

# 幹線道路 連動化 信號最適化 및 평가 Software 개발에 관한 研究

## KS-SIGNAL, A Traffic Signal Optimization and Evaluation Tool for Arterial

임 현 우

김 영 찬

(서울시립대 교통공학과 대학원) (서울시립대학교 교통공학과 부교수)

### 목 차

- I. 서론
- II. 관련모형검토
- III. KS-SIGNAL의 구성 및 제어
  - 1. KS-SIGNAL의 구성
  - 2. KS-SIGNAL의 제어
- IV. KS-SIGNAL의 적용 및 평가
  - 1. 민감도 분석
  - 2. 평가결과
- V. 결론 및 향후 연구과제
- ※ 참고문헌

### I. 서론<sup>1)</sup>

현재 대한민국의 수도 서울을 비롯한 전 세계의 주요 대도시에서는 날로 증가하는 도로교통량으로 인해 막대한 사회·경제적 손실이 발생하고 있다.

이를 해결하기 위해 도심 및 주요 지점의 도로망을 효율적으로 운영하기 위한 효율적인 알고리즘의 설계 및 최첨단 교통기술의 도입에 심혈을 기울이고 있으며, 이미 교통선진국이라 불리는 미국과 유럽의 대다수 국가에서는 간선도로 연동화와 관련하여 전산화된 소프트웨어를 개발, 상용화에 들어가 있는 상태다.

이들 교통운영 소프트웨어의 대표적인 예로는 TRANSYT-7F, PASSER-II 등이 있으며, 이 두 모형의 장점만을 부각시킨 AAP(Arterial Analysis Package)등을 들 수 있으며, 우리나라의 경우 서울시립대학교의 김영찬 교수에 의해 연구된 간선도로 신호연동화 최적화 모형인 KS-SIGNAL을 그 대표적인 예로 들 수 있다.

본 논문의 목적은 기개발된 KS-SIGNAL을 통합 프로그래밍화 하는 것으로, 기존에 개발된 간선도로 연동화 신호최적화 모형인 KS-SIGNAL을 통합 프로그램으로 기능을 향상시키는 것을 주내용으로 한다. 이를 위해 이미 개발된

KS-SIGNAL과 추가로 사용된 모형들, 그리고 통합화에 따른 새로운 Main Program 작성에 대해 기술한다. 그리고 KS-SIGNAL이 전산화 작업이 되어 있는 관계로 통합화에 대한 알고리즘과 그 구성내용, 제어방법에 대해서도 제시한다.

### II. 관련모형검토

관련모형 검토에서는 기존에 개발된 TRANSYT-7F, PASSER-II, AAP모형을 살펴보고, 각 모형에서 나타나는 단점들을 극복하여 연동대상이 되는 간선도로의 지체를 최소화하는 신호최적화 모형을 개발하도록 한다.

#### 1. TRANSYT-7F 모형

TRANSYT-7F모형은 개개의 차량을 밀집군으로 묶어서 지체시간과 정지시간의 선형조합함수로 표현되는 수행지수(Performance Index)를 효과측정의 기본변수로 하며 이 수행지수(PI)를 최소화하는 현시시간과 Offset을 선택하여 신호시간을 결정한다.

TRANSYT-7F의 최적화과정은 수행지수(PI)를 최소화하기 위해 Offset과 녹색시간을 일정한 크기로 변화시키면서 반복적으로 계산을 수행하는 경사탐색법인 언덕오름(Hill-Climbing) 기법을 이용하여 진행된다. TRANSYT-7F모형

1) 이 논문은 1996년 한국건설기술연구원의 건설기술연구개발사업에 의해 지원되었음.

은 전체 교통시스템 측면에서 높은 효율성을 제공하므로 Network의 최적신호시간계획에 이용되는 가장 범용적인 모형이다. 그러나 현시순서를 최적화하지 못하고, 최적화과정에서 사용되는 언덕오름기법상 국부최소값에 귀착될 가능성이 있으며, 연동방향 교통류의 통과폭을 증가시켜야 하는 간선도로의 신호최적화에는 적절하지 못하다는 단점을 지니고 있다.

## 2. PASSER-II 모형

PASSER-II는 독립신호나 연동신호시간계획을 최적화하는 기능을 갖고 있는 거시적 교통류모형으로 양방향통과폭 효율을 최대화 하는 모형이다. 이 모형은 최대화된 통과폭을 유지하면서 지체를 줄이는 신호주기, 오프셋, 현시순서를 최적화하는데, 진행속도를 최적화하고 방향별 통과폭에 가중치를 주어 변수들을 최적화할 수 있다. PASSER-II모형은 휴리스틱한 기법(Brook's Algorithm)을 사용함으로써 계산시간을 매우 단축하였으며, 간선도로의 연동화를 위한 신호시간계획 및 시스템 평가에 유용하다. 그러나 교통량이 많을수록 좋지 못한 해를 도출하며, 지체가 최소화된다는 보장이 없는 단점을 지니고 있다.

## 3. AAP모형

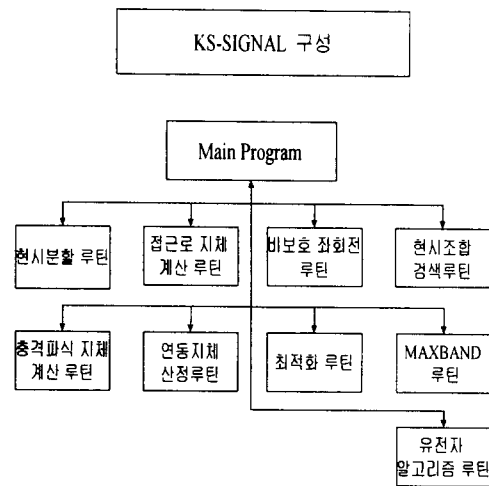
AAP(Arterial Analysis Package)는 기존의 지체최소화 모형인 TRANSYT-7F와 통과폭최대화 모형인 PASSER-II의 장점만을 모아 만든 모형으로 통합된 환경하에서 간선도로 연동화에 관한 신호최적화가 가능하다. AAP는 TRANSYT-7F 모형이 현시순서를 최적화하지 못하는 단점을 PASSER-II에 의해 선택이 가능하도록 하는 등, 양대 모형을 활용하여 다양한 시나리오에 대해서 최적화를 수행할 수는 있으나, 이 역시 지체가 최소화된다거나 통과폭이 최대화된다고 보장받을 수 없다는 단점을 지니고 있다.

### III. KS-SIGNAL의 구성 및 제어

KS-SIGNAL의 구성요소와 제어방법에 대해 알아보겠다.

## 1. KS-SIGNAL의 구성

KS-SIGNAL은 크게 간선도로 신호연동화 최적화 모형과 단속류 시뮬레이션 모형으로 구분되고, 각각의 주요 알고리즘은 크게 현시분할 루틴, 접근로 지체산정 루틴, 비보호 좌회전 루틴, 현시조합검색루틴, 충격파식 지체계산 루틴, 연동지체산정 루틴, 최적화 루틴, MAXBAND 루틴, 기타 외부 호출프로그램인 유전자 알고리즘 루틴 등 총 9개 루틴으로 구분할 수 있다. 이들 각각의 루틴들은 Main Program에 의해 통합 운영된다.



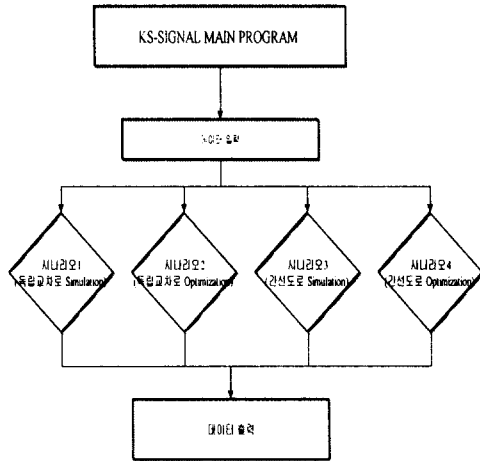
<그림 1> KS-SIGNAL 구성

### 1) Main Program

Main Program은 Microsoft Fortran Powerstation 4.0으로 작성는데, 각각의 모형식을 통합할 수 있도록 설계되었으며, 그 외 입력자료를 echo시켜서 출력시킨다. 각각의 Main Program은 각각의 시나리오 번호에 의해 제어된다.

시나리오 1번일 때에는 독립교차로 Simulation을 수행하고, 시나리오 2번일 때에는 독립교차로 Optimization을 수행한다. 시나리오 3번일 경우, Simulation Option에 따라 충격파 지체계산 루틴이나 연동지체계산 루틴에 의해 간선도로 Simulation을 수행한다. 시나리오 4번일 경우 간선도로 최적화를 수행하고, 최종 Simulation을 하는데, 각 Option에 따라 유전자 알고리즘을 이용한 최적화, MAXBAND를 이용한 최적화, KS-SIGNAL의 최적화를 수행하고,

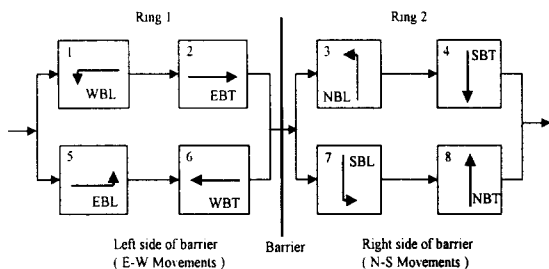
시나리오 3번일 때와 마찬가지로 Simulation Option에 따라 최종 Simulation을 수행하게 된다. 이를 개괄적인 그림으로 표현하면 <그림2>과 같다.



<그림2> KS-SIGNAL 흐름도

2) 현시분할 루틴

현시분할 루틴은 다음의 <그림3>과 같이 Dual-ring 방식으로 모든 이동류에 대해 유효녹색시간을 계산한다. 즉, 각 이동류에 대한 flow ratio를 산출하고 현시종류에 따라 각각의 Critical Path를 구한 다음 그에 대한 임계 포화도비를 계산해 이동류에 할당되는 유효녹색시간을 도출한다. 최종적으로 계산된 유효녹색시간은 접근로 지체계산 루틴으로 넘어가 교차로의 접근로와 교차로 전체 평균지체 등을 구하는데 사용된다.



<그림3> Dual-ring concurrent phasing scheme with assigned movements

3) 접근로 지체계산 루틴

이 루틴은 독립교차로의 경우 모든 이동류의 지체를, 간선도로의 경우 연동축 방향의 직진을

제외한 다른 이동류의 지체를 계산한다.

Optimization일 경우에는 현시분할루틴에서 계산된 유효녹색시간을 이용하여 교차로분석을 하고, Simulation일 경우에는 사용자가 입력한 녹색시간, 황색시간, 손실시간 등의 신호시간에 의해 분석을 한다. 여기서 지체를 계산하는 데 사용되는 지체도 모형식은 HCM식을 사용한다.

4) 비보호 좌회전 루틴

신호교차로에서 좌회전이 비보호로 운영되는 경우에 비보호 좌회전 이동류에 대한 지체를 계산하는 루틴이다. 이에 대한 Model로는 HCM Model을 사용하였는데, 1985년 HCM 모형식과 1994년 HCM모형식 두 가지로 작성되어 있으며, 이는 입력시에 어느 Option을 사용할 것인가에 따라 사용된다.

5) 현시조합 검색루틴

각 교차로별로 최소신호주기에서 최대신호주기까지 주기증가분별로 교차로평균 지체가 최소가 되는 조합을 찾아준다. 유효녹색시간이 같은 경우 모두를 고려하여 최적현시조합을 찾아주는 루틴이다.

6) 충격파식 지체계산 루틴

연동의 효율성은 차량이나 차량군의 이동을 설명하는 교통모형에 의해 좌우되는데 연동의 효과를 평가에 반영하기 위해 개발된 차량군 분산모형은 교차로의 하류부와 같은 병목 지점에서 발생하는 차량군 압축현상을 묘사하지 못한다. 이에 반해 충격파식 지체계산 루틴은 차량군의 분산과 압축을 묘사할 수 있는 충격파모형을 이용하여 단속류를 시뮬레이션 한다.

7) 연동 지체 계산 루틴

차량군이동과 신호연동을 고려하여 교차로간 지체도를 산정하는 연동보정방안이 제기되었다. 즉, 상기 v값에서 녹색시간동안 도착되는 교통량을 분리해내어 차량군비율을 계산하고 차량군 도착형태를 6가지로 구분하여 각 도착형태별 연동보정계수를 적용한다. 이처럼 무작위한 도착에 의한 지체와 차량군 도착유형별 지체도

의 상대적 비율을 연동보정계수(Progression Adjustment Factor)라 하는데, 이를 계산하여 최종적으로 균일지체를 계산하는 모형이다.

### 8) 최적화 루틴

최적화 루틴은 입력된 교통량과 현시분할루틴의 최적신호시간을 이용, 교차로간 최적읍셋을 산출하는 신호최적화루틴이다. 최적읍셋은 상류부 교차로에서 출발한 차량군이 하류부 교차로의 적색시간에 의해 방해받는 정도를 나타내는 직진방해시간을 최소로 하는 혼합정수선형계획 문제로부터 도출되며, 최적화루틴으로부터 산출된 읍셋은 다시 시뮬레이션 루틴에 입력되어 지체시간을 산정하는 자료로 이용된다.

### 9) MAXBAND 루틴

이 루틴은 Little에 의해 소개된 MAXBAND 모형을 프로그래밍한 루틴으로 간선도로로 전구간에 대한 차량의 통과폭을 최대화하는 신호시간계획을 산출하는 루틴이다. MAXBAND 루틴은 중방향 교통량 흐름을 반영, 연동방향 및 비연동방향의 통과폭의 합을 최대로 하는 모형으로 간선도로의 연동화를 위한 최적신호시간계획을 수립하는데 있어서 매우 합리적인 해를 도출하고, 최종모형식의 형태는 양방향 통과폭을 최대로 하는 혼합정수선형계획법(MILP)으로 표현된다.

### 10) 유전자 알고리즘 루틴

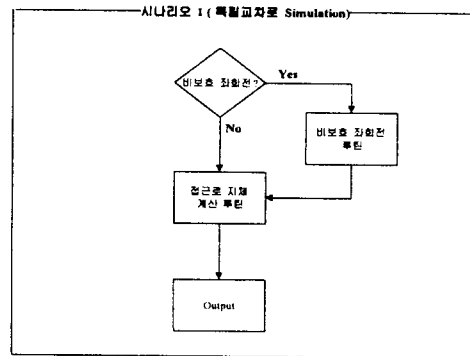
유전자 알고리즘은 1975년 John Holland에 의해 처음 알려졌는데, 생명체의 자연도태(Natural Selection)와 유전자를 통한 정보전달 방법을 응용한 최적화 방법을 말하는 것이다. 특히, 확률론적인 변환규칙을 사용함으로써 더 나은 공간으로서의 탐색을 이끌기 때문에 극소해가 아닌 전역해를 구할 수 있는 장점을 지니고 있다.

## 2. KS-SIGNAL의 제어

KS-SIGNAL은 독립교차로와 간선도로에 대해 분석할 수 있는데, 독립교차로 Simulation과 최적화, 간선도로 Simulation과 최적화로 나눌

수 있는데, 이를 수행하기 위해 시나리오를 제시하여 제어를 하는데 이를 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

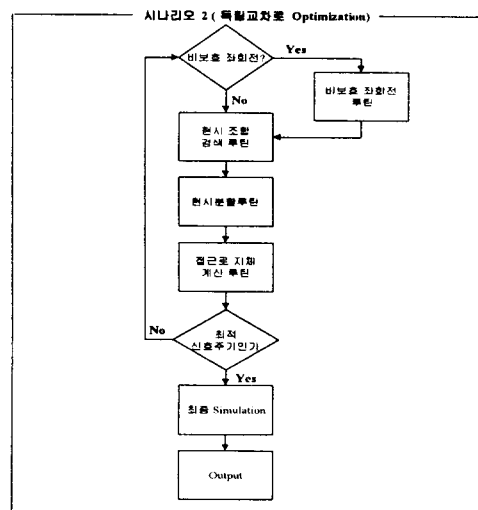
### 1) 시나리오 1



<그림4> 시나리오 1번 흐름도

시나리오 1번은 위의 <그림4>에서 보듯이 독립교차로 Simulation이다. 비보호 좌회전인지를 판단하여 비보호 좌회전일 경우에는 비보호 좌회전 루틴을 이용하여 비보호 좌회전에 대한 지체를 계산하고, 그렇지 않을 경우에는 각 접근로에 따라서 지체를 계산한다.

### 2) 시나리오 2



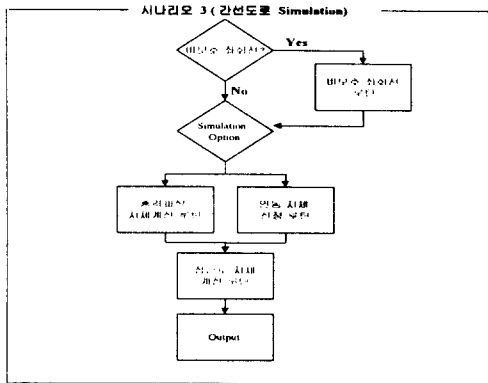
<그림5> 시나리오 2번 흐름도

시나리오 2번은 <그림5>에서 보듯이 독립교차로 Optimization으로 독립교차로에 대해 최적의 신호시간과 신호주기, 그리고 최적현시를 구하고자 할 때 사용된다. 시나리오 1번과 마찬가지로

지로 비보호 좌회전 유무를 판단한 뒤 각 이동류에 대해 신호시간을 계산하며, 계산된 신호시간을 이용하여 신호주기 단계별로 교차로의 평균지체를 구한다. 이때 가장 작은 지체가 나오는 신호주기를 최적 신호주기로 산출하고, 최종적으로 나온 신호시간, 신호주기, 현시를 가지고 Simulation을 한다.

### 3) 시나리오 3

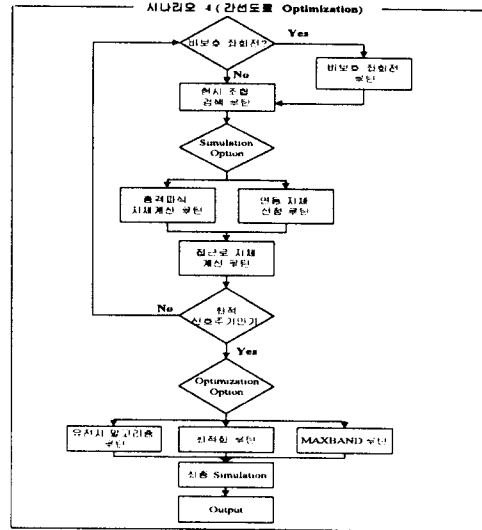
시나리오 3번은 <그림6>에서 보듯이 간선도로 Simulation이다. 사용자가 입력한 기하구조 자료, 교통량 자료, 신호시간자료를 이용하여 간선도로 지체를 계산한다. 간선도로의 직진 방향은 연동의 영향을 받으므로 Simulation Option에 따라 차량의 분산, 압축효과를 묘사할 수 있는 충격과 모형이나 연동 지체 산정 모형(NCHRP)을 사용하여 간선도로 방향의 지체를 계산하고, 나머지 회전 교통류나 부방향의 지체는 접근로 지체 계산 루틴에서 계산한다.



<그림6> 시나리오 3번 흐름도

### 4) 시나리오 4

시나리오 4번은 <그림7>에서 보듯이 간선도로 Optimization이다. 사용자가 입력한 신호주기 범위와 각 교차로에서 선택한 현시들 중에서 최적의 값을 찾는다. 여기서 Optimization



<그림7> 시나리오 4번 흐름도

Option은 3가지가 있는데, KS-SIGNAL의 최적화 방법과 유전자 알고리즘을 이용한 최적화, 마지막으로 MAXBAND방법을 이용한 최적화에서 최적 현시와 옵션을 산출한다. 여기서 산출된 값과 현시분할루틴에서 계산된 신호시간을 이용하여 최종 Simulation을 수행한다.

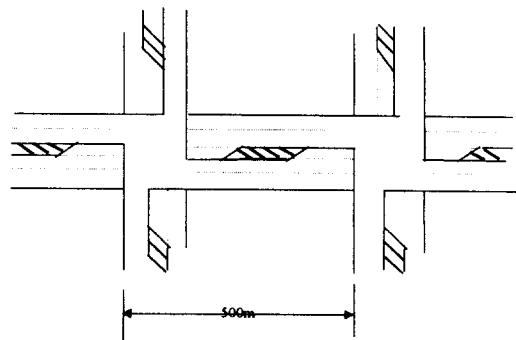
## IV. KS-SIGNAL의 적용 및 평가

### 1. 민감도 분석

#### 1) 평가계획

다음의 기하구조와 교통량 조건을 갖는 간선도로에 대해 평가를 해 보겠다.

#### (1) 기하구조 조건



<그림8> 기하구조 조건

<그림8>과 같은 간선도로에서 V/C 비율에 따른 민감도 분석을 실시하였다. 간선도로의 각 교차로에서 직진 2개 차로, 좌회전 전용 1개 차로, 교차도로는 직진 1개 차로, 좌회전 전용 1개 차로를 갖는다. 교차로간 거리는 500m이고 방향별 통행속도는 30Km/h이다. 차선당 포화교통류율은 1800vphgpl로 가정한다.

(2) 교통량 조건

교통량 조건은 V/C 비율에 따른 민감도를 알아보기 위해 평가한다.

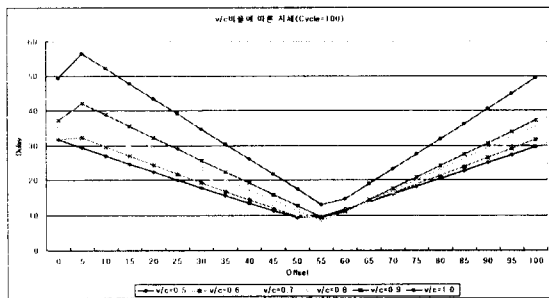
<표1> V/C = 0.7인 경우 교통량

구분	East bound		West bound		North bound		South bound	
	LT	TH	LT	TH	LT	TH	LT	TH
교1	139	1390	117	1178	77	486	76	487
교2	143	1414	120	1202	76	484	74	482
교3	143	1453	123	1229	72	481	74	485
교4	146	1478	127	1280	74	491	80	485

2. 평가결과

시나리오 4번, 즉 간선도로 Optimization에 대해 수행한 결과이다.

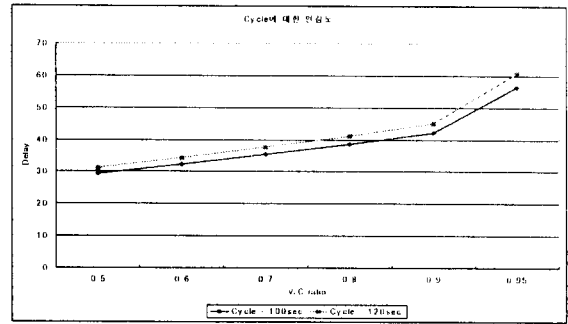
1) v/c 비율에 따른 민감도 분석



<그림9> V/C 비율에 따른 민감도 분석

2) 신호주기에 따른 평가

Offset이 5인 경우에 대해 각 V/C별로 신호주기에 대한 민감도 분석을 해 보겠다. 본 논문에서는 신호주기가 100초인 경우와 120초인 경우에 수행하였다.



<그림10> 신호주기에 대한 민감도 분석

V/C 비율과 신호주기에 대한 민감도 분석의 결과는 <그림 10>과 같은데 신호주기와 V/C 비율에 따라 민감한 결과가 나온다.

V. 결론 및 향후 연구과제

기존에 개발되어 있는 TRANSYT-7F나 PASSER-II와 같은 프로그램의 단점을 극복하여 좀더 현실성 있는 Software를 개발하였다. 향후에 과포화시 발생하는 차량군 현상을 잘 묘사할 수 있는 모형과 Network에 대해 포괄적으로 평가할 수 있는 Software가 계속 연구되어야 할 것이다.

※ 참고문헌

<국 내>

1. 박찬호(1999), "간선도로 연동화 신호최적화 모형 KS-SIGNAL의 수행속도 향상을 위한 연구", 서울시립대학교 석사학위 논문
2. 백현수(1998), "충격과 이론을 응용한 단속류 시뮬레이션 모형의 개발", 서울시립대학교 석사학위 논문
3. 신언교(1997), "지체최소화를 위한 신호연동화모형 개발에 관한 연구", 서울시립대학교 박사학위논문

<국 외>

1. Courage and Wallace(1991), "TRANSYT-7F User's Guide", Transportation Research Center, University of Florida, Gainesville, Florida
2. Chang and Meser(1991), "PASSER II-90 PROGRAM USER'S GUIDE", Texas Transportation Institute Texas A&M University
3. TRB(1998), Highway Capacity Manual, Special Report 209