

P-POOL을 이용한 FACTS 투입의 경제성 평가 연구

최돈근\*, 박상현\*, 강상균\*, 송화창\*\*, 장병훈\*\*\*, 이병준\*, 권세혁\*  
 \* 고려대학교, \*\* 군산대학교, \*\*\* 한전 전력연구원

A Study on Congestion Cost Reducing Effect for FACTS Investment using P-POOL

Donkeun Choi\*, Sanghyun Park\*, Sanggyun Kang\*, Hwachang Song\*\*, Byunghoon Chang\*\*\*, Byongjoon Lee\*, Sae-hyuk Kwon\*

**Abstract** - 비수도권과 수도권의 수급 불균형 해소를 위한 6개의 북상선로에 흐르는 용통조류량의 한계값이 경제성 평가의 한 기준이 될 수 있다. 본 논문에서는 수도권 용통전력 한계를 고려한 제약급전사태의 검토 결과를 이용하여 FACTS 투입에 따른 증대된 용통전력한계를 바탕으로 FACTS 투입에 따른 혼잡비용측면에서 운전이익을 평가하는 방법을 논한다. 즉, F-V 해석결과를 이용하여, 수도권 용통전력 한계값을 결정하고 좀 더 정확한 운전이익 계산하기 위하여 결정된 한계값을 P-POOL 프로그램을 이용하여 혼잡비용 경감 효과를 확인할 수 있는 모의 방법을 확립한다. 확립된 방안은 계획계통을 이용해 검증하고, 최종적으로 FACTS 투입량과 투입후보지에 대한 용통전력 한계 측면에서의 경제성 평가한다.

1. 서 론

현재 우리나라는 지속적인 경제 성장과 생활수준의 향상으로 인하여 전력수요가 급격하게 증가하고 있다. 이러한 전력수요를 충족시키기 위해서는 새로운 발전소를 건설하고, 전력전송설비를 증대시켜야 한다. 그러나 이러한 작업들은 환경과 지리적인 문제 등 여러 가지 사회적, 경제적 제약이 따르고 있다. 이에 따라 기존 설치된 대규모 송전망을 효율적으로 활용하기 위한 전력계통의 운용기술이 중요한 의미를 가지게 된다.

우리나라 계통의 경우 남부지역에는 수도권 지역에 비해 상대적으로 값싼 발전소가 집중되어 있다. 그래서 비수도권의 발전량을 늘려 수도권의 과부하를 해소시킬 수 있게 된다면 그에 따른 경제적 이익을 기대할 수 있다. 하지만 비수도권의 발전량을 무한정 증가시킬 수는 없다. 전력이 원활하게 공급하기 위해서는 계통에 충분한 무효전력이 공급되어야 하기 때문이다. 부족한 무효전력 때문에 비수도권에서 수도권으로 흐르는 조류가 제한되는데 이를 송전제약이라고 한다. 만일 FACTS 투입으로 인하여 수도권 지역에 무효전력원이 생긴다면 수도권 지역은 값싼 비수도권 지역의 전력을 더 많이 공급받을 수 있게 되어 혼잡비용이 감소하게 될 것이다.

본 논문에서는 FACTS 투입에 따른 여러 가지 효과 중에서 혼잡 비용 측면에 중점을 두고 접근하였다. 기존에 행해진 혼잡비용 측면에서의 FACTS 투입계획 방안을 바탕으로 한 절차를 2010년 한전 계획계통에 적용한다. FACTS 투입에 따른 경제성 평가를 좀 더 정확히 하기 위하여 F-V 해석을 바탕으로 얻은 송전제약 데이터를 발전 비용과 발전기 기동정지 해석 등 다양한 기능을 포함한 P-POOL 프로그램[1]에 입력데이터로 활용한다.[6] 본 논문에서 제안한 절차는 먼저 계획계통의 안정성 검토가 수행된 데이터와 그에 따른 FACTS 투입 위치와 용량에 대하여 P-POOL 프로그램을 이용하여 각 방안별 운전이익을 계산하고 각 계획계통에 확대 적용한다. P-POOL 프로그램은 안정도 한계를 결정할 수 없으므로

VAST[2]을 이용하여 F-V 해석한 데이터를 P-POOL의 송전제약 데이터로 활용하여 운전이익을 계산할 수 있었다. 본 논문에서의 절차를 이용한 각 방안별 운전이익은 혼잡비용 측면에서의 FACTS 투입 위치와 용량을 결정하는데 중요한 정보로 활용될 수 있다.

2. 본 론

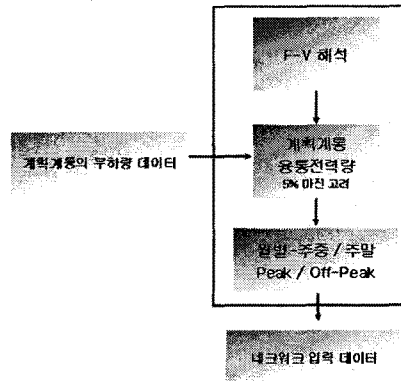
2.1 P-POOL을 이용한 FACTS 투입방안

P-POOL 프로그램은 송전망을 바탕으로 장기 전력시장 예측 분석하는 프로그램으로 시간대별 발전량을 모의하며, 이익과 손실 분석 등의 기능을 제공한다.

P-POOL 프로그램에서는 별도의 선로데이터 없이 수도권과 비수도권으로 나누고 그 사이에 흐르는 용통전력량만으로 데이터를 구성하기 때문에 계통의 안정성은 고려되지 않는다. 따라서 계통의 안정성을 고려한 수도권 용통전력한계량이 P-POOL에 입력되어야 한다. P-POOL을 이용하여 FACTS 투입 전·후의 발전비용을 모의하면 그 차이가 혼잡비용 경감액이 될 것이다.

2.1.1 P-POOL과 F-V 해석 프로그램 연계

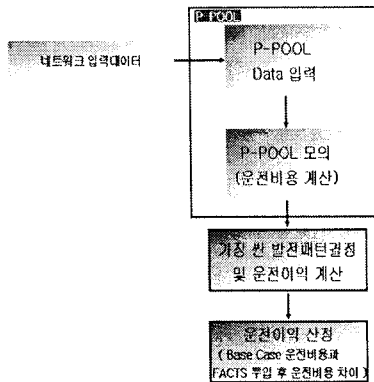
P-POOL에서 혼잡비용측면에서의 FACTS 투입에 따른 이익을 살펴보기 위해서는 계통을 수도권과 비수도권으로 나누고, 송전 제약에 따른 네트워크 입력데이터를 입력해야 한다. 하지만 P-POOL 프로그램은 용통전력의 전압안정도 한계를 결정할 수 없다. 따라서 FACTS 투입에 따른 용통조류 여유(F-V)해석한 데이터를 송전제약 데이터로 이용한다. 각 부하 수준별 용통조류한계값을 바탕으로 시험계통의 부하에 맞는 용통조류 한계값을 설정하여 각 월별 주중 / 주말의 Peak / Off-Peak 값을 획득하여 네트워크 입력데이터로 이용한다.



<그림 1> F-V 해석 데이터와 P-POOL 연계 방안

### 2.1.2 P-POOL을 이용한 운전 이익 계산

P-POOL과 F-V해석 프로그램 연계를 통해 생성된 네트워크 입력 데이터를 송전계약 부분에 입력한다. P-POOL 모의는 CBP(Cost Base Pool) 방식을 채택한다. P-POOL을 이용하여 FACTS 투입 전·후의 발전비용을 모의하면 그 차이가 혼잡비용 경감액이 될 것이다. P-POOL은 송전계약이 정해지면 그 계약을 맞춰 모의하게 되어 FACTS가 투입 후 운전비용이 많이 발생하는 경우가 발생된다. P-POOL은 정해진 송전계약을 변경할 수 없기 때문에 이 경우는 FACTS 투입되지 않은 경우로 고려해야 한다.



<그림 2> P-POOL을 이용한 FACTS 운전이익 산정

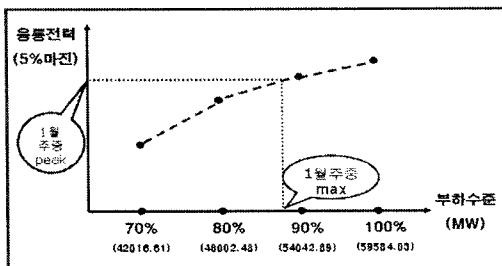
### 2.3 사례연구

본 논문은 2010년 100, 90, 80 70%의 한전 계획계통을 이용하여 혼잡비용 절감효과를 확인하기 위한 절차를 수행한다. 확인된 절차를 2013년과 2017년 계획계통에 확대 적용하여 FACTS 투입 효과를 혼잡비용 측면에서 확인할 수 있다. 모의환경은 아래와 같다.

- 제안된 FACTS 투입 후보지 : 양주, 미금, 동서울, 신용인
- 선정된 가혹한 상정사고 : 수도권 345kV route 사고와 765kV ckt 사고
- 용통조류한계 여유 : 5% 여유
- 투입 FACTS 기기 : Shunt FACTS device

본 논문에서는 FACTS를 투입하기 전·후의 계통에 가혹한 상정사고를 주고 가장 작은 용통조류 한계값을 갖는 사고에 대해 5%의 여유를 두고 용통전력을 산정한다.

P-POOL의 부하데이터는 매시간 단위로 입력되어 있고, 네트워크 제약 데이터는 매월 주중 / 주말로 입력된다. 각 부하수준에 적합한 선로 제약 데이터를 입력데이터를 획득해야 한다.



<그림 3> P-POOL을 이용한 FACTS 운전이익 산정

본 논문에서는 안정도 평가 시 이용된 4개의 부하수준(100, 90, 80, 70%)의 시험계통을 이용했다. 시험 계통의 부하수준을 기준으로 각 부하수준 사이에서의 용통조류량은 선형이라고 가정한다<그림 3>. 각 월별 최대 부하량을 바탕으로 월별 PEAK 데이터를 획득하고, 70% 부하수준의 용통조류 한계값을 OFF-PEAK값으로 결정한다. 이렇게 결정된 용통조류 한계값을 이용하여 네트워크 제약 데이터를 생성했다. [4], [5], [6] 이렇게 산정된 데이터를 바탕으로 모의한 결과는 다음과 같다.

<표 1> FACTS 투입에 따른 운전비용(신파주)

(단위:백만원(Mwon))

	Base	100MVAr	200MVAr	400MVAr
1월	1877760	1876938	1880580	1877283
2월	1659815	1659447	1658303	1657817
3월	1818892	1818938	1817300	1816345
4월	1624079	1625595	1624407	1623202
5월	1644273	1642838	1640494	1638245
6월	1691954	1690211	1689012	1686331
7월	1784732	1784093	1784226	1783763
8월	1840692	1839675	1839154	1837164
9월	1601581	1600495	1598697	1601536
10월	1720440	1719947	1713189	1711477
11월	1766407	1767585	1764645	1767552
12월	1922615	1906704	1906259	1901590
합계	20953238	20932466	20916264	20902306
운전이익	0	20772	36974	50932

P-POOL 모의 후 결과<표1>를 보면 FACTS 투입했을 경우 Base case보다 운전비용이 많이 나오는 달이 있는데 이는 FACTS 미 투입의 운전비용을 이용한다. FACTS를 투입했을 경우의 운전비용이 많게 나오는 달의 경우는 실 운전 계통에서는 FACTS를 투입하지 않고 운전하기 때문이다. 모의된 결과를 수정하고 그 결과 값을 이용한다. FACTS를 투입하지 않았을 경우의 운전비용을 기준으로 삼고, 제안된 FACTS 후보지의 위치와 용량에 따라서 운전비용을 모의하여 그 차이를 계산하면 FACTS 투입 후 운전이익을 산정할 수 있다. 2010년에 대해 모의를 실시하고 결과를 확인한 후 2013년과 2017년 시험계통에 적용하여 운전이익을 확인했다. 같은 절차를 반복하여 제안된 후보지에 대한 운전이익을 산출한 결과는 다음과 같다.

<표 2> 단일 투입 운전이익(2010년) (단위:백만원(Mwon))

	100MVAr	200MVAr	400MVAr
신파주	23514	40123	52079
양주	23498	35286	52228
미금	21877	25493	39032
동서울	23466	25184	41085
신용인	22056	25847	27303

<표 3> 단일 투입 운전이익(2013년) (단위:백만원(Mwon))

	100MVAr	200MVAr	400MVAr
신파주	28501	28799	77281
양주	25355	29065	66047
미금	14752	29287	40844
동서울	15277	30046	31303
신용인	11121	26974	28996

<표 4> 단일 투입 운전이익(2017년) (단위:백만원(Mwon))

	100MVA <sub>r</sub>	200MVA <sub>r</sub>	400MVA <sub>r</sub>
신파주	23173	32325	41331
양주	32047	32331	41459
미금	33070	34526	39454
동서울	10690	32613	32920
신용인	7619	30498	45931

<표 5> 동시 투입 운전이익(2010년) (단위:백만원(Mwon))

	100-100 MVA <sub>r</sub>	200-200MVA <sub>r</sub>
신파주-양주	37641	52033
신파주-미금	25071	51838
신파주-동서울	25256	52213
신파주-신용인	24919	70334
양주-미금	25065	52804
양주-동서울	25065	73739
양주-신용인	24912	44490
미금-동서울	24976	35743
미금-신용인	24912	38397
동서울-신용인	24880	38377

<표 6> 동시 투입 운전이익(2013년) (단위:백만원(Mwon))

	100-100 MVA <sub>r</sub>	200-200MVA <sub>r</sub>
신파주-양주	28801	78100
신파주-미금	31453	62155
신파주-동서울	30630	59067
신파주-신용인	30251	53721
양주-미금	30795	59290
양주-동서울	30123	52199
양주-신용인	30001	46089
미금-동서울	28236	29499
미금-신용인	29538	30577
동서울-신용인	29364	30505

<표 7> 동시 투입 운전이익(2017년) (단위:백만원(Mwon))

	100-100 MVA <sub>r</sub>	200-200MVA <sub>r</sub>
신파주-양주	32469	41337
신파주-미금	32607	42092
신파주-동서울	32331	39020
신파주-신용인	32325	37221
양주-미금	32469	38501
양주-동서울	32607	38801
양주-신용인	32607	40040
미금-동서울	32613	35498
미금-신용인	32304	32304
동서울-신용인	32607	32717

모의 결과 FACTS 투입 용량이 많은 경우에 더 많은 운전이익이 있음을 확인할 수 있고, 이것은 두 곳의 후보지에 FACTS를 투입한 결과도 동일함을 알 수 있다. FACTS 투입으로 인한 용통조류한계량이 증가 하였고 그에 따라 남부지역의 값싼 발전기의 가용 용량이 증가 했기 때문에 전체적인 발전비용이 경감되는 것을 확인할 수 있다. 또한 FACTS 투입 용량과 후보지 선정에 계획 측면에서도 혼잡비용 측면에서의 검토는 정확한 용량과 후보지 선정의 판단 근거 자료로 활용할 수 있다. 하지만 좀 더 정확한 이익 산정을 위해서는 각각의 부하량과 그에 따른 용통조류한계량에 대한 검토가 필요하다.

### 3. 결 론

본 논문은 P-POOL을 이용한 계통의 혼잡비용측면에 서의 FACTS 투입방안을 제시하였다. P-POOL은 FACTS 투입에 따른 혼잡비용 절감을 비용을 산정하기 위한 틀이 아니므로 적절한 절차 제시가 요구된다. 우선 안정도를 고려한 FV해석을 하고 그 데이터를 P-POOL에서 필요한 데이터 형식으로 연계하는 방법을 결정하고 모의된 결과를 적절하게 해석하는 것이 필요하다. P-POOL은 네트워크 제약을 설정하면 그것이 최적의 운전 이익을 위해 모의되지 않고 그 제약의 한계에서 발전량을 결정한다. 이와 같은 한계 때문에 FACTS를 투입 하지 않았을 때 운전비용이 적게 나오는 경우가 발생하였고 이런 경우는 FACTS가 투입되지 않은 경우로 고려하여 운전 비용을 산정했다. P-POOL 모의에서 이상적인 부하수준을 기준으로 제약을 산정하였기 때문에 이익이 크게 산출되는데 영향을 주었을 수도 있다. 하지만 FACTS 기기의 투입이 비수도권에서 수도권으로 흐르는 용통조류 한계값을 늘리게 되고, 그에 따라 수도권의 비싼 발전량을 줄이고 남부지역의 값싼 발전량을 증가시켜서 생기는 경제적 효과를 확인할 수 있었다. 또한 FACTS 투입량과 후보지에 대한 분석을 바탕으로 계통 계획 측면에서의 FACTS 투입에 대한 타당성을 확보하기 위한 근거 자료로 활용될 수 있다. 본 논문에서 접근한 방법보다 정확한 비용산정을 위해서는 각 월별 부하 패턴에 대한 네트워크 제약 값을 선정하는 연구가 수반되어야 할 것이다.

본 논문의 P-POOL 모의는 전력연구원에서 수행되었습니다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 산업자원부, "전력시장에서의 경쟁력 강화를 위한 발전사의 효율적인 자원관리 시스템 기술개발", 2004. 12
- [2] Powertech, "VSAT Installation Guide and Users Manual", 2005
- [3] Byongjun Lee, "A study on determination of interface flow limits in the KEPCO system using modified continuation power flow (MCPF)", Power Systems, IEEE Transactions on Volume 17, Issue 3, Aug. 2002 Page(s):557 - 564, 2002
- [4] 산업자원부, "대용량 전력수송 기술개발", 2005. 11
- [5] 강상균, "Investment method of FACTS for improvement of stability for KEPCO System", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, A, 20 8-210, 2005
- [6] 박상현, "P-POOL을 이용한 혼잡비용 측면의 FACTS 투입방안 연구", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, A, 131-132, 2006