



- (51) 국제특허분류: **G06Q 50/40** (2024.01) **B60L 53/50** (2019.01)
G06Q 10/06 (2012.01) **B60L 58/40** (2019.01)
G06Q 10/04 (2012.01) **H02J 3/38** (2006.01)

(21) 국제출원번호: PCT/KR2024/095865

(22) 국제출원일: 2024 년 5 월 30 일 (30.05.2024)

(25) 출원언어: 한국어

(26) 공개언어: 한국어

(30) 우선권정보: 10-2023-0069280 2023 년 5 월 30 일 (30.05.2023) KR

(71) 출원인: 고려대학교 산학협력단 (**KOREA UNIVERSITY RESEARCH AND BUSINESS FOUNDATION**)
 [KR/KR]; 02841 서울특별시 성북구 안암로 145 (안암동5가), Seoul (KR).

(72) 발명자: 최승연 (**CHOI, Sungyun**); 07388 서울특별시 영등포구 신길로28길 9, 103동 604호, Seoul (KR). 우현

(73) 권리자: (WOO, Hyeon); 38492 경상북도 경산시 진량읍 선화로 20길 25, 103동 104호, Gyeongsangbuk-do (KR).

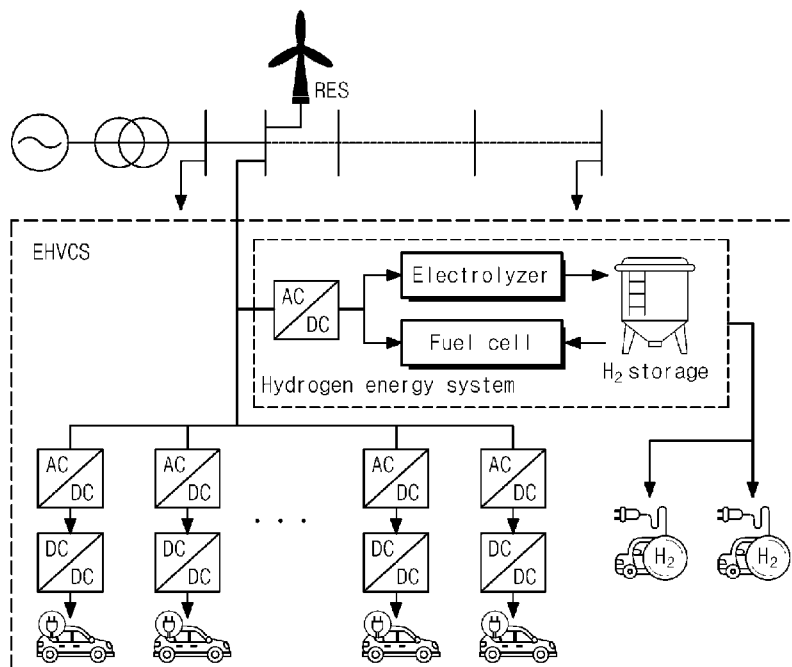
(74) 대리인: 김등용 (**KIM, Deungyong**); 08378 서울특별시 구로구 디지털로34길 55, 417호 동진국제특허법률사무소, Seoul (KR).

(81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 역내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ,

- (54) Title:** METHOD AND APPARATUS FOR OPTIMALLY OPERATING HYDROGEN AND ELECTRIC VEHICLE CHARGING STATION BY CONSIDERING HPS MARKET

- (54) 발명의 명칭: HPS 시장을 고려한 수소 및 전기차 충전소의 최적 운영 방법 및 장치



- (S7) Abstract:** Disclosed is a method for scheduling a hydrogen and electric vehicle charging station, linked with renewable energy, by considering the HPS market. The scheduling method is performed by a computing device including a processor, and comprises the steps of: modeling the charging demand of the hydrogen and electric vehicle charging station; and scheduling the hydrogen and electric vehicle charging station through second-order conic programming (SOCP) repair optimization on the basis of the modeled charging demand, wherein the scheduling step includes the steps of: setting an objective function defined by an equation; and setting at least one constraint.



TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

공개:

— 국제조사보고서와 함께 (조약 제21조(3))

(57) 요약서: HPS 시장을 고려한 신재생에너지가 연계된 수소 및 전기차 충전소의 스케줄링 방법이 개시된다. 상기 스케줄링 방법은 적으로 프로세서를 포함하는 컴퓨팅 장치에 의해 수행되고, 상기 수소 및 전기차 충전소의 충전 수요를 모델링하는 단계, 및 모델링된 충전 수요를 기초로 SOCP(Second-Order Conic Programming) 수리 최적화를 통해 상기 수소 및 전기차 충전소를 스케줄링하는 단계를 포함하고, 상기 스케줄링하는 단계는 수학식으로 정의되는 목적 함수를 설정하는 단계 및 적어도 하나의 제약 조건을 설정하는 단계를 포함한다.

명세서

발명의 명칭: HPS 시장을 고려한 수소 및 전기차 충전소의 최적 운영 방법 및 장치

기술분야

- [1] 본 발명은 수소 및 전기차 충전소의 최적 운영 방법에 관한 것으로, 특히 신재생 에너지원이 연계된 수소 및 전기차 충전소 내 수소 탱크의 최적 스케줄링을 통해 수소 및 전기차 충전소 운영자의 수익을 극대화하는 방법에 관한 것이다.

배경기술

- [2] 최근 전 세계적 에너지 전환 기조와 더불어 수소 및 전기차와 같은 친환경자동차의 기술적 향상을 통해 국내외 친환경 자동차의 보급률이 급증하고 있다. 뿐만 아니라, 탄소 중립 정책을 통한 온실가스 감축이라는 목표 아래 신재생 에너지 보급률이 빠르게 증가하고 있다.
- [3] 수소차의 경우 수소 공급망 인프라가 부족한 실정이며, 충전소에서 수소차의 수소 수요와 전기차의 충전 수요를 충족하기 위한 전력은 전력계통 내 부하 증가를 야기하며, 이는 계통 관점에서의 신뢰도 저하를 야기할 수 있다. 이에 따라, 변동성이 높은 충전 수요에 대해 유연하게 대응하고, 친환경 자동차의 수요를 충족할 수 있는 전략적인 충전소 운영 방안이 필요하다.
- [4] 또한, 전력계통 내 신재생에너지는 보급률 증가는 초과발전 및 송배전 설비부족으로 인해 재생에너지의 출력 제한(Curtailment)을 야기할 수 있으며, 이는 재생에너지원 소유자의 수익성을 저해한다. 따라서, 출력 제한을 감소시킬 수 있는 방안이 필요하다.
- [5] 현재 대한민국에서는 2024년 청정수소 발전의무화 제도(CHPS, Clean Hydrogen Portfolio Standards)를 시행할 계획이다. 이는 발전사업자에게 발전량의 일정비율을 수소로 발전하도록 의무화하는 제도이며, 이를 통해 재생에너지 발전의무화 제도(RPS, Renewable Portfolio Standards)와 같이 수소 발전사업자가 수소발전 공급인증서를 일반 발전사업자에게 판매함으로써 수익을 얻을 수 있다. 따라서, 충전소 사업자의 수소발전을 통해 수익성을 증진할 수 있다.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [6] 본 발명이 이루고자 하는 기술적인 과제는 신재생에너지가 연계된 수소 및 전기차 충전소의 최적 운영 방법 및 장치를 제공하는 것이다.

과제 해결 수단

- [7] 본 발명의 일 실시예에 따른, HPS 시장을 고려한 신재생에너지가 연계된 수소 및 전기차 충전소의 스케줄링 방법은 적으로 프로세서를 포함하는 컴퓨팅 장치에 의해 수행되고, 상기 수소 및 전기차 충전소의 충전 수요를 모델링하는 단계, 및 모델링된 충전 수요를 기초로 SOCP(Second-Order Conic Programming) 수리 최

적화를 통해 상기 수소 및 전차가 충전소를 스케줄링하는 단계를 포함하고, 상기 스케줄링하는 단계는 수학적 식으로 정의되는 목적 함수를 설정하는 단계 및 적어도 하나의 제약 조건을 설정하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

- [8] 본 발명의 실시예들에 의할 경우, 수소 및 전기차 충전소를 최적으로 운영할 수 있고 충전 요금 뿐 아니라 HPS 판매를 통해 수익성을 증진할 수 있다.
- [9] 또한, 충전소에 연계된 재생에너지를 통해 친환경 자동차의 충전 수요를 자급자족함으로써, 계통으로부터 구매하는 전력량을 절감하여 운영비용을 절감할 수 있다. 또한, 재생에너지의 잉여전력량을 수소 탱크 충전에 사용함으로써 출력 제한을 감소할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [10] 도 1은 제안하는 EHVCS의 구조를 나타낸다.
- [11] 도 2는 재생에너지원(RES)와 EHVCS를 갖는 수정된 IEEE-33 버스 시스템을 도시한다.
- [12] 도 3은 EHVCS의 유형에 따른 도착 수요를 나타낸다.
- [13] 도 4는 EHVCS의 각 유형의 SOC를 나타낸다.
- [14] 도 5는 모선에 접속된 EHVCS에서의 전압 프로파일을 도시한다.
- [15] 도 6은 HPS 케이스의 유무에 따른 비교 결과를 나타낸다.
- [16] 도 7은 수학적 식 12와 수학적 식 13에 이용되는 선로조류 정보를 설명하기 위한 개념도이다.

발명의 실시를 위한 형태

- [17] 본 명세서에 개시되어 있는 본 발명의 개념에 따른 실시예들에 대해서 특정한 구조적 또는 기능적 설명들은 단지 본 발명의 개념에 따른 실시예들을 설명하기 위한 목적으로 예시된 것으로서, 본 발명의 개념에 따른 실시예들은 다양한 형태들로 실시될 수 있으며 본 명세서에 설명된 실시예들에 한정되지 않는다.
- [18] 본 발명의 개념에 따른 실시예들은 다양한 변경들을 가할 수 있고 여러 가지 형태들을 가질 수 있으므로 실시예들을 도면에 예시하고 본 명세서에서 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명의 개념에 따른 실시예들을 특정한 개시 형태들에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물, 또는 대체물을 포함한다.
- [19] 제1 또는 제2 등의 용어는 다양한 구성 요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성 요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성 요소를 다른 구성 요소로부터 구별하는 목적으로만, 예컨대 본 발명의 개념에 따른 권리 범위로부터 벗어나지 않은 채, 제1 구성 요소는 제2 구성 요소로 명명될 수 있고 유사하게 제2 구성 요소는 제1 구성 요소로도 명명될 수 있다.

- [20] 어떤 구성 요소가 다른 구성 요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성 요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성 요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성 요소가 다른 구성 요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는 중간에 다른 구성 요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다. 구성 요소들 간의 관계를 설명하는 다른 표현들, 즉 "~사이에"와 "바로 ~사이에" 또는 "~에 이웃하는"과 "~에 직접 이웃하는" 등도 마찬가지로 해석되어야 한다.
- [21] 본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로서, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 본 명세서에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성 요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성 요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [22] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가진다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 의미를 갖는 것으로 해석되어야 하며, 본 명세서에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [23] 이하, 본 명세서에 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 실시예들을 상세히 설명한다. 그러나, 특허출원의 범위가 이러한 실시예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 각 도면에 제시된 동일한 참조 부호는 동일한 부재를 나타낸다.
- [24] 수소 및 전기차 충전소(EV and HV charging station, EHVCS)는 컨버터(converter), 전기차 충전기(전기 충전기) 및 수소차 충전기(수소 충전기), 수전해설비(electrolyzer, 전해조), 연료 전지(fuel cell), 및 수소 탱크(hydrogen storage tank)를 포함한다. EHVCS에서, EVCS(EV charging station, 전기차 충전소)와 HVCS(HV charging station, 수소차 충전소)가 결합되고, 전기차(electric vehicle, EV)와 수소차(hydrogen vehicle, HV)는 EHVCS에서 충전될 수 있다. 또한, 재생에너지원(renewable energy source, RES)은 EHVCS의 전력 수요를 충족시키기 위해 전력을 공급할 수 있다.
- [25] 이와 관련하여, 도 1은 제안하는 EHVCS의 구조를 나타낸다. 수소 및 전기차 충전소(EHVCS)는 계통의 AC/DC 변환을 통해 계통에 연계되며, 전기차(EV)를 위한 전기 충전기와 수소차(HV)를 위한 수소 충전기로 구성되어 있다. 수소 및 전기차 충전소(EHVCS)가 연계된 모션에는 풍력이나 태양광과 같은 재생에너지원(RES)이 함께 연계되어 충전 수요 공급을 보조할 수 있다. 수소 및 전기차 충전소의 구성으로써 수소 에너지 시스템(Hydrogen energy system)은 수소 탱크, 연료 전

지, 및 수전해설비로 구성되어 있으며, 전기차의 충전 수요를 공급하고 남은 재생에너지원의 잉여 전력 또는 계통으로부터 공급받은 전력을 이용하여 수소를 생산할 수 있다. 이때, 수전해설비를 통해 수소를 생산할 수 있다. 생산된 수소는 수소차(HV)로 공급될 수 있고, 잉여 수소는 수소 탱크에 저장될 수 있다. 수소 탱크에 저장된 잉여 수소는 연료 전지를 통해 다시 계통이나 전기차(EV)에 전력을 공급할 수 있으며, 계통에 수소를 공급(즉, 수소를 이용하여 생산된 전력을 공급)하는 과정에서 수소발전 공급인증서를 발급받을 수 있다.

- [26] 다시 말하면, 전기차(EV)는 재생에너지원(RES)으로부터의 전력을 공급받아 충전될 수 있다. 재생에너지원(RES)의 잉여 전력은, 수전해설비를 통해 수소를 생산함으로써, 수소 탱크를 충전하기 위해 이용될 수 있다. 즉, 재생에너지원(RES)의 잉여 전력은 계통으로 판매하지 않고 오직 전기차(EV)의 충전 수요 충족과 수소 생산에만 이용된다. 수소 탱크와 전기차(EV)는 계통으로부터의 전력과 재생에너지원(RES)으로부터의 전력에 의해 충전될 수 있다. 그러면, 수소 탱크 내의 수소는 수소차에 의한 수소 수요(hydrogen demand)를 충족시키기 위해 이용된다. 잉여 수소는 전기차 충전 전력의 부족분(deficit)을 공급하기 위해 이용되거나 HPS(Hydrogen Portfolid Standard, 수소발전의무화제도) 어그리게이터(aggregator)에게, 연료 전지를 이용하여 수소를 다시 전력으로 변환함으로써, 팔 수 있다.

[27] **충전 수요 모델(Charging Demand Model)**

- [28] 전기차 충전소(EVCS)로부터의 충전 데이터가 충전 수요를 모델링하기 위해 활용될 수 있다. 즉, 위치 타입별로 전기차 충전소(EVCS)의 미리 정해진 시간 구간(예컨대, 24시간) 동안의 전기차 도착 정보(또는 충전 데이터)가 이용될 수 있다. 각 EVCS를 위한 충전 수요는 가우시안 분포(Gaussian distribution)와 같은 모수적 분포(parametric distribution)를 따르지 않고, EVCS가 다양한 타입의 위치(area, 예시적으로 산업, 주거, 및 상업 지역)에 위치함에 따라 다양한 충전 패턴을 갖는다. 따라서, 충전 수요는 각 EVCS에 대한 위치 타입에 의존하여, 커널 밀도 추정(Kernel Density Estimation, KDE) 기법을 이용하여 모델링된다(또는 추정될 수 있다). 커널 밀도 추정(KDE) 기법은 비-모수적(nonparametric) 통계법 중 하나로, 모수적 기법을 따르지 않는 데이터를 모델링할 수 있다. 즉, 커널 밀도 추정(KDE) 기법은 특정 커널 함수의 조합으로 주어진 데이터 샘플의 확률 밀도를 추정하는 기법이라 할 수 있다. 데이터가 특정 확률 분포 함수를 따르지 않을 때 주로 적용하며, 이를 이용하여 위치 타입별로 확률 밀도 함수를 생성할 수 있다. 즉, 산업, 상업, 및 주거 지역별로 총 3개의 확률 밀도 함수를 생성할 수 있다. 이는 각 위치 타입에 따라 서로 다른 도착 프로파일을 따르기 때문에 이를 고려하기 위함이다. 이때, 수소차 충전소에 대한 데이터는 아직 부족한 실정으로 이를 전기차 충전소 데이터로 대체할 수 있다. 결과적으로, 시변(time-varying) 충전 수요의 확률 분포를 추정(또는 예측)하기 위해 커널 밀도 추정(KDE) 기법이 이용될 수 있다. 커널 밀도 추정(KDE) 기법은 수학식 1과 같이 정의된다. 또한, 커널 밀도 추정(KDE) 기법에 대한 상세한 설명은 Sheather, S.J. 등의 논문(Sheather, S.J.; Jones,

M.C. A reliable data-based bandwidth selection method for kernel density estimation. J. R. Stat. Soc. Ser. B Methodol. 1991, 53, 683-690.)이 참조될 수 있다.

[29] [수학식 1]

$$[30] \quad f_{i,h} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K KDE_h(t - t_k) = \frac{1}{Kn} \sum_{k=1}^K KDE(t - t_k)$$

[31] 수학식 1에서, KDE는 커널 함수(kernel function)이다. 커널 함수로써는, Epanechnikov 커널이 이용될 수 있다. h는 평활 파라미터(smoothing parameter), KDE_h 는 대역폭(bandwidth)을 나타낸다.

[32] 추정된 확률 밀도 함수는 이산 확률 함수로 변환되어 시간 별 도착 확률이 도출될 수 있다. 즉, 도출된 도착 확률은 기존 충전소에 전기차 1대가 해당 시간에 도착할 확률을 의미한다.

[33] 기존 충전소의 도착 횟수와 충전량의 피어슨 상관 관계(Pearson Correlation Coefficient)를 이용하여 선형 계수를 구한 후, 도출된 시간 별 도착 확률과 각 충전소의 하루 평균 전기차 도착 대수를 기반으로 시간별 충전 수요를 추정할 수 있다.

[34] 위치 타입별로 충전 수요를 모델링한 후, 충전소 내 수소 탱크의 운영 최적화 문제를 공식화한다. 운영 전략 및 해당 전략의 수학적 모델링은 아래에서 상세히 기술한다.

[35] 도 2는 재생에너지원(RES)과 수소 및 전기차 충전소(EHVCS)를 갖는 수정된 IEEE-33 버스 시스템을 도시한다. 도 2에서, 수소 및 전기차 충전소(EHVCS)는 다양한 타입의 위치에 위치한다. 재생에너지원(RES)이 연계된 수소 및 전기차 충전소(EHVCS)는, 상술한 바와 같이, 재생에너지원(RES)과 같은 모선에 연계되어 있다. 테스트 계통은 IEEE-33 모선 계통을 이용하였으며, 해당 계통을 위치에 따라 상업, 산업, 및 주거 지역으로 나눌 수 있다. 상업 및 산업용 지역의 충전소(EHVCS)는 각각 22, 13번 모선에 풍력 발전기와 연계되어 있으며, 주거용 지역의 충전소(EHVCS)는 25번 모선에 태양광 발전기와 함께 연계되어 있다.

[36] **EHVCS를 위한 운영 전략(Operation Strategies for EHVCS)**

[37] 본 발명에서는, 재생에너지원은 전기차(EV)의 충전 수요를 충족시키기 위해서, 그리고 수소 탱크를 충전하기 위한 수소를 생산하기 위해서만 이용되는 것으로 가정한다. 다시 말하면, 재생에너지원(RES)의 잉여 전력은 계통에 판매되지 않는다.

[38] 1) 전기차 충전 전략(Charging Strategy for EV)

[39] a) 전기차 충전 수요 < 재생에너지원의 전력(EV charging demand < power of RES)

[40] 이 경우는, 재생에너지 발전량이 전기차 충전 수요보다 많은 경우이다. 전기차(EV) 충전 수요는 모두 재생에너지원(RES)으로부터 공급된다. 그리고, 재생에너지

지원(RES)의 잉여 전력(즉, 전기차의 충전 수요를 충족시키고 남은 전력)은, 수전해설비를 통하여, 수소 탱크를 충전시키기 위한 수소를 생산하기 위해 이용된다.

[41] b) 전기차 충전 수요 > 재생에너지원의 전력(EV charging demand > power of RES)

[42] 이 경우는, 재생에너지 발전량이 전기차 충전 수요보다 작은 경우이다. 이 경우, 재생에너지원의 출력 전력(재생에너지 발전량)은 모두 전기차 충전 수요를 충족시키기 위해 이용된다. 충전 수요의 부족분은 수소 탱크의 수소를 통해 생산되는 전력 또는 계통으로부터의 구매된 전력으로 충족될 수 있다.

[43] 2) 수소차 충전과 수소 탱크 충전 전략(Charging and Operation Strategy for HVs and the Hydrogen Tank)

[44] 수소차의 충전 수요는 재생에너지원(RES), 수소 탱크, 및 계통으로부터의 전력 구매를 통해 충족될 수 있다.

[45] a) 수소 탱크의 방전가능한 수소 > 수소차의 충전 수요(Dischargeable power of the hydrogen tank > Charging demand of HV)

[46] 이 경우는 수소 탱크의 수소량이 수소차의 충전 수요보다 많은 경우로, 수소 탱크의 SOC(State Of Charge)가 수소차(HV)의 충전 수요보다 크다. 따라서, 전체 수소차(HV)의 충전 수요는 수소 탱크에 의해 공급된다.

[47] b) 수소 탱크의 방전가능한 수소 < 수소차의 충전 수요(Dischargeable hydrogen of the hydrogen tank < Charging demand of HV)

[48] 이 경우, 수소 탱크의 SOC가 수소차(HV)의 충전 수요보다 작다. 따라서, 수소 탱크의 전체 방전가능한 수소는 수소차(HV)에 수소를 공급하기 위해 이용된다. 수소차(HV)의 충전 수요의 부족분은 두 가지 방법으로 충족될 수 있다. 첫째, 재생에너지원(RES)의 잉여 전력이 수소를 생산하기 위해 이용될 수 있다. 수소 및 전기차 충전소(EHVCS)에서, 전력과 수소 간 변환은 수학적 식 2와 수학적 식 3과 같다. 이에 대한 상세한 설명은 Gyawali 등의 논문(Gyawali, Netra, and Yasuharu Ohsawa, "Integrating fuel cell/electrolyzer/ultracapacitor system into a stand-alone microhydro plant." IEEE Transactions on Energy Conversion 25.4 (2010): 1092-1101.) 이 참조될 수 있다.

[49] [수학적 식 2]

$$[50] \quad P_t^{PIH} = \frac{F_t^{PIH}}{\Pi^{PIH} \cdot \eta^{PIH}}$$

[51] [수학적 식 3]

$$[52] \quad P_t^{H2P} = \frac{F_t^{H2P}}{\Pi^{H2P} \cdot \eta^{H2P}}$$

[53] 위 수학적식에서, P_t^{PIH} 와 F_t^{PIH} 는 각각 수전해설비에서 요구되는 입력 전력(즉, 수소를 생산하기 위해 수전해설비로 주입되는 전력)과 수전해설비로부터의 수

소의 출력흐름(즉, 수전해설비를 통해 생산된 수소)을 나타낸다. Π^{PIH} 와 η^{PIH} 는 각각 수소변환 계수(power to hydrogen conversion factor)와 수전해설비의 변환 효율(efficiency of the electrolyzer)을 나타낸다. P_t^{H2P} 는 연료 전지를 통해 생산되는 전력을 의미한다. 또한, F_t^{H2P} 는 연료 전지에서 요구되는 입력인 수소를, Π^{H2P} 는 전력 변환 계수, η^{H2P} 는 연료 전지의 변환 효율을 나타낸다. 생산된 수소는 수소 탱크에 저장된다. 그리고, 재생에너지원의 잉여 전력이 전체 수소차(HV)의 충전 수요를 충족시키지 못한다면, 잔여 수소가 계통에 의해 생산된다.

[54] c) 수소 탱크를 위한 최적 운영 전략(Optimal operation strategy for hydrogen tank)

[55] 상술한 바와 같이, 수소 탱크는 전기차(EV)를 위한 전력과 수소차(HV)를 위한 수소를 공급하기 위해 활용될 수 있다. 또한, 수소 탱크는 재생에너지원의 잉여 전력 또는 계통의 전력(계통으로부터 구매한 전력)을 통해 수소를 생산함으로써 충전될 수 있다. 따라서, 수소 및 전기차 충전소(EHVCS)는 전기차(EV) 및 수소차(HV)의 충전 수요에 유연하게 대처할 수 있다. 또한, 수소 탱크는 수전해설비를 통해 생산한 전력을 계통에 판매함으로써 수소발전 공급인증서(hydrogen renewable energy certificate)를 발급받을 수 있고, 이를 HPS 시장에서 판매함으로써 추가적인 수익을 창출할 수 있다. 발전 설비(generation utility, 발전소 등을 의미할 수 있음)는 수소발전(hydrogen generation)을 증명하는 인증서(수소발전 공급인증서)를 구매할 수 있다.

[56] 문제의 공식화(Problem Formulation)

[57] 1) 목적 함수(Objective function)

[58] 본 발명은 운영 비용을 최소화하고 각 수소 및 전기차 충전소(EHVCS) 운영자의 수익을 최대화하는 것을 목적으로 한다. 따라서, 제안하는 최적화 문제의 목적 함수는 수학식 4와 같다.

[59] [수학식 4]

$$[60] \min_u \sum_t^T (Cost_{grid,t} - R_{EV,t} - R_{HV,t} - R_{HPS,t})$$

[61] 수학식 4에서, $R_{EV,t}$, $R_{HV,t}$, $R_{HPS,t}$, 및 $Cost_{grid,t}$ 는 각각, 전기차의 충전 요금에 의한 수익(충전 요금을 의미할 수 있음), 수소차의 충전 요금에 의한 수익(충전 요금을 의미할 수 있음), HPS 판매(즉, 수소발전 공급인증서 판매)에 의한 수익, 및 계통으로부터의 전력 구매 비용을 나타낸다. 수학식 4의 목적 함수를 통해 수소 및 전기차 충전소 운영자의 수익을 극대화하고자 한다.

[62] u 는 결정 변수 집합(decision variable set)이다. u 는 전력 흐름에 관한 결정 변수로써, 1) 시간 t 에 모선 i 와 모선 j 의 전압값인 $v_{j,t}$ 와 $v_{i,t}$ ($V_{j,t}$ 와 $V_{i,t}$ 의 보조 변수), 2) 시간 t 에 모선 j 에 주입되는 유효 전력과 무효 전력인 $P_{j,t}$ 와 $Q_{j,t}$, 3) 시간 t 에 선로 l_{ij} (즉, $l_{ij,t}$)에 흐르는 유효 전력과 무효 전력인 $P_{ij,t}$ 와 $Q_{ij,t}$, 및 4) 시간 t 에 선로 l_{ij} (즉, $l_{ij,t}$)

에 흐르는 전류 $i_{ij,t}$ ($I_{ij,t}$ 의 보조 변수)를 포함한다. 또한, u 는 수소-전력 관련 결정 변수로써, 1) 시간 t 에서 수소 탱크의 SOC인 SOC_t^{Ht} , 2) 시간 t 에 연료 전지를 통해 소모된 전력량(즉, 수소 생산을 위해 이용된 전력량)인 P_t^{PtH} , 3) 시간 t 에 수전해 설비를 통해 생산된 전력량(즉, 수소를 이용하여 생산된 전력량)인 P_t^{H2P} , 3) 시간 t 에 P_t^{PtH} 를 통해 생산된 수소량, 및 4) 시간 t 에 P_t^{H2P} 를 생산하기 위한 수소량을 포함할 수 있다. 각 결정 변수에 대하여는, 제약 조건에 대한 설명에서 상세하게 다루기로 한다.

- [63] 수학식 4의 목적 함수의 각 변수는 수학식 5 내지 수학식 8과 같이 표현될 수 있다.
- [64] [수학식 5]
- [65] $Cost_{grid,t} = P_{grid,t} \cdot C_{grid,t}$
- [66] [수학식 6]
- [67] $R_{EV,t} = P_{EV,t} \cdot C_{grid,t}$
- [68] [수학식 7]
- [69] $R_{HV,t} = F_{HV,t} \cdot C_{H_2}$
- [70] [수학식 8]
- [71] $R_{HPS,t} = P_t^{H2P} \cdot C_{HPS}$
- [72] 위 수학식에서, $C_{grid,t}$ 는 전력 가격(electric price)으로, 전기차(EV) 충전 요금과 동일하게 설정될 수 있다. C_{H_2} 와 C_{HPS} 는 각각 수소차(HV) 충전 요금과 HPS 가격(수소발전 공급인증서 가격)을 나타낸다. $F_{HV,t}$ 와 $P_{EV,t}$ 는 각각 수소차(HV)와 전기차(EV)의 충전 수요를 나타낸다. $P_{grid,t}$ 와 P_t^{H2P} 는 각각 계통으로부터 구매한 전력과 수소 및 전기차 충전소(EHVCS) 내의 수전해설비를 통해 발전된 전력을 의미한다. 만약, $P_{grid,t}$ 가 음수이면, 수소 및 전기차 충전소(EHVCS)는 계통에 전력을 공급함을 의미한다. 즉, 이 경우, $Cost_{grid,t}$ 는 비용이 아닌 수익이 된다.
- [73] 2) 제약 조건(Constraints)
- [74] 제약 조건은 계통 제약 조건인 전력계통에서의 조류계산과 충전소 운영 제약 조건으로 분류할 수 있다. 계통 제약 조건은 전력계통에서의 조류계산, 선로의 열적허용전류, 전압의 적정 운전 범위 등을 의미한다.
- [75] a) 최적조류계산(OPF(Optimal Power Flow) constraints based on branch flow model)
- [76] 안정적인 배전 계통 운영을 위해, 전력 흐름에 대한 제약 조건이 고려되어야 한다. 본 발명에서는, branch flow model이 최적화 문제에 power flow constraints로

써 적용된다. 우선, 수학식 9는 유효 전력과 무효 전력 흐름에 관한 전압 강하 식(voltage drop equation)을 나타낸다.

[77] [수학식 9]

$$[78] \quad |V_{j,t}|^2 = |V_{i,t}|^2 - 2(R_{ij}P_{ij,t} + X_{ij}Q_{ij,t}) + (R_{ij}^2 + X_{ij}^2)|I_{ij,t}|^2$$

[79] 수학식 9에서, $P_{ij,t}$, $Q_{ij,t}$, 및 $I_{ij,t}$ 각각은 (시간 t 에서) 선로 ij 에서의 유효 전력, 무효 전력, 및 선로 전류를 나타낸다. $V_{i,t}$ 와 $V_{j,t}$ 는 각각 타임 슬롯 t 에서(즉, 시간 t 에서) i -번째 버스(i -번째 모선)와 j -번째 버스(j -번째 모선)에서의 전압을 나타낸다. R_{ij} 및 X_{ij} 는 각각 선로 ij 에서의 저항(resistance)과 리액턴스(reactance)를 나타낸다. 이 문제를 볼록 최적화(convex optimization)하기 위하여, 보조 변수들(auxiliary variables)이 문제에 추가될 수 있다. $v_{j,t} := |V_{j,t}|^2$, $v_{i,t} := |V_{i,t}|^2$, 그리고 $l_{ij,t} := |I_{ij,t}|^2$ 라 하자. 그러면, 이 제약 조건은 수학식 10과 같이 표현될 수 있다.

[80] [수학식 10]

$$[81] \quad v_{j,t} = v_{i,t} - 2(R_{ij}P_{ij,t} + X_{ij}Q_{ij,t}) + (R_{ij}^2 + X_{ij}^2)l_{ij,t}$$

[82] 수학식 10에서, $v_{j,t}$ 와 $v_{i,t}$ 는 각각 j 번째와 i 번째 모선의 전압이며, R_{ij} 와 X_{ij} 는 각각 i 번째 모선과 j 번째 모선 사이의 저항과 리액턴스를 나타낸다.

[83] 그러면, 보조 변수들과 전력(즉, 유효 전력이 무효 전력) 간의 관계를 나타내는 제약 조건은 수학식 11과 같다.

[84] [수학식 11]

$$[85] \quad l_{ij,t} = \frac{P_{ij,t}^2 + Q_{ij,t}^2}{v_{i,t}}$$

[86] 추가적으로, 유효 전력과 무효 전력에 관한 수학식은 수학식 12와 수학식 13과 같이 다시 쓸 수 있다.

[87] [수학식 12]

$$[88] \quad \sum_{k \in f_u(j)} P_{jk,t} - \sum_{i \in f_d(j)} (P_{ij,t} - R_{ij,t} l_{ij,t}) = P_{j,t}$$

[89] [수학식 13]

$$[90] \quad \sum_{k \in f_u(j)} Q_{jk,t} - \sum_{i \in f_d(j)} (Q_{ij,t} - R_{ij,t} l_{ij,t}) = Q_{j,t}$$

[91] 위 수학식에서, $f_u(j)$ 는 모선 j 를 기준으로 바로 윗단(upstream)에 있는 선로조류 정보를, $f_d(j)$ 는 모선 j 를 기준으로 바로 아랫단(downstream)에 있는 선로조류 정보를 나타낸다(도 7 참조). 또한, $P_{j,t}$ 와 $Q_{j,t}$ 는 타임 슬롯 t 에서, 인덱싱(indexing) G_j 와 D_j 를 갖는 수요와 생성의 합이며, $P_{j,t} = P_{Gj,t} - P_{Dj,t}$ 와 $Q_{j,t} = Q_{Gj,t} - Q_{Dj,t}$ 로 표현될 수 있다. $P_{j,t}$ 가 수소 및 전기차 충전소(EHVCS)와 관련되어 있다면, 이는 또한 $P_{grid,t}$ 와 동일하다. 전압 제한(voltage limit, 전압허용범위) 및 선로 전류 제한(line current limit, 선로에 흐를 수 있는 최대 전류량인 열적허용전류를 의미할 수 있음)와 같은 계통 운영 제약 조건 또한, 불안정한 운영 및 열동형 과부하(thermal overload)를 예방하

기 위하여, 고려되어야 하며, 이는 수학적 식 14와 수학적 식 15와 같이 표현된다. 이때, 전압허용범위는 각 모선 전압의 최대·최소 전류량을 의미한다.

[92] [수학적 식 14]

$$[93] \quad |V_{j,t}|^2 \leq v_{j,t} \leq |\overline{V}_{j,t}|^2$$

[94] [수학적 식 15]

$$[95] \quad l_{ij,t} \leq |\overline{I}_{ij,t}|^2$$

[96] 그러나, 조류계산 수식은 일반적으로 비선형이며, 이는 볼록 최적화(convex optimization) 문제로 정식화 할 수 없기 때문에, SOCP(Second-Order Conic Programming) 문제로 완화(relaxation)하여 적용할 수 있다. SOCP 문제는 목적 함수가 선형이고, 제약 조건은 SOCP 및 선형 제약 조건을 가지는 최적화 문제이다. 이는 볼록 최적화 문제로서 최적해가 보장되는 문제이다. 따라서, 수학적 식 11은 수학적 식 16과 같이 표현될 수 있다. 즉, 유·무효 전력과 전압, 전류간 관계식은 수학적 식 16의 SOCP 제약 조건을 통해 나타낼 수 있다.

[97] [수학적 식 16]

$$[98] \quad \left\| \begin{array}{c} 2P_{ij,t} \\ 2Q_{ij,t} \\ l_{ij,t} - v_{i,t} \end{array} \right\| \leq l_{ij,t} + v_{i,t}$$

[99] SOCP 완화(relaxation)와 이의 정확성(exactness)은 Farivar 등의 논문(Farivar, M.; Low, S.H. Branch flow model: Relaxations and convexification-Part I. IEEE Trans. Power Syst. 2013, 28, 2554-2564.)에 상세히 기재되어 있다.

[100] b) 수소 및 전기차 충전소 운영 제약 조건(EHVCS operation constraints)

[101] 버스에 접속되어 있는 EHVCS에서, P_{Gj} , P_{Dj} , 및 Q_{Gj} , Q_{Dj} 는 수학적 식 17과 수학적 식 18과 같이 나타낼 수 있다. 즉, 각 모선의 발전량은 각 모선의 재생에너지원과 수소를 통해 발전한 전력으로, 수요량은 전기차 충전 부하 및 수소 생산을 위한 전력 소모량, 일반 부하량의 합으로 계산된다.

[102] [수학적 식 17]

$$[103] \quad P_{Gj,t} = P_{RES,t} + P_t^{HP}$$

[104] [수학적 식 18]

$$[105] \quad P_{Dj,t} = P_{EV,t} + P_t^{PtH} + P_{load,t}$$

[106] $P_{Gj,t}$ 와 $P_{Dj,t}$ 는 각 모선의 발전량과 수요량을 의미하며, $P_{load,t}$ 는 일반 부하량을 의미한다.

[107] 다음은 충전소 운영 제약 조건이다. 운영 제약 조건은 주로 충전소 내의 수소 탱크에 대한 제약 조건이다. WT의 역률(power factor)은 0.95로 고정되고, PVs, EVs, 및 연료 전지들의 역률은 0.99로 고정될 수 있다. 방전이나 충전이 가능한 수소의 양은 수소 탱크의 SOC의 전류 레벨에 의해 결정된다. 각 EHVCS 내에서

수소 탱크의 전류 레벨은 수학적 식 19와 같다. 즉, 수소 탱크의 SOC를 반영하기 위한 제약 조건은 수학적 식 19와 같다.

[108] [수학적 식 19]

$$[109] \quad SOC_t^{HT} = SOC_{t-1}^{HT} + \left(\frac{F_t^{PtH}}{HT_{cap}} - \frac{F_t^{HtP}}{HT_{cap}} - \frac{F_{HV,t}}{HT_{cap}} \right) \times 100$$

[110] 수학적 식 19에서, SOC_t^{HT} 와 SOC_{t-1}^{HT} 는 각각 현재와 이전 시간의 SOC를 의미한다.

현재 시간의 SOC는 이전 시간의 SOC에서 충전량 또는 방전량을 더하거나 뺀 값이다. 또한, HT_{cap} 는 수소 탱크의 용량을, $F_{HV,t}$ 는 타임 슬롯 t에서 수소차(HV)의 충전 수요(즉, 수소차 충전을 위해 빠져나간 수소량)를 나타낸다. 그러면, 수학적 식 20과 같이 충전 또는 방전 후의 SOC는 상한(upper limit)과 하한(lower limit) 사이의 범위에 존재한다. 즉, 수소 탱크의 SOC가 최소값과 최대값 사이에 존재하여야 한다.

[111] [수학적 식 20]

$$[112] \quad SOC_{min} \leq SOC_t^{HT} \leq SOC_{max}$$

[113] F_t^{PtH} 와 F_t^{HtP} 는 다음과 같이 물리적인 용량(physical capacity)에 의해 제한된다.

즉, SOC 제약 조건 이외에도 수소 탱크에서 시간당 충·방전할 수 있는 수소량도 정해져 있다. 따라서, 이를 수학적 식으로 표현하면 수학적 식 21과 수학적 식 22와 같다.

[114] [수학적 식 21]

$$[115] \quad F_{min}^{PtH} \leq F_t^{PtH} \leq F_{max}^{PtH}$$

[116] [수학적 식 22]

$$[117] \quad F_{min}^{HtP} \leq F_t^{HtP} \leq F_{max}^{HtP}$$

[118] 수학적 식 20과 수학적 식 21은 각각 수전해설비와 연료 전지에 의한 상한과 하한을 제공한다. 마지막으로, 제안하는 최적화 문제는 수학적 식 23과 같이 요약될 수 있다.

[119] [수학적 식 23]

$$[120] \quad \min_u (4),$$

s.t. (2,3), (5-8), (10), (12-22)

[121] 즉, 목적 함수는 수학적 식 4와 같고, 제약 조건은 수학적 식 2-3, 5-8, 10, 및 12-22이다.

[122] 제안하는 최적화 문제의 효과를 입증하기 위해, 수정된 IEEE 33-버스 시스템에 대한 실험을 수행하였다. 모델링 파라미터는 N. A. El-Taweel 등의 논문(N. A. El-Taweel, H. Khani and H. E. Z. Farag, "Hydrogen Storage Optimal Scheduling for Fuel Supply and Capacity-Based Demand Response Program Under Dynamic Hydrogen Pricing," in IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 10, no. 4, pp. 4531-4542, July 2019.)을 참조하였으며, 표 1과 같다.

[123] [표 1]

[124]

Parameter	Value	Parameter	Minimax GA
$F_{min}^{PtH}, F_{min}^{HtP}$	0 (m^3/h)	$F_{max}^{PtH}, F_{max}^{HtP}$	345.6 (m^3/h)
SOC_{min}	10 (%)	SOC_{max}	100 (%)
Π^{HtP}, Π^{HtP}	360 (m^3/MWh)	η^{HtP}, η^{HtP}	80 (%)
$V_{j,t}$	0.95	$\bar{V}_{j,t}$	1.05
$\bar{I}_{ij,t}$	252 (A)	C_{HPS}	90 (W/kWh)

[125] 도 3은 EHVCS의 유형에 따른 도착 수요를 나타낸다. 도착 수요의 70%는 전기차가 점유하고, 30%는 수소차가 점유하는 것을 가정할 수 있다.

[126] 도 4는 EHVCS의 각 유형의 SOC를 나타낸다. 높은 전력 가격을 유지하는 시간 동안에, 전력을 계통에 판매하는 것이 낫다는 것을 관찰할 수 있다. 반대로, 낮은 전력 가격을 유지하는 시간 동안에, 수소 탱크는 충전될 수 있다. 또한, 도 5에 도시된 바와 같이, 재생에너지원이 연계된 EHVCS의 전압 프로파일은 허용된 범위 내이다. 이는 제안하는 기법을 통해 EHVCS를 안정적으로 운영할 수 있음을 의미한다. 도 6과 표 2는 HPS 케이스의 유무에 따른 비교 결과를 나타낸다. 도 6에 도시된 바와 같이, HPS 케이스가 존재하는 경우, EHVCS 운영자의 수익이 더 높다. 이는 HPS 판매가 운영자의 수익성을 증대시켜줌을 의미한다. 주거 지역, 상업 지역, 및 산업 지역의 EHVCS의 수익성은 각각 52.5%, 51%, 및 50% 개선되었다.

[127] [표 2]

[128]

Type	With HPS ($\times 10^6$)	Without HPS ($\times 10^6$)
Residential	5.7411	3.7630
Commercial	5.8204	3.8523
Industrial	5.8919	3.9256

[129] 상술한 EHVCS 운영 방법은 EHVCS 스케줄링 방법, EHVCS 운영 방안 도출 방법 등으로 명명될 수 있으며, 적어도 프로세서(processor) 및/또는 메모리(memory)를 포함하는 컴퓨팅 장치에 의해 수행될 수 있다. 즉, 상술한 각 동작들 중 적어도 일부는 컴퓨팅 장치에 포함되는 프로세서의 동작으로 이해될 수 있다.

[130] 이상에서 설명된 장치는 하드웨어 구성 요소, 소프트웨어 구성 요소, 및/또는 하드웨어 구성 요소 및 소프트웨어 구성 요소의 집합으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 실시예들에서 설명된 장치 및 구성 요소는, 예를 들어, 프로세서, 컨트롤러, ALU(Arithmetic Logic Unit), 디지털 신호 프로세서(Digital Signal Processor), 마이크로컴퓨터, FPA(Field Programmable array), PLU(Programmable Logic Unit), 마이크로프로세서, 또는 명령(instruction)을 실행하고 응답할 수 있는 다른 어떠한 장치와 같이, 하나 이상의 범용 컴퓨터 또는 특수 목적 컴퓨터를 이용하여 구현될 수 있다. 처리 장치는 운영 체제(Operation System, OS) 및 상기 운영 체제 상에서 수행되는 하나 이상의 소프트웨어 애플리케이션을 수행할 수 있다. 또한, 처리 장치는 소프트웨어의 실행에 응답하여, 데이터를 접근, 저장, 조작, 처리 및 생성할 수도 있다. 이해의 편의를 위하여, 처리 장치는 하나가 사용되는 것으로 설명된 경우도 있지만, 해당 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는, 처리 장치가

복수 개의 처리 요소(Processing Element) 및/또는 복수 유형의 처리 요소를 포함할 수 있음을 알 수 있다. 예를 들어, 처리 장치는 복수 개의 프로세서 또는 하나의 프로세서 및 하나의 컨트롤러를 포함할 수 있다. 또한, 병렬 프로세서(Parallel Processor)와 같은, 다른 처리 구성(Processing Configuration)도 가능하다.

[131] 소프트웨어는 컴퓨터 프로그램(Computer Program), 코드(Code), 명령(Instruction), 또는 이들 중 하나 이상의 조합을 포함할 수 있으며, 원하는 대로 동작하도록 처리 장치를 구성하거나 독립적으로 또는 결합적으로(Collectively) 처리 장치를 명령할 수 있다. 소프트웨어 및/또는 데이터는, 처리 장치에 의하여 해석되거나 처리 장치에 명령 또는 데이터를 제공하기 위하여, 어떤 유형의 기계, 구성 요소(Component), 물리적 장치, 가상 장치(Virtual Equipment), 컴퓨터 저장 매체 또는 장치, 또는 전송되는 신호 파(Signal Wave)에 영구적으로, 또는 일시적으로 구체화(Embodiment)될 수 있다. 소프트웨어는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템 상에 분산되어서, 분산된 방법으로 저장되거나 실행될 수도 있다. 소프트웨어 및 데이터는 하나 이상의 컴퓨터 판독 가능 기록 매체에 저장될 수 있다.

[132] 실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예를 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(Magnetic Media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(Optical Media), 플롭티컬 디스크(Floptical Disk)와 같은 자기-광 매체(Magneto-optical Media), 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다. 상기된 하드웨어 장치는 실시예의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.

[133] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성 요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성 요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 등록청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

청구범위

- [청구항 1] 프로세서(processor)를 포함하는 컴퓨팅 장치에 의해 수행되는 수소 및 전기차 충전소의 스케줄링 방법에 있어서,
 상기 수소 및 전기차 충전소의 충전 수요를 모델링하는 단계; 및
 모델링된 충전 수요를 기초로 SOCP(Second-Order Conic Programming) 수리 최적화를 통해 상기 수소 및 전기차 충전소를 스케줄링하는 단계를 포함하고,
 상기 스케줄링하는 단계는,
 수학적식으로 정의되는 목적 함수를 설정하는 단계; 및
 적어도 하나의 제약 조건을 설정하는 단계를 포함하고,
 상기 수학적식은
$$\min_u \sum_t^T (Cost_{grid,t} - R_{EV,t} - R_{HV,t} - R_{HPS,t})$$
 이고,
 상기 $R_{EV,t}$ 는 전기차의 충전 요금에 의한 수익을, 상기 $R_{HV,t}$ 는 수소차의 충전 요금에 의한 수익을, 상기 $R_{HPS,t}$ 는 HPS(수소발전 공급인증서) 판매에 의한 수익을, 상기 $Cost_{grid,t}$ 는 계통으로부터의 전력 구매 비용을, 그리고 상기 u 는 결정 변수를 나타내는,
 수소 및 전기차 충전소의 스케줄링 방법.
- [청구항 2] 제1항에 있어서,
 상기 u 는 전력 흐름에 관한 결정 변수로써, 시간 t 에 모선 i 와 모선 j 의 전압 값($v_{j,t}$ 와 $v_{i,t}$), 시간 t 에 모선 j 에 주입되는 유효 전력과 무효 전력($P_{j,t}$ 와 $Q_{j,t}$), 시간 t 에 선로 l_{ij} 에 흐르는 유효 전력과 무효 전력($P_{ij,t}$ 와 $Q_{ij,t}$), 및 시간 t 에 선로 l_{ij} 에 흐르는 전류($i_{ij,t}$)를 포함하는,
 수소 및 전기차 충전소의 스케줄링 방법.
- [청구항 3] 제2항에 있어서,
 상기 u 는 수소-전력 관련 결정 변수로써, 시간 t 에서 수소 탱크의 SOC(State Of Charge, SOC_t^{H2}), 시간 t 에 연료 전지를 통해 소모된 전력량(P_t^{PIB}), 시간 t 에 수전해설비를 통해 생산된 전력량(P_t^{H2P}), 시간 t 에 상기 P_t^{PIB} 를 통해 생산된 수소량, 및 시간 t 에 상기 P_t^{H2P} 를 생산하기 위한 수소량을 포함하는,
 수소 및 전기차 충전소의 스케줄링 방법.
- [청구항 4] 제3항에 있어서,
 상기 제약 조건은 수학적식 1로 정의되는 제1 제약 조건과 수학적식 2로 정의되는 제2 제약 조건을 포함하고,

상기 수학식 1은
$$P_t^{PtH} = \frac{F_t^{PtH}}{\Pi^{PtH} \cdot \eta^{PtH}} \text{ 이고,}$$

상기 수학식 2는
$$P_t^{HtP} = \frac{F_t^{HtP}}{\Pi^{HtP} \cdot \eta^{HtP}} \text{ 이고,}$$

상기 Π^{PtH} 는 수소변환 계수(power to hydrogen conversion factor)를, 상기 η^{PtH} 는 수전해설비의 변환 효율(efficiency of the electrolyzer)을, 상기 Π^{HtP} 는 전력 변환 계수를, 그리고 상기 η^{HtP} 는 연료 전지의 변환 효율을 나타내는,
수소 및 전기차 충전소의 스케줄링 방법.

[청구항 5]

제4항에 있어서,

상기 제약 조건은 수학식 3 내지 수학식 6으로 정의되는 제3 제약 조건 내지 제6 제약 조건을 포함하고,

상기 수학식 3은 $Cost_{grid,t} = P_{grid,t} \cdot C_{grid,t}$ 이고,

상기 수학식 4는 $R_{EV,t} = P_{EV,t} \cdot C_{grid,t}$ 이고,

상기 수학식 5는 $R_{HV,t} = F_{HV,t} \cdot C_{H_2}$ 이고,

상기 수학식 6은 $R_{HPS,t} = P_t^{HtP} \cdot C_{HPS}$ 이고,

상기 $C_{grid,t}$ 는 전력 가격(electric price)을, 상기 C_{H_2} 는 수소차(HV) 충전 요금을, 상기 C_{HPS} 는 HPS(수소발전 공급인증서) 가격을, 상기 $F_{HV,t}$ 는 수소차(HV)의 충전 수요를, 상기 $P_{EV,t}$ 는 전기차(EV)의 충전 수요를, 상기 $P_{grid,t}$ 는 계통으로부터 구매한 전력을, 그리고 상기 P_t^{HtP} 는 상기 수소 및 전기차 충전소 내의 수전해설비를 통해 발전된 전력을 나타내는,
수소 및 전기차 충전소의 스케줄링 방법.

[청구항 6]

제5항에 있어서,

상기 제약 조건은 수학식 7로 정의되는 제7 제약 조건을 포함하고,

상기 수학식 7은 $v_{j,t} = v_{i,t} - 2(R_{ij} P_{ij,t} + X_{ij} Q_{ij,t}) + (R_{ij}^2 X_{ij}^2) I_{ij,t}$ 이고,

상기 R_{ij} 는 i번째 모선과 j번째 모선 사이의 저항을, 그리고 상기 X_{ij} 는 i번째 모선과 j번째 모선 사이의 리액턴스를 나타내는,

수소 및 전기차 충전소의 스케줄링 방법.

[청구항 7]

제6항에 있어서,

상기 제약 조건은 각각 수학식 8과 수학식 9로 정의되는 제8 제약 조건과 제9 제약 조건을 포함하고,

상기 수학식 8은
$$\sum_{k \in f_j(j)} P_{jk,t} - \sum_{i \in b_i(j)} (P_{ij,t} - R_{ij,t} I_{ij,t}) = P_{j,t} \text{ 이고,}$$

상기 수학적식 9는 $\sum_{k \in f_u(j)} Q_{jk,t} - \sum_{i \in f_d(j)} (Q_{ij,t} - R_{ij,t} l_{ij,t}) = Q_{j,t}$ 이고,

상기 $f_u(j)$ 는 모선 j 의 윗단(upstream)에 있는 선로조류 정보를, 그리고 상기 $f_d(j)$ 는 모선 j 의 아랫단(downstream)에 있는 선로조류 정보를 나타내는, 수소 및 전기차 충전소의 스케줄링 방법.

[청구항 8]

제7항에 있어서,

상기 제약 조건은 각각 수학적식 10과 수학적식 11로 정의되는 제10 제약 조건과 제11 제약 조건을 포함하고,

상기 수학적식 10은 $|V_{j,t}|^2 \leq v_{j,t} \leq |\overline{V}_{j,t}|^2$ 이고,

상기 수학적식 11은 $l_{ij,t} \leq |\overline{l}_{ij,t}|^2$ 인,

수소 및 전기차 충전소의 스케줄링 방법.

[청구항 9]

제8항에 있어서,

상기 제약 조건은 수학적식 12로 정의되는 제12 제약 조건을 포함하고,

상기 수학적식 12는 $\left\| \begin{array}{c} 2P_{ij,t} \\ 2Q_{ij,t} \\ l_{ij,t} - v_{i,t} \end{array} \right\| \leq l_{ij,t} + v_{i,t}$ 인,

수소 및 전기차 충전소의 스케줄링 방법.

[청구항 10]

제9항에 있어서,

상기 제약 조건은 각각 수학적식 13과 수학적식 14로 정의되는 제13 제약 조건과 제14 제약 조건을 포함하고,

상기 수학적식 13은 $P_{Gj,t} = P_{RES,t} + P_t^{HP}$ 이고,

상기 수학적식 14는 $P_{Dj,t} = P_{EV,t} + P_t^{PtH} + P_{load,t}$ 이고,

상기 $P_{Gj,t}$ 는 각 모선의 발전량을, 그리고 상기 $P_{Dj,t}$ 는 각 모선의 수요량을 나타내는,

수소 및 전기차 충전소의 스케줄링 방법.

[청구항 11]

제10항에 있어서,

상기 제약 조건은 수학적식 15로 정의되는 제15 제약 조건을 포함하고,

상기 수학적식 15는

$$SOC_t^{HT} = SOC_{t-1}^{HT} + \left(\frac{F_t^{PtH}}{HT_{cap}} - \frac{F_t^{HtP}}{HT_{cap}} - \frac{F_{HV,t}}{HT_{cap}} \right) \times 100 \text{ 인,}$$

수소 및 전기차 충전소의 스케줄링 방법.

[청구항 12]

제11항에 있어서,

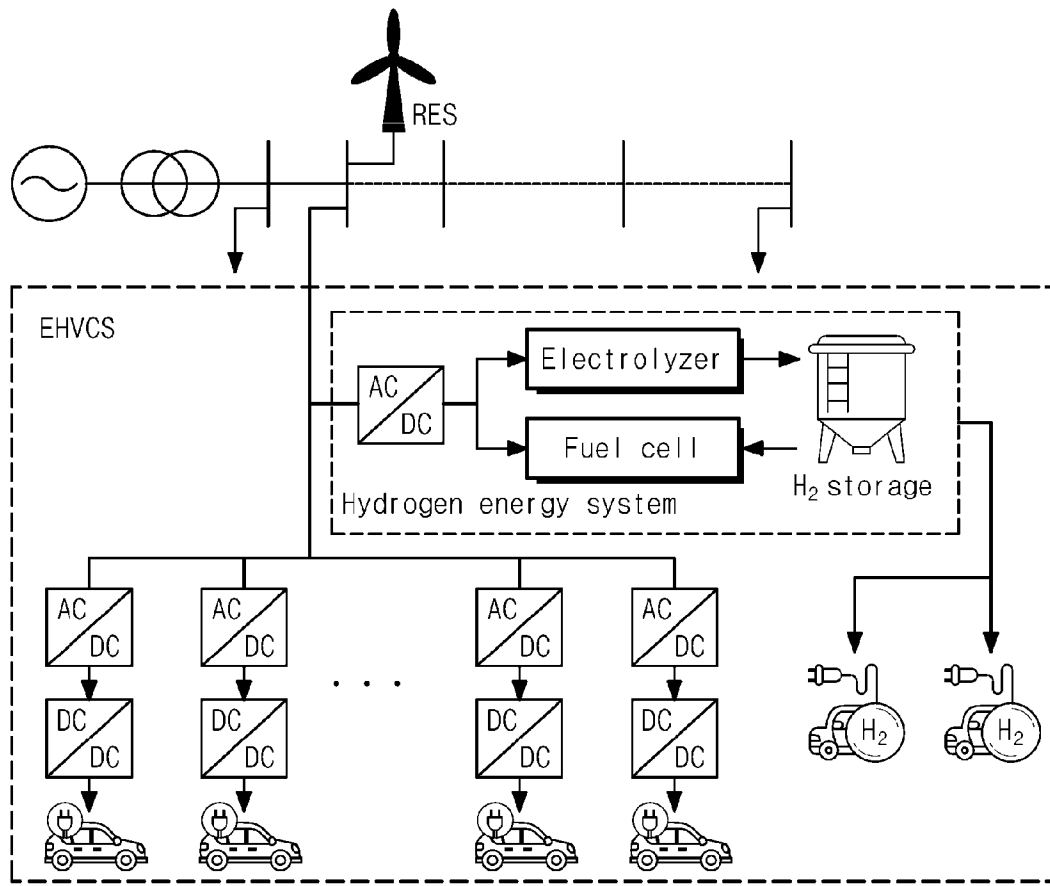
상기 제약 조건은 수학적식 16으로 정의되는 제16 제약 조건을 포함하고,

상기 수학적식 16은 $SOC_{\min} \leq SOC_t^{HT} \leq SOC_{\max}$ 인,

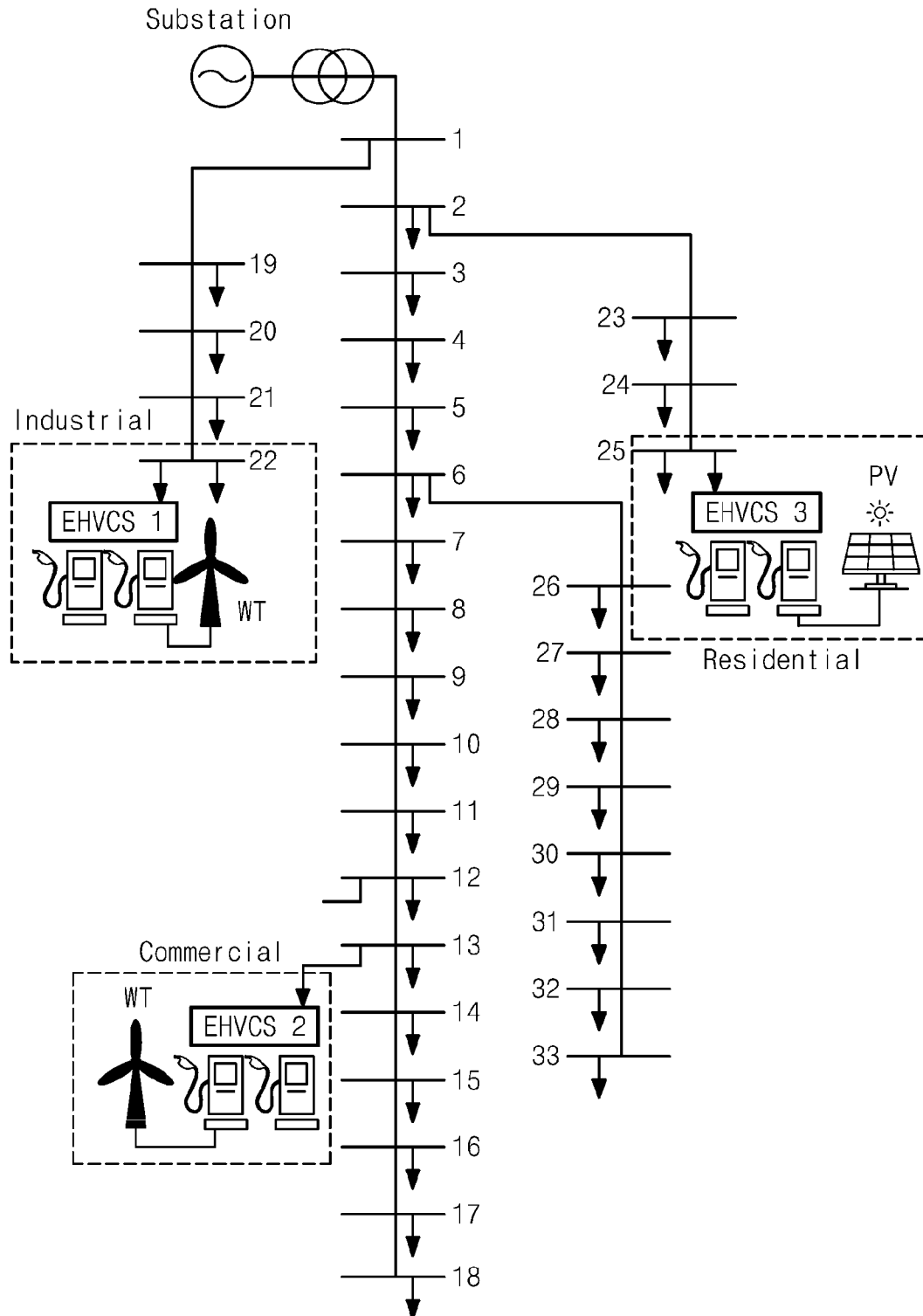
수소 및 전기차 충전소의 스케줄링 방법.

- [청구항 13] 제12항에 있어서,
 상기 제약 조건은 각각 수학식 17과 수학식 18에 의해 정의되는 제17 제약
 조건과 제18 제약 조건을 포함하고,
 상기 수학식 17은 $F_{\min}^{PH} \leq F_t^{PH} \leq F_{\max}^{PH}$ 이고,
 상기 수학식 18은 $F_{\min}^{HP} \leq F_t^{HP} \leq F_{\max}^{HP}$ 인,
 수소 및 전기차 충전소의 스케줄링 방법.

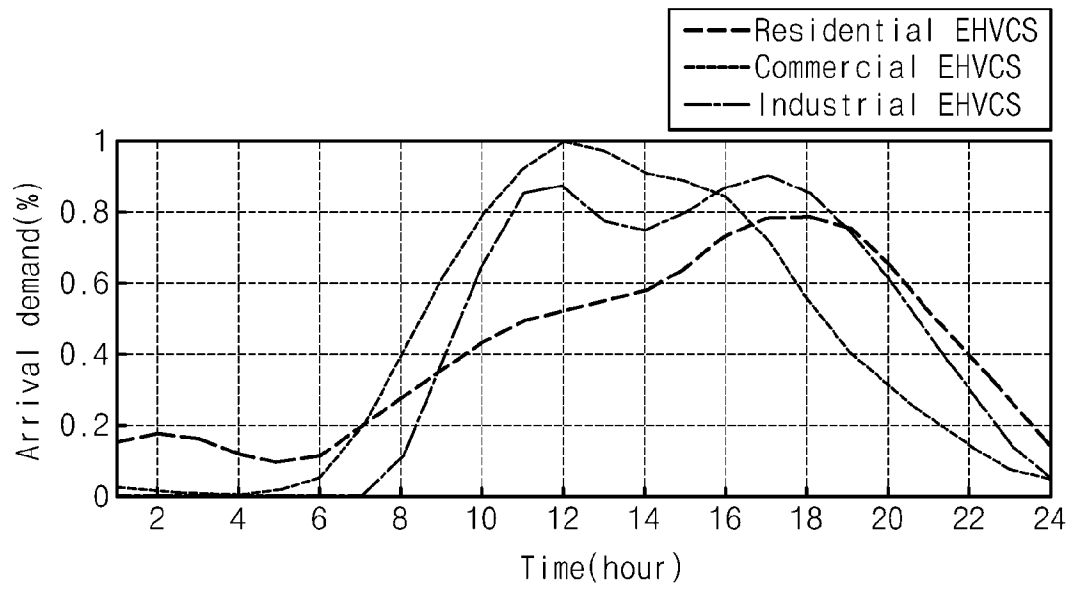
[도 1]



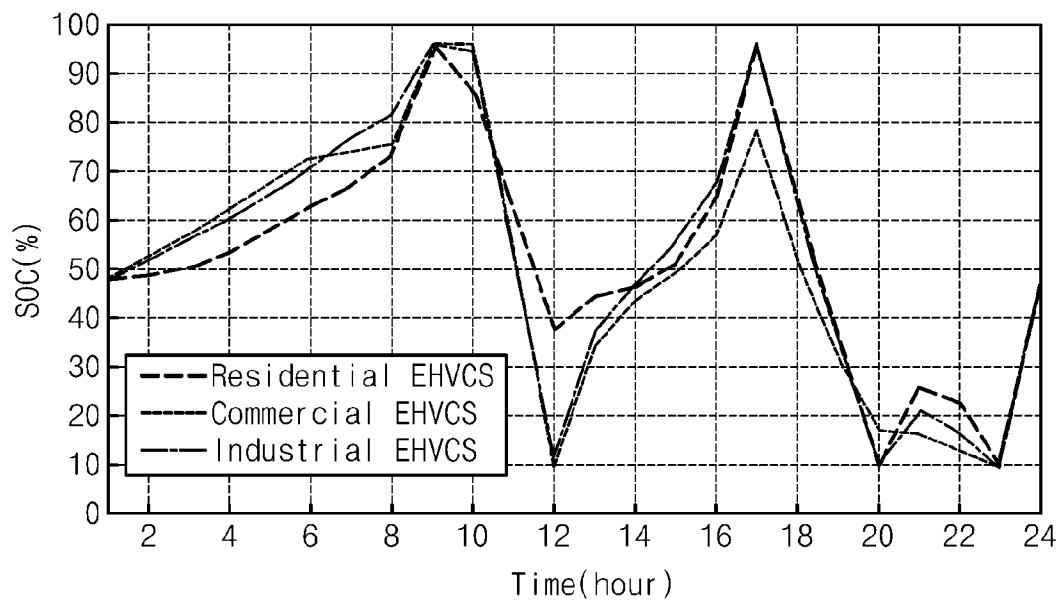
[도2]



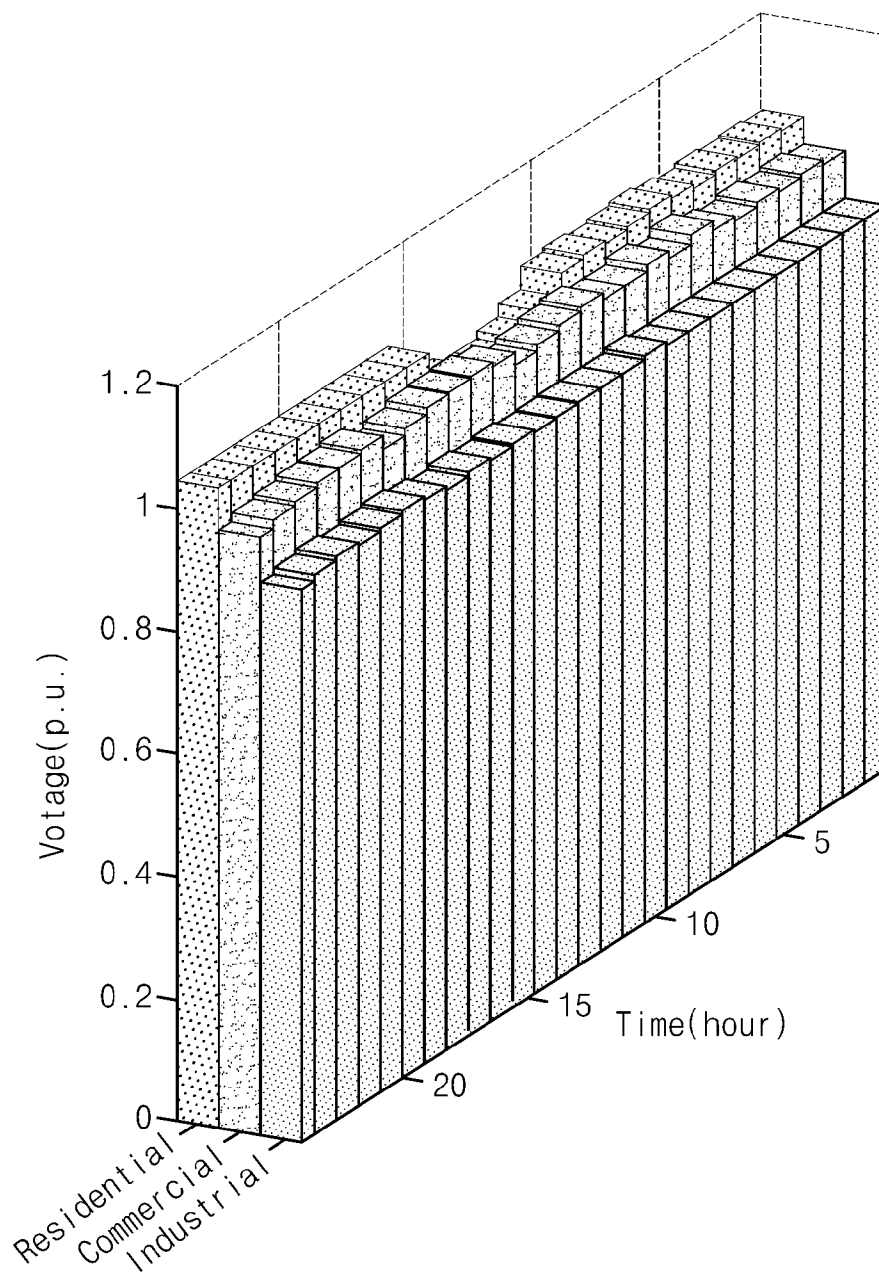
[도3]



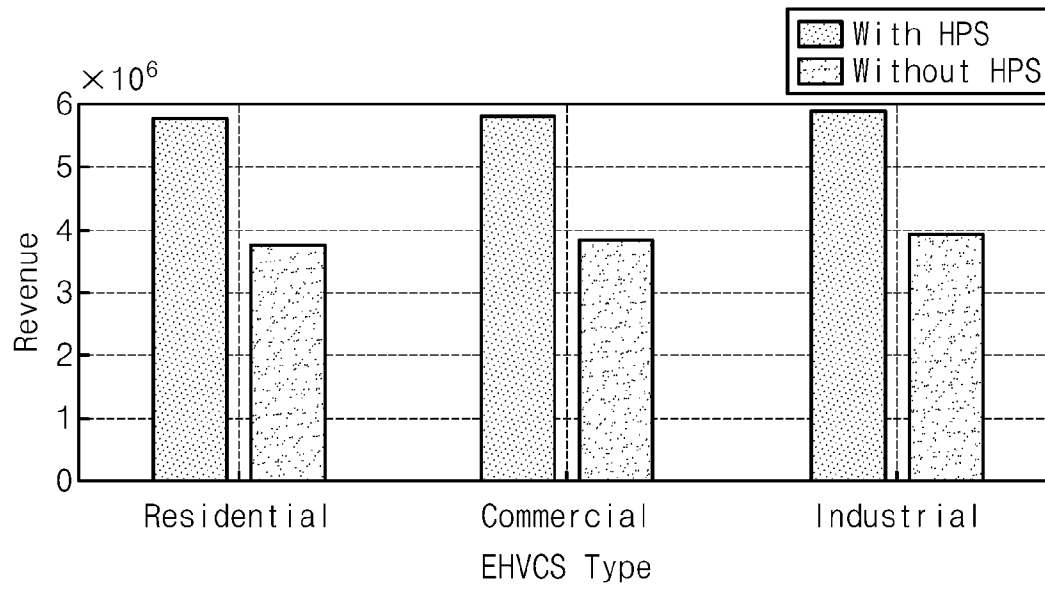
[도4]



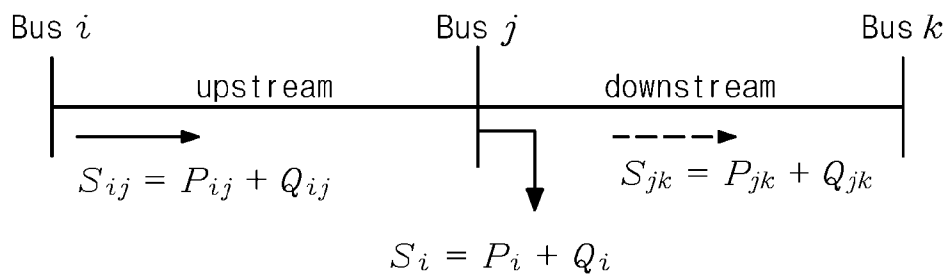
[도5]



[도6]



[도7]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/KR2024/095865

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06Q 50/40(2024.01)i; G06Q 10/06(2012.01)i; G06Q 10/04(2012.01)i; B60L 53/50(2019.01)i; B60L 58/40(2019.01)i; H02J 3/38(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G06Q 50/40(2024.01); G06F 30/20(2020.01); G06Q 10/04(2012.01); G06Q 10/08(2012.01); H02J 3/38(2006.01)

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Korean utility models and applications for utility models: IPC as above
Japanese utility models and applications for utility models: IPC as above

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

eKOMPASS (KIPO internal) & keywords: 이차원뿔체프로그래밍(second order cone programming(socp)), 수소 (hydrogen), 모델링(modeling), 잔존용량(state of charge(soc))

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	우현 등. 분산전원 및 전차 충전소의 최적 용량 산정을 위한 확률론적 SOCP 기법 제안. 2022년도 대한전기학회 전력계통 연구회, 전력계통 보호 및 자동화연구회 춘계학술대회. [online]. 28 April 2022 (WOO, Hyeon et al. Proposal of Stochastic SCOP Method for optimal sizing of DGs and EV Charging Station framework. 2022 KIEE Power System Research Department, Power System Protection and Automation Research Department Spring Conference). [Retrieved on 19 August 2024]. Retrieved from <URL: https://www.dbpia.co.kr/pdf/pdfView.do?nodeId=NODE11103372 >.	1-13
A	See pages 259-260.	
A	차준상 등. 불확실성을 고려한 SOCP 기반 배전계통 LV-SVC 최적 위치 및 용량 산정에 관한 연구. 2022년도 대한전기학회 전력기술분회 추계학술대회 논문집. [online]. 20 October 2022 (CHA, Junsang et al. Optimal siting and sizing of LV-SVCs based on SOCP in distribution networks considering uncertainty. Proceedings of the 2022 KIEE Power System Research Group Fall Conference). [Retrieved on 19 August 2024]. Retrieved from < https://www.dbpia.co.kr/pdf/pdfView.do?nodeId=NODE11211403 >.	1-13
A	See page 245.	
A	KR 10-2022-0037941 A (HYUNDAI GLOVIS CO., LTD.) 25 March 2022 (2022-03-25) See abstract and claims 1 and 15-16.	1-13



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
“D” document cited by the applicant in the international application
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date
“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

05 September 2024

Date of mailing of the international search report

05 September 2024

Name and mailing address of the ISA/KR

**Korean Intellectual Property Office
Government Complex-Daejeon Building 4, 189 Cheongsaro, Seo-gu, Daejeon 35208**

Authorized officer

Facsimile No. +82-42-481-8578

Telephone No.

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 108509742 B (NANJING UNIVERSITY) 02 March 2021 (2021-03-02) See abstract and claim 1.	1-13
A	KR 10-2023-0017108 A (ELECTRONICS AND TELECOMMUNICATIONS RESEARCH INSTITUTE) 03 February 2023 (2023-02-03) See claims 1 and 4-6.	1-13
A	KR 10-2022-0102112 A (POSTECH RESEARCH AND BUSINESS DEVELOPMENT FOUNDATION) 19 July 2022 (2022-07-19) See claims 1-3.	1-13

International application No.

PCT/KR2024/095865

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
KR	10-2022-0037941	A	25 March 2022	KR	10-2387420	B1	18 April 2022
CN	108509742	B	02 March 2021	CN	108509742	A	07 September 2018
KR	10-2023-0017108	A	03 February 2023	None			
KR	10-2022-0102112	A	19 July 2022	KR	10-2683515	B1	10 July 2024

A. 발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC)) G06Q 50/40(2024.01)i; G06Q 10/06(2012.01)i; G06Q 10/04(2012.01)i; B60L 53/50(2019.01)i; B60L 58/40(2019.01)i; H02J 3/38(2006.01)i		
B. 조사된 분야 조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재) G06Q 50/40(2024.01); G06F 30/20(2020.01); G06Q 10/04(2012.01); G06Q 10/08(2012.01); H02J 3/38(2006.01) 조사된 기술분야에 속하는 최소문헌 이외의 문헌 한국등록실용신안공보 및 한국공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC 일본등록실용신안공보 및 일본공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC 국제조사에 이용된 전산 데이터베이스(데이터베이스의 명칭 및 검색어(해당하는 경우)) eKOMPASS(특허청 내부 검색시스템) & 키워드: 이차원뿔체프로그래밍(second order cone programming(socp)), 수소(hydrogen), 모델링(modeling), 잔존용량(state of charge(soc),)		
C. 관련 문헌		
카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
A	우현 등. 분산전원 및 전기가 충전소의 최적 용량 산정을 위한 확률론적 SOCP 기법 제안. 2022년도 대한전기학회 전력계통 연구회, 전력계통 보호 및 자동화연구회 춘계학술대회 [온라인], 2022.04.28, [검색일 2024.08.19]. <URL: https://www.dbpia.co.kr/pdf/pdfView.do?nodeId=NODE11103372 > 페이지 259-260 참조.	1-13
A	차준상 등. 불확실성을 고려한 SOCP 기반 배전계통 LV-SVC 최적 위치 및 용량 산정에 관한 연구. 2022년도 대한전기학회 전력기술분회 추계학술대회 논문집 [온라인], 2022.10.20, [검색일 2024.08.19]. < https://www.dbpia.co.kr/pdf/pdfView.do?nodeId=NODE11211403 > 페이지 245 참조.	1-13
A	KR 10-2022-0037941 A (현대글로벌비스 주식회사) 2022.03.25 요약 및 청구항 1, 15-16 참조.	1-13
A	CN 108509742 B (NANJING UNIVERSITY) 2021.03.02 요약 및 청구항 1 참조.	1-13
A	KR 10-2023-0017108 A (한국전자통신연구원) 2023.02.03 청구항 1, 4-6 참조.	1-13
☒ 추가 문헌이 C(계속)에 기재되어 있습니다. ☒ 대응특허에 관한 별지를 참조하십시오.		
* 인용된 문헌의 특별 카테고리: “A” 특별히 관련이 없는 것으로 보이는 일반적인 기술수준을 정의한 문헌 “D” 본 국제출원에서 출원인이 인용한 문헌 “E” 국제출원일보다 빠른 출원일 또는 우선일을 가지나 국제출원일 이후에 공개된 선출원 또는 특허 문헌 “L” 우선권 주장에 의문을 제기하는 문헌 또는 다른 인용문헌의 공개일 또는 다른 특별한 이유(이유를 명시)를 밝히기 위하여 인용된 문헌 “O” 구두 개시, 사용, 전시 또는 기타 수단을 언급하고 있는 문헌 “P” 우선일 이후에 공개되었으나 국제출원일 이전에 공개된 문헌 “T” 국제출원일 또는 우선일 후에 공개된 문헌으로, 출원과 상충하지 않으며 발명의 기초가 되는 원리나 이론을 이해하기 위해 인용된 문헌 “X” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌 하나만으로 청구된 발명의 신규성 또는 진보성이 없는 것으로 본다. “Y” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌이 하나 이상의 다른 문헌과조합하는 경우로 그 조합이 당업자에게 자명한 경우 청구된 발명은 진보성이 없는 것으로 본다. “&” 동일한 대응특허문헌에 속하는 문헌		
국제조사의 실제 완료일 2024년09월05일(05.09.2024)		국제조사보고서 발송일 2024년09월05일(05.09.2024)
ISA/KR의 명칭 및 우편주소 대한민국 특허청 (35208) 대전광역시 서구 청사로 189, 4동 (둔산동, 정부대전청사) 팩스 번호 +82-42-481-8578		심사관 이강하 전화번호 +82-42-481-5687

국제조사보고서에서 인용된 특허문헌	공개일	대응특허문헌	공개일
KR 10-2022-0037941 A	2022/03/25	KR 10-2387420 B1	2022/04/18
CN 108509742 B	2021/03/02	CN 108509742 A	2018/09/07
KR 10-2023-0017108 A	2023/02/03	없음	
KR 10-2022-0102112 A	2022/07/19	KR 10-2683515 B1	2024/07/10