

고속도로 통행시간 예측을 위한 TCS 자료 분석 기술 현황

양영규 | 박원식 | 남궁성*

경원대학교, 한국도로공사 도로교통연구원*

요약

최근 고속도로의 길이와 운전 차량 수가 빠른 속도로 증가하고 있어 운전자들에게 고속도로 교통상황을 신속하고 정확하게 제공하는 것이 중요한 문제로 대두되고 있다. 고속도로통행료수납시스템(TCS: Toll Collection System)은 전국 고속도로를 주행하는 차량의 통행 정보를 실시간으로 제공하므로 교통 상황 예측에 유용하게 활용될 수 있다. TCS 자료는 차량이 입구영업소를 통과한 후 출구영업소를 통과하는 데 소요된 시간으로서, 운전한 시간, 휴게소 체류시간 등을 모두 포함한 통행시간으로 운전자의 운전 특성, 통행 목적, 피로의 정도에 따라 편차가 크게 나타난다. TCS 자료의 통행시간을 기초로 예측된 정보는 이러한 불확실성을 포함하고 있기 때문에 이를 활용하기 다양한 데이터처리 기법이 필요하다. 본 논문에서는 TCS 자료의 효율적인 전처리 및 교통 예측 기법 현황에 대하여 기술하고 향후 발전 방향을 제시하였다.

1. 서론

최근 교통정보의 가치가 과거 그 어느 때 보다도 높아지고 있다. 우리나라 고속도로는 2008년 3월 기준으로 노선 수 25개, 총연장 3,132km (민자구간 포함 3,368km), 일 교통량 323만대, 년 12억대로 방대한 규모를 보이고 있으며 향후 계속 확장될 예정으로 있다. 이에 따라 고속도로를 이용하는

운전자들에게 정확한 교통상황을 신속히 제공하는 것이 사회적, 경제적으로 중요하다. 그동안 고속도로의 교통정보를 분석하기 위하여 CCTV, Loop, 영상검지기 등의 차량 검지장치에서 수집된 지점정보 자료들이 활용되어왔다. 이러한 지점정보 자료는 수집기가 설치되어 있는 지점에서의 순간 속도를 측정된 자료로서 고속도로 정체 상태 등을 반영한 구간을 통행시간을 구하기에는 한계가 있다.

최근 고속도로 구간 통행시간 계산을 위하여 고속도로 통행료 수납시스템(TCS: Toll Collection System) 자료를 활용하는 연구가 활발히 진행되고 있다. TCS 통행자료는 전국 261개 영업소에서 하루 평균 약 320만대의 고속도로를 이용하는 차량을 대상으로 수집한 자료로서 고속도로를 통행하는 모든 차량의 출발, 도착 톨게이트 간 통행시간 정보를 담고 있다.

통행시간 자료는 출발지점에서 도착지점까지 “소요된” 시간으로써 출발시각으로부터 도착시각까지의 시간동안 시공간상의 정체상태 변화를 반영하고 있다. 이점이 차량 검지장치(루프검지기, 영상검지기 등)로부터 얻어진 통행 속도자료를 근거로 한 통행시간과 구별되는 장점이다.

TCS 데이터를 이용한 효과를 살펴보면, 먼저 경제적 기대효과로 화물수송의 경우, 효율적인 운송 계획 및 비용의 절감을 가져와 국내 물류비 절감에도 기여한다는 점을 들 수 있다.

사회적 기대효과로써는 통행시간 예측정보를 고속도로 이용자에게 전달함으로써 고속도로 교통정보시스템의 신뢰성을 제고하고, 이용자 편익을 증대시킬 수 있다. 이러한 정보는 고속도로 이용자들이 혼잡지역을 적절히 우회하도록 유

도할 수 있으며, 고속도로 잠재 이용자에게는 혼잡시간대를 피할 수 있는 출발시간을 선택하는 데에도 기여할 수 있다.

구간통행시간 정보는 운전자 자신이 가고자 하는 목적지까지의 경로를 선택하는데 직접적인 결정 요소 중 하나이다.

교통정보의 필요성이 더욱 더 강조되는 지금, 정보의 정확도와 신뢰성에 대한 요구 또한 높아져 가고 있는 현실에서 이용자가 효과적인 통행의사결정을 하기 위한 정확한 교통정보 제공 기법개발이 필요하다.

II. TCS 데이터의 특징

TCS 통행시간 자료는 고속도로를 통행한 모든 차량이 경험한 통행시간의 전수 자료로서 정확도나 활용도가 매우 높을 뿐만 아니라, 별도의 설비투자가 필요치 않다는 장점을 가지고 있다.

TCS 원시자료는 (그림 1)에서 보는 바와 같이 출발 톨게이트(TG) 번호, 도착 톨게이트 번호, 출발 시간, 도착 시간, 차종 항목으로 구성된 비교적 단순한 구조이다. TCS자료는 톨게이트를 통과하는 차량의 통과 시간을 측정하는 자료로서 타 교통 정보 수집기와는 다른 특징이 있으며 이를 잘 인지하고 고려하는 것이 정확하고 신속한 TCS 교통정보 분석 및 제공에 필요하다.

출발 TG	도착 TG	출발시간	도착시간	차종
FROMTOLL_ID	TOTOLL_ID	START_DATE	END_DATE	CAR_TYPE
179	174	200708132352	200708140002	1
179	174	200708132355	200708140002	1
179	174	200708132356	200708140003	1
179	174	200708132353	200708140003	1
217	174	200708132322	200708140003	1
217	174	200708132322	200708140003	1
179	174	200708132354	200708140004	6
216	174	200708132336	200708140004	1

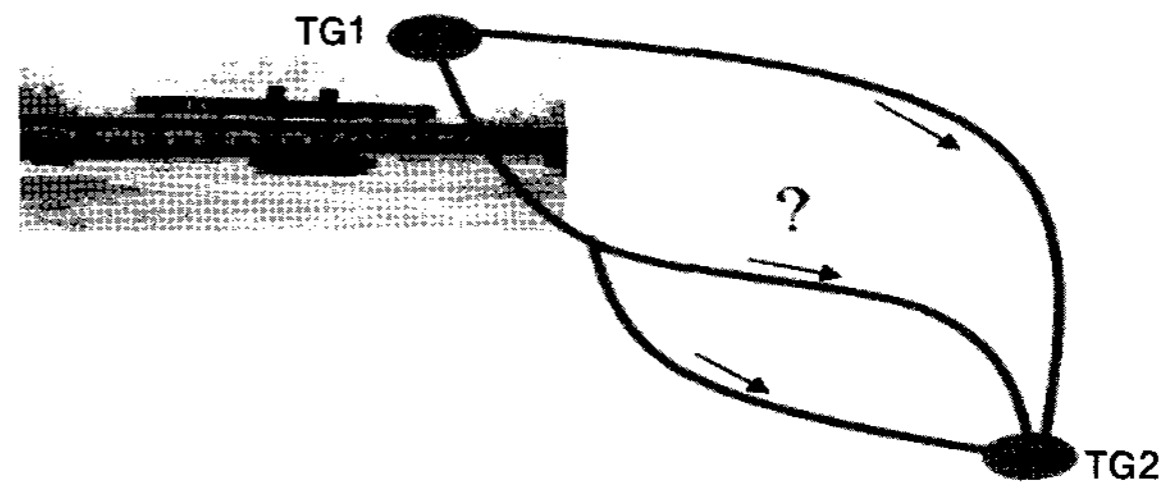
(그림 1) TCS 원시 자료 구조

TCS 자료의 특징을 살펴보면 다음과 같다.

첫째, (그림 2)와 같은 다중경로환경에서 TCS 통행시간은

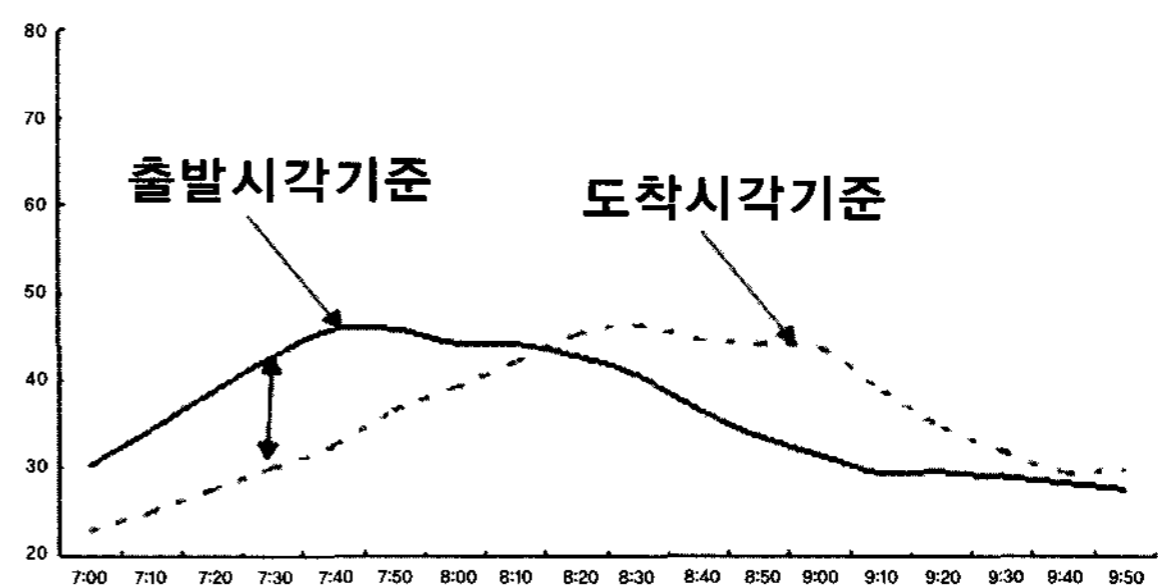
경로통행시간과 꼭 일치하는 것은 아니다. TCS 통행시간은 고속도로 이용차량의 톨게이트 진입시각 및 진출시각의 차를 통해 계산된다. 그러나 진출입 톨게이트 간에 2개 이상의 경로가 이용가능 할 때에는 해당 TCS 통행시간이 어느 경로에 대한 것인지 알기가 어렵다.

둘째, TCS 통행시간에는 고속도로 본선을 주행한 시간외에 갓길 정차시간, 휴게소 방문에 따른 체류시간 등이 포함되어 있다. 이에 따라 차량 간 운행 패턴이 달라 구간 내에 불규칙한 통행시간 패턴을 나타내거나 극단적인 이상치를 생성하기도 한다. 이러한 현상은 톨게이트간 거리가 멀어지는 장거리 운행일수록 심해지는 경향이 있다.



(그림 2) 차량 운행 다중경로 환경

셋째, (그림 3)에서 보는 바와 같이 TCS에서 수집되는 구간별 통행시간 자료는 고속도로 이용차량의 도착 톨게이트로부터 수집된다. 이는 TCS로부터 수집되는 통행시간 데이터는 모두 도착시점을 기준으로 수집되는 것을 의미한다. 따라서 TCS 데이터는 출발시각에 따른 통행시간 측면에서 볼 때, 해당 구간을 이용한 가장 최근의 차량의 경험한 통행시간 만큼 과거로 지연된 데이터이다. 운전자에게 통행시간



(그림 3) 출발시각기준과 도착시각기준 차이

정보를 제공 할 때는 출발점에서부터의 통행시간을 제공해야 하므로 도착기준의 통행시간을 출발기준으로 바꾸어야 한다.

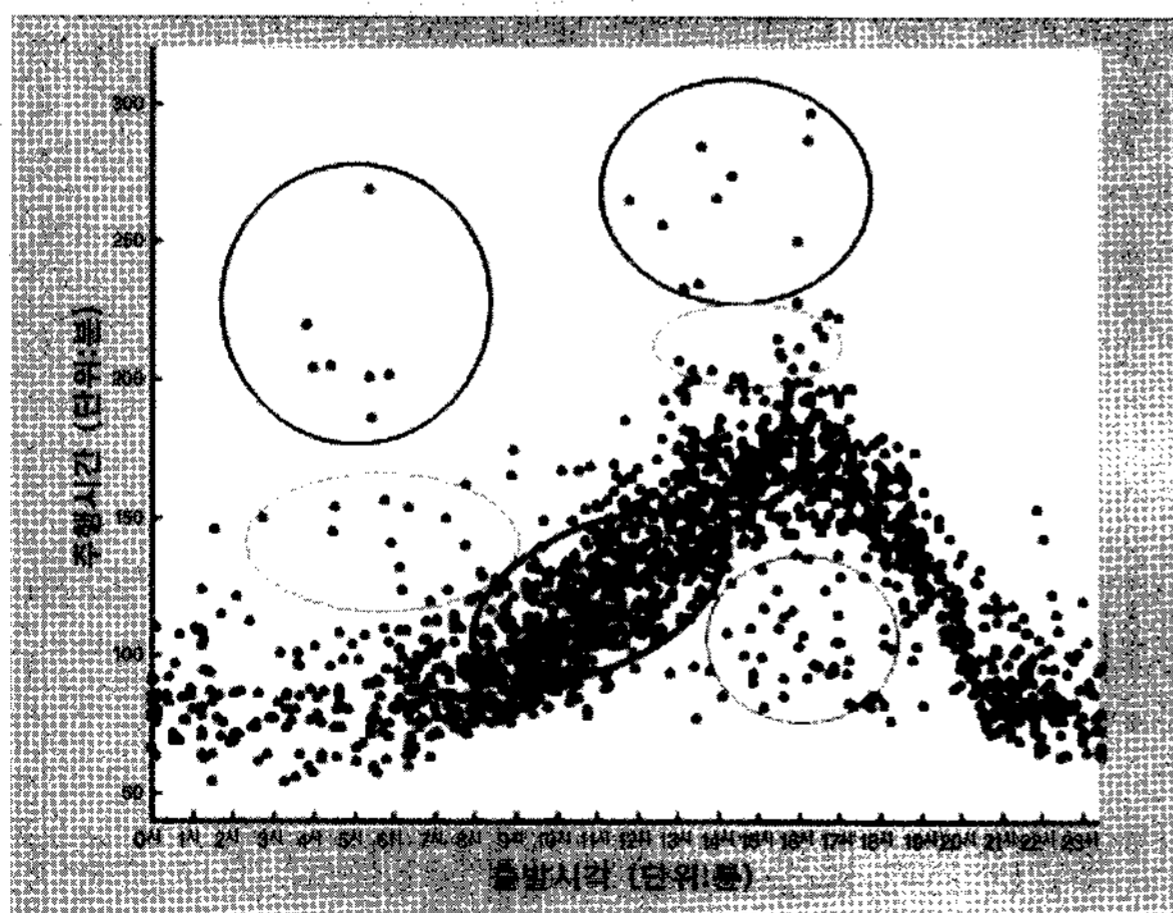
이와 같은 세 가지 특성은 TCS 자료를 경로 통행시간정보로 활용하는 것을 어렵게 만드는 요인이 되어왔다.

III. TCS 자료 처리 Flow

TCS 통행시간 자료에는 다양한 잡음이 포함되어 있으며, 이러한 잡음은 (그림 4)에서 보는 바와 같이 전체적인 자료 분포 패턴에 상당한 영향을 미친다. 일반적으로 잡음의 발생원인은 운전습관, 수집 기기의 오류, 휴게소 이용차량, 갓길차량, 도로상황 정체 등에 의해 발생한다.

TCS에서 제공하는 통행시간 자료는 톨게이트 간 차량 운행의 결과로 나타난 통행시간이므로 그 통행 과정을 규명하기가 어렵다. 따라서 통행의 결과로서 생성된 자료만 가지고 잡음의 존재유무와 규모를 판단하기가 곤란하다. 그래서 자료 자체의 특성, 생성 과정을 파악한 후, 잡음을 식별하고 제거하는 전처리 과정이 필요하다. TCS 자료 처리는 (그림 5)에서 보는 바와 같이

- 도착시간 기준의 TCS 자료를 출발시간 기준으로 변환
- 이상치 제거
- 데이터 집계



(그림 4) 통행시간 패턴 및 전처리 제거 예시

- 극단치 제거(평활화)
- 통행시간 예측

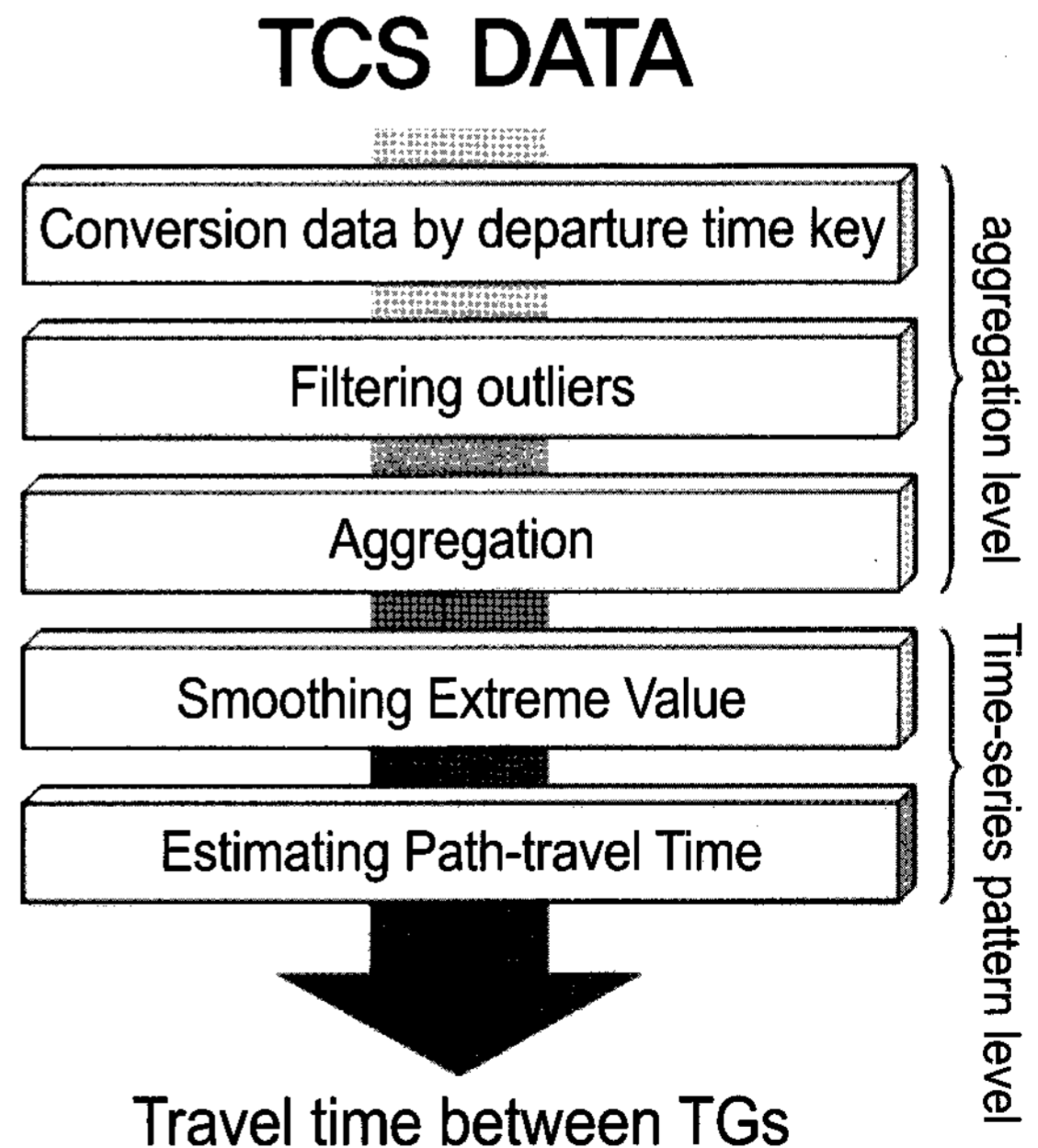
등의 과정을 거친다. 통행시간 예측은 단위 시간별 통행 차량그룹의 대표 통행시간을 구하는 것으로 이 값이 교통정보 제공 및 분석에 활용된다.

대표통행시간은 장거리 운행일수록 통행시간 분산이 커지고 이에 따라 구간거리에 따른 대표 통행시간의 신뢰도가 낮아지는 문제가 발생하고 있어 세밀한 전처리를 통한 정확한 대표 통행시간을 구하는 것이 매우 중요하다.

IV. TCS 자료의 전처리

TCS 자료의 전처리는 (그림 6)에서 보는 바와 같이 먼저 예측 구간 통과 차량들을 출발 시간 기준 일정 시간 간격 (예 10분) 으로 그룹화한 후 (그림 6-a), 이상치를 제거하고 (그림 6-b), 각 시간대 별 대표 통행시간을 구하고 (그림 6-c), 이를 smoothing 하는 단계로 진행된다.

전처리 과정에서 이상치 제거가 가장 중요한 과제로 이상



(그림 5) TCS 자료의 처리 flow

치 제거를 위하여 다양한 방법들이 개발, 활용되고 있다. 가장 간단한 방법으로 상한치와 하한치 설정을 통한 이상치 제거방법이 있다. 이는 특정 구간을 운행하는 차량들의 구간 통행 시간을 출발 시간 기준으로 일정 시간동안 (예 단거리인 경우, 10분) 모아 순서대로 정렬시켜 누적 상대 분포를 구한 후 상위 일정 비율, 하위 일정 비율을 이상치로 판단하여 제거하는 방법이다. 상위 및 하위 그룹을 선정하기 위한 비율은 연구자 마다 다르나 통상 5-10% 정도가 사용되고 있다.

또 다른 방법으로는 중위 절대편차(MAD: Median Absolute Deviation)를 적용하는 방법이 있다. 중위절대 편차는 아래의 식으로 계산된다.

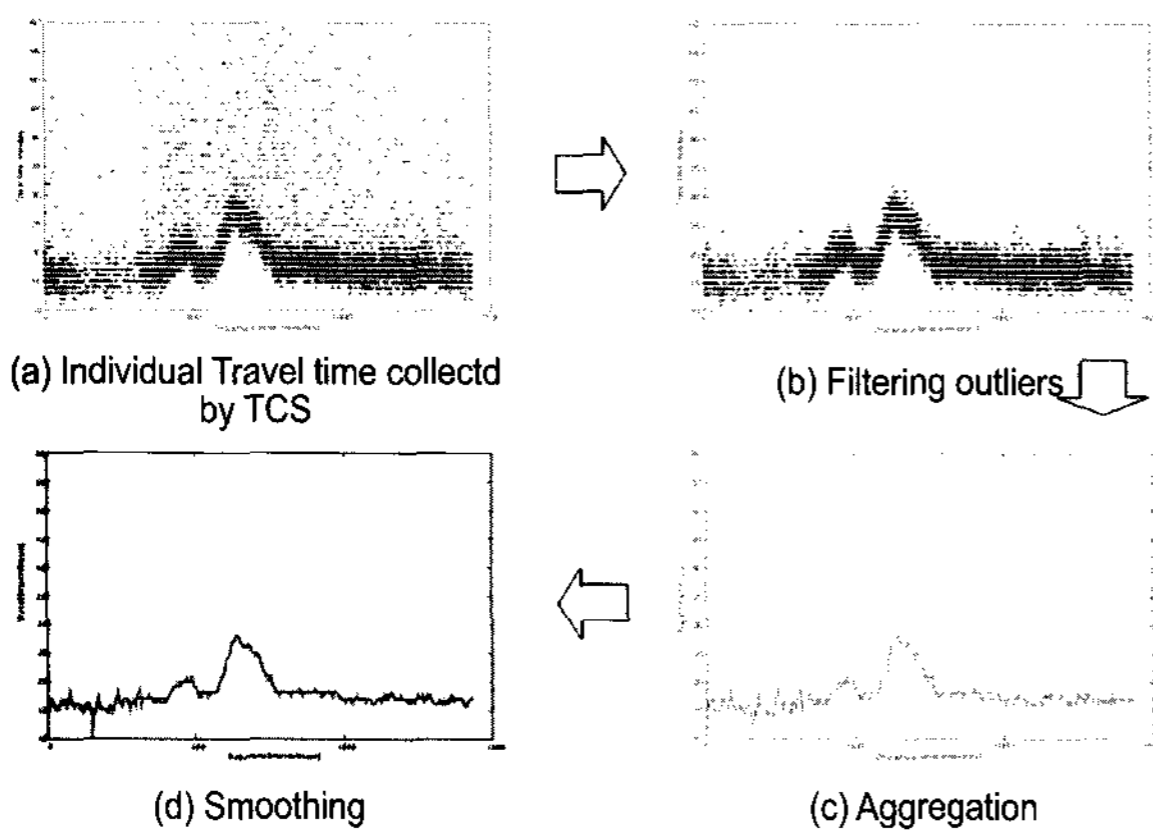
$$MAD = 1.4826 \times \text{median}|x_i - x_{med}| \quad (1)$$

x_i : 변수 x의 관측값

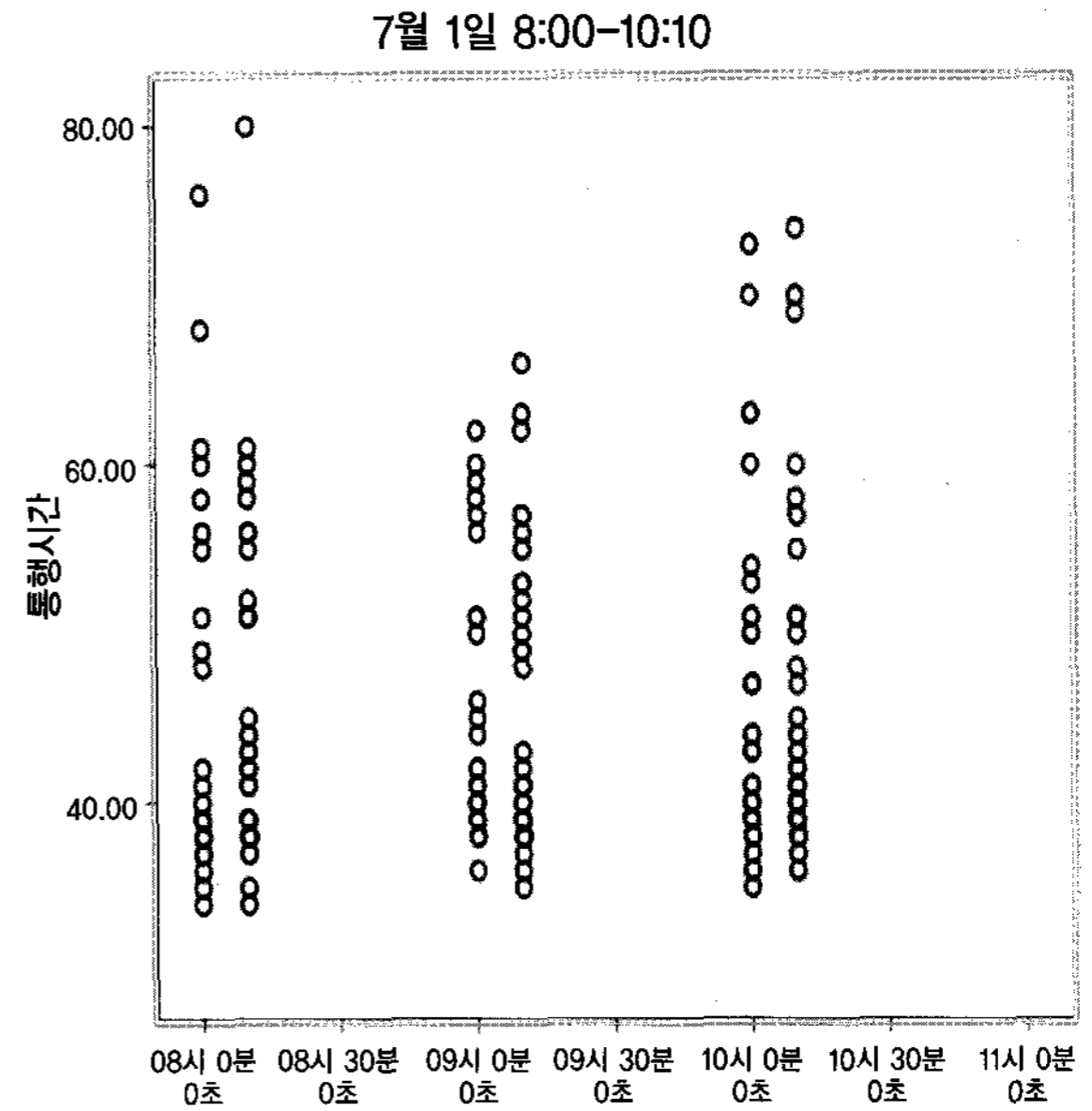
1.4826: MAD를 정규분포에 대한 표준편차와 같도록 만들어 주는 수정계수(Correction factor)

x_{med} : 변수 x의 중위값

각 시간대 별 구간 통행시간은 (그림 6)과 (그림 7)에서 보는 바와 같이 다양하게 분포하고 있으며 차량 통행시간 간의 편차가 매우 크게 나타나고 있다. 그럼에도 불구하고 고속도로 교통정보 제공을 위하여는 단위 시간 수집 자료군 별 구간 대표 통행속도의 산출이 필요하다. 이를 위하여는 평균, 중위값, 최빈치 등이 활용되고 있다.



(그림 6) TCS 자료 전처리 과정



(그림 7) 시간단위 별 차량 통행 시간 분포

최근에는 (그림 7)에서 보는 바와 같이 동일 출발 시간대의 차량 간 통행시간의 편차가 많은 것을 이용하여 군집 분석을 통하여 이상치의 군집과 대표치를 구하는 연구가 많이 진행되고 있다.

군집분석(cluster analysis)은 모집단 또는 범주에 대한 사전 정보가 없는 경우에 관측치들 사이의 유사성-거리 혹은 상관관계를 이용하여 전체를 몇 개의 군집(Cluster)으로 나누는 통계학적 분석기법이다. TCS 자료 분석에서는 단위시간 차량 군내에서 동일한 운행 특성을 가진 여러 그룹

(예: 휴게소 휴식을 포함한 이상치 그룹, 저속 운행 그룹, 고속 운행 그룹)으로 나누는 방법으로 활용되고 있다.

V. 통행시간예측 모형

TCS 에 의한 통행시간 자료는 일정 구간을 주행한 후 도착한 시점에서의 정보이므로 근본적으로 시간지연(time-lagged) 자료라 할 수 있다. 따라서 현재 출발하는 차량에게 정확한 교통 상황정보 제공을 하기 위하여는 운행 경로에 대한 교통상황 예측이 필요하다. 교통정보 예측을 위한 예

측모형은 무작위적(random)인 특징을 가지는 교통상태를 정확하고 적응성 있게 예측하여야 한다. 예측 모형 중 자주 활용되는 대표적 기법을 소개하면 다음과 같다.

먼저 확률과정인 마코프 과정(Markov Process)은 현재시점 t 에서 나타난 어떤 시스템의 상태는 과거의 시점 $t-1$ 에서의 상태에만 영향을 받는다는 특징을 이용하며, $t+1$ 시점의 상태를 t 의 상태를 이용하여 예측할 수 있게 된다. 마코프과정은 장기 예측에 적합하다.

한편 계절 시계열 모형 중 시계열 분석은 시간의 흐름에 따라 변하는 현상을 관측함으로써 얻어지는 자료를 분석하며 이를 설명할 수 있는 모형이다. 시계열 모형에서는 통행 차량의 통행시간 값의 계열 내 관측값 사이에 존재하는 상관관계를 이용하며 시점 t 에 해당하는 관측값(y_t)과 t 의 앞 시점들의 관측(y_{t-1})사이의 상관관계를 규명하여 예측한다. 시계열 모형은 단기 예측에 적합하게 활용되고 있다.

Modular 신경망 예측 모형은 다층 퍼셉트론 신경망을 활용하는 것으로 학습시간이 너무 길어지는 것을 방지하기 위하여 비슷한 자료별로 나누어 학습하게 하는 신경망 네트워크이다. 교통정보 분석에서는 2가지 성질이 다른 자료 (예: 과거의 시계열 자료와 차량의 출발 시각)를 하나의 신경망 내에서 학습할 수 있도록 설계된다.

VI. 결론 및 향후 연구 방향

고속도로 노선, 총 연장, 일일 통행 차량 수들이 빠른 속도의 증가를 보이고 있는 현황을 감안하면 고속도로 주행자에게 신속하고 정확한 교통정보를 제공하는 것이 사회적, 경제적으로 매우 중요하다.

TCS 자료는 차량이 입구영업소를 통과한 후 출구영업소를 통과하는 데 소요된 시간으로서, 운전한 시간, 휴게소 체류 시간 등을 모두 포함한 통행시간이다. 이러한 통행시간의 크기는 운전자의 운전 특성, 통행 목적, 피로의 정도에 따라 다양하게 나타난다.

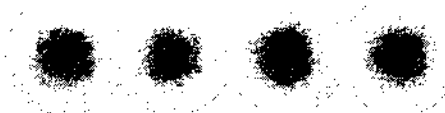
또한 TCS 자료는 단일 시간 간격 내에 여러 개의 경로 자료를 포함할 수 있고, 다양한 잡음이 포함되어 있으며, 대상 구간의 거리가 멀수록 분산이 커지는 특성을 보인다. 이를

처리하기 위한 효율적인 전처리, 대표 구간통행 시간 도출 알고리즘의 정립이 필요하다.

현재는 TCS 데이터 활용연구가 시작 단계에 있으며 주로 이상치 제거와 간단한 예측 모델에 의한 교통정보 예측이 이루어지고 있다. 향후 가능한 한, 정확하고 충분히 대표성 있는 교통정보를 실시간으로 산출하고, 이를 토대로 신뢰성 있는 예측정보를 제공하는 것이 중요한 기능이다.

TCS 자료는 전국 고속도로를 주행하는 모든 차량들의 톨게이트 간 주행 정보를 제공하므로 추가 비용 발생이 없이 전국 고속도로의 실시간 교통정보를 수집할 수 있다는 장점이 있으므로 이의 활용을 위한 연구의 확산이 필요한 것으로 보인다.

향후 연구 방향으로서 첫째, 도착 교통량이 너무 적은 톨게이트에 대한 결측치 처리, 둘째, 교통량이 적은 시간대의 데이터 처리, 셋째, 효율적인 구간 통행 시간 예측을 위한 알고리즘 개발, 넷째, 2008년 3월 말 현재 전국 영업소로 확장되어 활용이 증가되고 있는 하이패스 데이터와의 연계 등을 들 수 있다. 보다 장기적으로는 DSRC를 이용한 교통정보 수집 시스템 및 차량과 도로간 데이터통신 인프라 구축이 필요한 것으로 보인다. 또한 국가 지능형 ITS 프로젝트에서 추진하고 있는 RFID 인프라를 이용한 RFID 기반 교통정보 수집체계의 구축도 필요한 것으로 보인다.

- 
- [1] 남궁성, 윤일수, 조범철, 성기영, “고속도로 통행시간 예측시스템 개발 연구(I)”, 한국도로공사 도로교통 기술원, 2000, 12
 - [2] 하정아, 박재화, 김성현 “일반국도 상시 교통량자료를 이용한 교통량 결측자료 추정”, 대한교통학회지 제 25권 제 1호, 2007년 2월,
 - [3] 이승재, 김범일, 권혁 “단기 통행시간예측 모형 개발에 관한 연구”, 한국ITS학회논문지 제 3권 제1호 2004,3
 - [4] 남궁성, “고속도로 경로통행시간 산출을 위한 전진반복 전후방탐색법(PIFAB)의 개발”, 대한교통학회지, 1229-1366, 제23권5호, pp.147-155, 2005

- [5] 강정규, 남궁성, “고속도로 통행료수납자료를 이용한 통행시간 예측모형 개발”, 대한교통학회지, 1229-1366, 제20권4호, pp,55-67, 2002
- [6] 남궁성, “TCS 자료를 이용한 고속도로 통행시간 예측”, 대한교통학회지, 제34회 학술발표회, pp,489-494, 1999

약 력



1972년 서울대학교 학사
 1974년 서울대학교 환경대학원 환경계획석사
 1984년 Texas A&M University 공간정보처리 박사
 2003년 ~ 현재 경원대학교 소프트웨어학부 교수
 관심분야: 공간정보처리, 텔레매틱스

양 영 규



2005년 경원대학교 졸업
 2007년 ~ 현재 경원대학교 전자계산학과 석사과정
 관심분야: 텔레매틱스, ITS

박 원 식



1996년 ~ 2002년 한국도로공사 도로연구소 교통연구그룹 그룹장
 2002년 ~ 2004년 University of Virginia, Research Scientist
 2005년 ~ 2009년 경기도 도시교통정책 심의위원회 위원
 2007년 건설교통핵심기반기술개발사업 기획 / 부위원장
 2007년 ~ 2008년 한국ITS학회 상임이사
 2007년 ~ 2009년 대한교통학회 이사
 2004년 ~ 현재 한국도로공사 도로교통연구원 수석연구원

남 궁 성

