

동북아 연계계통의 신뢰도평가를 위한 등가보조발전기 모형의 개발-III

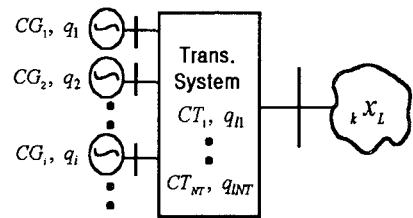
최재석\* 트란트롱틴\* 박동욱\*\* 윤재영\*\* 문승일\*\*\*  
 경상대학교 전기공학과\* 한국 전기 연구원\*\* 서울대학교\*\*\*

Development of Tie Line Constrained Equivalent Assisting Generator Model (TEAG)  
 for Reliability Evaluation of NEAREST-III

Jaeseok Choi\* TrungTinh Tran\* Jaeyoung Yoon\*\* Dongwook Park\*\* Seungil Moon\*\*\*  
 Gyeongsang National University\* KERI\*\* Seoul National University\*\*\*

**Abstract** - This paper illustrates some case studies of reliability evaluation of IEEE MRTS using the tie line constrained equivalent assisting generator model(TEAG) for reliability evaluation of NEAREST. The proposed TEAG is able to supply the information for reliability evaluation of interconnected power systems. It is important that interconnection between power systems can provide the improved levels of reliability. Therefore, It is expected that the TEAG model developed in this study will provide some solution to many problems for interconnected power systems. The characteristics and validity of this developed TEAG considering transmission systems are introduced by case study of IEEE MRTS.

발전계통 및 송전계통을 함께 고려한 복합전력계통에서의 설비들의 용량 제약 및 사고율을 고려한 임의의 부하점에서의 등가발전기 모델은 그림 1과 같이 모델링 될 수 있다[15].



(a) 송전계통까지 감안한 실계통

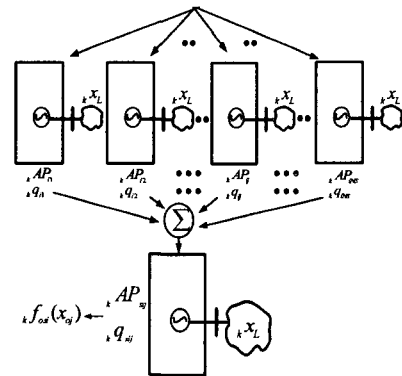
1. 서 론

전력계통의 기본임무는 수요자에게 양질의 전기에너지를 가능한 정전사고 없이 높은 수준의 신뢰도로 공급하는 것이다. 급속한 경제성장과 함께 전력수요의 급격한 증가와 수요예측의 불확실성 증가로 전력에 대한 의존도 또한 급속히 증가하고 있어 보다 높은 전력공급의 신뢰성을 요구하고 있다[1]. 전력계통에서 발전용량의 공급적 정도와 신뢰도는 다른 계통과 연계를 함으로서 향상되어 진다. 이런 측면에서 볼 때, 전력계통에 있어서의 연계(Interconnection)는 신뢰도 수준을 향상시킨다는 관점에서 매우 중요하다[2-10]. 현재 연계계통에 관련된 연구 분야에서는 발전계통(Hierarchical Level I)만을 고려한 신뢰도 평가 연구는 그 연구 및 응용범위가 많으나, 송전선로의 제약 및 사고율과 같은 송전선로의 불확실성을 고려한 즉 발전계통 및 송전계통을 함께 감안한 복합전력계통(Hierarchical Level II)에서의 연구 및 활용은 여전히 미흡한 실정이다. 그리고 근래에는 송전망의 위치가 중요시 됨으로써 송전용량의 제약 및 불확실성을 고려한 기법들이 다양하게 연구되고 있다. 이에 따라 본 저자들은 동북아 전력계통연계 연구과제의 일환으로 지원계통 송전선로 사고율을 고려한 임의의 접속점에서의 등가보조발전기 모형을 개발하였다[11]. 본 연구에서는 개발한 복합계통의 등가보조발전기모형기법을 이용하여 IEEE MRTS에 적용하여 그 유용성을 살펴본다. 이를 위하여 임의의 모선에서의 연계할 경우에 지원하는 계통의 신뢰도를 평가함으로써 신뢰도관점에서 최적 연계점을 결정하여보기로 한다.

2. 등가보조발전기모형

2.1 모형구축절차

2.2.1 계통B의부하점 #BK의 등가보조발전기 (SFEG<sub>#BK</sub>)



(b) 임의의 부하지점에서의 복합계통의 등가발전기 (SFEG) 및 확률분포함수( $f_{ox}$ )

그림 1. 계통B의 임의의 부하점 #BK에서의 등가발전기 (SFEG<sub>#BK</sub>)

Fig. 1 Equivalent generator at load bus #BK of system B

이와 같은 복합전력계통의 임의의 부하점 #K에서의 등가발전기(SFEG)의 상태확률분포함수( $f_{ox}$ )는 상태확률 및 그때의 부하점#K에 최대도 도달할 수 있는 최대도달전력을 계산함으로써 구해 질 수 있다[11].

그러므로 지원계통 B의 #BK에서의 등가발전기는 그림 2와 같이 모델링 된다.

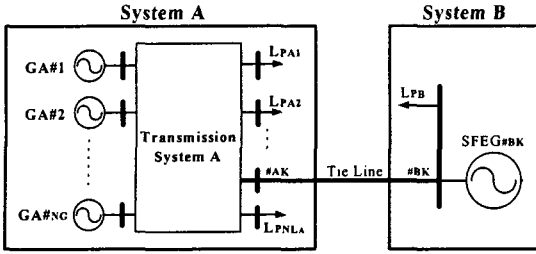


그림 2. 계통B의 부하점 #BK에서의 SFEG<sub>#BK</sub>  
Fig. 2 SFEG<sub>#BK</sub> at load bus #BK of system B

### 2.2.2 #BK지점에서의 부하를 고려한 수정된 등가보조발전기(EAG<sub>#BK</sub>)모델

여기서는 부하점 #BK에서의 부하를 삭감시킨 것이 지원하고자 하는 계통 A에 지원할 수 있는 계통 B의 실제 등가 발전기라 할 수 있다. 이와 같은 수정된 등가발전기(EAG)의 확률분포함수(PDF)의 용량은 식(1)과 같이 계산되며 그림 3은 이를 나타낸 것이다.

$$AP_j^{new1} = \text{maximum}\{AP_j - L_{p\#BK}, 0.0\} \quad (1)$$

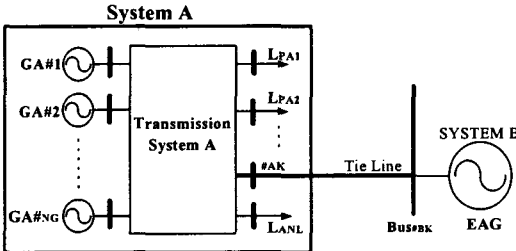


그림 3. 계통A가 계통B의 등가보조발전기 (EAG<sub>#BK</sub>)와 연계된 그림

Fig. 3 System A interconnected with an equivalent generator of system B

### 2.2.3 계통A의 #AK지점에서 연계선로용량제약을 고려한 등가발전기(TEAG)모델

앞에서 수정된 EAG는 실제 연계선로의 용량제약에 의하여 지원할 수 있는 용량이 더욱 제한 될 수 있다. 이와 같이 연계선로 용량제약까지 감안한 것이 실제적인 최종 등가발전기라 할 수 있다. 이를 연계선로 용량제약 등가발전기(TEAG)라 하고, 이의 확률분포함수(PDF)는 식(2)와 같이 계산되며 그림 4는 이를 보인 것이다.

$$AP_j^{new2} = \text{Minimum}\{AP_j^{new1}, TICP\} \quad (2)$$

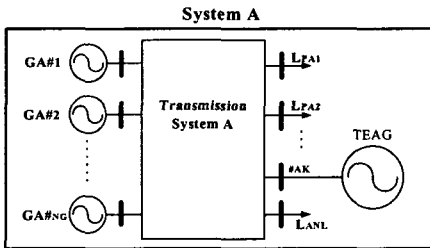


그림 4. 연계선로용량제약을 고려한 등가발전기 (TEAG)모델

Fig. 4 Equivalent generator model(TEAG) considering line line capacity

## 2.2 작업 흐름도

전술한 TEAG를 작성하고 지원받는 계통의 신뢰도평가를 위한 작업 흐름도를 보이면 그림 5와 같다.

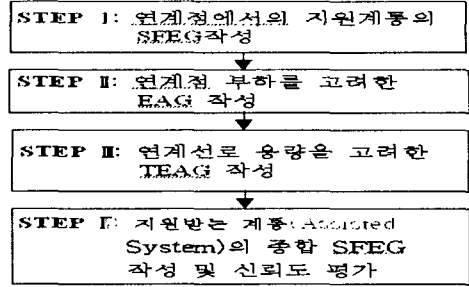


그림 5. 작업 흐름도 과정  
Fig. 5 Flow chart

## 3 사례연구

본 연구에서 개발한 모델의 유용성을 살펴보기위해 그림 6과 같은 25모선 계통에 적용해 보았다.

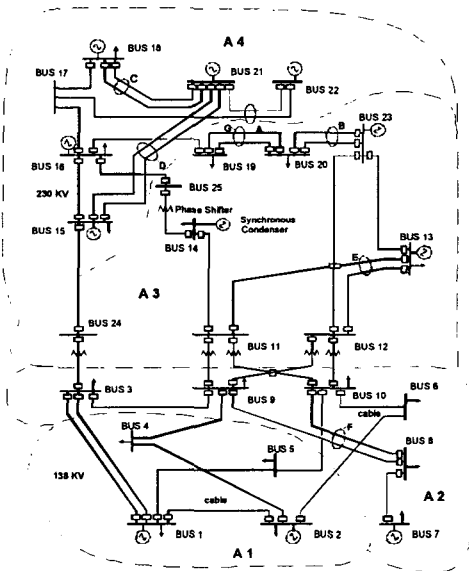


그림 6 IEEE 신뢰도시험계통  
Fig. 6 IEEE MRTS

그림 7, 그림 8 및 그림 9는 용량 500[MW]인 연계선로가 부하모선 1에 연계되었다고 가정할 경우에 얻어진 SFEG, EAG 및 TEAG를 보인 것이다. 여기서 부하모선1에서의 최대수용전력은 부하모선1과 연결된 기존 송전선로의 용량의 합이 583MW이므로 이에 근접하는 용량을 갖는 SFEG를 얻을 수 있었다. 그리고 이의 최대부하인 135MW를 감안한 EAG의 용량은 그림 8과같이 405MW임을 알 수 있었다. 끝으로 연계선로의 용량을 고려한 TEAG는 선로용량이 500MW로 EAG의 용량을 초과하므로 EAG의 용량과 동일한 값을 가짐을 알 수 있다. 한편, 여기서 얻어진 각 발전기의 확률분포함수는 2개상태가 아니라 2 계통의 발전기 및 송전선로들의 사고확률이 감안된 매우 복잡한 다개상태로 나타남을 알

수 있다. 그러므로 이와 같은 등가발전기가 지원받는 계통에 투입된다고 할 경우에는 2개상태 모형으로 등가화할 필요가 있다고 사료되며 그림 11은 이를 내삽법을 이용하여 2개상태로 등가화한 발전기의모형을 보인 것이다.

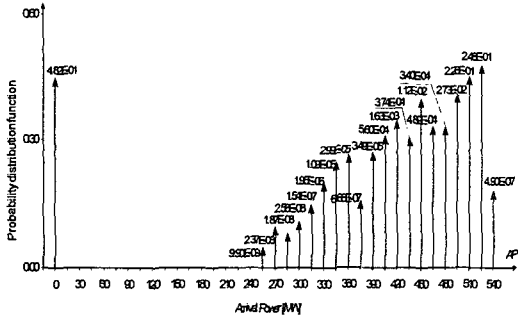


그림 7 모선1에서 용량500MW의 연계선로가 접속된 경우의 SFEG의 확률분포함수  
Fig. 7 PDF of SFEG at bus 1 when a tie line with 500MW is interconnected at bus #1.

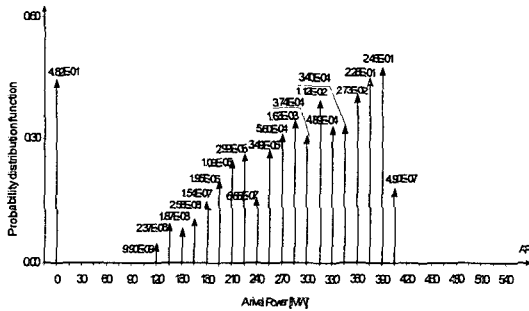


그림 8 모선1에서 용량500MW의 연계선로가 접속된 경우의 EAG의 확률분포함수  
Fig. 8 PDF of EAG at bus 1 when a tie line with 500MW is interconnected at bus #1.

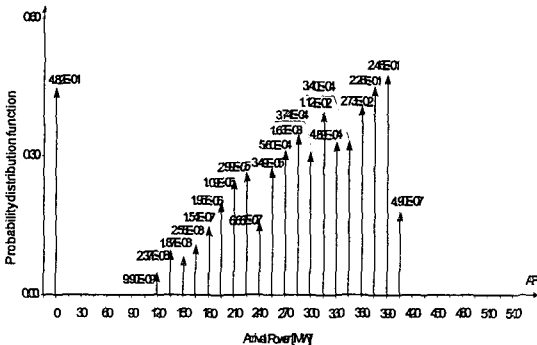


그림 9 모선1에서 용량500MW의 연계선로가 접속된 경우의 TEAG의 확률분포함수  
Fig. 9 PDF of TEAG at bus 1 when a tie line with 500MW is interconnected at bus #1.

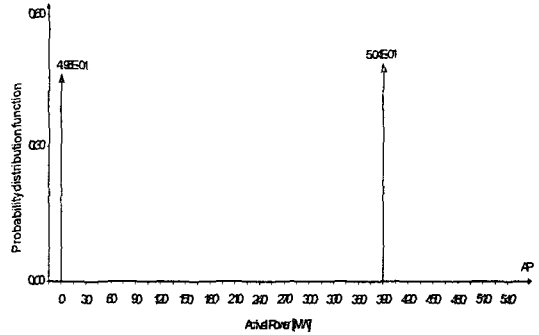


그림 10 모선1에서 용량500MW의 연계선로가 접속된 경우의 2개상태 TEAG의 확률분포함수  
Fig 10. PDF of TEAG with two state at bus 1 when a tie line with 500MW is interconnected at bus #1.

한편, 위의 경우를 경우1로하고 부하모선2(경우2), 3(경우3) 및 6(경우4)에 연계선로가 접속된다고 가정할 경우들에 대하여도 검토하여보았다. 표1은 이의결과를 보인 것이며 여기서 경우0이란 연계선로가 없을 경우에 대한 신뢰도 지수이다. 이의 결과에서 지원하는 계통의 가장 신뢰도가 좋은 경우는 경우3이라고 할 수 있다. 즉, 지원계통의 입장에서는 신뢰도관점에서 최적 연계점은 가상부하로 주어진 연계점인 모선1, 2, 3 및 6인 4개중에서 부하모선 3이 가장 좋은 연계점으로 선정할 수 있다.

표 1 각 경우별 연계점 및 계통의 신뢰도지수  
Table 1 Reliability indices for five cases

Case	Reliability Indices at Interconnected Point		Bulk System Reliability Indices	
	LOLE [Hrs/Year]	EENS [MWh/Year]	LOLE [Hrs/Year]	EENS [MWh/Year]
Case 0	-	-	6.634	3127.61
Case 1	0.00468	0.2398	2010.394	780979.55
Case 2	0.00468	0.4329	0.4142	2623382.75
Case 3	0	0	0	524705.75
Case 4	6.72845	168.6085	8202.244	10119538.5

### 3. 결 론

본 연구에서는 앞서의 연구에서 개발한 연계하고자 하는 계통의 발전기 및 송전선로의 사고확률을 고려한 등가보조발전기모형을 이용하여 IEEE MRTS에 적용하여 등가보조발전기의 등가용량 및 가동용량 확률분포함수를 구하여보았다. 이때 얻어진 각 등가보조발전기의 확률분포함수는 2개상태가 아니라 다개상태로 나타남을 알 수 있으며 이는 그 계통의 발전기 및 송전선로의 사고확률이 고려됨에 따라 매우 복잡하게 분포됨을 알 수 있었다. 차후 이를 지원받는 계통에 투입된다고 할 경우에는 2개상태 모형으로 등가화 할 필요가 있다고 사료된다. 한편, 지원하는 계통의 입장에서 연계점을 변경하여 신뢰도를 평가하여봄으로써 최적 연계점을 구하여 보았다. 본 연구는 현재수행중인 동북아 연계계통의 신뢰도평가를 위한 연구과제 결과물로서 조만간 우리나라 실제계에 적용하여 연계코자하는 지점에서의 등가보조발전기를 구하도록 할 예정이다.

### 감사의 글

본 연구는 산업자원부지원 전력산업 기술기반 조성사업에 의한 한국전기연구원 지원으로 연구된 결과의 일부임.

### [참고 문헌]

- [1] Billinton, R., Gan L., "A Monte Carlo simulation model for adequacy assessment of multi-area generating systems", Probabilistic Methods Applied to Electric Power Systems, 1991. Third International Conference on, pp.317-322, 3-5, July 1991.
- [2] Deng, Z., Singh, C., "A new approach to reliability evaluation of interconnected power systems including planned outages and frequency calculations", Power Systems, IEEE Transaction on, Volume: 7, Issue:2, pp. 734-743, May 1992.
- [3] Cook, A.S., Rose, I.A., "A Monte Carlo technique for computing the benefits arising from the interconnection of power systems", Power Systems, IEEE Transactions on, Volume: 8, Issue: 3, pp. 873-878, Aug 1993
- [4] Sigh, C., Gubbah, N., "A new approach for reliability evaluation of interconnected power systems", Athens Power Tech, 1993. APT 93. Proceedings. Joint International Power Conference, Volume: 2, pp.771-775, 5-8 Sep 1993.
- [5] Xifan Wang, Xiuli Wang, "A new approach to probabilistic modeling for two interconnected systems" Advances in Power System Control, Operation and management, 1993. APSCOM- 93., 2nd International conference on, Vol. 2, pp. 649-654, 7-10 Dec. 1993.
- [6] Hamoud, G., "Probabilistic assessment of Interconnection assistance between power systems", Power Systems, IEEE Transactions on, Volume: 13, Issue: 2, pp. 535-542, May 1998.
- [7] Billinton, R. Chowdhury, N.A., "Operating reserve assessment interconnected systems" Power Systems, IEE Transactions on, Volum: 3, Issue: 4, pp. 1478-1487, Nov. 1988
- [8] W.S Read, W.K. Newman, I.J. Perez-Arriaga, H.Rudnick, M.R. Gent & A.J. Roman, Reliability in the New Market Structure (Part1): IEEE Power Engineering Review, pp. 4-14, December 1999
- [9] W.S Read, W.K. Newman, I.J. Perez-Arriaga, H.Rudnick, M.R. Gent & A.J. Roman, Reliability in the New Market Structure (Part2): IEEE Power Engineering Review, pp. 10-16, December 2000
- [10] Roy Billinton, Ronald N Allan, "Reliability Evaluation of Power Systems", Plenum Press, 1984
- [11] R. Billinton and E. Khan, "A Security Based Approach to Composite Power System Reliability Evaluation", IEEE Trans. on Power Systems, Vol.PS-7, no.1, pp.65-72, February 1992.
- [12] R. Billinton and W. Zhang, "Enhanced Adequacy Equivalent for Composite Power System Reliability Evaluation", IEE Proc.GTD, vol.143, no.5, pp.420-426, September 1996.
- [13] R. Billinton and W. Li, Reliability Assessment of Electric Power Systems Using Monte Carlo Methods : Plenum Press, 1994.
- [14] R. Billinton and A. Sankar Krishnan, "A Comparison of Monte Carlo Simulation Techniques for Composite Power System Reliability Assessment", IEEE WESCANEX '95 proceedings, pp.145-150, 1995.
- [15] Eugene G. Preston, W Mack Grady and Martin L. Baughman, "A New Planning Model for Assessing the Effects of Transmission Capacity Constraints on the Reliability of Generation Supply for Large Nonequivalenced Electric Networks", IEEE Trans. on Power Systems, Vol.PS-12, no.3, pp.1367-1373, August 1997.
- [16] 김근호, 강성록, 최재석, 박동욱, 윤재영, "송전 계통의 불확실성을 고려한 연계계통의 등가보조발전 기모형 개발" 2003년 대한전기학회 춘계학술대회 논문집, pp43-47, 2003년 5월 16-17일, 숭실대학교.
- [17] Jaeseok Choi, TrungTinh Tran, Sungrok Kang, Dongwook Park, Jaeyoung Yoon, Seungil Moon, and Roy Billinton, "Tie Line Constrained Equivalent Assisting Generator Model (TEAG) Considering Forced Outage Rates of Transmission Systems" KIEE, International Journal on PE, June, 2004.