

송전계통을 고려한 확률론적 신뢰도 평가에 관한 연구 : TRELSS and TranRel

| |
|---------|
| 論文 |
| 53A-1-7 |

A Study on Probabilistic Reliability Evaluation Considering Transmission System :TRELSS and TranRel

崔在錫* · 姜成錄** · 트란트롱 틴*** · 田東勳§ · 文勝必§ · 秋鎭夫§§
(J. S. Choi · S. R. Kang · T. T. Tran · D. H. Jeon · S. P. Moon · J. B. Choo)

Abstract - This paper presents a study on evaluating the reliability indices considering a transmission system. Because successful operation of electric power under the deregulated electricity market depends on transmission system reliability management, quantity evaluation of transmission system reliability is very important. This paper introduces features and operation modes of the Transmission Reliability Evaluation for Large-Scale Systems(TRELSS) Version 6.0, a commercial program made in EPRI, and TranRel-I V3.2, a educational program made in GSNU(GyeongSang National University) for assessing reliability indices of composite power system. The packages access not only bulk but also bus indices for reliability evaluation of composite powers system. The practicality, effectiveness and future works of this methodology are illustrated by demonstrations of two case studies of modified IEEE 25 buses reliability test system using TRELSS and TranRel-I and a brief case study for the KEPCO size system using TranRel-II made in GSNU.

Key Words : 송전계통신뢰도, Trelss, TranRel, 불확실성

1. 서론

근래 규제완화 된 자유경쟁시장체제의 전력시장 하에서 송전계통의 신뢰도평가는 더욱 중요한 부분을 차지하게 되었다. 계통 망사업자(ISO 또는 ITO) 및 망 소유자는 합리적인 신뢰도를 갖춘 송전망의 운영 및 확충을 위한 최적투자비 결정 문제에 자주 봉착하게 되었으며 적절한 계통 망의 확충계획 및 운용을 위하여 송전계통망의 신뢰도기준을 얼마로 할 것인가에 많은 관심이 모아지고 있다[1-3]. 이를 위해서는 송전망 및 부하모선별 신뢰도를 정확히 평가할 수 있는 Tool의 개발이 매우 중요하다. 그러나 전력계통의 체계적인 확률론적 신뢰도 평가 지수 및 해석수법이 이미 1960년대 말에 개발되었음에도 불구하고 대부분의 연구는 발전계통을 대상으로 한 것이었으며 송전선로 사고율과 같은 불확실성을 고려한 연구 및 그 응용범위는 많지 않은 실정이었다. 그 이유는 발전계통 및 송전계통을 포함하여 지칭하는 복합전력계통의 신뢰도 평가는 각 설비의 구성요소 및 각 지점의 부하크기 등과 복잡하기 관련되어 있어 그 해석이 쉽지 않기 때문이며 복합전력계통에 대한 다각적인 각도에서의 확률론적 신뢰도 평가방법의 기존연구가 부족한데서 비롯된다.

본 논문에서는 현재까지의 송전계통을 고려한 복합전력계

통의 신뢰도 평가방법론 및 기초이론을 검토한 뒤 대규모 송전계통의 신뢰도 평가를 위한 상업용 프로그램으로 EPRI에서 개발한 TRELSS V6.0을 살펴보고 이를 이용하여 IEEE RTS 25모선계통에 대한 결과를 분석한 후 본 연구실에서 교육 및 연구용으로 개발하여 사용하고 있는 enumeration방법에 의한 TranRel-I을 이용한 결과와 간단히 비교하여본다. 더불어 역시 본 연구실에서 상용화를 위하여 개발하고 있는 Monte Carlo법에 의한 TranRel-II을 이용하여 한전계통규모에 대한 사례연구를 통하여 그 실용가능성을 살펴보고 끝으로 차후 연구방향을 제시한다.[4-5]

2. 복합전력계통의 신뢰도 평가 이론

2.1 국내·외 연구동향.

복합전력계통 또는 송전계통의 확률론적 신뢰도평가는 1960년대부터 유럽과 북미를 중심으로 이루어져 왔다. 이러한 연구들은 해석적 방법과 시뮬레이션방법으로 크게 구별될 수 있으며 초창기에는 전자는 북미를 중심으로 후자는 프랑스와 이탈리아를 중심으로 발전되어져왔으나 근래에는 전자 계산기의 급속한 발달에 힘입어 두 방법 모두가 적극 사용되고 있다. 지금까지 개발된 프로그램 패키지들 중 해석적인 방법을 이용한 것으로는 EPRI의 TRELSS 및 SYREL, Florida Power Corporation의 GATOR, Hydro Quebec의 PREFIAPT & FIAPT, Shawinigan Consultant의 SYREL, Saskatchewan 대학교의 COMREL, Georgia Power and Georgia Inst. of Tech.의 RECS 등이 있다. 그리고 몬테카르로 시뮬레이션 기법을 이용하는 것으로는 ENEL의 SICRET, EDF의 METRIS, CEPTEL의 CONFTRA 그리고 근래 Saskatchewan대학교 및 BC Hydro사의 합작으로 만들어진 MECORE등이 있다. 표 1

* 正會員 : 慶尙大學校 電氣電子工學部 教授
** 正會員 : 慶尙大學校 電氣電子工學部 碩士
*** 正會員 : 慶尙大學校 電氣電子工學部 碩士課程
§ 正會員 : 한전 전력연구원 선임연구원
§§ 正會員 : 한전 전력연구원 수석연구원
接受日字 : 2003년 10월 4일
最終完了 : 2003년 11월 11일

표 1 복합전력계통 확률론적 신뢰도평가 프로그램 패키지 현황.

Table 1 Tools for Evaluating the Probabilistic Reliability of the Composite Power System for Grid Expansion Planning.

| Name | System | Methodology | Maker or User | Remark |
|--------------|------------------------|---------------------------|---|--------------------------|
| MECORE | Composite Power System | Monte Carlo | University of Saskatchewan & BC Hydro(Canada) | Commercial |
| METRIS | Composite Power System | Monte Carlo | EDF (France) | Commercial & Educational |
| TPLAN | Transmission System | Monte Carlo & Enumeration | Power Technology (USA) | Commercial & Educational |
| SICRET | Composite Power System | Monte Carlo | (Italy) | Commercial |
| CONFTRA | Composite Power System | Monte Carlo | (Brazil) | Commercial |
| PACOS | Composite Power System | Monte Carlo | (Brazil) | Commercial |
| CREAM | Composite Power System | Monte Carlo | EPRI (USA) | Educational |
| TRELSS | Composite Power System | Enumeration | Electric Power Research Institute (USA) | Commercial |
| COMREL | Composite Power System | Enumeration | University of Saskatchewan (Canada) | Educational & Commercial |
| GATOR | Transmission System | Enumeration | Florida Power Corporation (USA) | Commercial |
| PROCOSE | Composite Power System | Enumeration | Ontario Hydro (Canada) | Commercial |
| REPLACES | Transmission System | Enumeration | University of Manchester Insitute of Science and Technology(UK) | Educational |
| SYREL | Transmission System | Enumeration | EPRI/ Power Technology Inc. (USA) | Commercial & Educational |
| SYREL | Transmission System | Enumeration | Shawinigan Lavalin (Canada) | Educational |
| TranRel-I&II | Transmission System | Enumeration & Monte Carlo | GSNU (Korea) | Educational |
| ComRel | Composite Power System | Enumeration & Monte Carlo | GSNU (Korea) | Educational |

은 송전망계획용 신뢰도 평가용으로 활용되거나 연구용으로 이용되고 있는 확률론적 신뢰도 평가용 프로그램들을 보인 것이다.[6-8]

한편, 실제들을 다루는 망사업자는 입력자료의 미확보, 확률론의 이론적 어려움 및 계산상의 어려움 등으로 인하여 결정론적인 접근방법이 계통의 불확실성 특성을 잘 반영하지 못함에도 불구하고 송전망 신뢰도평가를 위하여 결정론적인 방법에 의존하여 온 것이 현실이다. 국내에서도 주로 결정론적 방법에 의한 송전계통의 신뢰도평가를 연구하고 이용하고 있으며 확률론적 방법을 이용한 송전계통의 신뢰도평가에 관련한 국내 연구 및 논문발표도 지금까지 극히 미비한 실정이라 할 수 있다. 그러나 근래 세계적으로 이루어지고 있는 자유경쟁체제로 진행되는 전력산업 구조개편 하에 직면한 전력산업에서는 발전기, 송전선로, 주요변압기 및 차단기 등의 불확실성을 모두 고려한 확률론적인 방법을 이용한 복합전력계통의 정확하고 신속한 신뢰도평가방안 및 프로그램의 개발이 더욱더 요구되어지고 있다. 더불어, 불확실성을 고려한 확률론적인 접근법은 최적 신뢰도 수준결정이나 장기 송전계통의 확충계획 및 각 지역별 공급지장의 평가 등을 위하여 매우

중요하다. 표 2는 송전망 신뢰도평가의 결정론적인 및 확률론적인 방법을 상호 비교한 것을 요약한 것이다.[6-8]

2.2 복합전력계통(HLII)의 확률론적 신뢰도 평가를 위한 상태공간모형

(1) 상태공간모형

전력계통의 운전상태는 전력계통내의 적정도와 안정도 제약에 만족하는 정도에 따라 정의된다. 운전상태의 분류에는 정상(normal), 경계(alert), 비상(emergency), 초비상(extreme emergency), 회복(restorative)의 다섯 상태와 경계와 비상상태에서 초비상상태로 가는 것을 피하기 위한 교정상태가 있다. 여기에는 비경제급전 및 송전(off-economic dispatch)과 제어된 부하차단(controlled load curtailment)이 있다. 그림 1은 본래의 다섯 상태와 교정상태 그리고 배전설비의 사고에 의한 국부적인 부하차단상태들로 구성되는 전력계통의 운전상태모형을 나타낸 것이다. 제어된 부하차단(controlled load curtailment) 상태는 부하차단 작용을 통해 경계상태를 정상상태로 이동시키며, 비상상태를 완화시켜 주는 역할을 한다.

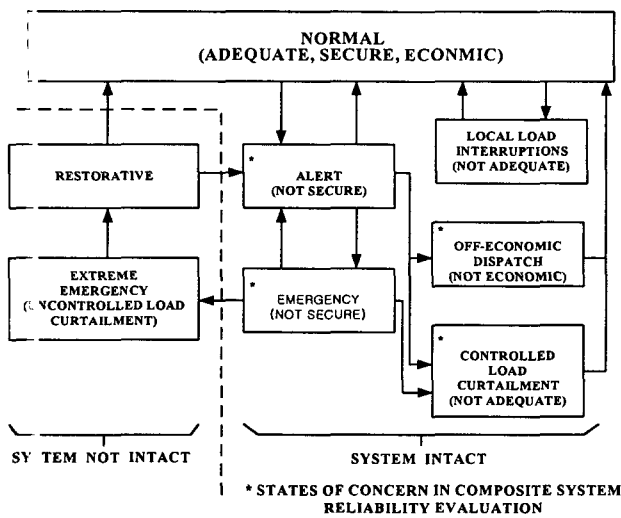


그림 1. 시스템 운전상태
Fig. 1. System Operating States

(2) 송전망 신뢰도 평가를 위한 집합이론
발전기 및 송전선로의 사고확률을 고려할 경우에는 필연적으로 계통이 수용가 부하를 만족시키지 못하게 할 수도 있는 사건을 발생시킨다. 이는 계통의 상태 공간 내에서 한 사건의 집합을 형성하며, 이 사건을 '공급지장(Loss of Load)사건' 이라고 부른다. 이 공급지장사고 전체집합에 속하는 상태들을 L이라고 하면 식 (1)처럼 표현된다[9].

$$L = G + T + C \quad (1)$$

여기서,

G: 유효한 총발전량이 전체 수용가부하보다 적은 계통의 상태들.

T: 모든 발전기가 유효할지라도 계통부하가 공급될 수 없는 계통 상태들.

C: G 및 T에 포함되지 않으면서 시스템 사고정지를 유발하는 상태 ($C = \bar{G} \cap \bar{T} \cap L$)

표 2. 송전망 신뢰도 평가의 결정론적 방법과 확률론적 방법과의 비교.

Table 2. Comparisons between Deterministic Approach and Probabilistic Approach for Reliability Evaluation of the Composite Power System.

| | 결정론적 방법 | 확률론적 방법 |
|----------------|--|---|
| 평가기본개념 | 공급 또는 수송능력평가 | 공급지장수준 평가 |
| 신뢰도개념 | (N-n) 개념(단, n=정수) 주로, N-1, N-2, N-1-1 개념에 의한 공급능력도평가 | 사고확률을 고려한 (N-r) 개념 (단, r=실수) |
| 주요입력자료 | 발전기, 변압기 송전선로 용량 및 임피던스 | 발전기, 변압기 송전선로 용량, 사고확률 및 임피던스 |
| 평가모형 | $DRP = TTC - Load$ [MW] $DRR = DRP \times 100 / Load$ [%] $ATC = TTC - TRM - CRM$ [MW] 단, DRP: Delivery Reserve Power TTC: Total Transfer Capability DRR: Delivery Reserve Rate ATC: Available Transfer Capability TRM: Transmission Reliability Margin CRM: Capacity Benefit Margin | $LOLE_{TS} = LOLE_{HLI} - LOLE_{HLII}$ (days/yr or hr/yr) $EENS_{TS} = EENS_{HLI} - EENS_{HLII}$ (MW/yr) 단, LOLE: Loss of Load Expectation EENS: Expected Energy Not Served HLI and HLII: Hierarchical Level I and II |
| 계통망 조류계산: | AC 또는 DC 조류계산법 이용하여 TTC 평가 | AC 또는 DC 조류계산법 이용 하여 LOLO 및 EENS 평가 |
| 신뢰도지수 | 1. 계통의 DRR, ATC 2. 각 모선의 최대도달전력 (MAP) | 1. 계통의 EENS, LOLE 2. 각 모선의 EENS _i , LOLE _i |
| 방법형태 및 사용국가 비교 | 후진국형 평가기법 | 선진국형 평가기법 (미국, 캐나다, 프랑스, 영국등) |
| 주요 사용모드 | 운영모드형 신뢰도평가기법 | 계획모드형 신뢰도평가기법 |
| 장단점 비교분석 | 장점 1. 평가가 간편함. 단점 1. 불확실성을 고려하지 못함. 2. 같은 용량이면 동일한 신뢰도지수가 얻어짐. | 장점 1. 계통의 불확실성을 고려함. 2. 같은 용량이라도 선로회수 및 사고확률에 따라 신뢰도지수가 달라짐 이는 송전선로건설시 송전선로의 종류, 입지조건 및 기후영향 등을 반영할 수 있음을 의미함. 3. 정확한 신뢰도평가 신뢰도지수를 정량적으로 평가하여 제시함으로써 수요자와의 분계발생시 보다 논리적으로 접근할 수 있음. 단점 1. 평가모델 및 절차가 상대적으로 복잡함. |
| 최근 국제동향 | 근래 급격한 전자계산기의 발달 및 정보수집의 가능성으로 말미암아 과거 불가능하였던 확률론적 평가모델의 복잡성이 해소되었음. 특히, 최근 전력산업경쟁체제로 나아감에 따라 송전망 소유자에 대한 송전망확충계획의 신뢰도 평가 시 확률기법을 거의 강제적으로 요구하고 있는 실정임.(미국) | |

그림 2는 이들 집합을 알기 쉽게 나타낸 것이다.

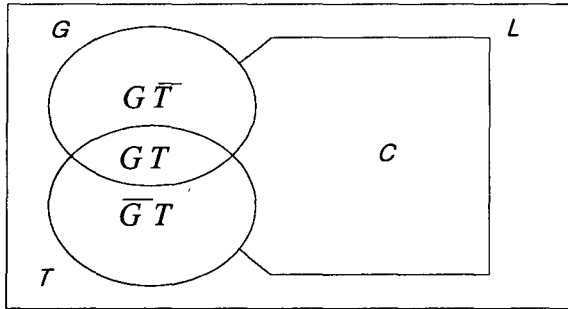


그림 2. 공급지장 사건에 대한 벤다이어그램
Fig. 2. Venn diagram about loss of load.

그러므로 송전망만에 의한 공급지장을 일으키는 상태들은 식 (2)처럼 계산될 수 있으며 이들 상태에 의한 확률기대치값 또는 공급지장전력량기대치값 등이 신뢰도 지수가 된다.

$$T = L - (G + C) \quad (2)$$

그러나 실제계통에서는 C가 G 및 T에 비하여 매우 미소하므로 $T = L - G$ 로 하여 통상 계산하고 있다.[12,13]

2.3 HLI의 신뢰도 평가

HLI에서의 유효부하지속곡선 $HLI\Phi(x)$ 를 이용하여 발전계통만의 신뢰도 지수들인 전력부족확률(LOLPHL; Loss of load expected) 및 공급지장전력량의 기대치(EENSHLI; Expected energy not supplied) 등을 식 (3) 및 식 (4)처럼 구할 수 있다.

$$LOLP_{HLI} = HLI\Phi(x)|_{x=IC} \quad [pu] \quad (3)$$

$$EENS_{HLI} = \int_{IC}^{IC+Lp} HLI\Phi(x) dx \quad [MWh] \quad (4)$$

단, IC = 총설비용량[MW]

$$HLI\Phi_i(x_e) = HLI\Phi_{i-1}(x_e) \otimes HLI f_{oi}(x_{oi}) = \int HLI\Phi_{i-1}(x_e - x_{oi}) HLI f_{oi}(x_{oi}) dx \quad (5)$$

⊗ : 상승적분을 의미하는 연산자

$$HLI\Phi_o(x_e - x_{oi}) = HLI\Phi(x_L)$$

$HLI f_{oi}(x_{oi})$: i번째 공급지장전력의 사고용량 확률분포함수

Lp : 계통 최대부하[MW]

2.4 HLII의 신뢰도 평가

복합전력계통(HLII)의 신뢰도평가를 위해서는 HLII에서의 각 부하지점별 유효부하지속곡선 $k\Phi(x)$ 을 이용한다. 이는 확률적 계통부하와 공급지장전력에 기인한 확률적 사고부하를 합하여 복합전력계통의 유효부하라 정의할 수 있고 식 (6)과 같이 정식화되는 확률변수에 근거한다.

$$kx_e = kx_L + \sum_k kx_{oi} \quad (6)$$

단, kx_e : 복합전력계통의 유효부하 확률변수

kx_L : 확률적 계통부하의 확률변수

kx_{oi} : i번째의 공급지장전력에 의한 확률적 사고부하의 확률변수

그러므로 임의의 k 부하지점에서의 i 번째 공급지장전력까지 상승적분된 유효부하지속곡선의 확률분포함수 $k\Phi_i(x_e)$ 는 식 (7)과 같이 정의될 수 있다.

$$k\Phi_i(x_e) = k\Phi_{i-1}(x_e) \otimes kf_{oi}(x_{oi}) = \int k\Phi_{i-1}(x_e - x_{oi}) kf_{oi}(x_{oi}) dx \quad (7)$$

단, ⊗ : 상승적분을 의미하는 연산자

$$k\Phi_o(x_e - x_{oi}) = k\Phi(x_L)$$

$kf_{oi}(x_{oi})$: i번째 공급지장전력의 사고용량 확률분포함수

만일 공급지장전력 전체의 사고용량 확률분포함수를 알고 있으면 모든 공급지장전력까지 상승적분된 유효부하지속곡선의 확률분포함수 $k\Phi_i(x_e)$ 는 식 (8)처럼 구해진다.

$$k\Phi_i(x_e) = k\Phi_o(x_e) \otimes kf_{oi}(x_{oi}) \quad (8)$$

단, $kf_{oi}(x_{oi})$: k부하지점에서의 공급지장전력 전체의 사고용량 확률분포함수

(1) 각 부하지점별 신뢰도 지수

복합전력계통의 각 부하지점에서의 유효부하지속곡선 $k\Phi(x)$ 를 이용하여 전력부족확률(LOLpk) 및 공급지장전력량의 기대치(EENSk) 등을 식 (9) 및 식 (10)처럼 구할 수 있다.

$$LOLP_k = k\Phi(x)|_{x=AP_k} \quad [pu] \quad (9)$$

$$EENS_k = \int_{AP_k}^{AP_k+Lp_k} k\Phi(x) dx \quad [MWh] \quad (10)$$

단, AP_k = k부하지점의 최대도달가능 공급전력 [MW]

$$k\Phi_i(x_e) = k\Phi_{i-1}(x_e) \otimes kf_{oi}(x_{oi}) = \int k\Phi_{i-1}(x_e - x_{oi}) kf_{oi}(x_{oi}) dx \quad (11)$$

⊗ : 상승적분을 의미하는 연산자

$$k\Phi_o(x_e - x_{oi}) = k\Phi(x_L)$$

$kf_{oi}(x_{oi})$: i번째 공급지장전력의 사고용량 확률분포함수

Lpk : k부하지점의 최대부하[MW]

(2) Bulk 계통의 신뢰도 지수

HLII까지의 Bulk 계통의 신뢰도 지수 중 공급지장전력량의 기대치(EENSHLII)는 식 (12)처럼 앞서의 각 부하지점별 신뢰도 지수 중 각 부하지점별 공급지장전력량의 기대치(EENSk)를 합하면 구할 수 있다. 그러나 Bulk 계통의 전력

부족확률(LOLPHLI)은 그렇게 구할 수 없으므로 식 (13)과 같이 구하도록 한다.

$$EENS_{HLII} = \sum_{k=1}^{NL} EENS_k \quad [\text{MWh}] \quad (12)$$

$$LOLP_{HLII} = \sum_{k \in R} P(B_k) P_{ik} \quad [\text{pu}] \quad (13)$$

단, NL : 부하지점의 수

R : 공급지장이 발생하는 상태들의 집합

$P(B_k)$: 사고용량 B_k 가 발생할 확률

P_{ik} : k 상태에서의 공급지장시간확률

2.5 송전계통의 신뢰도 평가

앞서의 HLI 및 HLII수준의 신뢰도 지수들을 이용하여 송전계통의 신뢰도 지수인 LOLPTS 및 EENSTS를 구하면 다음과 같다.

$$LOLP_{TS} = LOLP_{HLII} - LOLP_{HLI} \quad [\text{pu}] \quad (14)$$

$$EENS_{TS} = EENS_{HLII} - EENS_{HLI} \quad [\text{MW/yr}] \quad (15)$$

또한, 연구대상기간 동안의 평균공급부족전력을 의미하는 EDNS(Expected Demand Not Served)와 공급부족이 발생하는 시간동안의 공급부족전력을 의미하는 ELC (Expected Load Curtailments)를 구하면 각각 식 (16) 및 식 (17)과 같다.

$$EDNS_{TS} = EENS_{TS}/T \quad (\text{MW/pu.yr}) \quad (16)$$

$$ELC_{TS} = EENS_{TS}/LOLP_{TS} \quad [\text{MW/pu.cur.yr}] \quad (17)$$

단, T : 연구대상기간

2.6 신뢰도 평가 프로그램 작성 시 고려해야하는 항목

복합전력계통의 신뢰도 평가 프로그램을 작성코자할 경우 고려해야하는 중요 항목들은 다음과 같다.[15]

본 연구에서 사례연구로 이용하려하는 미국 EPRI가 1991년 처음으로 개발하여 현재 Version 6.0까지 발전한 상용프로그램

그림인 TRELSS V6.0과 경상대학교 전력계통연구실에서 2001년 교육 및 연구용으로 개발하여오고 있는 TranRel V3.2에 대하여 위의 항목의 고려여부를 살펴보면 표 4와 같다. 본 연구에서는 이미 10여 년간의 개발 역사를 갖고 있으면서 상용화된 TRELSS V6.0의 사양을 좀더 자세히 살펴본 후 사례 연구를 실시하기로 한다.

표 4. TRELSS 와 TranRel 프로그램의 사양 비교

Table 4. Comparison of TRELSS V6.0 and TranRel V3.2 Program Capabilities

| Program Application Consideration | Program | Program Features | | | | | | |
|-----------------------------------|----------|------------------|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Contingency Enumeration Method | TRELSS | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |
| | TranRel* | Y | Y | Y | Y | N | N | Y |
| AC Network Solution Features | TRELSS | Y | Y | Y | Y | Y | Y | N |
| | TranRel* | N | N | N | N | N | N | N |
| System Problems | TRELSS | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |
| | TranRel* | Y | Y | N | N | N | N | N |
| Remedial Actions | TRELSS | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |
| | TranRel* | N | N | N | N | N | N | N |

1.Y: considered, N: not considered.

2.*: TranRel은 상정사고시 조류계산으로 네트워크모델에 기초한 유량법을 사용하고 있음.

3. TRELSS의 구성도 및 전력계통 신뢰도평가

3.1 프로그램 구성도(Program Feature)

TRELSS 프로그램은 다음과 같은 특성을 갖도록 설계되고 작성된 복합 및 송전계통신뢰도해석용 프로그램이다.

대규모 실 계통에 적용 가능한 프로그램으로서 모선13000개, 선로26000개를 갖는 계통에 적용가능하며 탭변환장치, 위상변환기 그리고 가변분로기와 같은 통상적인 실계통의 장치들도 고려한다.

표 3 복합전력계통의 신뢰도 평가 시 고려해야하는 중요 항목

Table 3 Items for making a reliability evaluation program for composite power system.

| 항목 | Contingency Enumeration Techniques | AC Network Solution Features | System Problem Mitigation | Remedial Actions |
|-------|--|---|---|---|
| 세부 항목 | 1. Contingency Depth 2. Probability and Frequency Cutoff 3. Contingency duplication 4. Failure Level Cutoff 5. Contingency Ranking and Consecutive Success 6. Supplemental Outage Selection 7. Load Level Runs | 1. Generation Dispatch 2. Transformer Load Tap Changers(LTC) 3. Phase Shifting Transformers 4. Shunt Reactive Switching 5. Area Interchange Control 6. Islanding Detection 7. High Voltage DC Lines | 1. Generation deficiency 2. Line/transformer overload 3. Low and high bus voltage violations 4. Generating unit reactive power output limit violation 5. Area tie line power flow control violation 6. AC power flow non-convergence situation 7. Islanded conditions | 1. Generator voltage adjustment 2. Generator MW rescheduling 3. Generation var adjustment 4. Transformer tap adjustment 5. Phase shifter adjustment 6. Shunt device switching 7. Load curtailment |

평가대상을 1년까지 할 수 있으며 10개의 사례연구를 수행할 수 있다. 상정사고해석은 독립적으로 발전기 4대 및 송전선로 2회선까지 즉, 모두 6개까지의 사고를 열거법(enumeration)으로 실시한다.

상정사고 순위와 사고열거법의 논리: 각 부하수준에서 최악의 상정사고를 해석하며 정상상태, 보호장치그룹(PCG) 그리고 사용자정의의 강제(must run)상정사고를 설정할 수 있고 이를 우선적으로 실행시킬 수 있다.

보호장치그룹(PCG): 일시적 및 영구적 사고들이 신뢰도에 미치는 영향을 분석할 수 있다.

고속 조류계산: AC 및 DC 조류계산 모두 가능하다.

선형계획법에 기초한 교정행위(remedial actions): 상정사고에 기인한 계통의 위반 사항들을 교정하기 위한 제어 그리고 분로스위치, 변압기조정장치, 발전기 재급전 등과 같은 자동조정행위를 실시할 수 있고 강제부하차단으로는 세 종류의 부하를 사용하고 있다.

신뢰도 평가결과: 계통의 빈도 및 지속시간 그리고 공급지장형의 신뢰도지수의 계산을 수행 하고 년 간 및 부하수준에 따른 이들의 값도 알 수 있다.

출력의 유연성 및 선택성: 상세한 출력자료 및 사용자가 필요한 출력만을 볼 수 있는 출력필터링 논리가 들어가 있다.

모듈형식의 프로그램디자인으로 유연한 사례연구를 다각적으로 수행할 수 있다.

그림 3은 TRELSS 프로그램의 전체 구성도를 나타낸 것이다.

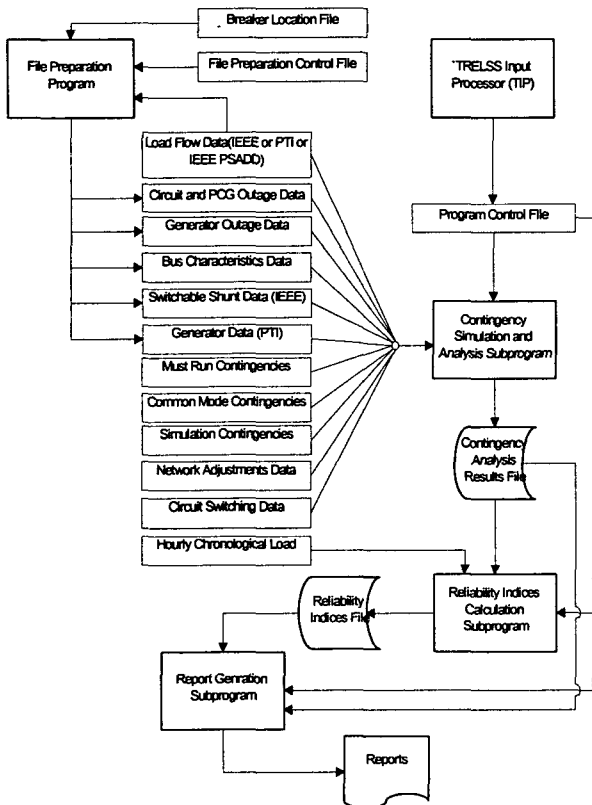


그림 3. TRELSS 프로그램의 전체 구성도
Fig. 3. Overall Organization of TRELSS

3.2 적용계통크기(Program Dimensions)

표 5는 TRELSS의 적용 가능한 계통의 크기를 나타낸 것이다.

표 5 TRELSS 프로그램의 적용가능 계통크기
Table 5 Program Dimensions of TRELSS

| | |
|----------------------------------|-------|
| 모선(Buses) | 13000 |
| 발전기모선(Generator buses) | 3250 |
| 발전기(Generator units) | 9750 |
| 송전선로(Branches) | 26000 |
| 변압기(Transformers) | 5200 |
| 이상기(Phase shifters) | 100 |
| 가변Switchable shunts | 2600 |
| 보호제어장치개소(PCGs) | 10000 |
| 송전망수(Transmission areas) | 100 |
| 송전망영역 수(Transmission zones) | 999 |
| 연계선로(Ties) | 1500 |
| 상정사고(Common mode contingencies) | 10000 |
| 강제운전상정사고(Must-run contingencies) | 10000 |
| 총상정사고(Total contingencies) | 60000 |
| 기준계통(Base Cases) | 10 |

3.3 컴퓨터사양 및 운영체제(Computer Dimension for Operating TRELSS)

TRELSS를 운영하기위한 컴퓨터사양 및 운영체제는 다음과 같다.

- An INTEL Pentium or compatible computer
- Microsoft Windows 95/98/NT/2000
- At least 64 megabytes(MB) of random-access memory (RAM)
- At least 200 MB of virtual memory (set in Control Panel)
- At least 300MB of hard disk available for TRELSS runs and installation

3.4 평가지수(Performance Indices; PIs)

TRELSS에서는 각 상정사고 해석 시 임의의 계통에 걸리는 부하의 정도를 계산할 수 있으며 이를 그때의 평가지수로 삼는다. 이 값이 커질수록 그 계통에 걸리는 부하는 증가하고 계통이 정전을 일으킬 확률이 높다는 것을 의미한다. 그러므로 열거법을 사용하여 다음 번째의 상정사고의 순위를 작성할 때 이 평가지수를 사용할 수 있다. 당초 주어진 상정사고의 깊이(depth)의 상정사고들에 대하여 일단 DC조류계산을 실시함으로써 PI의 변화분 즉, "delta PI" 가 매우 효과적으로 예측되므로 이 평가지수 PIs가 쉽게 얻어진다. 여기서 사용된 평가지수 PIs 는 다음과 같이 두 가지이다.

- 계통 과부하 평가지수(Circuit Overload PI) :

$$PI_{ol} = \sum_i W_i \left(\frac{P_i}{P_{i,max}} \right)^2 \quad (14)$$

여기서 :

- P_i : 회로 i 에 흐르는 유효전력
- P_i, max : 회로 i 의 정격용량 i
- w_i : 회로 i 의 가중치

이상전압 평가지수(Voltage Problems PI):

$$PI_{v>c} = \sum_i X_i \left(\frac{1}{P_{oi}^2} + \frac{1}{P_{oj}^2} \right)^{1/4} P_i^2 \quad (15)$$

여기서 :

- P_{oi}, P_{oj} : 모선 i 및 j 의 모선무효전력
- i, j : 모선번호
- X_i : 회로 i 의 리액턴스

3.5 신뢰도 지수(Reliability Indices)

본 TRELSS 프로그램에서 얻어지는 중요한 신뢰도지수는 다음과 같다.

(1) 계통신뢰도지수(System Indices)

- Probability of loss of load.
- Frequency (occurrences/year)
- Duration (hours/year)
- Duration (hours/occurrence)
- EUE (MW-Hr./year)
- EUE (MW-Hr./occurrence)
- EUD (MW/year)
- EUD (MW/occurrence)

(2) 수용가 신뢰도지수(Customer Indices)

- Outages (customer-occurrences/year)
- Outages (customers/occurrence)
- Outages (occurrences/customer)
- Duration (customer-hours/year)
- Duration (hours/occurrence)
- Duration (hours/customer)
- Service availability

(3) 부하모선별 신뢰도지수(Load Buses Indices)

- Bus Probability of loss of load.
- Bus Frequency (occurrences/year)
- Bus Duration (hours/year)
- Bus Duration (hours/occurrence)
- Bus EUE (MW-Hr./year)
- Bus EUE (MW-Hr./occurrence)
- Bus EUD (MW/year)
- Bus EUD (MW/occurrence)

(4) 단위화 지수(Normalized Indices)

- Energy curtailment (MWH/MWH-year)
- Power interruption (MW/MW-year)

4. 사례연구

본 연구에서는 사례연구로서 표 4와 같이 세 가지 경우에 대하여 살펴보았다. 먼저 사례연구 1에서는 송전망 신뢰도 평가의 대표적인 프로그램인 EPRI의 TRELSS를 이용하여 수정된 IEEE 25 모선 신뢰도 계통에 대한 입·출력자료 형태를 소개하였으며 사례연구 2에서는 GSNU의 TranRel-I 을 이용한 IEEE 25 모선 신뢰도 계통에 대한 사례연구를 실시하였고 사례연구 3에서는 GSNU의 TranRel-II 을 이용하여 한전실계통규모의 계통을 대상으로 하여 적용하여 보았다.

표 6. 사례연구의 비교

Table 6. Case studies

| 사례 연구 | 사용한 프로그램 | 사례연구 계통 | 비고 |
|-------|-------------------|---------|-------------|
| 1 | TRELSS (EPRI) | 25 모선 | Enumeration |
| 2 | TranRel-I (GSNU) | 25 모선 | Enumeration |
| 3 | TranRel II (GSNU) | 385 모선 | Monte Carlo |

4.1 사례연구 1: TRELSS

본 사례연구에서는 송전망 신뢰도 평가의 대표적인 프로그램인 EPRI의 TRELSS의 데모계통을 이용하였다. 그림 4는 TRELSS의 데모계통인 수정된 IEEE 25모선 계통을 나타낸 것이며, 표 7, 표 8, 표 9와 표 10은 TRELSS의 입력자료인 조류입력자료(Load Flow Data), 계통입력자료(Network Data)와 사고입력자료(Outage Data) 등이다.

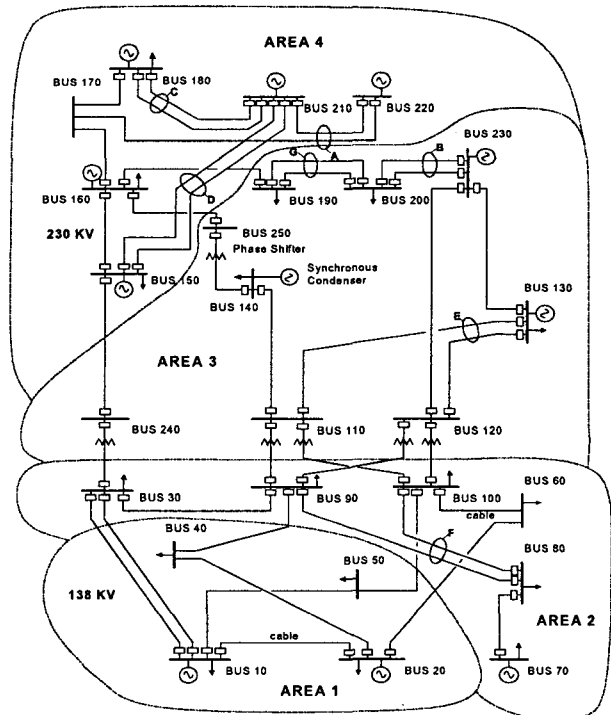


그림 4. 수정된 IEEE 신뢰도 25 모선 계통
Fig. 4. Modified 25 Bus IEEE Reliability Test System

표 7. 전력조류 자료 (기본 계통)

Table 7. Load Flow Data (Base Case)

| 06/30/81 POWER TECHNOLOGIES 100.0 | | | | | | | | | | 25-BUS TEST SYSTEM | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|--------|-----|---|----------|----------|---------|--------|--------|-------|--------------------|-------|--------|--------|--------|----------|--------|---------|--------|----|
| BUS DATA FOLLOWS | | | | | | | | | | 25 ITEMS | | | | | | | | | |
| 10 | BUS 10 | 138 | 1 | 0 | 2 | 1.0350 | -11.28 | 135.00 | 27.50 | 228.00 | 50.71 | 138.00 | 1.0350 | 120.00 | -75.00 | 0.0000 | 0.0000 | 0 | 1 |
| 20 | BUS 20 | 138 | 1 | 0 | 2 | 1.0350 | -11.39 | 121.30 | 25.00 | 228.00 | 37.86 | 138.00 | 1.0350 | 90.00 | -75.00 | 0.0000 | 0.0000 | 0 | 2 |
| 30 | BUS 30 | 138 | 2 | 0 | 0 | 0.9629 | -9.54 | 225.00 | 46.30 | 0.00 | 0.00 | 138.00 | 0.0000 | 0.00 | 0.00 | 0.0000 | 0.0000 | 0 | 3 |
| 40 | BUS 40 | 138 | 1 | 0 | 0 | 0.9795 | -14.70 | 92.50 | 18.00 | 0.00 | 0.00 | 138.00 | 0.0000 | 0.00 | 0.00 | 0.0000 | 0.0000 | 0 | 4 |
| 50 | BUS 50 | 138 | 1 | 0 | 0 | 1.0047 | -14.93 | 88.80 | 17.50 | 0.00 | 0.00 | 138.00 | 0.0000 | 0.00 | 0.00 | 0.0000 | 0.0000 | 0 | 5 |
| 60 | BUS 60 | 138 | 2 | 0 | 0 | 0.9975 | -18.32 | 170.00 | 35.00 | 0.00 | 0.00 | 138.00 | 0.0000 | 0.00 | 0.00 | 0.0000 | -0.8000 | 0 | 6 |
| 70 | BUS 70 | 138 | 2 | 0 | 2 | 1.0250 | -17.71 | 156.30 | 31.30 | 240.00 | 95.08 | 138.00 | 1.0250 | 180.00 | 0.00 | 0.0000 | 0.0000 | 0 | 7 |
| 80 | BUS 80 | 138 | 2 | 0 | 0 | 0.9741 | -20.07 | 213.80 | 43.80 | 0.00 | 0.00 | 138.00 | 0.0000 | 0.00 | 0.00 | 0.0000 | 0.0000 | 0 | 8 |
| 90 | BUS 90 | 138 | 2 | 0 | 0 | 0.9786 | -12.08 | 218.80 | 45.00 | 0.00 | 0.00 | 138.00 | 0.0000 | 0.00 | 0.00 | 0.0000 | 0.0000 | 0 | 9 |
| -999 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BRANCH DATA FOLLOWS | | | | | | | | | | 39 ITEMS | | | | | | | | | |
| 10 | 20 | 1 | 0 | 0.002600 | 0.013900 | 0.46110 | 105 | 193 | 200 | 0 | 0 | 0.0000 | 0.00 | 0.0000 | 0.000000 | 0.0000 | 0.0000 | 0 | 1 |
| 10 | 30 | 1 | 0 | 0.054600 | 0.211200 | 0.05720 | 105 | 208 | 220 | 0 | 0 | 0.0000 | 0.00 | 0.0000 | 0.000000 | 0.0000 | 0.0000 | 0 | 2 |
| 10 | 50 | 1 | 0 | 0.021800 | 0.084500 | 0.02290 | 105 | 208 | 220 | 0 | 0 | 0.0000 | 0.00 | 0.0000 | 0.000000 | 0.0000 | 0.0000 | 0 | 3 |
| 20 | 40 | 1 | 0 | 0.032800 | 0.126700 | 0.03430 | 105 | 208 | 220 | 0 | 0 | 0.0000 | 0.00 | 0.0000 | 0.000000 | 0.0000 | 0.0000 | 0 | 4 |
| 20 | 60 | 1 | 0 | 0.049700 | 0.192000 | 0.05200 | 105 | 208 | 220 | 0 | 0 | 0.0000 | 0.00 | 0.0000 | 0.000000 | 0.0000 | 0.0000 | 0 | 5 |
| 30 | 90 | 1 | 0 | 0.030800 | 0.119000 | 0.03220 | 105 | 208 | 220 | 0 | 0 | 0.0000 | 0.00 | 0.0000 | 0.000000 | 0.0000 | 0.0000 | 0 | 6 |
| 30 | 240 | 1 | 2 | 0.023300 | 0.083900 | 0.00000 | 400 | 519 | 600 | 30 | 0 | 1.0300 | 0.00 | 0.9500 | 1.05000 | 0.0625 | 0.9000 | 1.1000 | 7 |
| 40 | 90 | 1 | 0 | 0.026800 | 0.103700 | 0.02810 | 105 | 208 | 220 | 0 | 0 | 0.0000 | 0.00 | 0.0000 | 0.000000 | 0.0000 | 0.0000 | 0 | 8 |
| 50 | 100 | 1 | 0 | 0.022800 | 0.088300 | 0.02390 | 105 | 208 | 220 | 0 | 0 | 0.0000 | 0.00 | 0.0000 | 0.000000 | 0.0000 | 0.0000 | 0 | 9 |
| 60 | 100 | 1 | 0 | 0.013900 | 0.060500 | 2.45900 | 105 | 193 | 200 | 0 | 0 | 0.0000 | 0.00 | 0.0000 | 0.000000 | 0.0000 | 0.0000 | 0 | 10 |
| 70 | 80 | 1 | 0 | 0.015900 | 0.061400 | 0.01660 | 105 | 208 | 220 | 0 | 0 | 0.0000 | 0.00 | 0.0000 | 0.000000 | 0.0000 | 0.0000 | 0 | 11 |
| 80 | 90 | 1 | 0 | 0.042700 | 0.165100 | 0.04470 | 105 | 208 | 220 | 0 | 0 | 0.0000 | 0.00 | 0.0000 | 0.000000 | 0.0000 | 0.0000 | 0 | 12 |
| -999 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LOSS ZONES FOLLOWS | | | | | | | | | | 0 ITEMS | | | | | | | | | |
| -99 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| INTERCHANGE DATA FOLLOWS | | | | | | | | | | 4 ITEMS | | | | | | | | | |
| 1 | 10 | 0 | | 15.0 | 10.00 | 0 | | | | | | | | | | | | | 1 |
| 2 | 70 | 0 | | -1000.0 | 10.00 | 0 | | | | | | | | | | | | | 2 |
| 3 | 130 | 0 | | 340.0 | 10.00 | 0 | | | | | | | | | | | | | 3 |
| 4 | 150 | 0 | | 645.0 | 10.00 | 0 | | | | | | | | | | | | | 4 |
| -9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TIE LINES FOLLOW | | | | | | | | | | 12 ITEMS] | | | | | | | | | |
| 10 | 1 | 30 | 2 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | 1 |
| 20 | 1 | 60 | 2 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | 2 |
| 30 | 2 | 240 | 3 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | 3 |
| 40 | 1 | 90 | 2 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | 4 |

표 8. 계통 자료 (발전기 자료)

Table 8. Network Data (Generator Data)

| GENERATOR DATA FOR 25-BUS SYSTEM | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|---|---|---|------|------|-------|-------|------|-----|--------|-------|
| LOAD LEVEL 100 | | | | | | | | | | | |
| 10 | 1 | 1 | 1 | 0.0 | 0.0 | 20.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.0373 | 1.000 |
| 10 | 2 | 1 | 1 | 0.0 | 0.0 | 20.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.0373 | 1.000 |
| 10 | 3 | 1 | 1 | 76.0 | 15.0 | 76.0 | -25.0 | 40.0 | 0.5 | 0.1418 | 1.000 |
| 10 | 4 | 1 | 1 | 76.0 | 15.0 | 76.0 | -25.0 | 40.0 | 0.5 | 0.1418 | 1.000 |
| 10 | 5 | 1 | 1 | 76.0 | 15.0 | 76.0 | -25.0 | 40.0 | 0.5 | 0.1418 | 1.000 |
| 20 | 1 | 1 | 1 | 0.0 | 0.0 | 20.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.0373 | 1.000 |
| 20 | 2 | 1 | 1 | 0.0 | 0.0 | 20.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.0373 | 1.000 |
| 20 | 3 | 1 | 1 | 76.0 | 15.0 | 76.0 | -25.0 | 30.0 | 0.5 | 0.1418 | 1.000 |
| 20 | 4 | 1 | 1 | 76.0 | 15.0 | 76.0 | -25.0 | 30.0 | 0.5 | 0.1418 | 1.000 |
| 20 | 5 | 1 | 1 | 76.0 | 15.0 | 76.0 | -25.0 | 30.0 | 0.5 | 0.1418 | 1.000 |
| 70 | 1 | 1 | 1 | 80.0 | 0.0 | 190.0 | 0.0 | 60.0 | 2.0 | 0.3333 | 1.000 |
| 70 | 2 | 1 | 1 | 80.0 | 0.0 | 190.0 | 0.0 | 60.0 | 2.0 | 0.3333 | 1.000 |
| 70 | 3 | 1 | 1 | 80.0 | 0.0 | 190.0 | 0.0 | 60.0 | 2.0 | 0.3333 | 1.000 |
| 130 | 1 | 1 | 1 | 97.0 | 50.0 | 197.0 | 0.0 | 80.0 | 5.0 | 0.1095 | 1.000 |
| 130 | 2 | 1 | 1 | 50.0 | 50.0 | 197.0 | 0.0 | 80.0 | 5.0 | 0.1095 | 1.000 |
| 130 | 3 | 1 | 1 | 50.0 | 50.0 | 197.0 | 0.0 | 80.0 | 5.0 | 0.1095 | 1.000 |
| 130 | 4 | 1 | 1 | 50.0 | 50.0 | 197.0 | 0.0 | 80.0 | 5.0 | 0.1095 | 1.000 |
| -999 | | | | | | | | | | | |
| LOAD LEVEL 67 | | | | | | | | | | | |
| 10 | 3 | 0 | 0 | 0.0 | 15.0 | 76.0 | -25.0 | 30.0 | 0.5 | 0.1418 | 1.000 |
| -999 | | | | | | | | | | | |
| LOAD LEVEL 56 | | | | | | | | | | | |
| 10 | 3 | 1 | 1 | 55.0 | 15.0 | 76.0 | -25.0 | 30.0 | 0.5 | 0.1418 | 1.000 |
| -999 | | | | | | | | | | | |
| LOAD LEVEL 55 | | | | | | | | | | | |
| 10 | 3 | 0 | 0 | 0.0 | 15.0 | 76.0 | -25.0 | 30.0 | 0.5 | 0.1418 | 1.000 |
| -999 | | | | | | | | | | | |

표 9. 계통 자료 (모선 특성 자료)

Table 9. Network Data (Bus Characteristic Data)

| BUS CHARACTERISTICS FOR 25-BUS CASE | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|------|-----|------|------|--------|------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| 10 | 1.10 | .93 | 0.04 | 0.00 | 40.00 | 0.00 | 20.00 | 30.00 | 10.00 | 10 | 20 | 30 |
| 20 | 1.10 | .93 | 0.04 | 0.00 | 40.00 | 0.00 | 20.00 | 30.00 | 10.00 | 20 | 40 | 60 |
| 30 | 1.10 | .93 | 0.04 | 0.00 | 40.00 | 0.00 | 20.00 | 30.00 | 10.00 | 40 | 80 | 120 |
| 40 | 1.10 | .93 | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0.00 | 80 | 160 | 240 |
| 50 | 1.10 | .93 | 0.04 | 0.00 | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 160 | 320 | 480 |
| 60 | 1.10 | .93 | 0.04 | 0.00 | 40.00 | 0.00 | 20.00 | 30.00 | 10.00 | 1 | 0 | 0 |
| 70 | 1.10 | .93 | 0.04 | 0.00 | 40.00 | 0.00 | 20.00 | 30.00 | 10.00 | 1 | 0 | 0 |
| 80 | 1.10 | .93 | 0.04 | 0.00 | 40.00 | 0.00 | 20.00 | 30.00 | 10.00 | 1 | 0 | 0 |
| 90 | 1.10 | .93 | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0.00 | 1 | 0 | 0 |
| 100 | 1.10 | .93 | 0.04 | 0.00 | 40.00 | 0.00 | 20.00 | 30.00 | 10.00 | 1 | 0 | 0 |
| 110 | 1.10 | .93 | 0.04 | 0.00 | 40.00 | 0.00 | 20.00 | 30.00 | 10.00 | 10240 | 24820 | 30720 |
| 120 | 1.10 | .93 | 0.04 | 0.00 | 40.00 | 0.00 | 20.00 | 30.00 | 10.00 | 20480 | 40960 | 61440 |
| 130 | 1.10 | .93 | 0.04 | 0.00 | 40.00 | 0.00 | 20.00 | 30.00 | 10.00 | 40960 | 81920 | 22880 |
| 140 | 1.10 | .93 | 0.04 | 0.00 | 40.00 | 0.00 | 20.00 | 30.00 | 10.00 | 81920 | 63840 | 45760 |
| 150 | 1.10 | .93 | 0.04 | 0.00 | 40.00 | 0.00 | 20.00 | 30.00 | 10.00 | 63840 | 27680 | 91520 |
| 160 | 1.10 | .93 | 0.04 | 0.00 | 40.00 | 0.00 | 20.00 | 30.00 | 10.00 | 27680 | 13840 | 45760 |
| 170 | 1.10 | .93 | 0.04 | 0.00 | 40.00 | 0.00 | 20.00 | 30.00 | 10.00 | 12840 | 6920 | 22880 |
| 180 | 1.10 | .93 | 0.04 | 0.00 | 40.00 | 0.00 | 20.00 | 30.00 | 10.00 | 6920 | 3460 | 11440 |
| 190 | 1.10 | .93 | 0.04 | 0.00 | 40.00 | 0.00 | 20.00 | 30.00 | 10.00 | 3460 | 1730 | 5720 |
| 200 | 1.10 | .93 | 0.04 | 0.00 | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1730 | 865 | 2860 |
| 210 | 1.10 | .93 | 0.04 | 0.00 | 40.00 | 0.00 | 20.00 | 30.00 | 10.00 | 865 | 432 | 1430 |
| 220 | 1.10 | .93 | 0.04 | 0.00 | 40.00 | 0.00 | 20.00 | 30.00 | 10.00 | 432 | 216 | 715 |
| 230 | 1.10 | .93 | 0.04 | 0.00 | 40.00 | 0.00 | 20.00 | 30.00 | 10.00 | 216 | 108 | 357 |
| 240 | 1.10 | .93 | 0.04 | 0.00 | 40.00 | 0.00 | 20.00 | 30.00 | 10.00 | 108 | 54 | 178 |
| 250 | 1.10 | .93 | 0.04 | 0.00 | 40.00 | 0.00 | 20.00 | 30.00 | 10.00 | 54 | 27 | 89 |
| -999 | | | | | | | | | | | | |

표 10. 사고 자료(계통 사고 자료)

Table 10. Outage Data (Circuit Outage Data)

| BUS CHARACTERISTICS FOR 25-BUS CASE | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|------|-----|------|------|--------|------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| 10 | 1.10 | .93 | 0.04 | 0.00 | 40.00 | 0.00 | 20.00 | 30.00 | 10.00 | 10 | 20 | 30 |
| 20 | 1.10 | .93 | 0.04 | 0.00 | 40.00 | 0.00 | 20.00 | 30.00 | 10.00 | 20 | 40 | 60 |
| 30 | 1.10 | .93 | 0.04 | 0.00 | 40.00 | 0.00 | 20.00 | 30.00 | 10.00 | 40 | 80 | 120 |
| 40 | 1.10 | .93 | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0.00 | 80 | 160 | 240 |
| 50 | 1.10 | .93 | 0.04 | 0.00 | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 160 | 320 | 480 |
| 60 | 1.10 | .93 | 0.04 | 0.00 | 40.00 | 0.00 | 20.00 | 30.00 | 10.00 | 1 | 0 | 0 |
| 70 | 1.10 | .93 | 0.04 | 0.00 | 40.00 | 0.00 | 20.00 | 30.00 | 10.00 | 1 | 0 | 0 |
| 80 | 1.10 | .93 | 0.04 | 0.00 | 40.00 | 0.00 | 20.00 | 30.00 | 10.00 | 1 | 0 | 0 |
| 90 | 1.10 | .93 | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0.00 | 1 | 0 | 0 |
| 100 | 1.10 | .93 | 0.04 | 0.00 | 40.00 | 0.00 | 20.00 | 30.00 | 10.00 | 1 | 0 | 0 |
| 110 | 1.10 | .93 | 0.04 | 0.00 | 40.00 | 0.00 | 20.00 | 30.00 | 10.00 | 10240 | 24820 | 30720 |
| 120 | 1.10 | .93 | 0.04 | 0.00 | 40.00 | 0.00 | 20.00 | 30.00 | 10.00 | 20480 | 40960 | 61440 |
| 130 | 1.10 | .93 | 0.04 | 0.00 | 40.00 | 0.00 | 20.00 | 30.00 | 10.00 | 40960 | 81920 | 22880 |
| 140 | 1.10 | .93 | 0.04 | 0.00 | 40.00 | 0.00 | 20.00 | 30.00 | 10.00 | 81920 | 63840 | 45760 |
| 150 | 1.10 | .93 | 0.04 | 0.00 | 40.00 | 0.00 | 20.00 | 30.00 | 10.00 | 63840 | 27680 | 91520 |
| 160 | 1.10 | .93 | 0.04 | 0.00 | 40.00 | 0.00 | 20.00 | 30.00 | 10.00 | 27680 | 13840 | 45760 |
| 170 | 1.10 | .93 | 0.04 | 0.00 | 40.00 | 0.00 | 20.00 | 30.00 | 10.00 | 12840 | 6920 | 22880 |
| 180 | 1.10 | .93 | 0.04 | 0.00 | 40.00 | 0.00 | 20.00 | 30.00 | 10.00 | 6920 | 3460 | 11440 |
| 190 | 1.10 | .93 | 0.04 | 0.00 | 40.00 | 0.00 | 20.00 | 30.00 | 10.00 | 3460 | 1730 | 5720 |
| 200 | 1.10 | .93 | 0.04 | 0.00 | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1730 | 865 | 2860 |
| 210 | 1.10 | .93 | 0.04 | 0.00 | 40.00 | 0.00 | 20.00 | 30.00 | 10.00 | 865 | 432 | 1430 |
| 220 | 1.10 | .93 | 0.04 | 0.00 | 40.00 | 0.00 | 20.00 | 30.00 | 10.00 | 432 | 216 | 715 |
| 230 | 1.10 | .93 | 0.04 | 0.00 | 40.00 | 0.00 | 20.00 | 30.00 | 10.00 | 216 | 108 | 357 |
| 240 | 1.10 | .93 | 0.04 | 0.00 | 40.00 | 0.00 | 20.00 | 30.00 | 10.00 | 108 | 54 | 178 |
| 250 | 1.10 | .93 | 0.04 | 0.00 | 40.00 | 0.00 | 20.00 | 30.00 | 10.00 | 54 | 27 | 89 |
| -999 | | | | | | | | | | | | |

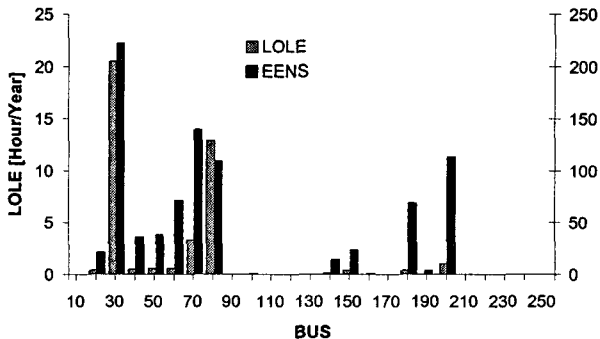


그림 5. 부하 모선별 신뢰도 지수: TRELSS
Fig. 5. Reliability Statistics Load Bus Indices: TRELSS

TRELSS를 이용하여 IEEE RTS 계통에 대하여 계산한 결과 각각 표 11과 같은 계통 신뢰도 지수 및 그림 5와 같은 부하모선별로 신뢰도 지수를 얻었다. 즉, 표 11에서 계통신뢰

도지수 중 가장 중요한 지수인 LOLE=35.991[hrs/year]이고 EENS= 862.938[MWh/year]이고 또한 그림 5에서 신뢰도가 가장 좋지 않은 부하모선은 30번 모선임을 알 수 있다.

4.2 사례 연구 2: TranRel-I

두 번째 사례연구로서 경상대학교 전력계통연구실에서 복합전력계통 신뢰도 평가에 관한 교육 및 연구용으로 개발한 Enumeration법에 의한 TranRel-I을 이용하여 IEEE RTS 25 모선 계통에 대하여 신뢰도 평가를 실시하여보았다. 앞서의 표 4에서도 살펴본 바와 같이 TranRel은 아직 개발단계이고 TRELSS와 같은 상용프로그램에서 사용하고 있는 계통특성의 입력자료를 그대로 사용하기에는 매우 미약하다. 그러므로 신뢰도평가 시 중요하다고 판단되는 발전기 및 송전선로의 용량 및 사고율만 동일한 입력 자료를 사용하고 부하는 각부 하지점별로 침두부하치만 동일하게 한 대표일부하지속곡선을

표 11. 계통 신뢰도 지수

Table 11. Reliability Statistics System Indices

| REPORT VI-A | | RELIABILITY STATISTICS SYSTEM INDICES | | DATE: 12/23/03 |
|---|------------|---------------------------------------|-------------|--|
| RUN TITLE: THIS IS A SAMPLE STUDY WITH TREL | | | | PAGE: 1 |
| COMMENT: THE SYSTEM IS 25 BUS IEEE | | | | |
| FOR STUDY AREA: | ANNUAL | LOAD LEVEL | PROBABILITY | |
| PROBABILITY OF LOAD LOSS - | 0.0041086 | 100% 100% | 0.0028539 | |
| FREQUENCY OF LOAD LOSS - (OCC/YEAR) | 6.491 | 90 90 | 0.2957762 | |
| DURATION OF LOAD LOSS - (HRS/YEAR) | 35.991 | 82 82 | 0.2958904 | |
| - (HRS/OCC) | 5.545 | 80 80 | 0.4054795 | |
| EXPECTED UNSERVED ENERGY - (MWH/YEAR) | 862.938 | | | |
| - (MWH/OCC) | 123.740 | | | |
| EXPECTED UNSERVED DEMAND - (MW/YEAR) | 378.102 | | | OTHER SYSTEM INFORMATION |
| - (MW/OCC) | 54.218 | | | STUDY AREA ANNUAL PEAK - (MW): 3563.000 |
| | | | | STUDY AREA ANNUAL ENERGY - (MWH): 18030232.000 |
| CUSTOMER INDICES: | ANNUAL | | | |
| NUMBER OF CUSTOMERS IN AREA - | 884231 | | | |
| CUSTOMER OUTAGES - (CUST-OCC/YEAR) | 8008 | | | |
| - (CUST/OCC) | 11.48 | | | |
| - (OCC/CUST) | 0.009 | | | |
| CUSTOMER DURATIONS - (CUST-HRS/YEAR) | 32316.031 | | | |
| - (HRS/OCC) | 4.036 | | | |
| - (HRS/CUST) | 0.037 | | | |
| SERVICE AVAILABILITY - | 0.99999583 | | | |
| NORMALIZED INDICES: | ANNUAL | | | |
| ENERGY CURTAILMENT - (MWH/ANNUAL MWH) | 0.00004786 | | | |
| POWER INTERRUPTION - (MW/PEAK MW) | 0.10611892 | | | |
| CONTINGENCIES CAUSING LOAD LOSS: | 332 | | | |

표 12 계통 신뢰도 지수: TranRel-I

Table 12 Bulk system reliability indices: TranRel-I

| 지수 | 값 |
|------|-------------------|
| LOLE | 6.377 [hrs/year] |
| EENS | 2,988.57 [MWh/yr] |

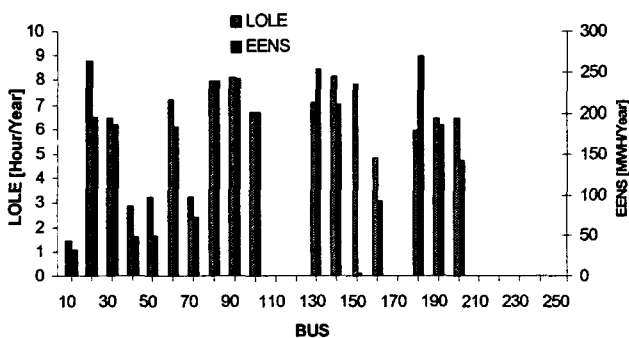


그림 6. 부하 모션별 신뢰도 지수: TranRel-I

Fig. 6. Reliability Statistics Load Bus Indices: TranRel-I

사용하기로 하였다.

표 12은 TranRel-I을 이용하여 얻어진 IEEE RTS 25모선 계통의 계통신뢰도지수를 나타낸 것이며 그림 6은 각 부하지점별로 얻어진 신뢰도지수를 나타낸 것이다.

이들 결과에서 보는 바와 같이 신뢰도 지수 중 EENS에 대하여 TranRel의 값이 TRELSS의 결과치 보다 높게 나타나는 것은 공급지장발생시 이를 최소화할 수 있는 교정행위 (Remedial action)와 같은 알고리즘을 TranRel이 고려하지 못하고 있는 것에서 비롯된다고 판단된다. 또한, TRELSS 보다 TranRel의 각 부하지점별 신뢰도지수가 고르게 나타나는 것은 공급지장시 전력공급의 우선정책을 나타내는 목적함수가 TranRel의 경우에 각 부하지점별로 고르게 공급도록 즉, 최대공급지장전력을 갖는 부하지점의 공급지장전력을 최소화하는 목적함수를 이용하여 프로그램 되어져 있기 때문인 것으로 사료된다.

4.3 사례 연구 3: TranRel-II: KEPCO System

세 번째 사례연구로 경상대학교 연구실에서 개발한 Monte Carlo 법에 의한 TranRel-II을 이용하여 그림 7과 같은 우리나라 한전계통 중 154kV 이상의 계통만을 대상으로 하여 적용하여 보았다.

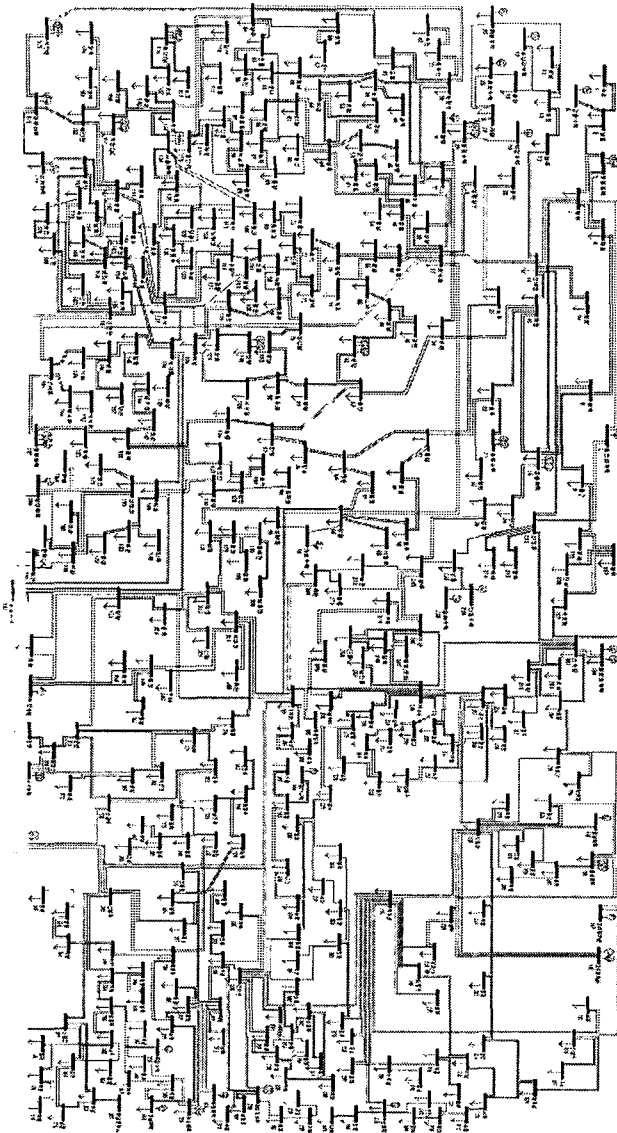


그림 7. 한전계통

Fig. 7. The single line diagram of the KEPCO system.

표 13은 154kV 이상의 송전계통현황을 보인 것이다. 본 사례연구에서는 한전계통 중 154kV 이상계통만을 대상으로 하였는데도 불구하고 부하지점의 총 수가 330지점을 넘어 모든 부하지점의 신뢰도를 나타내는 것은 어려운 일이므로 얻어진 부하지점별 신뢰도 지수 중에서 중요 부하 몇 개만의 신뢰도 지수를 표 14에 나타내었다.

표 15는 HLI과 HLII의 신뢰도 지수 및 송전계통의 신뢰도 지수를 보이고 있으며 RGTAI(Ratios of Generator-

표 13. 154kV이상의 송전계통현황 (c-km)

Table 13. Transmission systems data higher than 154kV(c-km)

| | 1980 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 |
|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 70 kV | - | - | - | - | 54 | 286 | 595 |
| 34 kV | 2,044 | 5,952 | 6,256 | 6,442 | 6,491 | 6,664 | 7,281 |
| 15 kV | 6,062 | 13,530 | 14,181 | 15,079 | 15,821 | 16,065 | 16,747 |

표 14. 중요 부하지점별 신뢰도 지수

Table 14. Nodal reliability indices at important load points

| Bus No. | Peak Load (MW) | LOLE (hr/day) | EENS (MWh/day) |
|---------|----------------|---------------|----------------|
| 220 | 525.8 | 0.09001 | 1.93105 |
| 274 | 418.8 | 0.08946 | 1.39364 |
| 77 | 392.7 | 0.09086 | 1.98040 |
| 349 | 364.2 | 0.08771 | 1.00268 |
| 34 | 355.4 | 0.09078 | 1.62315 |
| 351 | 327.4 | 0.08941 | 1.08049 |
| 322 | 319.8 | 0.08982 | 1.14063 |
| 152 | 316.1 | 0.09082 | 2.14584 |
| 205 | 298.1 | 0.08985 | 0.97908 |
| 92 | 295.8 | 0.09081 | 1.42031 |
| 228 | 273.2 | 0.09079 | 1.85563 |
| 57 | 260.3 | 0.09067 | 1.26446 |
| 7 | 258.0 | 0.09009 | 0.97315 |
| 106 | 247.5 | 0.09077 | 1.17550 |
| 177 | 243.0 | 0.09017 | 0.91219 |
| 260 | 237.4 | 0.09013 | 0.90202 |
| 75 | 229.5 | 0.09154 | 1.26512 |
| 153 | 228.4 | 0.09074 | 1.12910 |
| 254 | 215.5 | 0.09066 | 0.96266 |
| 224 | 215.4 | 0.09077 | 0.98325 |
| 159 | 214.6 | 0.08558 | 0.49089 |
| 276 | 214.5 | 0.08877 | 0.66192 |
| 166 | 213.7 | 0.09137 | 1.15881 |
| 46 | 212.6 | 0.09071 | 0.92491 |
| 208 | 209.2 | 0.09036 | 0.84083 |
| 162 | 207.0 | 0.08881 | 0.64145 |
| 384 | 201.2 | 0.09069 | 0.89926 |
| 381 | 200.6 | 0.09073 | 1.35501 |
| 277 | 199.4 | 0.09057 | 0.85777 |
| 147 | 199.1 | 0.09097 | 0.99542 |

Transmission Adequacy Indices) 값 또한 보이고 있다. 여기서 RGTAI 값은 발전계통과 송전계통의 적정도 비율을 나타내는 값으로 어느 영역의 보강이 필요한지를 보여주는 지수이다. RGTAI 값이 1.0보다 클 경우 발전계통이 전력용량이 부족한 것이고 1.0보다 작을 경우는 송전계통의 보강이 필요한 것임을 나타낸다. 한전계통의 송전선은 모선간의 거리가 비교적 짧은 편이다. 345kV 송전선로의 경우 평균 56(km/circuit)이고 154kV 송전선로의 경우 18(km/circuit)이다. 본 표에서 보이고 있는 RGTAI값들이 모두 송전계통에 영향을 많이 받고 있다. 그 중 LOLE와 관련된 값이 EENS와 관련된 값에 비해 송전계통에 영향을 많이 받고 있다. 이 결과는 낮은 사고율과 높은 송전선로의 용량이 잘 반영된 것이다.

표 15. 한전계통의 신뢰도 지수

Table 15. Bulk system reliability indices of KEPCO systems

| | LOLE (hr/day) | EENS (MWh/day) |
|--------------|---------------|----------------|
| HLII | 0.15882 | 792.48 |
| HLI | 0.07077 | 54.95 |
| Transmission | 0.08805 | 737.5 |
| RGTAI | 0.80375 | 0.07451 |

5. 결 론

본 연구는 최근에 각 나라의 전력사업이 자유경쟁체제로 나아감에 따라 송전망의 확충계획입안자는 가능한 정확한 계통모델에 기초하고 가능한 한 많은 상정사고 및 정확한 조류 계산방법을 이용함으로써 더욱 상세한 신뢰도 평가를 수행하

도록 강력하게 요청받고 있는바 우리나라도 사전에 이러한 상황에 대비하여 보다 더 정밀하고도 합리적인 우리나라의 송전망의 확충계획을 수립하기 위하여 확률론적 신뢰도 평가를 위한 상용화 프로그램 도입을 적극 추진 중에 있는 연구과제의 일환으로 이루어졌다. 이는 최근에 선진제국을 포함하여 전 세계적으로 곳곳에서 발생한 일련의 대 정전 사고를 계기로 송전망 확충계획 및 운영을 위한 신뢰도 평가가 매우 중요한 이슈로 급부상하고 있는 상황에서 본 연구과제가 매우 시기적절하게 수행 중에 있다고 사료된다.

본 논문에서는 전술한 신뢰도 평가 상용전문프로그램인 미국 EDF사의 TRELSS Version 6.0 및 경상대학교 전력계통연구실에서 교육 및 연구용으로 개발하여 사용하고 있는 TranRel-I 이용하여 IEEE 25모선계통에 대한 사례연구를 실시하고 그 입력력 특성을 분석하였으며 나아가 Monte Carlo 법의 TranRel -II를 이용하여 실제계에 대한 가능성을 타진하여보았다. 그 분석결과를 요약하면 다음과 같다.

TRELSS의 경우:

1. 자료입력측면: TRELSS는 IEEE, PTI 또는 EPRI Converter IEEE PSADD의 형식중 하나를 선택하여 기본 조류계산값을 읽어드리도록 되어 있는바 현재 한전이 다방면으로 이용하고 있는 PSS/E 입력자료 형태와 매우 호환성이 크므로 입력자료의 처리가 용이하다.
2. 계통크기측면: TRELSS의 적용 가능한 계통크기는 모선 13,000개, 발전기모선3250개, 발전기9750대, 송전선로 26,000회선 등으로 대규모 실제계를 겨냥한 상업용 패키지이므로 우리나라의 향후 10년간 정도의 송전선로확충계획수립을 위한 적용에는 크게 문제가 없을 것으로 판단된다.
3. 출력자료측면: 계통전체(Bulk) 뿐만 아니라 각 부하모선별 (Load Buses)에 대하여 LOLP, EENS 및 EDNS 등과 같은 확률론적 신뢰도 지수를 얻을 수 있다. 나아가 각 송전망의 신뢰도지수 및 그 송전망의 임의 영역에 대한 신뢰도 지수 값도 얻을 수 있다.
4. 프로그램운용측면: TRELSS를 운영하기 위한 컴퓨터운영체제는 Windows 95/98/NT/2000/XP 등으로 매우 호환성이 좋으며 다중운영(Multi User)으로 운용할 수도 있도록 설계되어있다.

TranRel의 경우:

1. TranRel은 경상대학교 전력계통연구실에서 복합전력계통 신뢰도 평가를 위하여 교육 및 연구용으로 개발한 것으로 아직 개발기초단계이고 TRELSS와 같은 상용프로그램에서 사용하고 있는 다양한 항목을 고려하지 못하고 있는바 차후 이의 점진적인 보완이 요청된다.
2. TranRel은 Enumeration 및 Monte Carlo법을 취사선택하여 사용하도록 하고 있는 바 이의 장점을 계속 이어나가면 좋을 것으로 사료된다.

그러므로 미국 EPRI의 TRELSS V6.0 프로그램을 이용하여 우리나라계통에 적용할 경우 실제계통 결과를 성공적으로 획득할 것으로 판단된다. 다만 실제계통 입력자료들 중 발전기, 송전선로, 차단기 및 변압기 등의 사고확률 자료는 한번에 만족할 수 없는 것으로서 지속적으로 수정 보완하며 나아가야

할 문제라고 사료되며 이의 효율적인 관리는 차후 연구로 남는다. 한편, 본 논문에서는 송전계통의 확률론적 신뢰도 평가 전문 프로그램의 도입 또는 작성 시 고려하여야할 필요 항목들을 살펴봄으로써 우리나라 전력계통확충계획 및 운용에서의 신뢰도평가와 관련한 전력계통분야에 신너지 효과를 높여 줄 것으로 기대된다. 끝으로 본 연구팀에서 근래 개발한 TranRel-I 및 II을 계속 발전시킴으로써 우리나라도 이 분야 기술이 선진국 수준으로 나아갈 수 있기를 기대하여본다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의(과제번호 : 02230-05)지원에 의하여 전력 연구원 주관으로 수행된 결과의 일부임.

참 고 문 헌

- [1] 전동훈, 안재욱, 장의태, 이 선, 김발호 및 Ross Baldick, "전력산업 구조변화 및 전력탁송에 관한 연구" 한국전력공사 전원계획처 보고서, 1998, 3.
- [2] W. S Read, W. K. Newman, I. J. Perez-Arriaga, H.Rudnick, M.R. Gent & A.J. Roman (December 1999). Reliability in the New Market Structure(Part1). IEEE Power Engineering Review, p.4-14.
- [3] W. S Read, W. K. Newman, I. J. Perez-Arriaga, H.Rudnick, M.R. Gent & A.J. Roman (January 2000). Reliability in the New Market Structure(Part2). IEEE Power Engineering Review, p.10~16.
- [4] Jaeseok Choi, Daeho Do, Seungpil Moon and Roy Billinton (June 1999). Development of a Method for ELDC Construction in a Composite Power System. LESCOPE '99 proceedings, Halifax.
- [5] 문 승필, 최 재석, 신 흥교, 이 순영, 송 길영; "Monte Carlo법에 의한 복합전력계통의 유효부하지속곡선 작성법 개발 및 신뢰도해석" 대한전기학회 논문지, 1999년 5월, Vol. 48A, No. 5, pp. 508-515.
- [6] Roy Billinton and Wenyuan Li (1994). Reliability Assessment of Electric Power Systems Using Monte Carlo Methods, Plenum Press.
- [7] Roy Billinton and Ronald N. Allan (1996). Reliability Evaluation of Power Systems, Second Edition, Plenum Press.
- [8] M. P. Bhavaraju, R. Billiton, N. D. Reppen and P. F. Albrecht (Feb. 1988). Requirements for Composite System Reliability Evaluation Models. IEEE Trans., Vol. 3, No. 1, pp. 149-157.
- [9] 한국전력공사 기술연구원, "대전력계통 공급신뢰도 평가 방안 및 Data Base 구축연구," 한국전력공사 기술연구원 보고서, 1991, 10.
- [10] 경상대학교, 한국전력공사 전력연구원, "송전계통의 확률론적 공급신뢰도 평가(1차 분기)," 한국전력공사 전력연구원 위탁과제 보고서, 2002, 11.
- [11] 경상대학교, 한국전력공사 전력연구원, "송전계통의 확률

론적 공급신뢰도 평가(2차 분기),” 한국전력공사 전력연구원 위탁과제 보고서, 2003, 2.

- [2] EDF Research & Development (Feb. 2002), "METRIS Version3 USER'S MANUAL," EDF.
- [3] EDF Research & Development (Sept. 2001), "METRIS Version3 MODELLING AND DATA," EDF.
- [4] Tayyib A. Tayyib (Feb. 2003), "Transmission Reliability Evaluation for Large-Scale Systems (TRELSS) Version 6.0", EPRI.
- [5] M. J. Beshir, T. C. Cheng and A. S. A. Farag, "Comparison of Two Bulk Power Adequacy Assessment Program: TRELSS and COMREL", IEEE Proceeding on T&D conference, Sep. 15-20, 1996, pp.431-437.
- [6] Jaeseok Choi, Hongsik Kim, Junmin Cha and Roy Billinton; "Nodal Probabilistic Congestion and Reliability Evaluation of a Transmission System under Deregulated Electricity Market", IEEE, PES, SM2001, July 16-19, 2001, Vancouver, Canada.
- [7] S. P. Moon, J.B. Choo, D.H. Jeon, H.S. Kim, J.S. Choi and Roy Billinton; "Transmission System Reliability Evaluation of KEPCO System in Face of Deregulation", IEEE, PES, SM2002, July 21-25, 2002, Chicago, USA.

저 자 소 개



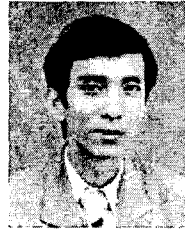
최재석 (崔在錫)

1958년 4월 29일생. 1981년 고려대 공대 전기공학과 졸업. 1984년 고려대 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 1990년 고려대 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1996년-1997년 University of Saskatchewan 방문교수. 1991년-현재 경상대학교 전기 전자공학부 교수. 1991년-현재 대한전기학회 중신회원
Tel: 055)751-5347
email: jschoi@nongae.gsnu.ac.kr



강성록 (姜成錄)

1975년 12월 10일생. 2002년 2월 경상대 공대 전기공학과 졸업. 2004년 2월 경상대 대학원 전기공학과 졸업예정(공학석사)
Tel: 055)751-5342
email: slkang@korea.com



트란트롱틴

1973년 3월 3일. 1997년 베트남 칸토 대학교 공학사 졸업. 1998년-현재 칸토대학교 전임강사. 2001년 네델란드 Larenstein 대학교에서 a post diploma of Professional Education 취득. 2002-현재 경상대학교 대학원 전기공학과 석사과정 재학 중
Tel: 055)751-5342
E-mail: ttinh@ctu.edu.vn



전동훈 (田東勳)

1967년 1월 20일생. 1991년 홍익대 공대 전기공학과 졸업. 1993년 홍익대 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 2001년 충남대 대학원 전기공학과 박사과정수료. 1994년-현재 한전 전력연구원 선임연구원
Tel: 042-865-5833
email: dhjeon@kepri.re.kr



문승필 (文勝必)

1970년 3월 5일생. 1996년 2월 경상대 공대 전기공학과 졸업. 1998년 2월 경상대 대학원 전기공학과 석사과정졸업(공학석사). 2003년 2월 경상대 대학원 전기공학과 박사과정졸업(공학박사). 2003년 9월-현재 한전 전력연구원
Tel: 042)865-5805
email: spmoon@kepri.re.kr



추진부 (秋鎭夫)

1977년 2월 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 2월 서울대 공대 전기공학과 석사과정졸업(공학석사). 1994년 2월 서울대 공대 전기공학과 박사과정졸업(공학박사). 1977년-현재 한전 전력연구원 수석연구원
Tel: 042)865-5830
e-mail: jbc@kepri.re.kr