

## 우리나라 전력계통에서 병렬형 FACTS 투입에 따른 혼잡비용 경감효과 분석

장병훈, 윤종수, 문승필, 이원교, 추진부  
한전 전력연구원

### Congestion Cost Reducing Effect Analysis with Investment of Shunt Type FACTS on The KEPCO System

Byunghoon Chang, Jongsu Yoon, Seungpil Moon, Wonkyo Lee, Jinboo Choo  
KEPRI

**Abstract** - 우리나라 전력계통은 비수도권 지역의 발전단가가 수도권 지역의 발전단가보다 값이 싸기 때문에 비수도권에서 수도권지역을 연결해주는 6개의 북상선로에 흐르는 용통조류의 양이 하나의 경제성을 평가하는 기준이 될 수 있다. 본 논문에서는 병렬형 FACTS 투입에 따른 혼잡비용 감소를 용통조류 여유(f-V)해석을 통하여 평가하였다. 수도권 지역에 병렬형 FACTS가 투입된다면 수도권지역에 무효전력 공급으로 인하여 용통조류 증가를 우리나라 중장기 계통에 대해 모의하고, 이때의 발전 비용을 계산하여 FACTS 투입에 따른 혼잡비용의 경감효과를 분석하였다.

#### 1. 서 론

실계통 운영을 위한 전력수급은 가격 결정을 위한 입찰과정의 급전계획과 달라질 수 있는데, 이러한 경우를 일반적으로 혼잡이 발생하였다고 한다. 즉, 혼잡은 전력계통이 전기에너지의 판매와 구매를 원하는 시장참여자의 전력거래 수요를 만족시키지 못한 경우가 된다. 우리나라 계통의 경우 남부지역에 값싼 원자력이나 석탄 화력발전소가 집중되어 있고 수도권 지역에는 상대적으로 값비싼 가스터빈 발전소가 건설되어 있다. 값이 싼 남부지역의 전력을 수도권 지역으로 최대한 많이 전송할수록 경제적이다. 하지만 남부지역에서 수도권지역으로 무한정 전력을 공급할 수는 없다. 전력이 원활하게 공급되기 위해서는 계통에 무효전력이 공급되어야 하는데 전송되는 전력의 양이 많을수록, 그리고 유효전력의 전송거리가 길면 길수록 요구되는 무효전력의 양은 증대된다. 무효전력은 유효전력과 달리 국지적인 특징을 가지고 있기 때문에 비수도권에서 수도권 지역으로 전송되는 유효전력의 양은 한계를 갖게 된다. 만일 FACTS 투입으로 인하여 수도권 지역에 무효전력 공급원이 생긴다면 수도권 지역에서 보다 많은 양의 비수도권의 값싼 전력을 공급받을 수 있을 것이고, 혼잡비용이 감소하게 될 것이다. 본 절에서는 2절에서 살펴 보았던 전압안정도 향상을 위한 FACTS 투입 후보지에 FACTS를 투입함으로써 혼잡비용이 어느 정도 감소가 되는가에 대한 FACTS 투입의 경제적인 측면(cost)에 대하여 연구를 진행하였다.

#### 2. 혼잡비용을 고려한 FACTS 투입방안

##### 2.1 혼잡비용 산정

조류계산을 수행시키기 위한 발전비용을 A라고 하자.(아래 표 참조) A상태는 전력수급조건을 만족하지만 실질적으로 계통이 운전될 때는 여러 가지 제약으로 인하여 A와는 다른 발전력 패턴을 갖게 된다. 제약조건은 발전단이 서로 분리되어 입찰하는 과정에서 시장원리에 따라 A와 다른 발전력 패턴을 갖게 될 때 발생할 수 있으며, 또한 A의 상태로 계통이 운전될 때 안정도 측면에서 문제가 발생할 여지가 있다면 A와 다른 B의 상태로 계통이 운전될 것이다.

<표 1> FACTS 적용시 혼잡비용 경감

분 류	제약조건	구분
Notional Dispatch	전력수급조건	A
Base Case 제약급전계획	계통제약조건	B
FACTS 포함 제약급전 계획	계통제약조건	C

- Base Case 혼잡비용 : B - A의 발전비용
- FACTS 적용시 혼잡비용 : C - A의 발전비용
- FACTS 적용시 혼잡비용 경감액 : (B-A)-(C-A) = B-C

우리나라 계통의 경우 비수도권 지역의 발전단가가 수도권 지역의 발전단가보다 값이 싸기 때문에 비수도권에서 수도권지역을 연결해주는 6개의 북상선로에 흐르는 용통조류의 양이 하나의 경제성을 평가하는 기준이 될 수 있다. 따라서 본 보고서에서는 FACTS 투입에 따른 혼잡비용 감소를 용통조류 여유(f-V)해석을 통하여 평가하였다. 용통조류의 양이 증가하면 환수료 혼잡비용이 감소되었지만 반대로 수도권 지역의 무효전력 부족으로 인한 전압안정도 문제가

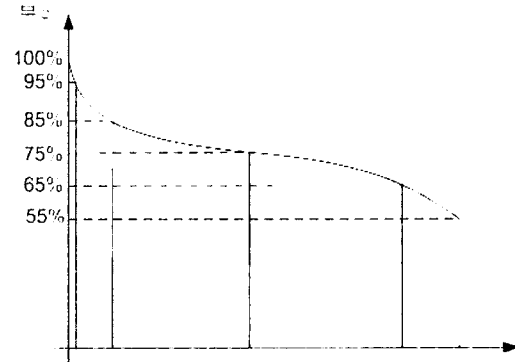
발생하게 되어 안정도 측면에서 한계를 갖게 되는 자명하다. 만일 수도권 지역에 FACTS가 투입된다면 수도권지역에 무효전력 공급으로 인하여 용통조류가 증가하게 되고 위 표에서 C와 같은 발전 패턴을 갖게 될 것이다. 이때의 발전 비용을 계산하여 B상태의 발전비용과의 차액을 구한다면 이것이 바로 FACTS 투입에 따른 혼잡비용의 경감액이 될 것이다.

이러한 방법으로 어느 한 부하수준(snapshot)에 대한 혼잡비용의 경감액을 구할 수 있고 연간 혼잡비용의 산정을 위해서는 그림 1. 1. Load duration를 이용한 대표 부하수준에 대한 연중 시간을 적용하는 단계가 필요하다. 연중 시간을 적용했을 때 연간 혼잡비용은

$$f_C(P_G) = \sum_{k=1}^n f_{C,k} h_k$$

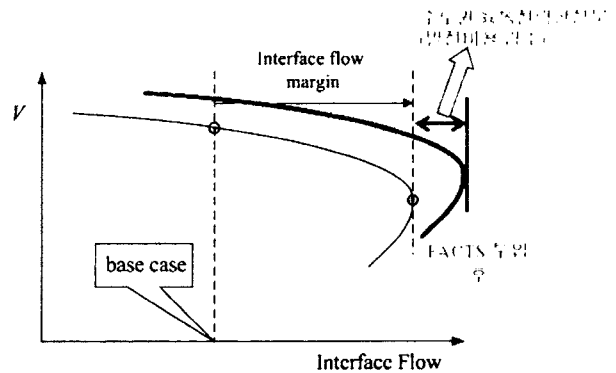
$f_{C,k}$ : 대표 부하수준 k에 대한 혼잡비용  
 $h_k$ : 대표 부하수준 k의 연중 시간

가 될 것이다.



<그림 1> Load duration

##### 2.2 혼잡비용 경감액 산정 절차



각 상정사고상태에서 용통전력 여유결정

<그림 2> FACTS 투입에 따른 혼잡비용 경감

혼잡비용 경감액을 산정하기 위해서는 우선적으로 어느 상정사고에 의해서 혼잡이 발생되었는가를 파악해야 한다. 혼잡을 발생시키는 사고에 의하여 수도권 북상조류의 한계가 결정될 것이고 이 때의 발전 패턴으로 계통은 운전될 것이다. 그림 1.2.2와 같이 FACTS

를 투입하는 경우 보상조류가 증가하게 되고 이에 따른 수도권 지역의 발전 비용에서 비수도권 지역의 발전비용을 뺀 차이가 혼잡비용 경감액이 될 것이다.

FACTS 투입에 따른 혼잡비용 최소화를 위해서 우선적으로 FACTS 투입 위치를 선정하는 절차가 진행되어야 한다. 본 보고서에서는 혼잡비용 최소화 뿐만 아니라 안정도 측면도 고려하여 연구를 진행하였고 경제성보다 안정도가 우선되어야 하기 때문에 전압 안정도 향상을 위한 FACTS 투입 후보지에 FACTS를 투입하는 경우에 있어서의 혼잡비용 경감액에 대하여 연구를 진행하였다. 이처럼 FACTS 투입 시나리오가 정해지는 경우 각 부하수준에 대한 혼잡비용 경감액을 산정할 수 있고 load duration 곡선을 적용하여 각 부하수준에 연중 시간을 곱하여(아래 표2 참조) 연간 얻을 수 있는 혼잡비용 경감액을 산출할 수 있다.

〈표 2〉 각 부하수준별 연중 시간

구분 (%)	정의	연중시간 (h/year)
100	peak 대비 100%~96%대 부하수준	78
90	peak 대비 95%~86%대 부하수준	1,044
80	peak 대비 85%~76%대 부하수준	3,112
70	peak 대비 75%~66%대 부하수준	2,712
60	peak 대비 65% 이하의 부하수준	1,814

용동조류의 한계를 결정하는 사고가 무엇인가를 알아내기 위해서 FACTS를 투입하기 이전의 각 부하수준별 계통에 대하여 용동조류 여유해석을 한다. 각 년도별 부하수준에 따라 수도권발전력이 감소될 수 있는 양을 계산한다. 2010년도 60% 부하수준의 경우와 같이 수도권 지역에 켜져있는 발전기의 발전단가가 비수도권에 켜져있는 발전기의 발전단가보다 값이 같거나 더 낮기 때문에 용동조류를 증가시키는 것이 경제적이지 않다고 판단을 내릴 수 있는 Case는 f-V해석에서 제외한다.

〈표 3〉 제약급전시 발전력 감소 비용(2010년 100% 부하사태)

(단위 : 천원)

사고	수도권지역 발전감소비용	비수도권지역 발전증가비용	발전력 최대 감소비용
사고이전	49701.441	45561.719	4139.723
신안성-신용인	49701.441	45561.719	4139.723
신안성-신서산	38617.199	34777.602	3839.598
서서울-신온양	10115.000	8695.531	1419.469
신가평-신태백	49701.441	45561.719	4139.723
화성-아산	2975.000	2495.394	479.606
곤지암-신충주	49701.441	45561.719	4139.723
동서울-곤지암	49701.441	45561.719	4139.723
신인천-신시흥	11305.000	9734.473	1570.527
신가평-미금	49701.441	45561.719	4139.723
영서-서서울	0	0	0
신인천-신파주	3570.000	3006.460	563.540

〈표 4〉 FACTS 투입시 발전비용 이윤(2010년 100%부하사태)

FACTS투입 시나리오 투입위치	용량 (MVar)	수도권지역 감소 발전량(MW)	FACTS 투입이윤 (천원)
	200	120	1035.773
	400	220	1794.027
양주	100	60	563.540
	200	130	1112.673
	400	270	2148.502
미금	100	90	804.005
	200	170	1419.469
	400	330	2509.102
동서울	100	90	804.005
	200	170	1419.469
	400	340	2569.201
신용인	100	110	958.873
	200	210	1719.527
	400	340	2569.201

표3과 같이 계통 제약조건(발전 패턴 "B") 하에서의 발전력 비용을 계산하기 위하여 수도권지역의 감소되는 발전량만큼의 발전감소 비용과 비수도권 지역의 증가되는 발전량만큼의 발전증가비용을 계산하고 이에 대한 발전 감소 비용을 계산한다.

FACTS 투입에 따른 발전비용 측면에서의 이익을 산정하기 위해서 우선적으로 FACTS를 어디에 어느 용량만큼 투입할 것인가에 대한 시나리오를 선정하는 과정이 필요하다. 전압안정도 측면에서의 FACTS 투입후보지 지역과 FACTS 투입이 예정된 지역을 FACTS 투입 후보지로 선정하였다. 투입용량은 각각 100, 200, 400 MVar를 투입하는 경우를 고려하였고, FACTS를 2개소에 각각 100-100MVar, 200-200MVar를 투입하는 경우를 고려하여 연구를 진행하였다. 위에서 FACTS 투입이전에 발전비용 이윤을 계산한 것과 마찬가지로 표4에서 FACTS 투입 이후에 발전비용 측면에서의 이익을 계산하여 FACTS 투입 이전과의 차액을 계산한다. 이 차이가 FACTS 투입에 의한 순수 이익이 될 것이다.

표5와 같이 FACTS 투입에 따른 발전비용 절감액은 위에서 계산한 %부하수준별 FACTS 투입에 따른 각 투입 위치와 용량에 따른 이익에 부하수준별 연간 시간을 곱해서 총이익을 계산한다. 총 이익이 높을수록 발전비용 절감효과가 크다.

〈표 5〉 FACTS 투입에 따른 발전비용 절감액(2010년도 계통)

(단위 : 천원)

FACTS투입 시나리오 투입 위치	용량 (MVar)	%부하수준별 FACTS 투입에 따른 이익					총이익
		100%	90%	80%	70%	60%	
신파주	100	479.606	412.889	276	510.94	0	2713047
	200	1035.773	706.801	379.5	709.84	0	3924781
	400	1794.027	1244.715	793.502	951.339	0	6488826
양주	100	563.540	412.889	276	510.94	0	2719594
	200	1112.673	765.7	379.5	640.839	0	3805139
	400	2148.502	1351.645	793.502	951.339	0	6628110
미금	100	804.005	353.399	207	510.94	0	2461514
	200	1419.469	820.575	379.5	510.94	0	3534072
	400	2509.102	1316.144	517.501	847.838	0	5479564
신파주-양주	100	1112.673	706.801	379.5	675.339	0	3837212
신파주-미금	200	1942.071	1280.645	793.502	951.339	0	6537885
신파주-동서울	100	1189.573	706.801	379.5	510.94	0	3397360
	200	2148.502	1280.645	690.002	951.339	0	6231894
신파주-신용인	100	1112.673	765.7	379.5	510.94	0	3452853
	200	2148.502	1280.645	621.001	951.339	0	6017163
신용인	100	1112.673	706.801	379.5	510.94	0	3391362
	200	2148.502	1172.878	552.001	951.339	0	5689926
양주-미금	100	1266.473	706.801	379.5	510.94	0	3403358
	200	2328.802	1280.645	655.501	951.339	0	6138590

### 3. 결 론

혼잡비용을 발생시키는 상정사고를 고려하여 FACTS 투입 후보지 위치 및 투입 예정지역을 선정하여 분석하였다. 분석결과를 통해 FACTS 설비를 투입하는 모든 경우 혼잡비용 경감효과를 얻는 것을 알 수 있으며, 1개소에 200MVar 용량을 투입할 경우 양주에 설치하는 것이 혼잡비용을 가장 저감 하는 위치임을 알 수 있다. 총 투입 용량이 200MVar 혹은 400MVar일 경우 미금지역을 제외한 나머지 지역일 경우 1개소에 모두 투입하는 것이 2개소로 분리해서 투입하는 것 보다 효과적이며, 종합적으로 판단할 경우 양주지역에 FACTS 투입할 경우 가장 큰 발전비용 절감효과, 즉 혼잡비용을 최소화 할 수 있다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 장병훈, 윤종수, 김수열, 문승필, 백두현, "우리나라계통의 복잡 조류 증대를 위한 FACTS 적용방안 연구" 대한전기학회 하계학술대회, 2005
- [2] 장병훈, 윤종수, 전영수, 이기선, 추진부, 오대규, 원종률 "한전계통의 FACTS 적용연구(1)" 대한전기학회 전력계통연구회 춘계학술대회, 1995
- [3] 이근준, 장병훈, 추진부 "전력계통 안정성 향상을 위한 FACTS 적용 기법 연구" 대한전기학회 하계학술대회