

Power/Energy Track

Advanced Grid Integration of Evs with V2G Capabilities: Power Management Across Diverse Distribution Networks

Al-Amin, SM Ferdous, Md Shoeb, GM Shafiullah

2024 International Conference on Sustainable Technology and Engineering (i-COSTE)

Contents

01 Introduction

02 Methodology And Simulation

03 Results And Discussion

04 Conclusion

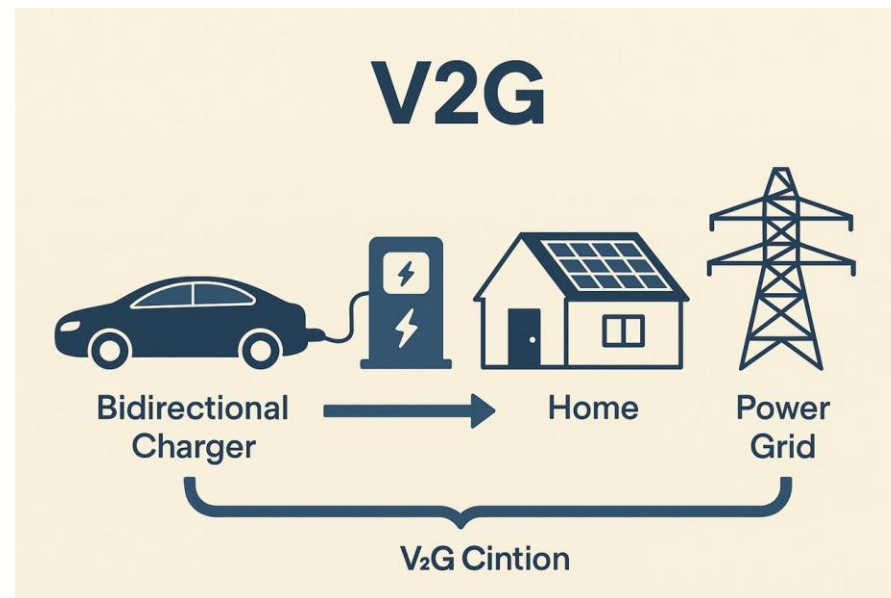
01 Introduction

오늘날 전기차의 중요성은 점점 증가하고 있음.

전기차의 광범위한 보급은 기존 전력 시스템에 상당한 부하를 추가함으로써 전력망에 부정적인 영향을 미칠 수 있음.

전압 불안정(전압 편차, 전압 불균형, 전압 안정성 마진), **피크 부하 스트레스 증가**와 같은 전력망 관련 위험 초래.

이러한 과제를 해결하기 위해 **양방향 충전 시설(V2G 지원 EV충전기)**을 활용하여 EV를 전력망에 무효 전력을 지원하는 우수한 공급원으로 인식.



01 Introduction

유효전력(P)

- 실제 에너지를 전달하는 전력
- EV 충전 및 방전에 사용
- 배터리 에너지가 실제로 이동

무효전력(Q)

- 전압 유지 및 계통 안정화에 필요한 전력
- 인버터의 위상 제어로 공급
- 배터리 에너지 소모가 매우 적음

V2G의 핵심

- P 제어로 전력 수급을 조절
- Q 제어로 전압을 안정화
- PQ 동시 제어를 통해 전력망 안정성과 전력 품질을 향상

01 Introduction

안정적인 전압 프로파일을 유지하고 충전 비용을 최소화하면서 EV 통합을 촉진하기 위해 수많은 연구가 수행되고 있음.

그러나 다양한 분석 결과, 실제로는 전압 프로파일이나 유효 전력 한계의 개선은 미미한 수준으로 나타남. (V2G 기능을 통해 무효 전력을 지원함으로써 전압 프로파일은 꽤 좋아졌지만, 그리드가 감당할 수 있는 전기차의 총 전력량(Active Power)이 크게 늘어나지는 않음)



본 연구는 기존 연구들이 '어떤 네트워크에서' 실험했는지를 주목함.

IEEE 13-bus 네트워크를 물리적 특성에 따라 재해석하여, 무효 전력의 영향이 저항성 배전망과 유도성 배전망과 같이 서로 다른 유형의 네트워크에 따라 V2G의 효과가 극명하게 갈린다는 사실을 밝혀냄.

01 Introduction

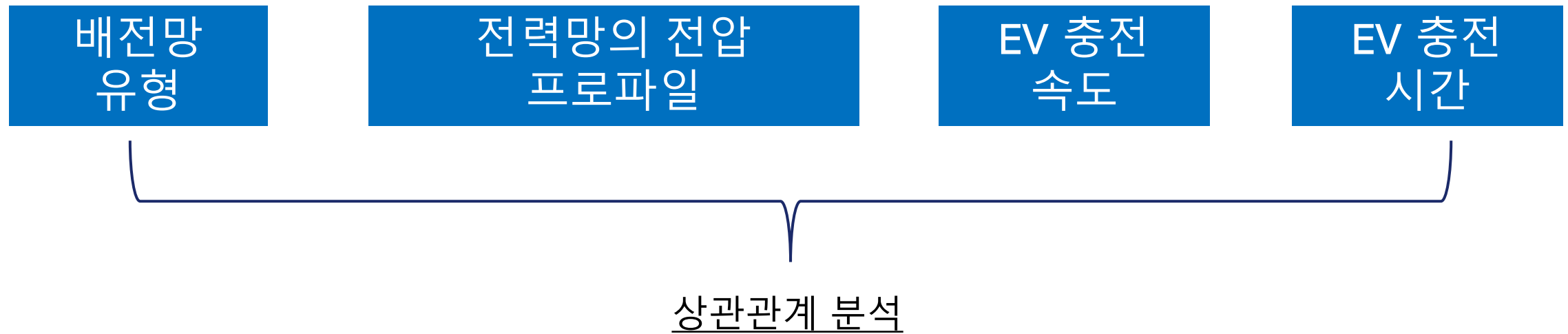
본 분석에서는 네트워크 유형을 구분하기 위해 **X/R 비율**을 사용. (X/R 비율은 송전 및 배전 네트워크에서 리액턴스(X)와 저항(R) 사이의 관계를 나타냄)

X/R비율 **높을수록** 전압 조정 및 동적 안정성에 상당한 영향을 미치고, **낮을수록** 시스템은 전류 흐름에 따라 더 급격한 전압 강하를 경험하며 단락 전류는 높은 X/R비율을 가진 시스템에 비해 더 빠르게 감쇠함.

즉 V2G 도입 시에는 단순히 전압 안정화라는 목적뿐만 아니라, 해당 네트워크의 보호 협조와 물리적 특성을 통합적으로 고려한 엔지니어링 판단이 필요하다는 점 또한 시사.

01 Introduction

7



02 Methodology And Simulation

A. 충전기 모델링

- ✓ EPRI(Electric Power Research Institute)에서 전기차 충전을 레벨 1, 레벨 2, DC 급속 충전과 같은 별도의 범주로 분류.
- ✓ 본 연구에 사용한 충전기는 **WAPE(가중 절대 백분율 오차) 기법** 활용. WAPE 방식에서 충전기는 전력관리를 위해 **EV** 통합 과정 동안 PCC(Point of Common Coupling) 전압과 SOC (State Of Charge)를 지속적으로 추적.

[PCC 전압 및 SOC 정보] -> [WAPE 알고리즘] -> [P, Q 제어 신호]

02 Methodology And Simulation

A. 충전기 모델링

$$P_{i_{ref}} = \underbrace{P_{i_{soc}} W_{i_{soc}} + P_{i_{vpcc}} W_{i_{vpcc}}}_{\text{Charging}} + \underbrace{P_{i_{LV}} S_{i_{LV}}}_{\text{Discharging}}$$

$$Q_{i_{ref}} = \sqrt{(S)^2 - (P_{i_{ref}})^2}$$

해당 EV 충전기는 이 기법을 통해 EV의 유효 및 무효 전력 소비 또는 주입을 제어 가능

$P_{i_{ref}}$: i번째 전기차의 최종 유효 전력 참조값

$Q_{i_{ref}}$: i번째 무효 전력 참조값

$P_{i_{soc}}$: SOC 기반 요구 전력

$W_{i_{soc}}$: SOC에 따른 가중치

$P_{i_{vpcc}}$: PCC 전압 기반의 제어 전력

$W_{i_{vpcc}}$: PCC 전압 제어 성분에 대한 가중치

$P_{i_{LV}}$: 저전압 보상을 위한 방전 전력

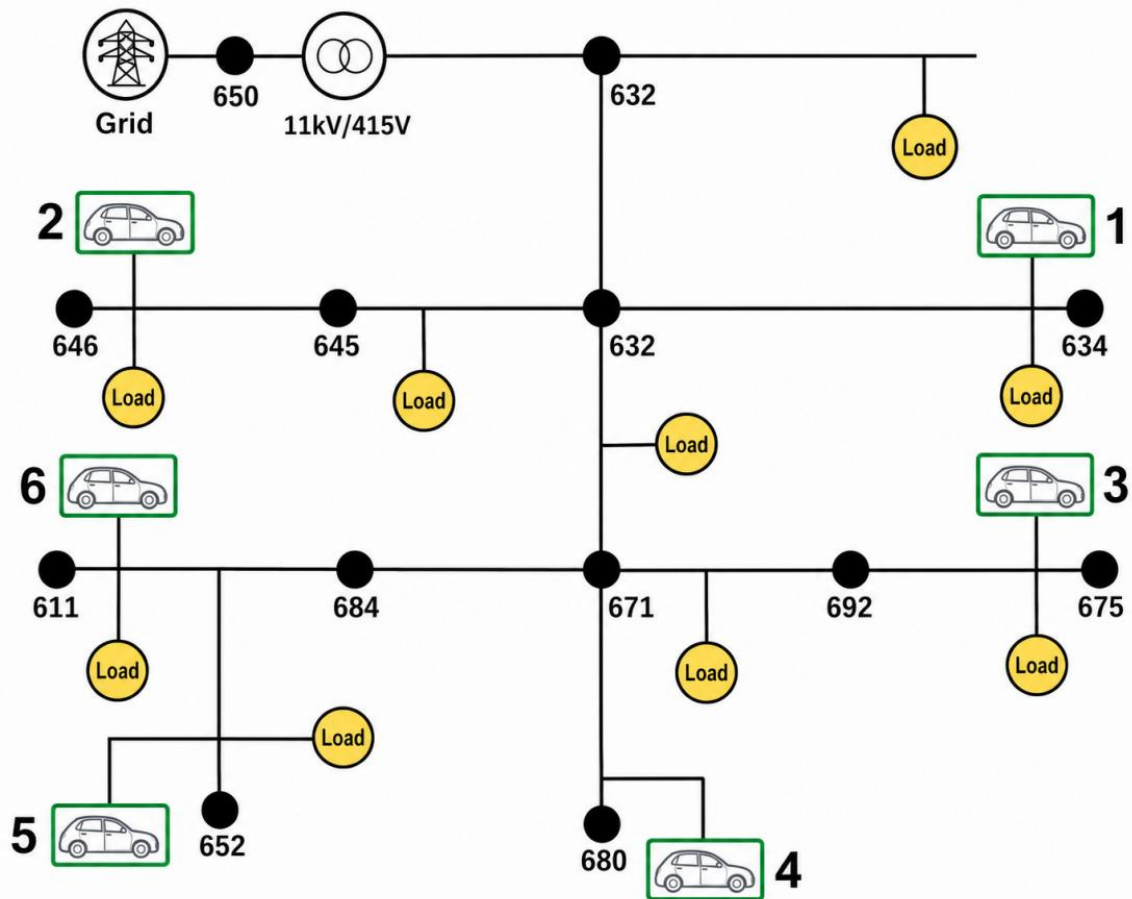
$S_{i_{LV}}$: 저전압 상태를 감지하는 스위칭 계수

S : 충전기 피상 정격 전력

02 Methodology And Simulation

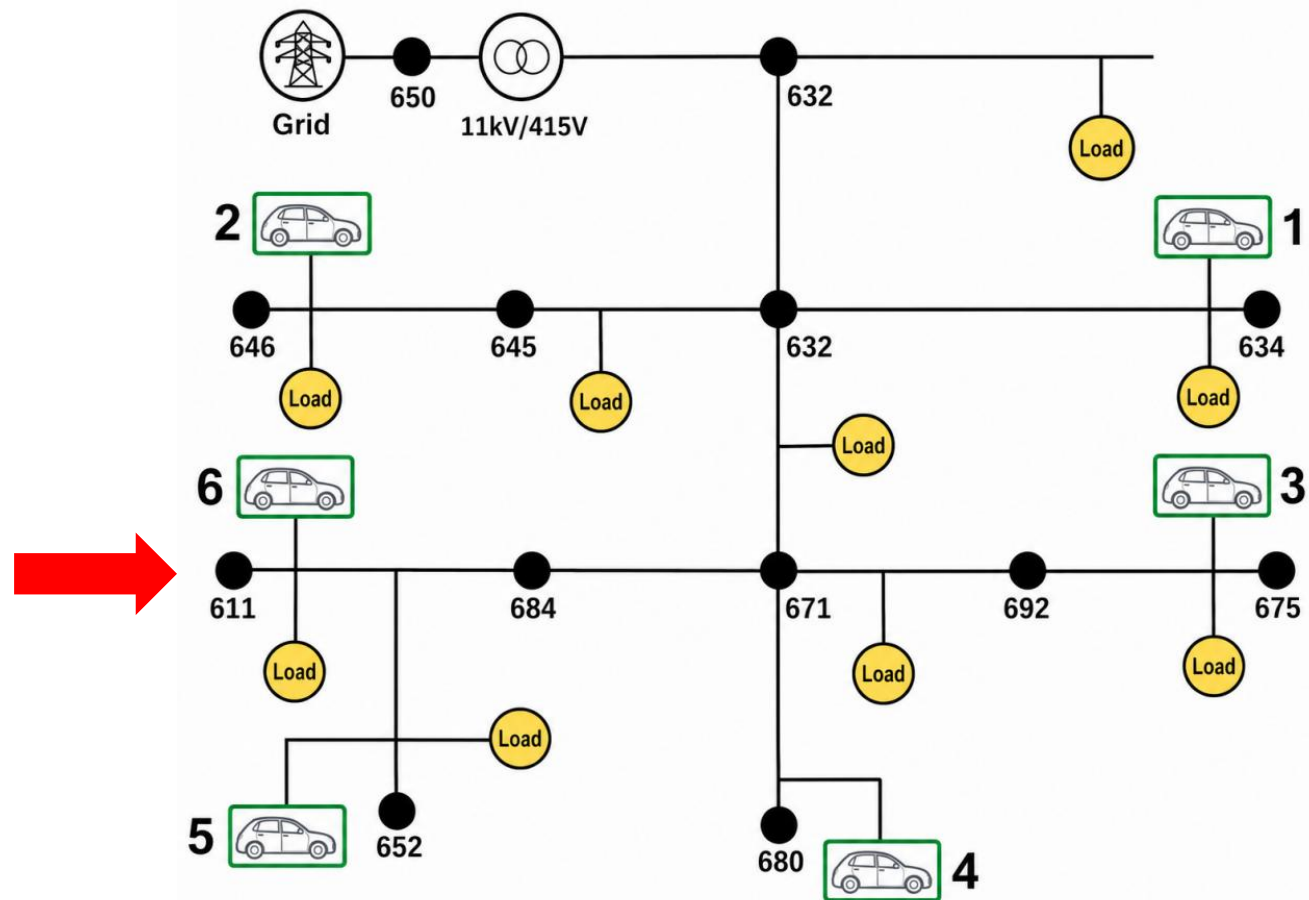
B. 분석을 위한 LV 저압 배전망

- ✓ 본 연구는 MATLAB Simulink 사용하여 수정된 IEEE 13 버스 네트워크에서 수행. 6대의 EV가 다양한 버스에 연결.
- ✓ 해당 네트워크는 저항성과 유도성 네트워크라는 두 가지 다른 구성을 나타내도록 조정.
- ✓ X/R비율 : 저항성 네트워크는 0.08, 유도성 네트워크는 3으로 설정.



02 Methodology And Simulation

- ✓ 611번 버스는 전력 공급원 (변전소/송전단)으로부터 가장 멀리 떨어진 종단 지점 중 하나.
- ✓ 전압 불안정의 중심: 전력 계통에서 전압은 부하(EV)가 많아질수록 공급원으로부터 멀어질수록 낮아짐.
- ✓ 분석의 최적지 : 611번 버스는 계통에서 전압 문제가 가장 빈번하게 발생하는 곳.



03 Result And Discussion

A. 저항성 네트워크에서의 유효/무효 전력 관리(G2V 및 V2G)

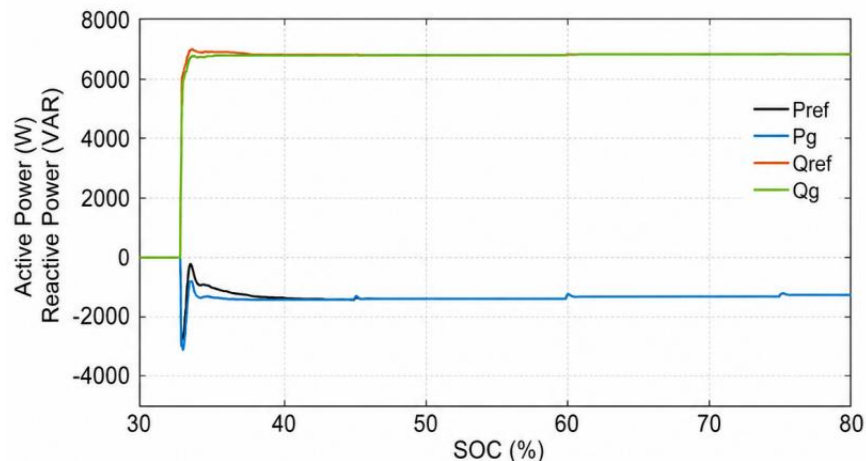
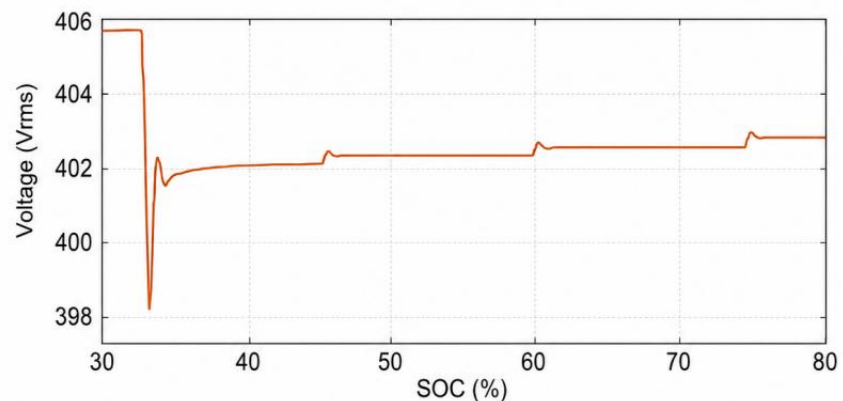


Figure 2 P and Q management in R>>X network at bus 611



- ✓ 611 버스의 그리드 전압 조건에 따라 배터리 SOC가 증가함(EV 충전 중)에 따라 P와 Q 조정.
- ✓ 80% SOC에서 6.8KVAR의 무효 전력 주입 후 611번 버스 402.6v > 403v : V2G(방전 시)
- ✓ 충전 속도(유효 전력 소비)는 무효 전력 주입 후 1.8kW > 2.1kW : G2V(충전 시)
- ✓ 유효 전력을 관리하여 그리드 전압을 목표 범위 내에서 효율적으로 유지하지만, 무효 전력 주입으로 인한 전압 개선 효과는 제한적.

03 Result And Discussion

B. 유도성 네트워크에서의 유효/무효 전력 관리(G2V 및 V2G)

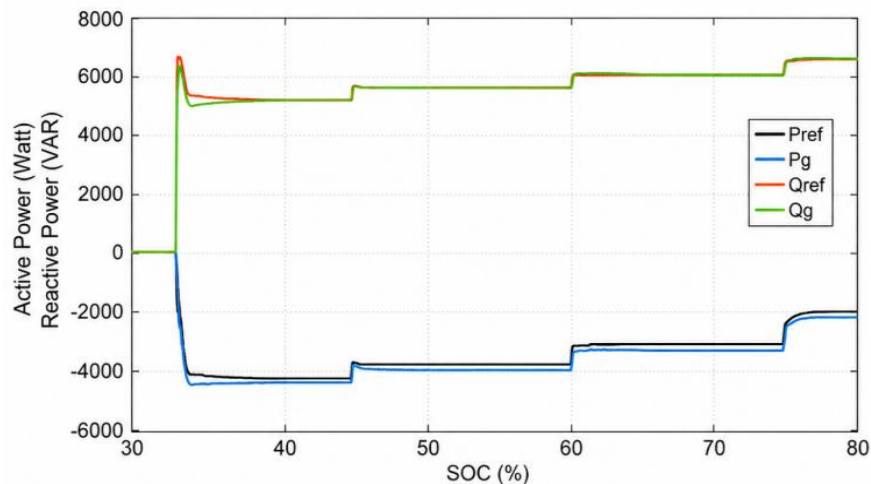


Figure 4 P and Q management in X>>R network at bus 611

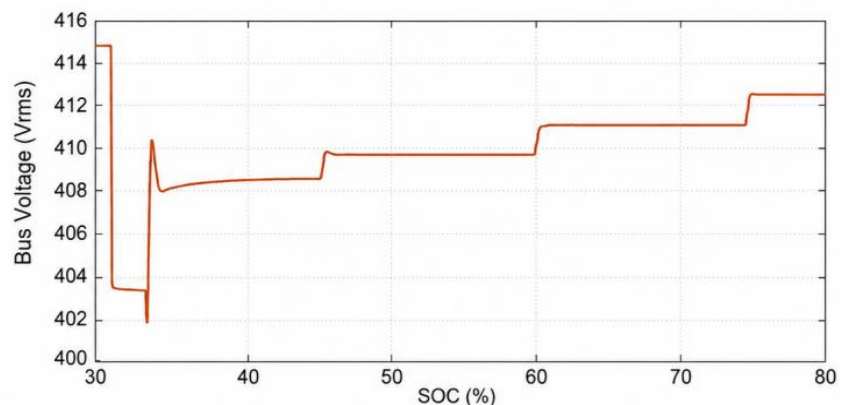
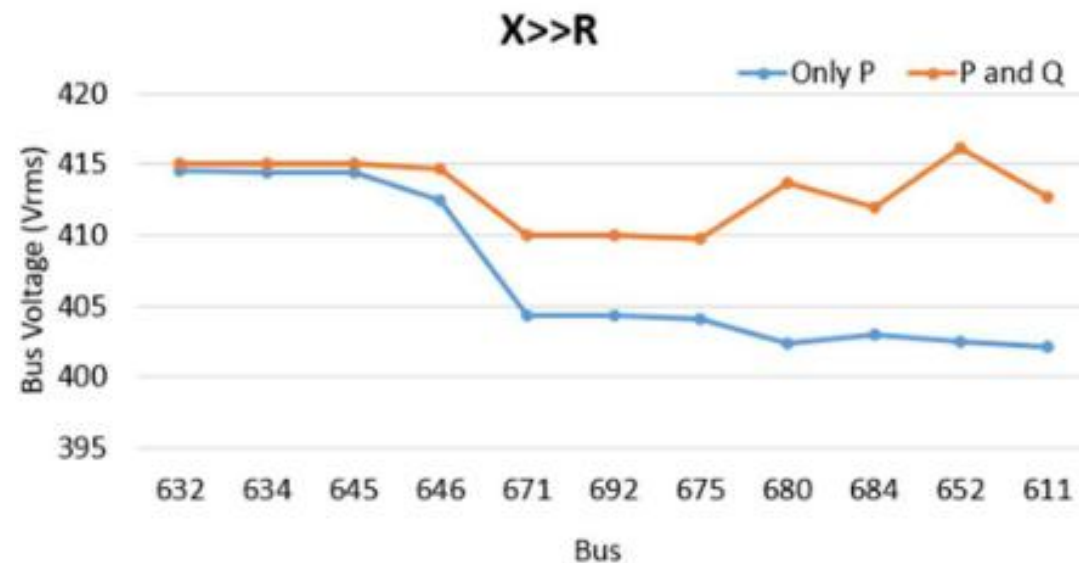
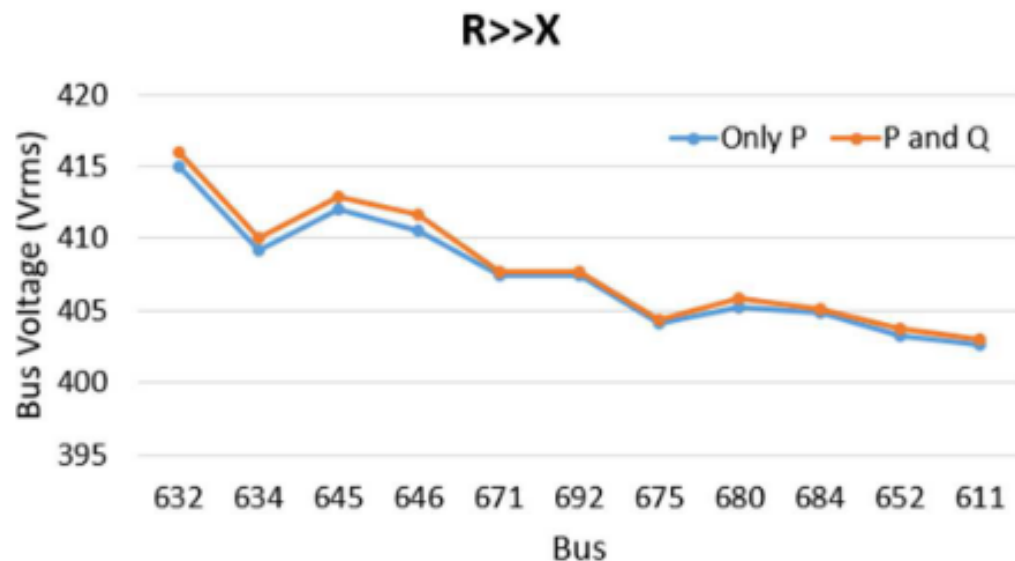


Figure 5 Voltage at bus 611 for X>>R

- ✓ 611번 버스에서 **EV** 충전 중 무효 전력을 주입하여 그리드 전압이 크게 개선.
- ✓ 80% SOC에서 유도성 네트워크의 그리드 전압은 412.7v로 증가.
- ✓ 저항성 네트워크 시나리오와 비교했을 때 뚜렷한 개선을 보임.

03 Result And Discussion

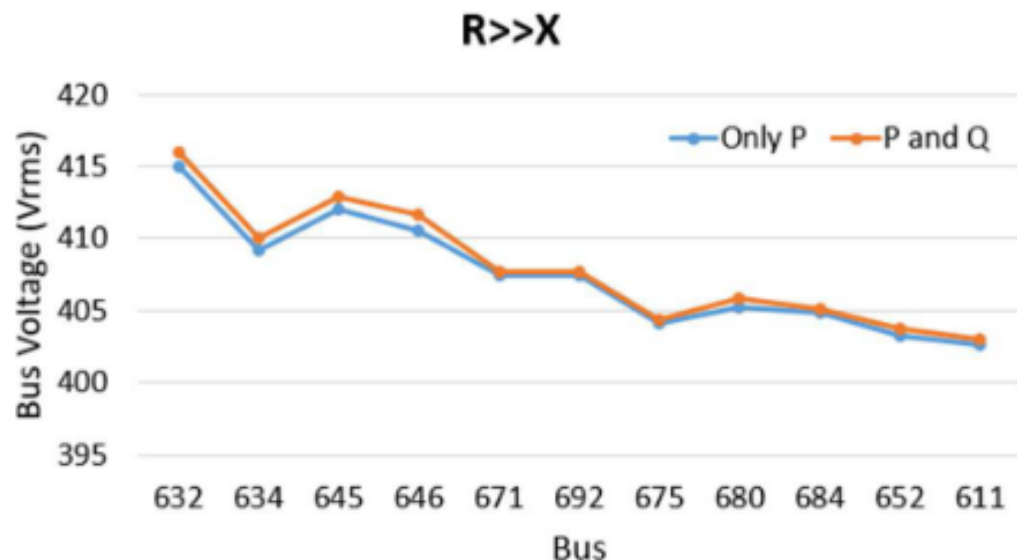
C. 서로 다른 네트워크에 대한 그리드 전압 프로파일



서로 다른 버스에서 **EV** 충전 중 무효 전력 주입 유무에 따른 두 네트워크에 대한 그리드 전압 변화를 보여줌.

03 Result And Discussion

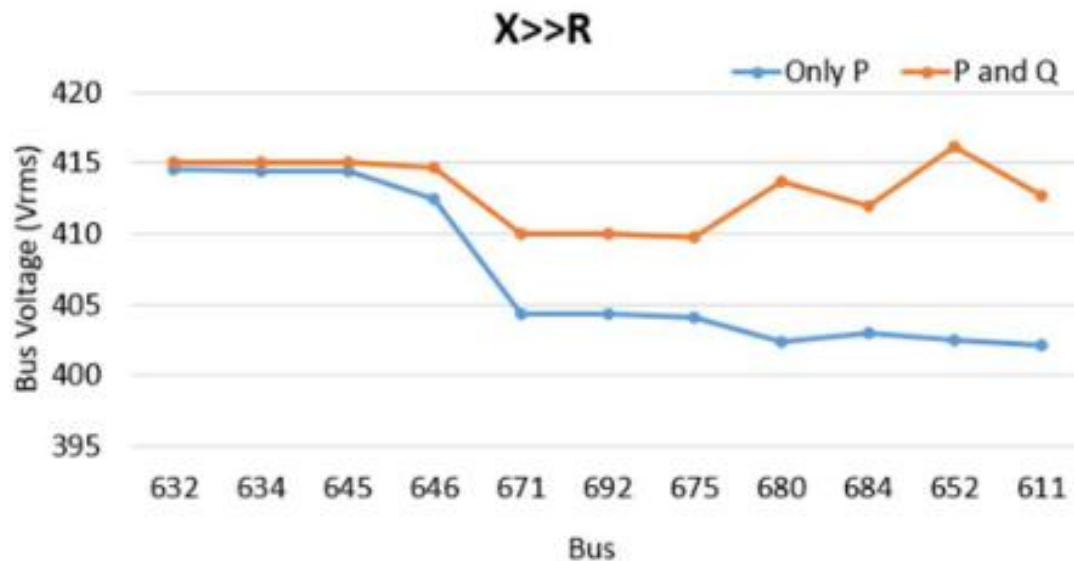
C. 저항성 네트워크에 대한 그리드 전압 프로파일



- ✓ 저항성 네트워크에서 다양한 버스에 걸친 전압 프로파일은 무효 전력 주입이 있는 경우와 없는 경우 거의 동일.
- ✓ 이는 충전소에서 전기차를 충전하는 동안 **무효 전력 주입이 저항성 네트워크의 전압에 거의 영향을 미치지 않음**을 나타냄.

03 Result And Discussion

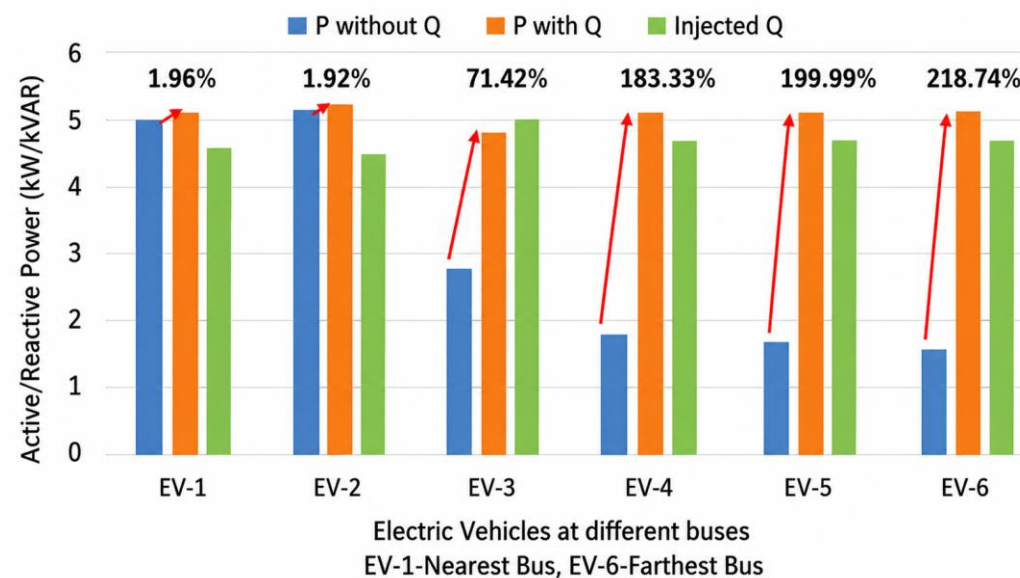
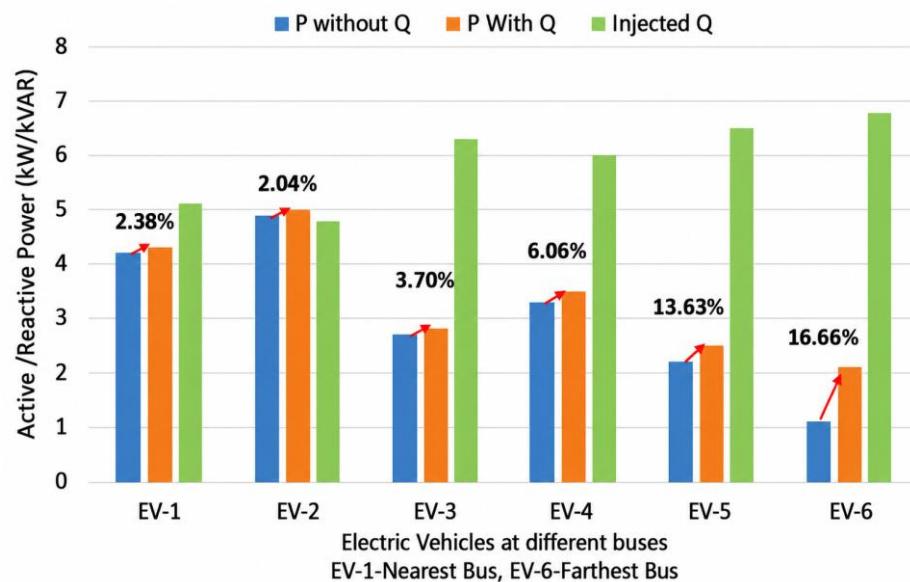
C. 유도성 네트워크에 대한 그리드 전압 프로파일



- ✓ 유도성 네트워크의 다양한 버스에 걸친 전압의 경우 **EV**가 제공하는 무효 전력 지원으로 상당히 상승.
- ✓ 무효 전력 주입으로 인해 유도성 네트워크의 전압 프로파일이 개선된 결과를 보여줌.
- ✓ 모든 네트워크 버스에 걸쳐 전압 안정성을 향상시키기 위해 V2G 기능을 활용하는 유도성 네트워크의 효과를 강조.

03 Result And Discussion

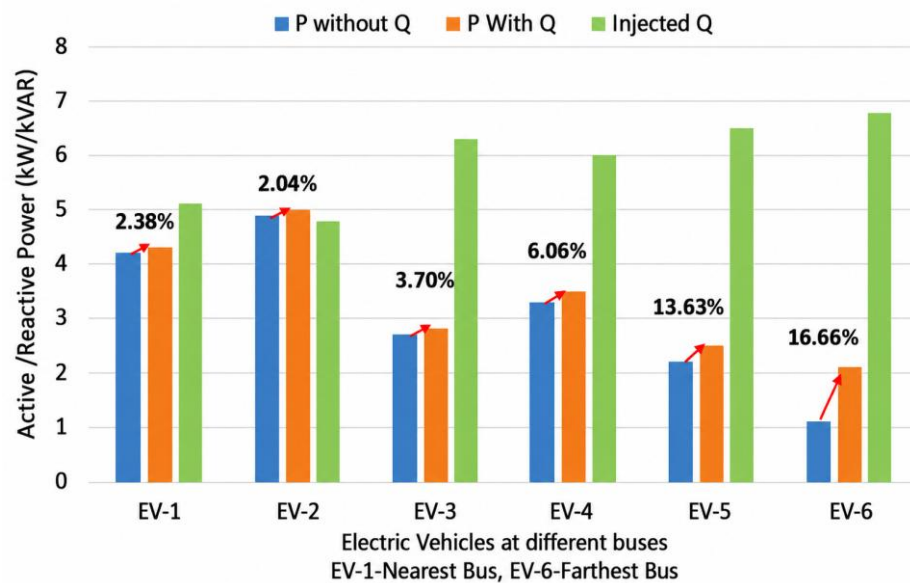
D. 서로 다른 네트워크에 대한 EV 충전율



저항성 및 유도성 네트워크 내의 다양한 버스에 위치한 6대의 EV에 대한
충전율(유효 전력 소비, G2V)에 대한 통찰 제공

03 Result And Discussion

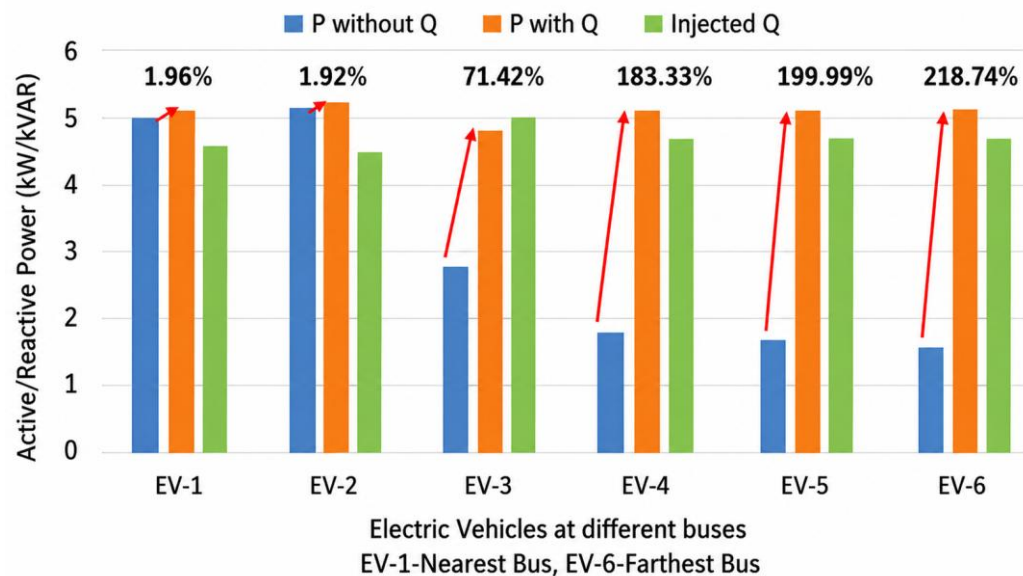
D. 저항성 네트워크에 대한 EV 충전율



- ✓ 저항성 네트워크에서 전기차 1부터 6까지 충전율 묘사.
- ✓ 무효 전력 주입이 있는 경우와 없는 경우의 시나리오 비교.
- ✓ 80% SOC에서 무효 전력의 주입은 충전율의 완만한 증가 초래.
- ✓ 무효 전력 주입 시 충전율의 개선 정도는 미미함.

03 Result And Discussion

D. 유도성 네트워크에 대한 EV 충전율



- ✓ EV1, EV2는 발전 중심지 근처에 위치하여 다른 EV에 비해 충전 속도 향상 폭이 완만.
- ✓ 유도성 네트워크에서 무효 전력을 주입 시 충전 속도 크게 향상.
- ✓ 유도성 네트워크에서 무효 전력 주입이 충전율 개선 측면에서 훨씬 뛰어난 성능을 보임.

03 Result And Discussion

E. 서로 다른 네트워크에서의 EV 충전 시간

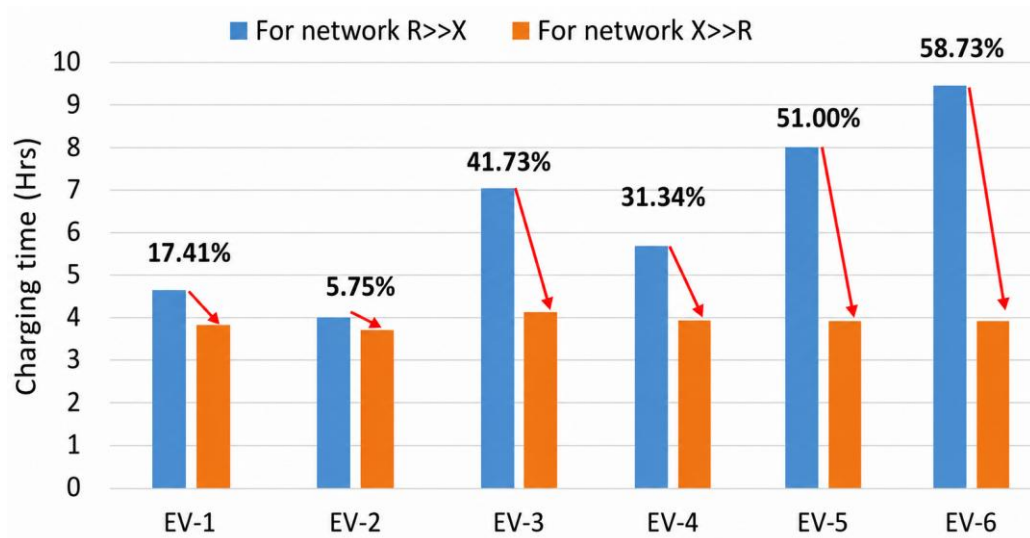


Figure 10 EV Charging time for different network with V2G

- ✓ 서로 다른 네트워크 유형이 충전 과정의 효율성에 어떻게 영향을 미칠 수 있는지 분석함.
- ✓ EV 충전 시간은 충전 속도와 반비례.
- ✓ V2G 기능은 유도성 네트워크에서 충전 속도를 크게 높일 수 있음.
- ✓ 더 빠르고 효율적인 **EV**충전을 위해 V2G지원이 포함된 **유도성 네트워크를 사용하는 것의 이점**을 강조함.

04 Conclusion

- ✓ 저항성 및 유도성 네트워크 분석을 통해, V2G 지원이 **유도성 네트워크**에서는 그리드 전압 프로파일과 전기차 충전 속도를 현저히 상승시키지만 **저항성 네트워크**에서는 그 영향이 훨씬 적다는 점을 입증함.
- ✓ 목표 지향적인 업그레이드나 네트워크 적응 없이는 일부 배전 시스템이 V2G기술의 안정화 및 효율 증대 잠재력을 완전히 활용하지 못할 수 있어 이를 해결하기 위해 본 논문은 **높은 X/R비율**을 활용하여 네트워크 전압 문제를 지원하기 위한 충전기의 성능을 극대화할 것을 권장함. ex) 배전 피더 수준(11kV, 22kV 네트워크 등)에 V2G 기능이 탑재된 EV 충전기를 배치할 것.

Power/Energy Track

Thank you

송실대학교 전기공학부 학술 소모임 NOVA

발표자 : 김세현