

# 순차적 클러스터링기법을 이용한 송전 계통의 지역별 그룹핑

논 문

58-5-7

## Regional Grouping of Transmission System Using the Sequential Clustering Technique

김 현 흥\* · 이 우 남\*\* · 박 종 배† · 신 중 린\*\*\* · 김 진 호§

(Hyun-Houng Kim · Woo-Nam Lee · Jong-Bae Park · Joong-Rin Shin · Jin-Ho Kim)

**Abstract** - This paper introduces a sequential clustering technique as a tool for an effective grouping of transmission systems. The interconnected network system retains information about the location of each line. With this information, this paper aims to carry out initial clustering through the transmission usage rate, compare the similarity measures of regional information with the similarity measures of location price, and introduce the techniques of the clustering method. This transmission usage rate uses power flow based on congestion costs and similarity measurements using the FCM (Fuzzy C-Mean) algorithm. This paper also aims to prove the propriety of the proposed clustering method by comparing it with existing clustering methods that use the similarity measurement system. The proposed algorithm is demonstrated through the IEEE 39-bus RTS and Korea power system.

**Key Words** : Sequential Clustering, Transmission usage rate, Location marginal price, Regional information, FCM

### 1. 서 론

전력시스템에서 발전과 배전을 연계하는 송전망은 전력수급균형과 전력시스템의 안전운용에 있어서 매우 중요한 역할을 수행하여왔다. 단일 전력시장 체제 하에서의 송전망은 공동으로 이용하는 설비라는 인식하에 전력을 전달하는 기반시설로 지역적 운영과 계획보다 전력수급의 안정성에 더욱 큰 관점을 가지고 있었다. 그러나 전력시장의 메커니즘의 변화에 의한 경쟁적 전력시장 체제하에서는 지역적 운영과 계획이 매우 중요한 사안으로 부가되고 있다[1-2].

세계적으로 선진화된 경쟁적 전력시장 체제하에서 가격결정 방법론 변화의 가장 큰 목적은 시장참여자에게 시간과 위치에 대한 시장가격(LMP)신호를 제공하는 것이고, 이러한 시장가격을 통하여 시장 참여자에게 경제적이고 효율적인 장·단기적 사업운영을 할 수 있는 기반을 제공 하는 것이다[3-4]. 이러한 메커니즘의 변화에 따라 현재 한국 시장에서 또한 모선별 시장가격에 대한 연구가 이루어지고 있다. 그러나 현재 한국시장의 경우 모선별 한계가격에 대한 가격신호를 제공하기 보다는 한 지역에 대해서는 동일한 가격신호를 제공하여 지역 내에서는 차별화를 주지 않고자 하고 있다. 예를 들면 한국에서 시행하고 있는 지역 냉·난방중

난방요금의 경우 지역적으로 차이를 갖고 있으나, 그 편차의 상·하는 일정범위내에서 유지되도록 정부가 조정하고 있다. 이러한 논리에 의해 전력 가격 또한 유사한 메커니즘을 요구하고 있으며, 지역내의 수용가가 비슷한 가격을 지불하여 지역적 가격 차이를 줄이도록 하고 있다. 이러한 지역내의 수용가에 대해서 비슷한 가격을 주기위해서는 모선을 기준으로 각기 다른 가격을 갖는 모선을 동일한 신호를 내보낼 수 있는 지역 클러스터링이 중요하다. 현재 많은 연구에서 지역별 전력수급의 상관관계에 의해 비용과 손실등과 같은 동적 그룹화를 중심으로 연구가 이루어져 왔으며, 일부 논문에서는 동적 그룹화의 방법에 모선의 물리적 거리를 반영한 연구가 이루어지고 있다[5-9]. 동적 그룹화와 같은 특정 유사측도에 의한 그룹화는 송전망을 비현실적으로 나누는 경우가 발생하고 이러한 비현실적인 문제를 해결하기 위해 지역정보를 통해 현실화하고 있다. 그러나 두 가지의 유사측도를 동시에 고려하는 경우 어느 한쪽의 가중치에 의해서 경계선상의 모선들이 자의적으로 움직일 수 있다. 또한 가격과 지역에 의한 이해 관계 등에 의해 최적의 가중치를 찾기는 굉장히 어려운 문제가 존재한다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 본 논문은 다음과 같은 순차적 클러스터링 방법을 제안한다.

본 논문에서는 1차적으로 모선을 송전망 이용률을 기준으로 나눈다. 지역가격은 송전망 혼잡에 큰 영향을 받는다. 결국, 송전선 이용률에 따라 큰 영향을 받고 있다고 할 수 있다. 이러한 1차적 클러스터링을 기준으로 2차적으로 전기적 거리(물리적 정보)로 클러스터링하고 3차적으로 모선별 한계비용 비용을 이용하여 클러스터링 하게 된다. 2장에서는 송전선 이용률에 의한 클러스터링 방법론 3장에서는 FCM, 4장에서는 지역정보와 모선별 한계비용에 의한 클러스터링 방법론을 소개한다. 5장에서는 본 논문에서 제시한

† 교신저자, 정회원 : 건국대학 전기공학과 부교수 · 공박

E-mail : jbaepark@konkuk.ac.kr

\* 정 회원 : 건국대학 전기공학과 박사과정

\*\* 정 회원 : 건국대학 전기공학과 박사과정

\*\*\* 정 회원 : 건국대학 전기공학과 교수 · 공박

§ 정 회원 : 경원대학 전기정보공학 조교수 · 공박

접수일자 : 2009년 1월 13일

최종완료 : 2009년 3월 24일

클러스터링 방법론을 증명하기 위하여 IEEE RTS을 이용하여 타당성을 증명하고, 한국 전력시스템에 대한 사례연구를 수행한다. 6장은 결론 부분이다.

### 2. 송전선 이용률에 의한 클러스터링 방법론

시장 참여자에게 시간과 위치에 대한 지역적 정보를 주기 위한 모선별 한계가격에 대한 지금까지의 이론들은 잠재가격(Shadow Price)의 개념에 기반을 두고 있으며, 이는 구체적으로 라그랑지 승수(Lagrange Multiplier)를 등식 및 부등식 제약조건, 즉 전력수급조건, 안정도, 신뢰도 및 품질 개선을 위한 제약요소 등의 내재가치와 수치에 기반을 두고 있다. 또한 도출된 잠재가격을 기준으로 모선별 한계가격을 세 가지 구성요소, 손실비용, 혼잡비용, 에너지비용으로 분해할 수 있다. 본 논문에서는 모선별 한계가격의 구성요소 중 송전혼잡비용은 물리적 관계에 따라 송전량 제약으로 나타낼 수 있다. 송전혼잡비용은 송전선 제약용량에 의해 수급조건을 만족하기 위해서 타 송전선 혹은 비싼 발전기를 사용하므로써 발생하게 된다. 즉, 송전량 이용률에 큰 영향을 받는다고 할 수 있다. 본 논문에서 제안한 방법론을 쉽게 접근하기 위해 아래 그림 1, 2을 이용하여 설명한다. 그림 1, 2은 송전제약을 무시, 고려하였을 때의 지역별 가격을 나타내고 있다. 그 외의 제약은 무시한다.

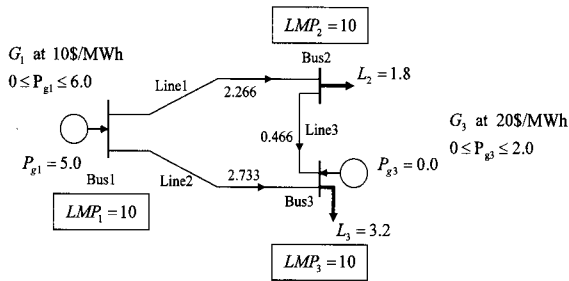


그림 1 단순 3모선 계통의 지역별 가격 (송전선 제약을 무시할 경우)

Fig. 1 LMP in a simple three-line system(ignoring transmission line constrains)

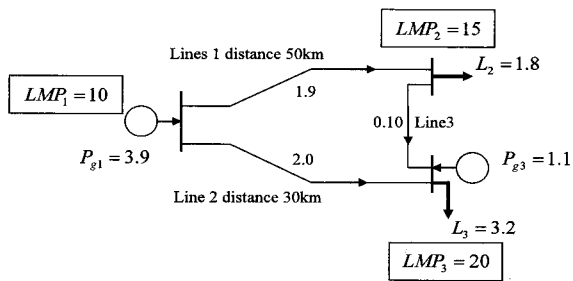


그림 2 단순 3모선 계통의 지역별 가격 (송전선 제약을 고려할 경우)

Fig. 2 Regional price in a simple three-line system (considering transmission line constraints)

그림 1과 2을 통해 알 수 있듯이 송전선제약이 발생하게 되면 송전선 혼잡비용에 의해 지역별 가격이 변화하고 있

다. 결국 송전선 제약 즉, 송전선 이용률에 의해서 지역별 한계가격이 변화하는 것을 알 수 있다.

그림 3은 IEEE RTS시스템으로 39개의 모선과 10개 발전소로 이루어져 있으며, 각 모선은 모선별 한계가격과 지역정보를 지니고 있다. 그림 3의 테스트 시스템은 버스 25, 26사이의 선로 31에서 송전선이용률이 최대를 나타내고 있다. 그림 2에서 설명한 것과 같이 선로 31을 기준으로 버스 25와 26의 지역별 한계가격은 차이를 보이게 될 것이다.

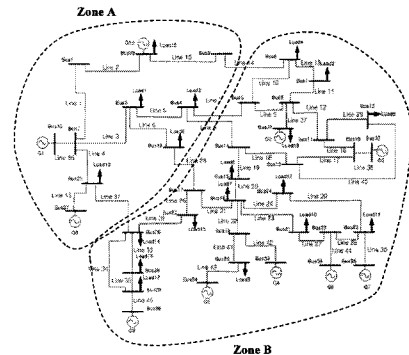


그림 3 IEEE 39모선 시스템  
Fig. 3 IEEE-39 buses RTS

그림 3의 경우는 모든 선로의 용량은 동일하다. 그러나, 단순히 송전선 이용률 기준으로 클러스터링을 수행하게 되면 송전선 용량과 같은 물리적 특성을 반영할 수 없다. 본 논문에서 이러한 문제를 해결하기 위하여 송전선 규격별로 클러스터링을 수행한다. 위의 설명을 요약하면, 송전선 용량별로 송전선 이용률이 가장 큰 선로의 모선을 기준으로 가장 먼 모선 간을 클러스터링 기준점으로 가정한다. 클러스터링의 경계는 송전량 이용률이 가장 큰 선로를 이용하지 않고 전력을 받는 모선으로 보낸다고 가정하였을 때 송전량 이용률이 큰 모선을 순차적으로 경계지점으로 정의하여 클러스터링을 수행한다. 그림 3의 경우 버스 25와 26을 기준으로 각 버스에서 전력을 전달할 수 있는 모든 송전선을 기준으로 클러스터링을 수행하게 된다. 다시 말하면, 송전선 용량을 기준으로 하여 송전량 이용률이 큰 모선을 순차적으로 클러스터링 하는 방법이다. 이와 같은 방법을 이용하게 되면 전력시스템을 2개의 그룹으로 클러스터링 할 수 있다. 클러스터링의 개수가 늘어나게 되면 그룹내 지역가격의 확률적 분포의 상관관계를 고려하여 위와 같은 방법으로 클러스터링을 다시 수행한다. 이러한 초기 클러스터링 방법은 지역정보와 지역 가격을 동시에 고려할 수 있다. 또한, 특정 모선의 인근에 집중적으로 송전제약이 발생하게 되더라도 송전량 이용률이 비슷할 것 이므로 동일한 지역으로 클러스터링이 될 것이다.

### 3. Fuzzy C-Means

본 논문에서는 지역정보를 고려한 유사측도를 이용하기 위하여 FCM을 사용한다. 본 장에서는 FCM에 대하여 간단하게 소개한다[11]. 1973년 Bezdek은 HCM(hard C-means)을 개선하여 FCM 제안되었다[10]. 제안된 FCM은 c 퍼지그

룹에서 임의의 n벡터를 나누는 역할을 하며, 유사측도의 비용함수가 최대가 되거나 혹은 비유사측도의 비용함수가 최소가 되는 것과 같은 각 그룹의 클러스터 중심점을 찾을 수 있다. 소속함수 행렬(Membership matrix)  $U$ 는 정식(1)을 만족한다.

$$\sum_{i=1}^c u_{ij} = 1 \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (1)$$

FCM에서 비용함수는 다음과 같다.

$$\mathcal{J}(U, c_1, \dots, c_c) = \sum_{i=1}^c J_i = \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n u_{ij}^m d_{ij}^2 \quad (2)$$

여기서,  $u_{ij}$ 는 0과 1사이의 값이고,  $c_i$ 는 퍼지그룹  $i$ 의 중심점이다.  $d_{ij} = |c_i - x_j|$ 는  $i$ 번째 클러스터의 중심점과  $j$ 번째 데이터 값  $x_j$ 의 유클리드 거리이다. 그리고  $m$ 은 가중치를 나타낸다. 라그랑지안 승수에 의해서, 최소값에 도달하기 위한 (2)식의 필요조건은 아래와 같다.

$$c_i = \frac{\sum_{j=1}^n u_{ij}^m x_j}{\sum_{j=1}^n u_{ij}^m} \quad u_{ij} = \frac{1}{\sum_{k=1}^c \left(\frac{d_{ij}}{d_{kj}}\right)^{2/(m-1)}}$$

결과적으로, 잘 알려진 FCM의 알고리즘은 다음과 같다.

Step 1 : 소속 함수 행렬(membership matrix)  $U$ 을 초기화한다.

Step 2 :  $c_i, i=1, \dots, c$  을 계산한다.

Step 3 : (2)식을 계산한다. 허용오차 범위내로 들어오면 중단한다.

Step 4 : 새로운  $U$ 을 계산한다.

(2)식을 최소화하기 위해서는, 유클리드 거리  $d_{ij} = |c_i - x_j|$ 가 더 작을수록, 더 작은 비용함수를 가지게 된다. 그래서 거리는 두 데이터 값 사이의 유사성을 의미한다.

#### 4. 지역정보과 모선별 한계비용을 이용한 클러스터링

본 논문에서는 송전망 이용률을 이용한 방법 다음으로 지역정보를 고려한 유사측도를 이용하여 클러스터링을 수행한다. 지역정보는 퍼지엔트로피 함수를 도출하기 위해서 잘 알려진 해밍거리(Hamming distance)를 사용하면 쉽게 풀이를 할 수 있다. 즉 2차원형태의 유클리드거리  $d_{ij} = |c_i - x_j|$ 을 적용할 수 있다. 결국, FCM에 의해서 지역에 따른 유사측도의 비용함수가 최소가 되는 각 그룹의 클러스터 중심점을 찾을 수 있으며, 지역정보를 0과 1사이의 소속등급의 정도로 그룹화를 할 수 있다.

경쟁적 시장에서 가격을 결정하는 방법론 중 시장참여자에게 위치에 따른 신호를 제공할 수 있는 모선별 한계가격은 송전혼잡, 전압제약, 손실등 특정지역에 의한 송전네트워크의 특성을 잘 반영할 수 있으며, 비용함수의 변화를 쉽게 판단할 수 있다. 그러나 모선별 한계가격을 고려한 FCM을 적용하기 위해서는 유클리드 거리( $d_{ij}$ )을 만족해야한다. [9]에서는 모선별 한계가격을 이용한 변형된 유사측도와 기하학적인 거리식을 제안하였다. 그러나 이러한 방법론은 지역정보와 모선별 한계가격을 동시에 고려함에 따른 가중치에 대한 문제를 발생하였다. 본 논문에서는 송전망 이용률을

이용한 방법론과 지역정보를 이용한 방법론을 통해 클러스터링을 수행하였다. 순차적인 클러스터링을 통하여 공통의 소속 함수와 그렇지 않은 함수로 나누워 질것이다. 공통의 소속 함수를 제외한 나머지 함수에 대하여 모선별 한계가격이 근접한 함수와의 차이를 이용하여 나머지 함수에 대한 소속을 정의하며, 만약, 근접한 함수의 모선별 한계가격이 같다면 전력을 공급하는 모선으로 즉, 송전혼잡의 원인이 되는 모선으로 정의한다. 예를 들면 그림 2에서 1번 모선이 경계에서 움직이고 있는 모선으로 가정하면 1번 모선은 2, 3번 모선 중에서 모선별 한계가격이 근접한 2번 모선과 같은 지역으로 클러스터링이 될 것이다. 또한, 2번 모선이 경계에서 움직이는 모선으로 가정하면 2번 모선은 3번 모선으로 정의가 될 것이다.

본 논문에서 제시한 순차적 클러스터링 기법을 요약하면, 첫째, 송전선 용량별로 송전선 이용률을 이용하여 클러스터링을 수행한다. 둘째, FCM을 이용하여 지역정보를 이용하여 클러스터링을 수행한다. 두 가지의 방법론에 의해 모선은 공통의 소속 함수와 그렇지 않은 함수로 나누워 질것이다. 결국 클러스터링 경계에 위치한 자의적인 모선에 대하여 마지막으로 지역가격을 이용하여 클러스터링을 수행한다.

### 5. 사례연구

#### 5.1 순차적 클러스터링 기법

본 논문에서는 IEEE RTS시스템을 이용하여 본 논문에서 제안한 순차적인 클러스터링 방법을 검증한다[12]. 또한 검증된 결과를 바탕으로 한국 전력시스템에 대한 클러스터링을 수행한다. 그림 3의 테스트 시스템은 각 모선은 모선별 한계가격과 지역정보를 지니고 있다. 클러스터링 지역의 개수를 3개로 하였다. 본 논문에서 제안한 순차적 방법의 클러스터링 결과를 유도한 후 이전연구와의 비교를 통해 차별성을 제시한다[9]. 표 1은 모선에서 각 kWh당 각 모선의 위치값 및 각 모선의 기하학적인 위치 정보를 보여주고 있다. 여기서 기하학적 위치정보는 모선의 경도(X), 위도(Y)를 나타낸다[9].

표 1 각 모선의 모선별 한계가격과 위치 정보  
Table 1 Real location information and price for buses

Bus	locational price (\$/kWh)	Location (per unit)	Bus	locational price (\$/kWh)	Location (per unit)
BUS1	29.21	( 0.9, 9 )	BUS20	45.84	(6.9, 1.7)
BUS2	28.53	(0.6, 6.2)	BUS21	45.84	(8.7, 2.8)
BUS3	31.40	(3, 7.5)	BUS22	45.84	(10, 2.8)
BUS4	32.78	(4.7, 7.5)	BUS23	45.84	(11.1, 2.8)
BUS5	37.57	(7, 7.6)	BUS24	45.84	(8.2, 4.3)
BUS6	38.26	(8.5, 7.6)	BUS25	24.98	(1.4, 4.7)
BUS7	37.81	(9.6, 8.4)	BUS26	55.00	(2.7, 3)
BUS8	37.35	(8.5, 9.1)	BUS27	51.45	(4.6, 3.5)

BUS9	30.56	(6.1, 9.5)	BUS28	55.00	(2.7, 1.5)
BUS10	40.00	(10.8, 5.8)	BUS29	55.00	(2.7, 0.8)
BUS11	39.42	(9.7, 6.3)	BUS30	28.53	(0, 6.2)
BUS12	40.00	(11.1, 7.1)	BUS31	38.26	(8.3, 6.6)
BUS13	40.58	(8.5, 5.5)	BUS32	40.00	(11.3, 5.8)
BUS14	41.74	(6.6, 6)	BUS33	45.84	(8, 1.7)
BUS15	43.79	(6.6, 4.9)	BUS34	45.84	(5.5, 1)
BUS16	45.84	(6.5, 4)	BUS35	45.84	(10, 1.6)
BUS17	47.90	(5, 4.5)	BUS36	45.84	(11.1, 1.6)
BUS18	46.40	(4.2, 6)	BUS37	24.98	(0.7, 3.7)
BUS19	45.84	(6.9, 2.8)	BUS38	55.00	(2.7, 0)
			BUS39	29.88	(3.4, 9.5)

각 모선의 모선별 한계가격은 28.53부터 55.00까지 분포되어 있으며, 39모선의 위치정보는 그림 3에 도시되어 있는 모선의 위치를 2차 평면 좌표로 가정하여 산출하였다. 1차적으로 39개의 모선을 송전망 이용률을 중심으로 3개의 그룹으로 클러스터링 하였다. 그림 5에서 볼 수 있듯이 39개의 모선을 3차원 공간에 도시하였으며, x-y평면은 위치정보를 나타내고, z축은 위치 가격을 의미한다. x-y평면은 39개 모선을 평면에 투영시킨 것이다. 그림 4-6은 순차적인 클러스터링 방법론에 대한 결과를 나타내고 있다. 그림 4는 송전망 이용률에 의해 클러스터링을 수행한 결과 이다. 그림에서 볼 수 있듯이 클러스터링 개수를 기준으로 39개의 모선들이 그룹을 형성하고 있는 것을 알 수 있다. 그림 3에서 볼 수 있듯이 IEEE39모선은 선로 31에 최대 송전선 이용률을 가지고 있다. 이를 기준으로 그림에서 표기된 점선을 기준으로 그룹이 형성이 되며, 클러스터의 개수가 증가하므로 두 개 그룹간의 확률적 분포의 상관관계에 그림 3의 오른쪽 그룹이 추가적으로 나누워 지게 된다. 모형들은 클러스터링 개수에 따른 소속 함수를 나타내고 있으며, 삼각형 모형은 그림 3의 왼쪽 그룹을 나타내고 나머지 모형은 그림 3의 오른쪽 그룹의 나누워진 것이다.

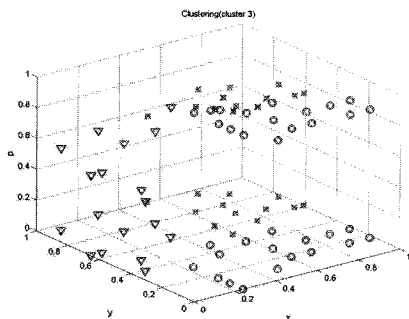


그림 4 송전망 이용률에 의한 클러스터링  
Fig. 4 Result of clustering used to transmission usage rate

송전망 이용률 의한 클러스터링 방법은 송전망 이용률이 가장 큰 모선을 기준으로 주변의 송전선의 이용률에 대해서 클러스터링을 수행하는 방법으로 잠재적으로 지역정보가 포함되어 있으나, 모선별 한계비용의 구성요소 중 송전혼잡비용만을 고려하기 때문에 지역별 한계가격과는 차이를 보일 수 있다. 초기 클러스터링 후 2차적으로 유사측도를 이용하여 클러스터링을 수행하게 된다. 이러한 클러스터링 모

든 결과를 서로 비교하여 지역내에 동일한 신호를 내보낼 수 있는 클러스터링을 정의하게 된다. 그림 5은 지역정보를 통해 클러스터링을 수행한 결과이다. 지역 정보와 송전망 이용률에 의한 클러스터링의 결과는 중심점에 의한 차이라 볼 수 있다.

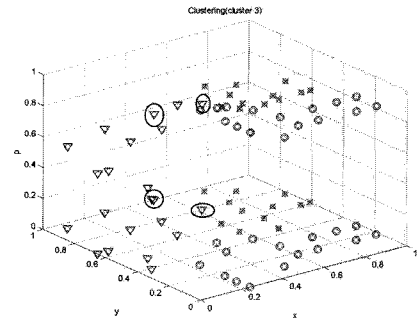


그림 5 지역정보의 유사측도에 의한 클러스터링  
Fig. 5 Result of clustering according to the similarity measure of regional information

그림 6은 지역가격을 이용하여 클러스터링한 결과이다. 그림 6에 서 볼 수 있듯이 클러스터링의 개수가 다시 변화하고 있는 것을 알 수 있다. 송전망 이용률과 2개의 유사측도에 의해서 클러스터링 한 결과를 비교하여 최종 클러스터링을 결정하게 된다. 최종 클러스터링은 표 2과 같다.

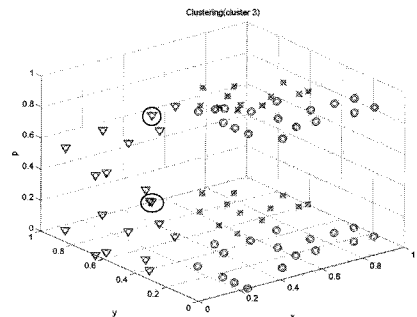


그림 6 지역가격의 유사측도에 의한 클러스터링  
Fig. 6 Clustering according to the similarity measure of regional pricing

## 5.2 기존 연구와의 비교

참고문헌 [9]에서는 RTS시스템에 대한 클러스터링 사례 연구를 수행하였다. 참고문헌 [9]는 물리적인 정보와 모선별 한계가격을 동시에 고려하는 방법으로 두 개의 정보를 동시에 고려하기 위하여 가중치를 사용하였다. 이러한 가중치의 사용은 최적의 가중치를 찾기 위한 추가적인 수치해석 방법론을 제시하여야 하는 단점을 가지고 있다. 결국 최적의 가중치를 찾지 못하면 그룹과 그룹간에 존재하는 모선들이 매번 변화하는 단점을 가지고 있다. 본 논문에는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 모선별 한계가격을 구하는 과정에서 풀이할 수 있는 송전선이용률과 같은 정보를 바탕으로 그룹간에 존재하는 모선들의 그룹을 정의할 수 있으며, 추가적인 수치해석방법론이 필요하지 않다. 본 논문에서 제안한 알고

리즘의 타당성을 증명하기 위하여 참고문헌 [9]에서 제시한 최적의 결과를 비교하였으며, 그 결과는 표 2와 같다.

표 2 IEEE39 모선의 클러스터링 결과  
Table 2 Results of clustering IEEE 39-bus

기존 연구			순차적 클러스터링		
Zone A	Zone B	Zone C	Zone A	Zone B	Zone C
Bus 1	Bus 15	Bus 5	Bus 1	Bus 16	Bus 5
Bus 2	Bus 16	Bus 6	Bus 2	Bus 17	Bus 6
Bus 3	Bus 17	Bus 7	Bus 3	Bus 19	Bus 7
Bus 4	Bus 19	Bus 8	Bus 4	Bus 20	Bus 8
Bus 18	Bus 20	Bus 9	Bus 18	Bus 21	Bus 9
Bus 25	Bus 21	Bus 10	Bus 25	Bus 22	Bus 10
Bus 30	Bus 22	Bus 11	Bus 30	Bus 23	Bus 11
Bus 37	Bus 23	Bus 12	Bus 37	Bus 24	Bus 12
Bus 39	Bus 24	Bus 13	Bus 39	Bus 26	Bus 13
	Bus 26	Bus 14		Bus 27	Bus 14
	Bus 27	Bus 31		Bus 28	Bus 15
	Bus 28	Bus 32		Bus 29	Bus 31
	Bus 29			Bus 33	Bus 32
	Bus 33			Bus 34	
	Bus 34			Bus 35	
	Bus 35			Bus 36	
	Bus 36			Bus 38	
	Bus 38				

표 2에서 볼 수 있듯이 순차적 클러스터링의 결과와 유사 측도를 동시에 고려한 결과가 유사함을 알 수 있다. 사례연구를 통해 본 논문에서 제시한 순차적 클러스터링 방법이 기존의 유사측도를 동시에 고려하는 방법과 동일한 결과를 나타내고 있음을 증명하였다. 결국 가중치에 의해 자의적으로 변화하는 경계선상의 모선들에 대해 고정된 그룹을 정의할 수 있을 것이다. 본 논문은 5.2의 사례연구를 바탕으로 본 논문에서 제안된 알고리즘을 한국전력 시스템에 적용하여 사례연구를 수행하였다.

5.3 한국전력시스템 클러스터링

1장에서 소개 하였듯이, 한국의 전력시스템은 약 700개의 버스로 구성되어 있다. 본 논문에서는 약 700개의 버스 중 물리적으로 같은 지역과 유사한 가격정보를 가지고 있는 버스들을 통합하여 대표성을 가질 수 있는 128버스에 대하여 사례연구를 수행하였다. 지역정보와 가격에 대한 정보는 Appendix를 통하여 소개한다. 한국의 전력시스템은 크게 부하량이 집중되어 있는 서울 인근 지역과 발전력이 집중되어 있는 남동지역으로 구분할 수 있다. 그래서 일반적으로 한국 전력시스템은 크게 서울, 경기지역과 그 외의 지역으로 구분되는 클러스터링과 경기권, 중부권, 호남권, 영남, 강원, 제주로 나누어지는 6구역으로 나누어지는 클러스터링을 수행하고 있다. 즉, 지역 가격에 가중치를 두는 방식과 지역정보에 가중치를 두는 방식으로 나눌 수 있다. 그러나 지역 가격과 지역정보에 가중치를 두는 방식은 클러스터링을 수행 하였을 때 지역의 경계에 위치하고 있는 모선들이 자의

적으로 매번 움직이는 문제점을 가지고 있으며, 경계위치에 대한 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서 제시한 알고리즘을 이용하여 한국 시스템의 클러스터링을 수행한다. 그림 7은 2 구역으로 클러스터링을 수행 하였을 때 결과를 나타내고 있다. 그림 7에서 볼 수 있듯이 한국의 전력시스템을 2구역으로 클러스터링을 하였을 때 수도권 지역, 충청일부지역, 영동 일부지역이 하나의 지역으로 구성 되고 있음 알 수 있다. 즉, 수도권 인근지역과 비 수도권지역으로 구분이 되고 있다. 또한, 그림 7에서는 765kV, 345kV, 154kV 순으로 클러스터링을 수행하였다.

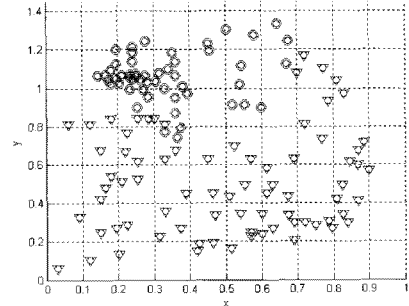
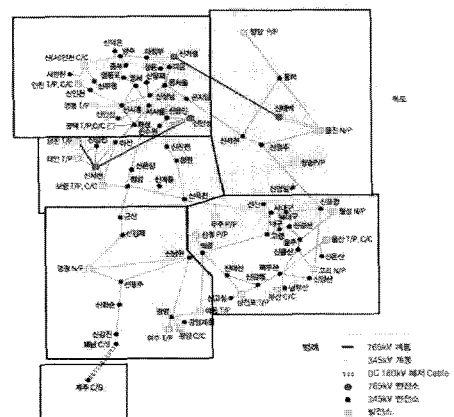


그림 7 순차적 클러스터링을 이용한 2 구역으로 나뉜 한국 전력시스템의 클러스터링 결과

Fig. 7 Result by sequential clustering method with Korea power system (cluster =2)

기존의 연구에서는 한국 전력시스템을 6개 구역으로 구분할 때, 주요 선로 혹은 행정구역에 의하여 클러스터링을 수행하고 있다. 이러한 방법론은 일부 모선에 대하여 두 가지 기준을 자의적으로 사용하는 문제를 가지고 있다. 예를 들면 신남원, 무주P/P의 경우 일부 연구에서는 행정구역상으로 호남, 전력 수급의 계획상 영남으로 포함되는 경우가 있다[14-15]. 그림 8은 한국 전력시스템을 6개 구역으로 구분 되었을 때 결과를 나타내고 있다. 그림 8에서 볼 수 있듯이 한국 전력시스템은 강원 일부지역과 충청일부지역이 포함된 수도권 지역, 충청 지역, 호남지역, 경북 일부지역과 강원지역으로 구성된 영동지역, 경북일부지역과 경남지역으로 구성된 영남지역, 제주도로 클러스터링 되고 있음을 알 수 있다. 본 논문에서 제시한 방법론을 통하여 자의적으로 움직이는 모선에 대하여 클러스터링을 위한 기준을 제시하였다.



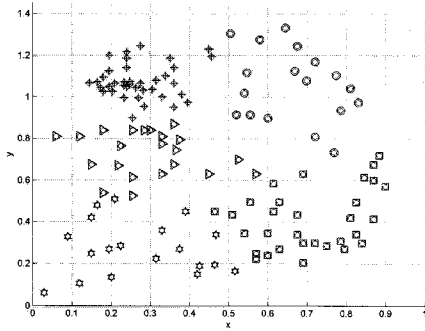


그림 8 순차적 클러스터링을 이용한 6 구역으로 나뉜 한국 전력시스템의 클러스터링 결과  
 Fig. 8 Result by sequential clustering method with Korea power system (cluster =6)

6. 결 론

본 논문에서는 한지역내에서는 동일한 지역 신호를 갖는 순차적인 클러스터링 방법을 제시하였다. 기존의 연구에서 가중치에 의해 자의적으로 움직이는 모선들에 대해서 순차적인 클러스터링 방법을 통해 해결할 수 있는 방법을 제시하였으며, 송전망이용률, 피지엔트로피 측도에 의한 거리측도 및 지역정보를 이용하였다. 제안된 클러스터링 기법을 IEEE 39 모선신뢰도 테스트 시스템을 통하여 유용성을 입증하였으며, 이를 통해 한국 전력시스템에 적용하였다.

기존의 연구에서는 한국 전력시스템의 지역 클러스터링을 행정구역, 전력 수급계획, 관리 주체에 의하여 클러스터링을 수행하였다. 그러나 본 논문에서 제시한 방법론을 통하여 북상선로나 행정구역을 통한 지역 클러스터링의 타당성에 증명하였다. 본 논문에서 제시하는 순차적인 클러스터링 방법은 각 클러스터링과의 결과에 대해 비교함으로써 경계선상에 존재하는 일부모선의 변동을 막을 수 있다. 본 논문에서는 송전망 이용률, 지역정보, 지역가격을 기반으로 클러스터링을 수행하고 있다. 즉 시간 t를 고려하지 않는 정적 알고리즘이다. 그러나 실제 환경 하에서는 송전망 이용률, 지역가격의 경우 전력 시스템의 계절별 특성, 부하의 증가에 따라 변화한다. 즉 물리적인 정보와 같이 시간 t에 영향을 받지 않는 정보만을 이용하면 모선들의 변동을 초기에 막을 수 있다. 결론적으로 시간에 영향을 받는 정보와 그렇지 않는 정보를 이용하는 클러스터링은 각기 장단점을 가지고 있다. 본 논문의 예제에서 제시한 우리나라 시스템을 2개 혹은 6개로 나누는 이유와 같다고 할 있다. 이에 관한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 논문은 지식경제부의 에너지자원 인력양성 학술진흥 사업(과제번호:2007-E-NC03-P-01-0-000)에 의해 수행되었으며, 관계기관에 감사드립니다.

참 고 문 헌

[1] I.J. Perez-Arriga, et al., "Marginal pricing of transmission service: An analysis of cost recovery", IEEE Transactions on power system, Vol. 10, No. 1, February 1995.

[2] Francois Leveque, 'Transport pricing of electricity networks'.

[3] L. Chen, H. Suzuki, T. Wachi, and Y. Shimura, "Components of Nodal Prices for Electric Power Systems", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 17, no. 1, Feb. 2002.

[4] T. Wu, Z. Alaywan, and A. Papalexopoulos, "Locational Marginal Price Calculation Using the Distributed-Slack Power Flow Formulation", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 20, no. 2, May. 2005.

[5] W. Li and A. Bose, "A coherency based rescheduling method for dynamic security", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 13, No. 3, 810-815, 1998

[6] A.M. Gallai and R.J. Thomas, "Coherency Identification for large electric power system", IEEE Trans. on Circuits and Systems, Vol. Cas-29, No. 11, 777-782, 1982

[7] Liu Xuecheng, "Entropy, distance measure and similarity measure of fuzzy sets and their relations, Fuzzy Sets and Systems, 52, 305-318, 1992

[8] Jiulun Fan, Weizin Xie, "Distance measure and induced fuzzy entropy", Fuzzy Sets and Systems, 104,305-314, 1999

[9] S.H. Lee, J.H. Kim, S.H. Jang, J.B. Park, Y. H. Jeon, S. Y. Sohn, "An Advanced Fuzzy C-Mean Algorithm for Regional Clusering of Interconnected Systems", LNAI, pp606-615, 2007

[10] J.C. Bezdek, *Fuzzy Mathematics in Pattern Classification*, Ph.D Thesis, Applied Math. Center, cornell Univ.,Ithaca, 1973

[11] J.S.R. Jang, C.T. Sun, and E. Mizutani, *Neuro-Fuzzy and Soft Computing*, Prentice Hall, 1997

[12] The IEEE Reliability Test System-1996, A report prepared by the Reliability Test System Task Force of the Application of Probability Methods Subcommite, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 14, Issue3, 1999

[13] 한국 전력시스템 Kpx.or.kr

[14] 연구 보고서, "지역별 전력수급 계획 수립기준 정립에 관한 연구", 2008.3. kpx.or.kr

[15] Y.S. Cho, G.S.Jang, "Korean Power System Security Analysis Using Benchmark Systems", KIEE International Trans. on Power Engineering. Vol. 5-A, No. 3,99.207-213, 2005

APPENDIX

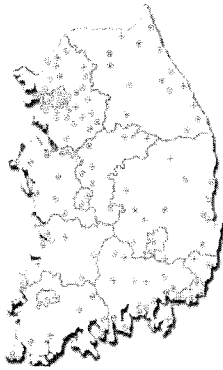


그림 9 한국 전력시스템의 대표 버스

Fig. 9 Typical of buses in Korea power system

물리적 지역정보는 경도(X), 위도(Y)를 나타내며, 참고문헌 [14]를 참고하였다.

표 3 지역정보와 지역가격 정보

Table 3 Location information and price in Korea power system

Num	Name	LMP	Position	
			X	Y
1	Hwasung S	78.31	7.8	35.2
2	Ansan	73.05	6	34.2
3	Pengtak TP3	66.73	8.5	30
4	D Osan	64.3	9.5	31.8
5	West Seoul M2	63.5	7	35.5
6	D Anyang	62.18	6.5	35
7	Uiwang	62.09	6.8	34.2
8	West Suwon	61.95	7.8	33.2
9	YeongdeungpoTR	61.49	7.8	35.7
10	Sinsiheung M2	60.36	5.8	34.8
		...		
119	Jochiwon	26.35	11	27
120	Yeonggang #6	29.49	3	11
121	Chunan	19.89	10	28
122	Borung ST#4	28.21	5	22.5
123	Onyang	17.94	9.5	28
124	Dangjin	15.95	6	28
125	Sinseosan TR	14	4	27
126	Asan M2	13.81	8.5	28
127	Tean #6	15.26	2	27
128	Habchun #1G	34.37	17	14.5

저 자 소 개



김 현 홍 (金鉉烘)

1977년 12월 28일생. 2004년 전주대 공대 전기공학과 졸업. 2006년 건국대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 건국대학교 대학원 전기공학과 박사과정.  
Tel : 02-458-4778, Fax : 02-444-1418  
E-mail : hhblue@konkuk.ac.kr



이 우 남 (李雨南)

1979년 6월 19일생. 2005년 건국대 공대 전기공학과 졸업. 2007년 건국대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 건국대학교 대학원 전기공학과 박사과정.  
Tel : 02-458-4778, Fax : 02-444-1418  
E-mail : mansmind@konkuk.ac.kr



박 종 배 (朴宗培)

1963년 11월 24일생. 1987년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 건국대학교 공과대학 전기공학과 부교수.  
Tel : 02-450-3483, Fax : 02-444-1418  
E-mail : jbaepark@konkuk.ac.kr



신 중 린 (慎重麟)

1949년 9월 22일생. 1977년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 건국대학교 공과대학 전기공학과 교수.  
Tel : 02-450-3487, Fax : 02-444-1418  
E-mail : jrshin@konkuk.ac.kr



김 진 호 (金眞鎬)

1971년 11월 27일생. 1995년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1997년 동대학 대학원 전기공학부 졸업(석사). 2001년 동대학 대학원 전기컴퓨터공학부 졸업(박사). 2004년 부산대 전기공학과 조교수. 현재 경원대 전기공학부 조교수  
Tel : 031-750-8825, Fax : 031-750-8571  
E-mail : kimjh@kyungwon.ac.kr