

병렬급전에서 변전소간 전압위상차 검토

Study of Phase Difference between Substations in Parallel Feeding Method

이장무* 이한민** 오세찬***
Lee, Chang-Mu Lee, Han-Min Oh, Seo-Chan

ABSTRACT

With increase of load power the case it will not be able to supply the power which is necessary to the vehicle, it establishes dosage increase of main transformer of substation or power compensation equipment, and must supply the power which is necessary. But like this method the expense and the hour when it is considerable are necessary. As an alternative plan, if neighborhood substation can supply power through parallel feeding then it can supply power applying the equipment of existing. So we investigate the possibility of parallel feeding method between neighboring substations through measuring results of voltage phase difference and analysing feeding circuit,

1. 서 론

교류전기철도 2x25kV AT급전방식은 154kV 3상의 전력을 수전 받아 2x25kV 2상(M상/T상)의 전력으로 변환하여 급전선로를 통하여 전기차량에 전력을 공급하며 각 상별로 최대 30km의 구간에 전력을 공급한다. 전기철도시스템의 주요부하인 전기차량은 선로를 따라 이동하며 견인과 제동을 반복하는 대용량의 집중부하로 전기적 변화가 매우 심하다. 특히 경부고속철도에 도입되는 고속열차는 사이리스터 위상제어 방식을 사용하는 15MW의 대용량인 부하로 1개의 급전구간에 여러 편성의 열차가 운행될 경우 전기적 변화는 매우 크다고 할 수 있다.

이러한 전기철도시스템에서 급전계통 운영환경의 변화 또는 열차의 운행이 증가할 경우, 차량 집전 전압이 운전가능최소전압 이하가 되어 열차운행에 지장을 초래할 수 있다. 이와 같이 부하의 증가 등으로 인하여 열차운행에 필요한 전력을 공급할 수 없을 경우, 변전소 주변압기를 증설하여 전력공급을 늘리거나 SVC와 같은 전력보상설비를 설치하여 필요한 전력을 공급하는 방안을 찾아야하며, 상당한 비용과 시간이 필요하다. 이에 대한 대안으로 추가적인 전력공급이 필요한 급전선로와 인접한 변전소에서 필요한 전력을 공급할 경우 급전계통 운영방법의 개선만으로 기존의 설비를 활용하여 해결할 수 있다. 즉, 이웃 변전소와 병렬급전을 함으로써 전원의 공급능력을 확대시킬 수 있다.

따라서 교류전기철도 AT급전시스템에서 이웃하는 변전소 사이의 급전선로에 병렬급전을 할 수 있는 조건, 즉 이웃하는 변전소간의 전압위상차에 따른 병렬급전에 대한 가능성을 전압위상차 측정결과와 회로해석을 통하여 그 적용성을 검토하고자 한다.

* 한국철도기술연구원, 도시교통기술개발센터, 정희원

E-mail : cmlee@krri.re.kr

TEL : 031-460-5421 FAX : 031-460-5749

** 한국철도기술연구원, 도시교통기술개발센터

*** 한국철도기술연구원, 도시교통기술개발센터

2. 본 문

2.1 병렬급전방식

우리나라의 간선 전기철도 급전시스템은 25kVx2 교류 AT급전시스템을 채택하여 운영 중에 있으며 변전소간 간격이 일반적인 AT급전시스템의 변전소 간격인 50~60km의 간격으로 배치되어 있다. KTX 고속열차가 부하 용량이 15MW로 매우 크기 때문에 선로의 손실을 감안하여 차량에 부하를 공급하기 위해 전철변전소의 변압기 용량이 커야 한다. 또한 변압기 용량이 크다 하더라도 부하가 일정이상 커지게 되는 경우 선로의 손실로 인하여 부하공급의 한계에 도달하게 된다. 이러한 경우 직렬콘덴서, SVC 등과 같은 전압강하보상설비의 설치 등을 고려해 볼 수 있으나, 병렬급전이 가능할 경우 전압강하 효과뿐만 아니라 전압강하 경감, 급전전력 손실경감, 순시 peak 안정, 전압불평형 경감, 절연구간(Dead Section) 축소와 같은 이점을 가지고 있다. 반면에 전류에 의한 급전손실 증가, 병렬투입·개방시의 과도현상 발생, 계통 고장시의 보호협조 등에 문제가 발생할 수 있다. 전류에 의한 급전손실 증가는 전력계통에 직접적인 영향을 줄수 있으며 병렬투입·개방의 경우도 계통에 발생하는 현상에 대한 검토가 필요하다.

2.2 병렬급전 가능성 조사

(1) 급전구분소 양단 전압 위상차 측정

국내 고속철도 5개 변전소를 대상으로 하여 각각의 급전구분소(SP)에서 측정을 하였다. 측정 조건은 급전구분소 양쪽 변전소의 급전전력을 서로 구분한 상태, 즉 병렬급전을 하지 않은 상태에서 측정하였다. 이 중 향남 급전구분소에서 측정한 결과를 보이고자 한다.

아래 그림 1.은 안산변전소측의 급전모선 전압과 평택변전소측의 전압값의 변화를 도시한 것이다. 양 변전소간 최대 전압차는 7.4kV 정도였으며, 이는 기준전압 55kV의 13.5%이다. 한편, 양 변전소간 위상차는 그림 2.에 나타내었다. 그림에서 보면 알 수 있듯이 양변전소 급전전압의 위상차는 최소 0°에서 12.9°의 범위에서 변동하였음을 알 수 있다. 전압과 위상차와의 관계를 살펴보면, 급전구분소에서 측정한 양쪽 변전소의 전압이 무부하전압에 비하여 비교적 낮은 경우 즉 부하가 있는 경우에는 양쪽 변전소 전압의 위상차가 커지며 부하가 없는 경우에는 2°이내의 위상차를 갖는 것으로 나타난다.

다른 급전구분소에서 측정한 결과도 위와 비슷하며 부하가 없는 경우, 2~4°의 위상차를 갖는 것으로 측정되었다.

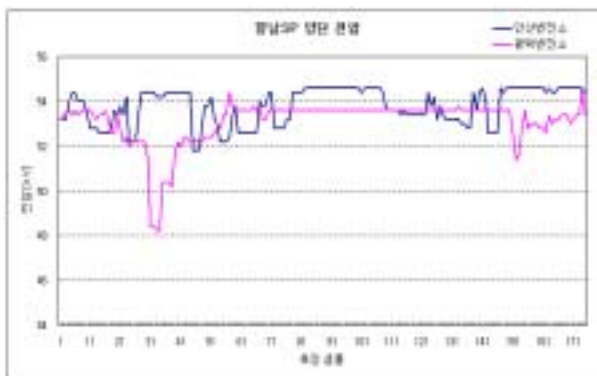


그림 1. 향남SP 양단 전압

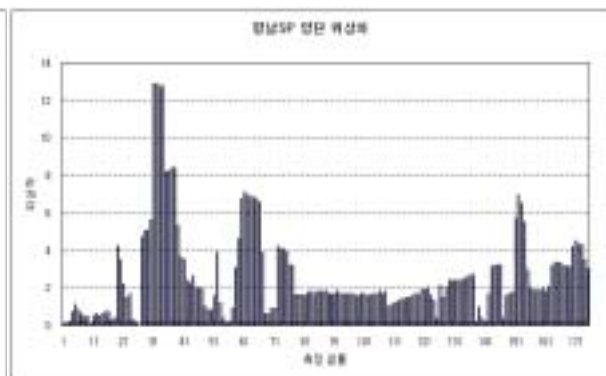


그림 2. 향남SP 양단 전압 위상차

(2) 국외 병렬급전 사례

양변전소간 병렬급전의 가능여부는 전압상차각의 크기에 따라 결정하는 것이 일반적인 견해이므로 위와 같은 측정을 통해 그 가능성을 타진한 것이고, 국내의 경우 병렬급전에 대한 전압위상차 조건이 명확히 제시된 것이 없으므로 일본 고속철도인 신간선 급전구간에서 실측한 결과를 표 1.에 나타낸다.

아래 표 1.에서 A, B를 병렬가능 구간으로 하면 측정한 15구간 중에 약 30%가 병렬이 가능하고 30%는 병렬급전시 별도의 대책이 필요하며 30%가 병렬이 불가능한 것으로 나타났다. 현재 동경-오오사카간 22개 구분소중 11개소가 병렬급전을 하고 있는 실정이다.

표 1. 신간선 변전소간 전압상차각 측정결과

분류	상차각 범위	내 용	측정결과 (변전구간 수)	비고
A	0~3°	병렬가능	2	
B	0~6°	병렬가능(필요시)	3	
C	0~10°	병렬시 별도대책 필요	5	
D	10°이상	병렬 불가능	5	

2.3 병렬급전 시뮬레이션

변전소간 병렬급전 가능성에 대하여 전력 시뮬레이션 Tool인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 전압위상차 변화에 따른 병렬급전시의 급전시스템의 변화를 살펴보았다. 대상구간으로 고속철도 안산변전소와 평택변전소간의 급전시스템을 선택하였으며, 무부하시와 고속열차가 급전시스템에 위치할 때 나누어 시뮬레이션을 수행하였다.

(1) 무부하시의 예측

그림 3.은 무부하시 병렬급전을 평가하기 위한 시뮬레이션 계통으로서 그림의 상단부 계통이 안산변전소측의 계통이며, 아래부분은 평택변전소측 계통이다. 그림에서 보듯이 두 변전소간은 향남SP에서 차단기를 통해 연결되어 있다.

시뮬레이션은 병렬급전상태에서 차단기의 개방과 재폐를 통하여 급전시스템의 상태를 평가하였다.

다음은 시뮬레이션을 위한 주요조건들이다.

- 시뮬레이션 시간 : 1.5초
- 차단기 투개방 회수 : 2회
- 차단기 초기상태 : 투입상태
- 차단기 개방 : 0.5초
- 차단기 재폐로 : 1초

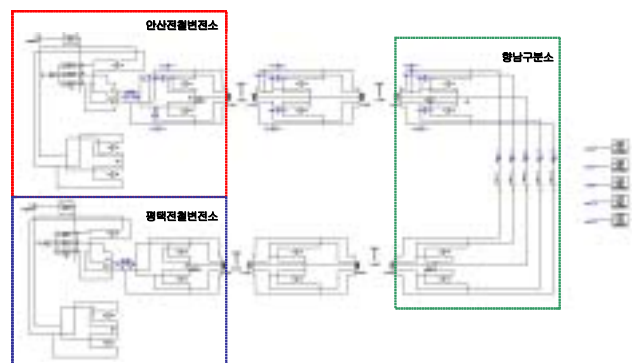


그림 3. 병렬급전예측을 위한 시뮬레이션 계통

양쪽 변전소의 급전구간에 부하가 없는 무부하 경우에 대한 시뮬레이션을 두 변전소의 전압을 동일 위상에서부터 1°씩 변화시켜가면서 각 변전소 급전모선에서의 전류를 계산하였으며, 다음 표 2.는 그 결과를 정리한 것이다.

아래 그림 4.-6.은 위상차가 3°일 때 급전모선에 흐르는 전류와 역률을 그래프로 도시한 것이다. 그림 5.57에서 보듯이 차단기가 투입되어 있다가 0.5초후에 개방되었으며, 다시 1초에 투입되는 것을 볼 수 있다. 또한 안산변전소의 경우 역률이 병렬급전시에 음의 값을 갖다가 차단기가 개방되었을 때

양의 값으로 변화하는 것을 그림 5.에서 볼 수 있다. 이것은 병렬급전시에 안산변전소로 전류가 유입되고 차단기 개방과 동시에 병렬급전이 중지되면 변전소에서 구분소까지 전류가 다시 흐르는 것을 보여주는 것이다.

표 2. 무부하시 전압위상차에 따른 양측 변전소 급전전류

전압위상차		0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°
차단기 개방	안산SS 급전전류[A]	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4
	평택SS 급전전류[A]	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6
차단기 폐로	안산SS 급전전류[A]	3.5	24.2	51.7	119.2	106.6	134.1	161.6	189.1	216.6	243.9	271.4
	평택SS 급전전류[A]	3.5	30.8	58.3	85.7	113.2	140.7	168.2	195.7	223.1	250.5	278.0

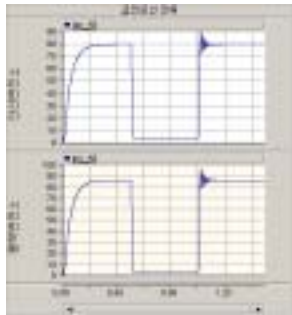


그림 4. 모션전류변화

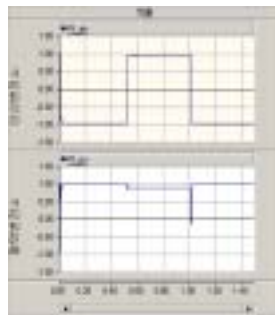


그림 5. 역률변화



그림 6. 향남SP 차단기 전류 변화

위의 결과를 종합해 보면 위상차가 커질 수록 평택변전소에서 안산변전소로 전력이 유입되어 평택변전소의 공급전력은 점차 증가함을 알 수 있다. 일례로 위상차 10°일 때는 안산 및 평택변전소 급전구간에 흐르는 무부하전류 7A와 안산변전소로 유입되는 전류 271A를 합쳐 평택변전소에서 278A의 전류가 흐르고 있다.

(2) 차량이 급전구간을 운행할 경우의 예측

시뮬레이션 구간에 차량이 1편성 운행중이라고 가정할 때, 차량의 위치가 변함에 따라 변전소 전원의 위상에 따른 결과를 보이게 한다.

가) 변전소 부근에 차량이 있을 때

다음은 평택변전소 부근에 열차가 1대 역행중일 때 모의한 결과를 보기로 한다. 아래 그림 7.은 열차가 급전구간 내에 위치한 시뮬레이션 계통도이다. 차량의 역행의 다른 조건은 무부하 시뮬레이션과 동일하다.

변전소간 전압 위상차에 따른 시뮬레이션 결과는 다음 표 3.과 같다.

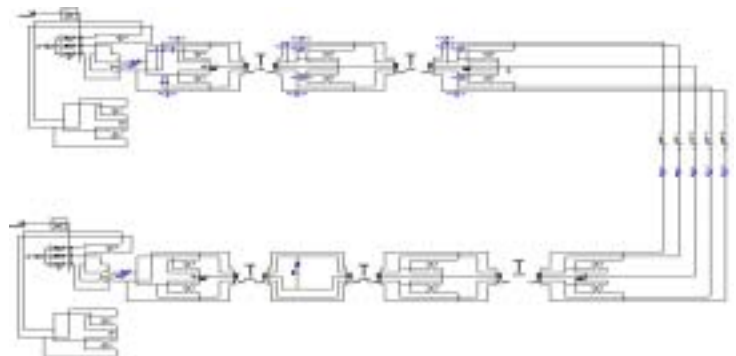


그림 7. 병렬급전 모의 계통 - 차량 변전소 부근 위치

표 3. 부하시 전압위상차에 따른 양측 변전소 급전전류(변전소 부근 차량 위치시)

전압위상차		0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°
차단기 개방	안산SS 급전전류[A]	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	평택SS 급전전류[A]	257.9	257.9	257.9	257.9	257.9	257.9	257.9	257.9	257.9	257.9	257.9
차단기 폐로	안산SS 급전전류[A]	91.1	62.9	35.0	9.7	23.4	51.0	79.0	107.2	135.2	163.5	191.7
	평택SS 급전전류[A]	170.1	197.9	225.7	254.3	282.4	310.7	338.8	366.8	395.2	423.3	451.3

나) 구분소 부근에 열차가 위치할 때

다음은 구분소 부근에 열차가 1대 역행중일 때 모의한 결과를 보기로 한다. 아래 그림 8.은 열차가 급전구간내에 위치한 시뮬레이션 계통도이다. 변전소 부근에 부하가 위치할 때와 다소 상이한 결과를 얻을 수 있었으며, 결과 값들은 다음 표 4.에 보인다

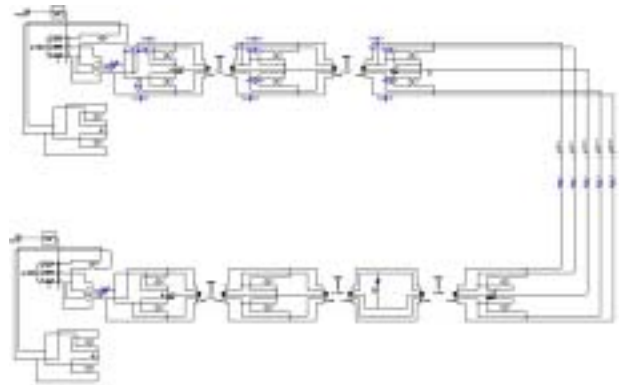


그림 8. 병렬급전 모의계통 - 차량 SP 부근 위치

표 4. 부하시 전압위상차에 따른 양측 변전소 급전전류(구분소 부근 차량 위치시)

전압위상차		0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°
차단기 개방	안산SS 급전전류[A]	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	평택SS 급전전류[A]	253.1	253.1	253.1	253.1	253.1	253.1	253.1	253.1	253.1	253.1	253.1
차단기 폐로	안산SS 급전전류[A]	104.7	62.9	77.1	50.5	27.9	25.1	45.8	72.1	99.5	127.5	155.6
	평택SS 급전전류[A]	155.4	197.9	183.7	212.0	240.3	268.6	296.9	296.9	353.4	381.7	410.0

다) 부하시의 검토

전기차인 부하가 구분소 부근에 위치할 때 모의 결과는 이상과 같으며, 이를 정리해보면 몇가지 특징이 있다. 먼저, 위상차가 동일할 때, 변전소 부근에 열차가 위치할 때보다 인근변전소에서의 부하 분담율이 더 높은 것을 알 수 있다. 또한 위상차의 변화에 따른 전류의 흐름은 4°의 차이까지는 두 변전소에서 부하를 분담하여 전력을 공급하고 있지만 전압위상차가 5°이상이 될 때에는 부하가 위치한 쪽의 변전소에서만 전력을 공급하며, 병렬급전 하는 인근변전소로는 전류가 오히려 유입되고 있는 현상을 보이고 있다.

3. 결론

교류 AT급전구간에서 병렬급전 가능성 여부를 판단하기 위하여 고속철도 급전구간의 급전구분소에 서 구분소 양단 전압 위상차를 측정된 결과 무부하시 2~4°의 위상차를 갖는 것으로 측정되었다.

국외 병렬급전 사례를 조사한 결과 일본의 경우 위상차가 3°이내인 경우 병렬급전이 가능하며, 6°이

내인 경우 필요시 병렬급전이 가능한 것으로 조사되었다. 또한 자체 병렬급전 시뮬레이션을 실시한 결과 급전구분소 양단 전압의 위상차가 4°이내인 경우 양쪽 변전소에서 부하를 분담하여 공급하지만 위상차가 5°이상이 될 경우 한쪽 변전소로 전류가 유입되는 현상이 나타나 병렬급전이 곤란한 것으로 나타났다.

따라서 고속철도 변전소의 경우 모두 위상차가 4°이하임으로 병렬급전이 가능할 것으로 판단되며, 일반 교류전철화 구간에서도 변전소간 전압위상차가 4°이내인 경우 병렬급전이 가능할 것이다. 다만 병렬급전을 실시하기 전 충분한 시험을 거쳐야 하며 병렬급전시의 고려하여야 할 사항(예 보호계통구성 등)에 대한 검토도 함께 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

1. 일본철도총연교육강좌, 1995, 철도총합기술연구소
2. 한국철도기술연구원(2004), “경부고속철도 서울-대구구간 전력품질 안정화 대책연구 ”
3. 고속전철 서울-대전 구간 고조파, 전압불평형, 역률 예측계산 및 대책설계, 2000.12, 한국고속철도건설공단
4. Minoru Obe, Masaaki Ono and Tadao Shibuya, "Voltage Compensation and 3-Phase Balancer for Efficient Operation of Electric Trains", MEIDEN REVIEW Series No.105, 1995, No.3, pp.20-28
5. 한국철도기술연구원, PSCAD/EMTDC를 이용한 도시철도 교류 급전시스템 해석 모델개발 및 적용, 2002년