

P-POOL을 이용한 혼잡비용 측면의 FACTS 투입방안 연구

박상현*, 강상균*, 송화창**, 장병훈***, 이병준*, 권세혁*

* 고려대학교, ** 군산대학교, *** 한전 전력연구원

A FACTS Planing in Terms of Congestion Cost Using P-POOL

Sanghyun Park*, Sanggyun Kang*, Hwachang Song**, Byunghoon Chang***, Byongjoon Lee*, Sae-hyuk Kwon*
* Korea University, ** Kunsan National University, *** KEPRI

Abstract - 본 논문은 수도권의 용통전력 한계를 고려한 제약급전사례를 검토하고 FACTS의 투입에 따른 운전이익을 계산함으로써 FACTS 투입의 최적위치를 결정하는 방안에 대하여 논한다. 계통 전압안정성과 경제성을 동시에 고려하여 FACTS 투입이익을 계산한다. 즉, 연구계통에 대한 FV 해석을 통하여 용통조류한계값을 결정하고, 결정된 한계값을 가지고 P-POOL 모의를 수행하며 FACTS 투입에 따른 증대된 수도권 용통전력한계를 적용하여 운전이익을 계산한다. 최종적으로 FACTS 투입 후보지에 대한 운전이익을 비교하여 경제성 있는 투입위치와 용량을 제안한다.

1. 서 론

현대 산업사회에서 전기는 경제, 산업발전, 국민생활의 향상, 수출 경쟁력 등 국가 발전에 지대한 영향을 미치고 있다. 국민생활의 향상 및 정보화 시대를 맞이하여 전기에너지에 대한 의존도도 날로 증가되고 있다. 첨단기술이 하루가 다르게 발전하고 있고, 세상이 편리해지는 만큼 더욱 많은 전기 에너지를 필요로 하고 있다. 하지만 화석연료가 고갈되어 가고 있고, 발전소를 새로 짓는 일은 남비현상 등으로 인하여 점차 힘들어 지고 있다. 이에 증가하는 수요를 충당할 발전소를 짓는 일은 점점 많은 비용을 필요로 하고 있다. 따라서 현재 가지고 있는 장비를 최대한 효율적으로 사용하는 전력계통의 운용기술이 중요한 역할을 하게 될 것이다.

유연송전시스템(FACTS)은 전력 조류를 자유로이 조절하여 송전망 수송 능력과 설비 이용률을 향상시켜 전력시스템을 안정하게 운영하는데 큰 도움이 될 수 있다. FACTS를 적절하게 운용할 경우 계통의 안정성을 높이는 것뿐만 아니라 송전선로를 좀 더 효율적으로 사용할 수 있으므로 계통운용에 경제성을 높이는 효과도 예상된다.

본 논문은 혼잡비용 측면에서의 FACTS 투입계획 방안 수립을 위한 절차를 제시하고 이를 2010년 한전 계획계통에 적용한다. 이를 위해 본 논문에서는 발전비용을 고려한 발전기 기동정지 해석 기능을 포함한 P-POOL 프로그램 [1]을 적용한다. 본 논문에서 제안한 절차는 먼저 계획계통에 대한 전압안정성 검토를 수행하고, 이를 통해 제안된 FACTS 투입 위치와 용량에 대하여 P-POOL 프로그램을 이용한 각 방안 별 운전이익을 계산한다. P-POOL 프로그램은 용통전력의 전압안정도 한계를 결정할 수 없으므로 본 논문에서는 VSAT [2]으로 FV해석 [3]을 수행하고 이를 통해 전압안정도 측면에서의 연구계통의 용통전력 한계를 결정하고, 이를 P-POOL 프로그램에 적용한다. 본 논문에서 제시한 방법으로 결정된 각 FACTS 투입방안에 대한 운전이익은 용통전력에 의한 혼잡비용 측면에서 가장 효과적인 FACTS 투입방안을 결정함에 있어 중요한 정보로 활용된다.

2. 본 론

2.1 혼잡비용을 고려한 FACTS 투입방안

우리나라 계통의 경우 남부지역에 값싼 원자력이나 석탄 화력발전소가 집중되어 있고, 수도권 지역에는 값비싼 가스터빈 발전소가 많이 건설되어 있다. 값비싼 수도권의 발전을 줄이고 값싼 남부지역이 전력을 공급하는 것이 경제적이다. 하지만, 전력계통에는 전압 level에 따라 수송할 수 있는 전력의 한계가 존재하여 비수도권에서 수도권으로 전송되는 전력량은 제한된다. FACTS 투입으로 인하여 수도권 지역에 무효전력원이 생긴다면 수도권 지역에 값싼 남부지방의 전력이 더 많이 공급되어 혼잡비용이 감소하게 될 것이다.

2.1.1 혼잡비용 산정

우리나라 계통의 경우 비수도권 지역의 발전단가가 수도권 지역의 발전 단가보다 값이 싸기 때문에 비수도권에서 수도권지역을 연결해주는 6개의 북상선로에 흐르는 용통조류의 양이 하나의 경제성을 평가하는 기준이 될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 FACTS 투입에 따른 혼잡비용 감소를 용통조류 여유(f-V)해석을 통하여 평가하였다.

용통조류의 양이 증가하면 할수록 혼잡비용이 감소되겠지만 반대로 수도권 지역의 무효전력 부족으로 인한 전압안정도 문제가 발생하게 되어 안정도 측면에서 한계를 갖게 됨은 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.

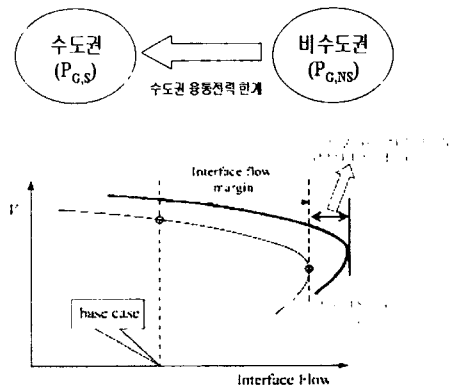
<표 1> 혼잡비용 산정공식

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

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

2.1.2 혼잡비용 경감액 산정 절차

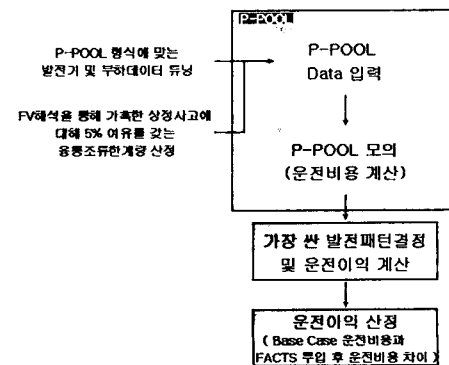
혼잡비용 경감액을 산정하기 위해서는 우선 어느 상정사고에 의해 혼잡이 발생되었는가를 파악해야 한다. 심각한 사고를 고려하여 수도권 북상조류의 한계가 결정되고, 이때의 발전 패턴으로 계통은 운전될 것이다. FACTS를 투입하면 북상조류량이 증가하게 되고 수도권의 바깥 발전량이 줄고 남부지역의 값싼 발전량이 증가될 수 있다. 이 때 FACTS를 투입하기 전·후의 발전비용의 차이가 혼잡비용 경감액이 될 것이다.



<그림 1> 각 상정사고 상태에서 용통전력 여유 결정

2.2 P-POOL을 이용한 FACTS 투입방안

P-POOL은 송전망을 바탕으로 장기 전력시장 예측 분석하는 프로그램으로 시간대별 발전량을 모의하며, 이익과 손실 분석 등의 기능을 제공한다. P-POOL에서는 별도의 선로데이터 없이 수도권과 비수도권으로 나누고 그 사이에 흐르는 용통전력량만으로 데이터를 구성하기 때문에 계통의 안정성은 고려되지 않는다. 따라서 계통의 안정성을 고려한 수도권 용통전력 한계량이 P-POOL에 입력되어야 한다. P-POOL을 이용하여 FACTS 투입 전·후의 발전비용을 모의하면 그 차이가 혼잡비용 경감액이 될 것이다..



<그림 2> P-POOL을 이용한 FACTS 운전이익 산정

2.3 사례연구

본 논문은 2010년 100, 90, 80, 70%의 한전 계획계통을 이용하여 모의한다. 제안된 FACTS 투입 후보지에 대하여 FV해석을 통해 용통조류한계량을 결정한다. 6개의 복사 선로 및 수도권 환상망 선로에서 사고발생시 전압 불안정 문제가 대두될 수 있다. 모의환경은 아래와 같다.

- 제안된 FACTS 투입 후보지 : 양주, 미금, 동서울, 신용인 [4]
- 선정된 가혹한 상정사고 : 수도권 345kV route 사고와 765kV ckt 사고 [5]
- 용통조류한계 여유 : 5% 여유
- 투입 FACTS 기기 : Shunt FACTS device (STATCOM, SVC)

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

〈표 2〉 결정된 부하수준별 용통전력 (동서울) (단위 : MW)

	부하수준 (부하량)	100%	90%	80%	70%
		(59584.03)	(54042.89)	(48002.48)	(42016.61)
Base	용통전력	15096.18	13977.47	12459.55	8975.67
	5%마진고려	14341.37	13278.6	11836.57	8526.887
동서울 100MVar	용통전력	15182.16	14049.9	12522.38	9002.12
	5%마진고려	14423.05	13347.41	11896.26	8552.014
동서울 200MVar	용통전력	15260.92	14110.96	12575.54	9000.67
	5%마진고려	14497.87	13405.41	11946.76	8550.637
동서울 400MVar	용통전력	15427.58	14242.41	12580.44	9061.61
	5%마진고려	14656.2	13530.29	11951.42	8608.53

P-POOL의 부하데이터는 매시간별로 다르게 입력되어 있고, 선로제약 데이터는 매월 주중·주말로 입력되게 되어 있다. 따라서 P-POOL 부하수준의 최대값과 최소값을 이용하여 P-POOL의 네트워크 데이터를 생성한다.

〈표 3〉 P-POOL 부하패턴의 최대, 최소값 (단위 : MW)

	주중		주말	
	Max	Min	MAX	Min
1월	53170	25335	53511	34284
2월	53479	41498	53010	34517
3월	52349	38036	52123	35081
4월	50506	35224	49935	32760
5월	49413	33811	48953	32148
6월	52563	35365	51345	31210
7월	57772	35645	54270	31577
8월	59693	33817	57701	31488
9월	53592	25103	52524	28231
10월	50682	36247	51365	32729
11월	52869	38683	52529	34341
12월	56528	37162	55563	36416

안정도를 평가할 때 이용된 4개의 제한된 부하수준(100, 90, 80, 70%)의 한전 시험계통을 가지고 월별로 네트워크 제약데이터를 만든다. 이를 위해 정해진 4개의 부하수준을 기준으로 부하수준 사이의 구간에서 용통조류한계량과 부하수준의 관계가 선형이라고 가정한다. 이렇게 산정된 용통조류한계값을 이용하여 P-POOL 모의하였다. FACTS를 동서울에 단일 투입하였을 경우의 모의결과는 다음과 같다.

〈표 4〉 FACTS 투입에 따른 운전비용 (동서울 단일 투입)

(단위 : 백만원(Mwon))

	Base	동서울 100MVar	동서울 200MVar	동서울 400MVar
1월	1871095.875	1870787.625	1870189.625	1870198.75
2월	1659531	1658084.5	1657719.625	1658948.625
3월	1818992.25	1818661.125	1818778.75	1817425.25
4월	1624882	1625959	1625951.625	1624259.25
5월	1644934.125	1644230.625	1644129.625	1642304.375
6월	1691954.25	1690214	1689998.5	1687682.625
7월	1788517.875	1787981.375	1792624.25	1793071.25
8월	1835093.375	1834154.25	1834503.875	1833544.75
9월	1605274.875	1604586.875	1604672.75	1603421.25
10월	1721026.125	1720305.25	1720323	1713110.625
11월	1766472.625	1767630.875	1767709.25	1766284.125
12월	1922374.5	1906587.75	1906496	1904721.5
합계	20950148.88	20929183.25	20933096.88	20914972.38
운전이익	0	20965.625	17052	35176.5

P-POOL 모의를 통해 산정된 운전비용을 가지고 FACTS를 투입했을 경우의 운전비용의 절감액을 계산할 수 있다. 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. 같은 절차를 반복하여 제안된 후보지에 대한 운전이익을 산출한 결과는 다음과 같다.

〈표 5〉 단일 투입 운전이익 (단위 : 백만원(Mwon))

	100MVar	200MVar	400MVar
양주	20480	54674	58322
미금	20860	17354	21876
동서울	20966	17050	35176
신용인	20854	16728	18008

〈표 6〉 2개 모선 투입 운전이익 (단위 : 백만원(Mwon))

	100-100 MVar	200-200MVar
양주-미금	18120	58450
양주-동서울	18040	58316
양주-신용인	17758	46702
미금-동서울	17334	36580
미금-신용인	16546	57164
동서울-신용인	16442	57034

P-POOL 모의 결과 대략적으로 FACTS 투입 용량이 많고 2개의 모선에 나누어서 투입했을 경우에 운전이익이 더 큰 패턴을 나타내고 있다. 모의결과와 FACTS 투입에 따른 경제성을 보여주고 있지만 운전이익이 다소 크게 산출되었다. 이는 P-POOL의 매시간 부하데이터를 제한된 4개의 부하수준으로 안정도를 평가하여 용통조류한계량을 산정했기 때문이다. 안정도와 경제성을 고려한 FACTS 투입방안을 보완하기 위해서는 P-POOL에서 결정된 발전패턴에 대한 안정도 검토과정과 보다 다양한 부하수준의 계통데이터를 기반으로 한 용통조류한계량 산정과정이 필요하다.

3. 결 론

본 논문은 P-POOL을 적용한 계통 혼합측면에서 안정도와 경제성을 고려한 FACTS 투입방안을 제시하였다. P-POOL은 계통을 단순한 2개의 모선과 이들을 연결하는 하나의 모선으로 한정하고, 시간대별로 다른 부하데이터를 가지고 있기 때문에 제한된 계통데이터를 가지고 경제성과 안정도를 모두 고려하는데 있어 어려움이 존재한다. FV해석을 하는데 이용된 계통데이터와 P-POOL의 입력데이터 형식이 다르고, P-POOL에서 필요한 연속된 부하데이터 대신 이산적인 부하수준을 바탕으로 한 전압안정도 평가 기준을 사용하였기 때문에 운전이익 결정에 영향을 주어 비교적 많은 운전이익이 계산된 것으로 판단된다. 그러나 FACTS의 투입이 용통조류한계량을 증가시켜서 수도권의 비싼 발전량을 줄이고 남부지역의 값싼 발전량을 증가시켜서 생기는 경제적 효과를 확인할 수 있었다. 본 논문에서는 수도권과 비수도권의 발전기 운전비용을 토대로 FACTS 투입의 경제성에 대해 결과를 도출했지만, 보다 정확한 비용산정을 위해서는 P-POOL의 여러 부하패턴에 대한 안정도 평가에 대한 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] 강상근, "Investment method of FACTS for improvement of stability of KEPCO System", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, A, 208-210, 2005