지수를 적용한 수도권 융통전력한계량 계산

이운희 강명장 송석하
한국전력거래소

The Calculation Method with index for the Transfer Power Limit to Capital Area

Lee, woonhee, Kang, Myung-Jang, Song, Sukha,
KPX (Korea Power Exchange)

Abstract - We have limitted the transfer power to capital area below a certain level which is called "The Capital Area Transfer Power Limit", and calculated on every Thursday for the application next week. This level is very important in our network operation, because if this level is not set properly, our power network can be fallen under great danger in case of a fault among the transfer power line. But the calculation procedure for the limit level is so complicated and iterative that it made us spend much time and do much work. So, when a sudden trip of the related facility to the limit level, we can't recalculate the limit level fast enough. And this can drop our network reliablity below our standards, therefore our network can be dangerous. To avoid this kind of problems, we have figured out a method to calculate simply the limit level. That method uses the index related to the level. We think this method can make short of the calculation procedures for the level. This paper deals with the simplified metod for the calculation of the level limit.

1. 서 론

우리나라 전력계통의 대표적인 특징을 2가지로 요약하면, 대규모 전원단지 구성과, 수도권 부하 집중이라고 할 수 있다. 그 중에서도 수도권 부하 집중으로 인하여 발생하는 계통현상은 우리나라 전체 계통의 안전을 위협할 수 있는 매우 중요한 계통운영 요소이다. 하계피크시 계통부하를 기준으로할 때 수도권 부하는 전체 계통부하의 41% 정도 수준으로 매우 집중되어 있으나, 수도권 발전력은 이 지역 부하의의 절반 수준으로 매우 낮다.

한편, 수도권 계통은 6개의 송전선로 루트를 통하여 주요 전원단과 연계되어 있으며 수도권의 부족한 전력은 이들 연계 송전선로를 통하여 융통되고 있다. 그러나 수도권 융통전력은 제한 없이 필요한 만큼 받을 수 있는 것이 아니라 계통운영 상황에 따라 가변적인 어떤 한계량을 초과하지 않도록 송전제약을 설정하여 운영하고 있다. 이 한계량은 송전선로의 연속 열내량 부족(과부하)으로 인한 것이 아니라, 특정 수도권 융통선로 고장시 수도권 또는 전체 계통의 전압붕괴를 대비하여 설정된 것이다.

수도권 융통전력한계는 매 시간 단위로 계산되어 적용되며, 계산 절차가 매우 복잡하고 많은 시간이 소요되는 지루한 과정이다. 본 논문에서는 이와 같은 융통전력 계산 절차를 간소화 하기 위하여 계통운영상황 변화에 대한 융통전력한계량 변화 지수를 계산하고 적용하는 방법에 대하여 살펴 본 결과를 논하고자 한다.

2. 본 론

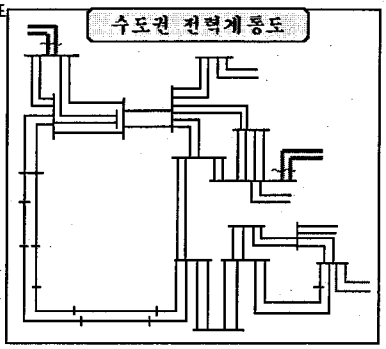
2.1 수도권 전력계통의 특징

수도권은 계통부하가 집중되어 있을 뿐만 아니라 이 지역에는 초기에 설치된 열병합 발전기들이 대부분이며, 최근에 설치되는 등종의 발전기에 비하여 열효율이 상당히 낮은 편이다. 따라서 이 지역의 발전기들은 열공급이 없다면, 타 지역 발전기에 비해서 발전연료비 단가가 높기 때문에 계통에 병입되는 기회가 상대적으로 낮게 된다. 이런 사유로 인하여 계통부하가 적은 심야 시간대 또는 휴일에는 발전연료비순으로 발전한다면 수도권 발전기는 거의 운전되지 못한다.

또한, 수도권지역은 계통부하가 집중되어 있으며 대부분의 송전선로가 지중케이블로 구성되어 있다. 따라서 이 지역에는 심야 경부하와 주간 중부하시 무효전력 불균형 해소를 위하여 많은 Shunt Reactotor와 Shunt Capacitor 가 설치, 운영되고 있다. 뿐만 아니라 융통선로에 의한 많은 양의 전력이 타지역으로부터 융통되는 특징을 가지고 있다. 간단히 말한다면, 수도권 전력계통은 무효전력 제어가 매우 어려운 계통이라고 할 수 있다.

2.1.1 전력계통 구성

그림1은 우리나라 수도권지역의 345kV 이상 송전망에 대한 전력계통도를 나타낸 것이다. 그림에서 적색으로 표시된 부분은 765kV 융통선로를, 청색으로 표시된 부분은 345kV 융통선로를 나타내며, 흑색으로 표시된 부분은 그 외의 345kV 송전선로 구성를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 수도권 전력계통은 크게 2가지로 분류하여 생각할 수 있다. 그 중 하나는 융통전력 수송선로이며, 다른 하나는 수도권 지역을 계통을 서로연결하는 환상망선로구성이다. 또한, 수도권 전력계통은 그림상에서 하단 부분에 표시된 인천지역에 발전력이 집중되어 있으며, 부하는 경기북부 지역과 경기서남부 지역에 편중되어 있다.



2.1.2 융통선로 및 융통전력

수도권 지역은 부족한 전력을 타 지역으로부터 융통하고 있으며, 융통 송전선로는 6개 루트의 12개 회선으로 구성되어 있다. 이중 2개 루트는 765kV 선로이며, 나머지 4개 루트는 345kV 선로이다. [그림1]

또한, 수도권 융통선로는 2개 지역의 대단위 전원단과 수도권 계통을 연결하는 연계선로이며, 수도권 북부지역과 서남부지역에 연결되어 이 지역의 전력공급을 담당하고 있다. 영동지역의 울진N/P와 중부지역의 태안T/P, 당진T/P, 보령T/P 및 보령C/C는 수도권 융통선로의 전력전송을 위한 주 전원이다..

2.1.3 융통선로의 특성

수도권 융통루트는 다음과 같은 몇가지 특징을 가지고 있다. 그 특징은 첫째, 장거리 송전선로이기 때문에 충전용량이 매우 클 뿐만 아니라, 전력전송을 위한 무효전력 소비가 크다. 둘째, 무효전력 수급이 원활치 못한 지역의 전력공급을 담당하고 있다. 셋째, 765kV급 융통선로에 2회선 고장이 발생하면 연계된 전원단 발전기에 동기탈조가 발생하며, 이를 해소하기 위한 대책으로 이들 선로의 2회선 고장시 전원단 발전기를 자동으로 Trip 시키는 고장파급방지장치(SPS : Special Protection System)가 설치되어 상시운영되고 있다. 넷째 하계 피크부하시 수도권 발전력부족 발생 및 상시 융통전력제약 완화를 위하여 765kV급 융통선로의 2회선 고장시 수도권 일정부하를 자동하단하는 SPS가 설치되어 상시운영되고 있다.
마지막으로 상시 수도권 융통전력제약 완화를 위하여 765kV급 융통선로 2회선 고장시 765kV 융통선로 양단 345kV 변전소의 분로리액터 자동차단하는 장치가 설치되어 상시운영되고 있다는 것이다.

2.1.3 융통전력 한계량

수도권지역 계통은 지역내의 부하수준에 비하여 발전력이 절대적으로 부족할 뿐만아니라 경제적인 이유 때문에 타 지역으로부터 전력을 융통하고 있으나, 이 융통전력도 수도권에서 필요로하는 양만큼 무제한적으로 융통할 수 있는 것이 아니라 일정양 이상 융통할 수 없는 제약이 있다. 이 제약양을 **"수도권융통전력한계량"** 이라고 한다.
이 제약은 수도권융통선로 2회선 고장 발생시 수도권의 전압불안정 또는 전압붕괴를 대비하여 설정된 것이다. 수도권의 345kV 계통은 환상망을 형성하고 있으나 수도권내 발전력이 편중되어 있기 때문에 발전력이 부족한 지역에서 무효전력 공급에 큰 변동이 발생하는 경우 속응성 있는 무효전력 공급이 이루어지기 어렵다. 주요 수도권융통선로가 2회선 고장으로 차단되면, 차단된 지역의 전력공급 루트가 길어지게 되어 무효전력 소모가 증가하고 그 결과로 무효전력 부족이 발생하지만 속응성있는 무효전력 공급이 이루어지지 못하므로 수도권에는 전압불안정이 발생하고, 심하면 전압붕괴까지 이르게 된다. 이러한 계통현상으로 인하여 수도권계통의 광역정전 또는 우리나라 전체계통의 정전이 발생할 수 있기 때문에 이를 방지하기 위한

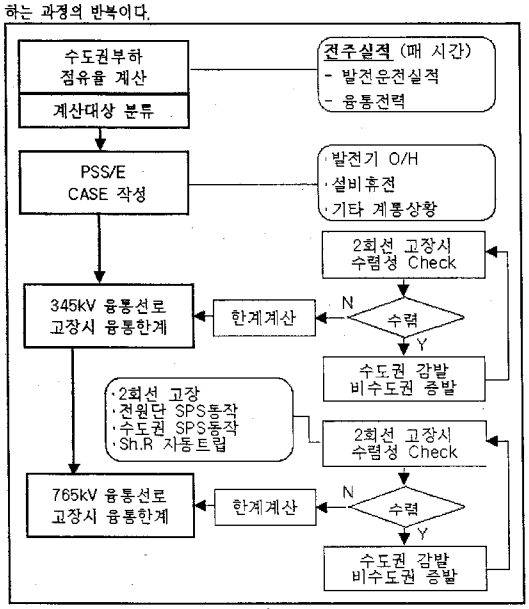
대책으로 수도권에 일정전력 이상이 융통되지 않도록 계통운영을 한다.

2.2 수도권 융통전력 한계량 계산방법

수도권 융통전력한계량 계산은 매주 목요일에 다음 일주일 동안에 대한 한계량을 계산하게 된다. 계산 방법은 일주일을 토/일/월/평일 로 구분하고 각각의 구분된 요일에 대하여 매 시간별로 전체 계통부하와 수도권 점유율을 고려하여 특성이 유사한 시간대를 하나로 묶어서 분류한다. 각각의 분류된 시간대에 대하여 한계량계산을 위한 PSS/E CASE를 작성하고 계통해석을 통하여 한계량을 찾게 된다. 이렇게 계산된 결과는 일간 발전운영계획에 반영되고, 중앙급전사령실의 실시간 운전시스템에 입력되어 한계량을 제어하게 된다.

2.2.1 계산절차

수도권융통전력한계량 계산은 6개의 수도권융통선로 각각에 대하여 수행되며, 그 절차는 융통선로 2회선 고장시 조류해가 수렴하지 않을 때 까지 수도권 발전을 감발하고 비수도권발전을 증발하고 다시 2회선 고장을 모의하는 과정의 반복이다.



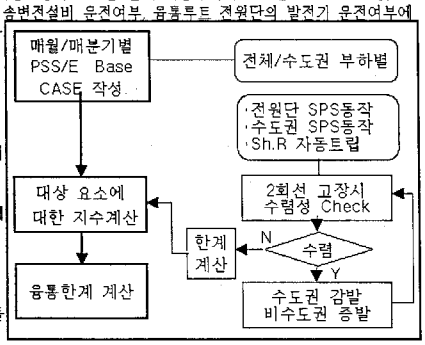
[그림2]

2.2.2 문제점

수도권융통전력한계량 계산에는 많은 복잡한 절차가 수반된다. 또한 작성해야할 PSS/E Case가 지나치게 많기 때문에 Case 작성에 많은 시간이 소요된다. 특히 융통전력에 영향이 있는 설비의 고장이나, 긴급/임시휴전이 발생하는 경우 신속하게 융통전력한계량을 전면 재검토해야 하는데, 이러한 상황 발생시 적절히 대처하기 위해서는 수도권융통전력한계량을 보다 신속하게 찾아낼 수 있는 방안이 필요하다.

2.3 지수를 적용한 수도권 융통전력 한계량 계산

수도권융통전력한계량의 크기는 전체 계통부하와 수도권부하의 점유율, 융통루트 인근의 송변전설비 운전여부, 융통루트 전원단의 발전기 운전여부에 따라 큰 영향을 받는다. 물론, 수도권계통의 조상설비와 융통루트 인근의 조상설비 운전은 한계량 크기에 큰 영향이 있지만 부하수준별로 일정 계통전압을 유지하므로 고려하지 않아도 된다. 한계량에 영향이 큰 이들 요소에 대하여 영향지수를 찾아내면 간단한 계산으로 신속하게 한계량을 계산할 수 있을 것이다. 구체적인 방법은 다음과 같다. [그림3]



매월 또는 매분기별로 필요한 여러 계통부하 수준에 대하여 발전기 Merit Order를 반영하는 PSS/E Base Case 작성한다. 각 Base Case에 대하여 한계량에 영향이 큰 요소들을 모의하여 영향지수를 찾아낸다. [그림3]은 이러한 절차를 나타낸 플로우차트 이다

2.3.1 수도권융통전력한계량 계산을 위한 지수도출 대상

다음은 수도권융통전력한계량과 관련한 지수도출 조사대상이다. [표1]

송전선로	변압기	발전기
신서산	신안성MTr	태안1기, 2기
당진화력	신서산MTr	당진1기, 2기
아산	신가평MTr	태안1기+당진1기
청양신온양	신안성신용인	태안1기+당진2기
신온양서서울	신청양	태안2기+당진1기
신안성신진천	신태백	태안2기+당진2기
청원	신제천	울진1기, 2기
신아산	곤지암동서울	계 통
청양	신안성신성남	전체/수도권 부하

2.3.2 수도권부하 점유율에 따른 융통전력한계량 분석

계통부하 6200만kW 수준에서 수도권부하 점유율에 따른 융통전력 한계량 감소 계산결과는 [표2]와 같다 [표2]

계통부하	수도권 점유율	한계량 감 소	계통부하	수도권 점유율	한계량 감 소
6200	41.9	기준	4200	41.9	기준
	39.9	58		39.9	35
	37.9	108		37.9	80
	35.9	187		35.9	127
	33.9	215		33.9	143
	31.9	281		31.9	277
5200	41.9	기준	3200	41.9	기준
	39.9	2		39.9	43
	37.9	29		37.9	76
	35.9	64		35.9	108
	33.9	109		33.9	156
	31.9	163		31.9	162

위의 계산결과로부터 각 계통부하 수준별로 수도권부하 점유율 변화에 대한 한계량감소 지수는 [표3]과 같다. [표3]

계통부하	수도권점유율 관련 적용지수	계통부하	수도권점유율 관련 적용지수
6200	28.1만 kW/%	4200	27.7만 kW/%
5200	16.3만 kW/%	3200	16.2만 kW/%

※ 적용지수 = 한계량감소/수도권 점유율감소, 평균치 적용

2.3.3 발전기 정지에 따른 융통전력한계량 분석

계통부하 6200만kW, 수도권부하 점유율 41.9% 수준에서 융통전력 전원단 발전기의 정지에 따른 융통전력 한계량계산결과는 [표4]와 같다. [표4]

부하수준	정지 발전기			한계량 감 소
	태안	당진	울진	
6200 2558 (41.9%)	1	-	-	-4
	2	-	-	-3
	-	1	-	12
	-	2	-	10
	1	1	-	-3
	1	2	-	8
	2	1	-	8
	2	2	-	25
	-	-	1	7
	-	-	2	-1

위의 계산결과로부터 한계량이 10만kW 이상 변하는 것만 택하여 발전기 정지에 따른 한계량계산 적용지수로 활용한다.

2.3.4 송전선로 정지에 따른 한계량 변화 분석

계통부하 6200만kW, 수도권부하 점유율 41.9% 수준에서 융통선로를 포함한 인근의 송전선로 정지에 따른 융통전력 한계량 변화에 대한 계산결과는 [표5]와 같다.

[표5]

부하수준	정지설비	한계량 감소
6200 2558 (41.9%)	신서산	76
	아산	84
	청양신온양	46
	신온양서서울	51
	청원	46
	신아산	69
	청양	28
	신청양	30
	신태백	41
	신제천	41

위의 결과는 지수도출을 위한 조사대상 송전선로 중 한계량 변화가 10만kW 이하인 선로는 제외하였으며, 위 표에서 한계량 감소치를 송전선로 정지에 따른 한계량계산 적용지수로 활용하면 된다.

2.3.5 변압기 정지에 따른 한계량 변화 분석

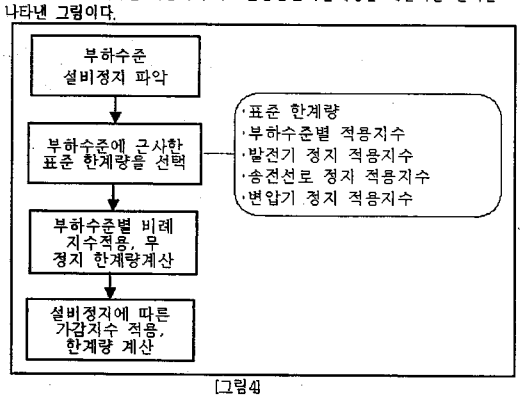
계통부하 6200만kW, 수도권부하 점유율 41.9% 수준에서 수도권 융통루트상에 있는 765kV 변압기 정지에 따른 융통전력 한계량 변화에 대한 계산결과는 [표6]과 같다. [표6]

부하수준	정지설비	한계량 감소
6200 2558 (41.9%)	신안성MTr	24
	신서산MTr	7
	신가평MTr	3

위의 계산결과로부터 한계량이 10만kW 이상 변하는 것만 택하여 변압기 정지에 따른 한계량계산 적용지수로 활용한다.

2.3.6 한계량 계산

다음 그림은 지수를 적용하여 수도권융통전력한계량을 계산하는 절차를 나타낸 그림이다.



[그림4]

2.3.7 향후계획

이 방법은 표준 Case가 많을수록 정도를 높일 수 있으므로, 표준 Case의 부하수준 간격을 촘촘히 할 필요가 있다. 그러나 Base Case가 많을수록 표준한계량과 적용지수를 계산하는데 많은 시간이 소요된다. 따라서 향후 과제로 표준한계량과 지수도출을 위한 PSS/E Base Case를 자동으로 생성하고 표준한계량 및 적용지수를 자동으로 계산하는 프로그램을 개발할 예정이다.

3. 결 론

우리나라 전체 전력계통의 안전에 매우 중요한 수도권 융통전력한계량계산에 많은 시간이 소요되므로, 계통고장 또는 긴급휴전등으로 인하여 한계량에 영향이 큰 설비가 정지되는 경우, 신속한 대응이 쉽지않기 때문에 계통신뢰도 저하를 초래할수 있다. 이를 개선하기 위한 방안으로 지수를 적용한 수도권융통전력한계량 계산방법을제시하였다. 이 방법은 지수도출을 위한 자동화 프로그램개발 등 후속 과제가 수행되면 실용화 될 수 있으리라고 생각한다. 물론, 본 논문에서 제시한 방법 이외에도 더 효율적인 방법이 있을 것으로 생각한다. 또한, 수도권융통전력한계량은 우리나라 전력계통의 중요한 운영요소이므로, 한계량 감소방안 등을 포함하여 지속적인 개선노력과 많은 사람들의 연구를 기대한다.

[참 고 문 헌]

[1] KPX, "수도권 융통전력한계량 계산"를 위한 업무절차서
[2] 이문희, "휴전검토 프로그램" 매뉴얼