JESK J Ergon Soc Korea 2019; 38(1): 27-38
http://dx.doi.org/10.5143/JESK.2019.38.1.27
http://jesk.or.kr eISSN:2093-8462

A Study of Human-centered User Interface Design for the Large Display System in a Virtual Power Plant

Sunyoung Ahn[1], Taehyun Ha[1], Sangyeon Kim[1], Seungyup Baek[2], Younghyeok Cho[3], Won-Yong Choi[3], Sangwon Lee[1]

[1]Sungkyunkwan University, Department of Interaction Science, Seoul, 03063
[2]VGen, R&D Center, Daejeon city, 34014
[3]KOEN, Korea South-East Power Co.Ltd., Human Resource T/D Institute, Jin-ju city, 52818

가상 발전소의 기능적 특징을 고려한 사용자 중심 LDS 인터페이스 디자인

안선영[1], 하태현[1], 김상연[1], 백승엽[2], 조영혁[3], 최원용[3], 이상원[1]

[1]성균관대학교 인터랙션사이언스학과
[2]브이젠(주)
[3]한국남동발전 인재기술개발원

Corresponding Author
Sangwon Lee
Sungkyunkwan University, Department of Interaction Science, Seoul, 03063
Mobile : +82-10-8897-7835
Email : upcircle@skku.edu

Received : December 17, 2018
Revised : January 03, 2019
Accepted : February 01, 2019

Copyright@2019 by Ergonomics Society of Korea. All right reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Objective: This study proposes a user interface design guideline for large display systems (LDSs) in virtual power plants (VPPs) to support the effective management of power resources.

Background: VPP is a technology which enables to manage unstable distributed power resources effectively. To achieve efficient management, a proper user interface needs to be suggested considering the technical aspects of VPP.

Method: Based on a technical specification of VPP, we draw a hierarchical information architecture for VPP operations and suggest proper ways of the information visualization and color application for user interface design.

Results: We present an example of interface design for LDS in VPP with some general design guidelines.

Conclusion: To develop a proper interface of LDS in VPP, designers need to 1) identify an information architecture for VPP operations, 2) place functional modules in LDS considering hierarchical properties of the information architecture, and 3) visualize the modules focusing on the brightness and conventional rules of design.

Application: The results of this study can be applied to construct a user interface system of VPP.

Keywords: Virtual power plant (VPP), Large display system (LDS), User interface

1. Introduction

전력 발전 시스템은 석유, 석탄 등의 화석 연료를 기초로 하는 화력 발전소부터, 물의 낙

차를 활용하는 수력 발전소, 우라늄을 활용하는 원자력 발전소, 태양광, 풍력, 지열 등의 천연자원을 활용하는 친환경 발전소에 이르기까지 다양한 형태로 구성되어 있다. 이들 전력 발전 시스템 중 어떠한 발전 방식을 채택할 것인지는 전력을 공급할 지역 근처에서 가용한 자원의 형태와 매장량에 따라 결정되며, 가용한 발전 방식이 복수일 경우 전력 생산 방식의 효율성을 추가로 고려하여 입지와 규모가 결정된다. 효율성의 측면에서 보았을 때, 화력 발전소와 원자력 발전소가 가지는 이점이 크다고 할 수 있으나, 화력 발전소가 발생시키는 대기오염 문제와 한 번의 사고로 막대한 비용 및 인적 손실이 발생하는 원자력 발전소의 잠재적 위험 문제 때문에 많은 경우 발전소 건설 과정에 제한이 생기고 있다. 이에 따라 일부 선진국에서는 정부 주도로 전력 수급을 친환경/신재생 에너지로 대체하려는 움직임을 보이고 있으며, 관련 사업체, 연구소에 대한 투자와 지원을 지속적으로 늘려나가고 있다.

기존 발전 방식을 친환경 발전 방식으로 대체하기 위해서는 가장 먼저 전력 생산성 문제가 해결되어야 한다. 화력 발전소와 원자력 발전소에 비해 태양광, 풍력, 지열 등의 천연 자원을 활용하는 친환경 발전 방식은 전력 생산 과정에서 소모되는 에너지 자원의 수급이 일정하게 이뤄질 수 없다는 문제가 있지만, 화석 연료에 비해 다양한 장소에 분포되어 있고 지리적 영향을 적게 받는다는 장점이 있으므로, 분산된 에너지 자원(distributed energy resource, DER)에서 생산된 전력이 공유될 수 있다면 기존 발전 방식의 대체에 따라 발생할 수 있는 전력 생산성 문제를 효과적으로 해결할 수 있다. 가상 발전소(virtual power plant, VPP)는 바로 이러한 문제점을 해결하기 위해 제시된 개념이며, 분산된 에너지 자원으로부터 발생하는 전력량을 실시간으로 관찰, 제어하는 것에서 나아가 발전소간 전력 거래를 지원하는 통합형 전력 운용 시스템이다(Pudjianto et al., 2007; Saboori et al., 2011). 전문가들은 향후 가상 발전소가 본격적으로 자리잡음에 따라 전력 시장에서의 전력 거래 및 친환경 에너지를 활용한 신재생 에너지 사업이 더욱 활성화 될 것으로 예측하고 있다(Kim and Ham, 2017).

가상 발전소는 다양한 분산형 에너지원을 하나로 통합하여 운영하면서 전력 발전 과정의 유연성과 제어성을 확보하고 계획 발전량, 전압제어 능력, 예비 전력 등의 기능 지원을 통해 효율적인 형태의 전력 운용을 가능하게 하는 것을 목표로 한다. 이에 따라 가상 발전소를 설계하는 과정에서는 분산 에너지 자원의 통제를 위한 기능 구현뿐만 아니라 이를 모니터링 할 수 있는 효과적 형태의 시각화 기능 역시 제공되어야 한다. 따라서, 가상 발전소 인터페이스는 Large Display System (LDS) 화면을 기초로 인터페이스를 설계해야 한다는 점에서 기존 발전소 인터페이스와 유사점을 가지지만, 기존 발전소 인터페이스와는 다르게 보다 많은 인지 대상을 효과적으로 시각화하고 배치하여야 하며, 인지 부하 감소를 통해 사용자에게 발생할 수 있는 조작 오류를 더 효과적으로 줄일 수 있어야 한다는 점에서 차이를 갖는다.

이에 따라 본 연구에서는 가상 발전소의 기능적 특징과 사용자 중심적 인터페이스 설계 원칙에 입각하여 가상 발전소 인터페이스를 설계하고 활용 방안에 대해 알아본다. 이를 위해 먼저 문헌 조사를 통해 가상 발전소의 개념에 대하여 살펴보고 이로부터 가상 발전소의 기능 명세를 도출한다. 또한, 현재 운영되고 있는 가상 발전소 인터페이스의 사례 분석을 통해 인지적 관점에서 다양한 정보를 효과적으로 시각화하고 배치할 방안에 대해서 알아본다. 이후 실제 적용을 통해 가상 발전소 LDS 화면의 인터페이스를 설계하게 되며 예상되는 기대 효과와 활용 방안에 대해 논의하게 된다.

2. Research Background

2.1 Virtual power plant

가상 발전소에 대한 개념은 문헌 별로 다소 다르게 정의되고 있으나, 대체적으로는 분산되어 있는 전력 자원으로부터 발생한 전력들을 원격으로 관리하고 최적화할 수 있는 전력 관리 시스템으로 정의될 수 있다(Lombardi et al., 2009; Mashhour and Moghaddas-Tafreshi, 2011). 가상 발전소는 그 형태와 목적에 따라 세부적으로 전력 생산과 관리를 담당하는 기술적 가상 발전소(technical virtual power plant, TVPP)와 전력 거래와 중개를 담당하는 상업적 가상 발전소(commercial virtual power plant, CVPP)로 나뉘는데(Saboori et al., 2011), 일반적으로 가상 발전소를 지칭할 때는 이 둘을 모두 포함한 형태를 지칭한다. 가상 발전소는 단방향인 기존의 전력계통과 다르게 다양한 형태의 자연 에너지 자원을 유기적으로 활용하면서 유동적인 전력 생산 관리/조정 기능을 제공하기 때문에, 천연 에너지 자원을 활용한 친환경/신재생 전력 에너지 생산 방식이 가진 문제점들을 효과적으로 해결할 수 있는 차세대 에너지 생산관리 시스템으로 주목받고 있다.

기능적인 측면에서 가상 발전소는 기능상 다양한 형태의 자원을 유기적으로 관리하는 것을 주요 특징으로 하고 있기 때문에, 다양한 전력 자원의 특성을 효과적으로 반영하여 최적의 전력 관리 일정을 계획하는 것이 매우 중요하다. 가상 발전소가 주요 에너지 자원으로 활용하고 있는 천연 에너지 자원은 각 지역별 에너지 저장 시스템(energy storage system, ESS)으로 전송되어 관리되는데, 에너지 저장 시스템 역시 분포된 자원과 마찬가지로 발전소의 환경에 따라 용량과 세부 특징에 있어 상이함을 나타내기 때문에 다양성을 고려한 최적화 작업이 필요하다(Cho et al., 2018). 또한, 가상 발전소 체계에서, 지역별, 발전소별 생산된 전력은 수요와 공급의 원칙에 따라 적정 가격에 서로 거래될 필요가 있는데, 이러한 가격 정보 역시 통합된 거래 체계와 인터페이스를 통해 적절한 형태로 관리되어야 할 필요가 있다.

하지만, 이러한 필요성에도 불구하고, 아직 국내외 가상 발전소 인터페이스와 관련한 연구들을 미진한 실정이다. 과거 가상 발전소에 대한 연구들은, 아직 정립되지 않은 가상 발전소의 개념을 제시하는데 집중하거나(e.g., Saboori et al., 2011), 전력 생산과 관리에 관한 수리적 최적화 알고리즘을 제시하는데 초점을 맞춰왔고(e.g., Lombardi et al., 2009; Mashhour and Moghaddas-Tafreshi, 2011; Pandžić et al., 2013), 일부 연구들의 경우에는 프로토타입의 시각적 사용자 인터페이스를 제시하기도 하였으나(e.g., Oates and Melia, 2016), 체계적인 접근을 통해 가상 발전소 사용자들에게 제공되어야 할 인터페이스를 기능적 측면에서 설계하고 이를 시각적으로 연결 짓는 수준까지는 나아가지 못했다. 이와 같은 한계점들을 해결하기 위해서는 과거 발전소에서 채택해온 인터페이스 관련 연구를 체계적으로 검토하는 한편, 인지 부하를 일으킬 수 있는 실시간 정보를 효과적으로 제공하는 방안에 대해 알아보고, 이를 가상 발전소의 기능과 연결시켜 인터페이스 설계에 반영할 필요가 있다.

2.2 User interface design

현재 가상 발전소 시스템은 본격적으로 적용되어 운영되고 있는 사례가 적고, 공개된 인터페이스 디자인 및 디자인 연구 역시 부족한 실정이다. 본 연구에서는 영진기술에서 개발한 가상 발전소 통합 운영 소프트웨어 인터페이스와 미국 디지털에너지(Digital Energy)에서 개발한 분산 에너지 자원(DER) 관리 솔루션 Grid IQ™ Insight 인터페이스에 대한 사례 분석을 바탕으로 기존 인터페이스의 한계점과 개선 방향을 도출하고 이를 본 연구의 가상 발전소 인터페이스 디자인 과정에 기준점으로 활용하였다.

영진기술에서 개발한 가상 발전소 통합 운영 관리 인터페이스는 지능형 전기 시스템을 위한 통신기술에 관한 국제표준 문서 IEC61850을 기반으로 개발되었으며, 크게 (1) 일일 전력 총 용량, (2) 가상 발전소 구조, (3) 지역별 일일 통합 및 세부 현황 정보로 구성되어 있다(Figure 1). 일일 전력 총 용량은 전체 총 용량과 가동 총 용량으로 세분화되어 있으며, 띠 그래프 시각화 방식을 통해 각 용량 안에서 발전기 및 에너지 저장 장치의 비중을 확인할 수 있도록 하였다. 가상 발전소 구조는 기술적 관점에서 가상 발전소의 구조를 볼 수 있도록 와이어 프레임 형식의 시각화 방식이 사용되었다. 지역별 현황의 경우, 전국 발전원의 간략한 상태 정보를 한눈에 볼 수 있도

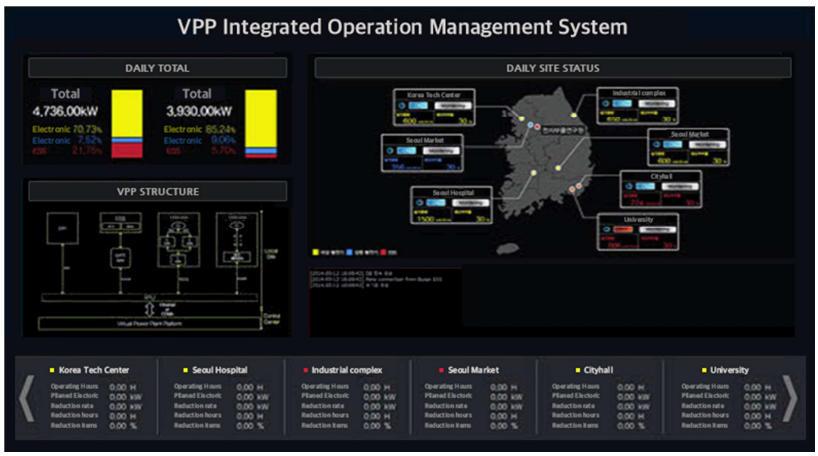


Figure 1. The interface of VPP integrated operation management system developed by "Youngjin Technology"

록 지도 시각화 방식을 사용한 통합 현황 영역과 각 발전원의 세부 상태에 대한 정보를 제공하여 특이 상황이 발생한 발전원에 대한 자세한 정보 확인이 가능하도록 하는 세부 현황 영역으로 구분되어 있다.

디지털에너지의 Grid IQ™ Insight 인터페이스는 분산 에너지 자원 관리 솔루션을 목적으로 개발되었으며, (1) 발전원 위치 지도, (2) 전력 부하 예측치, (3) 전력 분산 공급 전략 수행 결과, (4) 오류 상태 정보, (5) 최적화 계획, (6) 현재 관리 대상의 상태 정보로 구성되어 있다(Figure 2). 발전원 및 관련 설비의 위치 정보를 파악할 수 있는 발전원 위치 지도는 인터페이스 전체의 명암 수준과 균형을 맞추기 위하여 어두운 배경이 사용되었고, 이와 대비되는 명암/채도의 면과 선을 사용한 정보 시각화 방식이 적용되었다. 전력 부하 예측치와 전력 분산 공급 전략 수행 결과의 경우, 전일 8시간 및 당일 24시간에 해당하는 수치를 막대 차트 시각화 방식을 통해 예측치의 흐름을 한 눈에 파악할 수 있도록 하였고, 현재를 기점으로 과거 시간에 해당하는 부분은 어둡게 표현하여 추가적인 노력 없이 현재 시점을 확인할 수 있도록 하였다. 오류 상태 정보는 발전원 관리의 관점에서 주요하게 고려되는 지표(예: 과부하)를 기준으로 이상 상태의 발전원 숫자를 빠르게 파악할 수 있도록 하였으며, 최적화 계획의 경우 실시간으로 업데이트되는 최적화 계획을 빨간색으로 강조하여 시각적인 주의 집중을 가능하게 하였다. 현재 관리 대상의 상태 정보에서는 이전 정보를 기준으로 변화한 수치의 값이 있는 경우에만 수치 정보를 제공하여 불필요한 인지 부하가 할당되지 않도록 하였다.



Figure 2. The interface of Grid IQ™ Insight developed by "Digital Energy"

영진기술에서 개발한 가상 발전소 통합운영관리 인터페이스는 정보에 따른 영역 구분이 명확하여 정보 체계를 비교적 쉽게 이해할 수 있다는 장점이 있으나, 색상이 화면 일부분에 과다 적용된 사례라고 볼 수 있다. 이는 정보의 중요도에 따라 시각적 흐름을 유도하는 장치라고 볼 수 있지만, 좌측 상단의 일일 총 용량 영역을 제외한 나머지 영역을 보았을 때 명확한 시각적 흐름을 파악할 수 없다는 점에서 인터페이스 전체의 색상 체계가 개선될 여지가 있다. 디지털에너지의 Grid IQ™ Insight 소프트웨어 인터페이스의 경우, 동일한 색상 체계(주요 색상: 주황색, 보조 색상: 회색, 노랑색 등)를 바탕으로 시각화가 이루어져 있어 수치 정보를 쉽게 이해할 수 있다. 음영을 활용한 시각화 방식은 시각적 흐름을 효과적으로 유도한 사례라고 볼 수 있지만, 3분할로 구분된 인터페이스의 각 세부 영역에 공통된 규칙 없이 화면이 분할되어 있다는 점에서 화면 분할을 통한 개선의 여지가 있다. 이에 따라 본 연구에서는 가상 발전소 인터페이스 사례 분석을 통해 (1) 정보 구분에 따른 명확한 영역 구분, (2) 인터페이스 전체와 부분에 적합한 일관된 색상 체계 적용, (3) 수치 정보에 따른 적절한 데이터 시각화 방법 적용이 필요하다는 점에 중점을 두고 새로운 형태의 가상 발전소 인터페이스 디자인을 진행하였다.

3. Virtual Power Plant Interface Design

가상 발전소 인터페이스는 다양한 분산형 에너지원을 하나의 시스템으로 관측하여 효율적인 시스템 운영을 가능하도록 하는 전력 관

리 시스템으로, 전력 생산/수요에 대한 예측, 전력 충방전과 거래에 대한 최적화, 최적화 기능을 지원하는 경제성 평가와 시뮬레이션 기능 등에 바탕을 두고 있다(Figure 3). 본 연구에서는 앞서 도출된 명확한 영역 구분, 통합 색상 체계 적용, 수치 정보 시각화에 대한 개선에 초점을 맞춰, (1) 분산된 자원 관리 기능을 구조적으로 파악하는 정보 구조화 작업, (2) 구조화된 정보를 LDS 화면에 배치하는 작업, (3) 사용자의 특징과 구현 환경의 특성을 고려하여 정보를 시각화하는 작업을 거쳐 사용자 중심적 LDS 인터페이스 설계 방안을 제시하였다.

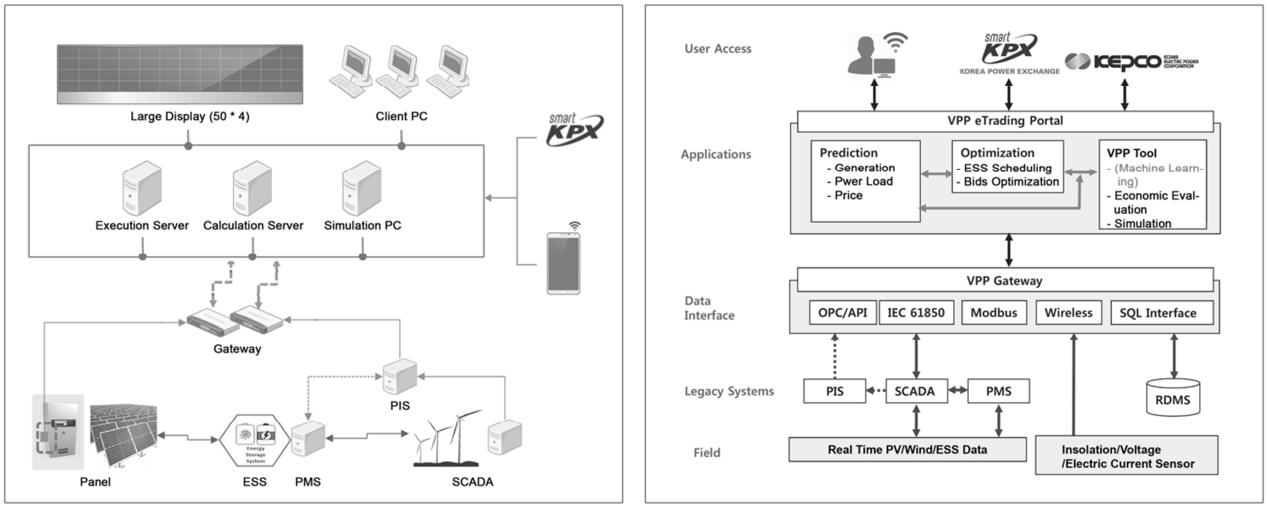


Figure 3. The structure of virtual power plant (1) hardware (2) software (Cho et al., 2018)

3.1 Information structuralization

정보 구조화 과정에서는 다양한 형태의 분산형 에너지원을 효율적으로 관리하기 위하여 요구되는 가상 발전소의 기능 정보를 구조적으로 설계하였다. 가상 발전소는 관리자와 공급자의 시각에 따라 크게 생산과 관련된 기술적 가상 발전소(technical virtual power plant, TVPP)와 거래와 관련된 상업적 가상 발전소(commercial virtual power plant, CVPP)로 나눌 수 있으며(Pudjianto et al., 2007; Saboori et al., 2011), 이에 대한 기능들로는 전력 예측, 발전 스케줄링, 최적화, 전력 거래 등이 있다. 본 연구에서는 이 기능들 간 관계를 중심으로 정보를 계층적으로 구조화하는 작업을 진행하였으며, 1, 2차 분류를 통해 정보 구조 관점에서 기능들을 표현하였다. (Table 1)은 분류된 가상 발전소 기능과 이에 대한 정보 구조를 보여준다.

Table 1. The technical information structure of virtual power plant

1st classification	2nd classification	Functions
Prediction/Operation strategy	Daily electricity generation	Time-series comparisons between the predicted and actual values of daily electricity generation
	Prediction accuracy for electricity generation	Prediction accuracies for daily/weekly/monthly/yearly electricity generations
	Daily SMP price	Time-series comparisons between the predicted and actual values of daily SMP prices
	Prediction accuracy for SMP price	Prediction accuracies for daily/weekly/monthly/yearly SMP prices

Table 1. The technical information structure of virtual power plant (Continued)

1st classification	2nd classification	Functions
Prediction/Operation strategy	Weekly REC price	Time-series comparisons between the predicted and actual values of weekly REC prices
	Prediction accuracy for REC price	Prediction accuracies for daily/weekly/monthly/yearly REC prices
	Daily operation strategy	Time-series comparisons between the planned and actual bids for electricity
		Time-series comparisons between the planned and actual charge/discharge of electricity
Local status	Generation status	Numbers of power plants
		Capacities of power plants
		Electricity outputs of power plants
		Daily electricity generation
		Daily electricity sales
		Prediction accuracy for electricity generation
	Facility status	Types of facilities (e.g., solar or wind power plants)
		Names of facilities (e.g., clean PV)
		Status information (e.g., Working, Warning, Stopped)
		Prediction error percentages
		Actions (toward the warning condition)
	Utilization ratio	Ratios of the numbers of working local power plants per total numbers of local power plants
Sale/Profit	Electricity generation	Daily/Monthly/Total cumulative values of electricity generations
	Electricity sale	Daily/Monthly/Total cumulative values of electricity sales
	Profit from electricity sale	Daily/Monthly/Total cumulative values of profits from electricity sales
	REC issue	Monthly/Total cumulative values of REC issues
	REC sale	Monthly/Total cumulative values of REC sales
	Profit from REC sale	Monthly/Total cumulative values of profits from REC sales
	Assistance service	Capabilities of charge/discharge for local power plants
		Real-time assistant actions for unbalancing charge/discharge status of electricity
	Economic evaluation	Monthly/Yearly comparisons of profits for before/after VPP application
	Profit structure	Profit structure of the electricity sales

가상 발전소 인터페이스는 소규모의 분산 에너지원을 하나의 시스템으로 통합 관리하여 소규모 공급 자원과 수요 자원을 연결하여 전력 거래가 가능하도록 지원하는 시스템이다. 따라서 가상 발전소 인터페이스에는 실시간으로 이뤄지는 신재생 에너지 생산과 거래 과정을 예측하고 이에 따라 발전소를 운영할 수 있도록 지원하는 기능들이 필요하다(Antonanzas et al., 2016; Cho et al., 2018). 이와 같

은 기능들은 구체적으로, (1) 전기 단가 가격인 계통한계가격(System Marginal Price, SMP)과 신재생 에너지공급인증서(Renewable Energy Certificate, REC) 가격에 대한 예측과 정확도를 표시하는 "예측/운영 전략"과, (2) 지역별 발전소의 발전 현황과 설비 상태, 이용률에 대한 정보를 표시하는 "지역별 현황", 그리고 (3) 전력 거래와 REC 거래를 통해 얻게 되는 수익과 경제성 평가 결과를 보여주는 "판매/수익" 기능으로 구성되어야 한다. 본 연구에서는 이처럼 세 개의 주요 기능에 입각하여 1차 분류를 하였고, 앞서 실시한 과거 발전소 인터페이스에 대한 사례 조사 결과에 근거하여 2차 분류와 필요 기능들을 도출하였다.

3.2 Information configuration

정보 배치 단계는 기능 구조화 작업을 바탕으로 도출된 정보를 디스플레이 장치에 구현하는 단계로, 구현 환경의 특성을 고려하여 최적의 정보 구획을 설정 및 배치하는 과정이다. 일반적으로 발전소 인터페이스에서 사용되는 LDS 디스플레이의 크기는 약 60인치로, 가로가 긴 구조적 특징을 고려하여 정보의 배치를 하였으며, 디스플레이 장치의 물리적 확장을 통해 변하게 될 경우 이에 따라 배치할 수 있도록 확장 가능형 디스플레이 개념을 바탕으로 정보 배치를 고려하였다(Figure 4).

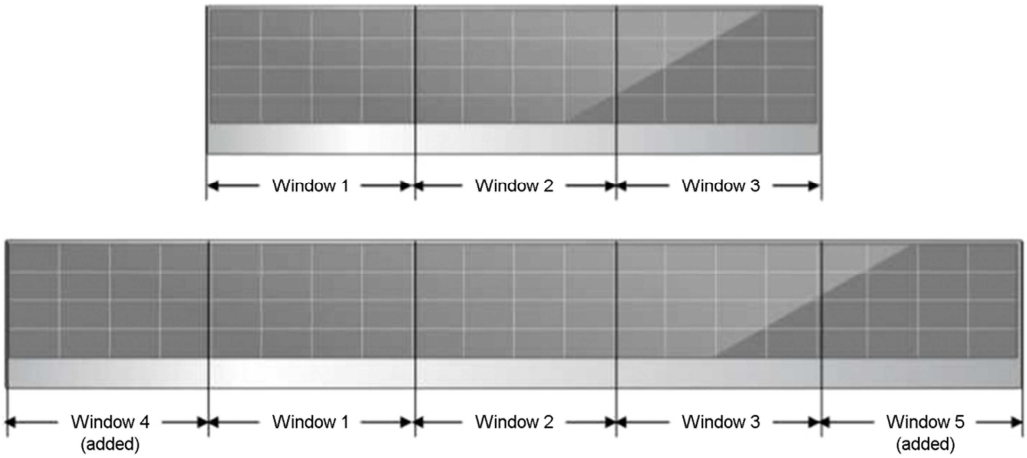


Figure 4. The concept of expandable display system

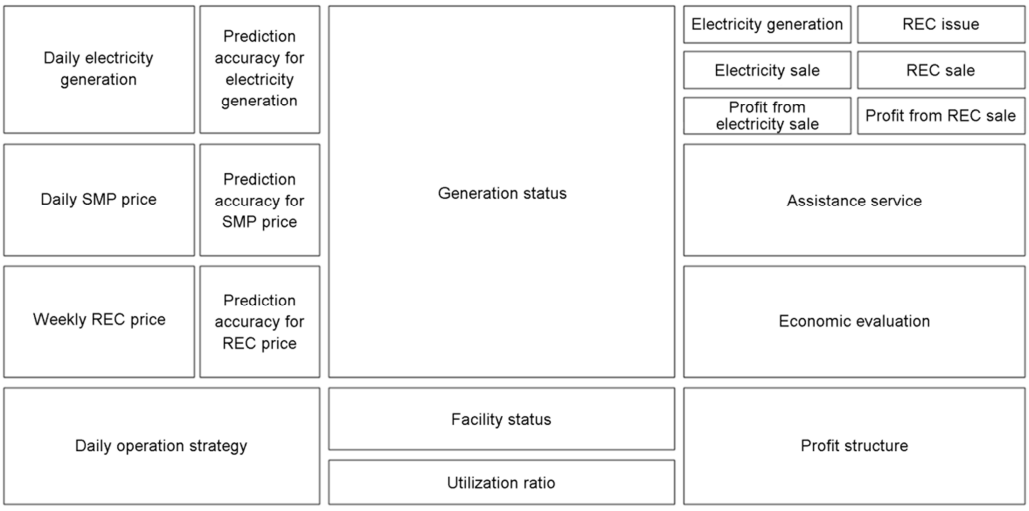


Figure 5. The information structure of LDS display

앞서 도출된 가상 발전소 기능에 대한 정보 구조 체계를 활용하여 정보 배치를 수행하기 위해, 본 연구에서는 LDS 디스플레이 공간을 세 영역으로 구분한 뒤 1차 분류 체계에 속한 기능들을 배치하였다. 이후 세 영역에 속한 기능들은 2차 분류 체계에 따라서 다시 모듈화하여 복합적인 기능을 수행하는 하나의 단위로 배치하였다. (Figure 5)은 정보 구조를 참조하여 이뤄진 정보 배치 형태를 보여준다.

3.3 Information visualization

정보 구조화를 통해 사용자 관점에서 정보를 올바르게 조직화하고 배치하였다면, 해당 정보에 대한 효과적인 시각화 방식을 고려해야 한다. 정보 시각화를 통해 사용자는 많은 정보를 직관적으로 확인할 수 있으며(Lee, 2013), 이는 많은 정보를 제공하는 가상 발전소의 특징을 고려하였을 때 더욱 중요하게 고려되어야 하는 점이다. 본 연구는 정보 시각화 단계에 앞서 사례 분석을 통해 도출한 가상 발전소 인터페이스 디자인 3요소인 (1) 명확한 영역 구분, (2) 통합 색상 체계 (3) 수치 정보 시각화를 기준으로 정보 시각화 작업을 수행하였다.

명도 조절을 통한 명확한 영역 구분: 가상 발전소 인터페이스는 발전소를 관리하고 통제하기 위해 다양한 기능과 정보를 제공하고 있다. 사용자는 다양한 정보원을 이해하기 위하여 인지적인 결합의 과정을 거치게 되는데 이 과정에서 할당되는 인지 부하를 최소화하기 위하여 시각적 장치들이 필요하다(Chandler and Sweller, 1991). 이를 위해 본 연구에서는 정보 배치 단계에서 정보의 종류에 따른 모듈 형태를 활용하였다. 가로/세로 그리드 위에 해당 모듈을 기준으로 영역을 구분하되, 시각적으로 돌출되는 선(line) 혹은 면(shape)을 사용하지 않고 정보가 표기되는 배경의 명도를 낮추어 공간 구획을 시각화하는 방안을 적용하였다(Tufte and Graves-Morris, 2014). 또한 눈의 피로도를 최소화하기 위하여 정보의 수치 그래프를 제외한 모든 배경 및 글자 표현에 색상 적용을 배제하고 명도가 낮은 음영 표현을 적용하였다(Jung, 2015).

통합 색상 체계: 인터페이스 디자인 설계에 있어 색상 표현은 장식적인 의미가 아닌 기능적인 의미를 가진다(Stone, 2006). 색상을 배제하고 명도가 낮은 음영 표현이 적용된 배경에 대비될 수 있도록 전경의 수치 정보에는 높은 명도와 채도의 색상을 적용하였다. 주요 색상으로 파란 계통의 색상을 적용하였는데, 이는 해당 인터페이스의 브랜드 정체성 확립을 위하여 설정된 색상으로 브랜드에 따라 지정된 주요 색상 계통을 기준으로 변경될 수 있다. 막대 차트의 경우 주요 색상이 강조될 수 있도록 상대적으로 넓은 비중을 차지하는 면적 영역에 적용하였다. 막대에 적용할 색상으로는 시각적으로 겹쳐진 부분을 명확하게 구분하기 위하여 파란 계통의 색상을 배제한 색상이 고려되었으며, Cohen-Or et al. (2006)에 따라 파란 계통과 시각적 조화를 이루는 노랑 계통의 색상을 막대에 적용하였다. 파이 차트는 일일 전력 생산량, 일간 SMP, 그리고 주간 REC의 예측 정확도 시각화에 적용한 방식으로 해당 정보는 동등한 수준의 위계를 갖는 정보라고 할 수 있다. 동일한 형태의 시각화 방식을 시각적으로 구분하기 위하여 정보의 종류에 따라 색상을 다르게 적용하였다.

수치 정보 시각화: 가상 발전소 인터페이스는 발전량 및 전력 거래 가격에 대한 예측과 실제의 비교 정보, 실시간 모니터링, 경제성 평가 정보 등과 같이 다양한 수치 정보가 포함된다. 이처럼 다양한 수치 정보를 표현하는데 적합한 형태의 그래프, 차트는 많은 통계 관련 연구와 디자인 연구를 통해 다뤄져 왔다(e.g., Harris, 2000; Oh and Kang, 2008; Tufte and Graves-Morris, 2014). 일일 전력 생산량과 일간 SMP 및 주간 REC, 그리고 일일 운영 전략 정보는 시간대별 변화 추이를 파악하고, 상대적인 값의 차이를 비교 분석하는 것이 중요하다. 이에 따라, 절댓값을 갖는 막대를 양옆에 나란히 배치함으로써 여러 값의 상대적 차이를 한눈에 알아볼 수 있고 흐름의 정보를 파악하는데 용이한 막대 차트를 적용하였다(Oh and Kang, 2008). 막대 차트의 경우 얇거나 두꺼운 너비의 바 형태를 지양하여 시각적으로 좁거나 넓어 보이지 않도록 주의해야 하며, 명확한 카테고리 이름 표기를 준수하고 불필요한 3차원 효과와 색상 사용을 지양한다는 원칙에 따라 단순하고 명확한 형태의 그래프를 시각화하였다(Chen et al., 2007). 전력, SMP, 그리고 REC 예측 정확도의 경우 예측 값이 얼마나 정확한지 파악하는 것이 중요하므로, 원형 전체 면적과 부분의 면적을 통해 상대적인 수치를 파악하기 용이한 파이 차트를 통해 예측 정확도를 표시하였다(Prazeres, 2006).

앞서 가상 발전소의 기능적 특징을 바탕으로, 정보 구조화, 배치, 시각화를 거쳐 도출된 최종적인 가상 발전소 LDS 인터페이스는 (Figure 6)와 같으며, 세부적인 기능은 다음과 같다.

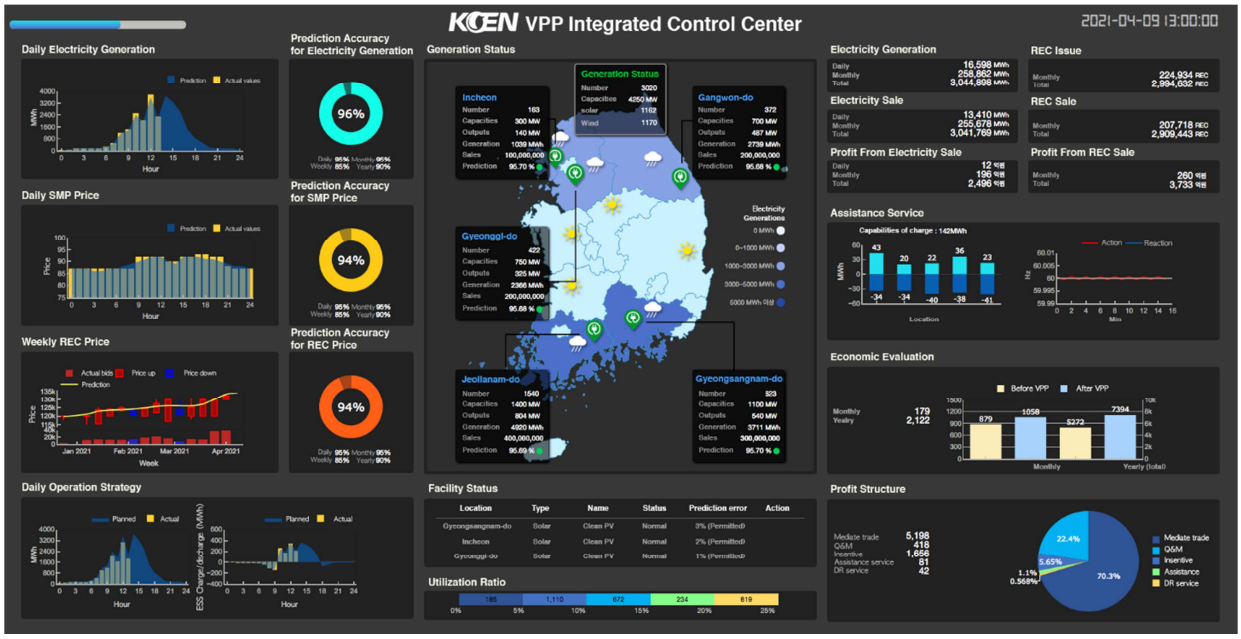


Figure 6. The user interface of virtual power plant

시간별 예측 실제 가격 모니터링: 전국 전력 발전소 전체의 실제 전력 생산량과 예측 생산량, SMP 및 REC의 실제 가격과 예측 가격, 전력 거래에 대한 입찰 가격과 낙찰 가격 간의 차이를 시간에 따라 실시간으로 보여주도록 하였다. 실제 수치는 노란색으로, 예상 수치는 파란색으로 표시하였으며, 막대 차트와 영역 그래프를 동시에 활용하고 색상에 투명도를 도입하여 두 그래프를 동시에 비교 분석하며 볼 수 있도록 하였다. 그러나 REC 그래프의 경우는 이러한 원칙을 따르지 않고 주식 차트에서 주로 활용되는 음/양봉 색상 표현을 채택하였는데, 이는 현물 거래 시장이 주식 시장의 거래 방식과 유사함에 따라 적용된 것이다. 막대 차트와 영역 그래프가 누적된 차이를 세부적으로 보여준다면, 우측에 위치한 차트 모양의 그래프는 누적된 오차를 수치로 보여줌으로써 정확도를 중심으로 보여줄 수 있도록 하였다.

지역별 발전소 상태 모니터링: 지도 모양의 시각화 장치를 통해 권역별 발전소의 특징과 현재 상태를 한눈에 파악할 수 있도록 하였다. 각 권역에 속한 개별 발전소 정보를 수치로 모두 표현하게 될 경우 시각적 복잡도가 너무 높아진다는 점을 고려하여 발전소의 형태(태양광, 풍력, 조력 등)를 보여줄 수 있는 아이콘 형태의 시각화 방법을 적용하였으며(Gittins, 1986), 필요한 수치 정보는 권역별로 표시하도록 하였다. 발전소 설비 상태와 이에 대한 조치 정보의 경우, 단순히 특징을 설명하는 것을 넘어 실시간으로 관찰해야 하는 중요 정보일 수 있음을 고려하여 지도 모양의 영역 하단에 주기적으로 슬라이딩 되는 정보 표시 패널을 삽입하였다. 가장 하단에는 전국에 위치한 발전소의 이용률 상황을 더욱 쉽게 확인할 수 있도록 이용률에 따른 발전소 수를 색상이 들어간 누적 그래프 형태로 표현하였다.

전력 판매 수익 모니터링: 현재까지 누적된 전력 생산량, 판매량, 수익 등의 정보를 한눈에 알아볼 수 있도록 수치로 표시하였다. 누적 수치는 전체 누적 수치와 더불어 일일, 당월 누적 수치를 함께 표시함으로써 비교 단위에서 발생하는 차이를 더욱 쉽게 파악할 수 있도록 하였다. 또한, 이러한 차이로부터 발생한 경제적 이익을 종합하여 표현하기 위해 경제성 평가 항목과 수익 구조 항목을 하단에 위치시켰으며, 이를 통해 가상 발전소의 도입 효과를 년, 월별로 파악하고, 수익 구조가 어떻게 발생하는지를 쉽게 알 수 있도록 하였다. 보조 서비스의 경우, 전력 공급의 불균형에 따라 부가적으로 적용되는 서비스로서 전력 수급에 문제가 생길 경우 가상 발전소 체계를 통해 실시간 전력 공급을 제공하여 문제를 해결하는 기능이다. 실시간 보조 서비스 기능을 표현하기 위해 수급과 공급량을 표현하는 막대 차트와 불균형 상태를 표현하는 직선 그래프를 함께 표현하였으며, 이를 통해 보조 서비스를 통한 실시간 대응 상황을 파악할 수 있도록 하였다.

4. Discussion and Conclusion

기존의 전력 산업은 석탄, 가스 연료를 이용하여 생산된 전력을 일방향적으로 전송하는 방식으로 이루어져 왔다. 하지만, 최근 급속도로 증가하는 태양광, 풍력 등의 재생에너지 산업에 따라 전국적으로 다양한 형태의 소규모 분산 자원들이 생겨났으며, 이를 효과적으로 관리하고 운용하는 가상 전력 발전소의 필요성을 반영한 연구가 주목받고 있다. 하지만, 가상 발전소 연구는 아직 개념적인 수준에 머물러 있는데, 이는 아직 발전소 운영 체계가 자리 잡지 않은 상태에서 기능 도출을 통한 인터페이스 연구로의 확장이 어렵기 때문으로 보인다. 이 점에 주목하여, 본 연구에서는 가상 발전소의 기능적 특징을 중심으로 사용자 중심 관점에서 LDS 인터페이스 설계를 수행하였다.

본 연구에서는 가상 발전소 LDS 인터페이스를 설계하는 과정에 앞서 상용화되어 있는 가상 발전소 소프트웨어의 사례를 인터페이스의 관점에서 분석하여 디자인 설계 과정에 (1) 정보 구분에 따른 명확한 영역 구분, (2) 인터페이스 전체와 부분을 모두 아우르는 통합 색상 체계 (3) 수치 정보에 따른 적절한 데이터 시각화 적용이 필요하다는 것을 도출하였다. 가상 발전소 인터페이스 디자인은 크게 세 단계에 걸쳐 진행되었다. 첫 번째 단계에서는 가상 발전소에서 구현되어야 할 기능들을 대상으로 정보 구조화를 실시하였고, 이를 통해 (1) 예측/운영 전략, (2) 지역별 현황, (3) 판매/수익으로 구성된 정보 구조화를 수립하였다. 두 번째 단계에서는 물리적 확장성을 위하여 확장형 디스플레이 개념을 도입하였으며, 앞서 구조화한 세 가지 분류를 바탕으로 정보 배치를 하였다. 세 번째 단계에서는 배치된 정보에 대한 시각화를 통해 최종적으로 가상 발전소 LDS 인터페이스 설계안을 도출하였다.

본 연구에서 최종적으로 도출한 가상 발전소 LDS 인터페이스는 기존 가상 발전소 인터페이스 연구에서 세밀하게 다뤄지지 않았던 시각화 단계를 폭넓게 고려하여 기능적 측면뿐 아니라 인지적 및 심리적 측면까지 고려한 사용자 중심적 인터페이스 연구로서 의의가 있다. 또한, 지역적으로 분산되어 있는 소규모의 다양한 발전원을 통합 관리하고 이를 전력 거래로 발전시킨 가상 발전소의 기능적 목적을 바탕으로 가상 발전소 운영자 관점에서 요구되는 필요 기능을 도출하고 이를 바탕으로 인터페이스의 정보를 구조화하고 시각화했다는 점에서 가상 발전소 인터페이스 설계에 대한 전반적인 절차를 사례적으로 제시하였다. 도출된 가상 발전소 인터페이스는 가상 발전소 시스템과의 연결과 실제 사용자를 대상으로 한 사용자 실험을 통해 그 효과성이 보다 직접 검증될 수 있을 것이다.

아직 가상 발전소에 대한 실제 적용 사례가 매우 제한적이고, 상용화된 기술에 대한 외부 공개 역시 매우 제한적으로 이뤄지고 있는 만큼, 가상 발전소의 기능적 형태와 특징에 대한 파악은 이론과 설계 방안을 기술한 학술 논문을 제외하고는 이뤄지기 어려운 실정이다. 이에 따라 본 연구에서는 기존의 전력 발전 시스템의 기능적 시스템과 가상 발전소에 대한 이론적 연구를 최대한 활용하여, 가상 발전소가 가져야 할 기능들을 파악하고 이에 대한 인터페이스 설계 방안을 제시하였으며, 이를 통해 (1) 시간별 예측 실제 가격 모니터링, (2) 지역별 발전소 상태 모니터링, (3) 전력 판매 수익 모니터링이 가능할 것으로 기대된다. 또한, 향후 가상 발전 환경이 본격적으로 등장하게 된다면, 이에 대한 인터페이스 적용 방안과 세부적인 고려사항이 더욱 구체적으로 제시될 수 있을 것으로 기대된다.

Acknowledgements

이 논문은 2017년도 한국남동발전(현장기술연구개발과제)의 지원을 받아 수행된 연구임(제2017-현장(미래)-01호).
이 성과는 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2017R1C 1B 1003650).

References

Antonanzas, J., Osorio, N., Escobar, R., Urraca, R., Martinez-de-Pison, F. and Antonanzas-Torres, F., Review of photovoltaic power forecasting. *Solar Energy*, 136, 78-111, 2016.

Chandler, P. and Sweller, J., Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction*, 8(4), 293-332, 1991.

Chen, C.H., Härdle, W.K. and Unwin, A., *Handbook of data visualization*: Springer Science & Business Media, 2007.

Cho, Y.H., Baek, S.Y., Choi, W.Y. and Jeong, D.Y., A Development of VPP Platform for the Efficient Utilization of Distributed Renewable Energy Resources. *The Journal of Information Systems*, 27(2), 95-114, 2018.

Cohen-Or, D., Sorkine, O., Gal, R., Leyvand, T. and Xu, Y.Q., *Color harmonization.* Paper presented at the ACM Transactions on Graphics (TOG), 2006.

Digital Energy. *Grid IQ™ Insight*, http://www.gegridsolutions.com/products/brochures/Analytics/GridIQ_Insight.pdf (retrieved January 20, 2019).

Gittins, D., Icon-based human-computer interaction. *International Journal of Man-Machine Studies*, 24(6), 519-543, 1986.

Harris, R.L., *Information graphics: A comprehensive illustrated reference*: Oxford University Press, 2000.

Jung, H., Liquid crystal display with brightness extractor and driving method thereof for modulating image brightness by controlling the average picture level to reduce glare and eye fatigue: Google Patents, 2015.

Kim, T. and Ham, K.S., *A Study on Application of IEC 61850-7-420 for Integrated Management and Information Exchange of DER (Distributed Energy Resources) in Virtual Power Plant*, 2017.

Lee, J., A Study on visualizing method and expression of information design for big data. *Korean Society of Basic Design & Art*, 14(3), 259-269, 2013.

Lombardi, P., Powalko, M. and Rudion, K., *Optimal operation of a virtual power plant.* Paper presented at the Power & Energy Society General Meeting, 2009. PES'09. IEEE, 2009.

Mashhour, E. and Moghaddas-Tafreshi, S.M., Bidding strategy of virtual power plant for participating in energy and spinning reserve markets—Part I: Problem formulation. *IEEE Transactions on Power Systems*, 26(2), 949-956, 2011.

Oates, M. and Melia, A., Virtual Power Plant. *iURBAN: Intelligent Urban Energy Tool*, 107, 2016.

Oh, B. and Kang, S.J., Textbook of information design. *Ahn Graphics*, 2008.

Pandžić, H., Morales, J.M., Conejo, A.J. and Kuzle, I., Offering model for a virtual power plant based on stochastic programming. *Applied Energy*, 105, 282-292, 2013.

Prazeres, L.M.R., *An exploratory study about the benefits of targeted data perceptualisation techniques and rules in building simulation.* University of Strathclyde Glasgow, 2006.

Pudjianto, D., Ramsay, C. and Strbac, G., Virtual power plant and system integration of distributed energy resources. *IET Renewable Power Generation*, 1(1), 10-16, 2007.

Saboori, H., Mohammadi, M. and Taghe, R., *Virtual power plant (VPP), definition, concept, components and types.* Paper presented at the Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 2011 Asia-Pacific, 2011.

Stone, M., Color in information display. *Vis06*, 2006.

Tufte, E. and Graves-Morris, P., The visual display of quantitative information.; 1983, 2014.

Youngjin Technology. *Energy efficience improving technogy,* https://www.youngjintech.com/products (retrieved January 20, 2019).

Author listings

Sunyoung Ahn: sunyoungain@gmail.com
Highest degree: B.S., Department of Visual Design, Dongduk Women's University
Position title: M.S Candidate, Department of Interaction Science, Sungkyunkwan University
Areas of interest: Human-computer Interaction, Visual Perception, Interaction Design

Taehyun Ha: ontophilla@gmail.com
Highest degree: B.S., Industrial Management and Engineering, Hanyang University ERICA
Position title: Combined M.S/Ph.D. Candidate, Department of Interaction Science, Sungkyunkwan University
Areas of interest: Computational User Experiences, Heterophenomenology, Data-Driven Approach

Sangyeon Kim: noizowl@gmail.com
Highest degree: B.S., Film, Tv & Multimedia, Sungkyunkwan University
Position title: Combined M.S/Ph.D. Candidate, Department of Interaction Science, Sungkyunkwan University
Areas of interest: Human-Computer Interaction, Embodied Cognition, Interaction Design

Seungyup Baek: sybaek@vgen.co.kr
Highest degree: Ph.D., Department of Industrial Engineering at Penn State University
Position title: CTO, R&D Center, VGen
Areas of interest: VPP, Photovoltaics, Machine Learning, Optimization

Younghyeok Cho: yhcho7@koenergy.kr
Highest degree: MBA, Department of Business Administration at Seoul National University
Position title: President, Human Resource T/D Institute, KOEN
Areas of interest: Platform Business, VPP, Renewable Energy

Won-Yong Choi: koenergy@koenergy.kr
Highest degree: B.S., Department of Mechanical Engineering at Korea University
Position title: Senior Manager, Human Resource T/D Institute, KOEN
Areas of interest: Platform Business, VPP, Renewable Energy

Sangwon Lee: upcircle@skku.edu
Highest degree: Ph.D., Department of Industrial and Manufacturing Engineering, The Pennsylvania State University
Position title: Associate Professor, Department of Interaction Science, Sungkyunkwan University
Areas of interest: User Experience, Human-Computer Interaction, User Modeling, Affective Computing