

# 전력계통해석 프로그램을 이용한 분산형 양수발전에 의한 전력수급기본계획 시뮬레이션

이경민\*, 박성민\*\*, 최홍석\*\*\*, 박철원\*  
 국립강릉원주대학교\*, 국회사무처\*\*, 한국전력거래소\*\*\*

## Simulation of Basic Power Supply and Demand Plan by Distributed PSP using Power System Analysis Program

K. M. Lee\*, S.M. Park\*\*, H.S. Choi\*\*\*, C.W. Park\*  
 Gangneung-Wonju National Univ.\* National Assembly Secretariat\*\*, Korea Power Exchange\*\*\*

**Abstract** - In order to minimize transmission constraints that may occur when transmitting power from non-metropolitan areas to metropolitan areas through seven Tie-lines, it is necessary to construct eco-friendly power plants and transmission networks. When constructing a new pumped storage power plant, a lot of land and construction costs are required. In this paper, we propose the introduction of distributed pumped-storage power generation using the upper reservoir of a conventional multi-purpose hydroelectric power plant, and analyze the northward current when 3GW of pumped-storage power generation is connected to the metropolitan area.

### 1. 서 론

최근 세계적으로 양수발전(Pumped Storage Power Plant) 설치량이 빠르게 증가하는 추세에 있기에 양수발전의 원활한 정비, 교체, 신설에 대비함을 물론 생태계 조성을 위하여, 주기기 및 보조기기 등의 핵심 설비 국산화에 역점을 두고 있다[1].

우리나라 양수 발전소는 7개소로 4700MW의 공급능력을 갖추고 있다. 양수발전은 신속한 전력계통 대응력과 잉여 전력 저장, 주파수 및 전압 조정, 평탄화, 부하이동, 예비력 등을 확보하기 위한 에너지 핵심 자원으로, 대용량 Water ESS이다. 그런데, 간헐성 및 변동성이 심한 신재생 에너지(VREs)가 전력시장에 대량으로 연계되면서 송전 제약과 전력계통의 변동성을 심화시키고 있기에 영향 분석 및 대안을 모색하여야 한다[2~4].

특히, 비수도권지역에서 7개의 수도권 용통선로(Metropolitan Tie-Lines)를 통하여 수도권지역으로 전력을 송전할 경우, 발생하는 송전 제약을 최소화하기 위해서는, 송전망 건설이 선행되지 않으면 자원 낭비가 된다. 그런데, 양수 발전소를 신규 건설할 경우, 많은 부지와 건설비용이 소요된다[5].

해외에서도 저탄소 및 탄소 중립 실현과 재생에너지 발전의 비율이 대량으로 증가함에 따라 전력계통의 불안정성이 심화되면서 양수발전에 대한 관심이 높아지고 있다[6, 7]. 호주에서는 버려진 광산을 활용한 양수발전 시스템, 칠레의 아타카마사막의 해수 양수시스템, 스페인의 양수발전의 ESS 융복합 시스템, 독일의 기존 수력을 양수발전으로 전환 등의 구축이 시도되고 있다[8].

한편, 국내 제10차 전력수급기본계획에 따르면, 장주기 유연성 자원으로 1.75GW의 양수발전의 백업 설비를 통해 VREs 변동성 대응과 출력제어 완화 등의 목적으로 확정되었다[9].

최근 국내외 관련된 연구로는, 동·서해안 발전기 민감도 특성을 고려한 수도권 용통선로 한계량 증대방안 고찰과 제주도 내 재생에너지 설비용량에 따른 재생에너지 출력제한 비율 산정이 수행되었다. 또한, 전력조류 및 단락회로 분석을 사용한 시뮬레이터의 성능 비교와 멀티형 DC Links 기반 AC/DC 시스템의 전력조류를 위한 통합 반복 알고리즘이 발표되었다[10~13].

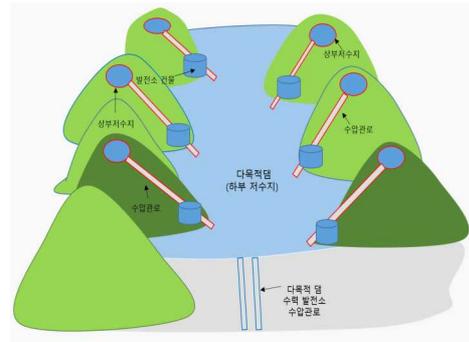
본 논문에서는 수력 발전소의 역할 다각화 차원에서 기존 다목적 수력 발전소의 상부 저수지를 활용하여 수력 발전소의 댐 주변에 다수의 양수발전을 건설하는 방식을 제안한다. 또한, 제

10차 전력수급기본계획의 전력계통 자료를 바탕으로 PSS/E를 이용하여 수도권지역에 3GW의 신규 분산형 양수발전이 전력시장에 연계하였을 때를 가정하여 수도권 용통선로의 복상 조류를 분석한다[14~16].

### 2. 본 론

#### 2.1 분산형 양수발전

분산형 양수발전(Distributed PSP)은 기존 다목적 수력 발전소의 저수량을 활용하여 주변 높은 지대에 있는 상부 저수지에 수압관로를 통해 펌핑(pumping)한다. 펌핑된 물은 전력 수급이 요구될 때 다시 수압 관로를 통해 낙하를 시켜 발전한 뒤 다목적댐에 방류하는 방식이다. 그림 1은 팔당댐에 적용한 분산형 양수발전의 개념도이다. 즉, 팔당댐 주변의 높은 지대에 양수발전의 상부 저수지를 만들고 수압 관로를 통해 발전과 펌핑을 하는 방식은 기존 양수발전과 동일하지만, 다목적댐의 용수를 다수의 양수발전이 같이 이용한다는 측면에서 다르다. 이 방식은 하부 저수지 건설비용이 절감되는 동시에 하부 저수지의 물을 기존 다목적 댐을 활용한다는 점에서 별도의 하부 저수지가 필요 없으며 신속한 전력계통 대응력, 기존 다목적댐의 활용, ESS 역할 등 장점이 있다.



<그림 1> 분산형 양수발전의 개념도

#### 2.2 분산형 양수발전의 비용 산정

분산형 양수발전의 설비비용은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_0 (\text{원}/Wh) = E_0 (\text{원})/S_0 (Wh) \quad (1)$$

여기서,  $C_0$ ,  $E_0$ ,  $S_0$ 는 각각 설비비용, 총건설비, 축전용량이다.

분산형 양수발전의 에너지 저장비용(축전용량)은 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$S_0 = Q[m_3/sec] \times t[sec] \times g[m/sec^2] \times h[m]/1000 \quad (2)$$

여기서,  $Q, t, g, h$ 는 각각 유량, 낙차, 중력가속도, 1회분의 발전 시간이다.

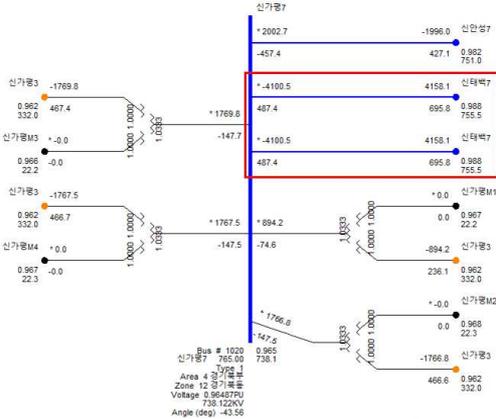
### 2.3 수도권 용통 선로 현황

수도권 용통 선로의 용통 한계는 11400MW로 79.9% 점유하고 있어 송전 제약을 해소하는 방안이 필요하다[17]. 국내 수도권 용통선로는 765kV 신증부-신안성 #1,2, 345kV 북당진-고덕 HVDC #1 등으로 구성된다[5, 10].

## 3. 사례연구

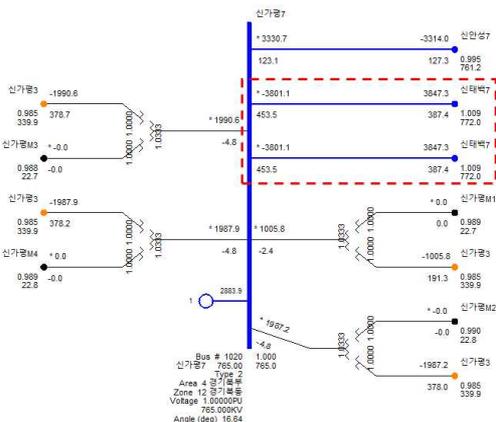
### 3.1 PSS/E를 이용한 시뮬레이션 결과

그림 2는 제10차 전기분의 2024년도 하계피크의 경우, 즉, 분산형 양수발전이 연계되지 않았을 때, PSS/E를 이용한 수도권 용통선로의 복상 조류 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 신태백-신가평 #1,#2 용통선로에 흐르는 전력은 4,158.1MW 등이었다.



<그림 2> 2024년도 하계피크의 경우, PSS/E를 이용한 용통선로의 복상 조류 시뮬레이션 결과

그림 3은 제10차 전기분의 2024년도 하계피크의 경우, 분산형 양수발전이 연계되었을 때, PSS/E를 이용한 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 신태백-신가평 #1,#2 용통선로에 흐르는 전력은 3,847.3MW 등이었다.



<그림 3> 2024년도 하계피크의 경우, 양수발전 연계 시 PSS/E를 이용한 용통선로의 복상 조류 시뮬레이션 결과

### 3.2 결과 및 고찰

복상조류 분석 결과, 양수발전이 연계되면서, 2번 765kV 신태백-신가평 #1,#2 용통선로의 경우, 4158.1MW에서 3847.3MW로 감소하면서 복상 조류가 7.47% 감소하였다. 또한, 3번 345kV 아산-화성 #1,2 용통선로의 경우, 1869.2MW에서 1770.0MW로 감소하면서 복상 조류가 5.31% 감소하는 등 총 1208.7MW의 감소로 총 9.78% 비율의 감소를 나타내었다.

## 4. 결론

본 논문에서는 여러 가지 장점이 있는, 기존 다목적 수력 발전소의 저수지를 활용한 주변의 높은 지대에 설치된 상부 저수지의 분산형 양수발전을 제안하였다. 수도권지역의 분산형 양수발전은 PSSE 시뮬레이션 결과, 3GW가 수도권지역에 연계될 경우, 7개 용통선로의 복상 조류가 4.4%~29.67% 만큼 줄어드는 것을 확인하였다. 따라서, 분산형 양수발전 시스템의 도입에 따라 송전 제약의 감소와 탈탄소화 실현을 기대할 수 있다.

## [참고 문헌]

- [1]E.S. Kim, "The Present and Future of Pumped Storage Power Plant," KHA, pp. 1~104, 2023.
- [2]H. Cho, S. W. Yi and D. H. Kwon, "Analysis of Power Network Stabilities Considering the Uncertainty of Large Renewable Power Generations," 2023 23rd ICCAS, Republic of Korea, pp. 1797~1801, 2023.
- [3]E. Youssef, R. M. El Azab and A. M. Amin, "Comparative study of voltage stability analysis for renewable energy grid-connected systems using PSS/E," SoutheastCon 2015, USA, pp. 1~6, 2015.
- [4] Park Jun-kwan, "R&D of Hydroelectric Power and Hydroelectric Power of Korea Hydro & Nuclear Power Co., Ltd.," pp. 1~42, 2024.
- [5] J. B. Park, "Follow-up challenges to activate distributed energy," Park Soo-young National Assembly Debate Resources Book, 2024. 1.
- [6] 森淳二, "揚水発電システムによるエネルギー貯蔵技術の現状とこれからの展望," 日本エネルギー學會機關誌 えねるみくす, 100, pp. 135~141, 2021.
- [7] J. Zou, S. Rahman and X. Lai, "Mitigation of wind output curtailment by coordinating with pumped storage and increasing transmission capacity," 2015 IEEE Power & Energy Society General Meeting, Denver, CO, USA, pp. 1~5, 2015.
- [8] H. B. Lim, "Directions and Strategies for Water Pumped Power Generation Development in Korea," 2023 Korean Electrical Association Spring Conference pp. 1~47, 2023.
- [9] Ministry of Trade, Industry and Energy, "10th Basic Electricity Supply and Demand Plan," pp. 1~8, 2023. 1.
- [10]Y. H. Park, H. S. Ryu et al., "A Study on Power Transfer Improvement of Metropolitan Tie-Lines through East-West Regional Generator Sensitivity Factor," KIEE, vol. 73, no. 3, pp. 483~489, 2024. 3.
- [11]S. H. Chung, "A study on the estimating renewable energy curtailment according to the renewable energy sources facility capacity in jeju island," Korea University Master Degree, pp. 1~62, 2023. 2.
- [12]Nathananel Michael Tedjo Kurniawan, et al., "Power System Simulator's Performance Comparison Using Load Flow and Short Circuit Analysis as Case Study," 2023 ICT-PEP, pp. 122~126, 2023.
- [13]Zhiqiang Song, et al., "Unified Iterative Algorithm for Power Flow of AC/DC System With Multi-type DC Links," CSEEJPES, pp. 1~10, 2024.
- [14]Seoul Data System Co., Ltd., "ETAP & ETAP Real-Time," ETAP Brochure, 2020.
- [15]國立研究開發法人科學技術振興機構 低炭素社會戰略センター, "日本における蓄電池システムとしての揚水発電のポテンシャルとコスト," 低炭素社會の實現に向けた技術および經濟・社會の定量的シナリオに基づくイノベーション政策立案のための提案書, pp. 1~16, 2019. 1.
- [16]KEPCO & KPX, "10th Basic Electricity Supply and Demand Plan DB & dyr," 2023.
- [17]Electricity Market Surveillance Committee, "Monthly Report, Market Watch," p. 8, 2023. 2.