

## 클러스터링 기법을 적용한 전력시스템 모델링에 관한 사례 조사

박영수, 김진호  
부산대학교

### An Survey on the Power System Modeling using a Clustering Algorithm

Young-Soo Park, Jin-Ho Kim  
Pusan National University

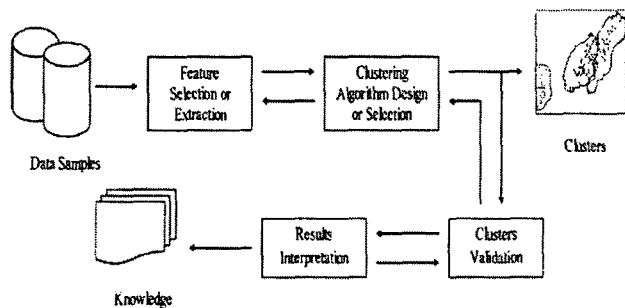
**Abstract** - This paper is focused on the survey on the power system modeling using a clustering algorithm. In electricity markets, clustering method is a efficient tool to model the power system. It can be seen that electricity markets can also be classified into several groups which show similar patterns and that the fundamental characteristics of power systems can be widely applicable to other technical problems in power system such as generation scheduling, power flow analysis, short-term load forecasting, and so on. There are several researches on the power system modeling using a clustering algorithm. We specially surveyed their own clustering methods to model the power system.

#### 1. 서 론

클러스터링 (Clustering)이란 유사한 특징을 보이는 것들을 그룹화하는 작업으로 여러 공학분야에서 사용되고 있으며, 주어진 데이터 모집합에서 클러스터(cluster)로 정의되는 유사한 데이터들의 그룹을 어떻게 정의할 것인가에 대한 연구가 진행되고 있다. 전력시스템의 경우 주어진 수요를 몇 개의 클러스터로 그룹화하는 것이 매우 중요하다고 할 수 있는데, 그 이유는 발전기들이 연료타입에 따라 그 특성을 달리하기 때문에, 동일한 출력을 위해 각 발전기들은 발전타입 별로 다른 연료비용이 소요된다. 이에 따라, 시간대별 전력시스템의 운용은 수요의 크기에 따른 패턴을 가지게 되며, 유사한 패턴을 보이는 시간대의 수요들은 각각 개별 클러스터로 그룹화하여 분석하게 될 경우, 전력시스템의 분석이 용이하게 된다. 따라서 전력시스템의 여러 부분에서 이러한 클러스터링 기법이 사용되고 있으며 본 논문에서는 클러스터링 기법이 적용된 전력시스템 모델링에 관한 사례를 조사하였다 [4].

현재는 정보(information)의 세계라 할 정도로 모든 분야에서 정보의 역할은 실로 막대하다. 상당량의 정보를 저장하고 관리(management)해야 하는 현실에 직면하였으며 그를 특정 범주로 분류(classification)하는 것이 효율적이다. 특성(characteristic)이 유사한 것들은 하나의 범주로 비교, 포함할 수 있으며 이는 상당량의 정보를 효율적으로 관리할 수 있는 수단이다. 이러한 의미에서 클러스터링은 사회 전반에서 걸쳐 적용될 수 있는 도구로서 공학부문(machine learning, artificial intelligence, pattern recognition, mechanical engineering, electrical engineering), 컴퓨터 관련 부문(web mining, spatial database analysis, textual document collection, image segmentation), 생활과학(genetics, biology, microbiology, paleontology, psychiatry, clinic, pathology), 지구과학(geography, geology, remote sensing), 사회과학(sociology, psychology, archeology, education) 그리고 경제학(marketing, business) 등에 이용 가능하다 [20]. 전력공학 분야에도 상당 부분 적용 가능하며, 시스템 스케줄링, 최적조류계산, 단기부하/가격 예측 등이 해당된다. 산재된(dispersed) 데이터를 유사성 측정(proximity measure)을 통해 몇 개의 클러스터로 구분하여 생각할 수 있으며 유사한(similarity) 것들은 하나의 클러스터로 분류할 수 있다.

보편적인 클러스터링 알고리즘의 절차는 해석하고자 하는 문제 또는 제약 관련정보 조합에서 데이터의 주요특성을 선택(selection)하거나 또는 기존의 특성을 더욱 효율적으로 이용가능한 형태의 데이터로 만들기 위해 변형(transformation)하는 추출(extraction)절차를 거친다. 적당한 클러스터링 알고리즘을 선택하고(clustering algorithm design or selection) 클러스터의 유용성을 판단(cluster validation), 결과를 확인한다(result interpretation). 피드백이 가능한 형태로 대략적인 절차는 그림1과 같다. 일반적인 클러스터링



〈그림 1〉 클러스터링 알고리즘 분석 절차

기법에는 데이터간의 거리와 유사 정도 측정(Distance Similarity Measure)을 기본으로, Hierarchical, Squared-Based, Mixture Densities-Based, Graph Theory-Based, Combinatorial Search Techniques-Based, Fuzzy, Neural Networks-Based, Kernel-Based 클러스터링 등이 있다. 해당 범주 중, 최근까지 전력시스템에 자주 등장하는 클러스터링 기법에는 Modified follow-the-leader, hierarchical clustering, K-Means, fuzzy K-Means 그리고 SOMs(Self-Organizing Maps) 등이 있다.

본 논문의 목적은 최근까지 연구되었던, 전력시스템 해석 관련 클러스터링 기법 적용사례를 조사하는 것이다. 클러스터링 기법이 적절히 사용된 국내의 연구사례를 살펴보면서 차후 급격히 변화하게 될 전력산업전반에서 클러스터링 기법의 중요성과 역할을 확인할 수 있다.

#### 2. 본 론

이후 본문에서는 클러스터링 기법이 전력시스템에 적용된 국내의 사례를 살펴본다. 해석하고자 하는 문제(problems), 제약(constraints)의 성격에 따라 사용되는 클러스터링 종류가 다르다. 이러한 다양성(diversity) 때문에 혼잡(confusion)한 결과를 얻을 수 있다 [20]. 국내의 전력시스템 관련 연구에서 어떠한 클러스터링 기법을 사용하였는지 조사하였다.

##### 2.1 국내 논문

전력시스템에 클러스터링 기법을 적용한 사례가 많지 않았다. 클러스터링 알고리즘을 연구 전반의 핵심 내용으로 강구한 경우는 희소하고, 관심 있는 전력시스템 관련 문제를 클러스터링을 사용하여 효율적으로 간단히 표현하는 것을 목적으로 하는 것이 경우가 대부분이다. 전력계통의 동적안전도를 평가하고 [1], 사고전류의 패턴을 분류하고 [2], 단기최대부하예측을 하며 [3], 발전기 보수계획과 같은 전력시스템 스케줄링 관련 문제를 해석하는 [4] 등 다양한 부분에서 사용가능하다. 조사된 연구의 주요 내용을 살펴보면 표1과 같다.

〈표 1〉 클러스터링 기법을 적용한 전력시스템 모델링 사례 (국내논문)

[1]	· 전력계통의 온라인 동적 안전도 평가(on-line dynamic security assessment)를 위해 클러스터링 알고리즘을 이용, 안정도 지수를 사용하여 위험 발전기 후보군을 선택, 에너지 마진을 이용하여 불안정 모드를 결정하는 새로운 방법 제안
[2]	· 사고전류의 패턴분류에 기초한 배전계통의 적용 재패로방식 제안 · Mountain clustering method, Minimum-Distance Classifier를 이용하여 사고패턴을 분류한 후에 발생한 사고를 일시/영구 사고로 판별, 대상으로 하는 사고 데이터를 사전에 특정한 패턴으로 분류하기 어렵고, 초기값 설정에 따른 근집중심의 변화를 줄이고자 MCM 사용
[3]	· 코호넨 신경회로망과 웨이브릿 변환을 이용하여 수위가 최대부하관리를 위한 새로운 산업체 부하예측 기법 제안 · 코호넨 신경회로망을 이용하여 연간 실적부하를 몇 개의 그룹으로 클러스터링, 각 시간대 별, 최대부하예측을 하기 위해 부하데이터를 몇 개의 그룹으로 분류하여 이러한 그룹들을 예측기준으로 사용
[4]	· 경쟁적 전력시장의 증장기 운영 및 계획 측면에서 발전기 보수계획을 확실성으로 모델링, 변화된 전력산업구조에 적용 가능한 확률적 발전용량 모델링 방법제시 · 계통의 기술적, 경제적 특성을 반영, 수요를 몇 개의 클러스터로 그룹화하여 전력시장의 장기분석에 적용할 수 있는 실제적인 방법 제시

##### 2.2 국외 논문

국외 논문을 살펴보면 경쟁시장 이전에서는 클러스터링 알고리즘을 전력시스템 자체 평가, 예를 들면 Fuzzy 클러스터링을 이용하여 전력시스템의 안전도를 분석 [13], 전력시스템의 동적안전도를 평가 [12], 배전시스템의 복잡성(complexity)을 단순화하는 연구 [14], 발전기의 Coherency identification을 위한 클러스터링 기법 연구 [15, 16] 등이 있었다. 하지만 최근의 경향을 살펴보면 시장의 경쟁 개념 도입으로 수요층의 Load Profile에 관한 연구 [6, 7, 18], 단기부하/가격 예측과 관련된 연구 [5, 6, 9, 10, 17, 19] 등으로 집중됨을 알 수 있었다. 전기 소비 고객층에 대한 분석을 하는 과정에서 상당량의 데이터를 클러스터링 알고리즘을 이용하여 효율적으로 관리할 수

있다. 그러므로 경쟁시장에서 배전회사의 효율성을 향상시킬 수도 있다 [5]. 또한 기존의 퍼지이론 및 뉴럴네트워크(Artificial Neural Network) 이론을 기초로 클러스터링 알고리즘이 사용된 경우가 적지 않았다 [8, 10, 11, 13, 16, 19]. 표2는 클러스터링 알고리즘 적용 전력시스템 모델링에 관한 외국사례를 최근연도 순으로 살펴본 것이다.

**< 표 2 > 클러스터링 기법을 적용한 전력시스템 모델링 사례 (외국논문)**

[5]	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Load Pattern을 기반으로 전력수요층을 분류하는데 unsupervised clustering technique를 적용, 동일한 성향을 가진 수요층을 분류하여 고객의 전력소비 성향 분석, 요금제 제안 (tariff offer), 경쟁시장에서 배전회사의 효율성 향상</li> <li>· 몇 가지 clustering method (K-Means, Fuzzy K-Means, Modified Follow-the-leader, SOMs)를 사용한 결과 비교 분석</li> </ul>
[6]	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 단기 부하예측 문제를 조정하기 위한 방법 제안</li> <li>· 정확한 부하예측이 가능한 단기 모형 개발, customer profile을 기반으로 클러스터링 알고리즘을 이용하여 time series의 조합을 분할</li> <li>· Seasonal-modeling approach 제시</li> </ul>
[7]	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 확률론적 뉴럴 네트워크를 사용, 고객 부하 곡선을 클러스터링 한 것을 기반으로 Typical load profile을 제공</li> <li>· 도매전력시장에서 load profile의 중요성 강조</li> </ul>
[8]	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 자기 적응(self-adaptive) 클러스터링 기법을 이용한 고압 송전선의 빠른 고장 진단(diagnosis)</li> <li>· Clustering process of RBFNN(Radial Basis Function Neural Network)</li> </ul>
[9]	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 시스템의 안정성, 시스템스케줄링, 전기가격의 정확한 예측과 결정 등과 관련한 단기 부하예측의 중요성 강조. 복합구조의 클러스터링 알고리즘 개발과 이를 단기 부하예측에 적용하는데 관심</li> </ul>
[10]	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 정확한 부하예측은 경제급전, unit commitment를 진전시켜 발생비용을 절약, 전력시스템의 안정적인 통제기능을 향상시킴. 단기부하예측은 기상상태, 시간적인 요소와 같은 비선형 특성에 영향을 받기 때문에 Multi-layer perceptron ANN과 Deterministic Annealing 클러스터링 기법 사용을 제안</li> </ul>
[11]	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Fuzzy 클러스터링 기법을 이용하여, 빠르고 신뢰성 있는 안전도 평가 알고리즘을 제안</li> </ul>
[12]	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 전력시스템의 동적 안전도를 평가하는 알고리즘 제안</li> <li>· 기존의 클러스터링 기법에 adaptive threshold value를 이용, 수렴 제약조건으로 supervised output를 사용. 적은수의 클러스터를 이용하기 때문에 메모리와 계산시간을 줄임</li> </ul>
[13]	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Fuzzy clustering을 이용, 전력시스템의 안전도를 분석, 전력시스템의 Fuzzy C-mean clustering을 위한 수학적 모형 개발</li> <li>· 전압과 전력을 통제하는 문제에 대한 Fuzzy clustering을 이용한 접근, 기존의 전력조류 해석 알고리즘의 단점을 보완</li> </ul>
[14]	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Eigenvalue 접근법을 적용한 클러스터링 기법을 통해 복잡한 배전시스템을 간단한 구조로 표현</li> <li>· 유클리드 거리법(Euclidean distance)을 기반 클러스터링 기법 이용</li> </ul>
[15]	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 전력시스템에서 coherent generator를 identification하기 위한 효율적인 클러스터링 방법을 개발, ANN 기법을 이용</li> <li>· Coherent generators를 분류(classification) 하기 위해 Adaptive resonance theory를 사용한 K-means 알고리즘의 뉴럴 네트워크로의 적용</li> </ul>
[16]	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 전력시스템에서 coherent generators를 인지(recognition)하기 위해 Fuzzy C-means clustering을 적용, 해당클러스터링 방법을 통해서 coherent behavior를 평가하고 발전기를 그룹화</li> <li>· 클러스터링 기법은 어떠한 특성을 기준으로 해당 데이터를 특정 범주로 분류하거나 복잡한 시스템을 상대적으로 작고 간단한 구조로 분류</li> </ul>
[17]	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 전력시스템에서 송전중설, 발전확장, 배전계획, 에너지전달과 같은 전략 결정(decision-making)을 하기 위한 예상시장가격 (Market-clearing price)을 예측하는 능력이 중요</li> <li>· 부하, 시장참여자의 전략행위, 전력시스템의 신뢰도 지수 등과 같은 과거 데이터를 기반으로 SOM (Self Organizing Map) clustering을 이용, 예상시장가격에 영향을 미치는 요소를 분석</li> <li>· Three-layer back propagation network model 사용</li> </ul>
[18]	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 고객의 부하곡선(load curve)을 유사정도에 따라 clustering algorithm을 이용하여 분류, 전력사용 고객층에 대한 분석이 가능. 해당지역의 부하곡선 결정에도 영향을 줌</li> </ul>
[19]	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 특정일(holidays, working days between holidays, social events)의 24시간 이전 부하예측을 위하여 Kohonen Self-Organizing Map을 사용하는 ANN의 적용을 제안, 클러스터링 기법을 사용하여 해당 예측 알고리즘의 오류 확률을 줄임</li> <li>· Unsupervised algorithm을 사용하며, 해당 유사부하패턴 클러스터는 특정일의 topology를 예측하기 위해 학습하는 feed-forward ANN의 학습 집합(training set)을 형성</li> </ul>

**2.3 전력시스템에 적용된 클러스터링 알고리즘 적용 형태**

유사한 특성을 보이는 것들을 그룹화하는 클러스터링은 여러 공학분야에 사용되고 있다. 주어진 데이터 모집합에서 유사한 데이터들의 그룹을 어떻게 정의할 것인가, 즉 클러스터를 어떻게 볼 것인가에 따라 많은 전력시스

템 관련 문제에 적용가능하다. 전력시스템의 스케줄링 [4], 안전도 평가 [12, 13], 전력 수요 고객층에 대한 분석 [6, 7, 18], 부하 및 시장 가격 예측 [5, 6, 9, 10, 17, 19], 고장 진단 해석 [8] 등에서 주어진 데이터를 몇 개의 유사한 클러스터로 그룹화하는 것이 매우 중요하다. 특히 최근에는 주어진 수요를 몇 개의 유사한 클러스터로 그룹화 하는 것이 매우 중요하며, 시간대별 전력시스템의 운용은 수요의 크기에 따른 패턴을 가지게 되며, 유사한 패턴을 보이는 시간대의 수요들은 개별 클러스터로 그룹화하여 분석한다 [4].

**3. 결 론**

경쟁시장에서 송전, 발전 시스템 중설 및 확장, 배전계획, 에너지 매매 등과 같은 전략결정(decision making)을 위해서는 예상되는 부하 및 시장 가격을 예측하는 능력이 매우 중요하다. 클러스터링 알고리즘은 예측 분야는 물론 전력시스템 관련 문제 전반에 적용이 가능하다. 해당 문제를 해결하고자 하는 특정사용자는 몇 개의 알고리즘 중, 하나의 클러스터링 알고리즘을 선택하여 효율적인 데이터의 사용이 가능해진다. 특정 문제에 사용가능한 클러스터링 기법이 존재할 뿐 모든 문제를 해결할 수 있는 클러스터링 기법은 존재하지 않는다. 즉, 연구자는 피드백 과정을 거쳐 적절한 클러스터링 알고리즘을 선택하고 이를 전력시스템에 적용한다. 본 논문은 국내의 클러스터링 관련 연구, 사례 조사하는 것을 목적으로 하였으며 향후 급변하는 전력산업에서 클러스터링 알고리즘이 적절히 사용될 수 있음을 확인할 수 있다.

**[참고 문헌]**

[1] 장동환, 정영재, 전영환, 남해근, "안정도 지수와 에너지 마진을 이용한 불안정 발전기의 clustering법", Trans. KIEE, Vol. 54A, No.9, SEP 2005  
 [2] 오정환, 김재철, 윤상운, "사고패턴 분류에 기초한 배전계통의 적용 재패로방식", Trans. KIEE, Vol. 50A, No.3, MAR 2001  
 [3] 김강일, 유인균, "최대수요관리를 위한 코호번 신경회로망과 웨이브릿 변환을 이용한 산업체 부하예측", 2000년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 p301-303  
 [4] 김진호, 박종배, "전력시장의 발전기 발전기 보수계획을 고려한 확률적 발전 모델링", Trans. KIEE, Vol. 54A, No. 8, AUG 2005  
 [5] Gianfranco Chicco, Roberto Napoli, Federico Piglion, "Comparisons Among Clustering Techniques for Electricity Customer Classification", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 21, No.2, MAY 2006  
 [6] Marcelo Espinoza, Caroline Joye, Ronnie Belmans, Bart De Moor, "Short-Term Load Forecasting, Profile Identification, and Customer Segmentation: A Methodology Based on Periodic Time Series", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 20, No. 3, AUG 2005  
 [7] David Gerbec, Samo Ga speric, Ivan Smon, Ferdinand Gubina, "Allocation of the Load Profiles to Consumers Using Probabilistic Neural Networks", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 20, No.2, MAY 2005  
 [8] Jiang Huilan, Guan Ying, Li Dongwei, Xu Jianqiang, "Self-adaptive Clustering Algorithm Based RBF, Neural Network and its Application in the Fault Diagnosis of Power Systems", 2005 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference & Exhibition : Asia and Pacific Dalian, China  
 [9] A. Sfetsos, "Short-term load forecasting with a hybrid clustering algorithm", IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib. Vol. 150, No.3, May 2003  
 [10] Hiroyuki Mori and Atsushi Yuhara, "Deterministic Annealing Clustering for ANN-Based Short-Term Load Forecasting", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 16, No.3, AUG 2001  
 [11] M.A. Matos, N. D. Hatziahyriou, J. A. Pecas Lopes, "Multicontingency Steady State Security Evaluation Using Fuzzy Clustering Techniques", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 15, No.1 FEB 2000  
 [12] Chao-Rong Chen, Chen-Ching Liu, "Dynamic Stability Assessment of Power System Using a New Supervised Clustering Algorithm", 2000 IEEE  
 [13] Javad Moghaddas, Nadipuram R Prasad, "Fuzzy Clustering Approach to Evaluating Power System Security", 1999 IEEE  
 [14] S.S. Fouda, M.M.A. Salama, A. Vannelli, A.Y. Chikhani, "Eigenvalue approach clustering algorithm for building equivalent models of distribution systems", IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib., Vol. 142, No.3, May 1995  
 [15] Mang-Hui Wang, Hong-Chan Chang, "Novel Clustering Method for Coherency Identification Using an Artificial Neural Network", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 9, No.4, November 1994  
 [16] Shu-Chen Wang, Pei-Hwa Huang, "Fuzzy C-Means Clustering for Power System Coherency", IEEE  
 [17] Buhan Zhang, Ciling Zeng, Shaorong Wang, Peiyuan Xie, "Forecasting market-clearing price in day-ahead market using SOM-ANN, IEEE  
 [18] Cai-Qing Zhang, Ting Wang, "Clustering Analysis of Electric Power User Based on the Similarity Degree of Load Curve", Proceedings of the Fourth International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Guangzhou, 18-21, AUG 2005  
 [19] Gianfranco Chicco, Roberto Napoli, Federico Piglion, "Load pattern clustering for Short-Term Load Forecasting of anomalous days", 2001 IEEE Porto Power Tech Conference 10th-13th SEP, Porto, Portugal  
 [20] Rui Xu, Donald Wunsch II, "Survey of Clustering Algorithm", IEEE Transactions on Neural Network. Vol. 16, No.3 MAY 2005