimic에는 동특성을 부여하였기 때문에 정상운전 및 과도상태시에 발전소 거동을 쉽게 알아볼 수 있다. 즉, 원자로냉각재펌프 및 가압기전열기등과 같은 부품들은 작동 또는 정지상태에 따라 색깔이 다르게 표시되며, 증기발생기 및 가압기 수위의 증감을 그림에 나타나도록 작성하였다.

그림 4 와 5는 개발된 한국표준원전 NPA의 데이터베이스를 사용하여 100% 출력 정상상태 시 나타나는 발전소 주요 변수들의 변화 경향을 나타낸 것이다. 그림 4 및 5로부터 개발된 한국 표준원전 NPA 데이터베이스에 의한 1차 및 2차 계통의 주요 변수들이 100% 출력 정상상태를 잘 유지하고 있음을 알 수 있다.

#### 4. 향후 개발 계획 및 기대 효과

기존에 개발된 한국표준원전의 기능외에 새로운 mimic의 개발, COLSS/CPC 기능 첨가 및 BOP/Control/Auxiliary system의 모델 개발등을 통하여 더욱 향상된 기능을 갖춘 한국표준원전 NPA 개발 작업이 진행중에 있다. 개발된 NPA의 성능 확인 및 검증에는 영광 3,4 호기 출력상승시험(Power Ascension Test) 기간동안에 수집된 시험자료들을 사용하고 있다. 한국표준원전의 NPA를 성공적으로 개발 완료하면 아래와 같은 교육용 및 엔지니어링 목적으로 활용 가능할 것이다.

- 가. 비상 운전 지침서 검증 및 유지 보수
- 나. 계통 설계자 및 발전소 운전원 교육 지원
- 다. 발전소 시운전 및 운전 기술 지원
- 라. Full Scope Simulator 제작을 위한 검증 계산 지원
- 마. 인허가를 위한 사고 해석 및 계통 설계 지원

- 바. 후속 호기 설계 개선 및 신형 원자로 설계 지원
- 사. 필요시 발전소 기기 교체를 위한 예비 계산 및 검증

5. 결론

한국표준원전 NPA의 개발을 위하여 올진 3,4 호기 한국표준원전의 설계자료를 기준으로 그래픽사용자 인터페이스의 새로운 mimic 및 해석모델에서 사용하는 데이터베이스를 성공적으로 작성하였다. 향후 한국표준원전 NPA는 새로운 mimic 및 해석 모델 개발을 완료한 후 발전소 운전자료와의 비교 분석을 통하여 성능 검증을 거치면 교육용 및 엔지니어링 작업에 유용하게 사용할 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] "Technical Manual for the Nuclear Plant Analyzer CENTS Models", Rev. 1, 1994.
- [2] "User's Manual and Program Application Guide for UNISYSTEM", Rev. 0, 1994.
- [3] "SL-GMS Reference Manual", Ver. 5.x, March, 1994.

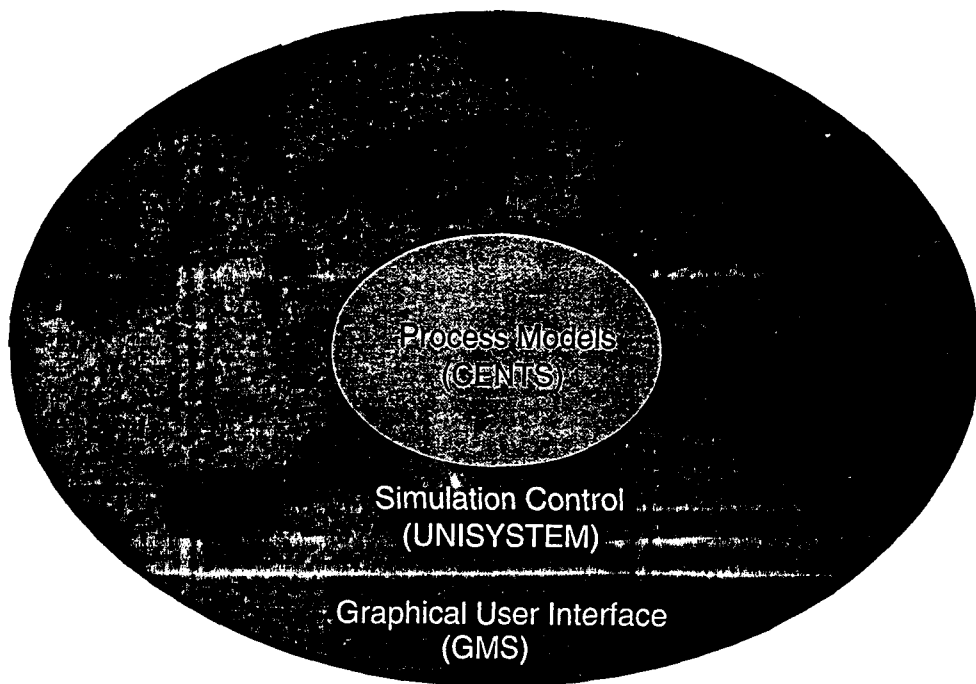


그림 1. 한국표준원전 NPA 의 구성 모델

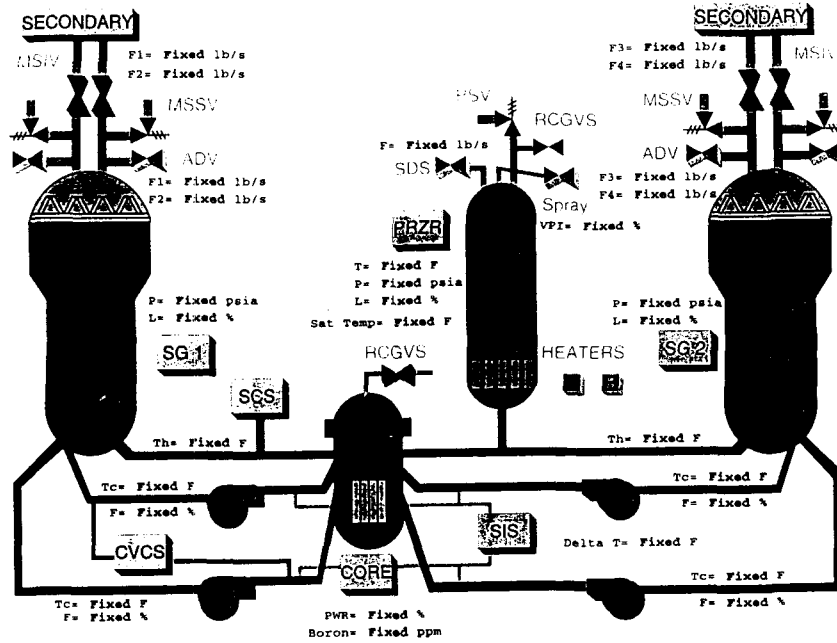


그림 2. 한국표준원전 NPA 1차 계통 mimic

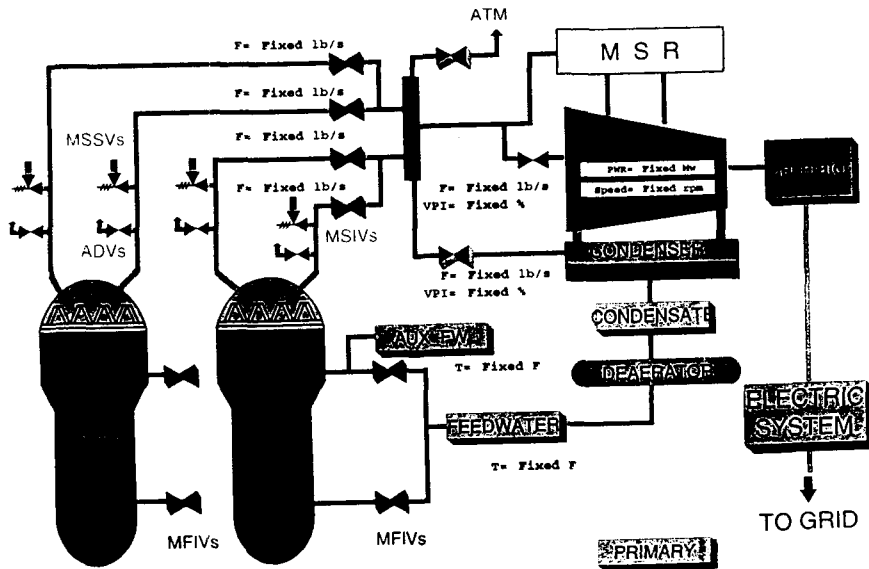


그림 3. 한국표준원전 NPA 2차 계통 mimic

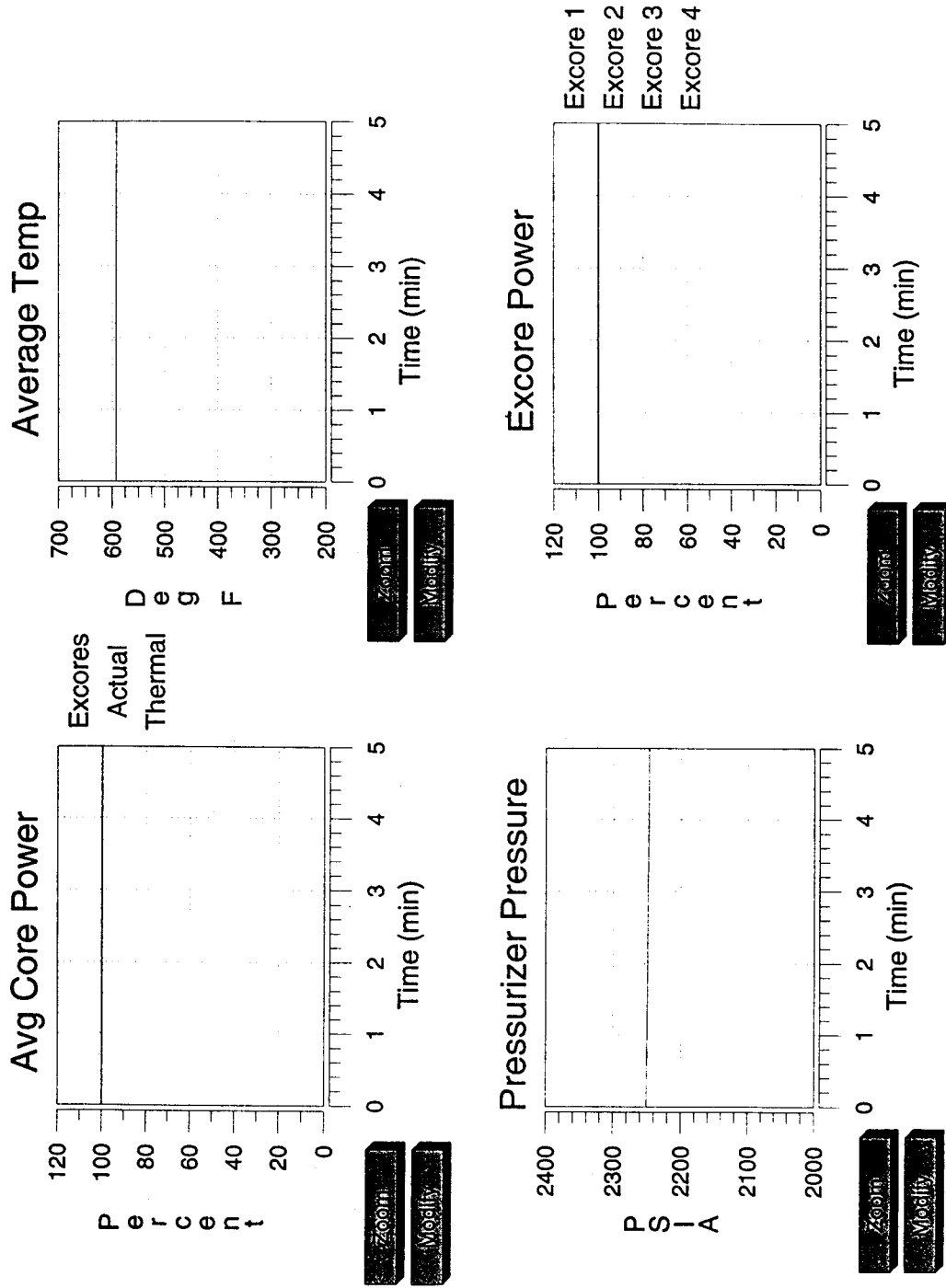


그림 4. 한국표준원전 정상운전상태시의 1차 계통 운전 변수 변화 경향

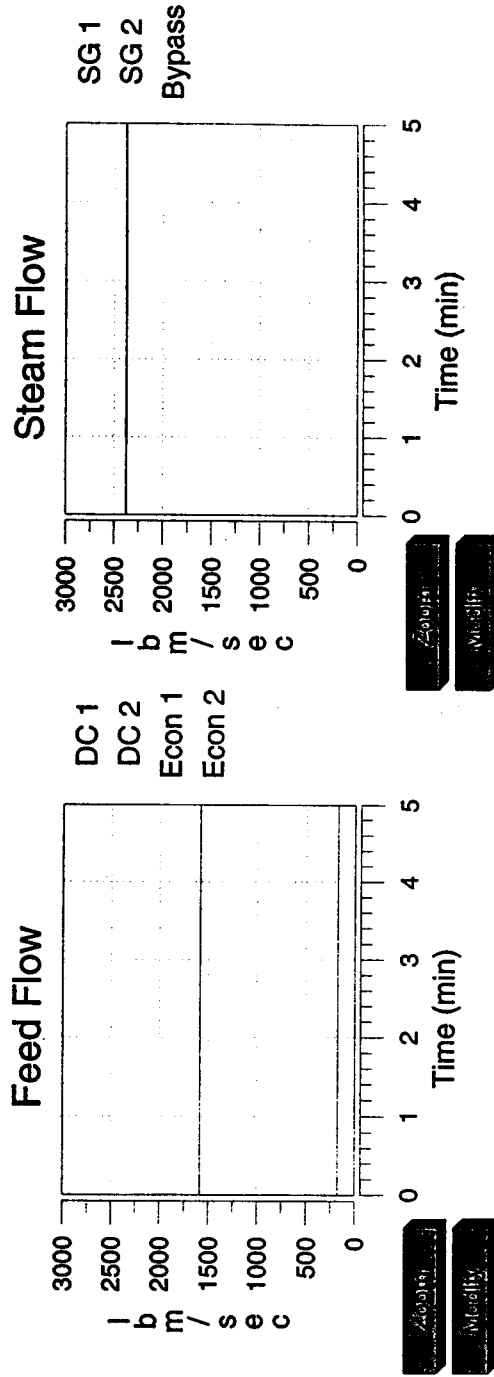
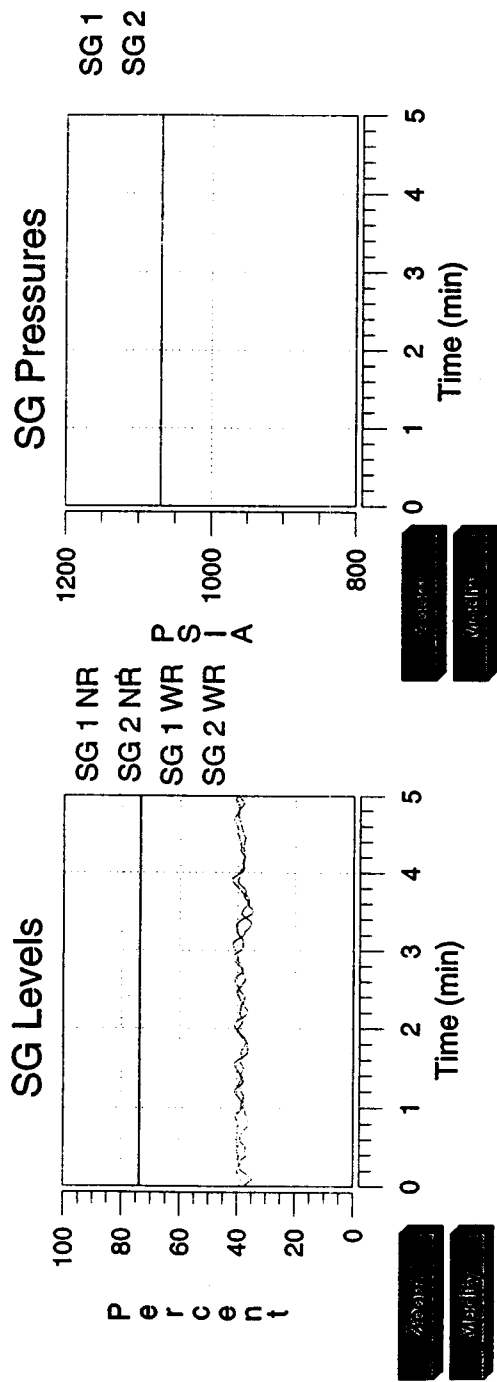


그림 5. 한국표준원전 정상운전상태시의 2차 계통 운전 변수 변화 경향