

2000년 하계 첨두시의 지역별 송전손실 특성분석

남궁재용* 최흥관* 문영환* 임성환** 한용희**
한국전기연구소* 한국전력공사**

Analysis on Characteristics of Regional Transmission Loss based on the KEPCO's Peak Load Data of Year 2000

J. Y. Namkung* H. K. Choi* Y. H. Moon* S. H. Rim** Y. H. Han**
KERI* KEPCO**

Abstract - The transmission networks are not perfect conductors and a percentage of the power generated is therefore lost before it reaches the loads. This network loss contributes to the cost of supplying power to consumers, and must be considered if the most efficient dispatch and location of generators and loads is to be achieved.

In this paper, we propose an approximate calculation of marginal loss factors to analyze characteristics of regional transmission loss. These static marginal loss factors are approximately calculated based on the KEPCO's expected summer peak load data of year 2000.

1. 서 론

지금까지 경제급전에 사용되어 왔던 Penalty Factor가 발전기모선의 출력이 한 단위 증가한 경우의 계통손실 변화를 반영하기 위한 수치라면, 송전손실계수, 특히 한계손실계수는 임의의 모선에서의 부하수요가 한 단위 증가한 경우에 대한 계통전체의 손실변화를 나타내는 수치로서, 이 두 수치는 각각의 정의상 근사적으로 역수의 관계를 갖는다.

독점적인 전력공급사업을 유지하는 경우에는 Penalty Factor를 이용한 경제급전으로 발전기 연료비용의 최소화를 실현하는 데에 발전시스템의 목적이 있었다. 그러나, 다수의 발전사업자와 배전회사들이 존재하게 될 양방향 입찰시장 하에서는 경쟁이 치열해질 것이므로 가격급전에 의한 이윤최대화로 목적이 전환될 것이다. 또한, 송배전망의 목적도 과거의 단순한 전력계통의 감시에서 벗어나 전력수송의 최대화로 전환될 것이다. 그러므로, 이와 같이 변화하는 전력계통 운용의 변화사항에 대응하여 성공적인 전력산업 구조개편을 진행하기 위해서는 다양한 요구사항에 대한 준비가 되어 있어야 할 것이다. 특히, 공정한 양방향 입찰과 정산이 이루어지기 위해서는 송전손실을 반영한 경쟁환경이 조성되어야 할 것이다.

일반적으로 송전계통은 부하단으로의 전력전달과정에서 필연적으로 전력손실을 유발하고 있다. 이는 수용가에 대한 추가의 요금부담 원인이 되고 있으며, 효율적인 급전을 위한 필수 고려사항이 되고 있다. 본 논문에서는 국내 각 지역별 송전손실 특성을 분석하기 위한 한계손실계수의 간략 계산법을 소개한다. 그리고, 2000년 하계 예상첨두부하 시점의 한전 계통자료를 대상으로 하여 한계손실계수를 계산함으로써, 국내 각 지역별 한계손실계수의 현황을 분석한다.

2. 한계손실계수

2.1 손실계수의 정의

손실계수는 평균손실계수(Average Loss Factor)와

한계손실계수(Marginal Loss Factor)로 분류된다. 먼저, 평균손실계수를 수식으로 간략히 나타내면 다음과 같다.

$$\text{평균손실계수(ALF)} = 1 + \frac{\text{주어진 시간의 평균 손실}}{\text{주어진 시간의 평균 부하}}$$

한편, 국내에서는 장차 전력가격의 결정에 한계가격(SMP)을 적용할 것이므로 전력손실도 한계전력손실을 적용하는 것이 타당하다. 한계비용에 한계손실을 고려하는 것이 총비용측면에서의 한계비용이기 때문이다. 모선 r에서의 부하가 한 단위 증가한 경우의 한계손실계수(MLF)는 식 (1)의 전력수급조건을 대입하면, 근사적으로 식 (2)와 같이 계산된다.

$$\sum_{i=1}^N G_i = \sum_{k=1}^M P_k + P_{\text{loss}} \tag{1}$$

$$\text{한계손실계수(MLF)}_r = \frac{\Delta(\sum_{i=1}^N G_i)}{\Delta P_r} = \frac{\Delta(\sum_{k=1}^M P_k) + \Delta P_{\text{loss}}}{\Delta P_r} = 1 + \frac{\Delta P_{\text{loss}}}{\Delta P_r} \tag{2}$$

- 단, P_k : 모선 k에서의 부하
- P_{loss} : 송전손실
- G_i : 발전기모선 i에서의 출력
- N : 발전기 수
- M : 전체 모선 수

위의 식 (2)에서 알 수 있듯이 슬랙모선에서 부하가 증가한 경우는 한계손실계수가 1이 될 것이고, 수도권 지역에서도 같이 슬랙모선보다 손실을 더 많이 유발하는 모선의 경우는 그 값이 1을 초과할 것이다.

2.2 송전비용과 손실비용

전력계통의 계획 및 운용시에 전체 비용을 최소화하기 위하여 고려해야 할 원가요소 중 하나인 송전비용은 일반적으로 손실비용과 혼잡비용, 계통확충비용으로 나뉘어진다. 이러한 비용은 단기간적 관점에서만 고려하는 경우 손실비용과 혼잡비용으로 구분되며, 송전계약을 무시할 수 있는 계통에서는 손실비용만을 뜻하게 된다.

송전과 발전이 수직적으로 통합되어 있는 경우, 즉 발전회사가 분할되기 전의 한국전력공사와 같은 경우는 비용을 분리할 필요가 없기 때문에 송전비용의 산정에 큰 의미가 없었다. 이러한 경우에 있어서의 송전비용은 단지 줄여야 할 총비용의 일부분일 뿐이었다.

그러나, 국내 전력산업의 구조개편이 가시화되어가면

서 송전요금의 중요성이 점차 부각되고 있다. 제공하고 자 하는 송전서비스에 대한 투입비용이 정확히 산출되고 그 비용이 적절히 보상되도록 가격이 설정되어야만 공정한 경쟁환경이 조성될 것이기 때문이다.

양방향 시장이 시작되면, 발전사업자가 제시한 입찰가격 및 수요가가 지불하게 될 비용에는 송전비용이 고려될 것이다. 부하가 많고 전원이 부족한 지역에서는 한계손실계수가 큰 수치로 계산될 것이므로, 송전비용의 공평한 고려를 위하여 그 지역의 발전사업자에게는 입찰가격 제시 및 정산실행시 한계손실계수의 비율만큼 해택을 주게 되지만 그 지역 수요가에게는 그 비율만큼 비용을 더 부담시킬 것이다. 이와는 반대로, 전원이 풍부한 지역에서는 전원증가보다 부하증가를 유도하는 방향으로 입찰 및 정산이 이루어지게 될 것이다.

2.3 한계손실계수의 계산

본 논문의 목적은 국내 각 지역에서의 한계손실계수 분포현황에 대한 초기자료를 제공하는 데 있다. 실제로 전력시장에 한계손실계수를 적용하기 위해서는, 적어도 전년도 매 거래기간에 대한 실적자료를 이용하여 각 모선별로 한계손실계수를 계산하여야 하며, 또한 이렇게 구한 각 모선의 거래기간별 한계손실계수를 가중 평균하여 모선별로 하나의 수치를 제시하여야 만이 그 수치가 대표성을 가질 수 있다. 그러나, 1시간 단위로 거래가 이루어진다고 가정하여도 1년간 8760번의 거래가 발생하므로 이의 정확한 계산을 위해서는 막대한 계산소요시간이 요구되며, 계산을 위한 입력자료도 구하기가 어렵다. 그러므로, 본 논문에서는 개략적인 국내 한계손실계수 분포현황을 조사하기 위하여, 전력수요가 가장 많았던 2000년 하계 예상첨두부하 시점의 한전 계통자료를 대상으로 하여 다음과 같은 방법으로 각 모선에서의 한계손실계수를 계산하였다.

- 단계 1) 2000년도 하계 예상첨두부하 시점의 총 손실을 계산한다. 이 값은 기준계통에서의 총 손실로서 $Loss_{기준계통}$ 이라고 명명한다.
- 단계 2) 각 모선의 부하를 10MW 씩 증가시키며 그때의 총 손실을 계산한다. 기준계통에서 r 모선의 부하가 10MW 증가한 경우의 계통의 총 손실을 $Loss_r$ 라고 명명한다.
- 단계 3) 임의의 모선 r 에서 부하가 10MW 증가한 경우에 대한 전력계통 총 손실의 변화는 $(Loss_r - Loss_{기준계통})$ 으로 계산이 되며, 이때 부하가 한 단위 증가한 경우의 한계손실계수를 수식으로 나타내면 아래와 같다.

$$MLF_{2000년\ 예상첨두부하\ 대상} = 1 + \frac{(Loss_r - Loss_{기준계통})}{10}$$

- 단계 4) 계산된 각 모선의 한계손실계수를 전체 한계손실계수의 평균치로 나누어서, 평균값을 1로 맞춘다.

단계 3)까지의 계산과정에서 구한 한계손실계수는 r 모선의 부하증가에 대해 슬랙모선에서 추가로 출력하게 되는 "r 모선의 부하증가를 보상하기 위한 부하증가와 동일한 출력+계통손실 보상 출력"을 나타낸다. 단계 4)를 추가하는 이유는, 국내계통의 2000년 하계 예상첨두부하 시점에서의 각 지역별 분석을 좀더 쉽게 하기 위하여 슬랙모선을 전체 평균치를 갖는 모선으로 변경시키기 위함이다. 여기에서 최종적으로 계산된 각 모선의 한계손실계수는, 그 값이 1을 넘으면 2000년 예상첨두부하 시점에서의 전체모선의 평균치보다 계통에 손실을 보다 많이 증가시키는 모선이다. 엄격히 말한다면, 평균치보다 더 많은 손실을 유발시키므로 증가되는 손실분 만큼

슬랙모선에서 전력을 더 공급해야 하는 모선이다.

한편, 본 계산결과는 총 823모선을 대상으로 시행되었으나, 이 결과는 2000년도 하계의 한 시점에 대해서만 계산되었으므로 국내계통을 대표하는 값이라고 볼 수는 없다. 부하는 하루 중의 시간대, 요일별 특성, 계절 등에 따라 큰 폭으로 변동될 뿐만 아니라, 발전기도 유지보수나 운전상황에 따라 출력이 달라지기 때문이다.

3. 사례연구

본 논문에서는 2000년 예상첨두부하 41,200MW 시점의 계통을 대상으로 손실계수를 계산하였다.

송전손실계수(한계손실계수)의 전체 평균치는 1.052로 계산되었으며 이 평균치로 각 모선의 한계손실계수를 나눈 후 사업소 관할지역별 분석을 행하였다.

먼저, 서울북부지역의 한계손실계수를 검토해본 결과 모두 1.0 이상의 값으로 계산되었다. 특히, 철원과 포천 지역은 1.1이 넘는 큰 값으로 계산되었는데, 이 두 지역은 345kV 변전소가 위치한 의정부 모선에 수직상으로 연결되어 있는 154kV 선로의 말단부분에 위치하고 있었다. 아래 그림 1에서 알 수 있듯이 서울북부지역은 모든 모선에서 평균값인 1.0보다 큰 한계손실계수를 가지므로, 상대적으로 계통손실을 많이 유발하고 있음을 알 수 있다. 서울강남지역도 유사한 결과를 보였다.

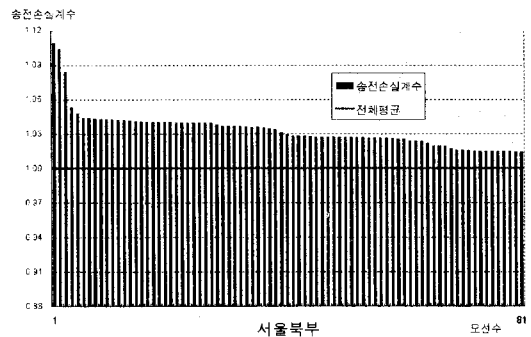


그림 1 서울북부지역의 결과(서울전력관리처 관할)

경인남부지역의 경우 평택화력발전소가 위치한 일부지역에서만 한계손실계수가 1이하의 값을 보이며, 90% 이상의 모선에서 한계손실계수가 1.0 이상의 값으로 계산되었다. 인천지역도 유사한 결과를 보였다.

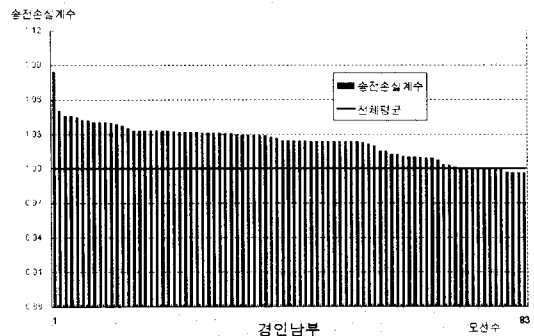


그림 2 경인남부지역의 결과(수원전력관리처 관할)

영남지역은 비록 수도권이 아니더라도 대구지역의 전력수요가 많았기 때문에, 약 75%의 지역에서 한계손실계수가 1.0 이상의 값으로 계산되었다.

영동지역은 유일하게 한계손실계수가 1.0 이상인 모

선 수와 한계손실계수가 1.0 이하인 모선 수의 분포가 비슷하였으며, 영동지역의 한계손실계수 평균값도 0.99로서 1.0에 가장 근접하였다. 한전계통의 지역 분류에서 영동지역에 포함된 황성이나 원주, 춘천과 같은 강원도 내륙 쪽은 1.03 부근의 상대적으로 높은 값을 나타내었으나, 경상북도 울진군, 동해시, 강릉시 등의 경우는 주변에 위치한 울진원자력이나 영동화력발전소, 동해화력발전소 등의 영향으로 0.97이하의 상대적으로 낮은 수치를 기록했다. 아래 그림 3에서 알 수 있듯이, 영동지역은 평균값을 갖는 경계지점의 역할을 하고 있다.

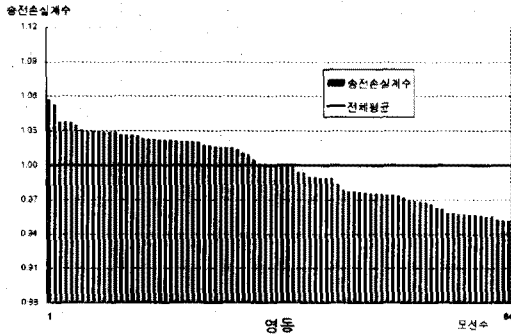


그림 3 영동지역의 결과(제천전력관리처 관할)

중부지역은 1 : 2 정도로 한계손실계수가 1.0 이하의 값을 갖는 모선 수가 많았으며, 당진화력발전소가 위치한 지역은 특히 낮은 수치를 나타내었다.

호남지역은 대부분의 모선에서의 한계손실계수가 1.0 이하의 값을 가지며 상대적으로 풍부한 전원을 보유하고 있었다. 한계손실계수의 지역 평균값이 0.972로서 제주도를 제외하고는 가장 낮은 값으로 계산되었다.

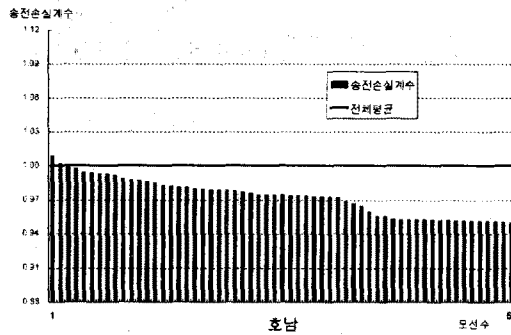


그림 4 호남지역의 결과(광주전력관리처 관할)

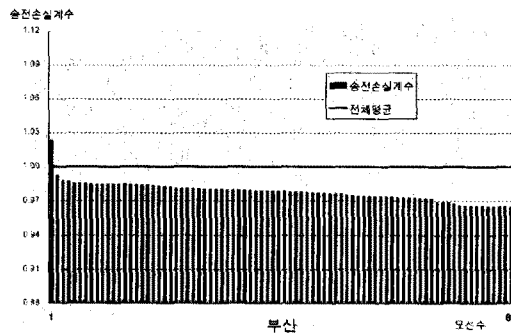


그림 5 부산지역의 결과(부산전력관리처 관할)

부산지역은 거의 모든 모선에서 한계손실계수가 1.0 이하의 값을 나타내었다. 그러나, 한계손실계수의 지역 평균값은 0.978로서 제주, 호남, 경남지역 다음의 낮은 값으로 계산되었다. 이는 부산지역 인근에는 발전기 모선이 많아도, 부산지역 내에는 발전기 모선의 수 및 전원의 용량이 적었기 때문이라고 판단된다. 한계손실계수가 1.0을 넘은 지역은 외동으로서, 측정 당시 한 방향에서만 전력이 공급되었고, 계통말단에 위치하였다.

창원전력관리처 관할의 경남지역도 거창이나 합천 등의 내륙지방만 한계손실계수가 1.0이상의 값을 나타내고 대부분의 지역이 1.0 미만의 수치를 기록했으며, 제주지역도 호남지역과 비슷한 양상을 보였다.

각 지역별 한계손실계수의 계산결과를 표 1에 요약하였다. 그러나, 본 계산결과를 여름철 예상첨두시점에서의 한계손실계수 평균치에 대한 비율을 의미할 뿐이지 국내 계통에 대한 대표성을 갖는 것은 아니다. 각 시간대별 계통자료 실적치를 이용한 계산이 이루어져야만 실용적인 수치가 얻어질 것이다.

표 1 지역별 한계손실계수 계산결과 요약

구 분	1.0이상 모선		1.0미만 모선		전체 모선	
	모선수	평균	모선수	평균	모선수	평균
서울북부	81	1.033	-	-	81	1.033
서울강남	42	1.035	-	-	42	1.035
인 천	84	1.011	21	0.992	105	1.007
경인남부	78	1.025	5	0.997	83	1.023
영 동	43	1.022	41	0.972	84	0.997
중 부	39	1.018	82	0.975	121	0.989
호 남	3	1.003	56	0.971	59	0.972
영 남	48	1.026	17	0.983	65	1.015
부 산	1	1.023	81	0.977	82	0.978
경상남도	8	1.031	57	0.967	65	0.975
제 주	4	1.040	32	0.949	36	0.959
모선수 합계 및 평균	431	1.024	392	0.973	823	1.000

4. 결 론

양방향 입찰시장이 도입되어 전력시장에서의 경쟁이 본격화되면, 손실계수가 커서 상대적으로 손실을 많이 유발하는 지역의 발전기일수록 등가 입찰가격이 발전기 급전순위에서 앞서게 될 것이다. 또한, 발전사업자가 제시한 입찰가격의 지불이나 수용가가 부담하게 될 비용에도 손실비용이 고려될 것이다.

본 논문에서는 2000년도 예상첨두부하 시점만을 대상으로 하여 한계손실계수를 계산하였기 때문에 그 결과가 국내계통에 대한 각 모선의 대표적인 수치를 의미하지는 않는다. 그러나, 실제 한계손실계수를 도출할 수 있는 계산방법을 제시하였으며, 제시한 방법을 국내계통에 적용하여 개략적인 국내 주요 지역별 송전손실의 특성을 분석하였다. 이후 대상시점을 확대하고 연도별, 계산시점별 가중치를 반영하여 실용적인 각 모선별 한계손실계수를 계산할 예정이다.

(참 고 문 헌)

- [1] "풀/탁송모형에서의 전력시장운영시스템 구조설계에 관한 연구", 한국전력공사 전력거래소, 2000
- [2] "Treatment of Loss Factors in the National Electricity Market", NEMMCO, 1999