2011년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2011. 7. 20 - 22

지역별 운영예비력 적정성 평가 방법

윤용호*, 이재희*, 김영욱*, 주성관*, 최은재**, 김기식**, 송광헌**
고려대학교*, 한국전력거래소**

Adequacy Assessment of Locational Spinning Reserve

Yongho Yoon*, Jaehee Lee*, Young-Wook Kim*, Sung-Kwan Joo*, Eun-Jae Choi**, Ki-Sik Kim**, Kwang-Heon Song**
Korea University*, Korea Power Exchange**

Abstract - 운영예비력은 전력설비의 불시사고, 예상치 못한 전력수요 증가 등의 불확실 상황에 대비하기 위해 운영된다. 발전설비의 경제적 효율 및 부하분포에 따라 운영예비력이 지역별로 불균형하게 분포되면 특정 지역의 사고에 대해 신속히 대응하지 못할 수 있다. 특히, 전력수급의 상당부분을 타 지역에서의 송전에 의존하는 지역의 경우, 연계송전선로 및 지역 내 발전설비 사고에 대비해 지역 내 충분한 운전예비력이 확보되어야 설비사고의 확대를 방지할 수 있다. 본 논문에서는 전력의 상당량을 외부로부터 수전하는 지역의 신속한 사고대응을 위한 지역 내 운전예비력의 적정성 평가 방안을 제시하였다. 제시 방법에는 외부 연계선 및 발전설비의 사고 확률모델 및 수요예측 오차를 고려하여 지역 내 운전예비력의 적정성을 평가할 수 있는 부하차단확률 지표를 제시하였다.

1. 서 론

운전예비력은 평상시 전력계통의 수요예측 오차 및 부하변동에 대비하고, 상정사고 발생 시 주파수를 일정 범위 안으로 회복시키는 역활을 담당한다.[1] 특히 운전 중 발전기의 발전여유분인 운전예비력은 전력품질 유지와 정전 대비 측면에서 최우선 확보되어야 할 예비력이다. 만약, 발전단가만을 고려하여 운전예비력이 지역별로 불균형하게 분포된다면, 송전제약 등으로 특정지역이 사고에 취약해지게 된다[1]-[3].

국내의 경우, 수도권 전력수요는 인구밀집, 소득수준 향상, 산업발달 등으로 인하여 전국전력수요의 43%이상을 점유하고 있는 반면 수도권의 입지 문제로 전력수급의 상당량을 비수도권으로부터의 융통전력에 의존하고 있다. 이 같은 수도권의 발전설비는 비수도권의 발전설비에 비해 높은 발전단가로 특정 상황에서는 급전계획에 포함되지 않게 될 수 있어 운전예비력이 비수도권에 집중되고 수도권 내 운전예비력이 부족한 상황이 발생할 수 있다[4]-[5]. 수도권에 적정 수준의 예비력을 확보되지 않게 되면 송전선 사고 시 수도권 정전이라는 경제적 손실과 사회적 혼란을 야기 시킬 수 있는 것으로, 전력계통의 불시사고가 광역정전으로 확산되는 것을 예방하기 위해서는 수도권 내의 충분한 예비력을 확보하는 것이 중요하다.

본 논문에서는 수도권과 같이 전력수요가 높으나 전력수급의 상당부분을 융통전력에 의존하는 지역의 지역 내 예비력의 충분한 확보를 위해 적정성 평가방법을 제시하였다. 제시 방법에는 외부 연계선 및 발전설비의 사고 확률모델 및 수요예측 오차를 고려하여 지역 내 운전예비력의 적정성을 평가할 수 있는 부하차단확률 지표를 제시하였다.

2. 본 론

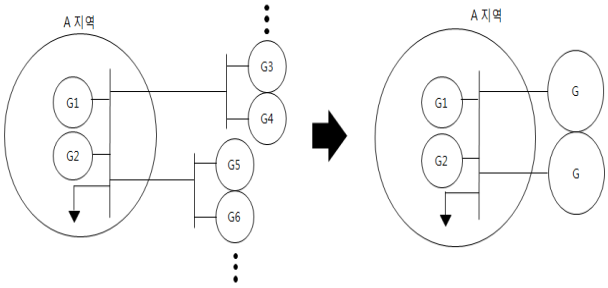
2.1 부하 및 전력설비 불확실성 모델링

전력의 상당 부분을 송전선을 통해 공급받는 전력수전지역(이하 A지역)은 송전선 고장 시 정전의 위험에 노출되어있고 이에 대비하여 적정수준의 지역별 예비력의 적정성을 평가하는 것이 본 논문의 목적이다. 외부지역의 발전설비의 발전량에 제한이 없다는 가정 하에 <그림 1>은 전력수전지역의 송전선로를 발전설비로 근사화한 것을 나타내고 있다. 여기서 송전설비 1루트가 발전기 1기로 모델링되고, 최대송전용량은 발전기의 최대발전용량으로 모델링된다.

발전설비로 모델링된 A지역의 전력설비의 1시간동안 고장발생확률(FOP, Full Outage Probability)[6]은 수식 (1)과 같이 정식화 된다.

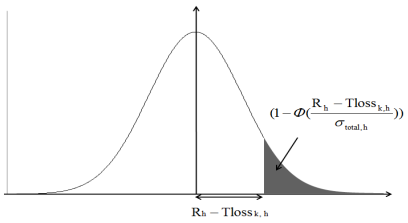
$$FOP = \frac{FOR}{MTTR} \tag{1}$$

여기서, $MTTR$은 평균고장수리 시간을 의미하고 FOR은 고장정지율을 의미한다.



<그림 1> 송전선 모델링

운전예비력은 발전설비 및 송전설비 사고와 동시에 발생 가능한 지역 수요예측 오차에 대비해야한다. 본 논문에서는 아래 제시된 <그림 2>와 같이 A지역 수요예측 오차를 정규분포를 따른다고 가정하였다.



<그림 2> 수요예측 오차의 정규분포 그래프

정규분포 그래프 내 회색 영역은 지역의 운전예비력을 고려한, h-시간의 수요예측 오차 및 i-송전선 탈락에 의해 공급지장이 발생할 확률을 의미한다[7].

A지역에 공급지장이 일어나는 경우를 송전선 1회선 고장 시 A지역 수요예측 오차가 예비력보다 큰 경우와 송전선 1회선 고장과 A지역 발전기 1기 탈락 시 수요예측 오차가 예비력보다 큰 경우의 2가지 경우로 가정한다.

2.2 송전선 및 발전설비 고장 확률

$FOP_{T,i,h}$가 시간 h에 대한 각 송전선 i의 고장확률이라고 할 때, 시간 h에 모든 송전선(L) 중 송전선 k만 고장이 일어날 확률은 다음 수식 (2)와 같이 정식화할 수 있다.

$$Pt_{k,h} = FOP_{T,k,h} \times \prod_{i=1, i \neq k}^{L} (1 - FOP_{T,i,h}) \tag{2}$$

송전선 k 탈락에 의해 삭감된 발전량과 예비력의 합을 $Tloss_{k,h}$이라 하고 산정되어진 운전예비력을 R_h라 할 때, 송전선 k 탈락 후 잔여 운전예비력은 $R_h - Tloss_{k,h}$라 할 수 있다. 잔여 운전예비력으로 지역 수요예측 오차에 대비하지 못할 확률은 수식 (3)과 같이 정식화할 수 있다.

$$Ptls_{k,h} = 1 - \Phi(\frac{R_h - Tloss_{k,h}}{\sigma_{total,h}}) \tag{3}$$

여기서, $\sigma_{total,h}$는 수요예측 오차의 표준편차를 의미하고 Φ는 표준정규분포의 누적확률분포함수를 의미한다.

$FOP_{G,i,h}$가 시간 h에 대한 발전기 i의 고장확률이라고 할 때 시간 h에 N개의 발전기 중 발전기 i만 고장이 일어날 확률은 다음 수식 (4)와 같이 정식화할 수 있다.

$$Pg_{i,h} = FOP_{i,h} \times (\prod_{j=1, j \neq i}^{N} (1 - FOP_{j,h})) \quad (4)$$

송전선 k와 발전기 i탈락에 의해 삭감된 발전량과 예비력의 합을 각각 $Tloss_{k,h}$, $Gloss_{i,h}$이라 하고 산정된 운전예비력을 R_h라 할 때, 송전선 k와 발전기 i탈락 후 잔여 운전예비력은 $R_h - (Gloss_{k,h} + Tloss_{i,h})$라 할 수 있다. 이때 잔여 운전예비력으로 수요예측 오차에 대비하지 못하는 확률은 수식 (5)와 같이 정식화할 수 있다.

$$Pgls_{i,k,h} = 1 - \Phi(\frac{R_h - Tloss_{k,h} - Gloss_{i,h}}{\sigma_{total,h}}) \quad (5)$$

송전선 k의 탈락만 발하거나 송전선 k의 탈락과 1기 발전설비 탈락이 동시에 발생하여 잔여예비력으로 수요 예측오차에 대비하지 못하는 확률은 다음 수식 (6)과 같이 정식화할 수 있다.

$$PLSFO_{k,h} = Pt_{k,h} \times Ptls_{k,h} + Pt_{k,h} \times \sum_{i=1}^{N} (Pg_{i,h} \times Pgls_{i,k,h}) \quad (6)$$

이때 모든 선로에 대해 A지역에서 공급지장이 일어날 확률은 다음 수식 (7)과 같이 정식화할 수 있다.

$$PLS_h = \sum_{i=1}^{L} PLSFO_{i,h} \quad (7)$$

2.3 지역 예비력 적정성 평가방안

계통운영자에 의해 설정된 신뢰도 수준을 연 부하차단 횟수(LSI) 표현하면, h시간에 대해 산정된 운전예비력에 대한 평가기준은 다음의 수식 (8)과 같이 정식화 되어 진다.

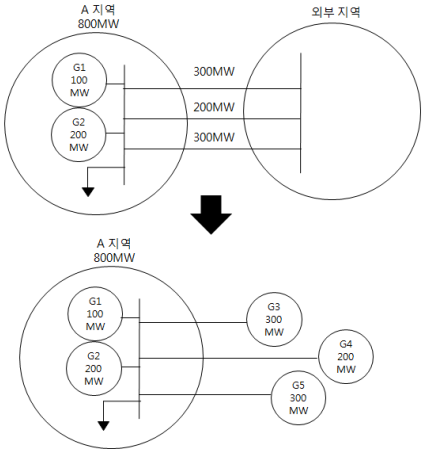
$$PLS_h \leq \frac{LSI}{8760} \quad (8)$$

앞서 정의한 과정들을 정리하여 예비력의 적정성 평가 단계를 살펴보면 다음과 같다.

단계1) 발전기와 송전선 사고데이터를 이용하여 FOR 및 $MTTR$ 계산
단계2) FOR 값과 $MTTR$ 값을 이용하여 FOP 계산
단계3) 지역 수요예측 오차 실적 조사를 통한 부하 모델링
단계4) 발전계획에 기초하여 $Tloss_{k,h}$ 및 $Gloss_{k,h}$ 값 계산
단계5) 수식 (2) ~ (7)에서 계산되어진 산정된 운전예비력에 대한 기대되는 연 부하차단 횟수를 수식 (8)을 이용하여 적정성을 평가함

3. 사례연구

본 논문에서 제안한 적정성 평가 방안을 <그림3>의 모의계통에 적용하였다. 모의한 계통은 부하는 평균 800MW, 표준편차 48MW의 정규분포를 따른다고 가정하였다. 발전설비 및 송전선의 FOP는 A지역 발전설비의 FOP는 각각 0.001142과 0.000570을 가정하였고 3개의 송전선의 FOP는 모두 0.000570이라 가정하였다. 본 계통에 대해 3가지의 예비력 시나리오를 가정하였고 각 시나리오에 대해 신뢰도 관점에서의 적정성 평가가 이루어 졌다.



〈그림 3〉 모의 계통도

〈표 1〉 시나리오 별 예비력 적정성 평가

	시나리오 1	시나리오 2	시나리오 3
운전예비력	300MW	350MW	400MW
PLS_h	0.00055621	0.00018812	0.00004247
$\frac{LSI}{8760}$	$\frac{1}{8760} = 0.00011415$	$\frac{1}{8760} = 0.00011415$	$\frac{1}{8760} = 0.00011415$

4. 결 론

본 연구는 전력 수요의 상당 부분을 송전선에 의한 전력 유입으로 충당하는 지역에 대해 지역 내 운전예비력의 적정성 평가방안을 제시하였다. 전력유입선로를 발전설비로 근사화하였고, 각 송전설비 및 발전설비의 사고와 수요예측 오차가 동시에 발생할 경우에 대한 운전예비력의 적정성을 평가할 수 있었다.

감사의 글
본 연구는 한국전력거래소 과제 계통규모 확대에 따른 적정 공급 및 운영예비력 산정에 관한 연구의 지원으로 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

[1] 류성호, 이강완, 김광원, 황갑주, “전력시장에서의 적정 운영예비력 기준에 관한 연구”, 전기학회논문지, 제 52A권 제5호, pp. 241-298, 2003년.
[2] 윤재영, "KEMA 보조서비스 주파수 및 예비력 기준 분석“, 2001년.
[3] 한국전력거래공사 계통운용처, “예비력 운영기준(안)“ 2000년.
[4] 최종보고서, “CBP단계 보조서비스 비용지불 및 차기경쟁시장(PBP 및 TWBP)대비 보조서비스 준비에 대한 연구”, 한국전기연구원, pp.1-235, 2001년.
[5] 곽월환, 이강완, 오창수, “발전기 부하추종 시험용 주파수 Simulator 설계에 관한 연구”‘ 대한전기학회 전력기술부문회, 2004년도 대한전기학회 전력기술부문회 추계학술대회 논문집, 2004년.
[6] R. Billington and R. N. Allan, “Reliability Evaluation in Power Systems,” 2nd ed. New York:Plenum, 1994.
[7] Ronan Doherty and Mark O'Malley, "A new approach to quantify reserve demand in systems with significant installed wind capacity," IEEE Trans. Power Syst., vol. 20, no. 2, pp. 587-595, May 2005.