



군집분석을 이용한 TOD Plan의 시간경계 결정 방법에 관한 연구

Determination of TOD Plan Breaking Points Using a Clustering Analysis

정영제* 김도경** 김영찬*** 황경수**** 김유찬*****
Jeong, Young Je Kim, Do Gyeong Kim, Young Chan Hwang, Kyung Soo Kim, Yoo Chan

1. 개요

1.1 연구의 배경 및 목적

신호교차로 운영 변수는 주기(Cycle), 현시(Split), 현시순서(Phase Sequence), 연동(Offset)이 해당되며, 이를 유사한 교통특성을 나타내는 시간대로 구분하여 신호교차로 운영계획을 수립한 것이 현재 국내에서 가장 일반적으로 사용되고 있는 TOD(Time Of Day) 제어이다. 또한 이때 적용되는 시간대별 신호운영변수 적용계획을 TOD Plan으로 정의한다.

90년대 중반 이후 활발히 진행되어온 지자체별 도시단위 ITS 사업을 통해 첨단화된 실시간 신호제어시스템이 적용되고 있으나, 이러한 동적인 신호제어 또한 시스템 운영을 위해서는 신호제어 파라메타 결정을 위해 정적인 신호제어에 해당하는 TOD Plan을 기초로 한다. 따라서 TOD Plan의 최적 구성을 결정하는 과정은 신호교차로의 효율성 제고를 위해 매우 중요한 작업에 해당된다. TOD Plan 작성 시 가장 선행되는 작업은 첨두시와 비첨두시의 시간 경계를 결정하는 작업이며, 현재 국내에서는 운영자의 경험에 기초한 시간대 구분 또는 일반적 첨두시로 정의되는 시간대 구분을(오전 첨두 7~9시, 오후첨두 17~19시) 적용하는 경우가 주류를 이루고 있다. 이러한 현상은 신호시간계획 수립을 위한 공인된 매뉴얼의 부재 때문인 것으로 판단된다. 본 연구에서는 교통신호운영설계 매뉴얼 작성의 기반조성을 목적으로 통계분석의 군집분석(Cluster Analysis)을 적용하여 정량적 수치에 근거한 시계열적 교통량 자료의 구조적 단순화를 도모함으로써 TOD Plan 작성 시 시간적 경계(Breaking Point) 결정을 위한 방법론을 개발하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

군집분석을 이용한 TOD Plan의 시간경계결정을 위해 본 연구에서는 독립교차로를 대상으로 하며, 이후 사례연구를 통해 현황과 개선방안에 대한 효과분석의 과정을 수행하였다. 군집분석의 다양한 방법론 중 24시간 교통량 자료의 특성상 시계열적 자료의 동질화에 적합한 분석방법을 탐구하였다.

2. TOD의 신호시간계획

교통신호운영을 위한 다양한 제어유형 중 TOD 제어는 일중 동일한 교통량 패턴 또는 수요교통량을 나타내는 시간대를 구분하여 일정 시간그룹으로 분할함으로써 고정된 신호시간을 부여하는 방법에 해당되며, 일반적으로 <그림 1>과

* 정회원 · 서울시립대학교 교통공학과 박사과정 · 공학석사 · 02-2210-2671 (E-mail: sleep108@uos.ac.kr)
** 정회원 · 서울시립대학교 교통공학과 교수 · 공학박사 · 02-2210-5739 (E-mail: dokkang@uos.ac.kr)
*** 정회원 · 서울시립대학교 교통공학과 교수 · 공학박사 · 02-2210-2768 (E-mail: yckimm@uos.ac.kr)
**** 정회원 · 제주대학교 행정학과 교수 · 공학박사 · 064-754-2971 (E-mail: kshwang@cheju.ac.kr)
***** 정회원 · 경기도청 교통도로국 교통과 교통전문위원 · 공학석사 · 031-850-3033 (E-mail: chane75@gg.go.kr)



같이 오전·오후첨두 및 비첨두로 구분한다. 교통량 대응제어(Traffic Responsive Control)와 같이 실시간 신호시간제계를 가지지는 않으나 전체 교차로가 교통정보수집제계를 가지지 못하는 현실에 따라 가장 일반적으로 이용되는 신호교차로의 제어방법에 해당된다. 이와 더불어 TOD 제어의 신호시간계획은 일반적으로 교통대응제어 등 실시간 신호제어 운영변수 산정의 기초가 되며, 고장 및 오류에 대비한 백업 신호제어 기능을 가지게 된다. 이러한 TOD 제어를 위해서는 일반적으로 두가지 과정을 거치게 된다. 첫째, 일중 첨두시와 비첨두시로 전환되는 시간적 경계를 결정하는 과정과 둘째, 연동화된 교차로 중 중요교차로를 선정하는 과정, 셋째, 개별 교차로의 각 시간대별 현시계획을 수립하는 과정이 이에 해당된다.

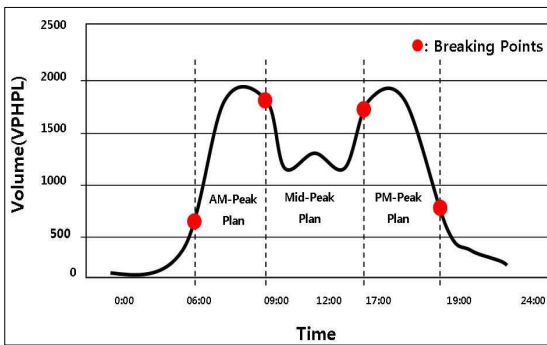
3. 선행 연구 고찰

TOD Plan의 최적 시간경계 결정을 위한 다양한 방법론이 개발 및 적용되어 왔으며, 이로 인해 발생하는 편익의 효과분석이 주류를 이루고 있다. Smith(2001) 등은 계층적 군집분석 알고리즘을 이용한 데이터마이닝기법을 적용하여 최적 시간경계를 결정하는 방법론을 개발하였으며, 이는 TOD Plan의 시간대별 신호시간 계획이 변경되는 과정에서 변이기간 동안의 비용분석을 통해 최적 시간대의 수를 구성하는 과정이 골자를 이루고 있다. 즉 TOD Plan의 동일 신호시간이 구성되는 시간대의 윤곽을(Outline) 제시하는데 핵심을 두며, 이후 최종 시간대 구성을 결정하는데 있어서는 엔지니어의 판단에 따르도록 하고 있다. 통계적 군집화 분석에 기초한 시간경계 결정의 또 다른 연구로서 Park(2004) 등은 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm)을 이용한 휴리스틱한 군집화 기법을 적용하였으며, 분석결과 실제 적용이 가능한 유용한 시간경계가 산출되었다. 또한 자동화된 시간경계 프로세스를 개발함으로써 향후 엔지니어의 자료 분석에 있어 자료적용의 용이성을 추구하였다. 그러나 HCM 등을 기반으로 하는 평가 체계가 적용되지 못함으로써 산출된 시간 경계의 효과분석에 제한을 가진다. Hua와 Faghri(2005)는 Dynamic Programming(DP)을 이용한 TOD Plan의 시간경계 결정 방법론을 개발하였다. 이는 주기, 현시, 연동 등 신호운영변수 조합의 최적구성을 탐색하는 방법에 해당하며, 이 경우 분석시간대의 길이가 클 경우 최적해를 찾는 과정은 매우 난해해질 수 있다. 또한 본 방법은 분석시간이 길고 교통량의 미미한 차이에도 분리된 그룹을 제시하는 문제를 나타내었다. 또한 신경망이론을 적용한 시간경계 결정에 관한 연구에서 실시간 교통량 정보를 기반으로 교통량 패턴을 재정의하는 과정에 집중하였다. Hauser(2001) 등은 Data Mining Tool을 이용하여 TOD Plan의 시간경계를 결정하는 방법론 개발을 연구하였다. Data Mining Tool의 계층적 군집분석을 적용하였으며, 15분 단위의 교통량과 점유율을 적용하였다. 군집분석을 이용한 시간경계의 결정과 더불어 과거 교통량 및 점유율의 복구과정에 적용할 수 있음을 제시하였으며, 여타 선행연구들과 유사한 과정으로 ITS의 신호제어시스템과 결합하여 모니터링 체계를 구축함으로써 시간경계결정 자동화 프로세스를 구축하였다. 또한 시뮬레이션 분석을 통해 신호시간의 전이기간(Transition) 동안 발생하게 되는 비용을 분석하여 최적의 신호시간대를 구성하는 방법론을 개발하였다. Scherer(2000)등은 Data Mining tools를 통해 교통 조건에 따른 TOD Plan의 시간적 변동시기를 정의하였으며, 통계적 Clustering 분석과 TOD Plan을 시간대 별로 분류하는 기술을 포함한 Data mining tool을 적용한 연구를 수행하였다. Hierarchical Cluster analysis를 기반으로 한 연구를 통해 TOD의 시간대별 분류를 정하는 break point를 명시하였으며, TOD에서의 break point 이전 및 확장 등의 시간 변동 시기를 정의하였다. 또한 사례연구에서는 회귀 분석모형을 통해 교통 조건 변화에 따른 TOD 시간 간격을 자동적으로 모니터링 할 수 있다는 것을 증명함으로써 신호시간 설계 방안을 제시하였다. Lei Jia(2006) 등은 Artificial Immune Theory를 기반으로 하는 Data Clustering 알고리즘을 적용하였으며, TOD Plan의 수립체계를 제시하였다. 본 연구의 알고리즘은 불합리하게 정의되어온 TOD Plan의 작성에 있어 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm)을 기반으로 한 hierachical clustering 기법을 적용하였으며, TOD Plan의 새로운 작성법을 제안함과 동시에 합리적인 TOD Plan 작성을 통한 발전된 도시교통 제어 전략을 제안하였

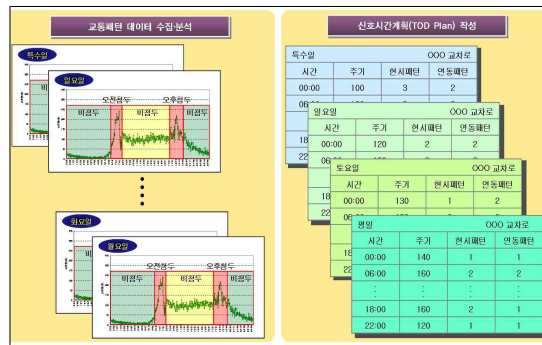


다. 상기 논문은 신호제어시스템으로부터 수집되는 24시간 교통량정보를 이용하여 대규모 네트워크에서 신호제어를 위한 TOD Plan의 수립 방법론을 제시하였다. 본 방법론에서는 계층적 방법의 군집화 분석이 적용되었으며, 대규모 네트워크에서 수집되는 정보를 실시간으로 분석하여 군집화를 수행함으로써 TOD Plan의 시간경계(interval)을 결정할 수 있도록 하였다. 이를 통해 교통신호제어시스템의 TOD 작성 프로세스에 탑재될 수 있도록 하였으며, 현재 버지니아 교통국의 Northern Virginia Smart Signal System에 적용되어 운영 중에 있다.

선행연구에 대한 종합적 검토 결과 대부분의 연구에서 계층적인 군집화분석(Hierarchical Clustering)을 적용 중에 있으며, 또한 신호제어시스템의 TOD Plan 자동 산정 프로세스의 일환으로 개발·적용 되고 있는 추세이다. 이러한 경향은 계층적 군집분석의 경우 군집내부 개체들의 유사성을 측정하는 방법이 다양하며, 매우 효율적인 군집의 분할을 가져올 수 있는 특징이 반영된 것으로 판단된다. 그러나 신호제어시스템에서 군집의 수 즉, TOD Plan의 시간경계의 수는 필요에 따라 사용자 정의에 의해 구분되어질 필요가 있으며, 이에 따라 비계층적 군집화 방법을 이용한 방법론 개발이 요구된다.



<그림 1> TOD Plan Breaking Points의 정의



<그림 2> TOD Plan의 정의

<표 1> 선행 연구별 주요 내용

연구자	시간경계 결정방법	주요 연구결과
Smith(2001)	Hierarchical Clustering	자동화 시간경계 결정 방법론 제시
Park(2004)	Genetic Algorithm	시간경계 프로세스 개발
Faghri(2005)	Dynamic Programming Neural Network	최적 신호제어변수 탐색 및 교통패턴 재산정
Hauser(2001)	Hierarchical Clustering	시간경계 프로세스 개발
Scherer(2000)	Hierarchical Clustering	시간경계 프로세스 개발
Lei Jia(2006)	Hierarchical Clustering	시간경계 프로세스 개발

4. 시간경계 결정 방법론

계층적(hierarchical) 군집화 방법은 TOD Plan의 시간경계 결정을 위해 다양한 형태로 적용되어 왔으며, ITS 교통신호 제어시스템의 TOD Plan 자동산정 프로세스 등에 적용되어 그 성과가 확인된바 있다. 본 연구에서는 비계층적(non-hierarchical) 군집분석 중 분해적 (Partitioning) 군집분석을 적용하였으며, 이는 분석 초기 부적절한 군집결합이 일어났을 경우 이를 회복할 수 없는 계층적 분석을 보완하기 위한 방법에 해당한다. 이 중 분석 데이터의 적용, 분석 시 데이터 저장공간의 확보 등에 있어 용이함이 확보되는 MacQueen(1967)이 제안한 K-Means Method를 적용하였는데, 그 이유는



분석 전 총 군집의 수를 결정할 수 있기 때문이다. K-Means Method는 다음과 같은 프로세스를 수행하게 된다.

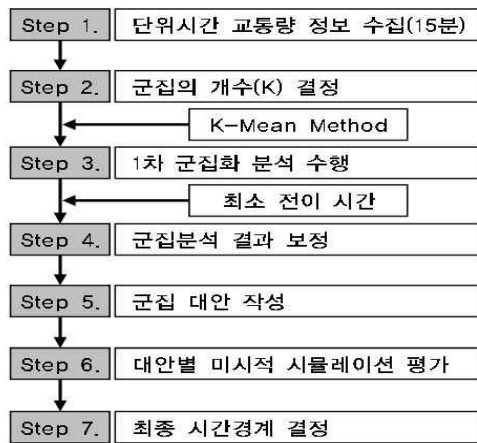
- 첫째, k개의 임의의 개체를 초기 중심값으로 선정한다.
- 둘째, 남아있는 (n-k)개의 개체들을 군집들의 중심과 가장 가까운 군집으로 배정한다.
- 셋째, 개별 군집에 대해 거리의 제곱평균을 최소로 하는 새로운 중심점을 계산하며, 이때 산술평균이 적용된다.
- 넷째, 위의 둘째, 셋째 과정을 지속적으로 반복한 이후 어느 개체도 다른 군집에 재배정되지 않는 경우 이를 최종 중심값(centroid)으로 선정하며, 이 군집에 속하는 개체들의 군집화 과정은 종료하게 된다.

$$d_{Y_v C_i} = \sqrt{(Y_v - C_i)^2} \tag{1}$$

$$C_i = \frac{1}{n_i} \sum_j X_{ij} \tag{2}$$

- 여기에서,
- K : 총 군집의 수(분석자가 사전에 정의)
 - $d_{Y_v C_i}$: Y_v 와 C_i 의 거리
 - Y_v : 개별 변수
 - C_i : 클러스터 i 의 평균($i=1, 2, 3, \dots, K$)
 - n_i : 클러스터 i 의 총 개체수
 - X_{ij} : 클러스터 i 의 j 개체

K-Mean Method는 군집화 과정에 있어 특이치에 과도한 영향을 받게 되나 이는 군집의 수를 늘리는 방법 및 군집의 중심선정에 있어 절사평균을 적용하는 방법으로 보완이 가능하다. 이와 더불어 분석 사전에 결정하게 되는 총 군집의 수에 따라 군집의 중심이 좌우되며, 각 군집간 유사한 개체수를 가지려는 경향을 나타낸다. 본 연구에서는 TOD Plan의 시간경계 결정을 위해 아래 그림과 같이 총 7단계의 방법론을 제시하였다. 그 첫 번째 과정은 군집분석을 위한 단위시간 당 교통량정보의 수집이며, 본 분석에서는 15분으로 결정하여 도로용량편람의 신호교차로 평가를 위한 분석기간(T)와 동일하게 설정하였다. 이는 동일한 교통강도가 최소 15분 동안 지속됨을 가정하는 것으로 향후 군집분석에서는 총 개별요소의 수를 결정하게 되며, 이를 과도하게 작은 단위로(예를 들어 5분 미만) 분석 시 교통량의 일시적 변동(Traffic Fluctuation)에 따른 동일 시간대의 다양한 군집의 변화가 발생되어 시간경계 결정의 어려움이 야기될 것으로 판단된다. 다음으로 군집의 총 개수(K) 선정하게 되는데 이때 과도한 군집수를 설정 시 잦은 신호시간 변동으로 인접 신호교차로 간 연동의 전이시간을 고려하지 못하는 단점이 있다. 이후 동일 신호시간의 최소지속시간을 의미하는 최소전이시간을 고려한 군집분석의 결과보정과정을 거치게 되며, 군집의 대안 작성, 시뮬레이션 평가, 최종 시간경계 결정의 순서를 가진다. 여기에서 최소 전이시간은 신호운영변수 현장적용에 있어 신호시간 변경과정에서 연동값 등 신호운영변수가 전체 교차로에 완벽히 적용되기 위한 시간을 의미하는 것으로 신호운영변수의 조합이 현장에서 실제적 기능을 발휘하기 위해 필요로 하는 최소 시간을 의미하는 것이며, 최소 전이시간을 고려한 군집화 분석결과의 보정과정은 다음의 두 가지 전제에 따라 수행한다. 첫째, 동일 신호시간의 최소 지속시간 즉, 연속된 시간대의 최소 군집의 크기는 1시간으로 결정하며, 이는 신호시간의 현장적용에 있어 잦은 신호시간 변동으로 인한 연동의 전이로 인해 발생하는 지체의 악화를 방지하기 위한 목적을 가진다. 여기에서 연동의 전이는 신호제어시스템에서 주기 및 현시의 변화로 인해 연동값에 변화가 발생될 경우 점진적 시간조정을 통해 목표로 하는 연동에 도달하게 되는데, 이때 소요되는 시간길이를 의미한다. 둘째, 연속된 시간대의 최소전이시간이 1시간 미만일 경우 인접한 군집단위로 이동하여 보정하며, 최소 전이시간 길이로 정의된 1시간은 공학적 해석에 의한 결과가 아닌 분석의 수행을 위한 경험적 수치에 해당된다.



〈그림 3〉 시간경계 결정 방법론

5. 사례분석

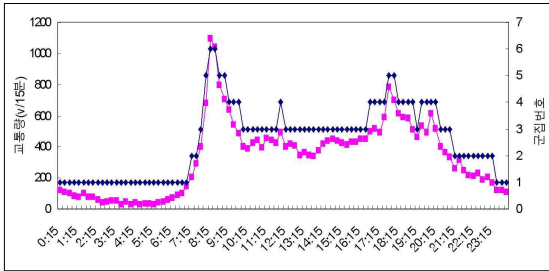
군집분석을 이용한 TOD Plan의 시간경계결정 방법론을 제시한 본 연구의 사례분석을 위해 최근 ITS 사업을 완료하여 안정화 단계에 접어든 울산광역시의 교통량 정보를 이용하였다. 독립교차로를 대상으로 본 분석방법론을 적용하였으며, 24시간 전일을 분석 대상으로 하였다. 또한 교통량 자료의 경우 2006년 5월 총 30일 간의 교통량 자료를 동일 시간대별로 평균한 자료를 적용함으로써 일별 평균 교통량분포 변이를 최소화 하였다. 군집분석을 위한 사전정의 사항으로 앞서 기술한 바와 같이 군집의 개수는 총 6개로 분할하였으며, 동일 신호시간이 지속되는 시간길이를 의미하는 최소전이시간은 60분으로 설정하였다.

분석결과 <표 2>와 같이 일중 총 10개의 시간경계를 나타내었으며, 심야시간대 비침두시와 침두시가 극명하게 구분되는 결과가 도출되었다. 최소전이 시간을 1시간으로 적용하여 보정한 결과 침두시 및 비침두시 1시간단위의 신호경계가 형성되었으며, 이러한 경향은 교통량의 급격한 변화가 발생하는 오전침두시에 더욱 명확하게 발생되었다. 현황 대비 침두시의 시간경계가 세분화된 결과를 도출하였으며, 현황에서 오전 6시 30분 이후 일률적인 오전 침두 신호시간적용에 있어 1시간 단위로 세분화된 결과를 도출하였다. 이러한 결과는 오후침두시 또한 동일한 세분화된 경향을 나타내었으며, 오후 침두의 경우 현황 20시 30분 이후 야간 비침두로 운영하던 시간경계가 오후 침두와 야간 비침두 사이 약 2시간의 전이시간대가 형성되는 것을 확인할 수 있었다. 본 방법론의 효과분석을 위해 미시적 시뮬레이션 분석도구인 TSIS CORSIM을 이용한 지체시간 분석을 수행하였으며, 분석 시간대는 <그림 7>과 같이 교통량 변화에 따른 시간경계의 효율성을 파악하기 위해 오전 및 오후 침두 전후 2시간 이상을 대상으로 하였다. 분석에 있어 입력교통량은 30분 단위로 적용하였으며, 현황과 본 분석방법 적용 모두 시간대별로 최적화된 신호시간을 적용함으로써 시간경계의 변화로 인한 효과만을 파악할 수 있도록 하였다. 분석결과 <그림 8>, <그림 9>와 같이 오전 및 오후 침두시 모두 교통량이 최고 수치를 나타내는 침두의 정점에 해당되는 시간대에서는 현황과 본 연구 모두 최적화된 신호시간을 적용한 결과로 비교적 유사한 지체시간을 나타내었으나, 침두시 전후로 전이시간대를 형성하여 침두시 이전 지체의 급격한 증가 지연 및 침두시 이후 현황 대비 지체 해소시간의 감소 경향을 명확히 나타내었다. 이러한 결과는 독립교차로의 분석에 따라 비교적 지체변화가 미미하였으나 향후 연동화된 신호교차로의 축 또는 네트워크에 대해 본 방법론의 적용 시 보다 뚜렷한 개선효과를 관찰할 수 있을 것으로 판단된다.

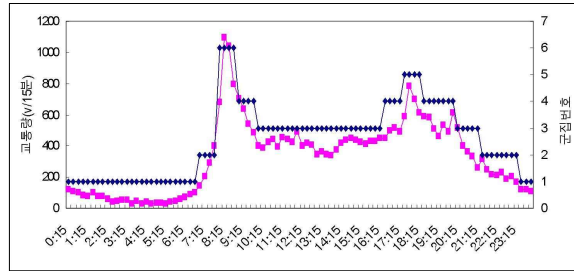


〈표 2〉 시간경계결정 분석결과(전이시간 보정 결과)

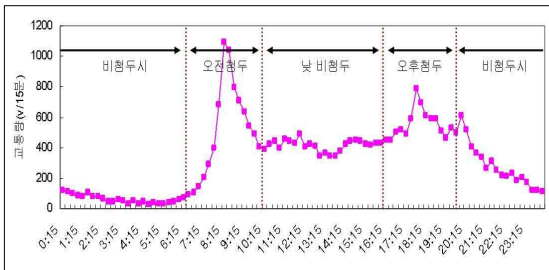
시간대	시간 경계	군집 번호	군집 개체수	시간길이	시간대	시간 경계	군집 번호	군집 개체수	시간길이
시간대1	7:30	2	4	1시간	시간대6	17:30	5	4	1시간
시간대2	8:30	6	4	1시간	시간대7	18:30	4	7	1시간 45분
시간대3	9:30	4	4	1시간	시간대8	20:15	3	5	1시간 15분
시간대4	10:30	3	26	6시간 30분	시간대9	21:30	2	8	2시간
시간대5	16:30	4	4	1시간	시간대10	23:30	1	30	7시간 30분



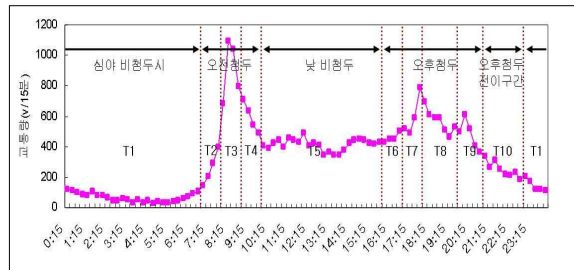
〈그림 4〉 최소전이시간 반영 전 군집분석 결과



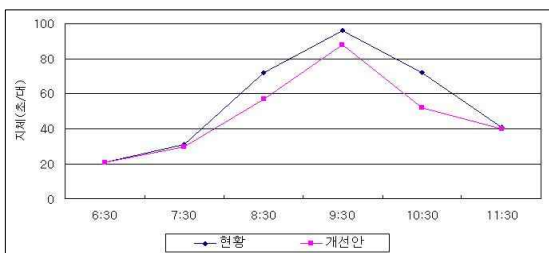
〈그림 5〉 최소전이시간을 고려한 군집분석 보정 결과



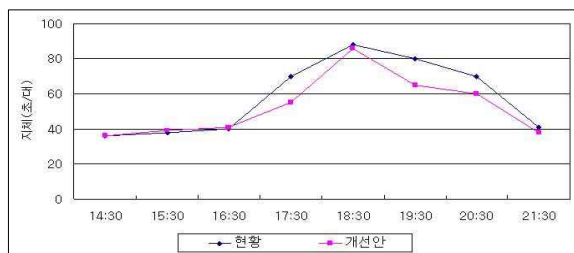
〈그림 6〉 TOD Plan 시간경계 현황



〈그림 7〉 TOD Plan 시간경계 결정 방법론 적용 결과



〈그림 8〉 효과분석 결과(오전 첨두)



〈그림 9〉 효과분석 결과(오후 첨두)

6. 결론 및 향후 연구과제

비계층적(Non-heirarchical) 군집화 분석방법 중 분해적(Partitioning) 방법에 해당하는 K-Mean Method를 적용하여 시계열적 교통량 데이터의 군집화를 수행함으로써 TOD Plan의 시간경계를 결정하는 방법론을 제시하였다. 본 방법의



적용으로 총 군집의 수를 사전에 분석자가 정의하게 됨으로써 TOD Plan의 신호시간대의 수와 신호시간의 최소유지 시간길이를 결정할 수 있도록 하였다. 이는 향후 신호시간의 현장적용에 있어 잦은 신호시간변경으로 인한 연동의 전이를 최소화하기 위한 목적을 가진다. 본 분석방법론을 이용하여 실시간 교통량 정보에 적용한 결과 첨두지체의 지연 및 첨두시 이후 보다 원활한 지체의 해소효과를 가져오는 것을 확인하였다. TOD Plan의 시간경계 결정을 위한 본 연구는 TOD Plan 작성을 위한 매뉴얼 작성의 기반 조성을 목적으로 하며, 다음과 같은 향후 연구를 수행함으로써 TOD Plan 작성의 기준을 제시하고자 한다. 첫째, 연동을 고려한 일련의 연속된 교차로에 대한 시간경계분석과정이 요구되며, 이는 접근로별 교통량의 군집화 과정이 고려되어 저야 할 것으로 판단된다. 둘째, 신호시간의 지속시간을 의미하는 최소전이시간의 적정 수치를 결정하는 방법론의 제시가 필요하다. 본 연구에서는 가정을 통해 1시간의 최소전이시간을 제시하였으나 이에 대한 공학적 분석이 요구된다. 셋째, 군집화될 총 개체수를 의미하는 분석단위시간 길이의 최적 시간 제시가 요구된다.

참고문헌

1. 강두양, “군집분석알고리즘의 구현과 효율성 비교” , 석사학위논문, 성균관대학교, 2002, p.6-7.
2. MacQueen, J.B., “Some methods for classification and analysis of multivariate observations” , Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability Statistical Laboratory, University of California, 1967, p.281-297.
3. Smith, B. L., W. T. Scherer, T. A. Hauser, and B. Park. “Data-Driven Methodology for Signal Timing Plan Development: A Computational Approach” , Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, Vol. 17, 2002, p. 287-395.
4. Brian Park, Pinaki Santra, Ilsoo Yun, Do Hoon Lee, "Optimization of TOD Breakingpoints for Better Traffic Signal Control", Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board, No.1867, TRB, Nation Research Council, Washington D.C., 2004, p.217-223.
5. Brian Park, JoYoung Lee, "A Procedure for Determining TOD Breaking Points for Coordinated Actuated Traffic Signal System", Journal of Civil Engineering, Vol. 12, No.1, 2008, p.37-44.
6. J. Hua and A. Faghri “Dynamic Traffic Pattern Classification Using Artificial Neural NetWorks." Transportation Research Record 1399, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC, 2005, p.14-19.
7. Trisha A. Hauser, William T. Scherer, "Data Mining Tools for Real-Time Traffic Signal Decision Support & Maintenance", Proc. IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems, Tucson Arizona, USA, 2001, p.1471-1477.
8. Brian L. Smith, William T. Scherer, Trisha A. Hauser, "Data-Mining Tools for the Support of Signal Timing plan Development", Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board, No.1768, TRB, Nation Research Council, Washington D.C., 2001, p.141-147.
9. Lei Jia, Licai Yang, Qingjie Kong, Shu Lin, “Study of Artificial Immune Clustering Algorithm and Its Applications to Urban Traffic Control” , International Journal of Information Technology, Vol.12, No.3, 2006, p.128-137