

도시철도 급전시스템용 BESS에 관한 연구

The study of the Urban railway system BESS

정현기*[†], 서석찬**, 김병현*, 권남흥*

Hyun-Ki Jung*[†], Seck-Chan Seo**, Byung-Hyun Kim*, Nam-Hng Guen*

Abstract The current urban railway system used by common people has many problems because of using the maximum power that is intensively used by a special time like rush-hours. Because these problems like the power failure is actually occurring by using the maximum power, The government try in many-sided to reduce that. So, This paper suggests several operating modes of the maximum demand reduction system to control the maximum demand power and verify the validity of the operating mode and control algorithm.

Keywords : maximum power, maximum demand power, maximum demand reduction system, algorithm

현재 도시철도는 공공이 이용하는 시설로서 출퇴근 시간 등 특정시간에 집중적으로 전력부하가 사용되므로 최대 전력 사용에 따른 문제가 대두되고 있다. 국내에서도 실제 이러한 최대전력에 의한 사고로 정전사태가 일어나는 사례가 속출하고 있으며, 이에 따라 정부에서는 최대전력을 저감하기 위한 노력이 다각적으로 진행되고 있다. 본 논문에서는 이러한 최대수요전력을 억제하기 위한 최대수요전력 저감장치에 대하여 여러 운용모드를 제안하고, 이를 실증하여 시험함으로써 본 논문에서 제안하고자 하는 운용모드와 제어 알고리즘의 타당성을 검증하였다.

주요어 : 최대전력, 최대수요전력, 최대수요전력 저감장치, 알고리즘

1. 서론

국내 전력 계통의 전원설비는 한국전력공사에 의해 운용되고 있으며, 최대수요전력에 대한 정전사태를 막기 위하여 발전설비에 전력 예비율을 두어 운용하고 있는 실정이다. 하지만 수용가의 전력사용량의 증가에 따라 전력 예비율이 감소로 인해 정전사태에 대한 위험률은 상대적으로 증가되고 있다. 이러한 전력 계통에 있어서 최대 수요전력저감 장치는 발전소에 전력 예비율을 향상시킴으로서 발전소의 전력 예비율 증설에 따른 발전소 건설비 및 운용비를 저감시키고, 발전소 운용의 최적화를 통하여 CO₂ 저감을 통한 환경오염방지도 이바지 할 수 있다. 더불어 수용가에서는 최고전력을 낮추어 전기기본요금 저감 및 예상치 못한 최고전력 초과사용에 대한 부담을 완화할 수 있는 효과를 얻을 수 있다. 본 논문에서는 이러한 최대수요전력저감 장치에 대한 여러 운용모드에 대하여 제안하고, 이를 실증하여 시험함으로써 최대수요전력저감 장치의 효용성에 대하여 검증하였다.

† 교신저자: 서울메트로 기술본부(hyunki@seoulmetro.co.kr)

* 서울메트로, ** (주)우진산전

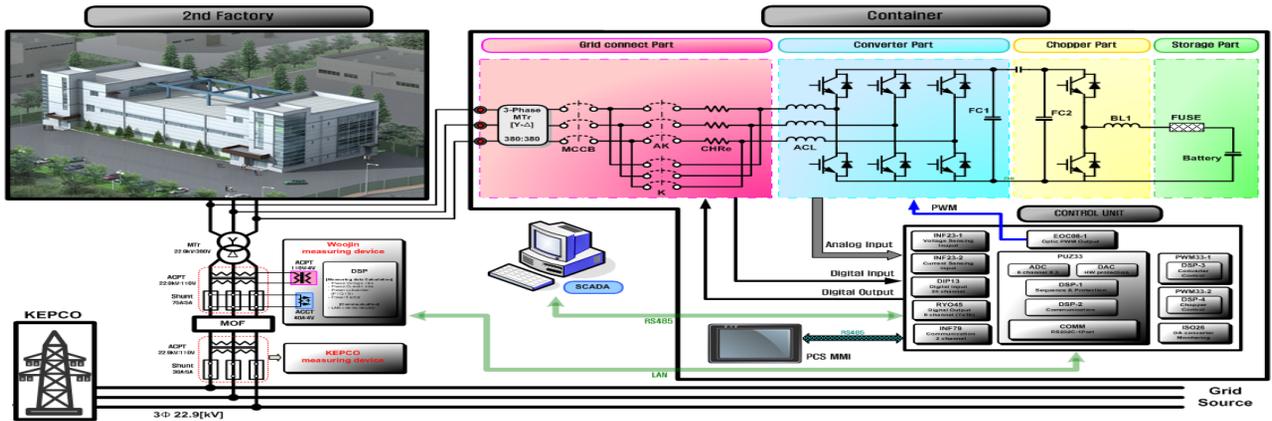


그림1 피크 전력 저감 장치 구성도
 Fig.1 Schematic of Peak power shift system

2. 본 문

2.1 피크전력저감 장치 운용모드

피크전력 저감 장치의 운용모드는 계통과 부하패턴의 전력분석 방식에 따라 크게 부하평균화 모드와 피크컷 모드, 스케줄링 모드로 구분할 수 있다. 일반적으로 사용 부하의 전력을 감시하여 제어하는 경우에는 부하 평균화 모드가 사용되고, 계통의 수요전력을 감시할 수 있는 경우에는 피크 컷 모드를 사용한다. 만약 계통의 수요전력과 부하 전력을 감시할 수 없는 사이트에서는 스케줄링 모드를 통하여 전력을 제어할 수 있다. 이러한 각 운용모드에 따른 동작은 표 1에서 보는 것과 같다.

표 1 시스템 운용모드에 따른 기능
 Table 1 Functions of system operation mode

모드	특징	PCS 운용시점
부하 평균화	-주야간 전기요금 차이에 의한 경제효과	충전: 야간 새벽 시간대 방전: 최소 수전전력 발생 시
전력 피크컷	-기본요금을 내리는 경제적 효과 -전력회사의 부하 평균화에 공헌하는 것에 의해 CO ₂ 의 저감	충전: 야간 새벽 시간대 방전: 최대 수전전력 발생 시
스케줄 모드	-부하 평균화 및 피크 전력 모드에서의 부하중 제어 최적화 -전지의 최적사용 패턴 구축	충전/방전: 스케줄링에 따른 패턴 -부하 패턴을 미리 파악하는 것이 필요 -스케줄링을 위한 메모리 할당 필요
강제 충전	-배터리 충전시험 시 -강제 충전 필요 시	설정시점 -배터리 수명관리에 의한 운용
강제 방전	-배터리 방전시험 시 -강제 방전 필요 시	설정시점 -실제 운용 시 거의 사용되지 않는 모드

2.1.1 부하 평준화 모드

부하 평준화 모드는 수용가에서 일정 전력 이상 전력을 사용하는 경우 일정 전력을 피크 전력 저감장치를 통하여 공급하는 모드로서 주야간 전기요금 차이에 의한 경제 효과를 얻을 수 있는 장점을 가진다. 하지만 수용가의 전력을 감시하기 위한 별도의 전력 감시 장치가 필요하다는 단점을 가진다. 그림 2는 부하 평준화 모드에서의 전력 충/방전 상황을 도시한 것이다.

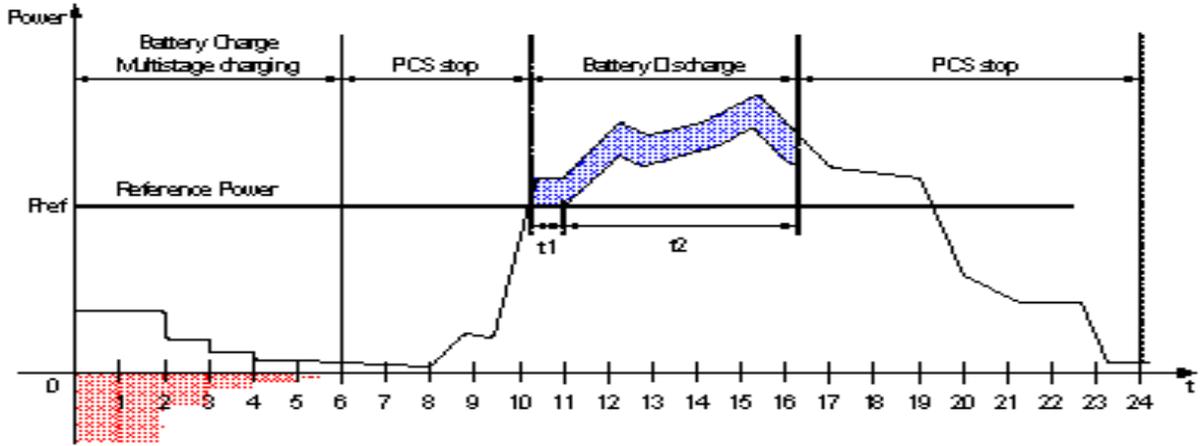


그림2 부하 평준화 모드
Fig.2 Load sharing mode

2.1.2 피크 컷 모드

피크 컷 모드는 계통으로부터 수용가측에서 사용하는 전력을 감시하여 수용가의 최대 수요 전력을 수용가의 부하가 아닌 사용자가 결정할 수 있도록 하는 모드로서 최대 수요전력에 대한 수용가의 계약 전력을 낮추어 주는 역할을 수행하며, 더불어 전력회사의 부하평준화 및 예비 전력 수급률을 높여주는 기능을 수행한다. 하지만 이 모드 역시 부하 평준화 모드와 마찬가지로 별도의 전력 감시 장치가 필수적으로 필요하다는 단점을 가진다.

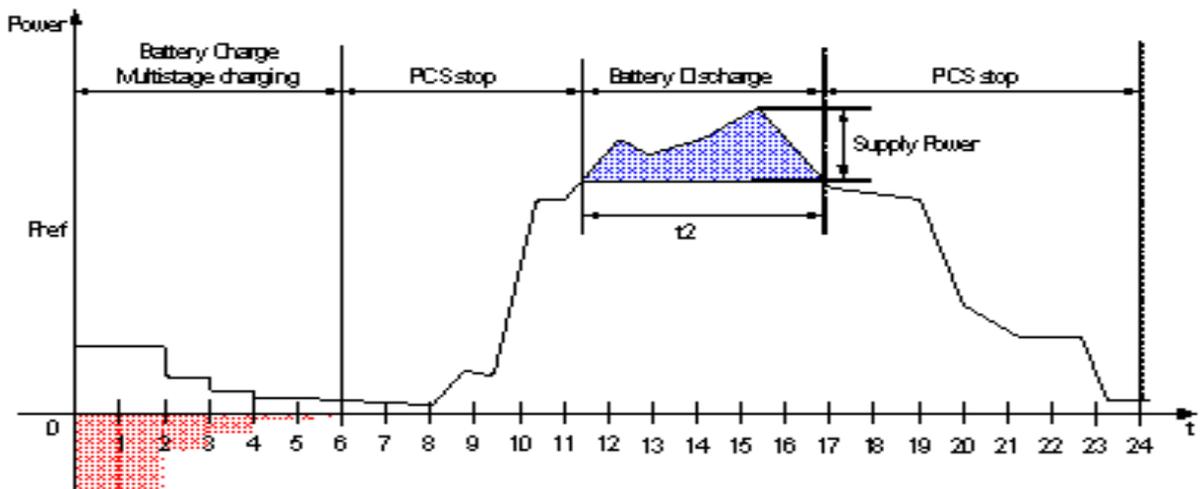


그림3 피크 컷 모드
Fig.3 Peak cut mode

2.1.3 스케줄 모드

스케줄 모드는 수용가의 전력사용 패턴을 인식하고 있는 경우에 적합한 모드로서 부하 평준화 및 피크전력

모드에서의 부하 추종 제어를 최적화 할 수 있고, 배터리의 최적 사용 패턴을 구축할 수 있는 장점을 가진다. 또한 별도의 외부 전력을 감시 할 수 있는 장치가 필요하지 않다는 점에서도 이점을 가진다. 하지만 부하패턴에 대한 분석이 선행되어야 하며, 스케줄링 패턴에 의한 메모리의 할당이 필요하며 일정한 부하 패턴을 보이지 않는 사이트에 경우에는 사용할 수 없는 단점을 가진다.

2.1.4 강제 충전/방전 모드

강제 충전/방전 모드 기능은 배터리의 특성을 확인하기 위해 사용되며, 수용가에서 급하게 많은 전력을 필요로 하는 경우나 혹은 배터리의 수명관리를 위하여 주기적인 만 충전을 요구하는 경우에 사용된다. 배터리 만 충전 시에는 다단 충전 알고리즘을 적용하여 충전을 하면 빠르고 안정적으로 배터리를 충전 시킬 수 있게 된다.

2.2 전력변환장치

최대수요전력저감 장치는 3상 컨버터와 양방향 DC-DC 컨버터 그리고 저장매체 인 배터리로 구성된다. 여기서 3상 컨버터는 계통의 전력과 동위상 제어를 위한 PLL(Phase Locked Loop) 및 전력을 제어하기 위한 전력제어기로 구성되며, 양방향 DC-DC 컨버터는 3상 컨버터의 전력제어에 의한 DC-link전압이 일정하게 유지되도록 하는 기능을 수행한다. 여기서 양방향 DC-DC컨버터는 배터리 공칭전압과 3상 컨버터에 의한 정류전압과의 관계에 의해 생략할 수도 있다. 만약 배터리 전압이 3상 컨버터 기동을 위한 최소 전압 이하인 경우이면 전력 공급 시에 3상 컨버터의 전압 변조율(MI)의 선형구간을 잃게 되므로 배터리 직렬 증설이 불가피하다. 이러한 경우에 양방향 DC-DC컨버터를 통하여 DC-link전압을 구성함으로써 배터리의 직렬 증설 수량을 최소화 할 수 있다.

2.2.1 3상 컨버터

3상 컨버터는 계통의 유/무효 전력을 제어하기 위한 부분으로 최대 수요 전력을 저감 시킬 경우에는 배터리에 의한 DC전원을 활용하여 계통에 전력을 공급하고, 계통에 전력 여유율을 가지는 경우에는 계통으로부터 전력을 흡수하여 배터리를 충전 시키는 기능을 담당한다. 그림 4는 이러한 컨버터의 기능을 하기 위한 컨버터의 제어 블록도를 보여주고 있다. 여기서 DC-link일정 전압 제어기는 강제 충전 시에 배터리를 다단 충전하기 위한 모드에서 적용되며, 3상 좌표계를 dq동기 좌표계로 변환을 하기위한 위상 검출 알고리즘인 PLL이 사용되게 된다. 이러한 이유에서 PLL의 성능은 유/무효 전력을 제어의 성능 평가에 매우 중요한 요소로 작용한다.

2.2.2 양방향 DC-DC 컨버터

양방향 DC-DC컨버터는 저장매체인 배터리의 충/방전 동작을 통하여 계통과 연결된 3상 컨버터의 전력제어 동작에 의한 DC-link전압을 일정하게 유지 시켜 주는 역할을 수행한다. 또한 배터리 만 충전 시에는 그림 5의 내부 루프 제어기인 전류 제어기에 의하여 다단 충전을 수행 하도록 구성되었다.

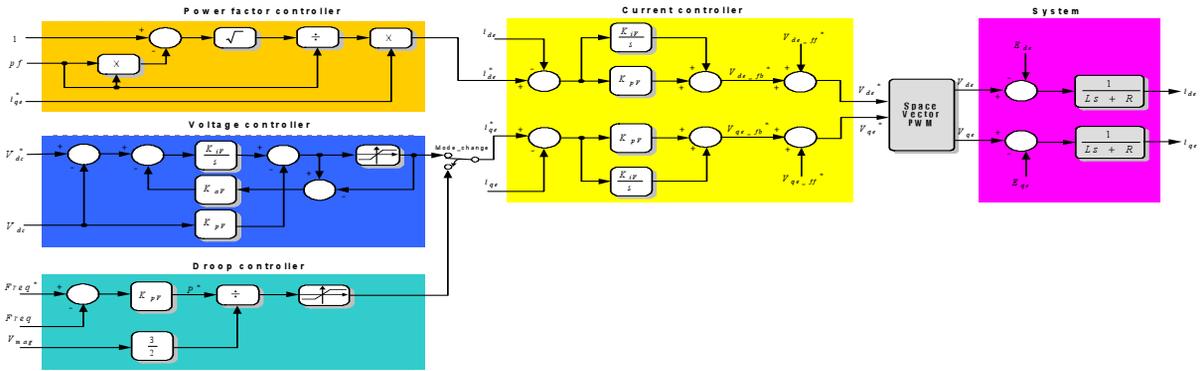


그림4 3상 컨버터 제어 블록도
Fig.4 3-phase converter control block diagram

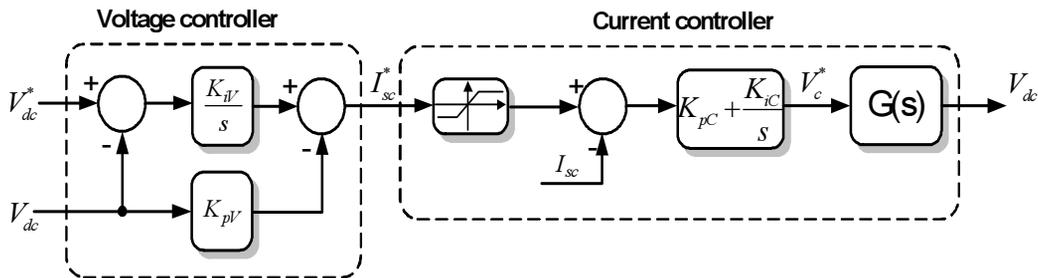


그림5 양방향 DC-DC 컨버터 제어 블록도
Fig.5 Bidirectional DC-DC converter control block diagram

2.3 실험결과

본 연구의 검증을 위한 실험 장치는 그림 6에서 보는 것과 같이 3상 컨버터 양방향 쇼퍼, 배터리로 구성되었으며, 전력변환 장치의 용량은 배터리의 용량(LL-1000)을 고려하여 설계 되었다. 배터리의 출력 특성 및 수명을 고려하였을 때 배터리의 최대 전류운용을 0.4C인 400[A]로 운용이 가능하므로 변화장치의 용량은 120[kW]급으로 설계 되었다. 전력변환 시스템의 운용은 각 모드에 따른 운용이 가능하도록 구성하였으며, 시험시에는 스케줄링 모드에 의한 효과를 시험 하였다. 그림 6에서 사용된 실험 장치의 사양은 표 2에서 보는 것과 같다.

그림 7(a)는 최대수요전력저감 장치의 충전동작 시 시험결과로서 전력 지령을 약 30[kW] 충전하였을 때 응답을 확인한 것으로 충전 시 단위 역률제어를 수행하여 계통의 전압과 동기상으로 제어되는 모습을 확인 할 수 있다. 여기서 전력 지령에 대한 응답시간이 약 0.5[s]가 되도록 설계한 것은 계통에 전력 급변에 대한 과도 특성을 완화 하기 위한 조치이다.

그림 7(b)는 방전 동작 시 시험 결과로서 전력지령을 약 60[kW]로 방전 하였을 때 응답을 확인한 것으로 방전 시에도 단위 역률제어를 수행하고 있음을 확인 할 수 있으며, 방전시 계통의 전력 급변에 대한 과도 특성을 완화 하기 위하여 응답시간을 상당히 느리게 설계 하였다.

그림 8은 최대 수요전력저감 장치를 운용을 하였을 경우와 운용하지 않은 경우에 대해서 비교한 결과로서 한국전력공사의 모니터링 데이터를 확인한 것이다. 결과에서 알 수 있듯이 운용에 따른 최대수요전력저감 효과를 명확히 확인 할 수 있다.



그림6 최대수요전력저감 장치
Fig.6 Peak power shift systems

표 2 최대수요전력저감 장치 사양
Table 2 Specification of peak power shift systems

모드	항목	사양
PCS 용량	Power	120 [kVA]
	상전압	220 [Vrms]
	상전류	150 [Vrms]
Battery 용량	가용전압	260 ~ 350 [V]
	공칭전압	288 [V]
	충전전류	100 [A] (0.1Crate)
	방전전류	400 [A] (0.4Crate)

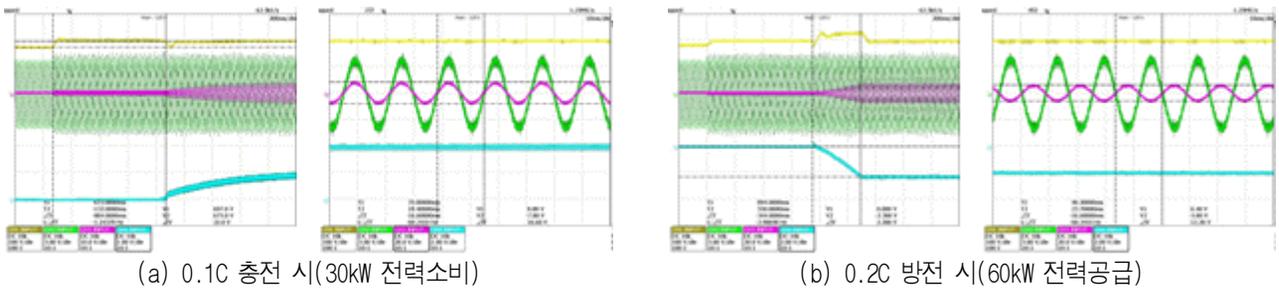


그림7 최대수요전력저감 장치 충방전 시험결과
Fig.7 Experimental results of peak power shift systems

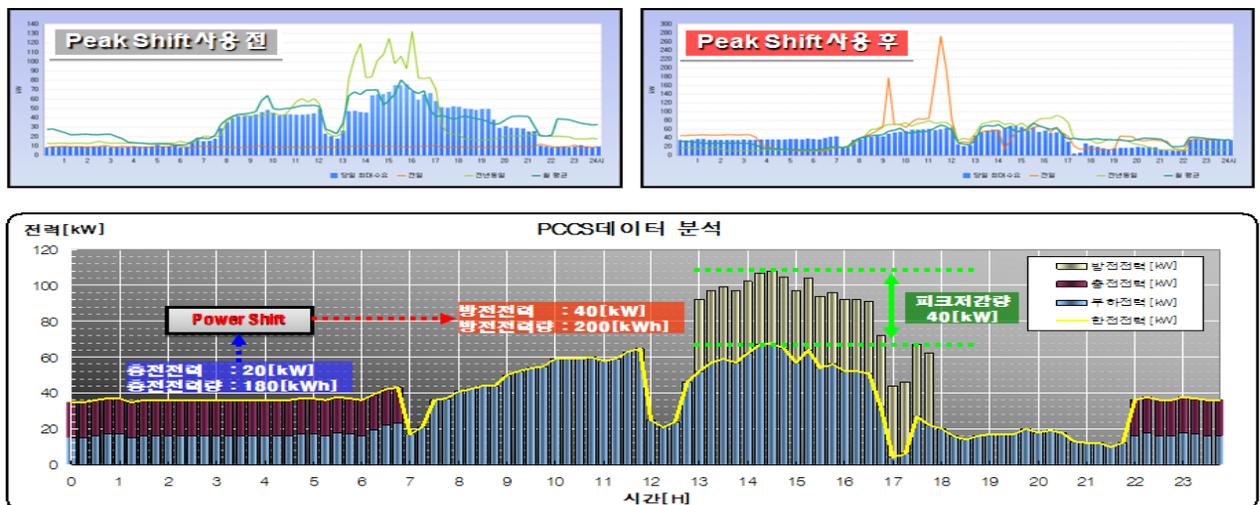


그림8 최대 수요 전력 저감장치 운용에 따른 결과 [KEPCO PCCS 분석 데이터 참조]
Fig.8 Results to Peak Power shift operation [KEPCO PCCS data refer]

3. 결 론

본 논문에서는 최대전력사용에 따른 문제를 보완하기 위한 최대 수요전력저감 장치의 운용방안을 여러 모드로 나누어 검토하였고, 이를 검증하기 위한 실험 장치를 구성하여 이를 실증함으로써 최대수요전력저감 장치의 효용성에 대하여 검증하였다. 향후에는 이러한 최대수요전력저감 장치가 계통에 포함되었을 경우 단독 운전 방지 기능과 같은 계통과의 보호협조에 대한 연구가 계속되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] J. W. Dixon and B. T. Ooi, "Indirect current control of a unity power factor sinusoidal boost type 3-phase rectifier", IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 35, pp. 508-515, Nov. 1988.