

규칙기반시스템을 이용한 교통류 시뮬레이션 평가 및 진단¹

강병호 류광렬 정상화
부산대학교 컴퓨터공학과
e-mail : {bhokang, krryu, chungsh}@pusan.ac.kr

Evaluation and Diagnosis of Traffic Simulation Results using a Rule-Based System

Byoung-ho Kang, Kwang Ryel Ryu and Sang-Hwa Chung
Dept. of Computer Engineering, Pusan National University

요 약

도심지에서 자주 발생하는 교통체증의 문제를 효과적으로 해결하기 위해서는 교통 상황을 신속하고 정확하게 진단하여, 이를 바탕으로 최대한의 효율을 얻을 수 있도록 교통 신호체계를 수립하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 ‘병렬기반 미시적 교통류 시뮬레이션 시스템’을 활용하여 교통상황을 정확하게 모델링한 결과정보를 추출하고, 이를 바탕으로 교통상황을 종합적으로 진단할 수 있는 ‘교통류 시뮬레이션 평가 및 진단 시스템’을 제시한다. 교통상황에 대한 시뮬레이션 결과정보를 쉽게 분석할 수 있는 교통류 시뮬레이션 평가 및 진단 시스템을 개발하기 위하여, 교통상황의 해석에 필요한 제반 문제와 원인들의 인과관계를 파악하여 규칙화하고, 이를 바탕으로 규칙기반추론 기법을 적용할 수 있도록 전문가시스템을 도입하였다. 또한 효율적인 진단을 위하여 시뮬레이션 결과정보로부터 구한 정량적인 각종 평가 지표를 정성적인 측면에서 재평가하여 사용할 수 있도록 fuzzy 기술을 도입하였다. 아울러 교통류 시뮬레이션 평가 및 진단 시스템의 결과는 최적의 신호체계를 수립하는데 활용될 수 있도록 하였다. 서울광역시 과천 주변의 8 개 교차로를 포함하는 교통망에 대한 교통정보를 바탕으로 실험해봄으로써 사용자가 복잡한 교통망에 대해 보다 효과적으로 교통흐름을 분석하여 정체원인을 실시간으로 판단할 수 있는 가능성을 보여준다.

1. 서론

도심지에서 자주 발생하는 교통체증의 문제를 효과적으로 해결하기 위해서는 교통상황을 정확하게 진단하여, 이를 바탕으로 최대한의 효율을 얻을 수 있도록 교통 신호체계를 수립하는 것이 중요하다. 이를 위해서는 우선 교통류 시뮬레이션 시스템을 이용하여 교통상황을 정확하게 모델링하고, 그 결과 정보를 바탕으로 교통 흐름을 종합적으로 평

가 및 진단하며, 그 결과를 최적의 신호체계 수립에 적극 활용하는 것이 요구된다.

교통류 시뮬레이션 평가 및 진단과 관련하여 세계적 기술 추세는 실시간에 교통류를 정확하게 반영할 수 있는 미시적 시뮬레이션 시스템을 개발하여, 이를 기반으로 기본적인 교통체증에 대한 진단을 비롯하여, 교통안전, 교통환경평가, 대지사용계획, 환경공해, 에너지소비 등의 분석에 사용될 수

¹ 본 연구는 정보통신연구진흥원의 지원을 받았음

있는 시스템이 개발되었고, 또한 교통체증에 대응할 수 있는 관제 시스템까지 개발, 상용 소프트웨어가 출시되어 있는 실정이다[5][8][9]. 그러나 국내에서는 아직 교통류 시뮬레이션 시스템에 대한 연구가 초기단계이며, 이를 기반으로 한 교통체증, 교통안전, 교통환경평가 등의 분석에 대한 연구는 미비한 상태이다.

본 논문에서는 병렬기반 미시적 교통류 시뮬레이션 시스템을 이용하여 교통상황을 정확하게 모델링한 결과정보를 바탕으로, 교통상황을 종합적으로 평가 및 진단할 수 있는 교통류 시뮬레이션 평가 및 진단 시스템을 제시한다. 교통류 시뮬레이션 평가 및 진단 시스템은 다음 두 가지 관점을 고려하여 개발되었다.

첫째, 교통류 시뮬레이션 시스템으로부터 생성되는 시뮬레이션 결과 정보는 크게 교통류 정보, 교통망 정보, 신호체계 정보로 구성되나, 이들 정보는 대량의 상세하고 세부적인 정보로서, 시뮬레이션 결과를 쉽게 파악할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 교통류 시뮬레이션 평가 및 진단 시스템이 시뮬레이션 결과에 대한 분석을 용이하게 하는 사용자 지원시스템으로서의 역할을 할 수 있도록 개발하였다.

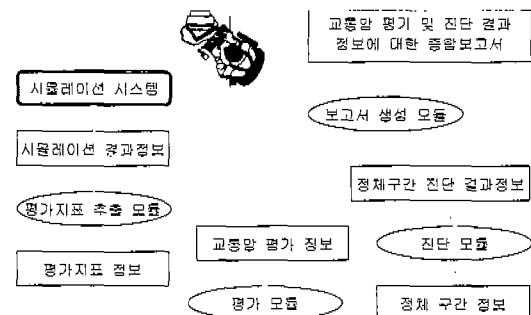
둘째, 본 연구에서는 이후 신호체계 최적화 시스템에서 가급적 물리적인 제반 교통 시설을 변경하지 않고, 신호체계의 변경만을 통해 교통 소통의 개선을 최대한으로 획득하고자 한다. 이점을 고려하여 정체구간의 원인을 진단할 때, 신호체계에서 진단하도록 제약함으로써, 그 결과가 신호체계 최적화 시스템에서 휴리스틱 탐색을 통해 최적의 신호체계를 찾을 때, 탐색을 안내하는 역할을 할 수 있도록 개발하였다[1].

실제로 교통상황 평가 및 진단에서 중요한 것은 여러 가지 평가 지표들을 바탕으로 교통망에서의 교통상황을 평가하는 것 뿐 아니라, 정체가 되는 구역들에 대한 각종 세부적 지표의 값들로부터 그 원인을 파악하는 것이다. 본 연구에서는 시뮬레이

션 결과의 분석을 용이하게 하는 지원시스템을 구축하기 위해 교통상황의 해석에 필요한 여러 가지의 문제와 원인들에 관한 인과관계를 파악하여 규칙화하고, 이를 바탕으로 규칙기반추론 기법을 적용할 수 있도록 전문가 시스템을 도입하였다[6][7]. 또한 교통상황을 효율적으로 진단하기 위하여 시뮬레이션 결과정보로부터 도출된 정량적인 각종 평가 지표를 정성적인 측면에서 재평가하여 사용할 수 있도록 fuzzy 기술을 도입하였다[6][10].

2. 교통류 시뮬레이션 평가 및 진단 시스템

교통류 시뮬레이션 평가 및 진단 시스템은 시뮬레이션 결과, 실제 교통 흐름을 정확하게 모델링한 정보를 기반으로, 여러 가지 평가 지표들에 따라 교통망의 교통상황을 종합적으로 평가하고, 평가 결과를 바탕으로 정체구간에 대해 그 원인을 진단한다. [그림 1]은 본 시스템의 흐름도를 보여준다.



[그림 1] 교통류 시뮬레이션 평가 및 진단 시스템

2.1 평가지표 추출 모듈

평가지표 추출모듈은 시뮬레이션 결과정보를 효율적으로 평가 및 진단할 수 있도록 가공하여, 평가와 진단 모듈에서 사용되는 각종 평가지표들을 추출한다. 평가지표로는 교통공학에서 일반적으로 사용되는 것을 사용하였고, 주요 평가지표들은 다음과 같다[2][3].

- 차량의 순행속도

차로군²의 평균순행속도를 구하는 데 사용된다.

² 본 논문에서 차로군은 각 도로별로 진행방향에 따라 직진 차로군, 좌회전 차로군, 우회전 차로군으로 구분된다.

$$\text{차량의 순행속도} = \frac{\text{통행거리}}{\text{통행시간}}$$

- 차로군 평균순행속도

차로군의 정체 정도를 평가하기 위해 사용된다.

$$\text{차로군 평균순행속도} = \frac{\sum \text{차량별 순행속도}}{\text{차로군 차량수}}$$

- 차로군에서 서비스된 차량 대수

해당 도로 내 차로군에서 대상시간동안 차량의 유입 및 유출교통량, 대상시간 시작 시점의 잔류교통량, 대상시간 끝 시점의 잔류교통량을 구하여 진단과정에 사용한다.

- 대기행렬길이

각 차로군에서 신호가 적색일 때, 대기하고 있는 차량들의 길이를 나타내는 값으로서, 차간간격이 기준치 이하인 차량들의 대수로서 표현한다.

2.2 평가 모듈

평가 모듈은 각종 평가 지표를 바탕으로 차로군, 도로, 전체 교통망에서의 정체 정도를 평가한다. 본 연구에서는 도심지의 교통망을 대상으로 하고 있어, 차로군과 도로의 정체정도를 순행속도에 의한 서비스 수준(A 부터 E 까지 구분)을 기준으로 평가하였다[2][3]. 서비스수준이 D 이하인 도로(또는 차로군)는 정체도로(또는 정체차로군)로 판별된다. 교통망에 대한 서비스수준은 각 도로의 평균순행속도를 바탕으로, 평균과 분산을 기본으로 한 통계적인 방법을 이용하여 전체 교통망에 대한 서비스수준을 계산하고, 아울러 교통망 전체의 서비스된 차량 대수(유입교통량, 유출교통량, 잔류교통량)에 대한 정보도 함께 제공된다. 전체 교통망의 효율을 정확하게 측정하기 위해 각 도로별 차로 수 또는 도로 종류에 의한 가중치가 고려된다.

2.3 진단 모듈

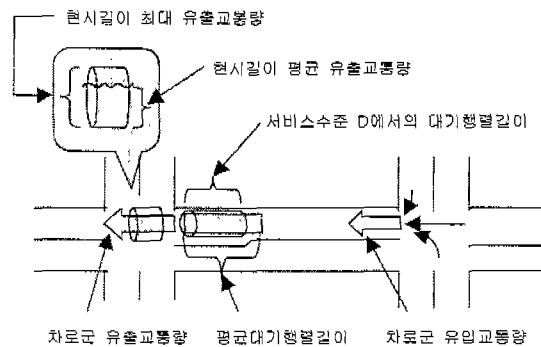
진단 모듈은 평가 모듈에서 판별한 정체차로군에 대해 각종 평가지표를 바탕으로 정체 원인을 신호체계에서 찾아서 제시한다. 진단 모듈에는 지역적인 관점에서 해당 정체차로군의 정체원인을 진단하는 기본적인 진단 규칙을 비롯하여, 상위레벨의 규칙으로 기본적인 진단 규칙의 진단 결과간

의 상충되는 부분을 해소하는 상충 진단 보완 규칙이 있다.

2.3.1 기본적인 진단 규칙

기본적인 진단 규칙은 각 정체차로군의 정체 원인을 신호체계에서 진단하되, 지역적인 관점에서 가장 직접적인 원인을 찾는다. 즉 해당 정체차로군의 정체원인과 가장 직접적으로 관련된 현시로서, 유출현시와 유입현시에서 그 원인을 파악한다. 만약 유입과 유출 현시에서 그 원인을 찾을 수 없을 경우에는, 이 도로의 유출도로에서 그 원인을 찾도록 전가(轉嫁)하였다.

기본적인 진단 규칙에서 사용되는 기준들은 [그림 2]와 같다.



[그림 2] 진단에 사용되는 기준들

이 기준들은 평가지표 추출단계에서 미리 생성되며, 각각의 내용을 설명하면 다음과 같다.

- 평균 대기행렬길이

진단 대상시간동안 차로군의 평균 대기행렬길이이다.

- 서비스수준 D에서의 대기행렬길이

정체도로의 판단 기준(서비스수준D)에서의 평균 대기행렬길이로서, 시뮬레이션 시스템을 이용하여 각 차로군에 대한 사전 실험을 통해 구한 값을 사용한다.

- 현시길이 평균 유출교통량

진단 대상시간 동안 차로군의 총 유출교통량을 바탕으로 구한 현시길이별 평균 유출교통량을 의미한다.

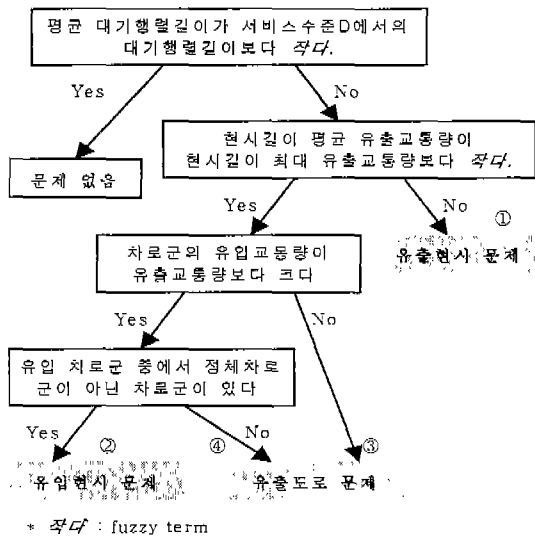
- 현시길이 최대 유출교통량

현시길이 동안 진행할 수 있는 최대교통량을 의미하며, 해당 현시에 대해 지금까지 현시길이 동안 관측된 최대 유출교통량으로 나타낸다.

- 차로군의 유입(출) 교통량

진단 대상시간 동안 차로군의 총 유입(출) 교통량을 의미한다.

이런 기준들을 사용하여 생성된 기본적인 진단 규칙을 decision tree 형태로 표현하면 [그림 3]과 같다.



[그림 3] 기본적인 진단 규칙에 대한 decision tree

우선, 정체차로군에서 평균 대기행렬길이가 ‘서비스수준 D’에서의 대기행렬길이보다 작은 경우에는, 대기행렬에 아직 여유가 있기 때문에 해당 차로군에는 문제가 없다고 판단한다. 만약 평균 대기행렬길이가 ‘서비스수준 D’에서의 대기행렬길이보다 크거나 같은 경우에는, 진단 대상시간 이전 상태보다 대기행렬길이가 줄어드는 개선을 보일지라도, 대기행렬길이가 길어서 해당 차로군에서 정체가 발생하는 상태이다. 이 경우에 대해 세부적으로 살펴보면 다음과 같다.

첫째, ‘현시길이 평균 유출교통량’이 ‘현시길이 최대 유출교통량’과 같은(작지 않은) 경우는, 대기행렬에 많은 차량이 대기하고 있는 상태에서 현시길이 만큼 차량이 진행되고 있으므로, 정체 해소를 위해서는 유출현시를 증가시켜야 한다. 따라서 이 경우에는 유출현시에 문제가 있다고 판단한다([그림 3]의 ①).

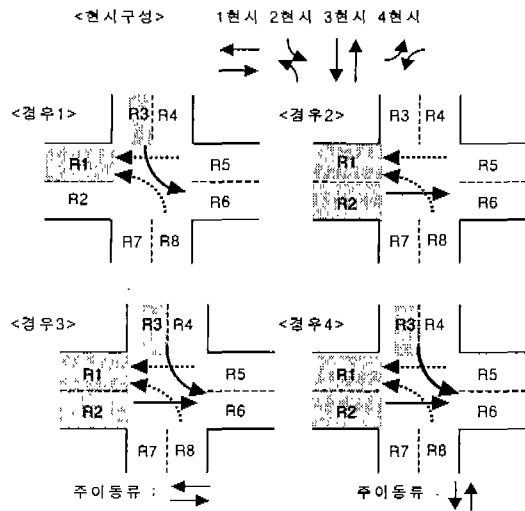
둘째, ‘현시길이 평균 유출교통량’이 ‘현시길이 최대 유출교통량’보다 작고, 차로군의 유입교통량이 유출교통량보다 큰 경우는, 유출도로에 문제가 있어서 현시길이 만큼 차량이 진행하지 못하고, 유입교통량이 유출교통량보다 커서 정체가 발생되고 있는 상태이다. 이런 경우에 유입차로군 중에서 정체차로군이 아닌 차로군이 있으면, 이 방향의 유입현시의 길이를 줄여서 교통소통을 개선시킬 수 있다. 따라서 이 때는 정체도로가 아닌 유입도로 방향의 유입현시를 정체 원인으로 판단한다([그림 3]의 ②).

셋째, ‘현시길이 평균 유출교통량’이 ‘현시길이 최대 유출교통량’보다 작고, 차로군의 유입교통량이 유출교통량보다 작거나 같은 경우는 유출도로에 문제가 있어서 현시길이 만큼 차량이 진행하지 못하고, 유입교통량이 유출교통량보다 작거나 같아서 유입쪽에는 문제가 없는 상태이다([그림 3]의 ③). 그리고 ‘현시길이 평균 유출교통량’이 ‘현시길이 최대 유출교통량’보다 작고, 차로군의 유입교통량이 유출교통량보다 크고, 모든 유입차로군에 정체가 발생한 경우([그림 3]의 ④)는 유출과 유입쪽에 모두 문제가 발생한 상태이다. 이 때는 유출현시와 유입현시의 변화를 동해선 교통소통에 대한 개선을 기대할 수 없다. 이와 같은 두 가지 경우에 대해서는 해당 정체차로군의 유출쪽 도로의 정체 해소를 통해서 교통흐름을 개선시킬 수 있으므로, 유출도로를 정체원인으로 판단한다.

2.3.2 상층 진단 보완 규칙

상층 진단 보완 규칙은 진단 대상시간 동안 기본적인 진단 규칙의 진단 결과, 서로 다른 정체차로군에 대해 같은 현시에 대해 상층되는 진단을 내렸을 때, 이를 전역적인 관점에서 수정 및 보완하는 규칙이다.

상층 진단은 각 교차로에서 인접한 도로들의 정체차로군간에 발생하며, 각각의 경우는 [그림 4]와 같다.



[그림 4] 상충 진단의 예

[그림 4]의 각 상충 진단에 대해 설명하면, 먼저 <경우 1>에서 R1(직진차로군)의 정체 원인이 유입 현시(점선)이고 R3(좌회전차로군)의 정체 원인이 유출 현시(실선)일 때, R1의 정체원인으로 1 현시와 2 현시가 길다고 판단하고, R3의 정체원인으로는 2 현시가 짧다고 판단한다. 따라서 2 현시에 대해서 상충되는 진단 결과가 발생한다. 마찬가지로 <경우 2>는 1 현시에 대해서 상충되는 진단 결과가 발생하고, <경우 3>과 <경우 4>는 1, 2 현시 모두에 대해서 상충 진단이 발생한다.

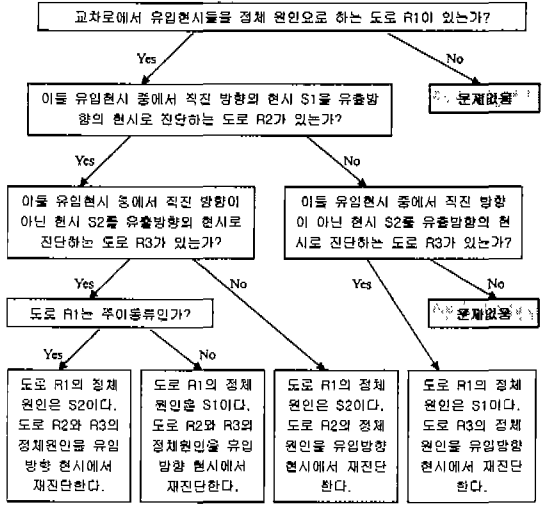
각 경우에 대해서 상충 진단을 해결하기 위한 방법을 설명하면 다음과 같다.

<경우 1>은 도로 R3을 유입방향으로 재진단하고, 도로 R1의 정체 원인으로는 2 현시를 제외시키고 1 현시만을 선택한다. 마찬가지로 <경우 2>는 R2를 유입방향으로 재진단하며, 도로 R1의 정체원인에서 1 현시를 제외시키고 2 현시만을 선택한다. <경우 3>과 <경우 4>는 R2와 R3 모두 유입방향으로 재진단하고, 주이동류³와 관련된 현시를 R1의 정체원인에서 제외시킨다. <경우 3>에서는 동서방향의 주이동류에 속하므로 R1의 정체원인에서 1 현시를 제외시키고, 2 현시만을 택한다. <경우 4>에서

³ 주이동류는 주로 도로의 크기와 해당 시간의 교통량에 따라 결정된다. 주이동류를 도로별로 상행과 하행으로 구분하여 주이동류를 정할 수 있으나, 본 연구에서는 [그림 4]의 <경우 3>, <경우 4>에 나타난 바와 같이 남북, 동서 두 방향으로 정하였다.

는 남북방향이 주이동류에 속하므로 R1의 정체원인에서 2 현시를 제외시키고 1 현시만을 선택한다.

위의 경우들을 바탕으로 상충 진단 보완 규칙을 decision tree 형태로 나타내면 [그림 5]와 같다.



[그림 5] 상충 진단 보완 규칙에 대한 decision tree

2.3.3 Fuzzy 규칙

2.3.1에서 설명한 바와 같이, 진단 규칙에는 평가지표 추출단계에서 생성된 정량적인 기준들이 사용된다. 본 연구에서는 이런 기준들 중에서 정량적인 측면에서 평가하기가 힘들거나, 그 값을 사용자에게 보여주더라도 의미가 모호한 기준들은 fuzzy 개념을 이용하여 정성적인 측면에서 평가할 수 있도록 표현하였다[6][10]. 예를 들면, [그림 3]에서 '평균 대기행렬길이'와 '현시길이 평균 유출 교통량'은 fuzzy 변수로 표현되고, 이들 변수의 평가에 사용되는 '작다'는 fuzzy term으로 표현된다.

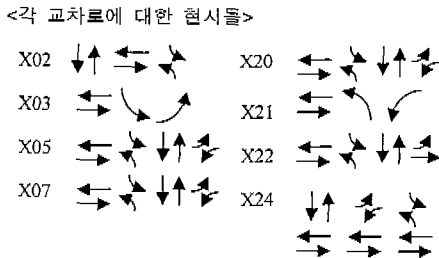
진단 규칙 대부분은 조건부에 여러 개의 fuzzy 패턴이 있고, 결론부에는 crisp 패턴으로 구성되는 FUZZY-CRISP 형태의 규칙으로 구성되어 있고, MYCIN 모델에 따라 결론부에 대한 certainty factor가 결정된다[4].

fuzzy term에 대한 초기 fuzzy set은, 각 차로군마다 서비스수준 D에서의 대기행렬길이를 구하기 위해 사전 실험을 할 때, 서비스수준 D에서의 대기행렬길이의 평균값과 표준편차를 구하여 표준

fuzzy membership 함수(S, Z, Π 함수)로서 나타내거나, 각 대기행렬길이에 대한 possibility 를 구하여 표현된다. fuzzy set 에 대한 수정을 위해서는 진단을 계속해서 수행할 때마다 생성되는 차로군의 예제 즉 대기행렬길이와 정체여부를 바탕으로 학습하는 방법을 사용할 수 있다[6][10].

3. 실험

실험대상으로는 서울광역시 과천 일대의 8 개 교차로와 42 개 도로에 대해 2000 년 1 월 27 일 (08:00~10:00)의 교통량 데이터를 사용하였다. 대상 지역의 각 교차로의 현시는 다음 그림과 같다.



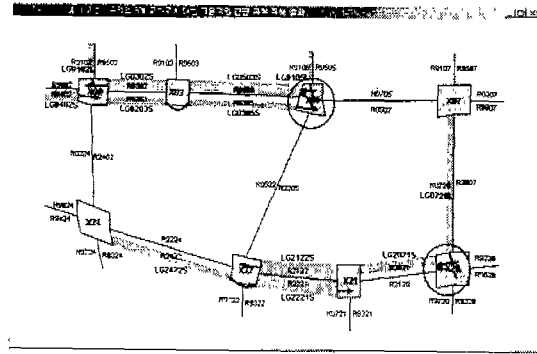
[그림 6] 대상지역 각 교차로의 현시들

[그림 7]은 대상 교통망에 대해 시뮬레이션 정보를 바탕으로 기본적인 진단 규칙을 적용한 결과 화면을 보여준다. 각 도로 상에 정체가 발생한 차로군은 진하게 나타내었고, 정체차로군의 이름을 표기하였다. 또한 정체차로군에 대해 진단된 정체 원인은 정체차로군의 유입과 유출쪽에 화살표로 표시하였다. 정체차로군에 대한 진단 결과를 정리하면 [표 1]과 같다.

[그림 7]에서 정체원인이 유출도로로 진단된 정체차로군은 LG0203S 와 LG2422S 이다. LG0203S 는 유입교통량이 유출교통량보다 작거나 같아서 유입 쪽에는 문제가 없는 상태에서, '현시길이 평균 유출교통량'이 '현시길이 최대 유출교통량'보다 작아 정체원인이 유출도로로 진단된 경우이다([그림 3]의 ③). 반면 LG2422S 는 '현시길이 평균 유출교통량'이 '현시길이 최대 유출교통량'보다 작고, 차로군의 유입교통량이 유출교통량보다 크고, 모든 유입차로군에 정체가 발생한 경우에 해당되어, 정체

원인이 유출도로로 진단되었다([그림 3]의 ④).

[그림 7]에서 상충 진단이 발생하는 곳은 교차로 X05 와 교차로 X20 이다. 즉 도로 R0503 의 좌진차로군 LG0503S 가 정체차로군이기에 때문에, 이에 대한 진단 결과 유입현시(←, ←)가 정체원인으로 판단되었다. 또한 도로 R91005 의 좌회전차로군 LG9105L 이 정체차로군이어서 유출현시(→)가 정체원인으로 판단되었다. 따라서 교차로 X05 의 2 현시([그림 6] 참조)에서 서로 상충이 발생한다. 마찬가지로 교차로 X20 의 2 현시에서도 LG2021S 와 LG0720L 의 진단 결과간의 상충이 발생하였다.



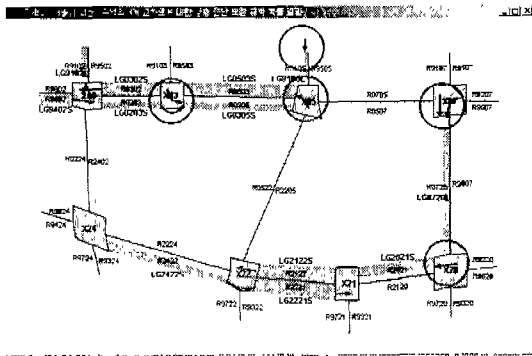
[그림 7] 기본적인 진단 규칙 적용 결과 화면
[표 1] 기본적인 진단 규칙 적용 결과 정리⁴

정체 차로군	정체 원인		
	설명	현시	현시모양
LG9102L	유출현시	P1027	↘
LG9402S	유출현시	P1022	→
LG0203S	유출도로 (그림 3 의 ④)	R0305	→
LG0305S	유출현시	P1052	→
LG0302S	유출현시	P1026	←
LG0503S	유입현시	P1056	←
		P1053	←
LG9105L	유출현시	P1057	↘
LG2221S	유출현시	P1212	→
LG2422S	유출도로 (그림 3 의 ③)	P1222	→
LG2122S	유출현시	P1226	←
LG2021S	유입현시	P1206	←
		P1203	←
LG0720L	유출현시	R1207	↘

[그림 8]은 기본적인 진단 규칙 결과에 상충 진단 보완 규칙을 적용한 결과 화면을 나타내고, 이것을 정리하면 [표 2]와 같다.

⁴ 음영 부분 : 기본적인 진단 규칙 결과와 상충 진단 보완 규칙의 결과가 서로 다른 부분 표시

[그림 8]과 [표 2]에서는 기본적인 진단 규칙 결과, 발생한 상충 진단 부분에 대해 상충 진단 보완 규칙이 새로 보완한 정체원인을 보여준다⁵. 교차로 X05에서의 상충 진단은 [그림 4]의 <경우 3>에 해당된다. LG0305S와 LG9105L에 대해서 정체원인을 유입방향의 현시에서 재진단하였고, LG0503S는 주이동류에 해당되어 현시 P1056(←)와 P1053(←) 중에서 P1053(←)만 정체원인으로 선택되었다. 반면 교차로 X20에서의 상충 진단은 [그림 4]의 <경우 1>에 해당된다. LG0720L에 대해서 정체원인을 유입방향의 현시에서 재진단하였고, LG2021S는 현시 P1206(←)과 P1203(←) 중에서 P1206(←)만 정체원인으로 선택되었다.



[그림 8] 상충 진단 보완 규칙 적용 결과 화면

[표 2] 상충 진단 보완 규칙 적용 결과 정리

정체 사로군	정체 원인		
	설명	현시	현시모양
LG9102L	유출현시	P1027	↳
LG9402S	유출현시	P1022	→
LG0203S	유출도로	R0305	→
LG0305S	유입현시	P1037	↳
LG0302S	유출현시	P1026	←
LG0503S	유입현시	P1033	←
LG9105L	유입현시	X ⁶	↓
LG2221S	유출현시	P1212	→
LG2422S	유출도로	P1222	→
LG2122S	유출현시	P1226	→
LG2021S	유입현시	P1206	←
LG0720L	유입현시	P1074 P1071	→ ↓

4. 결론

⁵ [그림 8]에서 동그라미, [표 2]에서 음영한 부분 참조

⁶ 대상 교통망으로 유입되는 도로의 현시에 대해서는 알 수 없으므로 'X'로 표현했다

본 논문에서는 병렬기반 미시적 시뮬레이션 시스템에서 대량의 상세하고 세부적인 수준으로 제공되는 시뮬레이션 결과 정보의 분석을 용이하게 하고, 이후 신호체계를 최적화할 때 활용할 수 있는 규칙기반시스템을 이용한 교통류 시뮬레이션 평가 및 진단 시스템을 제시하였다. 실험을 통해 사용자가 복잡한 교통망에 대해 보다 효과적으로 교통흐름을 분석하여 정체원인을 실시간으로 판단할 수 있는 가능성을 보여준다.

현재 진단 모듈에서는 지역적인 관점에서 정체원인을 진단하는 기본적인 진단 규칙과 기본적인 진단 규칙의 결과를 전역적인 관점에서 보완하는 상충 진단 보완 규칙만을 구현하였다. 향후 상위 레벨의 규칙으로서 여러 개의 도로를 포괄하는 정체구간에 대한 진단 규칙, 교차로 신호간의 옵셋과 신호주기를 고려하는 연동구간 진단 규칙 등을 마련할 예정이다. 아울러 시간의 흐름에 따라 정체구간의 추이를 효과적으로 분석하여 사용자가 정체구간의 원인을 진단하고 대처하는데 도움을 줄 예정이다.

참고 문헌

- [1] 강병호, 류광렬, 정상화, "Tabu 탐색기법을 이용한 적응형 교통 신호체계의 최적화", 한국정보과학회 학술발표논문집 제 26 권 2 호, 1999
- [2] 도철용, "교통공학원론", 청문각, 1997
- [3] 원제무, 최재성, "교통공학", 박영사, 1990
- [4] E.H. Shortliffe. "Computer-based medical consultation: MYCIN", American Elsevier, 1976
- [5] G. Cameron, G. Duncan, and D. McArthur, Paramics-MP: Final Report, EPCC-PARAMICS-MPFR 1.0A, 1994.
- [6] H.-J. Zimmermann, "Fuzzy set theory", KALA, 1991
- [7] Joseph Giarratano, Gary Riley, "Expert systems," PWS, 1998
- [8] K. Nagel, and A. Schleicher, "Microscopic Modeling on Parallel High Performance Computers", Parallel Computing, vol. 20, pp.125-146, Jan. 1994.
- [9] K. Nagel, C.L. Barrett, M. Rickert, Parallel traffic micro-simulation by cellular automata and application for large-scale transportation modeling. LA-UR 96-

50, Los Alamos National Laboratory, February, 1996

[10] R. Kruse, J. Gebhardt, F. Klawonn, "Foundations of fuzzy systems", Wiley, 1994