

□ 論 文 □

단일루프검지기를 이용한 간선도로 실시간 통행속도 추정 방법론

Estimation of Link Travel Speed Using Single Loop Detector Measurements for Signalized Arterials

김 영 찬

(서울시립대학교 도시공학과 조교수)

최 기 주

(아주대학교 교통공학과 조교수)

김 도 경

(서울시립대학교 교통공학과 대학원)

오 기 도

(서울시립대학교 교통공학과 대학원)

목 차

I. 서론	2. 퍼지제어이론을 이용한 방법
II. 기존 연구 검토	3. 신경망이론을 이용한 방법
III. 연구의 방법론	VI. 평가
IV. 현장자료의 수집 및 평활화	1. 모형의 성능평가
1. 자료의 수집	2. 이식성 평가
2. 원시자료의 평활화	VII. 결론
V. 방법론 설정	참고문헌
1. VPLUSKO방법	

요 약

본 논문에서는 간선도로에서 단일검지기를 이용한 구간통행속도 추정방법론을 제안하고 평가하였다. 제안된 모형은 VPLUSKO방법, 퍼지제어방법, 신경망이론방법의 세 가지이다. 울지로에서 실측한 실측자료를 통하여 개별 모형의 성능을 평가하고, 타구간에 적용가능성을 평가하는 이식성평가를 실시하였다.

VPLUSKO방법은 사용방법이 단순한 장점이 있으나, 타 방법에 비하여 성능이 열등하다. 정밀성은 떨어지지만 단순성에 비하여 어느 정도의 예측력은 있어, 개략적인 혼잡도 판정의 용도로는 사용될 수 있다고 판단된다. 퍼지제어방법은 특정검지기에서 추정능력은 신경망방법에 비하여 다소 저조하지만 적절한 수준의 추정력을 보인다. 특히, 이식성 측면에서는 타 방법보다 우수성이 입증되었다. 퍼지방법은 교통변수와 통행속도간의 비선형관계를 모형화할 수 있는 장점이 있다. 신경망방법은 학습대상이 되는 검지기에 대해서는 추정능력이 우수하나 이식성 측면에서는 문제점이 노출되었다.

결론적으로 본 논문에서는 평균통행속도 추정에는 대상 방법 중에서 추정의 정밀성이나 이식성을 고려해 볼 때 퍼지제어방법을 최선의 방법으로 추천한다.

I. 서론

지능형 교통체계를 통한 교통문제해결이 전세계적으로 유행인 조류에 발맞추어 국내에서도 지능형 교통체계에 관련한 국가기본계획¹⁾을 수립하고, 산학연에서 개별시스템의 연구개발 및 구축계획수립에 박차를 가하고 있다. 지능형 교통체계의 개별시스템 중에서 첨단교통류관리시스템(ATMS)과 첨단교통정보시스템(ATIS)은 전체 체계에서 핵심이 되며, 조기에 실현 가능한 기술이다. 이러한 시스템의 구축을 위해서 선결되어야 하는 문제는 도로의 구간별 실시간 여행시간정보의 수집체계를 구비해야 한다는 것이다.

교통정보수집체계를 위하여 별도의 하부구조를 구축할 수도 있으나 막대한 비용과 수년의 기간이 소요되므로 이러한 기대는 현실적으로 요원하다. 현시점에서 국내의 교통정보수집을 위한 하부구조를 살펴보면 서울, 부산, 대구, 인천 등의 대도시에서 전자신호체계가 구축되면서 간선도로의 소통상황을 모니터링하기 위하여 마그네틱 루프검지기(magnetic loop detector)를 요소에 매설하여 운영하고 있다. 이러한 검지기의 관리상태는 도시별로 다소 차이가 있기는 하나, 기설치된 것이므로 활용방안을 수립할 필요가 있다. 고속도로에도 루프검지기를 주종으로 하고, 영상검지기와 초음파검지기를 보조로 하는 정보수집체계가 구축되어 있으나 본 연구에서는 다루지 않는다.

도시부 간선도로에 매설된 검지기는 링크별 매설개수나 매설위치가 다양하다. 하지만, 기존의 신호체계하에서는 링크중간(mid-block)에 단일검지기를 설치하여 링크전체의 소통상황을 파악하고자 하는 방식이 일반적이다. 이러한 검지기를 통하여 계측된 교통량과 점유율자료가 사전에 정해진 통신프로토콜을 통하여 관제센

터에 원시자료로 전송된다. 센터에서는 전송받은 원시자료를 정해진 시간간격-통상, 5분 또는 15분-동안 누적하고 가공하여 링크별 소통상태를 표출한다. 하지만 소통상태란 '한산', '정상', '혼잡' 정도의 3내지 4단계정도의 등급으로 구분하는 것이므로 현재의 검지정보 처리방식은 구간의 여행시간과 같은 정밀한 교통정보를 수집할 수 없다.

본 논문에서는 도시부나 지방부 간선도로에 적용 가능한 링크 여행시간정보를 링크별 단일 검지기를 사용하여 추정하는 방법론을 제시하는데 목적이 있다. 제시된 방법론에서 추정되는 변수는 링크의 평균주행속도이다. 이유는 여행시간은 링크길이에 따라 크기가 달라지므로 대신 속도를 추정하는 것이 합리적이라는 판단에서이다. 추정된 속도로 링크길이를 나누어주면 여행시간은 손쉽게 산출된다.

연구방법은 본 분야에서 대표적인 세 가지 방법(VPLUSKO방법, 퍼지제어방법, 신경망이론방법)을 선정한다. 이러한 방법론의 배경이론을 검토하고 현장자료를 토대로 최적방법론을 선정한다.

II. 기존 연구 검토

외국의 경우 검지기의 자료로부터 통행속도 또는 통행시간을 추정하는 방법은 고속도로와 같은 연속류 교통시설을 대상으로 활발히 연구되어왔다.²⁾ 반면에 신호화된 간선도로를 대상으로 한 연구는 거의 수행되지 않다가, 최근 미국의 ADVANCE프로젝트에 관련하여 본 분야의 연구가 활성화되었다. 국내에서는 검지기자료를 통한 여행시간의 실시간 추정에 관한 연구는 거의 찾아볼 수 없다.

미국 시카고 대학의 Boyce와 Rouphail³⁾이

ADVANCE프로젝트의 일환으로 제출한 연구보고서에서는 링크통행시간을 예측하기 위해서 고속도로와 간선도로의 두 곳을 대상으로 실험을 하였는데, 통행속도를 추정하기 위한 검지기의 자료로 고속도로의 경우에는 1분 단위의 교통량과 점유율을, 간선도로의 경우에는 15분 단위의 교통량과 점유율을 사용하였고, 링크통행시간을 예측하기 위해서는 link-specific model과 generalized model을 이용하였다. 그리고 Sisiopiku와 Rouphail⁴⁾은 링크통행시간을 예측하기 위하여 필요한 통행시간과 검지기의 교통량, 점유율간의 상관관계에 대한 연구를 수행하였는데, 이 연구에서는 링크통행속도를 예측하기 위해서 NETSIM모형에 검지기자료를 이용하였다. 이 연구의 결과로는 교통수요가 낮은 상태에서의 통행시간과 교통량, 점유율간의 관계는 독립적이고 점유율이 증가함에 따라 통행시간과 점유율의 상관관계는 점점 증가하며, 교통량보다는 점유율이 통행시간을 더 잘 반영하며, 점유율이 90% 이상의 값에서는 통행시간의 예측은 불가능하다는 것이다.

Sisiopiku 등⁵⁾은 검지기자료를 이용한 링크통행시간의 예측에 퍼지이론을 사용하였으며 분석은 교통량과 통행시간과의 관계, 점유율과 통행시간과의 관계로 나누어 수행하였으며, 실험 결과는 통행시간을 예측하는데 효과적인 입력 자료는 교통량보다는 점유율이라는 것이었다.

Nelson 등⁶⁾은 퍼지뉴럴시스템을 이용하여 통행시간을 예측하였는데, 이는 퍼지로지컬 중 퍼지규칙의 결정을 신경망을 이용하여 학습을 시킨 후 링크통행시간을 예측하는 방법이다. 물론 여기서도 입력자료로는 교통량과 점유율을 사용하였다. 이 연구의 결과는 퍼지이론만을 이용하여 통행시간을 예측하는 것보다 퍼지이론과 신경망이론을 결합하여 사용하는 것이 더 좋은 예측력을 보인다는 것을 실험을 통하여 평가하였다.

III. 연구의 방법론

본 연구는 다음의 3단계를 거쳐 결론을 유도한다.

제1단계. 추정방법론 설정

제2단계. 현장자료를 통한 추정방법론의 성능 비교

제3단계. 이식성(transferability) 평가

링크통행속도를 추정하기 위하여 본 연구에서 사용한 방법으로는 VPLUSKO방법, 퍼지이론을 이용한 방법, 신경망이론을 이용한 방법 등이 있다. VPLUSKO방법^{7,8)}은 가장 단순한 모형으로 교통량과 점유율의 선형결합식이 링크의 혼잡도와 선형적인 관계를 갖는다는 전제하에 제안된 모형이다. 각 해당 링크의 일평균 통행속도를 알아야만 통행속도를 추정하는 것이 가능하다.

퍼지이론⁹⁾을 이용한 속도추정 방법은 교통량과 점유율을 입력변수로 하여 속도를 추정하는 방법으로 이 방법은 현실에 존재하는 링크통행속도가 교통상황의 불확실성과 임의성 때문에 수학적으로 해석하여 모형화하는데 한계가 있는 단점을 보완할 수 있는 방법이다.

마지막으로 신경망이론¹⁰⁾을 이용한 추정방법은 학습자료중 과거의 입력자료를 인간의 뇌와 비슷한 구조를 가진 뉴런에 입력하여 도출된 값을 학습자료의 출력값과 오차가 최소가 되도록 각 연결강도를 조절함으로써 학습을 시킨 후 각 입력값에 대한 결과를 도출하는 방법이다. 이 방법은 결과도출 과정에서 일반 모형처럼 입력값을 제시하면 파라미터와 변수들간의 관계로 출력값이 형성되는 것이 아닌 신경망 모형안의 유니트, 연결강도의 종합적인 상호작용으로 입력값에 대한 적절한 출력값이 형성되는 독특한 특징을 지닌다.

이상의 세 가지 방법론의 성능을 비교평가하기 위하여 현장에서 평균통행속도를 실측하였다. 현장조사 시간대와 동일한 시간대 동안 신호제어시스템에 속한 관측구간의 검지기에서 교통량과 점유율자료를 1분단위로 수집하였다. 관측검지기자료를 세가지 방법으로 처리하여 통행속도를 추정하고 실측 통행속도와 평균제곱오차값으로 비교하였다. 이때 속도 추정 시간간격은 15분으로 정하였다.

개발된 방법론이 특정 링크의 해당 검지기에서 정밀한 추정치를 산출하는 것은 중요하다. 하지만, 설정된 방법론이 여타의 검지기에도 적용가능한지의 이식성(transferability) 역시 실용적 측면에서 간과해서는 안된다. 전국적으로 수천 개의 검지기가 매설되어 있다. 이렇듯 많은 검지기 개개에 대하여 현장 조사를 수행하여 캘리브레이션과정을 수행한다는 것을 현실적으로 불가능하다. 따라서 본 논문에서는 이식성 측면에서 세가지 방법의 성능을 비교평가하였다.

IV. 현장자료 수집 및 평활화

1. 자료의 수집

본 연구를 위한 자료는 양호한 상태의 검지기에서 얻어진 15분 단위의 교통량과 점유율, 그리고 링크간 실제 측정된 속도자료로 구성된다. 현장자료를 수집하기 위하여 서울시내에 매설된 검지기 중 상태가 양호한 을지로구간을 선정하였다. 속도추정을 위한 검지기 자료는 을지로3가와 4가 구간의 동향링크와 시청앞 교차로에서 을지로입구 구간의 동향링크의 자료로서 오전 7:00부터 오후 5:00까지의 자료를 사용하였는데, 동일한 시간대에 두 링크에 대하여

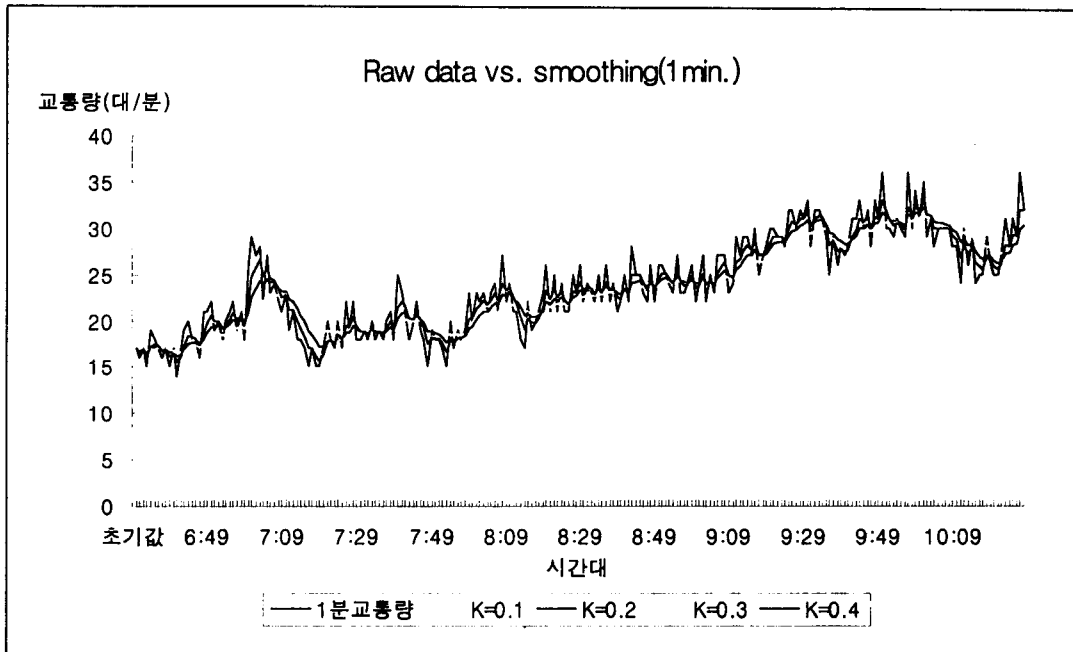
링크통행속도를 실측하였다. 을지로3-4가의 검지기는 링크길이 300m에서 하류부 교차로(을지로4가 교차로) 정지선에서부터 상류부(을지로3가 교차로 방향)로 230m에 위치하며, 시청-을지로입구의 검지기는 링크길이 500m에서 정지선으로부터 400m 상류부에 위치하고 있다. 두 검지기는 공히 2차선에 매설되어있다. 이 조사에서는 조사원이 링크 전체를 관측가능한 고층건물의 옥상에서 실제 운행중인 임의의 차량을 선정하여 상류부 교차로의 정지선을 출발하는 시점에서부터 하류부 교차로의 정지선을 통과하는 시점까지 통행시간을 조사하는 방법을 택하였다. 통행시간에는 교차로 지체도 포함된다. 이 방법으로 매 15분 시간대동안 10대 이상 표본수를 얻었다. 조사된 통행시간을 15분 시간대로 평균하고, 링크거리에 나누어 평균구간통행시간을 구하였다.

을지로 3-4가 자료는 대상 방법론의 속도추정의 정확성을 평가하는데 사용되며, 시청앞-을지로입구의 자료는 모형의 이식성 평가에 사용된다.

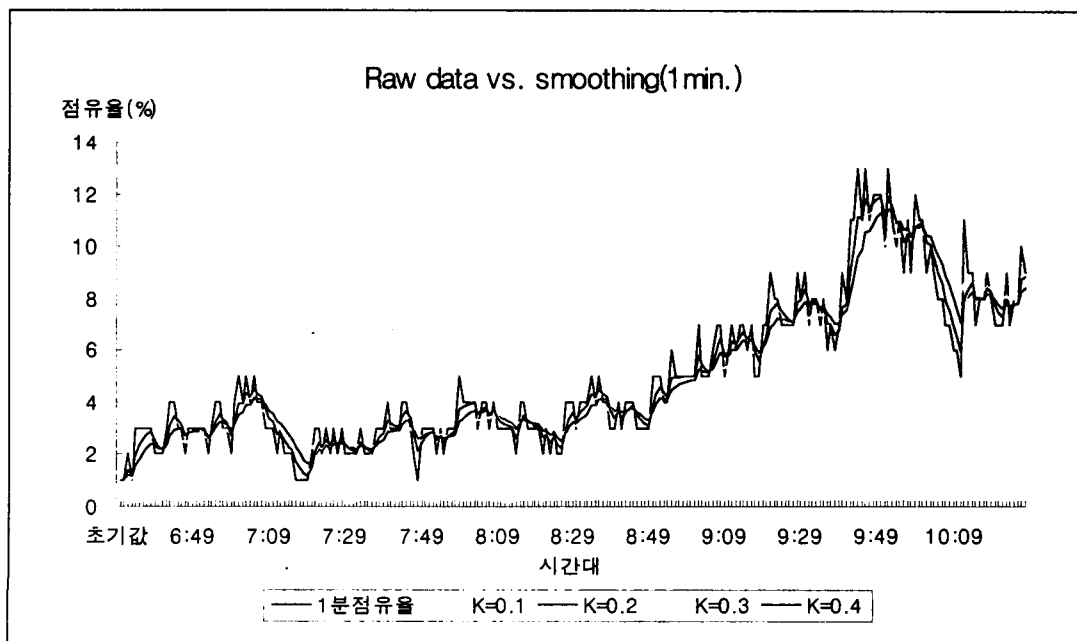
2. 원시자료의 평활화

일반적으로 검지기에서 수집되는 자료들은 검지기 자체가 가지는 불안정성과 더불어 외적 요인으로 인하여 자료 자체에 문제(noise)를 가질 수 있으며, 교통량과 같은 대부분의 교통자료는 교통류의 특성으로부터 기인한 고유의 변동(fluctuation)을 가진다. 만약 이런 자료들로써 교통정보를 제공한다면, 정보의 신뢰성이 떨어질 것이므로 자료의 신뢰성을 높이기 위해서는 자료들에 미치는 외적 요인에 의한 악영향과 심한 변동 요인을 완화시킬 수 있는 평활화기법의 도입이 필요하다.

평활화를 위한 검지기의 원시자료로는 1분



〈그림 1〉 교통량(1분) 자료의 평활화 결과



〈그림 2〉 점유율(1분) 자료의 평활화 결과

자료를 사용하였으며, 평활화를 위한 알고리즘⁸⁾은 다음과 같다.

$$\widehat{X}(m) = \widehat{X}(m-1) + K(X(m) - \widehat{X}(m-1))$$

여기서, $\widehat{X}(m)$ = m시점에서의 평활화된 속도

$X(m)$ = m시점에서의 원시 속도

K = 평활화 계수($0 \leq K \leq 1$)

위식에서 평활화계수(K)가 1에 가까우면 평활화하지 않는 것이고, 0이면 이전 시점의 평활화된 자료를 그대로 사용하는 것이다. K값을 변화시켜 을지로 3-4가의 검지기자료를 평활화한 결과가 <그림 1>과 <그림 2>에 나타난다. K값은 일반적으로 운영자의 판단에 의하여 정해지는데 본 연구에서는 0.2를 사용하였다. 다음절에 제시되는 링크의 평균통행속도 추정과정에서는 평활화를 거친 자료를 사용한다.

V. 방법론 설정

1. VPLUSKO를 이용한 방법

링크상의 단일 루프검지기는 교통량(VOL)과 점유율(OCC)의 자료를 제공한다. 단일 루프검지기로 속도(SPD)를 산출하는 전통적인 방법은 다음 식을 이용한다.⁹⁾

$$SPD[kph] = \frac{VOL}{OCC} \frac{L}{10}$$

여기서, L은 검지기의 길이와 평균차량길이의 합(미터)이다.

위 식은 연속교통류에서 일반적으로 적용되나 단속교통류에서는 적절하지 못한 것으로 알

려져 있다. 단속류 또는 간선도로 교통류를 관리하는 전자신호제어시스템에서는 전통적으로 혼잡의 정도를 나타내는 척도로 VPLUSKO라는 변수를 혼잡척도로 사용하고 링크의 소통상태를 표출하는데 이용하여 왔으며, 식은 다음과 같다.^{7,8)}

$$VPLUSKO = VOL + K \cdot OCC$$

여기서, K는 교통량과 점유율의 가중치를 나타내는 계수로 일반적으로 20을 사용한다.

혼잡도를 나타내는 VPLUSKO와 평균통행속도는 역수관계가 있으므로 구간평균속도는 다음의 식으로 추정한다.

$$SPD = \frac{\alpha}{VOL + K \cdot OCC}$$

여기서, α 는 보정계수로 링크별로 캘리브레이션해야 하는 값이다.

보정계수 α 는 링크별로 현장자료와 비교하여 조정하는 것이 바람직하다. 현장자료가 없는 경우는 하루 분의 검지기자료로 속도를 추정한 후 속도의 상한치가 나타나는 새벽시간대의 속도값이 자유교통류의 속도와 근접하도록 하는 값을 선정해도 된다.

2. 퍼지제어이론을 이용한 방법

퍼지제어이론으로 링크통행속도를 추정할 때 입력은 교통량과 점유율이며 출력은 링크통행속도가 된다. 연구과정으로 입력을 다음의 네 가지 경우를 평가하였다.

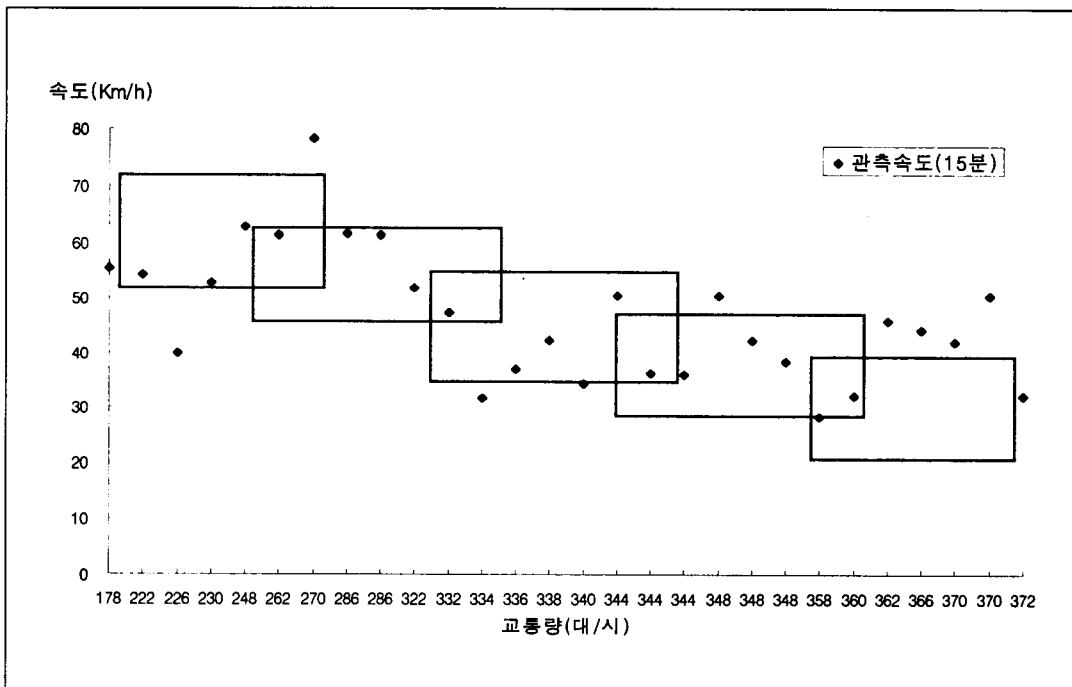
CASE 1. 교통량만 입력

CASE 2. 점유율만 입력

CASE 3. VPLUSKO (VOL+K · OCC) 입력
 CASE 4. 교통량과 점유율을 입력

퍼지제어이론을 응용하기 위해서는 입력퍼지
 집합과 출력퍼지집합 그리고 퍼지규칙을 정해

야 한다. 교통량의 퍼지집합은 5가지로, 속도의
 퍼지집합은 5가지로 나누어 분석을 하였다. 교
 통량에 대한 속도의 퍼지집합을 그림으로 나타
 내면 다음 <그림 3>와 같다.



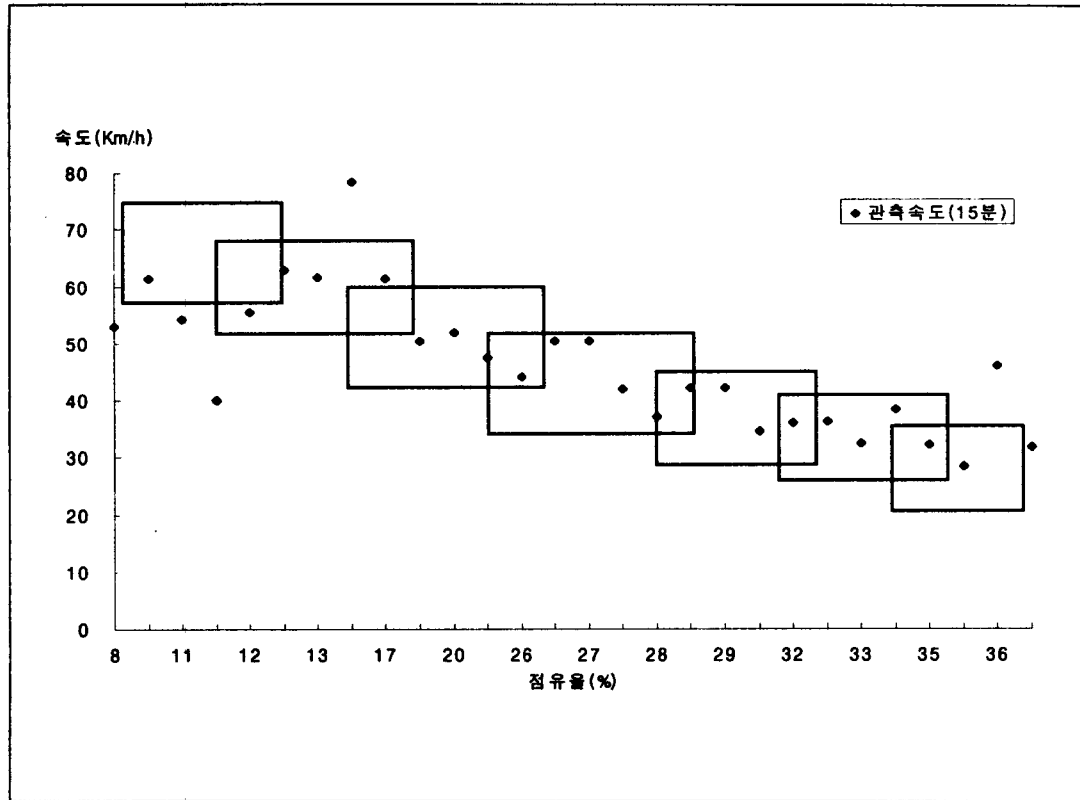
<그림 3> 교통량과 속도와의 퍼지집합

이때의 퍼지규칙은 다음과 같다.

- ① 만약 교통량이 적다(LC)면 속도는 매우
 높다.(VH)
- ② 만약 교통량이 많다(MC)면 속도는 높다.(H)
- ③ 만약 교통량이 용량 아래(BC)이면 속도는
 중간이다.(M)
- ④ 만약 교통량이 용량 근처(NC)이면 속도는
 낮다.(L)

- ⑤ 만약 교통량이 용량보다 높으면(AC) 속도
 는 매우 낮다.(VL)

점유율의 퍼지집합을 7개의 집합으로 구분하
 였으며, 속도의 퍼지집합은 앞에서와 마찬가지로
 5개의 집합으로 구분하여 속도를 추정하여
 보았다. 점유율에 대한 속도의 퍼지집합은 다음
 의 <그림 4>와 같다.



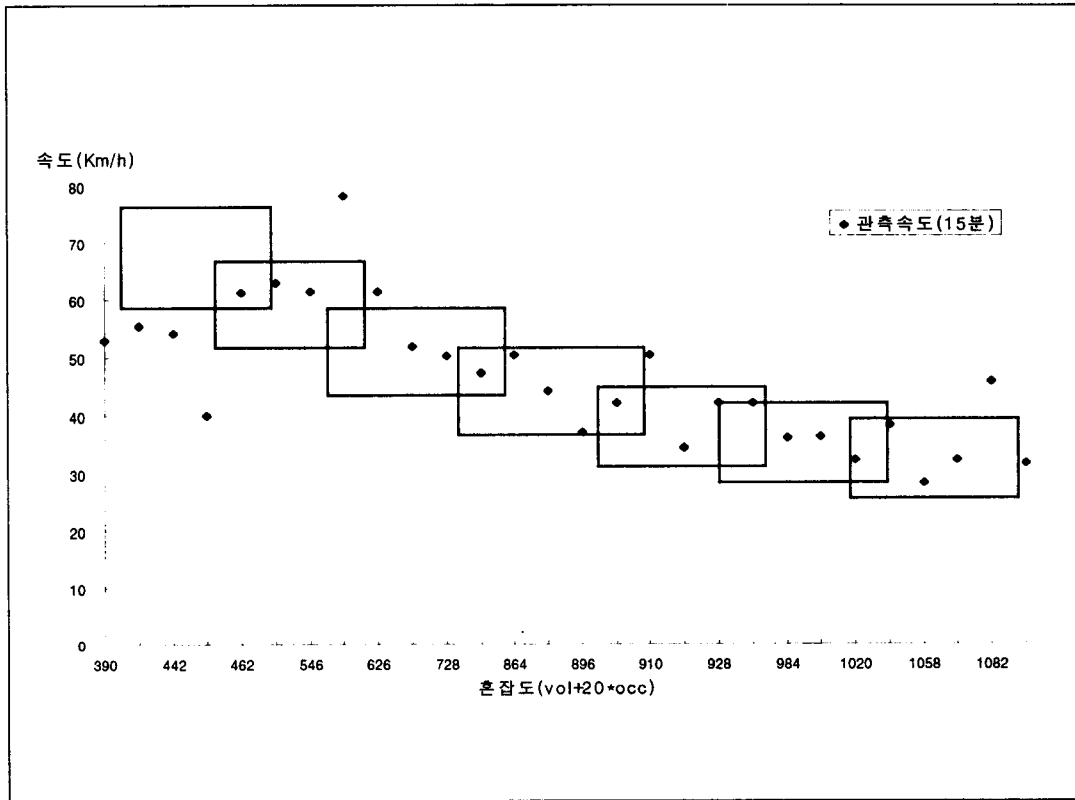
〈그림 4〉 점유율과 속도와의 퍼지집합

이때의 퍼지규칙은 다음과 같다.

- ① 만약 점유율이 매우 낮다(VL)면 속도는 매우 높다.(VH)
- ② 만약 점유율이 낮다(L)면 속도는 높다.(H)
- ③ 만약 점유율이 평균치이하(BA)이면 속도는 높다.(H)
- ④ 만약 점유율이 평균(A)이면 속도는 중간이다.(M)
- ⑤ 만약 점유율이 평균치이상(AA)이면 속도는 중간이다.(M)

- ⑥ 만약 점유율이 높다(H)면 속도는 낮다.(L)
- ⑦ 만약 점유율이 매우 높다(VH)면 속도는 매우 낮다.(VL)

혼잡도(VPLUSKO)의 퍼지집합을 7개의 집합으로 구분하였으며, 속도의 퍼지집합은 앞에서와 마찬가지로 5개의 집합으로 구분하여 속도를 추정하여 보았다. 혼잡도에 대한 속도의 퍼지집합은 다음의 〈그림 5〉과 같다.



〈그림 5〉 혼잡도(VPLUSKO)와 속도와의 퍼지집합

이때의 각 지역에 대한 퍼지규칙은 다음과 같다.

- ① 만약 혼잡도가 매우 낮다(VL)면 속도는 매우 높다.(VH)
- ② 만약 혼잡도가 낮다(L)면 속도는 높다.(H)
- ③ 만약 혼잡도가 평균치이하(BA)이면 속도는 중간이다.(M)
- ④ 만약 혼잡도가 평균(A)이면 속도는 중간이다.(M)
- ⑤ 만약 혼잡도가 평균치이상(AA)이면 속도는 낮다.(L)
- ⑥ 만약 혼잡도가 높다(H)면 속도는 낮다.(L)

- ⑦ 만약 혼잡도가 매우 높다(VH)면 속도는 매우 낮다.(VL)

교통량과 점유율을 통한 속도의 추정은 기존의 다른 방법과는 달리 입력 퍼지집합은 교통량과 점유율의 두 개를 입력 퍼지집합으로 하고, 속도를 출력퍼지집합으로 구분한 후 구하였다. 여기서 점유율과 교통량 각각의 퍼지집합은 앞서서와 마찬가지로 각각 7개, 5개의 집합으로 구분하였으며, 속도의 퍼지집합은 앞과 동일하게 5개의 집합으로 구분하여 속도를 추정하여 보았다. 퍼지규칙은 다음의 <표 1>과 같이 행렬의 형식이 된다.

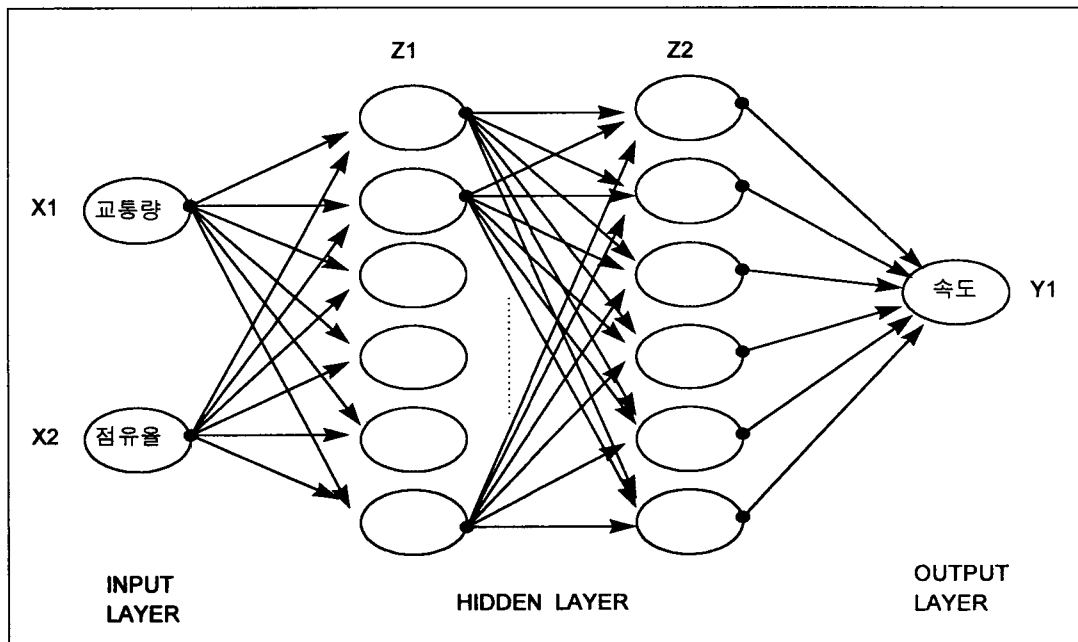
〈표 1〉 교통량과 점유율을 통한 속도 퍼지규칙

Flow \ Occupancy	LC	MC	BC	NC	AC
VL	VH	VH	H	M	M
L	VH	H	H	M	M
BA	H	H	H	M	L
A	H	H	M	M	L
AA	M	M	M	L	L
H	M	M	L	VL	VL
VH	M	L	L	VL	VL

〈표 1〉에서 사용된 기호는 교통량과 점유율의 퍼지집합 정의에서 사용한 기호와 동일한 의미를 갖는다.

3. 신경망이론을 이용한 방법

본 연구에서 사용된 신경망 모형은 신경망모형중에서도 일반적으로 사용되고 있는 다층선



〈그림 6〉 링크통행속도 추정을 위한 신경망 모형의 구조

행신경망(MLF:Multi Layer Feedforward)을 사용하였으며, 이의 학습을 위한 학습 알고리즘으로는 각 입력패턴으로부터 네트워크가 계산한 출력값과 목표값과의 오차를 최소화시키는 방향으로 네트워크의 연결강도를 조절하여 학습을 하는 역전파법(Backpropagation) 알고리즘을 사용하였다. 그리고 각 뉴런에서 출력값을 생성하는 전이함수로는 가장 일반화된 시그모이드(Sigmoid) 함수를 사용하였다.

신경망이론을 이용해서 링크통행속도를 추정하는 네트워크의 구성은 다양한 경우를 실험한 결과 <그림 6>과 같이 입력층(input layer), 출력층(output layer), 두개의 은닉층(hidden layer)으로 구성되었다. 각 층간에는 완전연결(fully connected)의 형태를 갖추게 하였으며 입력층에서의 입력변수로는 교통량과 점유율의 두 가지를 입력변수로 하였고 출력층에서의 출력변수로는 속

도로, 그리고 은닉층에서는 각각 6개의 뉴런으로 이루어져 있다. 이러한 구성은 다양한 구성들에 대한 평가를 통해 가장 유사한 속도를 추정하는 구성으로 나타났다.

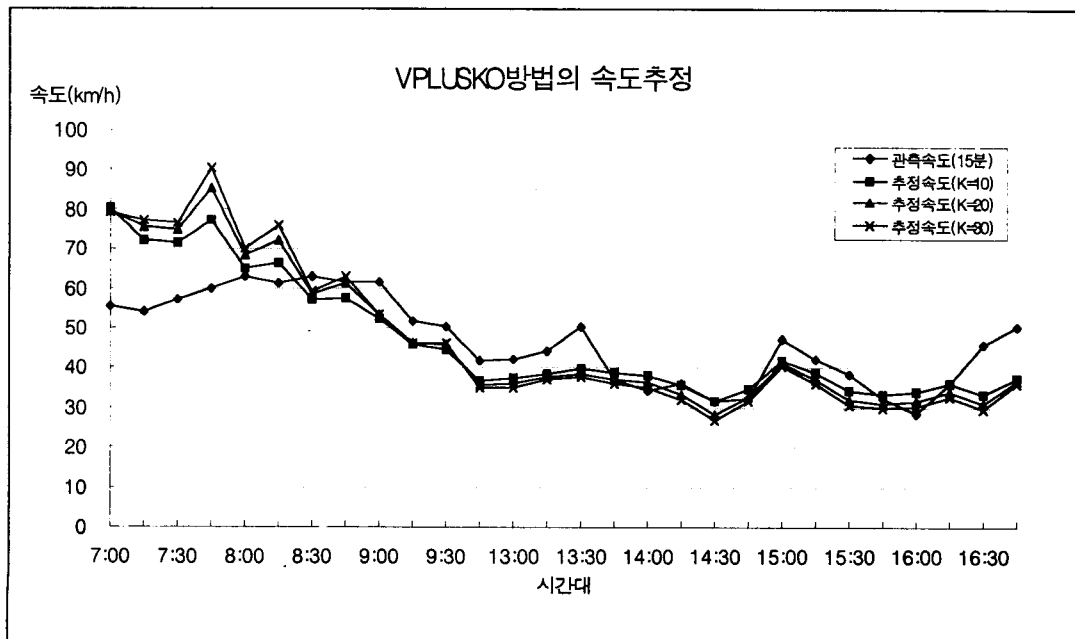
VI. 평가

1. 모형의 성능 비교

본 절에서는 설정된 4가지방법을 현장 실측 자료와 비교하여 모형간의 성능의 비교한다.

1) VPLUSKO를 이용한 방법

VPLUSKO 방법에서는 K의 값이 각각 10, 20, 30일 때에 대해서 비교하였는데, 이를 그래프로 나타낸 것이 <그림 7>이다.



<그림 7> VPLUSKO방법에서 K값에 따른 링크통행추정속도의 비교

추정의 우수성을 상호평가하기 위하여 관측치와 추정치의 차이를 나타내는 평균제곱오차(MSE)를 척도로 사용하였으며 식은 다음과 같다.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{X}(m) - X(m))^2$$

〈표 2〉는 각각의 K값에 따른 평균제곱오차(MSE)를 나타낸 것이다. K가 10일 때 평균제곱오차가 82.60으로 최적으로 나타났다. 이 결과는 전통적으로 신호시스템에서 사용하는 값인 20과 상이한 결과가 도출되었다.

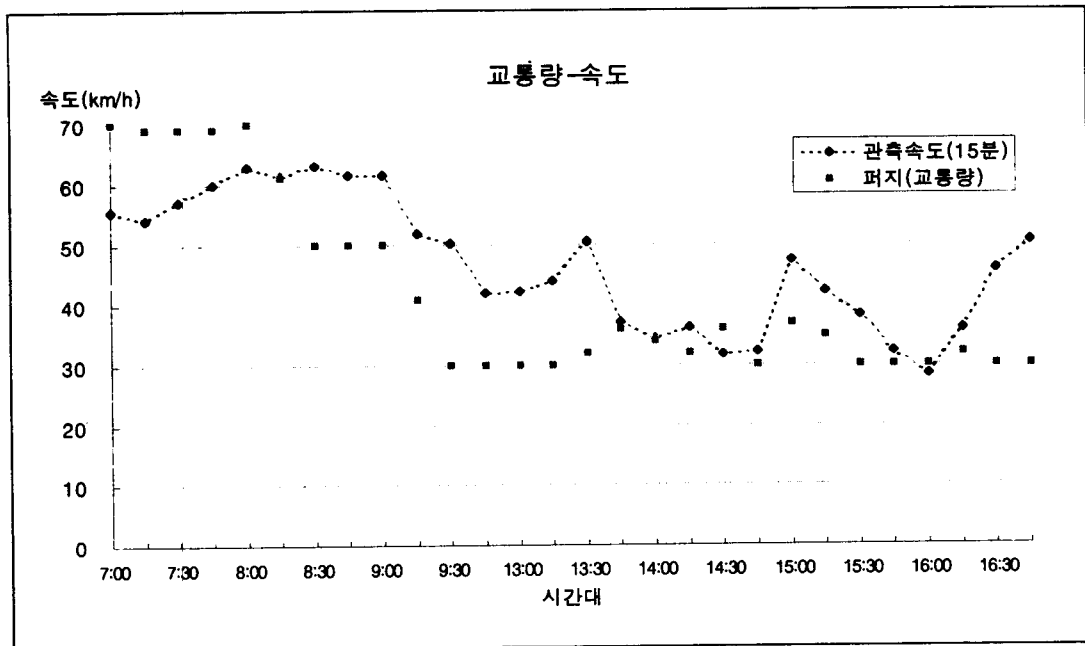
〈표 2〉 VPLUSK0에서 K값에 따른 평균제곱오차(MSE)

	K=10	K=20	K=30
MSE	82.60	111.21	135.19

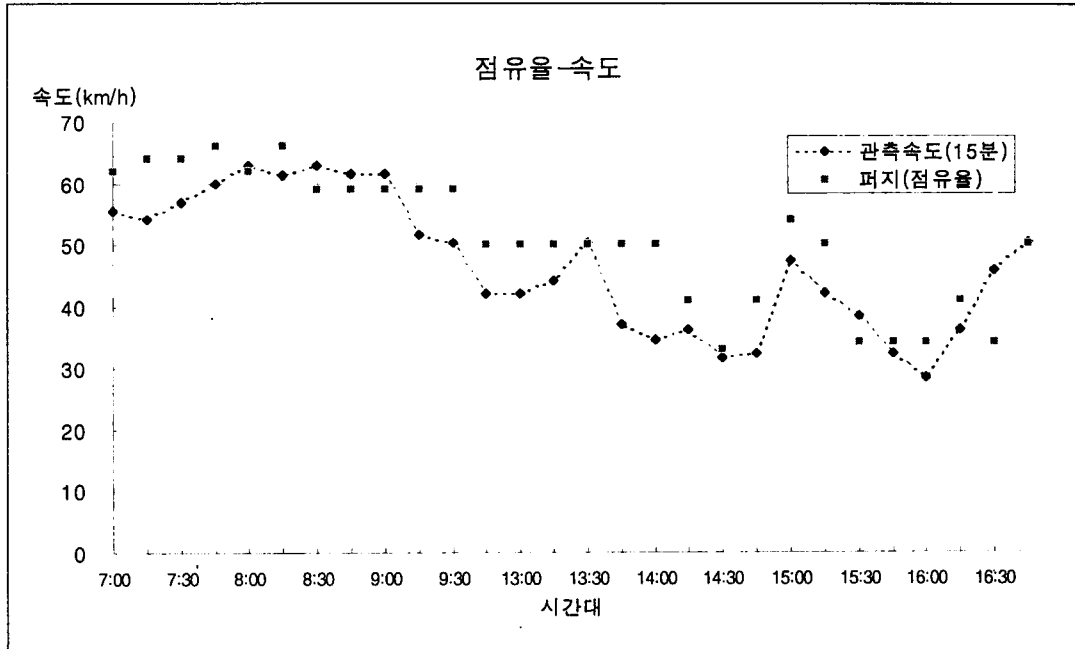
2) 퍼지이론을 이용한 방법

퍼지이론을 입력을 4가지 경우로 하여 적용

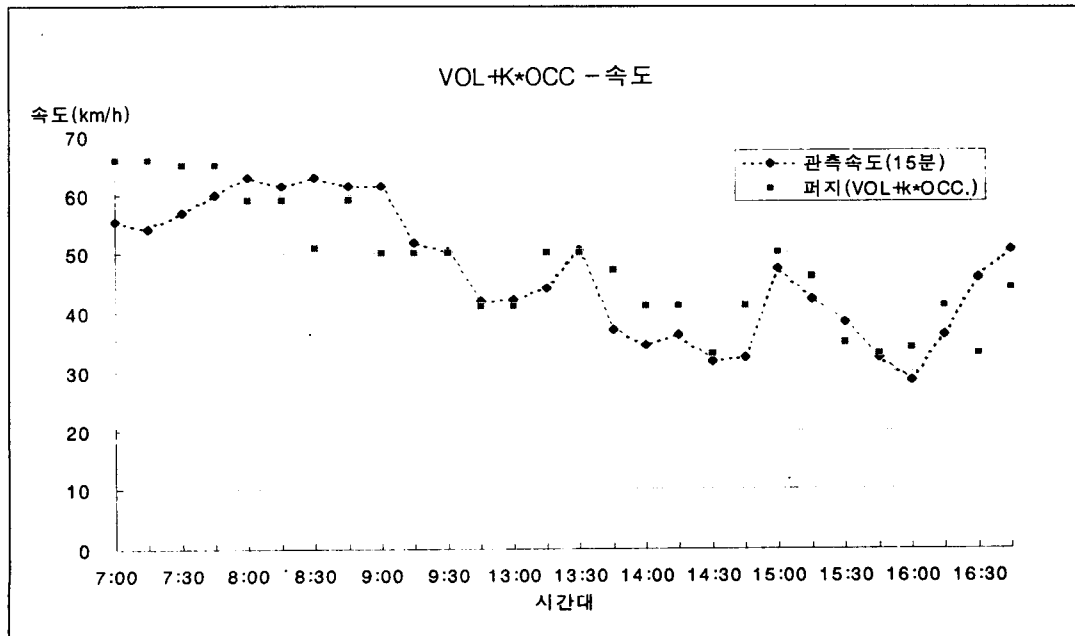
할 경우 추정된 결과는 〈그림 8〉에서 〈그림 11〉까지 나타난다.



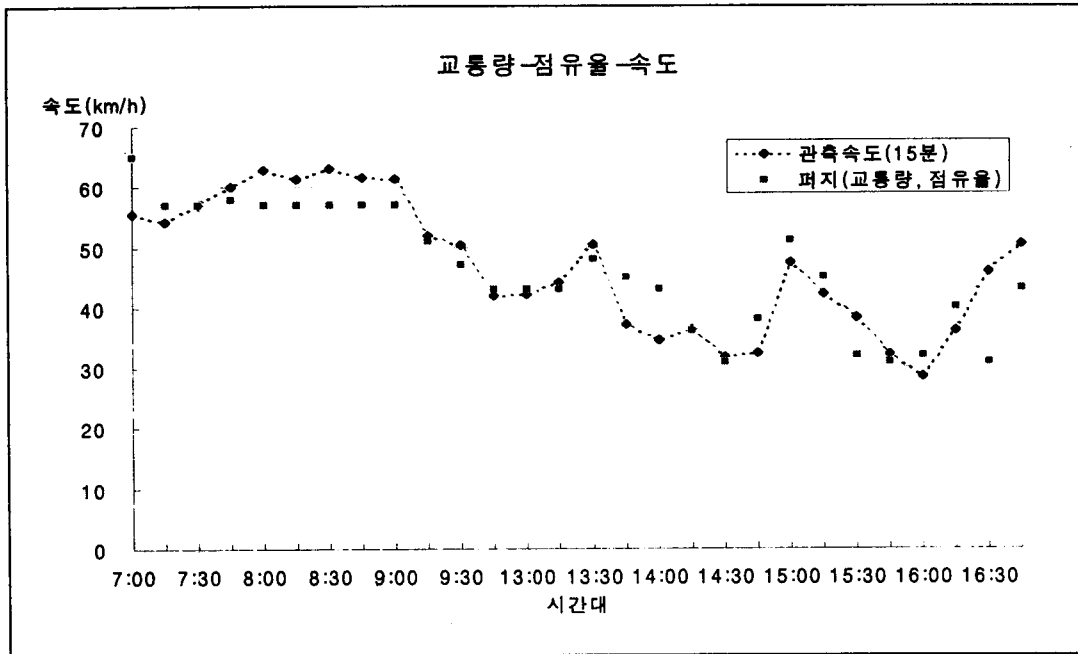
〈그림 8〉 교통량만을 입력한 퍼지이론 추정 링크통행속도



〈그림 9〉 점유율만 입력한 퍼지이론 추정 링크통행속도



〈그림 10〉 혼잡도(VPLUSKO)를 입력한 퍼지이론 추정 링크통행속도



〈그림 11〉 교통량과 점유율을 입력한 퍼지이론 추정 링크통행속도

위의 4가지 경우에서 추정된 각각의 속도를 평균제곱오차(MSE)로 비교해본 결과, 관측속도와 가장 유사하게 추정한 경우는 아래 〈표 3〉

에서 알 수 있듯이 교통량과 점유율의 두 가지를 입력변수로 한 경우로 나타났다.

〈표 3〉 각각의 경우에 대한 평균제곱오차(MSE)

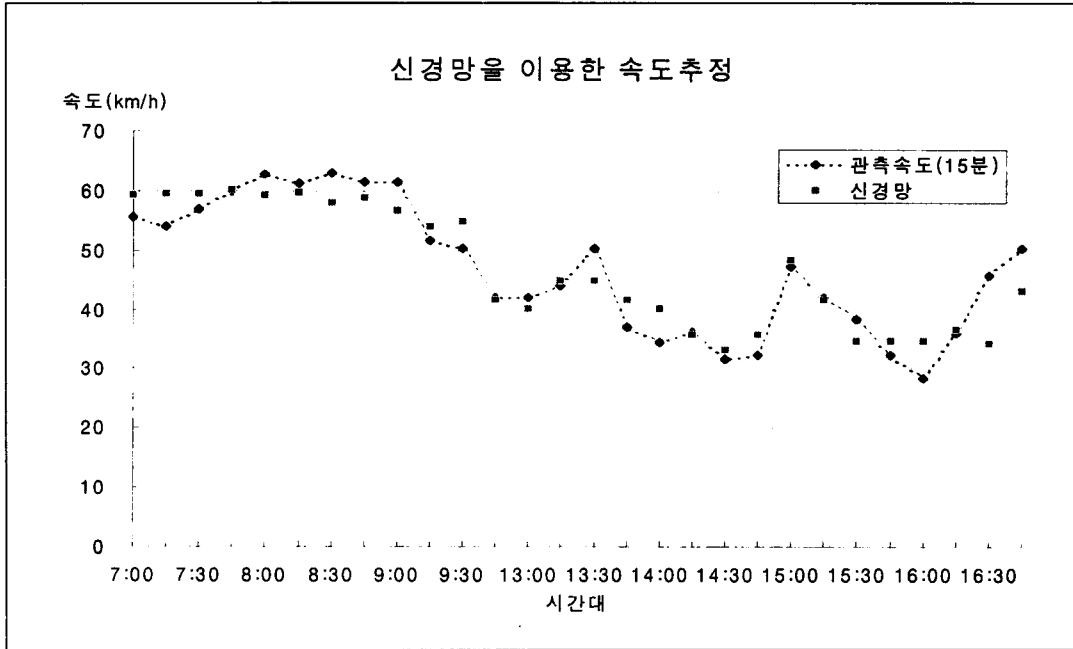
	교통량	점유율	VPLUSKO	교통량, 점유율
MSE	123.68	49.84	43.56	28.14

3) 신경망이론을 이용한 방법

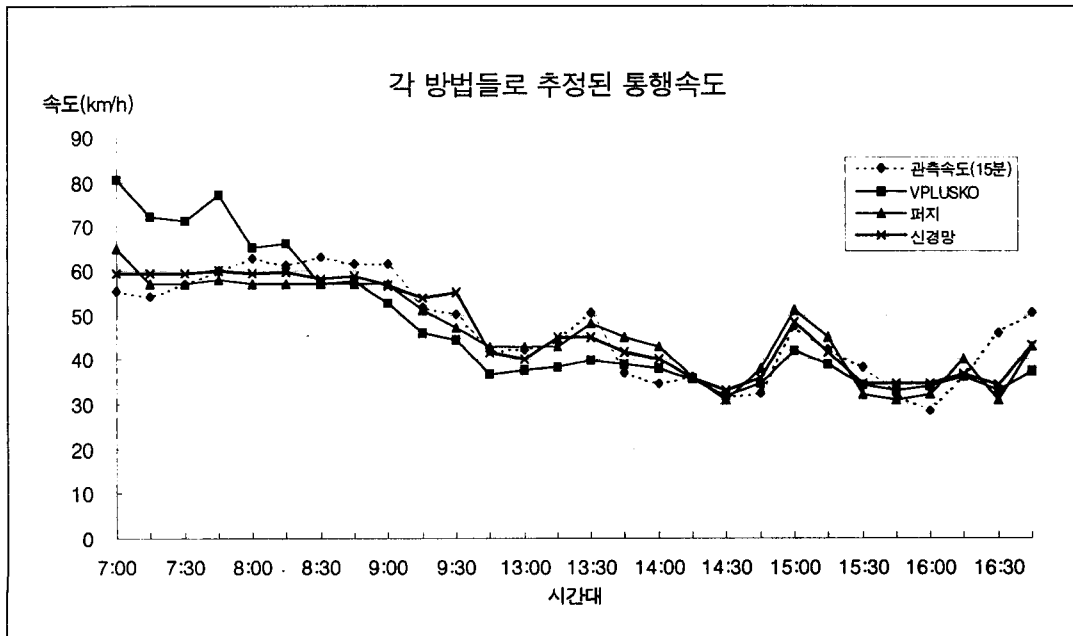
링크통행속도를 추정하기 위해서 신경망을 오차의 허용한계를 0.05로 하여 50,000번 반복 학습시킨 후 추정된 링크통행속도의 결과는 〈그림 12〉와 같다.

링크통행속도를 추정하기 위해서 사용한 세 가지 방법의 성능을 비교하였다. 〈표 4〉에 나타나듯이 평균제곱오차(MSE)를 이용하여 분석해본 결과 신경망이론방법이 17.73으로 가장 우수했으며, 퍼지제어방법은 중간이며, VPLUSKO 방법이 가장 열등했다. 이러한 결과는 예측된 것이었다. 신경망이론 사용자 실측자료에 근접

4) 추정모형간의 상호 비교



〈그림 12〉 신경망이론을 이용하여 추정된 링크통행속도



〈그림 13〉 3가지 방법들로 추정된 통행속도의 비교

하도록 학습하는 과정이 있으므로 학습 후에 추정치가 우수한 것은 당연한 결과이다. <그림

13>는 세 가지 방법들에 대한 추정된 속도들의 분포를 그림으로 나타낸 것이다.

<표 4> 3가지 방법들에 대한 평균제곱오차(MSE)

	VPLUSKO (K=10)	퍼지제어 (교통량과 점유율 입력)	신경망이론
MSE	82.60	28.14	17.73

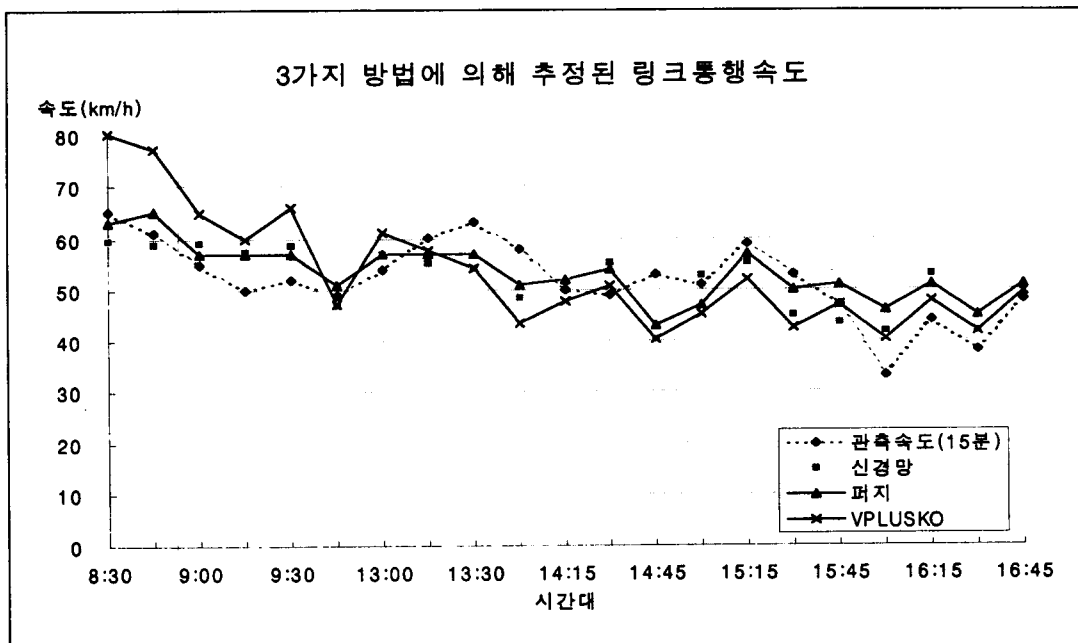
2. 이식성평가

1) 실측치와 비교

전 절에서 실시한 모형의 성능비교는 을지로 3-4가 구간에서 실측치와 추정치를 비교한 것이다. 이때 추정치를 구하기 위한 모형의 정산과정에서 동일 구간의 실측치를 사용하였다. 추정 모형의 실용성 측면을 고려하면 특정구간의 자료로 설정된 모형이 타구간에도 적용가능한지의 이식성(transferability)이 중요한 관심사가 된

다. 왜냐하면 전국에 매설된 수천 개의 검지기들을 대상으로 일일이 정산하는 것은 현실적으로 불가능하기 때문이다.

이식성 평가를 위하여 을지로3-4가구간 자료로 정산한 모형을 시청앞-을지로입구의 검지기 자료로 구간평균속도를 추정하였으며, 동일 구간의 실측치와 비교하였다. VPLUSKO, 퍼지제어, 신경망이론을 각각 적용하여 추정된 통행속도의 결과는 <그림 14>와 같다.



<그림 14> 3가지 방법에 의해 추정된 링크통행속도

평균제곱오차(MSE)를 통하여 각 모형의 이식성을 비교해 보면 <표 5>와 같다. 퍼지제어를 이용한 방법이 31.19로 가장 우수한 결과치를 보였으며, 그 다음이 신경망을 이용한 방법으로

39.32였으며, 마지막이 VPLUSKO를 이용한 방법으로 79.98을 나타냈다. 이 값들은 VPLUSKO 방법을 제외하고는 증가한 것이었다. 평균제곱오차가 증가하는 것은 당연한 결과이다.

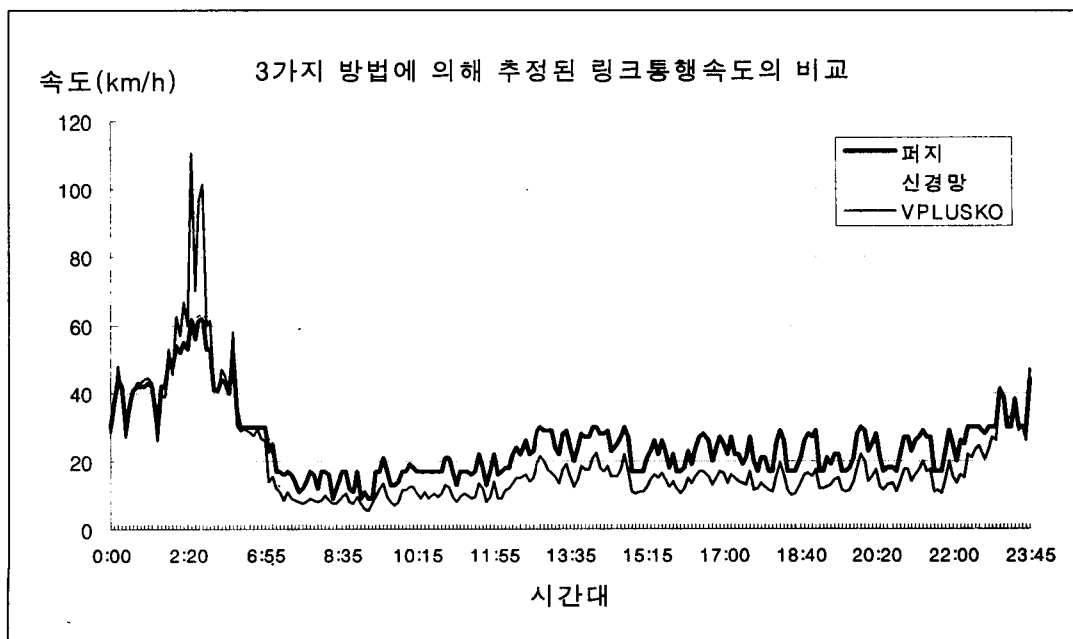
<표 5> 이식성평가에 따른 평균제곱오차(MSE)

	VPLUSKO를 이용한 방법	퍼지이론을 이용한 방법	신경망이론을 이용한 방법
MSE	79.98	31.19	39.32

2) 일일자료 추정치 평가

을지로4-3가 서향방향은 양호한 상태의 검지기는 매설되어 있으나, 현장조사를 실시하지 않았다. 이 구간의 검지기정보를 이용하여 세 가지방법을 통한 일일 24시간에 걸친 속도추정을 실시하였다. 추정결과는 <그림 15>와 같다. 24시간동안 추정속도의 변화를 살펴보면 퍼지제어 방법이 속도변화의 통상적인 추세와 일관성이

는 추정속도를 산출한다. VPLUSKO방법은 새벽시간대에서 과잉추정하며, 신경망방법은 전반적으로 불량한 추정결과를 보인다. 신경망방법이 불량한 이유는 학습과정에 사용된 을지로3-4가 동향 자료의 특성과 추정에 사용된 을지로4-3가 서향자료의 특성이 상이하기 때문이다. 이러한 결과는 신경망방법이 이식성 측면에서는 문제가 있다는 사실을 보여준다.



<그림 15> 3가지 방법에 의해 추정된 링크통행속도

Ⅶ. 결론

본 연구에서는 간선도로에서 단일검지기를 이용한 구간통행속도 추정방법론을 세가지 제안하고, 평가하였다. 제한된 현장검증을 통하여 개별 모형의 성능평가와 이식성평가를 통한 결과를 요약하면 다음과 같다.

VPLUSKO방법은 사용방법이 단순한 장점은 있으나, 타 방법에 비하여 성능이 열등하다. 그리고, 검지기별로 매개변수 α 를 추정해야 하는 번거러움이 있다. 하지만, 정밀성은 떨어지지만, 단순성에 비하여 어느 정도의 예측력은 있어, 개략적인 혼잡도 판정의 용도로는 사용될 수 있다고 판단된다.

퍼지제어방법은 특정검지기에서 추정능력은 신경망방법에 비하여 다소 저조하지만 적절한 수준의 추정력을 보인다. 특히, 이식성 측면에서는 타 방법보다 우수성이 입증되었다. 퍼지방법은 교통변수와 통행속도간의 비선형관계를 모형화할 수 있는 장점이 있다. 또한, 퍼지제어방법은 퍼지집합이나 퍼지규칙을 사용자가 쉽게 파악할 수 있어 필요시 수정이 용이하다.

신경망방법은 학습대상이 되는 검지기에 대해서는 추정능력이 우수하나 이식성 측면에서는 문제점이 노출되었다. 이러한 문제점은 신경망이론 자체가 가지는 한계점으로 알려져 있는데, 학습과정을 특정 데이터에 국한하여 실시하고 사용자가 이해하기 어려운 형태의 매개변수를 산출하기 때문이다. 따라서, 사용자가 매개변수를 임의로 수정하여 예측력을 향상시키는데 어려움이 있다.

결론적으로 본 논문에서는 평균통행속도 추정에는 대상 방법중에서 추정의 정밀성이나 이식성을 고려해 볼 때 퍼지제어방법을 최선의 방법으로 추천한다. 퍼지제어방법에 대해서는 향후 퍼지집합과 퍼지규칙의 작성에 대한 추가

연구가 실시되어야 한다. 특히, 폭넓은 현장자료를 통한 검증과 같은 연구가 지속되어야 한다.

참고문헌

1. 건설교통부, 경찰청. 지능형 교통시스템 구축 기본계획(안), 1996. 7.
2. D.J. Dailey. Travel Time Estimates Using a Series of Single Loop Volume and Occupancy Measurements. Presented in 76th Annual TRB Meeting, Transportation Research Board, Washington, D. C., Jan. 1997.
3. D. Boyce and N. Roupail. Estimation and Measurement of Link Travel Times in the Advanced Project. ADVANCE Working Paper Series No. 27, Aug. 1993.
4. Virginia P. Sisiopiku and Nagui M. Roupail. Exploratory Analysis of the Correlations Between Arterial link Travel Times and Detector Data from Simulation and Field Studies, ADVANCE Working Paper No. 25, Oct. 1993.
5. Virginia P. Sisiopiku, Prasad Palacharla and Peter C. Nelson, Fuzzy Reasoning Model for Converting Loop Detector Data into Travel Times, ADVANCE Working Paper Series No. 38, June 1994.
6. Peter Nelson and Prasad Placharla, A Neural Network Model for Data Fusion in ADVANCE, Presented at the 1993 Transtech Pacific Rim Conference, Seattle, Washington July, 25, 1993.
7. PRC Voorhees. Chapter 4. Surveillance Subsystem. In *Computer Controlled Traffic Signal Systems*. Federal Highway

- Adminstaration, US DOT, Implementation Package FHWA-IP-82-21, 1982.
8. Robert L. Gordon, and et al. *Traffic Control Systems Handbook*, FHWA, 1996.
9. K. George and A.F. Tina. *Fuzzy Sets, Uncertainty, and Information*. State Univ. of New York, 1988.
10. Chin-Teng Lin and C.S. George Lee. *Neural Fuzzy System*, Prentice-Hall, 1996.