

역사 복합에너지 통합해석 및 스케줄링 최적화기술 개발

고 락 경 / 고려대학교
이 한 상 / 경일대학교
정 호 성, 김 형 철 / 한국철도기술연구원

1. 서 론

도시철도 열차는 전기로 구동된다는 점에서 다른 운송수단과 차별화 된다. VVVF 컨트roller를 통해 열차 제동 시 환원되는 회생전력은 시시각각 수급이 일치해야 하는 전력계통의 특성상 대부분이 쓰이지 못하고 저항기로 소모되고 있다. 이를 보완하기 위해 에너지저장장치(ESS)를 사용하는 방안이 연구되었으나, 설치 가격대비 효율이 낮아 실제로 사용하긴 어렵다. 따라서 ESS외에 다양한 장비들과 기법들이 투입되어야 한다.

또한 전동차는 역사(station)건물과 같은 변전소에서 나온 전력을 사용하며, 따라서 사용 전력을 절감하는데 있어서 그 둘을 분리하여 생각할 수 없다. 하지만 역사는 교류를 사용하며 열차는 직류를 사용하기에 상이한 해석방법을 사용하고 있으며, 사용전력 최적화도 따로 이루어지고 있다. 더 나은 최적화를 위해 이 둘을 통합하여 해석할 수 있는 기법과 스케줄링 알고리즘이 필요하다.

전동차 외에도 전력을 소모하는 주체인 역사 건물도 태양광등 다양한 신재생 에너지가 적용됨에 따라 이들을 통합적으로 관리할 수 있는 방안이 필요하다. 열차와 역사의 부하, 회생전력과 ESS 및 다양한 에너지원의 통합적 관리가 가능해진다면 효과적으로 전력 사용량을 줄일 수 있을 것이다. 특히 많은 전력이 소모되는 열차

출발 시나 탑승객이 몰리는 출퇴근 시간의 피크 전력을 효과적으로 절감할 것으로 예상된다.

2. 회생전력

2.1 회생전력이란

국내 도시철도 차량은 VVVF 제어 방식을 도입하고 있다. VVVF 제어는 직류계통에서 유도전동기를 사용하기 위한 방법이며, 가변(Variable)전압(Voltage) 가변(Variable) 주파수(Frequency)의 약자로 말 그대로 전압과 주파수가 모두 변하는 제어 방식이다.

그림 1은 VVVF제어 방식의 개념도를 보여주고 있다. VVVF제어의 핵심은 직류전원을 사용하는 도시철도 계통에서 유도전동기를 구동하는 것이다. VVVF 컨트roller는 마이크로 컨트roller에 의해 조절되는 6개의 스위치를

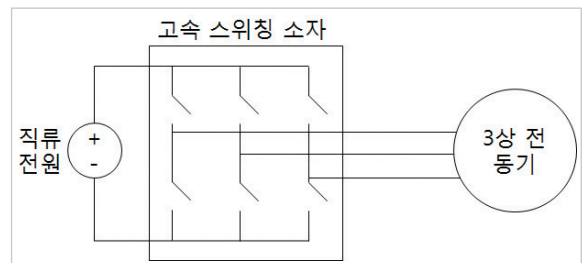


그림 1 VVVF 제어



통해 직류를 교류로 변환한다. 주목할 점은 VVVF컨트롤러는 교류를 직류로 바꿀 뿐만 아니라 외부에서 전동기를 돌려서 교류 전압을 만들어내면 이를 정류하여 직류 전원으로 바꾸어 내놓을 수 있다. 이를 적용한 것이 바로 '회생전력'이다. 열차 제동 시 열차의 운동 관성에 의해 돌아가는 바퀴를 이용하여 운동에너지의 일부를 VVVF 컨트롤러를 통하여 다시 직류전력의 형태로 전원에 환원한다. 그대로 버려질 에너지의 일부를 환원하여 쓰는 것이 바람직하지만은 않다.

2.2 회생전력의 현황

저장이 되지 않아 수급균형이 시시각각 일치해야하는 전력계통의 특성상 회생에너지를 얻었다 하더라도 그 즉시 써버리지 않으면 오히려 해가될 뿐이다. 계통의 전력 수급이 맞지 않을 경우 전압과 주파수가 변하게 되는데, 써버리지 못한 회생전력은 말 그대로 잉여전력이 되어 가선의 전압을 상승시키게 된다. 또한 회생에너지는 제동 시 바퀴의 회전속도를 따라 변하는 주파수를 가진 전류를 정류하여 만들었기 때문에 직류계통에 고주파 노이즈를 발생시킬 우려가 있다. 따라서 현재는 상당량의 회생에너지를 저장기를 이용해 소비하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 연구가 활발히 진행 중이다. ESS를 통해 가선으로 공급 된 에너지를 저장 하였다가 수요가 높은 때에 다시 꺼내 쓰는 방안이 제시되고 있다.

이는 그림2에 잘 설명 되어있다. 가선의 전압이 과하게 치솟는 부분과 과하게 떨어지는 부분을 상당량 보완

해 주는 것을 알 수 있다. 또한 ESS는 철도변전소의 공급 전력도 절감시켜주는 효과를 가진다. 주목할 점은 평균적인 전력 공급도 줄여주지만 피크전력을 많이 줄여준다는 점이다. 산업용 전력요금 과금 방식의 특성상 피크전력은 줄일수록 좋으며 ESS는 이러한 기능을 잘 수행하고 있다. 하지만 연구결과 실제 피크전력 저감 효과는 4%정도로, 설치비용 대비 효과가 미비한 것으로 나타났다.

ESS외에도 다른 발전 원을 사용한다면 열차 출발 시 높은 전력 사용으로 떨어지는 부분을 상당량 보완 해 줄 수 있으며, 가선의 전압을 더욱 안정적으로 만들어 줄 것이다.

3. 도시철도 역사 에너지 시스템

3.1 도시철도 역사 전력 사용 패턴의 특징

국내의 도시철도시스템의 경우 변전소에서 공급된 전력을 차량의 기동 뿐 아니라 지하철 역사 내 편의시설, 상업시설 및 인근 철도시스템의 공조, 조명에도 사용하고 있다. 이러한 역사 내 부하는 일반적인 부하와 마찬가지로 교류부하로 취급된다. 변전소는 이러한 열차와 역사를 구분 없이 취급 하게 된다. 따라서 변전소 전력 사용량은 일반적인 수요패턴과는 다르게 퇴근시간에 집중되는 특징을 보인다. 이러한 경향은 역사의 특징마다 다른데, 야외 역사가 주를 이루는 변전소에서는 공조, 조명 등의 부하가 지하 역사가 주를 변전소에 비해 상대적으로 적다. 따라서 출 퇴근 시간에 수요가 집중되는 특징이 더욱 두드러지게 나타날 수밖에 없다.

3.2 신재생 에너지 및 ESS의 해외 사례

뉴욕의 Coney Island -Stillwell Avenue 역의 경우 재건축 과정에서 지붕에 2,800개의 건물일체형 박막 태양전지모듈을 설치하였으며 이 태양전지모듈은 총 210kW, 연간 25만kWh의 전력을 생산한다.¹⁾

독일의 경우를 살펴보면 Uelzen역은 태양전지모듈을 통해 100kW의 전력을 생산하며 Lehrter Haupt-Bahnhof 역 지붕은 태양전지를 활용하여 180kW의 전력을 생산하고 있다. 이 밖에도 Bad Lauterb역에서는 지열을 이용

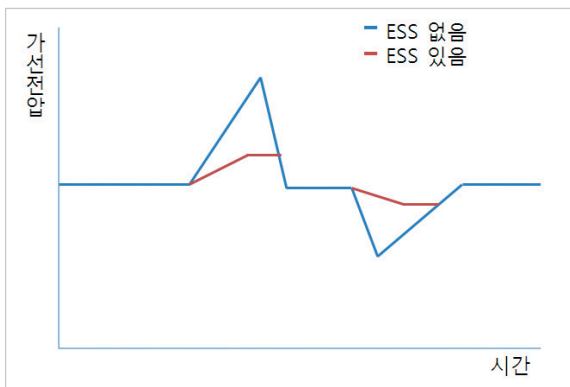


그림 2 ESS에 의한 가선 전압 변화

1) 출처: 해외의 신재생 에너지 이용 철도역사 구축사례, 2009, 한국철도기술연구원

해 플랫폼 위에 눈을 녹이는 기술을 갖추고 있다.

독일의 경우 태양열 모듈 외에도 Poewrbridge 라는 플라이휠 타입의 에너지 저장장치를 도입하여 회생전력을 저장하여 이를 활용하고, 가선전압을 안정시키는데 성공하였으며 운영비용 절감을 구현하였다. 실제로 2004년 전력소비량은 전년도 대비 18%정도 감소하였다.

에너지와 전력효율에 대한 관심이 높고, 신재생 에너지 발전이 활발히 추진되고 있는 선진국을 중심으로 에너지 저장장치를 이용한 연구 개발 및 사업화가 지속적으로 추진 되고 있다. 일본과 같은 경우에는 미쓰비시사에서 14kWh급 리튬이온 배터리를 이용한 전력저장 시스템이 개발되었으며 신재생에너지에 적용되는 에너지 저장장치를 지속적으로 개발하고 있다.

4. 통합 스케줄링 알고리즘

4.1 필요성

이번 과제에서는 역사와 열차시스템에 ESS 및 다양한 신재생 에너지원을 투입하려 하고 있다. 이들은 같은 변전소에서 전력을 공급받고 있으며, 신재생 에너지원 역시 변전소에 연결될 수 있으며 몇몇 에너지원은 다시 가선에 직접적으로 연결되기도 할 것이다. ESS는 역사와 가선에 모두 연결 되어있으며 그 중 역사와의 연결은 교

류로의 변환이 필요하다. 태양광 발전역시 ESS를 통해 양쪽에 모두 공급될 수 있으며 연료전지는 도시철도 역사에 직접 연결되어 있다. 이러한 시스템에서 각각의 장치마다 독립적으로 해석하고 독립적으로 관리한다고 효율적인 작동이 보장되지는 않는다. 효율적인 관리를 위해선 이들 기기를 하나로 통합하여 스케줄링 할 수 있는 알고리즘이 필요하다. 본 연구를 통하여 개발하고자 하는 바가 바로 이 스케줄링 알고리즘이다.

4.2 기대되는 효과

첫 번째로 사용전력을 눈에 띄게 줄일 수 있다. 뉴욕의 예를 들자면 하절기의 경우 역사운영에 필요한 에너지의 2/3를 충당할 수 있으며, 빛의 일부를 투과시켜 자연조명으로도 사용할 수 있으므로 조명비용도 아낄 수 있게 된다. 스케줄링으로 인하여 회생전력의 사용률이 올라간다면 그만큼의 에너지를 절감할 수 있다. ESS와 연동하면 이러한 사용전력 절감 효과를 볼 수 있는 시간대를 보다 유동적으로 조절 할 수 있으며, 이는 경제적 이득을 발생시킨다.

전력요금은 시간마다 다르다 현재 산업용 전기요금은 사용료 부분을 계절별로 다르게 책정하고 있다. 애석하게도 현재 기술로 가격이 상대적으로 싼 봄이나 가을에 전력을 저장해두었다가 전력수요가 피크를 찍는 여름이

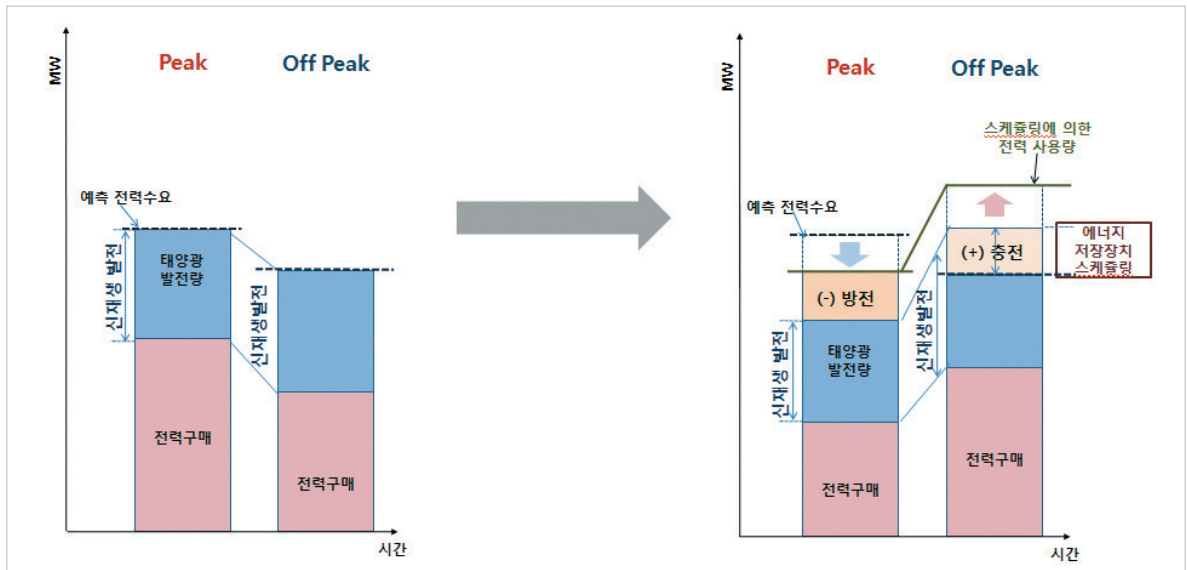


그림 3 복합 발전원과 에너지 저장장치를 이용한 운영비용 절감 방안 개략도



나 겨울에 사용하는 것은 불가능하다. 하지만 시간별 요금책정이 현실화 된다면 통합 에너지관리 시스템은 더욱 매력적으로 다가온다.

그림에서와 같이 전력요금에 비싼 피크시간에는 ESS에 저장된 에너지를 사용하고, 전력요금 단가와 연료전지 발전단가를 비교하여 연료전지가 더욱 경제성 있다고 판단되면 연료전지를 가동시켜 전력 구매비용을 더욱 줄일 수 있다. 그 외에도 가선의 전압을 안정화시키는 효과가 있어 부품들의 수명을 늘리는 간접적 효과를 누릴 수도 있다. 또한 태양광 등의 신재생에너지를 역사에 설치함으로써 정전과 같은 만약의 상황에도 더욱 유연하게 대처할 수 있다.

사회적으로는 철도 교통비용을 줄임으로써 철도 교통으로 승객을 유도하여 교통 혼잡으로 인한 사회적 비용을 절감할 수 있으며, 신재생에너지 사용의 증가로 이산화탄소 배출량을 줄이는 효과도 누릴 수 있다.

4.3 개발 과정

이러한 스케줄링 알고리즘을 개발하기 위해서는 다양한 데이터와 기법들이 필요하다. 우선 역사별 전력 소비 패턴이 필요하다. 이 역사의 전력 소비량 피크가 언제 일어나는지, 계절별 소비 전력이 어떻게 달라지는지를 파악해야 한다. 이러한 특징들은 역사의 지리적 환경에 의해 크게 좌우될 것이다. 야외 역사는 공조시설이 없고 냉난방을 하지 않는다. 반면 지하 역사는 공조시설 및 냉난방에 의한 전력 소비가 상당할 것이다. 또한 변전소의 전력 소비패턴은 열차의 운행 스케줄에도 영향을 받으므로 가선의 전력소비 패턴도 중요한 데이터다. 따라서 이

러한 역사의 특징을 파악하고 분류하기 위한 데이터베이스가 필요하다. 데이터베이스를 얻고 나면 역사들을 특징별로 클러스터링하는 작업을 거치게 된다. 그리고 나서는 테스트베드의 지리적 조건, 열차 스케줄 등을 고려하여 역사 그룹 중 가장 적합한 곳에 포함시키고, 최적화 작업을 하게 된다. 물론 최적화 작업을 수행하기 전에 ESS와 태양광 발전, 연료 전지 등의 용량을 산정하여야 최적화 작업이 진행될 수 있을 것이다.

4. 결 론

현재 도시철도 역사는 상당량의 회생전력을 저항기로 소모하고 있고, 역사 역시 많은 양의 전기를 사용하며, 소비량 증감에 유연하게 대처할 수 없다. 하지만 ESS를 비롯한 최신 에너지 관리 시스템을 적용 시킨다면 회생전력으로 얻어진 에너지를 저장해둘 수 있고, 역사 역시 신재생 에너지로 소비전력의 상당량을 대체 할 수 있다. 또한 역사에 최적화된 스케줄링으로 시간대 별로 소비전력을 조절하여 피크전력을 저감 시킬 수 있으며 이는 전기요금 절감으로 직결된다. 역사와 열차가 같은 변전소에서 나오는 전기를 사용하기 때문에, 이 둘을 통합적으로 해석 할 수 있는 기반이 마련되고, 그에 따라 ESS와 신재생 에너지를 역사에 최적화 하여 작동시킬 수 있다면 전력 소비량 감소를 기대 할 수 있을 것이다. 또한 더 나아가 화력과 원자력에서 나오는 전력을 태양광이나 연료전지 등으로 대체함으로써 더욱 자연친화적인 도시철도 될 수 있을 것이다.