(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0019868
(43) 공개일자 2025년02월11일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01C 21/34 (2006.01) *B60L 3/12* (2006.01)
B60L 53/60 (2019.01) *B60L 58/12* (2019.01)
G06Q 50/40 (2024.01)
(52) CPC특허분류
G01C 21/3469 (2013.01)
B60L 3/12 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-0100992
(22) 출원일자 2023년08월02일
심사청구일자 2023년08월02일

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대학교)
(72) 발명자
원동준
서울특별시 서초구 신반포로15길 19 아크로리버파크 111동702호
채명석
경기도 안양시 만안구 병목안로 220 수리산흥화브라운빌 103동1006호
(74) 대리인
특허법인세신

전체 청구항 수 : 총 4 항

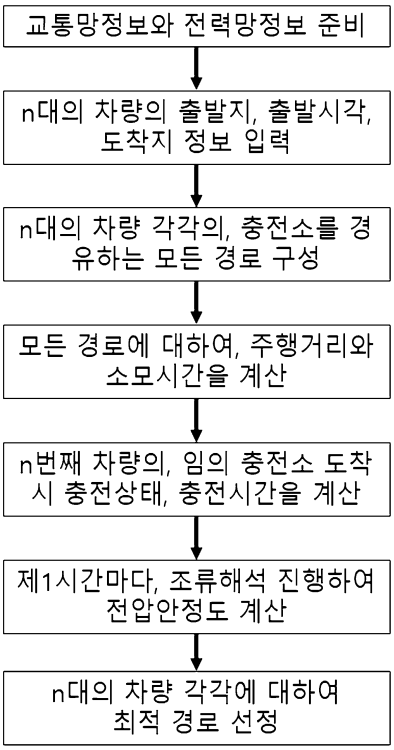
(54) 발명의 명칭 **전력망과 교통망의 통합 시스템을 고려한 전기자동차의 경로 선정 및 충전 스케줄링 방법**

(57) 요 약

본 발명은, 교통망 정보 및 전력망 정보를 보유한 경로 계산 서버에서 수행되는, 전력망과 교통망의 통합 시스템을 고려한 전기자동차의 경로 선정 및 충전 스케줄링 방법을 개시한다. 상기 방법은: 교통망 정보의 각각의 충전소들의 노드 기반 위치를 전력망 정보에 버스 멤버로서 결합하고, n대의 차량들 각각의 출발지, 출발 시각, 도착

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도2



지에 대한 정보를 입력받고, n대의 차량들 각각에 대해서 출발지에서 도착지 사이의 모든 충전소를 경유지로 설정하는 경로들을 구성하고, 설정된 경로들 전부에 대하여 주행 거리와 소모 시간을 계산하고, n번째 차량에 대하여, 출발 시각, 출발지로부터 충전소까지 걸리는 시간, 임의의 충전소에 도착할 때의 충전 상태, 및 충전 시간을 계산하고, 제1시간마다, 각 충전소별 부하값을 기반으로 조류해석을 진행하여 전압 안정도를 계산하고, 각 충전소에 대해 계산된 전압 안정도를 바탕으로, n대의 차량들에 대하여 전압 안정도가 가장 높은 충전소를 포함하는 최적의 경로를 선정하여 제공하는 것을 포함한다.

(52) CPC특허분류
B60L 53/60 (2019.02)
B60L 58/12 (2019.02)
G01C 21/3446 (2013.01)
G06Q 50/40 (2024.01)
B60L 2240/68 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1415176493
과제번호 20214000000820
부처명 산업통상자원부
과제관리(전문)기관명 한국에너지기술평가원
연구사업명 에너지인력양성(R&D)
연구과제명 자율주행 전기차와 전력망의 통합 최적 운영 및 사이버보안 기술 개발
기 여 율 1/2
과제수행기관명 인하대학
연구기간 2021.12.01 ~ 2022.11.30
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711192691
과제번호 2019M3F2A1073401
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 에너지클라우드기술개발(과기정통부)
연구과제명 에너지 클라우드 가상물리시스템 설계 및 최적 운영기술 개발
기 여 율 1/2
과제수행기관명 인하대학교
연구기간 2023.01.01 ~ 2023.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

교통망 정보 및 전력망 정보를 보유한 경로 계산 서버에서 수행되는, 전력망과 교통망의 통합 시스템을 고려한 전기자동차의 경로 선정 및 충전 스케줄링 방법으로서:

(1) 상기 교통망 정보의 각각의 충전소들의 노드 기반 위치를 상기 전력망 정보에 버스 멤버로서 결합하는 것;

(2) n대의 차량들 각각의 출발지, 출발 시각, 도착지에 대한 정보를 입력받는 것;

(3) 상기 교통망 정보를 참고하여, n대의 차량들 각각에 대해서 출발지에서 도착지 사이의 모든 충전소를 경유지로 설정하는 경로들을 구성하는 것;

(4) n대의 차량들 각각에 대해 설정된 경로들 전부에 대하여, 각 경로들의 주행 거리와 소모 시간을 계산하는 것;

(5) 상기 계산된 주행 거리와 소모 시간을 기반으로, n번째 차량에 대하여, 출발 시각(T_n^D), 출발지로부터 충전소(i)까지 걸리는 시간($t_n^{D\rightarrow i}$), 임의의 충전소(i)에 도착할 때의 충전 상태(SOC_n^i), 및 상기 충전소(i)에서 충전하는 시간(ct_n^i)을 계산하는 것;

(6) 제1시간마다, 각 충전소(i)별 부하값(P,Q)을 기반으로 조류해석을 진행하여, 각 충전소(i)에서의 전압 안정도를 계산하는 것; 및

(7) 각 충전소(i)에 대해 계산된 전압 안정도를 바탕으로, n대의 차량들에 대하여 전압 안정도가 가장 높은 충전소를 포함하는 최적의 경로를 선정하여 제공하는 것을 포함하는, 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 각 경로들의 주행 거리와 소모 시간을 계산하는 것은, "MATSim"을 사용하여 처리되는 것을 특징으로 하는, 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

임의의 차량이 임의의 충전소(i)에 도착할 때의 충전 상태(SOC_n^i)가 10% 미만인 충전소(i)를 포함하는 경로는 삭제되는 것을 특징으로 하는, 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 최적의 경로는, 아래의 목적함수가 최소가 되는 것으로서 선정되는 것을 특징으로 하는, 방법.

$$\min f = w_v V_{dev} + w_t t_{drive}$$

상기 w_v는 전압 편차에 대한 가중치이고, 상기 V_{dev}는 상기 전력망 정보의 각 모선의 모든 시간대에서의 전압 p.u. 값과 PCC 지점의 전압인 1.0 p.u. 와의 전압 편차값이고, 상기 w_t는 운전 시간에 대한 가중치이고, 상기 t_{drive}는 출발지에서 충전소까지 걸리는 시간과 충전소에서 충전하는 시간과 충전소로부터 도착지까지 도달하는 시간을 더한 값임.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은, 전력시스템의 전압을 계산하여 전기자동차의 충전 계획을 포함하는 최적 경로를 수립하는 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 2021년 전세계 EV(전기 자동차) 연간판매량은 약 660만대로, 2020년 대비 2배로 증가하였다. 국내의 경우, 2022년 12월 기준 전기차는 389,855대 보급되었으며 충전기는 93,415대 설치되었으며, 이는 2021년에 비해 40%가량 증가한 수치이다.

[0003] IEA는 현행 정책 시나리오(STEPS), 목표 선언 시나리오(APS), 그리고 2050 NET 제로 시나리오(NZE) 등 3가지 시나리오를 설정하여 2030년까지 EV 전력 수요를 전망하고 있다.

[0004] 전력시스템 관점으로 보았을 때, 2021년 전세계에서 EV가 소비하고 있는 총 전력량은 55TWh이며, 이는 현재 체코의 전체 전력수요와 비슷하며, 전세계 전력 소비량의 0.5%를 차지한다. STEPS와 APS에서 전망하고 있는 2030년에 EV의 전력수요는 각각 780TWh와 1,100TWh이며, 이는 각 시나리오상 2030년 전체 전력 소비량의 2% 수준에 이를 것으로 전망된다.

[0005] EV는 전력 시스템에서 점점 더 중요한 고려 요소가 되고 있으며, 피크 전력 수요와 송전 및 배전 용량에 대한 영향이 주요 고려 사항이다. 따라서, 피크 부하 완화 관리를 위한 스마트 충전을 계획하고 관련 사업을 육성하는 것은 매우 중요하다.

[0006] EV의 충전 스케줄링을 수행하기 위해서는 전기차 충전소(EV charging station, 이하 EVCS)의 배전 계통 위치와 교통 시스템 지리적 위치를 연결지어야 한다. 이는 EV 충전 스케줄링은 충전 부하 변동을 유발하므로 전력시스템의 안정도에 영향을 끼치며, 충전 위치 변동으로 도착 시간, 주행 거리, 교통 혼잡도와 같은 교통시스템에 영향을 끼치기 때문이다.

[0007] 전기자동차의 SOC를 고려하여 경로를 선정하는 방식은 현재 다양하게 개발되어 있지만, 상기 방법들은 충전을 수행하는 동안에 전력계통에 미치게 되는 영향을 고려하지 않고 있다.

[0008] 한편, 전기자동차를 충전하는 동안 전력계통에 미치는 영향을 고려해야 하는 이유는 다음과 같다.

[0009] 1) 특정 시간 및 장소에 EV들의 충전이 몰리게 되면, 상기 시간 및 장소에서는 공급될 수 있는 전력의 양보다 요구되는 전력의 양이 더 많게 될 수 있으며, 이로 인해, 전력 수급 부족 현상을 초래할 수 있다.

[0010] 2) EV 충전소는 대량의 전력을 필요로 하며 또한 소비하기 때문에, 급격한 충전 수요의 변화는 상기 EV 충전소를 포함하는 전력계통의 전압 변동, 주파수 변화, 하모닉 등의 문제를 유발할 수 있고, 나아가 전력 품질에 악영향을 끼칠 수 있다.

[0011] 3) 상기한 바와 같은 문제를 해결하기 위해서는 EVCS를 추가로 설치하고 분산 설치하는 방안이 제안된다. 하지만, 충전소를 추가 설치하기 위해서는, 전력선로, 변압기, 차량 충전 인프라 확충 등 추가적인 경제적 손실이 발생한다.

[0012] 4) 또한, 대규모 태양광 발전 설비의 설치가 늘어남에 따라, 태양광 출력이 높은 10시 ~ 16시에는, 전력 발전의 경제적 이익을 위해, 재생에너지 출력은 제한시키는 상황이 발생하고 있다. 이로 인해, 재생에너지를 효율적으로 사용하고 또한 버려지는 에너지의 사용을 고려한 EV의 충전 최적화 방법이 필요하다.

[0013] 한편, 전기자동차의 충전에 의한 충전소의 과부하를 해소하기 위한 종래 기술로서, 공개특허 제2023-0010516호(2023.01.19)(명칭: 이동형 충전소의 운영 스케줄링 방법 및 그 장치)를 참고할 수 있다. 상기 종래 기술에서는, 교통망과 전력망을 결합하여, 교통망 정보로부터 고정 충전소에서 충전 대기중인 전기자동차의 수를 판단하고, 이동형 충전소의 라우팅 경로를 스케줄링하고, 이동형 충전소의 충전-방전 스케줄링을 수행하는 것을 개시한다.

[0014] 하지만, 이러한 종래 기술은, 전기 자동차의 충전소를 포함하는 경로 설정 등에는 관여하지 못하고, 단지 전력 공급량을 일시적으로 해소하기 위한 방법으로서, 이동형 충전소를 제공하는 것에 그치고 있다. 따라서, 전기 자동차가 고정 충전소에 몰리게 되어 전력 수급에 불균형이 발생하는 상황을 원천적으로 해소할 수는 없다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0015] EV의 충전 스케줄링과 최적 경로 설정은 밀접한 관계가 있기에, 2가지 개념을 다르게 운영하는 것이 아닌, 교통망과 전력망을 동시에 고려한 통합 시스템을 통하여 최적 운영 전략을 계획하는 것이 필수적이다.

[0016] 본 발명은, 전기자동차에 있어서 전력시스템을 고려하여, 경유할 최적의 충전소를 선정하고, 선정된 충전소를 경유하는 경로를 결정하는 알고리즘을 제공하고자 한다. 더욱 상세하게는, 전력시스템의 전압을 계산하여 전기자동차의 충전 계획을 포함하는 최적 경로를 수립하는 알고리즘을 제공하고자 한다.

[0017] 이를 위하여, 본 발명은 전기자동차의 출발지/도착지 입력을 통한 최적 경로 설정 모델을 적용하여, 전기자동차의 충전소 위치에 따른 전력 수요 정보를 예측하고, 모든 경우의 수를 통해 각 충전 수요가 전력시스템에 끼치는 영향을 조사해 전압 안정도가 가장 높은 충전소를 이용하게 하는 충전 계획을 결정해 주어, 최종적으로 전기자동차의 충전 장소와 최적 경로를 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0018] 상술한 바와 같은 목적을 달성하기 위하여, 본 발명은, 교통망 정보 및 전력망 정보를 보유한 경로 계산 서버에서 수행되는, 전력망과 교통망의 통합 시스템을 고려한 전기자동차의 경로 선정 및 충전 스케줄링 방법을 개시한다. 상기 방법은: (1) 상기 교통망 정보의 각각의 충전소들의 노드 기반 위치를 상기 전력망 정보에 버스 멤버로서 결합하는 것; (2) n대의 차량들 각각의 출발지, 출발 시각, 도착지에 대한 정보를 입력받는 것; (3) 상기 교통망 정보를 참고하여, n대의 차량들 각각에 대해서 출발지에서 도착지 사이의 모든 충전소를 경유지로 설정하는 경로들을 구성하는 것; (4) n대의 차량들 각각에 대해 설정된 경로들 전부에 대하여, 각 경로들의 주행 거리와 소모 시간을 계산하는 것; (5) 상기 계산된 주행 거리와 소모 시간을 기반으로, n번째 차량에 대하여, 출발 시각(T_n^D), 출발지로부터 충전소(i)까지 걸리는 시간($t_n^{D\rightarrow i}$), 임의의 충전소(i)에 도착할 때의 충전 상태(SOC_n^i), 및 상기 충전소(i)에서 충전하는 시간(ct_n^i)을 계산하는 것; (6) 제1시간마다, 각 충전소(i)별 부하값(P,Q)을 기반으로 조류해석을 진행하여, 각 충전소(i)에서의 전압 안정도를 계산하는 것; (7) 각 충전소(i)에 대해 계산된 전압 안정도를 바탕으로, n대의 차량들에 대하여 전압 안정도가 가장 높은 충전소를 포함하는 최적의 경로를 선정하여 제공하는 것을 포함할 수 있다.

[0019] 여기서, 상기 각 경로들의 주행 거리와 소모 시간을 계산하는 것은, "MATSim"을 사용하여 처리될 수 있다.

[0020] 또한, 임의의 차량이 임의의 충전소(i)에 도착할 때의 충전 상태(SOC_n^i)가 10% 미만인 충전소(i)를 포함하는 경로는 삭제될 수 있다.

[0021] 또한, 상기 최적의 경로는, 아래의 목적함수가 최소가 되는 것으로서 선정될 수 있다.

[0022] $$\min f = w_v V_{dev} + w_t t_{drive}$$

[0023] 상기 목적함수에서, 상기 w_v는 전압 편차에 대한 가중치이고, 상기 V_{dev}는 상기 전력망 정보의 각 모선의 모든 시간대에서의 전압 p.u. 값과 PCC 지점의 전압인 1.0 p.u. 와의 전압 편차값이고, 상기 w_t는 운전 시간에 대한 가중치이고, 상기 t_{drive}는 출발지에서 충전소까지 걸리는 시간과 충전소에서 충전하는 시간과 충전소로부터 도착지까지 도달하는 시간을 더한 값이다.

발명의 효과

[0024] 상술한 바와 같은 구성을 포함하는 본 발명에 의하면, 전기자동차의 출발지와 도착지를 고려하여 전력시스템 전압 안정도를 극대화하여 계통 안정성을 높여주는 최적 운영 방안을 제공할 수 있게 된다. 이로써, 전기자동차 소유주들에게는 최적 충전소를 안내함으로써 운전 시간 최소화 효과를 제공할 수 있다.

[0025] 또한, 전기자동차에 의해 추구되는 다양한 목적(주행 시간 최소화, 전압 안정도 최대화)을 균형적으로 고려함으로써, 사용자의 이익이 최대화될 수 있다.

[0026] 또한, 차량의 경로에 포함된 각각의 충전소를 이용하는 모든 조합을 검토하여 충전 계획을 포함하는 최적의 주

행 경로를 선정할 수 있으므로, 배터리 부족 상황 발생을 회피하여 안정적인 주행이 가능하게 된다.

[0027] 또한, 배전단의 각 버스(bus)의 전압에 따라 재생에너지 출력을 제한하는 상황에서, 전압을 고려하여 EV 충전을 최적화하는 본 발명을 통하여, 재생 에너지를 효율적으로 사용할 수 있게 된다.

도면의 간단한 설명

[0028] 도 1은 본 발명에 따른 전력망과 교통망의 통합 시스템을 고려한 전기자동차의 경로 선정 및 충전 스케줄링 구성 전략 수립 방법을 구현하는 시스템을 도시한다.

도 2는 본 발명에 따른 전력망과 교통망의 통합 시스템을 고려한 전기자동차의 경로 선정 및 충전 스케줄링 구성 전략 수립 방법의 흐름도이다.

도 3은 교통망 정보의 충전소 데이터를 전력망 정보의 전력 수요 데이터로 가공하는 것을 보여주는 도면이다.

도 4는 임의의 입출력 데이터를 이용한 조류해석의 예를 보여주는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0029] 1. 전기자동차의 초기데이터 취득

[0030] 본 발명에 따른 전기자동차는 다음과 같은 정보를 미리 알고 있는 것을 전제한다.

[0031] (1) 출발지, 도착지, 출발 시간, 출발 배터리 잔량, 연료 소비율의 정보,

[0032] (2) 주행 도중 충전을 이용할지에 대한 결정,

[0033] (3) 충전 시스템은 급속 충전(100kW)을 이용함,

[0034] (4) 본 발명에 따라 결정된 최적 알고리즘을 충실히 이행함.

[0035] 미리결정된 출발지, 도착지, 출발 시간을 통하여, 각각의 충전소를 경유하는 상황에 따른 충전소 도착 시간, 최적 경로, 도착지 도착 시간을 결정할 수 있다. 또한, 출발 배터리 잔량과 연료 소비율을 통하여 각 충전소 도착에 따른 충전 필요 시간을 계산할 수 있다. 이러한 교통 데이터 계산은 "MATSim"을 통하여 처리될 수 있다.

[0036] 또한, 교통망과 전력망을 커플링하기 위하여, 배전망의 모선 위치와 교통망에서의 전기차 충전소 위치를 연결한다. 이에 의해, 해당 충전소가 어떤 모선에 연결되어 있는지 알 수 있어서, 통합 최적 운영이 가능하게 된다.

[0038] 2. "MATSim"을 통한 전기자동차의 충전소 정보 추출

[0039] MATSim(Multi-Agent Transport Simulation)은 상용화된 교통망 해석 툴로서, 임의로 지정한 교통망에 차량 데이터를 입력하여 최적 경로를 계산해주는 프로그램이다. 특히, MATSim은 다양한 시나리오를 설정하여 비교 분석할 수 있으며, 결과 분석 시에 각각의 행위자의 움직임과 패턴의 변화를 시각적으로 표현해준다. 또한, MATSim에 쓰이는 모든 모듈설명 및 명령어가 오픈 소스이다. MATSim은 행위자 기반의 동적 확률적 시뮬레이션으로서, 점진적 최적화 기법을 도입하여 주어진 조건에 따른 각각의 행위자의 경로와 출발 시간 선택을 최적화한다. MATSim은 국내외에서 교통 수요를 분석하고 활동기반 교통모형을 분석하기 위해 널리 사용되고 있다.

[0040] 본 발명에 따른 처리 알고리즘은, 상기 MATSim 교통 해석 프로그램을 활용하여 각 차량의 충전소를 경유하는 최적의 경로를 추출한다. 추출 방법은 아래와 같다.

[0041] (1) 차량의 출발지, 출발시간, 도착지에 대한 정보를 입력한다.

[0042] (2) 주변의 모든 충전소를 경유지로 설정하는 경로들을 구성한다.

[0043] (3) MATSim 프로그램에 각 차량에 대한 각각의 경로들에 대하여 시뮬레이션을 수행하여 주행 거리와 소모 시간을 계산한다.

표 1

[0044]

입력	N_n^D	n번째 전기자동차의 출발지의 노드
	N_n^A	n번째 전기자동차의 도착지의 노드
	T_n^D	n번째 전기자동차의 출발 시각
	N_i^{EVCS}	i번째 전기차 충전소의 노드
출력	$t_n^{D\rightarrow i}$	n번째 전기자동차의 출발지로부터 충전소(i)까지 걸리는 시간
	$t_n^{i\rightarrow A}$	n번째 전기자동차의 충전소(i)부터 도착지까지 걸리는 시간
	$s_n^{D\rightarrow i}$	n번째 전기자동차의 출발지로부터 충전소(i)까지 걸리는 거리
	$s_n^{i\rightarrow A}$	n번째 전기자동차의 충전소(i)부터 도착지까지 걸리는 거리
	R_n^i	n번째 전기자동차의 충전소(i)를 거치는 최적 경로

[0045] 참고로서, MATSim 입력 데이터의 코딩 예시(일부)는 [표 2]와 같다.

표 2

[0046]

```
<person id="86">
<plan>
<act type="h" x="-25000" y="0" link="1" end_time="06:00" />
<leg mode="car">
 <route>2 7 12</route>
</leg>
<act type="w" x="10000" y="0" link="20" dur="00:30" />
<leg mode="car">
 <route>13 14 15 1</route>
</leg>
<act type="h" x="-25000" y="0" link="1" />
</plan>
</person>
```

[0047] 상기 코딩은, person id=86의 이동 계획(plan)을 나타내고 있다.

[0048] 셋째 줄은, "86"이 h(house)에서 출발하였고, (25000, 0) 좌표의 1번 도로에서 6:00에 출발했다는 것을 나타낸다. 출발 시각은 person id마다 다를 수 있다.

[0049] 넷째 내지 여섯째 줄은, 차(car)를 타고 도로 2,7,12를 따라 충전소로 갔음을 나타낸다. 단순히 도착지만 기재하고 싶다면, 상기 <route>에 대한 정보는 기재하지 않을 수 있다.

[0050] 일곱째 내지 열째 줄에 있어서, Act type="w"는 직장(work)으로 출근을 하면서 중간에 x=10000, y=0 좌표 위에 존재하는 link="20"의 충전소에서 충전을 한다는 것을 나타낸다. 해당 단계에서, 좌표 위의 어느 도로에 있는지를 나타내는 정보인 "link"를 기재하는 이유는, 현재 이용하는 도로가 우측 차로인지 좌측 차로인지를 나타내기 위함이다. 이는, 도로가 양 방향이기 때문에, 교통 정보망에서는, 우측 차로인지 좌측 차로인지에 따라 link 번호를 각각 기입하고 있기 때문이다. 여기서 link 20에 위치한 충전소에 들려서 충전을 하는 것을 표시하며, 충전 시간은 기본값인 30분이라 설정하고 있다. 그 이후, 도착지 좌표인 x=-25000, y=0, link=1까지 운행하는 경로에 대한, 충전소와 도착지 간의 거리 및 시간을 구할 수 있다.

[0051] 이러한 이동 계획 파일을 기반으로, MATsim에 시뮬레이션을 돌려서 출발지-충전소, 충전소-도착지 간의 거리 및 도달 시간을 계산할 수 있으며, 구해진 정보를 바탕으로 전기차 최적 운영 입력 데이터를 구성한다.

[0052] (4) n대의 전기자동차와 i개의 충전소가 존재한다면 충전소 정보는 n*i*5(출력의 종류)로 구성된다.

[0053] (5) 상기 데이터를 기반으로, 출발 배터리 잔량과 효율을 참고하여, 임의의 충전소(i)에 도착하는 각 차량(n)의 SOC를 계산 가능하며(SOC_n^i), 결과적으로 충전 시간(ct_n^i)이 도출될 수 있다.

[0054] (6) 전기자동차의 낮은 배터리 함량으로 인하여 해당 충전소에 도달하지 못하는 경우를 방지하기 위하여, SOC_n^i가 10% 미만인 충전소(i)는 삭제할 수 있다.

[0055] (7) MATSim 최종 출력값은, 다음을 포함한다: $t_n^{D\to i}$, $t_n^{i\to A}$, $s_n^{D\to i}$, $s_n^{i\to A}$, SOC_n^i, ct_n^i, R_n^i.

[0057] 3. MATSim 차량 충전 데이터 기반 조류해석 진행

[0058] 상기한 바와 같이, MATSim에서 도출된 각 차량의 충전 정보를 기반으로, 전력망에 영향을 평가하는 조류해석을 진행할 수 있다. 조류해석은, 각 모선의 P와 Q값을 설정하고, PCC 지점을 1.0 p.u.로 정의하고, 각 버스의 전압 및 위상각 그리고 선로 손실을 측정하는 것을 포함한다.

[0059] 본 발명에 따른 알고리즘이 구현하는 전력시스템은 배전망이기 때문에, 말단부에 가장 영향이 높은 전압을 기준으로 안정도를 평가하는 것이 바람직하다. 전압은 p.u. 단위로 도출되며, IEEE 규정에 따라, 0.95 p.u. ~ 1.05 p.u. 범위에 들어오도록 각 모선의 P값을 조절하게 된다. 전력 수요조정은 15분 단위로 스케줄링할 수 있으며, 따라서, 상기 교통데이터를 전력시스템 데이터로 변환할 필요가 있다. 변환의 방법은 다음을 참고할 수 있다:

[0060] (1) 교통망-전력망 커플링을 통하여, 교통망에서의 노드 기반의 전기자동차 충전소(EVCS)의 위치를, 전력망에서의 버스 번호로 규정한다. 커플링하는 방법은, 실제 지리적 위치와 전력 제공 배전반의 위치를 관련시키는 것을 포함한다. 예를 들어, EVCS1이 특정 배전단으로부터 전력을 공급받고 있고, 이 배전단이 bus1에 포함되어 있다면, EVCS1과 bus1이 커플링된다.

[0061] (2) 충전 정보 중 n번째 전기자동차의 출발 시각(T_n^D)과, n번째 전기자동차의 출발지로부터 충전소(i)까지 걸리는 시간($t_n^{D\to i}$), n번째 전기자동차가 충전소(i)에서 충전하는 시간(ct_n^i)을 이용하여 전력 수요 시간으로 가공한다.

[0062] (3) 각각의 전기자동차(n)가 i번째 충전소에서 T ~ T+ct_n^i 동안 충전한다면, 해당 노드와 커플링된 버스는 100kW의 유효전력 출력을 가지게 될 것이므로, 역률은 0.9 고정으로 정의하여 Q값을 산정할 수 있다. 이때의 T는 $T_n^D+t_n^{D\to i}$ 와 동일하다고 가정한다.

[0063] (4) 각 충전소(i)별로, 15분 간격(즉, 제1시간)의 각 버스별 부하값(P,Q)을 기반으로, 조류해석을 진행하여 전압값을 판별하고, 전압 안정도를 계산한다. 각 모선의 부하값을 토대로 조류해석을 수행하면, 주파수, 전력 손실, 전압값 등 다양한 결과들을 얻을 수 있다. 본 발명은, 상기 결과들 중에서, 저압단에서 전력 안정도에 가장 주요한 영향을 끼치는 전압값을 사용하였다.

[0064] (5) 각 충전소(i)에 대해 계산된 전압 안정도를 바탕으로, n대의 차량들에 대하여 전압 안정도가 가장 높은 충전소를 포함하는 최적의 경로를 선정하여 제공한다.

[0066] 4. 목적함수 기반 최적 충전소 규정

[0067] 상기한 1~3의 과정을 통하여, 모든 차량의 각 충전소에 대한 정보가 추출된 후, 아래의 목적함수(식 (1))에 기반하여 최소 운영점을 찾을 수 있다.

[0068] $$\min f = w_v V_{dev} + w_t t_{drive} \quad \cdots \text{식 (1)}$$

[0069] 여기서, w_v는 전압 편차에 대한 목적함수 가중치를 나타내며, w_t는 운전 시간에 대한 가중치를 의미한다. 전압 편차(w_v)는 각 모선의 모든 시간대에서의 전압 p.u. 값이 PCC 지점의 전압인 1.0 p.u. 와의 편차값을 의미하며,

해당 값은 모든 편차를 더한 값과 동일하다. t_{drive}는 교통망을 고려한 값으로서, 전기자동차가 충전소까지 걸리는 시간, 충전소에서 충전하는 시간, 도착지까지 도달하는 시간을 더한 값과 동일하다. 상기 목적함수를 통하여 전압 편차와 운전 시간을 고려하여 최소값을 찾음으로써, 전력시스템의 안정도와 교통시스템의 최적 루트를 고려하여 최적 운영 방안을 제공할 수 있게 된다.

[0070] 목적함수 f는 전력시스템의 전압 안정도와 전력 손실 최소화를 고려한 수식이다. 일부 전력시스템에서는, 전압 안정도만을 최대로 추구하기 위하여, 전력 손실을 고려하지 않고 충전 스케줄링을 구성하는 비이성적인 전력 운영을 수행하기도 한다. 이에 비하여, 2가지 수치들에 가중치를 곱한 합으로 설정되는 본 발명에서 설계된 목적함수 f에 의하면, 전압 안정도와 전력 손실 최소화를 균형 있게 추구할 수 있게 된다. 특히, 전압을 고려하여 EV 충전을 최적화하는 본 발명에 의하면, 배전단의 각 버스의 전압에 따라 재생에너지 출력을 제한하는 상황에서 재생 에너지를 효율적으로 사용할 수 있게 된다.

[0072] 5. 본 발명에 따른 전기자동차의 경로 선정 및 충전 스케줄링 방법

[0073] 본 발명에서 제안하는 전력망과 교통망의 통합 시스템을 고려한 전기자동차의 경로 선정 및 충전 스케줄링 방법은, 도 1에 도시된 바와 같이, 교통망 정보 및 전력망 정보를 보유한 경로 계산 서버(100)에서 수행될 수 있다.

[0074] 상기 방법은 다음과 같은 절차를 포함하며, 도 2를 참조할 수 있다.

[0075] (1) 교통망 정보의 각각의 충전소들의 노드 기반 위치를 전력망 정보에 버스 멤버로서 결합하는 것.

[0076] (2) n대의 차량들 각각의 출발지, 출발 시각, 도착지에 대한 정보를 입력받는 것.

[0077] (3) 교통망 정보를 참고하여, n대의 차량들 각각에 대해서 출발지에서 도착지 사이의 모든 충전소를 경유지로 설정하는 경로들을 구성하는 것.

[0078] (4) n대의 차량들 각각에 대해 설정된 경로들 전부에 대하여, 각 경로들의 주행 거리와 소모 시간을 계산하는 것.

[0079] (5) 계산된 주행 거리와 소모 시간을 기반으로, n번째 차량에 대하여, 출발 시각(T_n^D), 출발지로부터 충전소(i)까지 걸리는 시간($t_n^{D\rightarrow i}$), 임의의 충전소(i)에 도착할 때의 충전 상태(SOC_n^i), 및 충전소(i)에서 충전하는 시간(ct_n^i)을 계산하는 것.

[0080] (6) 제1시간(예를 들면, 15분일 수 있음)마다, 각 충전소(i)별 부하값(P,Q)을 기반으로 조류해석을 진행하여, 각 충전소(i)에서의 전압 안정도를 계산하는 것.

[0081] (7) 각 충전소(i)에 대해 계산된 전압 안정도를 바탕으로, n대의 차량들에 대하여 전압 안정도가 가장 높은 충전소를 포함하는 최적의 경로를 선정하여 제공하는 것.

[0083] 도 3은, 교통망 정보의 충전소 데이터를 전력망 정보의 전력 수요 데이터로 가공하는 것을 보여주는 도면이다. 본 발명에 따른 스케줄링 방법을 이용하는 차량이 총 n대 있다고 가정하면, 각 차량은 주위의 모든 충전소 i와의 정보가 계산된다. 이 정보는 출발지로부터 1 ~ i의 충전소까지의 도달 시간 및 도달 거리와 1 ~ i의 충전소로부터 도착지까지의 도달 시간 및 도달 거리를 포함한다.

[0084] 하나의 차량은 i개의 충전소 중 1개를 선택할 수 있으며(예시로서, 점선 표시), n개의 모든 차량에 대한 충전소 선정 정보로부터 각 충전소에 대한 충전 정보가 계산될 수 있다. 예를 들어, 충전소 2를 선택한 차량이 1, 5, 9,... 라고 가정하면, 각 차량의 출발 시각과 충전소 도달 시간을 더하여 충전소 도달 시각을 계산할 수 있고 1,5,9,... 차량이 충전소에 도착하자마자 급속 충전기에 연결되어 100kw의 출력으로 충전한다고 할 때, 결과적으로 각 충전소에 대한 시간-출력 그래프를 구성할 수 있다. 최종적으로 각 충전소에 대한 시간-출력 값은, 조류해석에 사용될 수 있도록, 충전소의 지리적 위치와 배전망 버스의 지리적 위치를 연관지어 커플링된다. 여기서는, 충전소 1은 버스 1에 커플링되었고, 충전소 2는 버스 6과 커플링된 것을 보여준다.

[0086] 도 4는 임의의 입출력 데이터를 이용한 조류해석의 예를 보여주는 도면이다. 각 모선(bus)에서 측정되는 유효전력(Active Power) 값과 무효전력(Reactive Power) 값, 그리고 상기 값들을 이용한 조류해석에 의해 계산되는 각 모선의 전압 값(Voltage Profile)을 나타낸다.

[0087] 전력시스템에서 모선(또는, 버스)이란 여러 전력 선로 중에서 특정 구간에 위치한 주요 전력 선로를 의미한다. 각각의 모선은, 전기 에너지의 전송과 분배에 핵심적인 역할을 하며, 위치에 결정되는 지리적 정보와 동일하다. 각 버스 구역에 존재하는 전력 사용자 및 전력 공급자에 따라, 유효전력 및 무효전력이 매 15분마다 측정되어 기록되며, 이를 이용한 조류해석을 통하여 각 모선의 전압값이 계산된다.

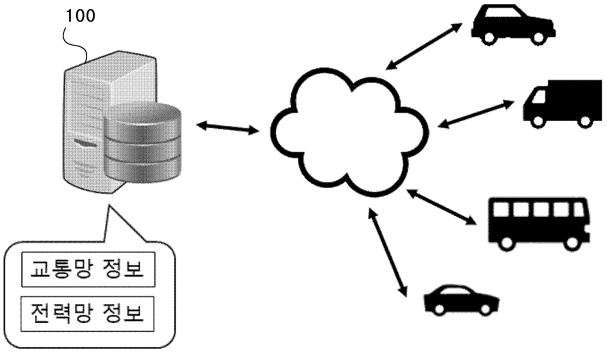
[0088] 예를 들어, 0시 15분에, bus 1에서는 722.27kW 및 456.71kVar이 측정되었고, bus 2에서는 161.23kW 및 310.52kVar이 측정되었다면, 조류해석을 통하여 bus 1은 1.01p.u. 값이 계산될 수 있으며, bus 2는 0.98p.u. 값이 계산될 수 있다. 이와 같이, 하나의 기준 시각에서, 모든 모선에 대해 결과가 도출될 수 있다.

[0089] 여기서, 조류해석이란, 각 정해진 구역을 버스로 설정한 뒤 각 버스의 총 부하량 및 재생에너지 발전량을 토대로 전압 및 전류를 계산하는 방법이다.

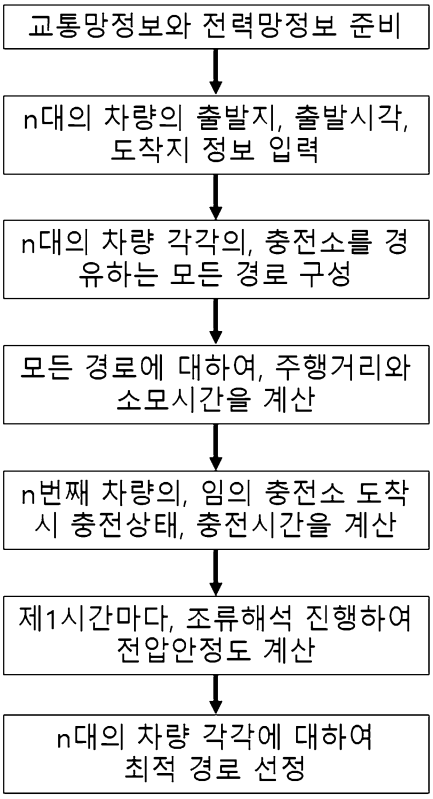
[0090] 전력 부하 스케줄링을 위하여 조류해석이 많이 사용되고 있는데, 그 이유는, 각 버스에서 계산된 전압과 전류를 이용하여, 전력시스템의 안정도를 평가할 수 있기 때문이다. 전압은, 기준 전압을 바탕으로 p.u.법으로 치환할 수 있으며, 저압 배전단 기준에 맞춰 규정한 범위 내에 존재한다면 전압 안정도가 높다고 볼 수 있고, 범위 밖에 존재한다면 불안정하다 평가할 수 있다. 정리하면, 각 구역의 전력 사용량을 토대로 조류해석을 진행하여 전압 및 전류를 계산함으로써, 전압 안정도를 평가할 수 있다. 조류해석을 통하여 각 충전 시나리오대로 전기 자동차를 충전함에 따른 전력 계통 영향을 분석할 수 있게 된다.

도면

도면1



도면2


교통망정보와 전력망정보 준비
n대의 차량의 출발지, 출발시각, 도착지 정보 입력
n대의 차량 각각의, 충전소를 경유하는 모든 경로 구성
모든 경로에 대하여, 주행거리와 소모시간을 계산
n번째 차량의, 임의 충전소 도착 시 충전상태, 충전시간을 계산
제1시간마다, 조류해석 진행하여 전압안정도 계산
n대의 차량 각각에 대하여 최적 경로 선정

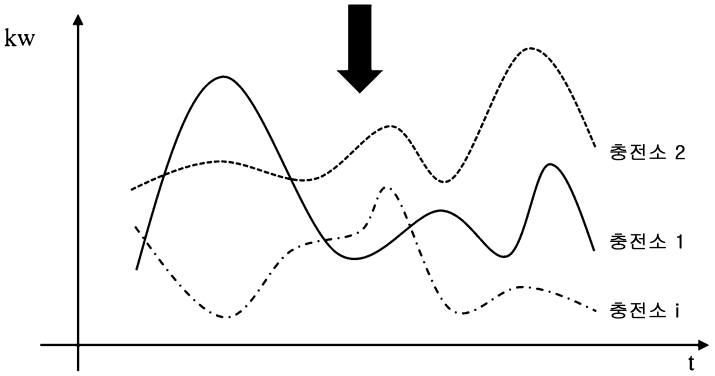
도면3

차량번호	충전소	충전소 도달 시간	도착지 도달 시간	충전소 도달 거리	도착지 도달 거리
1	1	5171	6666	77565	99990
	2	5138	5765	77070	86475
	3	3964	5226	59460	78390
	...	...	...	...	...
	i-1	4777	2884	71655	43260
	i	5154	5765	77310	86475

차량번호	충전소	충전소 도달 시간	도착지 도달 시간	충전소 도달 거리	도착지 도달 거리
2	1	5854	7349	87810	110235
	2	5821	6448	87315	96720
	3	4647	5909	69705	88635
	...	...	...	...	...
	i-1	5460	3567	81900	53505
	i	5837	6448	87555	96720

•
•
•

차량번호	충전소	충전소 도달 시간	도착지 도달 시간	충전소 도달 거리	도착지 도달 거리
n	1	5854	7349	87810	110235
	2	5821	6448	87315	96720
	3	4647	5909	69705	88635
	...	...	...	...	...
	i-1	5460	3567	81900	53505
	i	5837	6448	87555	96720



충전소 번호	1	2	3	...	i-1	i
Distribution 버스 번호	1	6	7	...	31	33

도면4

Active Power							
	Bus1	Bus2	Bus3	Bus4	...	Bus32	Bus33
0:00	416.0437	96.40836	61.56104	238.5975		55.13248	168.4717
0:15	722.27	161.23	571.7471	525.3857	...	255.4367	664.97
0:30	154.8969	247.2481	367.8696	542.7044	...	189.3993	234.6354
0:45	409.8492	139.2891	582.2986	175.9363	...	455.6085	600.2204
...	...	...	...	...	...	...	...
23:30	213.2176	538.2749	512.6065	174.7802	...	324.7692	359.1192
23:45	444.828	243.2688	691.9534	137.5843	...	420.6214	654.3557

Reactive Power							
	Bus1	Bus2	Bus3	Bus4	...	Bus32	Bus33
0:00	219.9378	164.0709	168.7319	294.4379		372.3654	597.3835
0:15	456.7113	310.5232	261.1487	655.1282	...	350.1023	468.3303
0:30	770.1687	452.9664	737.6389	268.925	...	576.6802	463.2003
0:45	224.555	118.8151	252.9505	688.0704	...	208.3289	368.3256
...	...	...	...	...	...	...	...
23:30	41.373	782.479	23.05517	421.9589	...	102.5682	774.3145
23:45	523.2871	88.21953	421.6783	241.3742	...	693.4229	141.2197



Voltage Profile							
	Bus1	Bus2	Bus3	Bus4	...	Bus32	Bus33
0:00	1.052	1.086	0.913	1.017		0.949	1.052
0:15	1.01	0.98	1.061	0.979	...	1.084	1.07
0:30	0.915	1.038	0.912	0.98	...	0.982	0.985
0:45	1.071	1.004	1.063	0.994	...	1.053	0.952
...	...	...	...	...	...	...	...
23:30	1.015	1.084	0.966	0.96	...	1.045	1.05
23:45	1.091	0.917	1.01	0.932	...	0.984	0.948