

계통운영상태의 정의 및 구분 방법론 제안

송성환, 정승완, 윤용태, 문승일
서울대학교

이상호, 문영환
한국전기연구원

정응수, 송석하
한국전력거래소

The Definition and Classification Methodology of Operating State

Sung-Hwan Song, Seung-Wan Jung, Yong Tae Yoon, Seung-Il Moon
School of Electrical Engineering Seoul National University

Sang-Ho Lee, Young-Hwan Moon
Korea Electrotechnology Research Institute

Eung-Soo Jung, Suk-Ha Song
Korea Power Exchange

Abstract - 본 논문은 계통운영상황에 따른 대응책을 통하여 계통운영상태(state)를 구분하는 방법론을 제안한다. 일반적으로, 계통운영상태는 정상상태와 비상상태로 구분되지만, 본 연구에서는 이를 정상상태, 주의상태, 경보상태, 비상상태, 회복상태 등의 5가지로 구분하여 정의하고자 한다. 그리고 계통운영상태를 설정단계와 적용단계로 구분하여, 설정단계에서는 각 계통운영상태에 대한 대응책의 비용을 반영하여 계통운영상태를 설정하며, 적용단계에서는 계통운영한계 및 각 대응책의 시행시간과 계통운영한계 초과시간 등을 고려하여 계통운영상태를 적용한다. 특히, 본 연구에서는 계통운영상태를 고려한 계통운영절차를 flowchart로 제시한다. 이러한 계통운영상태는 계통운영자에게 계통운영에 대한 객관적 판단의 근거를 제시해 줄 것이다.

Action을 개발하여 제시함으로써, 향후 전력 계통의 안정성을 향상시킬 수 있고, 비상시 효율적인 대응 조치로 광역 정전 피해를 최소화시킬 수 있다. 그리고 계통운영상태에 대한 명확한 정의를 통해 계통 운영에 대한 계통운영자의 책임 한계를 명확히 할 수 있는 근거로 활용할 수가 있을 것이다.

2. 본 론

2.1 계통운영상태의 정의

NYISO는 계통운영상태를 Normal State, Warning State, Alert State, Emergency State, Restoration State 등의 5가지 상태로 정의하고, 각 State를 정의하는 기준도 전압, 주파수, 예비력, 송전 용량, 안전도 한계, 선로 조류, 과발전 등 다양한 지표를 마련하여 계통의 상태를 정의하고 있다. 반면, 현재 우리나라의 경우 계통운영상태의 구분은 정상상태와 비상상태의 두 가지 상태로만 정의되어 있고, 이 두 가지 상태에 대한 감시 기준도 예비력에 대한 경우로만 이루어지고 있다.

1. 서 론

최근 국가의 중요 기반시설인 전력산업에도 경쟁체제 및 규제완화가 도입됨에 따라 전력 계통의 효율적 운전에 대한 사회적 요구가 급격히 증대되고 있어, 신뢰도 기준을 적정 수준으로 유지하면서 비상시에 대해서는 적절한 대응조치를 마련하여 계통운영의 안전도를 확보하는 방안이 필요하다.

표 1. 새로운 계통운영상태 정의에 대한 제안

계통의 상태	정의
정상상태	<ul style="list-style-type: none"> 어떤 추가 왜란에도 계통이 안전한 상태 (N-2 Contingency Criteria)
주의상태	<ul style="list-style-type: none"> 현재 계통운영상태는 양호하나 특정한 추가 왜란에 의해 비상상태로 갈 수 있는 상태 계통운영자가 필요한 Control Action을 취한 후의 상태
경보상태	<ul style="list-style-type: none"> 현재 계통운영상태는 유지되나 임의적인 추가 왜란에 의해 Emergency상태로 갈 수 있는 상태 계통에 특정한 이벤트가 발생한 후의 상태
비상상태	<ul style="list-style-type: none"> 즉각적인 조치를 취하지 않으면 계통이 붕괴되는 상태 어떤 임의의 추가 왜란이 발생하면 계통운영자가 조치를 취할 시간 없이 바로 계통이 붕괴되는 상태
복구상태	<ul style="list-style-type: none"> 계통이 붕괴된 상태에서 자체기동되는 상태

2003년 북미지역의 광역 정전을 비롯하여 이태리, 스웨덴 등 해외에서 발생한 광역 정전으로 인해 사람들은 전력 계통 안정 운영의 중요성에 대해서 크게 관심을 가지게 되었다. 광역정전을 야기시키는 고장의 직접적인 원인은 매우 다양하고 복잡적이지만, 분석 결과에 의하면 주요 발생 요인으로는 대체적으로 비상 대응 절차의 부족, 운전원의 부적절한 초기대응 및 전력회사 담당자들 간의 협조 부적합 사항이 공통적으로 지적되고 있다. 특히, 운전원들이 현재 계통운영상태가 어느 정도 심각한지를 파악할 수 있는 계통의 상태에 대한 정확한 기준이 명확하게 정립되지 않았기 때문에 비상시에 적절히 대응하지 못했기 때문이라고 볼 수 있다.

이에 대해서 NERC에서는 2003년 북미 동부지역 정전 사태에 대하여 계통운영상태를 명확하게 정의하도록 Recommendation 20 [1]에서 “전력 계통의 Normal, Alert, Emergency 상태에 대한 운영조건에 대한 명확한 정의 수립이 필요하고, 각 운영조건에서의 계통운영자들의 책임과 역할, 권한을 명확히 규정해야 한다”고 제시하고 있다.

따라서 우리나라의 비상시 급전지시 절차에도 미국의 사례와 같이 명확하고 객관적인 근거가 필요하다. 이러한 계통운영상태에 대한 명확한 정의를 통해서 광역정전으로 파악될 수 있는 각종 사고 유형과 전력 계통의 취약성을 분석하여 이에 대한 합리적인 대응 방안을 수립할 수가 있다. 단계별로 제시된 상황 판단의 객관적 기준에 따라 계통 안정을 유지하기 위하여 필요한 Control

여기서는 위의 표와 같이 5가지 계통의 상태(정상상태,

주의상태, 경보상태, 비상상태, 복구상태)로 정의하고, 각 상태를 정의할 수 있는 지표도 전압, 주파수, 조류, 예비력, 기타 등의 5가지로 세분화하여 계통의 상태를 구분할 수 있는 방법을 제안한다.

2.2 계통운영상태의 구분 방법 제안

그림 1에서처럼 본 연구내용에서는 계통운영상태(State)의 구분을 계통운영자가 취할 수 있는 대응책(Control Action)에 대해 계통의 기준을 다시 정해보는 방법을 제안하고자 한다. 이러한 분석방법은 각 계통운영상태(State)에 따른 대응책(Control Action)에 계통운영자의 주관성을 내포하고 있는 한계가 있지만, 이를 해결하기 위해서 계통운영자와 전문가와 협의하여 각 계통상태에서 취할 수 있는 대응책(Control Action)에 대해 모든 사람들이 동의할 수 있도록 중장기적인 공인(公認)작업을 시행해야 할 것이다.

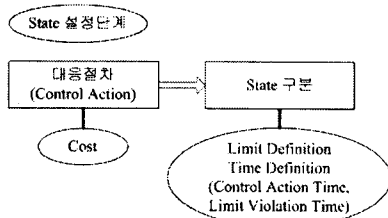


그림 1. 계통운영상태 설정단계

이 때 충분히 고려되어야 할 사항은 각 대응책(Control Action)의 분류를 비용을 근거로 하여 계통운영상태(State)를 재정립해야 한다는 것이다. 다시 말하면, 비상상황(Alert, Emergency)이 발생하였을 때는 전압감소(Voltage Reduction), 부하삭감(Load Curtailment)이나 부하차단(Load Management)과 같이 강력(powerful)하지만 비용이 많이 발생하는 대응책이 필요하지만, 정상상태(Normal)나 경보상태(Alert)인 경우 비용이 많이 발생하지 않는 대응책들을 시행해도 될 것이다.

이렇게 각 상태에 따라서 시행되는 대응책(Control Action)을 기준으로 재정립된 계통운영상태(State)를 통해 전압(Voltage), 주파수(Frequency), 선로조류(Line Flow), 예비력(Reserve) 등의 운영경계(Operating Limit)와 각 대응책들이 시행되는 시간(Control Action Time)과 각각의 기준들이 넘지 말아야 할 경계시간(Limit Violation Time)등을 고려함으로써 최종적으로 계통운영상태(State)에 객관성을 부여할 수 있다.

이러한 작업 또한 모든 사람들의 협의와 동의를 통해 중장기적인 관점에서 접근해야 할 것이다. 그리고 계통상황이 변화함에 따라 각각의 Limit과 Time의 개념은 지속적인 연구를 통해서 갱신되어야 할 것이다. 결국, 이러한 방법을 통해 정의되고 분류된 계통운영상태(State)는 비상시 대응절차 및 기준수립, 계통운영의 개선안을 제시해 주는 기초 자료가 될 것이다.

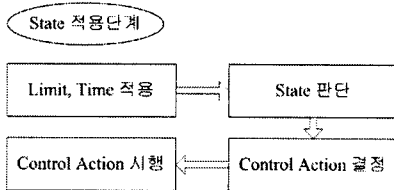


그림 2. 계통운영상태 적용단계

그리고 이렇게 설립된 계통운영상태(State)의 적용단계는 위의 그림과 같다. 먼저, 계통운영자는 위에서 언급한 전압, 주파수, 선로조류, 예비력 등의 경계치(Limit)와 경

계치를 넘어선 시간(Violation Time)등을 감시하여 각 State를 판단하고 어떤 대응책들을 시행해야 되는지를 결정하고 이들을 시행하게 된다. 이러한 방법은 계통운영자의 객관적인 판단을 돕고, 조치한 대응책에 대한 제도적인 근거를 마련해 줌으로써 계통운영자에게 법적인 보호를 제공해 줄 수 있을 것이다.

2.3 계통운영상태에 따른 대응책의 분류

본 연구내용에서 제안한 방법에 따라 새로운 계통운영상태(State)는 현재 시행되고 있는 대응책(Control Action)의 분류작업부터 시행되어야 한다.

	Normal State	Warning State	Alert State	Emergency State
Voltage	AVR	Generator [MW/MVA] Short Capacitor Short Inductor LTC	Voltage Reduction FACTS Operation	Load Curtailment Under-Voltage Load shedding
Frequency /Balance	Governor AGC	Generator [MW] C/B	Over-Frequency Generator Trip Under-Frequency Generator Trip	Under-Frequency Load Shedding Islanding
Line Flow		Generator [MW] C/B	Voltage Reduction FACTS Operation	Load Curtailment Load Shedding
Reserve		Generator [MW/MVA]	Voltage Reduction	Load Curtailment Load Shedding Rolling Blackout

그림 3. 계통운영상태에 따른 대응책의 분류

그림 3은 아직 공인받지 못한 초기단계의 대응책(Control Action) 분류를 나타낸 것이다. 가로축을 각 계통운영상태인 정상상태(Normal), 주의상태(Warning), 경보상태(Alert), 비상상태(Emergency)로 분류하고 세로축을 계통에서 중요하게 감시되어야 할 요소인 전압, 주파수, 선로조류, 예비력 등으로 나누었다. 그리고 세로축과 가로축에 해당하는 대응방안(Control Action)들을 분류하였는데, 전술(前述)하였듯이 대응책들의 분류는 발생하는 비용을 원칙으로 하여 분류하였다. 그리고 각 대응책들은 시행되는 시점(Starting Point)을 나타낸 것이다. 일례로 전압(Voltage)에서 발전력의 재분배 문제(도표에서 Generator[MW/MVA]로 표시)는 주의상태(Warning)에서부터 경보상태(Alert), 비상상태(Emergency)에 이르는 단계까지 시행될 수 있는 대응전략임을 명시해 둔다.

그림 3에서 보면 AVR(Automatic Voltage Regulator), Governor, AGC(Automatic Generation Control), 운전등과 같이 계통운영시 자동으로 제어되는 대응책은 정상상태에서 시행되는 것으로 분류를 하였다.

그리고 주의상태에서는 발전력 재분배(Generator),

Shunt Capacitor와 Shunt Inductor의 적용, 발전기 트립(Generator Trip), 선로차단기(C/B : Circuit Breaker) 동작 및 LTC(Load Tap Changer)의 동작 등이 필요하며, 앞으로 FACTS(Flexible AC Transmission Systems)의 도입에 의한 운영방안도 하나의 대응책으로 적용될 수 있을 것이다.

큰 개념으로 비상상황으로 분류되는 경보상태(Alert), 비상상태(Emergency)에는 비교적 비용이 많이 들고 부하측을 제어하는 전압감소(Voltage Reduction), 부하삭감(Load Curtailment), 부하차단(Load Management) 등의 대응책을 실시하게 되며, 특히 주파수가 극심하게 동기화를 잃게 되는 경우는 Islanding을, 예비력이 부족한 경우 윤번제(Rolling Outcut) 등의 대응책도 분류하였다.

여기서 인용된 각 대응전략들은 미국광역정전최종보고서[1]와 NYISO의 Transmission and Dispatching Operations Manual[2]을 참고하여 정리하였으며, 각 대응책의 분류는 현재 확정된 것은 아니지만, 앞으로 우리나라의 전력계통이 정립해야 될 계통운영상태(State)와 거기에 따른 대응전략(Control Action)에 대해 큰 Framework를 제공하는 것이라 생각한다. 따라서 계통운영상태(State)와 대응전략(Control Action)을 분석하고 분류하는 작업은 관계기관과의 협의가 필요하며, 장기적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

3. 계통운영상태를 적용한 계통운영절차

다음은 Limit과 Time의 개념을 고려한 계통운영절차도이다. 이는 최종적으로 계통운영상태가 분석된 경우에 적용할 수 있을 것이다.

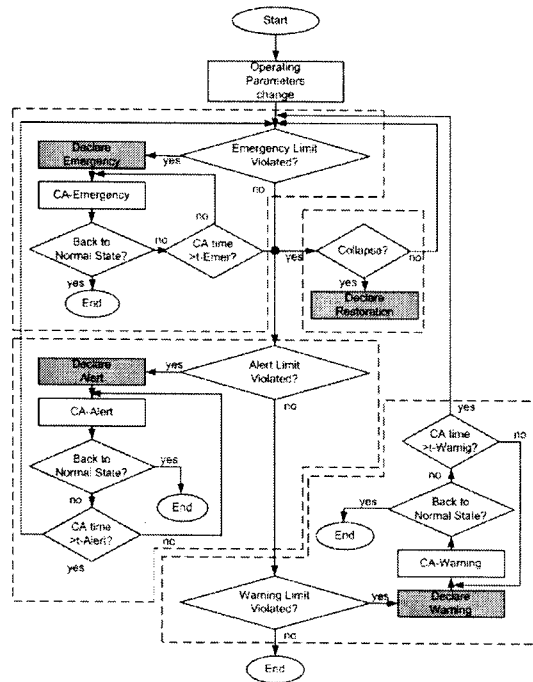


그림 4. 계통운영상태를 적용한 계통운영절차

만약 계통운영파라미터의 변동이 생겼을 때, 계통운영자는 Emergency Limit, Alert Limit, Warning Limit 등을 고려하여 비상상태(Emergency), 경보상태(Alert), 주의상태(Warning) 등을 각각 선언하게 된다.

각 상태의 모듈(module)안에서는 각각 CA-Emergency, CA-Alert, CA-Warning 등을 시행하여 주어진 시간

(CA-time)안에 정상상태(Normal)로 복구되도록 한다. 그리고 정상상태로 복구되지 않는다면 각 Control Action들이 시행되는 시간(CA-time)이 정해진 time의 경계(t-Emer., t-Alert, t-Warning)를 넘어가는 경우는 다시 Emergency Limit, Alert Limit, Warning Limit 등을 모니터링하여 다른 계통운영상태로 선언되도록 그 흐름이 정해지게 된다.

그리고 복구상태(Restoration)는 비상상태(Emergency)에서 CA-time이 t-Emer.을 넘기 까지 CA-Emergency를 통해 해결되지 않고 계통이 붕괴되는 경우 선언되는 계통운영상태로 나타내었다.

이러한 개념의 Flowchart는 Limit과 Time이라는 수치의 객관성을 통해 보다 합리적이고 효율적인 계통운영 대응절차를 마련해 주는 것이며, 이는 최종적으로 계통운영상태에 따른 계통운영절차가 나아가야 할 방향으로 판단된다.

결국 장기적인 관점에서 제안된 계통운영상태의 정의 및 구분 방법을 통해 계통운영상태가 새롭게 재정립된다면 계통운영자가 비상상태(Emergency) 선언을 납발하는 경우를 사전에 막을 수 있으며, 비상상태를 올바르게 판단하여 계통의 신뢰도를 유지할 수 있도록 제도적인 근거를 제시해 줄 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 각 계통의 상태에 따라 계통운영자가 취할 수 있는 대응절차(Control Action)를 기준으로 계통운영상태를 재정립하는 방법론을 제안하였다. 하지만 현재 시행하고 있는 대응절차들은 계통운영자들의 주관성을 상당히 내포하고 있기 때문에 계통운영자 및 관계기관과의 협의를 통하여 대응절차들을 재정립하는 필요성을 제기하였다. 그리고 이런 대응절차들이 각 계통운영상태에 따라 합리적으로 분류될 수 있도록 공인(公認) 작업의 필요성도 제기하였다. 또한 계통상황이 변화함에 따라 각각의 Limit과 Time의 개념은 지속적인 연구를 통해서 갱신되어야 함도 지적하였다.

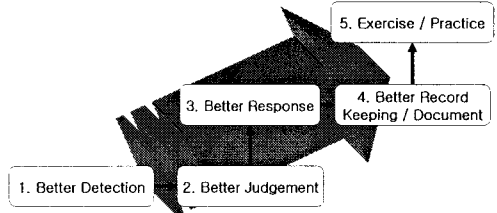


그림 5. 광역 정전 사고 방지 대책 수립 과정

그림 5에서 제시한 바와 같이 재정립된 계통운영상태를 통하여 계통운영자는 계통의 상태를 객관적으로 진단하고 판단하며 적절한 대응책을 실시할 수 있을 것이다. 그리고 이러한 일련의 과정을 문서로 기록하여 보관하고, 계통 운영에 관한 교육과 훈련을 시행함으로써 계통을 안정적이고 효율적으로 운영할 수 있을 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] Final Report on the August 14, 2003 Blackout in the US and Canada
- [2] NYISO, Transmission and Dispatching Operations Manual
- [3] NYISO, Emergency Operations Manual
- [4] M.E.Khan, R. Billinton, "A Hybrid Model for Quantifying Different Operating States", IEEE Trans. on Power Systems, Vol.7, No.1, pp187-193, February 1992