

■ 論 文 ■

GPS 수집자료를 이용한 링크통행시간 분포 특성 분석

Distribution Characteristic Analysis for Link Travel Time Using GPS Data

이 영 우

(울산광역시 교통기획과)

임 채 문

(대구대학교 건설환경공학부 교수)

목 차

- | | |
|---|---|
| <p>I. 서론</p> <p>II. 기연구 및 이론적 고찰</p> <p> 1. GPS 상대측위방식</p> <p> 2. GPS를 이용한 통행시간 추정</p> <p>III. 현장조사 및 분석</p> <p> 1. GPS 주행실험</p> <p> 2. 링크통행시간 현장조사</p> | <p>IV. 분포비율 특성분석 및 모형구축</p> <p> 1. GPS 실험차량의 링크구간 주행특성 분석</p> <p> 2. 링크통행시간 조사 결과 분포특성 분석</p> <p> 3. 분포비율 추정모형 구축</p> <p> 4. 구축 모형의 통계적 검증</p> <p>V. 결론</p> <p>참고문헌</p> |
|---|---|

Key Words : GPS, 링크통행시간 분포, RTK, DGPS, 링크구간 주행특성

요 약

지금까지의 링크통행시간에 대한 연구는 개별 차량의 평균을 통한 평균링크통행시간 산정 및 추정의 제한적인 연구가 대부분이었다. 그러나, 링크통행시간은 교통조건, 신호운영조건, 도로조건 등 다양한 영향인자로 인해 통행시간 분포가 구분되는 특성을 나타낸다. 따라서, 링크통행시간 특성을 좀 더 미시적으로 분석할 필요가 있다. 본 연구에서는 GPS를 이용한 실시간 교통자료 수집의 방법에 대해 살펴보았으며, GPS를 이용한 RTK 측량을 이용한 실시간 자료수집을 통하여 링크통행시간에 대한 연구를 수행하였다. 또한, 신호운영에 의한 영향으로 인한 링크통행시간 분포특성을 분석하기 위해 링크통행시간에 대한 현장조사를 추가적으로 실시하였다. 현장조사 결과분석을 통해 통행시간 분포특성 및 원인을 분석하고 프로그램을 이용한 시뮬레이션을 통해 보다 다양한 조건을 부여하여 링크통행시간분포비율에 영향을 주는 변수들에 대한 검토하고 통행시간 분포비율을 추정할 수 있는 모형을 구축하였다. GPS 실험차량을 이용한 주행실험결과를 분석한 결과 순행시간으로만 이루어지는 링크통행시간과 적색시간 동안 대기하였다가 링크구간을 통과하여 순행시간에 신호 대기시간을 더한 링크통행시간으로 통행시간이 구분되는 현상을 확인할 수 있었으며 따라서, 링크통행시간에 대한 분석은 통행시간을 하나의 평균통행시간으로 인식하는 것보다 두 개의 구분된 통행시간을 동시에 고려하는 것이 바람직할 것으로 판단되었다. 링크통행시간 분포특성에 대한 연구결과 또한, 통행시간이 양분되어 분포하는 것으로 분석되었다. 따라서, 링크통행시간의 경우 평균통행시간에 의한 결과보다 신호지체가 발생하지 않는 통행시간과 신호지체가 발생하는 통행시간으로 구분하는 것이 교통상황을 인식하는 것이 바람직할 것으로 나타났다.

1. 서론

교통특성을 이해하는데 통행시간은 대표적인 요소이며, 통행시간에 대한 연구는 꾸준히 진행되어왔다.

그러나, 지금까지의 링크통행시간에 대한 연구는 완전하 다른 행태를 나타내는 신호지체 없이 통과하는 차량과 신호지체를 경험한 차량의 평균을 통해 평균링크통행시간 산정 및 추정의 제한적인 연구가 대부분이었다.

평균통행시간은 도착분포가 일정한 연속류에서는 유용한 효과척도가 될 수 있으나, 차량군을 형성하여 도착분포가 군집을 형성하는 단속류에서는 유용한 효과척도가 될 수 없다.

따라서, 단속류에서는 교통조건, 신호운영조건, 도로조건 등 다양한 영향인자로 인해 뚜렷하게 구분되는 통행시간 분포 특성에 대한 연구를 통해 링크통행 특성을 좀더 미시적으로 분석하고 이를 바탕으로 링크통행시간이 도로기하구조에 의한 영향인지 신호운영에 대한 영향인지에 대한 분석을 통해 통행시간 개선을 효율적으로 수행할 수 있을 것이다.

그리고, 최근 운전자들의 요구가 증대되고 있는 경로통행시간 정보의 경우 확실적인 평균경로통행시간 정보의 제공이 아닌 다양한 분포를 나타내는 특성을 고려한 확률적 경로통행시간 정보의 제공이 필요하며, 이를 위해 경로통행시간 조합의 기본 단위가 되는 링크통행시간의 분포에 대한 기초적인 연구는 필수적일 것이다.

따라서, 본 연구에서는 링크통행시간 분포에 대한 연구를 수행하였으며 먼저, 링크구간의 통행속도 특성을 살펴보기 위해 구간 통행특성을 측정할 수 있는 GPS를 장착한 실험차량을 이용하여 주행실험을 실시하였다.

또한, GPS의 위치측정 오차의 문제점을 해결하기 위해 정밀도가 높은 정밀 측지용 GPS 수신기를 이용하여 상대측위 방식의 한 방법인 실시간 이동측위 방식(RTK : Real Time Kinematic)을 사용하였으며, 수집주기는 1sec로 실험을 실시하여 링크구간의 미시적인 교통특성을 분석하였다.

또한, 신호운영에 의한 영향으로 인한 링크통행시간 분포특성을 분석하기 위해 링크통행시간에 대한 현장조사를 추가적으로 실시하였다.

현장조사 결과분석을 통해 통행시간 분포특성 및 원인을 분석하고 프로그램을 이용한 시뮬레이션을 통해 보다 다양한 조건을 부여하여 링크통행시간분포비율에

영향을 주는 변수들에 대한 검토하고 통행시간 분포비율을 추정할 수 있는 모형을 구축하였다.

II. 기연구 및 이론적 고찰

1. GPS 상대측위방식

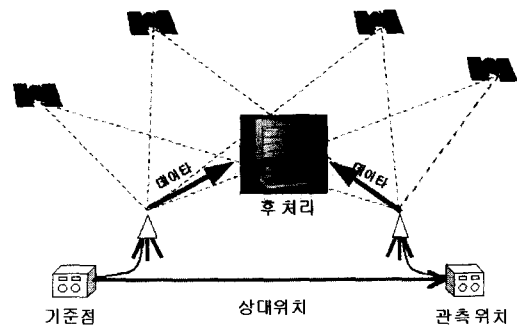
상대측위 (DGPS : Difference Global Positioning System) 방식은 현재까지 개발된 GPS를 이용한 측위 방식 중 가장 정확한 방식이다.

DGPS는 단독측위에 의한 여러 가지 오차요인을 제거함으로써 이동중인 물체의 경우 수 m 이내, 정지한 지점의 경우 1m 이내의 위치 측정을 가능하게 한다. 작동원리는 두 개의 GPS 수신기를 사용하여 하나는 기지점에 수신기를 설치하고 다른 하나는 이동을 하면서 위치를 측정하게 된다. 고정된 수신기는 DGPS 개념의 핵심이 되며, 실제 위성을 이용한 측정값과 기지점 좌표를 비교하여 차이를 계산한다.

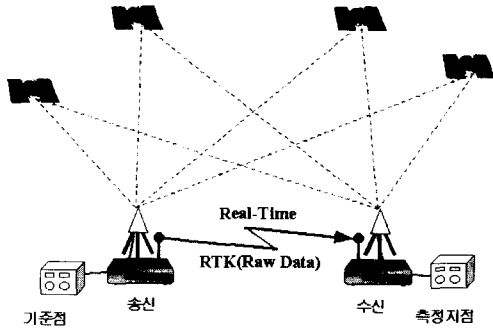
이러한 DGPS 방식은 SA의 해제에도 불구하고 자동차항법 등 수 m의 정밀도를 요구하는 분야의 경우 반드시 필요한 방식이라 할 수 있다. DGPS는 후처리 DGPS 방식과 RTK 방식으로 분류할 수 있다.

후처리 DGPS 방식의 경우 관측을 먼저 실시하여 측량자료를 저장하고 이를 이용하여 오차를 보정하는 후처리를 실시하는 방식으로 2개의 수신기가 동일시간에 동일한 위성으로부터 수신된 자료만 있으면 가능한 방식이다. 후처리 DGPS 방식의 기본개념을 (그림 1)에 나타내었다.

다음으로 RTK 방식은 실시간으로 기지점에 고정된 수신기로부터 보정된 자료들을 이용하여 정확한 위치를 구하는 방식으로 후처리와 거의 동일하지만 실시간으로



〈그림 1〉 후처리 DGPS의 개념도



〈그림 2〉 RTK 방법의 개념도

보정값을 주고 받으면서 측량을 실시하기 때문에 데이터를 주고받을 수 있는 장비들이 필수적으로 필요하다.

이러한 장비들로써 라디오 수신기를 사용하거나 휴대폰을 이용하여 전송하는 방법들이 있다.

기본개념은 기준국에서 전송되는 오차보정을 위한 데이터가 반송파 수신자료라는 것만이 후처리 DGPS의 개념과 다르며 거의 유사한 개념이다.

그리고 각 위성에 대한 반송파 측정치를 지속적으로 이동국 수신기로 제공하여야 하기 때문에 정보의 전송 장애가 발생하면 급격히 오차가 커지게 된다.

따라서 신속하면서도 안정적인 데이터 전송을 위한 통신 시스템이 요구되는 방법이다. RTK 방법의 기본개념을 〈그림 2〉에 나타내었다.

DGPS 방식의 경우 데이터를 수집하여 데이터를 후처리하여야 하며, RTK의 경우 데이터 전송을 위한 통신시스템이 추가적으로 필요하지만 이를 통해 실시간으로 높은 정밀도의 자료수집이 가능하다.

본 연구에서는 DGPS 방식과 RTK 방식에 의한 현장조사 결과에 큰 차이가 없으나, 실시간 자료수집의 가능성을 검토하기 위해 RTK 기법을 이용한 자료수집을 위한 실험을 수행하였다.

2. GPS를 이용한 통행시간 추정

여러 가지 통행시간 추정 방법의 단점들을 극복할 수 있는 방법으로 최근에 주목받고 있는 것이 GPS를 이용한 통행시간 측정방식이다.

이는 최기주(1998) 등에 의해 연구된 바 있으며 이 연구에 따르면 현재 GPS를 장착한 차량이 위치 파악 및 배차 등의 목적으로 개인택시조합의 경우 3,000여

대, 도로교통안전협회의 약 100여대 등으로 점차 늘어나고 있는 추세인 것으로 나타났다. 이러한 자원을 부수적으로 이용하여 활용할 수 있는 방안으로 GPS 수집자료를 이용한 링크통행시간 추정 기법에 대한 연구를 수행하였으며, 실시간 동적 통행시간 측정에 효과적인 방법으로 제안하였다.

그러나, 이 연구에서는 GPS 단독측위에 의한 결과를 이용한 연구를 수행하였으며 GPS의 위치오차가 40~50m 정도로 비교적 큰 편이었다. 또한, GPS 데이터 송신주기가 7sec로 수집되어 고속 주행시에 여러 가지 문제점을 나타내는 것으로 판단되었다.

이러한 문제점을 해결하고 차량의 미시적인 거동을 살펴보기 위해 본 연구에서는 RTK 기법을 이용하여 실시간 상대측위를 실시함으로써 위치오차를 현격히 감소시켰으며, 고속 주행에 의한 자료수집 오차를 줄이기 위해 데이터 수집주기를 1sec단위로 적용하여 실험차량을 이용한 현장 주행실험을 수행하였다.

III. 현장조사 및 분석

1. GPS 주행실험

1) 실험장소 및 일시

현장실험 장소는 GPS 측량을 실시하기에 적합한 지역을 선정하였다. GPS 측량을 위한 기준국은 15°이상의 절사고도각을 가져야 하며 다중경로에 따른 반사면이 없어야 하며 라디오, TV 등 전파발생원이 없는 곳이 적당하다. 또한 이동국 수신기의 경우 기준국에서 요구되는 요건을 갖추어야 하며 신호장애 블록이 없고, GDOP(Geometric Dilution of Precision)의 경우 8이하, 위성수가 최소 4개 이상의 상태를 유지하여야 한다. 본 연구에서는 이러한 조건을 갖추도록 노력하였으며 또한 교통조사를 위한 조건을 고려하여 실험지점을 선정하였다. 링크의 주행특성을 살펴보기 위해 계속적인 주행이 필요하였기 때문에 U-turn 이 가능한 지점을 선정하였다.

현장실험 장소는 대구광역시 지역의 지하철 반야월역 지점과 동촌에서 방촌에 이르는 경로, 경북 경산시 지역인 중산삼거리에서 임당사거리 구간을 선정하여 실험을 실시하였다.

현장실험 일시는 Almanac 파일을 이용하여 GDOP,

〈표 1〉 현장실험 일시 및 장소

구분	장소	구간	비고
1차	대구광역시 안심지역	안심중학삼거리 ⇔ 동호사거리	U-turn을 이용한 양방향 주행실험
2차	대구광역시 동촌지역	방촌시장삼거리 ⇔ 동촌사거리	
3차	경상북도 경산지역	중산삼거리 ⇔ 임당사거리	

위성상태 등 GPS 측량이 양호한 일시를 선택하여 계획하였으며, 2002. 3. 21~2002. 3. 30에 현장실험을 실시하였다. 자세한 일시와 장소는 〈표 1〉과 같다.

2) 현장실험 방법 및 내용

현장실험은 GPS 장착 실험차량을 이용하여 실시하였는데 GPS 측량 방법은 DGPS기법을 이용하였으며 이 중에서도 실시간으로 위치측정이 가능한 RTK기법을 이용하여 실험을 실시하였다.

주파수 방식은 10km 이상 장기선 측량시에 1 주파수 수신기에 비해 전리층 영향을 제거하여 정도가 좋은 2 주파수 방식이며, 후처리 기선해석 정확도는 3mm±0.5ppm이며, 이동측량 실시간 기선해석 정확도는 10mm±0.5ppm인 수신기를 사용하였다. 먼저, 고정국의 위치를 결정하기 위해 GPS 안테나를 설치하고 수신기를 이용해 SPP(Single Point Position)를 결정하고, 고정국의 위치를 기준점으로 두 개의 이동국을 사용하였다. 두 대의 차량에 이동국 GPS 안테나와 RTK를 위한 모뎀 안테나를 설치하여 GPS 데이터의 실시간 수집주기를 1sec 단위 자동입력방식으로 설정하여 주행실험을 실시하였다.

2. 링크통행시간 현장조사

1) 현장조사 위치 및 일시

조사지점 선정은 비교적 교통량이 많고, 지하철 공사구간 등과 같이 특수한 교통현상에 의한 영향이 적은 가로를 선택하였으며, 조사지점은 대구광역시 21개 링크구간이다.

1차 조사는 2000. 8. 22~2000. 8. 24까지 평일 3일간 도심 5개 링크구간을 조사하였다. 조사지점은 대구시 도심인 상동사거리⇔중동사거리 양방향, 동성초교사거리⇔수성시장사거리 양방향, 축협사거리⇔동성초

교사거리 구간이다.

2차 조사는 2002. 10. 8~2002. 10. 18까지 16개 링크를 조사하였으며, 조사구간은 율하교사거리~신서사거리 구간인 반야월로 양방향, 반고개사거리~반월당사거리 구간인 달구벌로 양방향의 경로구간이다.

반야월로의 경우 신호주기가 130sec로 일정한 구간이며 대구광역시 외곽 주요 교통축이다. 달구벌로의 경우 신호주기가 170sec인 경로로서 대구광역시 도심인 1차 순환선을 통과하는 대구시 주요 교통축이다.

2) 현장조사 방법

조사방법은 비디오카메라 촬영방법과 차량번호판 조사방법을 병행하였다. 링크통행시간 분석을 위해서는 차량의 연속된 흐름을 분석하는 것이 가장 합리적이지만 현실적으로 링크 전체를 대상으로 조사하는 것은 불가능하다. 따라서 상류부 교차로와 하류부 교차로에 비디오카메라를 설치한 후 조사원이 신호에 의해 동시에 촬영을 실시하였다. 그리고 초시계를 일정시간 촬영하여 촬영시간차에 의한 오차를 제거하였으며, 비디오카메라의 마이크를 이용하여 차량번호판 녹음을 동시에 실시하였다.

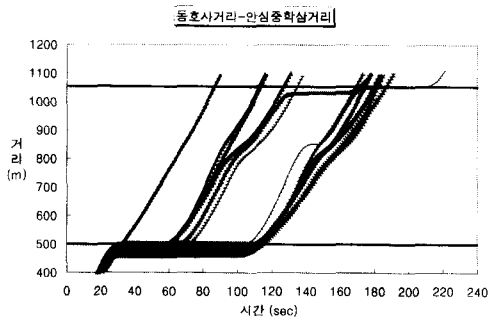
이렇게 촬영된 비디오 테이프를 비디오 분석기를 이용하여 상류부 교차로 각 차량의 특징을 시각적으로 판단하고 녹음된 번호판을 확인하여 통과 시간을 측정하고 동일 차량이 하류부 교차로를 통과하는 시간을 측정함으로써 링크 통행시간을 조사하였다.

N. 분포비율 특성분석 및 모형구축

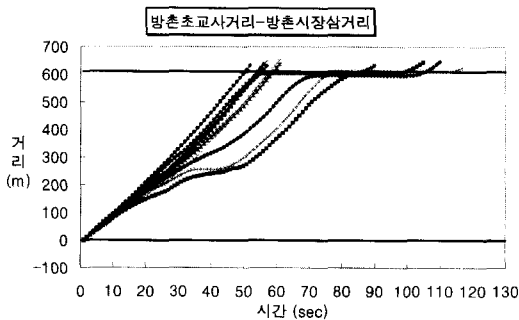
1. GPS 실험차량의 링크구간 주행특성 분석

RTK를 이용한 차량주행 실험결과 링크통행시간은 신호대기를 경험하지 않고 통과하는 차량과 신호대기를 경험한 후 통과한 차량으로 구분되어 동일한 링크의 통행시간이 두 개의 대표값을 가지는 것으로 조사되었다. 주행실험을 통한 차량주행 시공도는 〈그림 3〉~〈그림 4〉에 나타내었다.

현장실험을 통한 링크 주행특성을 살펴보면 일정한 속도로 링크구간을 주행한 차량이 교차로에서 신호운영에 의해 정지하였다가 통과하는 차량과 정지없이 통과하는 차량으로 구분되는 것을 확인할 수 있다. 이것은



〈그림 3〉 동호사거리⇒안심중학삼거리 주행결과



〈그림 4〉 방촌초교⇒방촌시장 주행실험결과

일반적인 신호교차로에서 예상할 수 있는 현상이다. 따라서, 링크통행시간은 신호운영에 영향을 받지 않는 링크순행시간과 신호에 의한 지체시간을 고려한 통행시간으로 구분하여 링크구간내의 교통상황을 이해할 필요가 있을 것이다.

주행실험결과 링크구간에서의 순행속도가 대부분의 지점에서 일정한 것으로 조사되었으나 동호사거리⇒안심중학삼거리의 경우에 뚜렷하게 나타나듯이 순행시간이 링크구간내의 교통류의 흐름에 의해 속도가 잠시 줄었다가 회복되는 현상을 확인할 수 있다. 지점검지기의 경우 이러한 구간내의 교통상황을 측정할 수 없으며, GPS 장착 차량의 주행실험을 통해 구간내 차량의 통행행태를 미시적으로 분석해 볼 수 있었다.

주행실험을 통한 차량주행의 시공도를 분석한 결과 신호대기를 경험하지 않는 차량의 경우 도로의 기하구조와 이면도로 유출입구 등 도로조건에 의한 마찰로 인한 영향이 포함된 순행시간에 의해 결정되며, 신호대기를 경험한 차량의 경우 신호대기를 경험하지 않은 순행시간에 신호운영조건에 의한 영향으로 발생하는 적색신호시간에 의한 지체시간을 더한 값에 의해 통행시간이 결정되는 것으로 조사되었다.

현장조사결과 교통량의 증가에 의해 신호대기가 2회 일어나는 지점도 조사되었는데 이러한 경우 신호대기 없이 통과하는 차량은 존재할 수가 없다. 그러나 1회 신호대기 후 통과한 차량의 통행시간과 2회 신호대기 후 통과한 차량의 통행시간으로 구분되어, 결국 두 개의 양분된 통행시간 분포가 나타나는 것으로 조사되었다.

GPS 장착 차량에 의한 현장 주행실험 결과 링크통행시간의 분포는 두 개의 통행시간 값으로 구분되는 것을 확인할 수 있었으며, 따라서 링크 통행시간의 경우 두 개의 통행시간 정보를 모두 고려하여 링크의 교통상황을 인식하는 것이 바람직할 것이다.

통행시간의 분포범위는 상·하류 신호운영에 의해 영향을 받는 것으로 나타나고 있으며, 일반적인 통행시간의 연구결과도 이를 뒷받침하고 있다.

그러나, 신호운영에 의해 영향을 받긴 하지만 본 연구에서 링크구간내의 차량의 운행거동에 대한 미시적인 분석결과 링크구간내의 도로조건 등 주변여건에 의한 주행속도의 변화로 인해 통행시간의 분포가 변화하는 것으로 분석되었다.

이러한 연구결과는 현재 각 지방자치단체에서 도입 중에 있는 실시간 신호운영시스템의 연동값의 산정시 링크구간에서 발생할 수 있는 돌발적 상황 등에 의해 변화하는 통행시간의 변화를 실시간으로 측정하여 연동값을 적용하기 위해 링크구간에서의 차량의 운행거동을 파악할 필요성 있을 것으로 판단된다.

본 연구결과 링크구간내에서 차량의 주행속도가 변화할 수 있으며 실시간 동적 신호시스템을 운영하기 위해서는 지금까지의 신호운영에 의한 통행시간에 대한 연구뿐만 아니라 링크구간내의 차량주행 조건에 의한 통행시간의 영향에 대한 미시적인 분석이 필요한 것으로 판단되며, 이러한 링크구간에서의 차량주행 거동을 미시적으로 측정하고 데이터를 수집하는데 GPS가 유용한 수단이 될 수 있을 것으로 분석되었다.

2. 링크통행시간 조사 결과 분포특성 분석

전 절에서 통행시간측정을 위한 GPS장착차량의 주행조사 결과에서 나타난 것과 같이 현장 조사분석을 실시한 결과도 일정한 차이를 보이면서 링크 통행시간이 분리되는 현상이 나타나는 것으로 분석되었다. 그리고, 동일 주기의 녹색시간에 모든 차량이 통과하는 경우에

는 링크 통행시간의 분포가 분리되는 현상은 나타나지 않았다.

링크 구간으로 유입 후 첫 번째 녹색시간에 모든 차량이 통과한 경우와 모든 차량이 적색시간에 대기하였다가 다음 주기의 녹색시간에 모든 차량이 통과하는 경우 두 가지 경우도 발생하였다.

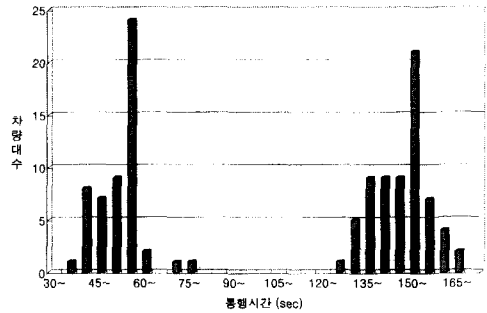
링크통행시간 분포를 나타낸 <그림 5>~<그림 8>를 살펴보면 차량의 통행시간이 양분되는 현상을 나타내고 있다.

이러한 경우 링크구간에서 이면도로 유·출입 차량의 영향, 노면주차장 등 도로 마찰요인에 의한 차량의 속도분포에 영향이 미소하여 신호운영조건에 의해 통행시간 분포가 결정되는 것으로 신호운영의 개선에 의해 통행시간 단축이 가능한 것으로 판단된다.

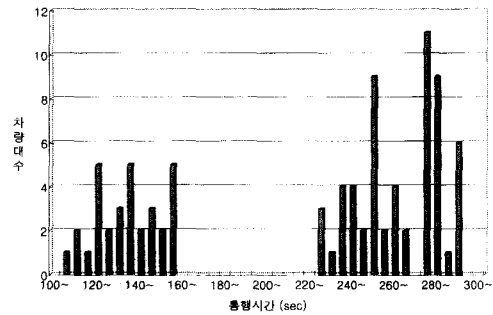
본 연구결과 통행시간의 분포특성 분석을 통해 신호 운영조건과 더불어 도로조건 개선의 개선을 통해 합리적인 링크통행 개선이 가능할 것으로 판단된다.

통행시간 분리현상이 발생하지 않는 경우도 조사되었는데 이것은 모든 차량이 하류부 교차로의 적색시간에 의한 지체와 관계없이 동일한 녹색신호에 통과하기 때문이다.

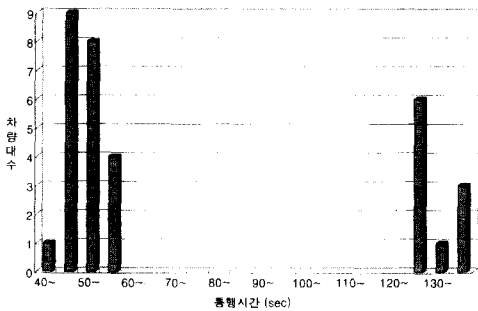
통행시간 분리가 발생하지 않는 경우는 <그림 9>~<그림 10>에 나타내었다.



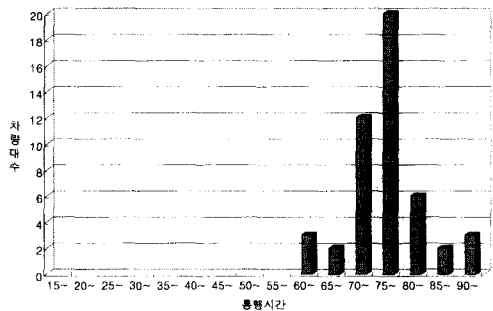
<그림 7> 계산오거리 => 만월당사거리



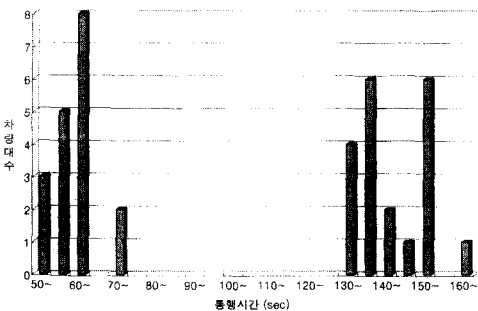
<그림 8> 계산오거리 => 신남사거리



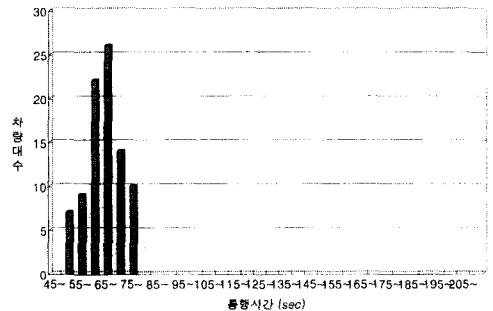
<그림 5> 중동사거리 => 상동사거리



<그림 9> 수성시장좌회전=>동성초교직진



<그림 6> 축협직진=>동성직진



<그림 10> 신남사거리 => 중부소방서사거리

3. 분포비율 추정모형 구축

1) 개요

통행시간의 분포는 일정한 시간차를 두고 분리되는 형태를 나타내고 있는데, 이것은 신호대기 없이 통과하는 차량과 신호대기로 인해 다음 주기의 녹색시간에 통과하는 차량의 구분 때문이다.

이러한 결과로 미루어 주행차량이 교차로에 접근하였을 때 첫 번째 녹색시간에 교차로를 통과하는 차량과 신호대기를 경험하고 다음 녹색시간에 교차로를 통과하는 차량의 비율을 추정함으로써 통행시간 분포비율을 추정할 수 있을 것이다.

먼저, 링크통행시간 분포비율에 영향을 주는 변수들에 대한 검토를 실시하고 사용 가능한 변수들을 이용하여 링크통행시간 분포비율 추정을 위한 회귀모형을 구축하였다.

2) 시뮬레이션 수행 시나리오

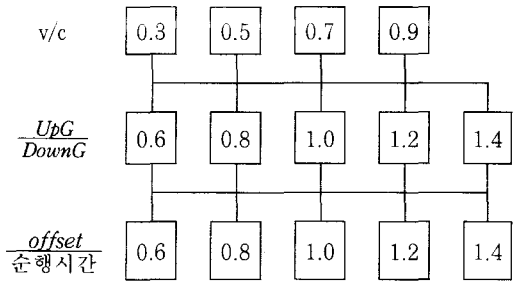
통행시간 분포비율에 영향을 미치는 변수를 검토한 결과에 따라 변수들의 변화에 따른 통행시간 분포비율을 분석하기 위해 시뮬레이션을 수행하였다.

본 연구에서는 시간적·비용적 제약과 현실적으로 링크구간을 통과하는 모든 차량의 주행거동을 살펴보면 통행시간을 조사하는 것은 불가능하므로 이러한 한계를 극복하기 위해 시뮬레이션을 이용하였다.

시뮬레이션은 미시적 모형으로서 다양한 조건부여가 가능하고 교통망 구성이 가능하여 현실적인 표현이 용이한 TSIS 프로그램 중 TRAF-NETSIM을 사용하였으며, 데이터 조사방법은 TSIS에서 제공되고 있는 애니메이션 프로그램인 TRAFU를 이용하여 실제 차량주행 조사와 동일하게 개별차량의 상류교차로 통과시각과 하류교차로 통과시각을 측정하여 링크통행시간을 추출하여 가능한 현실과 부합되는 데이터 조사를 위해 노력하였다.

변수들의 다양한 변화를 위해서는 앞에서 살펴본 교통조건, 신호운영조건, 도로조건에 대한 변화가 필요하다. 도로조건인 경우 시뮬레이션의 한계로 인해 조건부여가 어려운 실정이다. 그러나 도로조건 변화는 순행시간의 변화로 나타나기 때문에 순행시간을 변화시킴으로써 도로조건 변화를 반영하였다.

v/c와 상·하류교차로 녹색시간비(UpG/DownG)는



〈그림 11〉 시뮬레이션 시나리오

상류부를 기준으로 결정하였다. 상류부의 녹색시간을 고정하고 교통량을 부여하여 v/c를 결정하였으며, 하류부 녹색시간을 조정하여 상·하류부 녹색시간비를 결정하였다. 상·하류 녹색시간비를 조정함으로써 상·하류의 다양한 신호조건을 부여하기 위해 노력하였다. 이러한 변수들을 변화시켜 다양한 조건들에 의한 시뮬레이션이 가능하도록 노력하면서 시뮬레이션 시나리오를 작성하였으며 〈그림 11〉과 같다.

3) 링크통행시간 분포비율 추정 회귀모형 구축

시뮬레이션 결과 v/c와 상·하류부 녹색시간비를 상류부 교차로를 기준으로 결정하였기 때문에 동일한 v/c에서 상류부에서 유입되는 교통량은 일정하지만 하류부 녹색시간이 변화함에 따라 v/c가 1.0이상인 경우가 발생하여 Spill Back 현상이 발생하였다.

이러한 Spill Back 현상은 본 분석에서는 고려하지 않고 제외시켰다.

시뮬레이션 결과를 이용하여 통과비율과 변수들과의 상관분석을 실시한 결과는 〈표 2〉와 같다.

신호대기 없이 첫 번째 녹색시간에 통과하는 차량의 비율과 변수들과의 상관분석결과 상관성이 가장 높게 나타난 것은 잔류녹색시간으로 상관계수 R = 0.653

〈표 2〉 통과비율과 변수의 상관관계 분석

변수명	v/c	UpG/DownG	offset/순행시간	잔류녹색시간	대기행렬	통과비율
v/c	1					
UpG/DownG	-0.575	1				
offset/순행시간	0.403	0.001	1			
잔류녹색시간	0.595	-0.359	0.930	1		
대기행렬	0.535	-0.052	-0.139	-0.115	1	
통과비율	0.154	-0.313	0.569	0.653	-0.629	1

으로 분석되었다.

여기서, 잔류녹색시간은 차량이 상류부 교차로로 유입하여 순행시간동안 주행하여 하류부 교차로에 도착했을 때 남아 있는 녹색시간이다. 이것은 하류부의 녹색시간과 링크의 offset과 순행시간의 관계로 산정할 수 있다.

$$\text{잔류녹색시간} = \text{하류부녹색시간} - (\text{순행시간} - \text{offset})$$

잔류녹색시간은 링크의 도로조건을 반영하는 순행시간과 상·하류부 교차로의 신호조건을 대표하는 offset과 녹색시간을 모두 반영하는 설명변수로서 목적변수와 높은 상관성을 가지는 것으로 분석되었다.

다음으로 높은 상관성을 가지는 설명변수는 대기행렬로서 $R = -0.629$ 의 상관성을 나타내어 목적변수와 반비례의 관계를 가지는 것으로 분석되었다. offset/순행시간 변수는 $R = 0.569$ 의 상관성을 나타내고 있다.

그러나, 이 변수는 잔류녹색시간과 상관성이 매우 높은 것으로 분석되어 다중공선성의 문제를 발생시킨다. 따라서 회귀분석을 위한 도입변수로서 상관성이 더 큰 것으로 분석된 잔류녹색시간을 선택하고 offset/순행시간은 도입변수로 사용하지 않았다.

상관분석결과를 살펴보다라도 통행시간의 분포비율에 결정적인 영향을 주는 것은 역시 링크의 연동에 의한 것으로 분석되었다. 이러한 결과를 바탕으로 교차로 통과비율 추정다중회귀모형을 구축한 결과 식(1)과 같다.

$$P_{non} = 1.047 \times (GT_{down} - CT + OFF) - 2.51 \times DV + 73$$

$$P_{stop} = 1 - P_{non} \quad (R^2 = 0.792) \quad (1)$$

(단, IF $P_{non} > 100$ THEN $P_{non} = 100$,

$P_{non} < 0$ THEN $P_{non} = 0$)

- 여기서, P_{non} : 첫 번째 녹색시간에 통과차량비
- P_{stop} : 적색신호 대기 후 다음 녹색시간에 통과하는 차량비
- DV : 대기행렬 차량대수
- CT : 링크 순행시간
- GT_{down} : 하류부 교차로의 녹색시간
- OFF : 상류부와 하류부 교차로의 offset

다중회귀식의 특성상 분포비율이 100%보다 큰 값

이 산정되고, 낮은 경우에는 0%보다 작은 값이 나타나지만 분포비율의 범위가 0~100%인 것이 명확하기 때문에 제약조건으로 적용범위를 제시하였다.

4) 통행시간 분포 영향 변수 검토

기존의 각 국의 연구들을 살펴보면 링크 통행에 영향을 주는 변수들로 교통량, 좌회전, 우회전율과 같은 교통조건과 차로수, 구간길이 등으로 대표되는 도로조건 마지막으로 주기, 현시, g/C와 같은 신호조건으로 분류할 수 있다.

링크 통행에 영향을 주는 변수들을 살펴보면 도로조건인 경우는 차량이 링크를 주행하는데 영향을 주는 변수들로서 대부분 링크를 주행하는 순행시간 변수로 대변될 수 있다.

경로통행의 경우 교차로에서의 모든 방향에 대한 고려가 아니라 경로에 의해 교차로에서의 진행방향이 결정되기 때문에 진행방향의 녹색시간이 가장 큰 영향을 줄 것으로 예상할 수 있다. 또한 경로통행에서는 상류부 교차로와 하류부의 교차로의 상호관계에 의한 영향이 크게 나타난다. 따라서 분석시 상·하류부 교차로를 모두 고려할 필요가 있다.

본 연구에서는 링크통행 분석을 위한 변수로서 도로조건인 모든 변수들을 포함할 수 있는 순행시간을 변수로 선택하였으며, 교통조건에서는 교통량을 변수로 선택하였다. 또한 신호조건에서는 상·하류부 신호 조건을 모두 고려할 수 있는 방법으로 상류부 녹색시간과 하류부 녹색시간의 비를 변수로 사용하였다.

상·하류부 신호운영 결과 링크 통행에 결정적인 영향을 미치는 변수가 offset이다. offset은 링크의 연동에 영향을 미치기 때문이다.

교차로의 통과와 정지는 연동에 의한 영향이라고 할 수 있다. 연동은 offset과 더불어 순행시간과의 관계에 의해 결정되는 것이다. 따라서 링크통행시간 분석에 도입변수는 offset과 순행시간의 비를 변수로 사용하였다.

4. 구축 모형의 통계적 검정

1) 구축모형의 통계적 검정

구축모형의 통계적 검정을 위해 통계패키지인 SPSS 11.0을 사용하여 T-test를 실시하였으며, 현장조사결과와 모형구축에 사용된 시뮬레이션 교통망에 신호운

영과 교통량을 변화시켜 조사된 데이터를 이용하였다. 조사값과 구축된 모형의 추정값의 연구가설에 따른 귀무가설과 대립가설을 설정은 다음과 같이 표현할 수 있다.

연구가설 : 조사값과 다중회귀모형의 추정값은 차이가 있을 것이다.

귀무가설(H_0) : $\mu_1 = \mu_2$

대립가설(H_1) : $\mu_1 \neq \mu_2$

여기서, μ_1 : 시뮬레이션 조사값,

μ_2 : 구축된 모형의 추정값

T-test를 실시한 결과를 살펴보면, 두 추정모형 모두 p-value가 $\alpha=0.05$ 보다 큰 것으로 분석되어 귀무가설을 기각하지 못하는 것으로 나타났다. 즉, 시뮬레이션 조사값과 구축된 모형의 추정값은 차이가 있다고 할 수 없다. 따라서 95% 신뢰수준에서 추정값은 적합한 것으로 분석되었다. 표준편차는 12.51, 표준오차평균은 2.41인 것으로 분석되었다.

시뮬레이션 조사값과 다중회귀모형에 의한 추정값의 상관계수는 0.890으로 나타났다.

이러한 분석결과를 전체적으로 살펴보면 구축된 모형은 높은 추정력을 가지는 것으로 분석되었다.

T-test 결과는 <표 3>~<표 4>에 나타내었다.

<표 3> 표본의 상관관계

구분	N	Correlation	Sig.
조사값 & 회귀모형	27	.890	.000

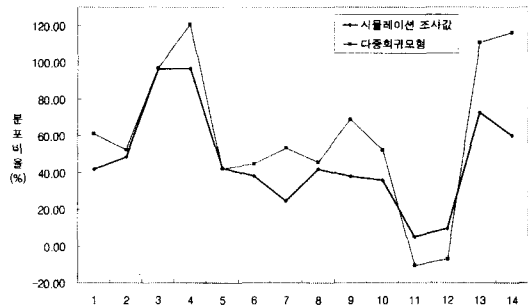
<표 4> T-test 결과

구분	Paired Differences			t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean			
결과값	-.6507	12.51459	2.40843	-.270	26	.789

2) 구축모형의 적용성 분석

링크통행시간 분포비를 추정을 위해 구축된 다중회귀모형의 적용성 분석을 실시하였다. 다중회귀모형과 현실적으로 존재하는 링크에 적용하였을 경우 적용이 충분히 가능한지에 관한 분석을 실시하였다.

자료조사를 위해 실존 가로를 대상으로 한 시뮬레이션 결과를 이용하였다. 시뮬레이션은 현재 존재하는 신



<그림 12> 분포비율 추정모형 적용성 분석결과

호교차로의 기하구조 및 신호운영조건을 이용하고 실제 조사된 교통량을 이용하여 현실성 확보를 위해 노력하여 구축되었다. 이렇게 구축된 링크를 각 2주기씩 시뮬레이션을 실시하여 주기별로 설명변수인 잔류녹색시간과 대기행렬 대수를 조사하였으며, 또한 상류 교차로 유입교통량 중 첫 번째 녹색신호시간에 통과하는 차량과 그렇지 못한 차량을 구분하여 조사를 실시하였다.

시뮬레이션 결과 통행시간 분리현상이 발생하는 7개 링크의 각 2주기씩 조사에 의해 총 14가지 경우를 이용하여 분포비율 추정모형을 적용하여 분석을 실시하였다. 조사결과를 이용한 분포비율 추정모형의 적용성 분석결과를 <그림 12>에 나타내었다.

구축된 링크통행시간 추정 다중회귀모형은 실제 존재하는 링크를 시뮬레이션한 결과와 거의 유사한 형태를 나타내어 높은 신뢰성을 가지는 것으로 분석되어 모형의 적용성이 우수한 것으로 나타났다.

V. 결론

단속류에서 교통조건, 신호운영조건, 도로조건 등 다양한 영향인자로 인해 뚜렷하게 구분되는 통행시간 분포 특성에 대한 연구를 통해 지금까지의 단조로운 평균 링크통행시간 추정에서 벗어나 링크통행 특성을 좀더 미시적으로 분석한 결과 이를 바탕으로 통행시간 개선을 위한 신호운영조건, 도로기하조건 등에 대한 개선을 효율적으로 수행할 수 있을 것으로 분석되었다. 그리고, 경로통행시간 분포를 고려한 확률적인 정보제공을 위한 기본 단위가 되는 링크통행시간의 분포에 대한 연구 수행결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 현장실험을 통한 링크 주행특성을 살펴보면 일정한 속도로 링크구간을 주행한 차량이 교차로에서 신호

운영에 의해 정지하였다가 통과하는 차량과 정지없이 통과하는 차량으로 구분되는 것을 확인할 수 있었으며, 이러한 결과를 이용하여 순행시간과 적색신호 대기를 포함한 통행시간의 차이가 크다면 도로의 기하구조 및 도로조건은 양호한 상태이나 신호운영의 문제로 인한 지체이므로 신호운영 개선이 필요할 것이며, 순행시간과 적색신호 대기를 포함한 통행시간의 차이가 크지 않으면서 지체가 발생한다면, 신호운영의 문제보다 도로 조건에 의한 지체로 예상할 수 있으며, 도로의 기하구조, 노면상태, 도로변의 저항요소 등의 개선을 통해 링크통행시간 단축을 유도할 수 있을 것이다. 따라서, 순행시간과 적색신호 대기를 포함한 통행시간을 구분하여 조사·분석이 필요할 것이며 특히, 교통축 체계개선 등에 유용하게 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

2. GPS 장착차량의 주행실험을 통해 링크구간에서 도로조건에 의해 속도가 잠시 줄었다가 회복되는 현상을 확인할 수 있었으며, 링크구간내 차량의 통행행태에 대해 미시적으로 분석이 가능한 것으로 나타나 현재 각 지방자치단체에서 도입 중에 있는 실시간 신호운영시스템의 연동값의 산정시 링크구간에서 발생할 수 있는 돌발적 상황 등에 의해 변화하는 통행시간의 변화를 실시간으로 측정하여 연동값을 적용하기 위한 유용한 방법으로 판단되며 또한, 최근 버스안내정보시스템(BIS)에서 GPS를 장착한 버스를 이용한 링크구간 수집 데이터의 퓨전을 통한 각종 교통정보의 통계 및 통행시간 산정에 적용하고 있다. 이 때 필수적으로 필요한 차량 주행거동의 미시적 변화상태를 파악하는데도 유용하게 이용될 수 있을 것이다.

3. 통행시간의 분포범위는 상·하류 신호운영에 의해 영향을 받는 것으로 나타나고 있으며, 일반적인 통행시간의 연구결과도 이를 뒷받침하고 있다. 그러나 신호운영에 의해 영향을 받긴 하지만 링크구간내의 차량의 운행거동에 대한 미시적인 분석결과 링크구간내의 도로조건 등 주변여건에 의한 주행속도의 변화로 인해 통행시간의 분포가 변화하는 것으로 분석되었다. 따라서, 지금까지의 신호운영에 의한 통행시간에 대한 연구뿐 아니라 링크구간내의 차량주행 조건에 의한 통행시간의 영향에 대한 분석이 필요한 것으로 나타났다.

4. 잔류녹색시간은 링크의 도로조건을 반영하는 순

행시간과 상·하류부 교차로의 신호조건을 대표하는 offset과 녹색시간을 모두 반영하는 설명변수로서 목적변수와 높은 상관성을 가지는 것으로 분석되었다.

다음으로 높은 상관성을 가지는 설명변수는 대기행렬로서 목적변수와 반비례의 관계를 가지는 것으로 분석되었다. 이러한 상관분석결과를 바탕으로 링크통행시간 분포비를 추정모형을 구축하였다.

5. 구축된 링크통행시간 추정 다중회귀모형의 신뢰성 및 적용성 분석결과 높은 신뢰성을 가지고 적용성 또한 우수한 것으로 분석되었다.

본 연구결과를 바탕으로 볼 때 실시간 교통정보 데이터 수집에 대한 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단되며, 향후 다양한 링크통행시간의 분포의 조합을 통한 통행시간 정보 이용자들의 실질적인 요구사항인 경로통행시간 추정에 대한 연구가 필요한 것으로 판단된다. 다양하게 분포하는 링크통행시간의 조합을 통해 경로통행시간의 분포특성에 대한 연구를 수행하고 이 결과를 이용하여 경로통행시간의 확률적 정보제공이 가능할 것이다.

참고문헌

1. 고승영(2002), "버스도착시간 정보에 대한 연구", 대한교통학회지, 제20권 제5호, 대한교통학회, pp.175~181.
2. 김도경(1998), "루프검지기를 이용한 도시간선도로의 실시간 통행속도 추정방법론", 서울시립대학교 석사학위 청구논문.
3. 김대현(2003), "퍼지기반 신경망모형을 이용한 대기행렬 검지", 대한교통학회지, 제21권 제2호, 대한교통학회, pp.63~70.
4. 김명하(2003), "차량검지기 교통량 데이터를 이용한 고속도로 통행시간 추정 및 예측 모형 개발에 관한 연구", 대한교통학회지, 제21권 제5호, 대한교통학회, pp.83~95.
5. 김영찬·김태용(2001), "검지기자료 합성을 통한 도시간선도로 실시간 통행시간 추정모형", 대한교통학회지, 제19권 제6호, 대한교통학회, pp.171~182.
6. 박용진(1998), "교통류 모형을 이용한 도시 연동가로의 통행시간 모형개발", 대한교통학회지, 제16권 2호, 대한교통학회, pp.145~155.

7. 오기도(1999), "단속류 교통정보 수집용 검지기의 최적 위치 결정 및 통행시간 추정", 서울시립대학교 석사학위 청구논문.
8. 이승준(2001), "GIS/GPS를 이용한 도시교통 정보체계의 개발에 관한 연구", 경일대학교 산업대학원 석사학위 청구논문.
9. 이재훈(1998), "DGPS와 퍼지제어를 이용한 스피드스프레어의 자율주행", 서울대학교 석사학위 청구논문.
10. 이정희(2001), "교통정보제공을 위한 구간통행시간 산출 방법론 연구", 서울시립대학교 석사학위 청구논문.
11. 이철기·이승환(1992), "신호등 교차로에서의 지체예측에 관한 연구", 대한교통학회지, 제10권 제1호, 대한교통학회, pp.41~54.
12. 최기주·신치현(1998), "GPS와 GIS를 이용한 링크통행시간 예측기법", 대한교통학회지, 제16권 제2호, 대한교통학회, pp.197~207.
13. 하동익(1997), "신호교차로 지체체계 분석방법론 연구", 대한교통학회지, 제15권 제2호, 대한교통학회, pp.83~103.
14. Benekohal, R. F.(1986), "Development and Validation of A Car Following Model for Simulation of Traffic Flow and Traffic Wave Studies", Ohio State University.
15. Nagui M. Roupail and Virginia Sisiopiku (1993), "Travel Time and Loop Detector Output Analysis on Dundee Road Closed-Loop Signal System", University of Illinois at Chicago, ADVANCE Working Paper Series No.24.
16. W. Lassarlin(1990), "TRAF-NETSIM Source Code", Version 1.0.5.
17. William. Mashane and Roger P. Roses (1990), "Traffic Engineering", New York, pp.51~69
18. Z. Wall, D.J. Dailey(1999), "An Algorithm for Predicting the Arrival Time of Mass Transit Vehicles Using Automatic Vehicle Location Data", In Presentation and Review 78th Annual Meeting of the Transportation Research Board.

✉ 주 작 성 자 : 이영우

✉ 논문투고일 : 2003. 10. 27

논문심사일 : 2004. 4. 7 (1차)

2004. 5. 20 (2차)

2004. 7. 8 (3차)

심사판정일 : 2004. 7. 8

✉ 반론접수기한 : 2005. 2. 28