

선로정수 연속 조류계산을 이용한 가혹한 상정고장에 있어서 취약지역 도출 방안에 대한 연구

서상수\* 이병준\* 김태옥\*\* 김태균\*\*\* 추진부\*\*\* 이정호\*\*\*\*  
 고려대학교\* 한국 전력공사\*\* 한전전력연구원\*\*\* 한국전기연구원\*\*\*\*

A Study on the Method of the Vulnerable Area Investigation  
 In Severe Contingencies Using Branch Parameter Continuation Power Flow

Sangsoo Seo\* Byongjun Lee\* Taeok Kim\*\* Tae-Kyun Kim\*\*\* Jin Boo Choo\*\*\* Jeong Ho Lee\*\*\*\*  
 School of Electrical Engineering Korea University\* KEPCO\*\* KEPRI\*\*\* KERI\*\*\*\*

**Abstract** - Many methods to examine the vulnerable areas for the contingencies in the power system. The most widely used index for the vulnerable area investigation has been the reactive power margin or sensitivity analysis. But we can get the results of these analyses if only the results of load flow are convergent in severe contingencies, otherwise these methods are not adoptable. We can present a good index for overcoming severe contingencies, if we can get the vulnerable areas by bus sensitivity in severe contingencies, though the power flow equation is unsolvable. This paper simulates unsolvable severe contingencies by using branch parameter continuation power flow. We can compute the vulnerable areas in unsolvable severe contingencies by normal vector at a nose point of a  $\nu$ -V curve. Presented method is checked the input reactive power of the vulnerable areas in KEPCO system.

1. 서 론

최근 우리나라 전력계통은 송전 전력의 증대, 경제적인 환경적인 문제로 인한 송전계통 확충의 어려움 등의 이유로 계통 운전 조건이 점차 한계점에 다다르고 있다. 계통 계획 측면에서 이에 대응하기 위한 경제적이고 적절한 송전계통 확충 계획의 수립이 요구되는 동시에 계통이 한계점 근처에서 운용될 때 사고 발생 시 유발되는 치명적인 위험성을 제거하고 안전한 계통 운영을 보장하기 위해 계통 운영계획 측면에서 다양한 상정사고에 대한 안정도 평가(Security Assessment)가 필히 수행되어야 한다. 특히 한계점 근처에서의 계통 운용일수록 조류해를 갖지 않는 심각한 상정사고가 더 많이 존재하므로 이러한 안전도 평가는 더욱 중요한 의미를 가진다. 또한 계통규모가 커지고 복잡할수록 전압안정도(voltage stability) 측면에서의 계통 붕괴(system collapse) 및 국지적인 전압불안정의 현상이 더욱 심각한 문제로 대두된다. 따라서 계통의 전압안정도를 평가하고 안정성 향상 방안을 마련하는 것은 계통의 안전한 운영을 위해 매우 중요한 일이다.[1]

계통의 전압안정도 평가에 일반적으로 적용되는 지수(index)에는 유효전력 여유(Active power margin)와 무효전력 여유(Reactive power margin) [2,3] 그리고 용통조류 여유(Flow margin)[4]가 있다. 이 중에서 전압안정도 관점에서 취약지역을 선정할 수 있는 지수는 무효전력 여유가 있지만 계통의 상태나 해석지역의 부하수준에 의하여 변동하는 등의 임의성을 포함하고 있다. 또한 조류계산의 해가 수렴하지 않는 가혹한 상정사고에 있어서 취약지역을 선정할 수 없는 단점이 있다.

본 논문에서는 위와 같은 단점을 극복하기 위한 방안으로 조류해가 존재하지 않는 가혹한 상정사고에서 전압

안정도 측면의 취약지역 선정 시 선로정수 연속 조류계산을 이용하여  $\nu$ -V 곡선의 꼭지점에서 모선 감도 정보를 사용하여 취약지역을 선정한다.[5,9] 그리고 감도 정보로부터 선정된 취약모선을 토대로 실제 무효전력을 투입 감도 정보에 의한 취약모선의 선정의 유용성을 검토하고자 한다.

사례 연구에서는 2005, 2007, 2010년도 하계 침투치 한전계통이 이용되었으며, 조류계산이 수렴하지 않는 가혹한 상정사고에 대하여 선로정수 연속 조류계산을 적용  $\nu$ -V 곡선의 꼭지점에서 계산된 모선 감도 정보로서 취약모선을 선정한다. 다음으로 조류계산 수렴을 위한 모선 별 최소 무효전력량을 산정하고, 이를 감도해석을 통한 취약모선의 순위와 비교한다.

2. 본 론

2.1 선로정수 연속 조류 계산

일반적인 연속조류계산(CPF, continuation Power Flow)은 예측과정(Predictor)과 수정과정(Corrector)으로 이루어져 있다.[6,7,8] 즉, 연속조류계산은 기본 조류해를 계산할 수 있다는 가정하에 있다. 그러나 계통이 해를 갖지 않는 영역에 존재한다면 조류계산은 계통 해석을 수행할 수 없다. 이 문제를 해결하기 위하여, 상정사고 시 선로정수 임피던스 변화에 따라 조류해의 경로를 추적하는 선로정수 연속조류계산을 사용한다.[9]

2.1.1 전력조류 방정식의 재구성

상정사고 시 선로정수 임피던스 변화를 고려하기 위하여, 선로정수를 파라미터화 하여, 전력조류 방정식을 재구성한다. 그림 1은 모선 i와 j에 연결된 선로를  $\pi$ 형 등가회로로 나타내었다.

선로정수 어드미턴스 값의 크기 조정을 위해 파라미터( $\nu$ )를 적용선로의 직렬 및 병렬 어드미턴스에  $(1-\nu)$ 를 곱하여  $\nu$ 가 0일 경우는 정상상태를  $\nu$ 가 1일 경우는 상정사고 후의 선로탈락을 표현한다. 모선 i에서의 파라미터( $\nu$ )가 도입된 전력 조류 방정식은 다음 식과 같이 수정된다.

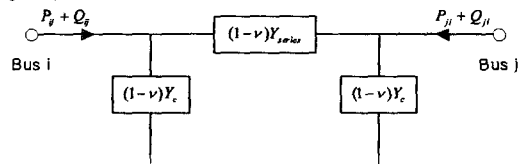


그림 1. 상정사고의 선로 정수 파라미터화

$$0 = |V_i|^2 G_{ii}^{new} + |V_i| \sum_{k \neq i}^{(1)} |V_k| [G_{ik} \cos(\theta_{ik}) + B_{ik} \sin(\theta_{ik})] + |V_i| |V_j| [G_{ij}^{new} \cos(\theta_{ij}) + B_{ij}^{new} \sin(\theta_{ij})] + P_j(V_i, V_j, \nu) - P_i^{nd} \quad (1)$$

$$\begin{aligned}
0 = & |V_i|^2 B_{ii}^{inv} \\
& + |V_i| \sum_{i \neq j} |V_j| [G_{ij} \sin(\theta_{ij}) - B_{ij} \cos(\theta_{ij})] \\
& + |V_j| |V_i| [G_{ji}^{inv} \sin(\theta_{ji}) - B_{ji}^{inv} \cos(\theta_{ji})] \\
& + Q_{ij}(V_i, V_j, \nu) - Q_{ij}^{ind}
\end{aligned} \quad (2)$$

where,

$$\begin{aligned}
P_{ij}(V_i, V_j, \nu) = & (1-\nu) \{ |V_i|^2 G_{ij}^{br} \\
& + |V_j| |V_i| [G_{ij}^{br} \cos(\theta_{ij}) + B_{ij}^{br} \sin(\theta_{ij})] \}
\end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned}
Q_{ij}(V_i, V_j, \nu) = & (1-\nu) \{ -|V_i|^2 B_{ij}^{br} \\
& + |V_j| |V_i| [G_{ij}^{br} \sin(\theta_{ij}) - B_{ij}^{br} \cos(\theta_{ij})] \}
\end{aligned} \quad (4)$$

### 2.1.2 확대 자코비안(Augmented Jacobian)

선로정수를 파라미터화한 수정된 전력조류 방정식을 연속 알고리즘에 적용할 경우, 선로정수 파라미터( $\nu$ )를 상태변수로 포함시킨 확대 자코비안을 이용한다. 선로정수 연속 조류계산에 이용된 n 모선계통의 확대 자코비안  $J_A$ 는 다음과 같이 표시된다.

$$J_A = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_T}{\partial \delta} & \frac{\partial P_T}{\partial V} & \frac{\partial P_T}{\partial \nu} \\ \frac{\partial Q_T}{\partial \delta} & \frac{\partial Q_T}{\partial V} & \frac{\partial Q_T}{\partial \nu} \\ \mathbf{e}_k \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$P_T \in R^{n-1}, Q_T \in R^{n-npv-1}$$

기존 자코비안의 행과 열에 한 줄씩 추가되어 전력조류 자코비안이 특이성(Singularity)을 갖더라도 확대 자코비안은 특이성을 극복할 수 있으므로, 선로정수 연속 조류계산으로 작성된  $\nu$ -V 곡선은 임계점에서 해의 발산 문제가 존재하지 않는다.

확대 자코비안에서 볼 수 있듯이, 연속 알고리즘의 예측과정과 수정과정에는 본래의 식에 하나의 식을 덧붙이는 파라미터화 과정이 필요하다. 본 논문에서는 국부적인 파라미터화 기법(Locally Parameterization)을 이용하고 있다.

국부적인 파라미터화 기법은 기존의 문헌에 언급된 Flueck 등이 사용한 호길치 파라미터화 기법(Arclength Parameterization)에 비교하여 확대 자코비안의 마지막행이 비영요소가 채워져 있지 않으므로, 자코비안의 마지막 행이 소성을 갖고 있어 역행렬을 구하기 위한 행렬분해(Matrix Decomposition)시 생생항(Fill-in)의 발생을 줄이려는 선행 작업이 필요 없는 장점이 있다.

### 2.2 조류계산 수렴을 위한 취약지역 선정방안

본 장에서는 조류계산 수렴을 위한 취약지역 선정방안을 제시한다. 먼저, 선로정수 연속 조류계산을 사용하여 가혹한 상정사고를 선별하고, 선로정수 파라미터의 임계점에서 감도해석을 수행하여 취약지역을 산정한다.

#### 2.2.1 가혹한 상정사고의 선별

일반적인 전력 조류계산에서 이용되는 뉴턴-랩슨법의 비수렴 원인은 전력조류 자코비안이 특이성을 갖는 경우(III-Condition)와 조류해의 초기 추정값이 수렴영역 밖에 존재하는 경우(Bad Initial Guess), 해가 존재하지 않는 경우(Unsolvable)로 나눌 수 있다. 그러나 강한 수렴성을 갖는 연속 알고리즘을 적용하면 자코비안의 특이성으로 인한 문제는 해결된다. 그리고 선로정수 연속 조류계산을 사용하면 뉴턴-랩슨법의 초기 추정값이 수렴영역 밖에 존재하여 발산하는지 혹은 실제 해가 존재하지 않는지를 판별할 수 있다. 그림 2는 상정사고 전 정상상태에서부터 사고 후의 상태까지 선로정수 연속조류계산을 이용하여  $\nu$ -V 곡선을 나타내었다.

그림 2에서 보면, case1과 같이  $\nu$ -V 곡선의 선로정수

파라미터 임계값이 1이 넘는 경우에는 상정사고 후( $\nu=1$ ) 모선의 전압이 변하긴 하지만 그 점에서의 조류해가 존재한다. 그러나 case2와 같은 사고에서는 상정사고 후( $\nu=1$ ) 조류해가 존재하지 않은 사고 후 불안정점을 지나 계통이 발산하는 경우로 판단할 수 있다. 이렇게  $\nu$ -V 곡선의 임계값이 1이 되지 않는 상정사고가 가혹한 상정 사고로 선별된다.

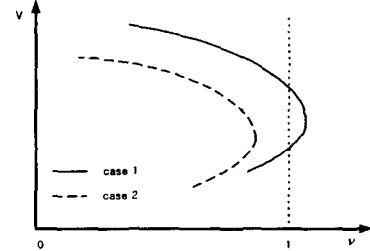


그림 2.  $\nu$ -V 곡선을 통한 상정사고의 선별

#### 2.2.2 감도 해석을 통한 취약지역 선정

선별된 가혹한 상정사고에 대하여  $\nu$ -V 곡선의 임계점에서 감도해석을 수행하여 취약지역을 선정한다. 본 절에서는 이때의 감도해석 방법으로 자코비안 행렬의 법선 벡터(Normal Vector)를 사용하였다.

계통 방정식을 f로 하고, x를 상태변수, p를 제어 파라미터로 할 때, 선로정수 파라미터를 적용한 계통 방정식은 식(6)과 같이 쓸 수 있다.

$$f(x, \nu, p) = 0 \quad (6)$$

$$(f \in R^{2n}, \nu \in R^1, p \in R^m)$$

이때 제어 파라미터에 대한 선로정수 파라미터의 감도는 식 (6)을 미분하여, 식 (7)의 양변에 영좌고유벡터(Zero Left Eigenvector)를 곱하여 구하게 된다.

$$-f_p dp = f_\nu d\nu \quad (7)$$

$$(f_p \in R^{2n \times m}, dp \in R^{m \times 1}, f_\nu \in R^{2n \times 1}, d\nu \in R^{1 \times 1})$$

문헌상에 언급된 것처럼, 영우고유벡터(Zero Right Eigenvector)는 전압 불안정점에서의 상태변수들이 초기 변화를 나타내어 전압붕괴 시 상태변수들의 벡터적인 변화 방향을 의미하며, 영좌고유벡터는 파라미터 평면에서 조류해가 존재하는 지역과 존재하지 않는 지역의 경계면과 수직을 이루어 법선벡터의 의미를 가지게 되어 영우고유벡터의 방향, 즉 붕괴의 방향으로 투영하는 의미를 지닌다. 파라미터 평면상에서 붕괴의 방향으로 투영한 효과를 가지는  $f_x$ 의 영좌고유벡터를 위식의 양변에 곱하여 i번째 제어 파라미터에 관하여 정리하면 식 (8)과 같이 된다.

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \nu}{\partial p_i} = & -v^T f_{p_i} / v^T f_\nu \\
\left( \frac{\partial \nu}{\partial p_i} \in R^{1 \times 1}, v^T \in R^{1 \times 2n}, f_{p_i} \in R^{2n \times 1} \right)
\end{aligned} \quad (8)$$

여기서 우변의 분모는 m개의 제어 파라미터에 대해서 모두 동일한 스칼라 값( $v^T f_\nu \in R^{1 \times 1}$ )을 가지며, 분자의  $f_{p_i}$ 는 어떤 제어모선에서 같은 상수 값을 갖는 열벡터가 된다. 즉, 제어 모선인 i 모선에 해당하는 성분이 모두 동일한 값을 가지고 나머지 성분이 모두 0이므로, 결국 m개의 제어 파라미터에 대하여 선로정수 파라미터의 감도는 해당 제어 파라미터 모선의 영좌고유벡터 성분의 상대적인 크기로 결정되어 단순히 영좌고유벡터 성분 크기를 비교하여 파라미터에 대한 모선들의 상대적인 감도를 구해낼 수 있다. 그러므로 가장 큰 법선벡터성분을

가지는 모선이  $\nu$ -V 곡선에서 선로정수 파라미터의 임계값을 변화시키는데 효과적인 모선의 위치가 된다.

### 2.3 사례연구

사례연구에 이용된 계통은 2005년, 2007년, 2010년도 첩두치 부하에서의 한전 계통이며, 먼저 선로정수 연속조류계산을 수행하여 가혹한 상정사고를 선별하고, 이때의  $\nu$ -V 곡선 임계점에서 법선벡터를 이용한 감도해석을 수행하여 취약지역을 산정한다.

#### 2.3.1 가혹한 상정사고의 선별

가혹한 상정사고 선별을 위해 상정사고별  $\nu$ -V 곡선을 통한 임계점을 확인하였다. 상정사고는 2회선 사고를 고려하였다.

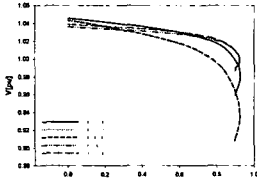


그림 4. 신가평-신태백('05)

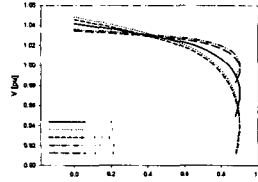


그림 5. 신가평-신태백('07)

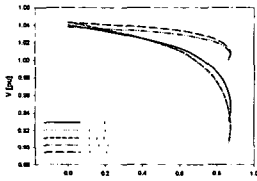


그림 6. 신가평-신태백('10)

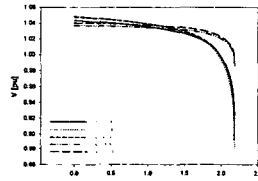


그림 7. 신가평-의정부('10)

그림 4~6의 상정사고는 선로정수 파라미터( $\nu$ )가 1일 때, 조류해가 존재하지 않는 가혹한 상정사고 이고 그림 7의 상정사고의 경우는 선로정수 파라미터( $\nu$ )가 1일 때, 조류해가 존재하는 사고이다.

표 1. 선별된 상정사고

년도	FROM	TO	$\nu_{critical}$	선로용량
2005년	신가평	신태백	0.924617	765 kV
	신안성	신서산	0.974275	765 kV
2007년	신가평	신태백	0.900615	765 kV
	신안성	신서산	0.900615	765 kV
2010년	신가평	신태백	0.874441	765 kV
	신안성	신서산	0.764140	765 kV

표 1에서 보는 것과 같이 765kV 2회선 사고를 매우 가혹한 사고로 선정, 본 절에서 년도별 765kV 2회선 사고를 표 2와 같이 4가지 방법을 통하여 상세 모의를 실시하였다.

표 2. 상세모의 방안

방안	내용	방법
방안1	상정고장만 고려	2회선 사고
방안2	리액터차단 고려	사고모션 리액터 차단 (CASE1 신가평3: 300Mvar, 신태백3: 400Mvar CASE2 신안성3: 300Mvar, 신서산3: 400Mvar)
방안3	발전기 차단 고려	CASE1 용진3호기 out(2005, 2007, 2010년도) 한수원, 수도권 발전기를 제외한 모든 발전기 scale 증가 (1000MW) CASE2 당진1호기 out(2005년도) 한수원, 수도권 발전기를 제외한 모든 발전기 scale 증가 (500MW) CASE2 당진1,2,3호기 out(2007, 2010년도) 한수원, 수도권 발전기를 제외한 모든 발전기 scale 증가 (1500MW)
방안4	리액터-발전기 차단 동시고려	

이는 실제 계통에서 765kV 사고가 발생하였을 때 한

전에서 취하는 계통보호 제어과정에 부합하는 결과를 얻기 위함이다. 표 2에서처럼 각 년도별 가혹한 사고를 상세모의를 한 결과 실제 한전에서 계통보호 제어전략과 가장 유사한 방안 4인 경우 2005년도 계통에서는 수렴하는 결과를 얻었다. 상세 모의결과 임계점에서의 선로정수 파라미터 값을 표 3에 정리하였다.

표 3. 상세모의별 선로정수 파라미터 임계값( $\nu_{critical}$ )

CASE	2005년도	2007년도	2010년도
신태백T/L_방안1	0.924617	0.900615	0.874441
신태백T/L_방안2	0.959952	0.935135	0.914306
신태백T/L_방안3	0.974581	0.944466	0.926605
신태백T/L_방안4	1.000001	0.971670	0.957522
신안성T/L_방안1	0.974275	0.900615	0.764140
신안성T/L_방안2	1.004357	0.921798	0.809996
신안성T/L_방안3	0.987264	0.915735	0.865602
신안성T/L_방안4	1.015871	0.960343	0.921895

#### 2.3.2 감도해석을 통한 취약지역 산정 및 검토

선별된 상정사고에 대하여 산정된 취약모선에 실제 무효전력을 투입하여 그 결과를 비교 검토하였다. 취약 지역은 한전계통에서 전압안정도 측면에서 중요시 되는 모선 20개를 산정하여 검토하였다.

표 4. 주요 감시모선

모선명	모선번호	모선명	모선번호
양주3	1400	미금1	1710
미금3	1700	동서울1	2510
동서울3	2500	신시흥1	3610
신시흥3	3600	화성1	4410
화성3	4400	신성남1	4510
신성남3	4500	신용인1	4710
신용인3	4700	신제천1	5710
신제천3	5700	아산1	6960
아산3	6950	신가평3	1200
양주1	1410	신안성3	4100

표 4에서 보는 바와 같이 주요 감시모선을 설정 후 연도별로 감도해석을 수행하여 취약모선을 산정하였다. 그 중에서 상위 5개 모선에 대한 상정사고별 및 년도별로 표 5와 같이 정리하였다.

표 5. 각 년도별 가혹한 상정사고에 대한 취약모선

년도	순위	신태백 T/L				신서산 T/L			
		방안1	방안2	방안3	방안4	방안1	방안2	방안3	방안4
2006년	1	신제천1	신제천1	미금1	미금1	신용인1	신성남1	신성남1	신성남1
	2	신제천3	미금1	동서울1	동서울1	신용인1	신용인1	동서울1	신용인1
	3	미금1	신제천3	미금3	신용인1	신용인3	신성남3	신성남3	신성남3
	4	동서울1	동서울1	신성남1	신성남1	신안성3	신안성3	미금1	신안성3
	5	신가평3	신가평3	동서울3	동서울3	신성남3	신용인3	신안성3	신용인3
2007년	1	신제천1	신제천1	동서울1	동서울1	신제천1	신제천1	신용인1	신용인1
	2	미금1	신제천3	미금1	미금1	미금1	신제천3	동서울1	신성남1
	3	동서울1	동서울1	신용인1	신용인1	신용인1	동서울1	신성남1	동서울1
	4	신제천3	미금1	신제천1	동서울3	신제천3	미금1	미금1	미금1
	5	미금3	동서울3	동서울3	미금3	미금3	동서울3	신용인3	신용인3
2010년	1	미금1	동서울1	미금1	미금1	미금1	미금1	미금1	미금1
	2	동서울1	미금1	동서울1	신용인1	신용인1	동서울1	신용인1	신용인1
	3	미금3	미금3	신용인1	동서울1	신용인1	동서울1	신용인1	동서울1
	4	동서울3	동서울3	미금3	미금3	신용인3	신용인3	미금3	신용인3
	5	신용인1	신용인1	동서울3	동서울3	미금3	미금3	신용인3	미금3

그리고 실제 무효전력을 선정된 모선에 투입하여 투입 용량에 따른 모선별 순위를 표 6으로 나타내었다. 각 연도별 감도해석을 통한 주요모선의 취약지역 위치 선정 결과와 투입량사이 차이가 있지만 대체적인 경향은 비슷한 것으로 나타났다. 그러나  $\nu$ 값이 1과 차이가

많이 나는 경우에 있어서는 감도해석과 투입량 사이에서 상이한 결과를 보였다. 이것은 선로정수 연속 조류계산에서 사고가 심각할수록  $V-V$  폭선에서 폭지점에서의 특성이 실제 선로탈락 시 특성과 다소 차이가 발생하여 이러한 차이점이 나타난다고 할 수 있다. 이는 표 3에서 보듯이 선로정수 연속조류 계산 결과  $V$ 값이 1에서 멀수록 실제 투입량과 감도해석의 결과는 그 차이가 큼을 확인할 수 있다.

표 6. 조류계산 수렴을 위한 최소 투입량에 대한 순위

년도	순위	신태백 T/L				신서산 T/L			
		방안1	방안2	방안3	방안4	방안1	방안2	방안3	방안4
2005년	1	신계천3	신계천1	미금1		신용인1		신성남1	
	2	신계천3	신계천3	동서울1	조류	신성남1	조류	신성남1	조류
	3	동서울1	동서울1	동서울3	계산	동서울1	계산	신성남3	계산
	4	미금1	미금1	미금3	수렴	신안성3	수렴	동서울1	수렴
	5	신용인1	신용인1	신성남1		신용인3		미금1	
2007년	1	신계천1	신계천1	신계천1	동서울1	아산1	화성1	화성1	동서울1
	2	신계천3	신계천3	신계천1	미금1	화성1	아산1	신용인1	신용인1
	3	동서울1	동서울1	신계천3	동서울3	아산3	화성3	화성3	화성1
	4	미금1	신용인1	미금1	신용인1	화성3	아산3	신성남1	신성남1
	5	신용인1	동서울3	신용인1	미금3	신계천1	신서울1	신용인3	신용인3
2010년	1	신계천1	신계천1	동서울1	동서울1	화성1	신용인1	신용인1	신용인1
	2	신계천3	신계천3	신용인1	미금1	화성3	신성남1	동서울1	신성남1
	3	동서울1	동서울1	신계천3	동서울3	동서울1	동서울1	신용인3	신안성3
	4	신용인1	미금1	미금1	신용인1	신성남1	신용인3	미금1	동서울1
	5	동서울3	신용인1	신계천3	미금3	아산1	미금1	미금3	미금1

감도해석 결과와 투입량 사이의 비교 순위를 몇 가지 경우에 대하여 표 7에 정리하였다.

표 7. 감도해석 순위와 투입량 순위의 비교

CASE	순위	감도해석	투입량
2007년 신태백 T/L 방안4	1	동서울1	동서울1
	2	미금1	미금1
	3	신용인1	동서울3
	4	동서울3	신용인1
	5	미금3	미금3
2007년 신서산 T/L 방안4	1	신용인1	동서울1
	2	신성남1	신용인1
	3	동서울1	화성1
	4	미금1	신성남1
	5	신용인3	신용인3
2010년 신태백 T/L 방안4	1	미금1	동서울1
	2	신용인1	미금1
	3	동서울1	동서울3
	4	미금3	신용인1
	5	동서울3	미금3

표 7에서와 같이 조류해가 수렴하지 않는 가혹한 상정사고에서 취약지역을 선정하는 방안으로 선로정수 연속 조류계산을 이용, 임계점에서의 감도해석을 통하여 취약 지역을 선정하는 것은 실제 조류계산 수렴을 위한 최소 투입량 사이의 순위와 비교해서 정확히 일치하지는 않지만 비슷한 경향을 가짐을 확인하였다. 이는 선로정수 연속조류계산을 이용한 취약지역 선정방안의 유용성을 나타낸다. 조류계산이 수렴하지 않는 가혹한 상정사고의 경우에 있어서는 취약지역을 선정하는 방안이 없었으나 위와 같이 선로정수 연속조류계산을 이용한다면 취약지역을 선정하는 좋은 지표가 될 수 있음을 확인 하였다.

### 3. 결 론

본 연구에서는 선로탈락 사고 후에 계통이 운전점을 잃는 가혹한 상정사고의 경우, 조류해의 solvability를 확보하기 위한 취약지역을 선정하는 방안을 제시하였다.

기존의 방법은 무효전력 여유(Reactive Power Margin) 해석을 통하여 취약모션을 선정하였지만 이 방법은 조류계산이 수렴하는 상정사고의 경우에서만 가능하다는 단점이 있었다. 이러한 단점을 보완하기 위해서 선로정수 연속조류계산을 이용하여 임계점에서의 감도해석을 통한 취약지역 선정방안을 제시하였다. 또한 선정된 취약지역에 직접 조류계산 수렴을 위한 최소 투입량을 선정해 봄으로써 감도해석에 의한 취약지역 선정 결과를 검토하였다. 검토 결과 선정된 가혹한 상정사고 중에서 선로정수 파라미터( $V$ )의 값이 1에 가까운 사고일수록 취약지역의 경향이 비슷하게 나타남을 확인하였다. 이는 선로정수 파라미터 값이 1에 가까울수록 임계점에서의 계통상황이 실제 선로탈락 사고에서의 계통상황을 잘 반영하기 때문이다. 즉, 계통의 상황은 비선형인 반면 감도는 선형감도를 나타내기 때문에 이러한 오차가 발생하는 것이다. 그러나 그 경향은 비슷하기 때문에 제시된 방안의 유용성은 확인할 수 있었다.

전압안정도 측면에서 취약지역을 정확히 선정하는 것은 매우 중요한 일이다. 또한 주어진 사고가 가혹할수록 중요도는 더 커지게 된다. 그런데 선로정수 파라미터( $V$ )가 1보다 작을수록 가혹한 사고를 의미하는데 이러한 경우의 취약지역 선정의 정확도는 떨어지고 있다. 따라서 앞으로 선로정수 파라미터가 1과 먼 사고의 경우에 대한 취약지역 선정방안의 연구가 필요하다.

### 감사의 글

본 연구는 전력 기술개발 기반기금의 지원에 의해 수행 되었으며, 이에 감사를 드립니다.

### [참 고 문 헌]

- [1] IEEE/PES Power System Stability Subcommittee, "Voltage stability assessment, procedures and guides," IEEE Report Final Draft, 2000.
- [2] T. Van Cutsem, "A method to compute reactive power margins with respect to voltage collapse," IEEE Trans. Power Systems, vol. 6, no. 1, pp. 145-156, Feb. 1991.
- [3] 우리나라 전력계통에서의 여러가지 사고현상별 취약개소 도출 및 해소 방안 연구, 최종보고서, 한국전력거래소, 2002.
- [4] B. Lee, H. Song, S. Kim, S.-H. Kwon, G. Jang and V. Ajjarapu, "A study on determination of interface flow limits in the KEPCO system using the modified continuation power flow(MCPF)," IEEE Trans. Power Systems, vol. 17, no. 3, pp. 557-564, Aug. 2002.
- [5] A.J. Flueck, J.R. Dondeti, "A new continuation power flow tool for investigating the nonlinear effects of transmission branch parameter variations", IEEE Trans. PWRs, vol. 15, no. 1, pp. 223-227, Feb. 2000.
- [6] V. Ajjarapu, C. Christy, "The continuation power flow: a tool for steady state voltage stability analysis", IEEE Trans. PWRs, vol. 7, no. 1, pp.416-423, Feb. 1992.
- [7] I. Dobson, "Observations on the Geometry of Saddle Node Bifurcation and Voltage Collapse in Electrical Power Systems", IEEE Trans. Circuit and Systems, vol. 39, no. 3, pp. 240-243, March 1992.
- [8] B. Lee and V.Ajjarapu, "Invariant subspace parametric sensitivity(ISPS) of structure preserving power system models", IEEE Trans. PWRs, vol. 11, no. 2, pp. 845-850, May 1996.
- [9] 이주호, 송화장,이병준 "선로정수 연속조류법을 이용한 수 정계어 방안에 관한 연구", 전력계통연구회 제37회 춘계학술대회 논문집, pp.30-34, 2003.