

교차로의 대기행렬 예측모형구축에 관한 연구

조 형 기[†] · 민 준 영^{††} · 최 종 옥^{†††}

요 약

본 연구는 도시가로망에 설치된 상류부 루프 검지기로 부터 수집되는 검지자료들중 개별차량의 점유시간을 기초로 대기길이를 예측할 수 있는 모형을 구축하였으며, 구축된 알고리즘은 향후 현장 적용시 기하구조적 특성(횡단보도 존재 여부)의 영향을 최소화하기 위한 방법론을 제시하였다.

본 연구의 예측모형은 강남역에 설치된 상류부 검지기로 부터 수집된 현장자료를 이용하여 정립되었으며, 모형의 기본식은 Multi-Polynomial식에 의한 회귀방정식에 기초하고 있다. 연구결과 강남역 상류부 검지기를 기준으로 전방 약 80m~90m 부근에서 형성되기 시작하는 대기길이를 실시간으로 예측할 수 있었으며, 연구모형에 대한 통계분석 및 검증결과 현장적용에 매우 적합한 것으로 나타났다.

Construction of an Estimation Model for Intersection Queue Length

Hyung K. Cho[†] · Joon H. Min^{††} · Jong U. Choi^{†††}

ABSTRACT

In this research, a model was developed for estimating the queue length of vehicles, based on occupancy time of each vehicle collected by loop detectors which were setup at the upstream of urban street. The estimation model suggests a method which minimizes architectural effects of the street, such as existence of pedestrian crossing, for future applications to the field.

The estimation model suggested in this research was established based on real traffic data collected at upstream detectors in Kangnam Subway station, Seoul, and the fomula of the model is based on Multi-Polynomial equations. Consequence of the experiments showed that the model can adequately and in real-time mode mesure length of the queue which were constructed at the 80 to 90 meters away from the upstream detectors. The estimation accuracy of the model was verified in statistical analysis conducted by regression analysis and test results in real traffic situation.

1. 서 론

도시가로 망에서 대기행렬에 관한 정보는 다양한 교통상태를 판별하고 이에 따른 효과적인 3신호제어에 필요한 각종 모수를 결정하는데 있어서 핵심적인 정보이며, 신호제어전략 측면에서 대상교차로의 부하수준을 나타내는 척도로 활용될 수 있는 모수이다.

대기행렬은 대상교차로에서 교차로를 통과하기 위하여 접근로에 대기하고 있는 차량들로서 정의할 수 있으며, 대기행렬의 표기는 접근로에 대기중에 있는

※본연구는 한국과학재단(과제번호 KOSEF/95-0600-10-01-3)의 지원에 의해 수행되었음.

† 비 회 원: 아주대 교통공학박사과정

†† 정 회 원: 상지전문대 전자계산학과 교수

††† 정 회 원: 상명대 정보처리학과 교수

논문접수: 1996년 3월 4일, 심사완료: 1996년 5월 15일

<표 1> 외국 과포화제어의 활용정보 (서울특별시경찰청 1991)
 <Table 1> Parameters for controlling over-saturated roads

국 가	시스템명	활 용 정 보	비 고
미 국	UTCS-1	- 링크 교통량 - 대기차량의 수	주요교차로제어 도입수준 (Critical Intersection Control 도입)
	UTCS-2	- 링크 교통량 - 대기차량의 수	주요교차로제어 발전수준 (Critical Intersection Control 발전)
	UTCS-3	- 통과교통량 - 대기차량 형성관리	주요교차로제어 및 대기행렬관리 (Critical Intersection Control & Queue Management Control)
독 일	PBIL	- 최대대기차량길이 - 여행손실시간	
영 국	SCOOT	- 대기차량 감시 - 혼잡계수(PI)	(PI: Performance Index)
호 주	SCATS	- 주방향 통과교통량	
프랑스	CALIFE	- 유입교통량(상류부)	
캐나다	RTOP	-	
이태리	UTOPIA	- 유입교통량(상류부)	
일 본	ATCS	- 차량대기행렬	대기행렬 단계제어

차량의 수 혹은 정지선으로부터 대기행렬의 끝단에 위치한 차량까지의 거리로서 표현된다. 비록 신호제어 측면에서 근포화 혹은 과포화 상태와 같은 다양한 교통상태를 제어하기 위해서는 대기행렬에 관한 정보 이외의 주행속도 혹은 주행시간과 같은 링크상에서의 교통상태를 설명할 수 있는 주요 정보들도 과포화 신호제어에 효과적으로 활용될 수 있으나 외국의 다양한 사례에서 대기행렬에 관한 정보를 토대로 과포화제어를 처리하고 있다.

대기행렬 및 주행시간과 같은 정보들을 기반으로 과포화제어를 위한 다양한 제어 알고리즘 개발에 관한 연구가 외국에서 이루어졌다. 외국의 경우 과포화제어에 따른 활용정보에 관한 사항이 <표 1>과 같다.

이러한 대기길이 예측에 관한 연구는 과거경우 고정주기식제어방식(Fixed Time Control Method)에 근거한 연구가 주로 이루어져 왔다. 이러한 고정주기식 신호운영 환경에서의 대표적인 연구모형이 "TRANSYT-7F"에서의 교통류 모형연구[FHWA 1984]와 [W.B. Cronje 1983]의 연구, 그리고 [NAASRA, 1988]가 제안한 모형이다. 그외 이와 관련한 다양한 연구들이 이루어졌으며, 이들은 상호유사한 연구들이었다[6][9]

[10]. 최근의 연구(1992년)는 대기길이에 관한 정보는 접근로의 상류부에 위치한 루프검지기(inductive loop detector)로부터 수집되는 점유율에 관한 기초자료를 토대로 이들 각자료와 대기길이와의 관계를 토대로 대기길이를 예측하기 위한 연구가 진행되었다[4]. 특히 이 연구에서는 점유율에 기초한 대기길이 예측모형을 직선관계로 규명하였다.

국내의 연구에서는 상류부에서 예측가능한 개별차량의 속도와 점유율자료를 기초로 대기길이를 설명할 수 있는 유효변수설정에 관한 연구[2]가 이루어진 바 있으며, 이 연구결과에 의하면 상류부에서 예측될 수 있는 개별차량의 점유율이 속도보다 더 경제적이고 효과적으로 대기길이를 예측할 수 있을 것으로 제시되었다. 그러나 점유율은 대기길이를 예측함에 있어서 평균적으로 약 40m~50m 수준의 오차를 초래하므로 이러한 관계식을 토대로 현장에 적용하기에는 많은 문제점이 발생할 수 있다.

따라서 본 연구는 상류부 검지기에서 수집되는 개별차량의 점유시간에 관한 기초자료를 이용하여 대기길이 예측모형을 구축하며, 현장적용성을 위한 방법론을 제시하는데 그 목적이 있다.

2. 자료의 수집방법 및 현황

본 연구에서 모형구축을 위하여 이용된 자료들은 강남역에서 수집된 현장자료인 점유시간에 대한 자료이다. 이러한 자료는 일반적으로 교통부문에서 널리 이용되는 유도식 검지기로 부터 수집되었으며, 강남역에 설치된 유도식 루프검지기는 1992년 “서울특별시 교통신호제어 시스템 개발 연구용역 시행”[1][2]의 일환으로 설치되었으며, 강남역 교차로의 북방향 한남대교 방향의 정지선으로부터 107m~115m에 위치한 상류부 지점에 3개의 루프검지기를 각 1m 간격으로 설치되었다. 강남역(한남대교에서 양재역 방향)에 설치된 3개의 상류부 검지기 설치현황은(그림 1)에 제시되어 있다.

본 연구에서 목적인 자료를 수집하기 위하여 상류부에 설치된 3개의 서로다른 검지기들중 1.8 m×1.8 m 크기의 검지기를 선정하였으며, 검지기로 부터 기초자료의 수집은 현장제어기로부터 직렬통신방식으로 노트북에 수록하는 방법을 취하였다.

1) 대기길이 자료수집방법

본 연구에서는 상류부 검지기로 부터 수집되는 기

초자료와 일치되는 대기길이를 실측하기 위하여 상류부 검지기부근 부터 정지선방향으로 비디오촬영에 의한 기초 자료를 동시에 수집하였다. 비디오 촬영된 자료로 부터 각 주기내 개별 검지기 통과 차량마다 생성되는 대기길이를 정확히 실측하는 것은 육안으로 판단하기에 많은 오차를 수반할 뿐만 아니라 실측상에 어려움이 있다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 대기길이의 실측은 각 주기별 생성되는 대기길이(단위 차량의 수)를 계측하여 차량당 평균 정체길이(stop space: 6.3m)[3]로 보정하여 이용하였다. 대기길이 실측을 위한 변환식은 다음과 같다.

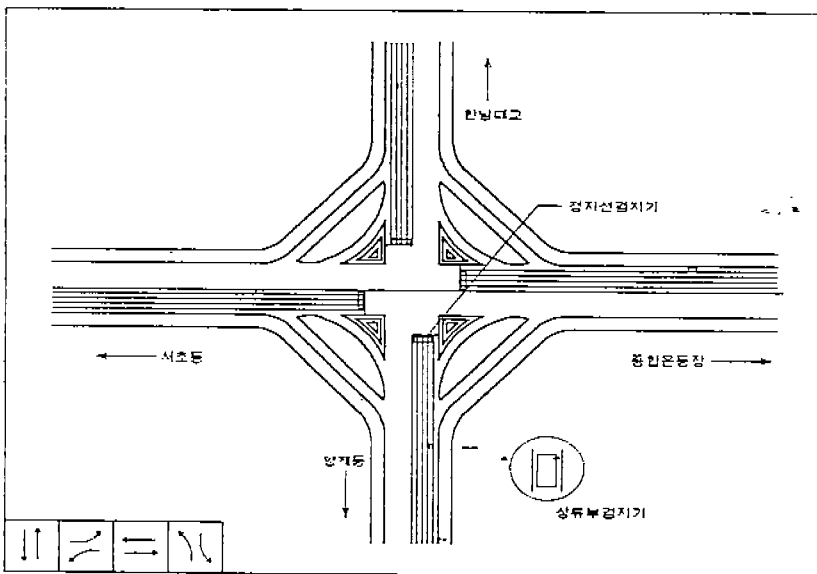
$$Queue = Queue(Veh) \times 6.33 \tag{1}$$

$$Queue = \text{대기행렬 길이(단위 m)}$$

$$Queue(Veh) = \text{대기길이를 형성하는 차량의 수}$$

이상의 자료 수집방법을 이용하여 수집된 자료의 현황은 <표 2>와 같다.

위와 같은 수집자료 환경하에서 대기길이 예측모형을 구축하였다.



(그림 1) 검지기설치현황
(Fig. 1) Establishment of ILD detectors

3. 대기길이 예측모형

본 장에서는 대기길이를 예측하기 위한 기본 모형을 구축하기 위하여 <표 3>에 제시되어 있는 바와 같이 대기길이 예측모형구축을 위한 연구수행과정을 통하여 수행하였다.

<표 3>에서의 연구수행과정중 단계 3은 단계 4의 점유시간대 대기길이와의 관계식을 도출하기 위하여

<표 2> 수집자료현황
<Table 2> Data collection

구 분	검지기 형태	자료의 수	개별자료의 수
점유시간	1.8m×1.8m	30 주기	350 개별차량(검지기)
대기길이	(비디오촬영)	30 주기	개별차량 vs 대기길이

<표 3> 대기길이 설명변수 설정 수행과정
<Table 3> Parameters for queue length estimation

연구수행과정	수 행 사 항	비 고
단계 1	관계식(1)에 의한 매주기당 개별차량의 대기길이 산출	
단계 2	상류부검지기로 부터 점유시간 측정	
단계 3	개별차량 관련 점유시간과 대기길이 1:1 대응	1차처리
단계 4	개별차량 관련 점유시간과 대기길이이간의 관계식 도출	관계규명
단계 5	대기길이 예측 기본 모형 설정	

<표 4> 회귀분석-검증에 이용된 추출자료
<Table 4> Extracted data for regression analysis

회귀분석자료	검 증 자 료	검 증 방 법	비 고
10개 주기	20개 주기	Paired-T, ChiSquare	
10개 주기	18개 주기	Paired-T, ChiSquare	이상자료 제거
20개 주기	10개 주기	Paired-T, ChiSquare	

<표 5> 누적점유시간-대기길이관계 회귀함수
<Table 5> Regression function for estimating queue-length based on accumulated occupancy time

이용자료	함수의 차수	회귀 방정식	R-Square	비 고
10주기자료	2차함수	$-0.66 X^2 + 16.57 X - 1.21$	0.967	
	3차함수	$-0.039 X^3 + 13.62 X - 1.680$	0.968	2차항제외
	3차함수	$-0.039 X^3 + 0.01 X^2 + 13.57 X + 1.740$	0.968	
20주기자료	2차함수	$-0.500 X^2 + 14.60 X - 5.650$	0.915	
	3차함수	$-0.030 X^3 + 12.51 X - 1.290$	0.912	2차항제외
	3차함수	$-0.020 X^3 - 0.971 X^2 + 17.37 X - 6.510$	0.912	

대기길이를 종속변수로 설정하였으며, 독립변수로는 점유시간을 설정하였다. 이들간 상호 관계식을 도출하기 위하여 회귀분석에 의한 방법을 이용하였다.

3.1 점유시간의 1차처리

1992년 관련자료를 토대로 볼때, 대기길이를 예측하기 위한 기초변수로서 점유율이 선정되었었다, 그러나 비록 속도보다 경제적이며 효율적이지만 그 예측오차의 범위가 너무 커 현실정이 결여된 모형이라 할 수 있다. 일반적으로 속도가 저하되면 점유율은 증가하게 되고, 점유율내 점유시간 역시 증가하게 된다. 비록 검지기에서 수집되는 기초자료들은 검지기를 통과하는 차종에 따라 점유율과 점유시간이 민감하게 변화되지만 속도는 일정하다고 볼 수 있다. 더 우기 속도와 대기길이의 관계가 약 40 m 이상의 오차를 유발한다고 할 때, 이러한 오차는 점유율 혹은 속도에서의 자료변동보다는 차종에 의하여 나타나는 효과라 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 점유시간을 속도와 점유율 모두를 대표할 수 있는 기초자료로 설정하였으며, 특히 차종에 대한 영향도를 최소화 하기 위하여 주기별 누적 점유시간에 기초하여 모형을 구축하였다. 주기별 누적 점유시간을 대기길이와 1:1 대응시키기 위한 관계 식이 다음과 같다.

$$Queue(i) \leftrightarrow \sum_{i=0}^{cn} Occ(i) \quad (2)$$

Queue(i) = 검지기 통과순위 cn에서의 개별 대기길이
(단위 m)

cn = 검지기 통과순위 cn 번째

Occ(i) = 검지기 통과 순위 cn 번째 교통량까지의
개별 교통량 점유시간

3.2 대기길이의와의 관계

본 연구에서는 누적점유시간과 대기길이의와의 관계를 도출함에 있어서 실제 수집된 30주기 자료를 기초로 수행하였다. 이들 30개 주기의 자료들중 2개주기에 해당하는 자료가 이상자료로 사료되지만 이들 2개의 자료를 이상자료로 판단할 수 있는 근거가 미약하여 <표 4>에서와 같이 2개 주기자료를 제거하는 경우와 포함하는 경우로 구분하였으며, 각 경우에 있어서 회귀분석에 이용될 수 있는 자료와 검증하기 위한 자료로 구분하여 회귀분석을 수행하였다.

<표 4>에서와 같이 3가지 경우 각각에 대한 회귀분석결과 및 그에 따른 관계곡선이 다음 (그림 2)와 같다.

위에 제시되어 있는 <표 5>는 각 회귀분석에 의하여 결정된 관계식으로 R²가 모두 0.91 이상으로 나타나 누적 점유시간이 대기길이에 대한 설명력이 매우 우수하다는 것을 간접적으로 입증하고 있다. 따라서 도출된 함수에 대한 현장적용성과 누적점유시간과의 관계성을 검증하기 위하여 본 연구에서는 누적점유시간에 의한 각 회귀방정식들과 실측된 대기길이를 토대로 Paired-T 검증법과 Chi-Square 검증법 두가지 방법을 수행하였다. 수행결과는 <표 6>에 제시되어 있다.

<표 5>과 <표 6>의 회귀분석 모형과 그 검증결과로부터 실제 대기길이를 예측하기 위한 하나의 회귀함수식을 선택하였다. 표에 제시된 바와 같이 <표 5>에서 제안된 모든 회귀식의 R-square 는 매우 좋으나 (그림 2)에 제시되어 있는 바와 같이 10주기의 회귀모형으로 18개 주기자료 즉 이상자료라 판정된 자료를 제거한 자료로 검증을 했기 때문에 타 모형에 비하여 현실성이 결여될 것으로 사료된다.

한편으로 10주기에 의한 회귀식은 검증결과 모두 수용불가로 나타나 현장적용은 불가하며, 마지막으로 20주기에 의한 회귀식들은 R-square가 각각 0.925,

0.912 수준이며 검증결과 모두 우수한 것으로 나타났다. 이 결과로 볼 때, 20주기에 의한 회귀식들은 현장 적용성은 동일할 것으로 판단되지만 두번째와 세번째식이 3차함수로 구성된 관계로 실시간 측면적용 측면에서 첫번째 회귀식이 더 효과적인 것이라는 판단하에 목적인 기본식을 선택하였다.

4. 대기길이 예측모형

누적점유시간과 대기길이의와의 관계 분석을 토대로 결정된 함수식은 현장적용성이 매우 우수한것으로 나타났으나 실제적용함에 있어서 누적 점유시간의 산출방법에 문제가 있다. 정지선 검지기의 경우는 교차로 현시동안 계속하며, 적색현시동안에는 교통량과 점유및 비점유에 대한 기초자료를수집하지 않는다. 반면에 상류부에 설치된 검지기의 경우는 정지선에 설치된 검지기와 달리 주기의 경계가 없이 기초자료들(교통량, 점유시간, 비점유시간)을 계속함게 됨에 따라 누적점유시간 산출에 있어서 시작 시점의 결정이 매우 중대한 과제가 된다.

본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 대기길이 예측 모형을 “개별차량의 점유시간에 대한 대기길이의 영향도”라는 개념에 기반을 두고 예측모형을 구축하였다.

4.1 예측기본 모형

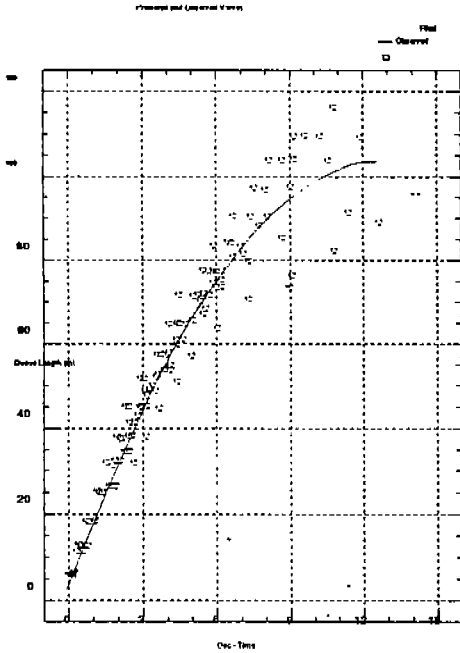
회귀분석에 의하여 도출된 함수식은 2차함수로 구성되어 있으며, 이 함수는 누적점유시간을 기초 입력자료로 한다. 따라서 이함수의 1차 미분된 함수는 “단위 점유율의 변화에 대한 대기행렬의 변화”를 나타내는 함수가 된다. 일반적으로 대기중에 있는 차량의 정체공간이 약 6.33m에 준한다고 할 때 상류부 검지기로 부터 수집된 점유시간에 대한 6.33m의 비율이 1차 미분된 회귀함수식과 같도록 하는 누적 점유시간을 산출할 수 있다. 이는 결과적으로 2차 회귀방정식에 대한 접선의 기울기를 토대로 누적점유시간을 산출하는 방법이며, 이에 대한 관계식의 도출이 가능하다. 이에 대한 관계식 유도과정은다음과 같다.

$$f(X) = -0.5X^2 + 14.6X - 5.66 \quad (3)$$

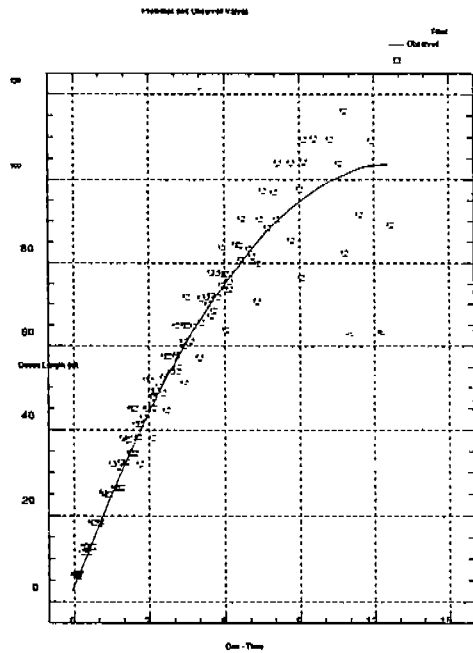
(단 X는 누적점유시간)

〈표 6〉 회귀분석모형 검증결과
 (Table 6) Evaluation results of regression analysis model

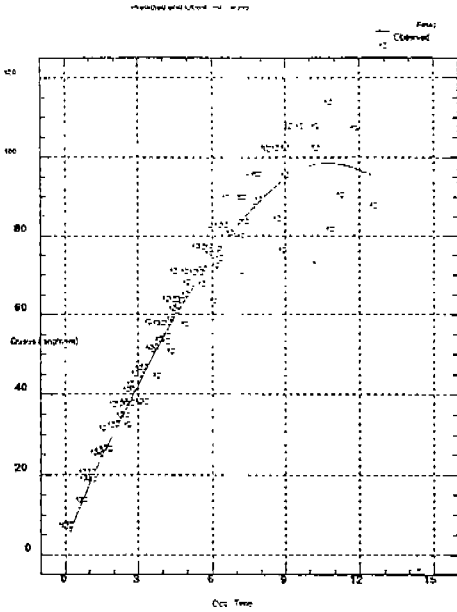
구 분		Alpha = 0.05		비 고
회 귀 합 수	검증자료	Paired-T 검증	Cho-Square 검증	유의수준
$-0.66X^2 + 16.57X - 1.21$	20주기	Reject Ho	Reject Ho	0./0.
$-0.039X^3 + 13.62X - 1.680$		Reject Ho	Reject Ho	0./0.
$-0.039X^3 + 0.01X^2 + 13.57X + 1.740$		Reject Ho	Reject Ho	0./0.
$-0.66^2 + 16.57X - 1.21$	18주기	Not Reject Ho	Not Reject Ho	0.95/1.0
$-0.039X^3 + 13.62X - 1.680$		Not Reject Ho	Not Reject Ho	0.76/1.0
$-0.039X^3 + 0.01X^2 + 13.57X + 1.740$		Not Reject Ho	Not Reject Ho	0.75/1.0
$-0.500X^2 + 14.60X - 5.650$	10주기	Not Reject Ho	Not Reject Ho	0.92/0.99
$-0.030X^3 + 12.51X - 1.290$		Not Reject Ho	Not Reject Ho	0.99/0.99
$-0.020X^3 - 0.971X^2 + 17.37X - 6.510$		Not Reject Ho	Not Reject Ho	0.88/0.99



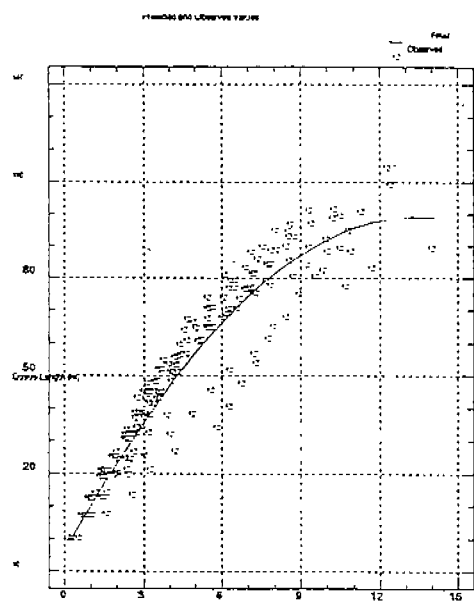
(그림 2-1.a) 10개주기 - 2차함수곡선
 (Fig. 2-1.a) 10cycles - quadratic function



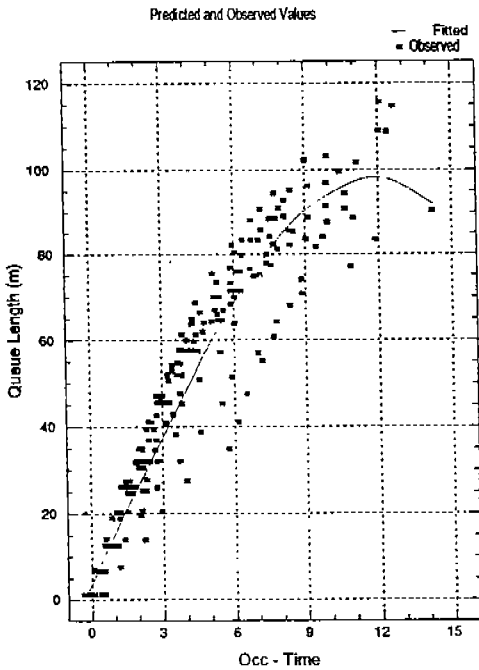
(그림 2-1.b) 10개주기 - 3차함수곡선 - 2차항제외
 (Fig. 2-1.b) 10cycles - cubic function without quadratic terms



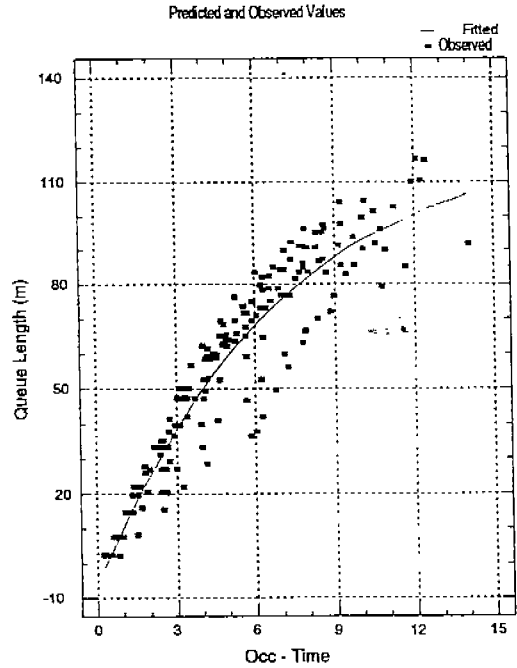
(그림 2-1.c) 10개주기 - 3차함수곡선
 (Fig. 2-1.c) 10cycles - cubic function with quadratic terms



(그림 2-2.a) 20개주기 - 2차함수곡선
 (Fig. 2-2.a) 20cycles - quadratic function



(그림 2-2.b) 10개주기 - 3차함수곡선 - 2차항제외
 (Fig. 2-2.b) 10cycles - cubic function without quadratic terms



(그림 2-2.c) 10개주기 - 3차함수곡선
 (Fig. 2-2.c) 10cycles - cubic function with quadratic terms

식(3)을 1차 미분하면 다음 식(4)가 성립되며, 이는 단위 점유시간 변화에 대한 대기길이의 변화로서의 의미를 갖는다.

$$f(X)' = -1.0X + 14.6 \quad (4)$$

식(4)와 개별 점유시간에 대한 대기중의 차량에 대한 평균정체공간(6.33m)의 비율과의 관계식을 구성하면 다음식의 (5)가 성립된다.

$$-1.0X + 14.6 = \frac{6.33}{Occ(i)} \quad (5)$$

(단 $Occ(i)$ 는 개별차량의 점유시간이다.)

식 (5)를 X에 대하여 풀면 다음 식(6)이 성립하며, 이 식(6)에 의한 결과는 계측된 개별 점유시간에 대한 대기길이 영향도로서 나타나는 누적점유시간이다.

$$X = 14.6 - \frac{6.33}{Occ(i)} \quad (6)$$

따라서 상류부 검지기를 i 번째 통과한 차량이 경험하는 대기길이는 식(6)의 결과를 식(3)에 입력함으로써 얻어질 수 있다.

이항의 유도과정을 통하여 “단위 점유율의 변화에 대한 대기행렬의 변화”의 개념에 기초한 대기길이 예측 기본모형의 알고리즘 수행과정은 <표 7>와 같다.

<표 7> 대기길이 예측 기본모형 수행 알고리즘
(Table 7) Model computation process of queue-length estimation

알고리즘 수행	알고리즘 수행 사항	
단계 1	$f(X)' = -1.0X + 14.6$	(1차 미분식 준비단계)
단계 2	$X = 14.6 - \frac{6.33}{Occ(i)}$	(누적점유시간 산출)
단계 3	$f(X) = -0.5X^2 + 14.6X - 5.66$ (단계 2의 결과 대입)	

4.2 현장 적용모형

전절 4.1에서 제시된 대기길이 예측모형은 기본 모형으로서 실제 적용하기 위해서는 다음과 같은 두가지 사항을 고려하여야 한다.

첫째, 다양한 차종에 의한 점유시간의 변화를 안정화시킬 수 있는 방법

둘째, 링크상에 존재할 수 있는 횡단보도의 위치에 상관 없이 적용시킬 수 있는 방법

본 연구에서는 상기 제시된 두가지의 문제점을 해결하기 위하여 다음과 같은 방법을 적용하였다.

1) 점유시간의 안정화

먼저 다양한 차종의 통행으로 인한 점유시간의 변동(variation) 안정화는 근본적으로 루프검지기로 승용차와 대형차를 구분하기 용이하지 않음으로 인하여 나타나는 문제로서, 실제 환경에서 차종 구분이 가능할 경우에는 전혀 문제가 없으며, 4장 1절에서 제시된 기본모형중 식(5)의 우항에서 정의된 차량당 평균 정체공간이 6.33m에 준한다는 사항을 개별 차종에 대한 정체공간 단위로 변형시키면 가능한 문제이다.

그러나 본 연구에서는 개별차종에 대한 정체공간이 아닌 다양한 차종에 대하여 평균정체공간을 규정하였으므로, 상류부 검지기로 부터 수집되는 개별차량의 점유시간을 평화화(기초자료의 2차처리)함으로써 이 문제점을 해결하였다. 점유시간의 평화화는 두대 이상의 개별차량에 대한 점유시간을 평균하여 이를 해당 차량의 점유시간으로 변환하는 방법이며, 이는 대형차량과 승용차량이 혼합되어 있는 경우 상류부 검지기에서 나타나는 점유시간의 변동을 어느정도 수준까지는 안정화 할 수 있으며, 또한 교통류가 모두 대형 차량인 경우에는 실제 대기길이가 그에 준하여 늘어나므로 개별 점유시간의 변동에 의한 오차 가능성은 충분히 극복할 수 있을 것으로 판단된다.

따라서 본 연구의 대기길이 예측모형은 상류부 검지기를 통과하는 개별차량 교통정보로서 점유시간을 사용하며, 차량별 점유시간의 편차를 평활화하기 위하여 4대의 개별차량 정보를 평균하여 이용한다. 또한 승용차와 대형차를 구분하여 승용차만으로 대기행렬을 파악하기 위한 기준이 사용되는데 그 기준은 기준치보다 30% 이상의 점유시간의 급격한 변화를 제거함으로써 대형차에 대한 편차를 평활화한다.

점유시간 안정화를 위한 조건식은 다음과 같다.

$$\text{if}(\overline{Occ_{now}} \times 1.3 < Occ_{current}) \text{ then}$$

Reject the current $Occ_{current}$

Else

$$Occ_{total} = \sum_{i=1}^{cnt} Occ(i)$$

End if

- (단, $\overline{Occ_{now}}$ = 현재까지의 평균 점유시간,
- $Occ_{current}$ = 현재 계측된 점유시간,
- Occ_{total} = 현재까지의 갱신된 점유시간의 총합계)

이러한 평활화 작업에 의한 방법은 실험적으로 2대에서 4대까지 정상적으로 사용이 가능한 것으로 나타났다. 실험결과 실제 대기길이 예측에 있어서 약 10.5m 이내의 오차가 있는 것으로 나타났으며, 이는 대기 가능한 차량 대수로 환산시 승용차 1.5대 분에 해당되는 오차로서 강남역을 대상으로 했을 때 충분한 장적응력이 있을 것으로 판단된다.

2) 횡단보도의 위치에 따른 적용성

국내의 경우 링크상에 위치한 횡단보도는 도시가로망에 통행하는 교통류를 단속하는 교통조건임과 동시에 기하구조적 특성이다. 일반적으로 대기길이 예측용 검지기는 정지선으로부터 후방의 상류부에 약 250m 부근에 설치 하도록 제시되어 있다[서울특별시 지방경찰청 1993]. 그러나 국내의 경우 링크의 길이가 250m 이내의 경우와 500m 이상의 링크가 매우 많고 링크중간에서의 횡단보도가 불규칙적으로(최소한 100m의 간격으로) 위치하기 때문에 상류부검지기를 기준으로 전방에 횡단 보도가 있는 경우와 검지기 후방에 횡단보도가 위치한 경우로 구분할 수 있다.

일반적으로 본 연구모형의 특성상 횡단보도가 상류부 검지기 후방에 위치한 경우에는 본 연구모형의 적용에 큰 문제가 없으나, 검지기 전방에 위치한 경우에는 횡단보도 현시에 의한 영향이 매우 크게 나타날 수 있다. 이러한 영향은 검지기 전방에 횡단 보도가 위치함으로 인하여 정지선부터 횡단보도사이에 충분한 여유 대기공간이 있음에도 불구하고 횡단보도 현시가 녹색인 동안 후방의 상류부 검지기는 정지선 부근에서의 교통상태와는 상관없이 Active 상태(검지기상에서 차량이 오랜시간동안 감응되어 있는 상태)가 되기 때문에 이때 수집되는 점유율을 대기행

렬 예측 함수에 사용할 수 없게 된다.

따라서 이러한 문제를 해결하기 위해서 횡단보도의 녹색현시가 종결후 검지기가 계측하는 3번째 통과 차량부터 정상적으로 알고리즘이 수행된다. 비록 이러한 방법에 의하여 정상적으로 알고리즘이 수행된다 하더라도 횡단보도가 본 예측모형에 영향을 주는 시간은 통과하는 차량의 가속지체가 소멸되는 시간 동안이다. 차량의 가속지체가 소멸되지 않은 상태인 경우에는 일정 대수의 차량이 검지기를 통과하여 순수하게 대기길이에 의하여 교통류가 영향을 받기까지 예측오차가 크게 나타날 수 있다.

이러한 가속지체로 인한 원인은 횡단보도가 녹색현시가 되어 차량이 통과하면서 가속 및 감속지체로 인하여 점유시간에 대한 대기길이에 대한 관계가 마치 sigmoid 함수와 같은 곡선경향이 나타나기 때문이다.

이러한 곡선경향은 단조감소에서 단조증가 추세를 보이는 사항으로 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 경향상에서 정상상태인 단조증가에 대한 경향만을 추출할 수 있도록 다음의 조건식을 이용하여 "필터" 기능을 고려하여 이에 대한 문제점을 해결하였다. 이 조건식은 횡단보도의 후방에 검지기가 위치한 경우로서, 횡단보도의 현시가 적색현시인 경우에만 한하여 수행된다.

3) 대기길이 예측 알고리즘

지금까지 제시된 대기길이예측 기본모형에 기초하여, 점유시간 안정화 및 횡단보도 위치에 따른 제반 문제를 해결하기 위하여 적용된 방법들을 고려한 최종 대기길이 예측모형에 관한 가상코드(Pseudo Code)는 다음과 같다.

$$\text{if}(\sum_{i=1}^{mid} Occ(i) > \sum_{i=mid+1}^{end} Occ(i)) \text{ then}$$

Reject the Current data.

Else

$$Occ_{set} = \frac{1}{end} \sum_{i=1}^{end} Occ(i)$$

End if

- (단 Occ_{set} = 평활화된 점유시간
- end = 평활화할 점유시간의 갯수
- mid = 평활화할 점유시간 갯수의 중간값)

5. 결 론

본 연구는 도시가로망에서 상류부에 설치되는 단일 루프검지기를 이용하여 전방의 차량대기형성과정에 따른 대기길이를 예측하기 위한 모형을 구축하였으며, 구축된 모형의 검증은 T검증법과 Chi-Square 검증법의 검증결과를 토대로 효과적으로 현장에 적용할 수 있는 알고리즘을 제시하였다. 본 연구에서 구축된 모형에 대한 분석 및 검증결과 그리고 현장적용성을 위한 방안에 대하여 다음과 같이 결론을 요약하였다.

첫째, 상류부 검지기로 부터 수집되는 다양한 기초자료들중 점유시간이 대기길이를 예측하는데 가장 효과적이다. 회귀분석결과 $R^2=0.915$ 의 적합도를 제시하고 있으며, 검증결과 평균오차 10.5m 이내로서 매우 우수한 것으로 나타났다.

둘째, 본 연구에서 구축된 모형의 예측한계는 정지

선 방향으로 약 80m~90m 범위이다. 이러한 모형의 예측한계는 차량대수로 환산시 승용차의 경우 약 15대~16대에 해당되며, 이는 예측이 불가능 한 범위가 정지선으로 부터 약 20m 수준으로 승용차로 환산시 3대에 준한다. 따라서 접근로에서의 잔류교통량이 3대 이후 부터는 본 연구 모형이 감응이 가능하다.

셋째, 본 연구모형은 횡단보도의 위치에 따른 영향을 최소화하기 위하여 횡단보도의 위치에 따라 예측 오류를감소를 위한 "필터" 기능을 부가 하여 해결하였으나, 본 연구에서 적용한 현장은 기하구조적으로 횡단보도 전방에 검지기가 설치되어 있어, 이와 관련한 검증은 수행되지 못하였다.

넷째, 평활화기법은 예측 오차를 감소시키는데 민감한 영향을 줄수 있다. 차중에 의한 급격한 점유시간의 영향을 평활화기법을 이용하여 적용하였다. 이러한 점유시간의 평활화는 다음과 같은 현장조건을 고려하여 적용하는 것이 타당할 것으로 판단 된다.

〈표 8〉 알고리즘 수행내용
 〈Table 8〉 Computation process of suggested algorithm

단 계	알고리즘 수행 내용
단계 1	Limit_Data = 0.35
단계 2	if(횡단보도 = 검지기 후방 and 횡단보도 현시 = Green) Process Delay
단계 3	if(Get Occ_Data(Count) < Data_Limit) Jump 단계1
단계 4	if(Start > 1 and $\frac{1.3 \times Occ_Sum}{Count} < Occ_Data(Count))$ Jump 단계1
단계 5	Occ_Sum = Occ_Sum + Occ_Data(Count)
단계 6	if(Count < 4) Then Count = Count + 1 Jump 단계1 End if
단계 7	if($\sum_{i=Start}^{\frac{End}{2}} Occ_Data(i) > \sum_{i=\frac{End}{2}+1}^{End} Occ_Data(i)$) Jump 단계7
단계 8	Occ_Cum = 14.6 - $\frac{6.33 \times 4}{Occ_Sum}$
단계 9	Queue_Length = $-0.5 Occ_Sum^2 + 14.6 Occ_Sum + 5.65$
단계 10	Occ_Sum = Occ_Sum - Occ(Start) Increase Start and End Index. if(Start > Count) Start = 1 if(End > Count) End = 1 Jump 단계2

(1)교통류에 차종변화(대형,소형)가 심한 경우 평활화에 고려할 차량의 수를 많이 설정하여 이들간의 변화를 최소화할 수 있으나, 너무 과도하게 많은 차량들의 점유시간을 설정할 경우, 통과 교통량이 평활화할 차량수보다 적어 예측오차가 증대될 수도 있다.

(2)교통류에 차종변화가 약한경우 평활화에 고려할 차량의 수를 최소(2대~4대)로 설정하여 적용하는 것이 바람직하다. 따라서 평활화를 위한 적합한 차량수를 설정하기 위해서는 이에 대한 민감도분석이 후속연구로서 수행될 필요가 있다.

향후 본 연구와 관련하여 보다 효과적인 예측모형을 구축하기 위해서는 다음과 같은 부대연구가 지속적으로 연계수행될 필요가 있다.

첫째, 도시가로망의 상류부 검지기를 통과하는 차종구분,

둘째, 차종별 대기차량의 정체길이 산정,

셋째, 교통류 차종혼합으로 인한 적정 평활화 적용 차량수 산정

네째, 기후환경에 따른 영향을 최소화하기 위한 환경적응모형(Adaptive model)구축

참 고 문 헌

[1] 서울특별시 지방경찰청, "서울특별시 교통신호제어시스템 기술개발 3차년도 최종보고서," 1993. 12.
 [2] 서울특별시 지방경찰청, "서울특별시 교통신호제어시스템개발 연구용역시행 1차년도 결과보고서," 1991. 10.
 [3] 이성호, "신호교차로에서의 대기행렬 파급도에 관한 연구," 아주대학교 공학석사 학위논문, 1992. 8.
 [4] 이광훈, "교통신호제어계에서의 최적신호주기와 Split 연계," 일본대학 이공학부 공학박사 학위논문, 1992, 4.
 [5] W.B. Cronje, "Traffic Flow, Capacity and Measurements," TRR. 905, TRB pp.93~95, 1983.
 [6] TRB, Traffic Flow Theory: A Monograph, TRB Special Report 165, pp.12~13, 111, 123, 1975.
 [7] NAASRA, Guide to Traffic Engineering Practice, Part 2: Roadway Capacity, pp.26~27, National Association of Austrian State Road Authorities,

Sydney, 1988.

[8] FHWA, TRANSYT-7F User's Manual, Federal Highway Administration, June 1984.
 [9] G.F. Newell, "Approximation Methods for queue with Applications to the Fixed-Cycle Traffic Light," SIAM Review, Vol. 7, no. 2, April 1985.
 [10] Panos G. Michalopoulos and George Stephanopoulos, "Oversaturated Signal Systems with Queue Length Constraints-I," TRB, 1964.



조 형 기

1987년 아주대학교 산업공학과 졸업(학사)
 1989년 아주대학교 대학원 산업공학과(석사)
 1994년~현재 아주대학교 대학원 박사과정
 1991년~현재 아주대학교 교통연구소 전임연구원

1993년~현재 상명여자대학교 정보처리학과 강사
 ※관심분야: 신경회로망, IVHS.



민 준 영

1982년 아주대학교 산업공학과 졸업(학사)
 1989년 성균관대학교 경영대학원 정보처리학과(석사)
 1995년 성균관대학교 대학원 전산통계전공(박사)
 1993년~현재 상지대학교병설전문대학 전자계산과 전임강사

※관심분야: 신경회로망, 패턴인식



최 종 욱

1982년 2월 아주대학교 공과대학 산업공학과 졸업(학사)

1982년 8월 서울대학교 대학원 경영학 석사과정 1학기 수료

1988년 Univ. of South Carolina MIS

1985년~1986년 Institute of Information Management and Policy at Univ. of South Carolina Research Assistant

1986년~1987년 Johnson C. Smith Univ. Computer System Specialist

1988년~1991년 KIST 시스템공학센터 인공지능연구부 지식처리연구실 실장

1992년~현재 상명대학교 정보처리학과 교수

※관심분야: 전문가시스템, Neural Network, 멀티미디어.