

딜레마 차량을 고려한 감응식 연동화 신호제어전략 개발

Development of Coordinated-Actuated Control Strategy with Minimizing the Dilemma Zone

이용일

(서울시립대, 석사과정)

김영찬

(서울시립대, 교수)

Key Words : Actuated Signal, Coordination, Dilemma Zone

목 차

I. 서 론

1. 연구배경 및 목적

2. 연구범위 및 방법

II. 이론적 배경

1. 감응식 연동제어

2. 딜레마존

III. 알고리즘 개발

1. 알고리즘 선정

2. 알고리즘 개발

IV. 알고리즘 적용방법론

V. 알고리즘 평가

1. 평가수행방법

2. 효과분석 결과

VI. 결론

I. 서 론

1. 연구배경 및 목적

과거에는 교통 혼잡이 도시의 대표적인 도시문제로 대두되어 왔다. 하지만 90년대 초반부터 차량의 증가와 장거리 여행이 증가로 인해, 따라서 지방부 고속도로와 일반국도의 이용비중이 나날이 증가하고 있으며, 이에 따른 지방지역 도로의 교통문제가 대두되고 있다.

따라서 최근에는 지방부 도로의 확충과 시설의 확장을 통한 많은 노력을 하고 있지만, 신호 시스템 측면에서 볼 때, 아직도 신호제어시스템은 정주기식 일반신호기 수준을 면치 못하고 있고, 교차로와 축의 효율성 면에서 미진한 상태이다. 따라서 지방부 도로의 경우는 도로의 특성에 맞는 신호기가 필요시 되고, 지방부 도로의 신호시스템의 개발이 대두되고 있다.

지방부 도로의 특성을 살펴보면, 지방부 도로는 도시부도로에 비해 교차로와 교차로간의 길이가 길며, 차량이 신호에 의해 차량군을 이루어 통행을 한다. 그리고 주요 국도간의 교차나 도심지 통과 이외에는 주방향과 부방향의 교통량의 차이가 크며, 교통량의 변동 또한 크다.

앞에서 설명된 지방부 국도의 특성상, 효율적인 면을 고려한 감응식 신호의 필요성과 연동제어를 통해 차량들이 교차로의 효율적인 통행이 필요하다. 또한 지방부 국도의 경우는 제한속도가 높을 뿐만 아니라, 교차로간의 거리가 길다. 따라서 차량의 고속운행에 따른 접근 교차로내 딜레마존에 차량의 존재에 따른 안전성 문제가 대두되고 있다. 따라서 차량들의 지체를 최소화하고, 신호 교차로의 용량을 증대시키는 것과

동시에, 안전성을 높이는데 있다고 할 수 있다.

2. 연구범위 및 방법

본 연구에서는 국도 및 간선도로의 효율성 증대 및 안전성을 고려한 감응식 연동제어 시스템을 개발하는 것이다.

감응식 연동전략과 딜레마 감응전략은 기존의 논문을 참고하여 가장 적절한 알고리즘을 나타내고, 이를 수정·보완하여 새로운 전략을 제시하겠다. 본 연구는 국도 1호선의 3개교차로(세마대 교차로 ~ 두산기계앞)를 대상으로 평가를 했으며, 개발된 알고리즘은 Netsim과 자체 개발한 시뮬레이터를 이용하여 평가를 하도록 하겠다.

II. 이론적 배경

1. 감응식 연동제어

기존의 정주기식 연동은 교통량이 높고, 예측이 가능한 과포화 상태에서는 좋은 수행결과를 얻을 수 있다. 그러나 교통량이 적고 교통량이 변동이 심한 곳에서의 정주기식 연동은 효과가 떨어지게 되어 있다. 따라서 교통량의 변동에 잘 대응할 수 있는 감응식 신호상에서의 연동화가 필요하게 된다.

감응식 연동제어를 위한 변수는 아래와 같다.

■ Background Cycle Length

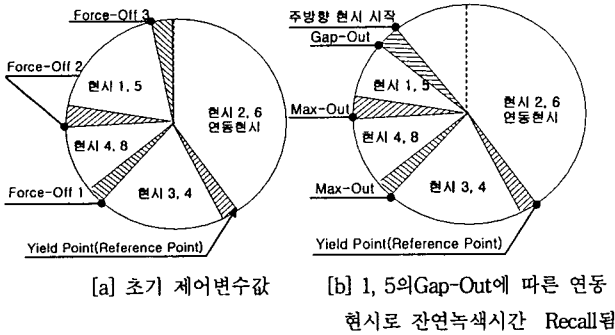
: 연동제어를 위한 제어기상의 주기값이다.

■ Yield Point

: 주방향 현시종료시점이며, 감응식 연동제어의 참조점이다.

■ Force-Off

: 부방향의 최대녹색시간이며, Max-Out되는 시점이다.



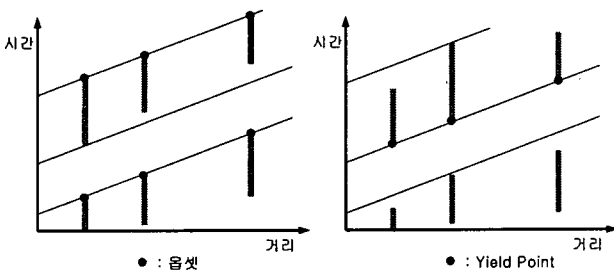
[a] 초기 제어변수값 [b] 1, 5의Gap-Out에 따른 연동 현시로 잔연녹색시간 Recall됨

<그림 1> 국외 딜레마 구간 최소화 전략

감응식연동 제어를 보면, 현시 2, 6은 연동현시이며, 이 시간은 감응이 없으므로 제공시간이 확보되어지며, 이 시간은 주방향에 대해 제공을 한다. 나머지 현시는 부방향에 제공이 되며, 이 현시들은 감응이 일어난다.

<그림 1>에서 [a]는 초기 제어 변수값이며, 차량의 증가로 인해서 감응이 계속 제공되어지면, [a]와 같이 Force-Off시 종료되는 Max-Out에 의해 신호제어가 되지만, [b]와 같이 현시 1, 5에서 차량의 감응이 없을시 Gap-Out되면 남은 시간은 주방향으로 Recall되어 주방향에 제공이 된다. 따라서 주방향에 대해 최대한 많은 현시를 제공하도록 되어 있다.

Force-Off는 Yield Point를 기준으로 해서 시간결정이 되며, Yield Point는 시스템 시간에 의해 제공되어지며, <그림 2>에서 살펴보면 일반적인 Offset값과 Yield Point에 따른 옴셋값 제공에 따른 차이점을 나타내었다. Yield Point는 Offset을 포함하므로 이 시점에 따라 각 교차로별로 연동이 제공된다.



<그림 2> 국외 딜레마 구간 최소화 전략

아직 국내에는 감응식 연동신호의 적용이 되어있지 않지만, 현재 국외에서 적용되고 있는 감응식 연동신호로는 아래의 방식들이 적용이 된다.

1) Early Return Green

신호 최적화 프로그램에 의해 생성된 신호시간을 감응제어에 사용하면 부방향에 Extra Green Time이 발생을 하는데, 이렇게 발생된 시간은 주방향에 부여해서 주방향 연동폭을 최대화 시키는 것이다.

2) Volume to Capacity Ratio Strategy

신호 최적화 프로그램에서 주방향에 priority옵션을 주고, 이동류의 V/C비를 목표 V/C비인 85~90% 정도의 목표 V/C를 유지하면서 연동폭을 최대화하는 것이다.

3) Pretimed Conversion Strategy

적절한 신호주기 결정후, 특정시간대의 제어기간 동안에 적절한 옴셋과 감응-비감응식 현시들로써 반감응식 형태로 운영되어진다.

2. 딜레마존

딜레마 구간은 나라마다 각기 다른 차이는 있지만, 기본적인 의미는 차량이 황색시간개시시 황색시간내에 교차로를 통과하지 못하고, 차량을 임계속도로 정지를 해도 정지선 내에 정지를 하지 못하는 경우이다. 미국의 경우는 운전자가 황색 시간 개시시 운전자 90%가 정지하려는 구간과 오직 10%의 운전자만이 정지하려는 구간의 사이를 의미한다. 국외의 딜레마 구간을 최소화전략은 <표 1>과 같다.

<표 1> 국외 딜레마 구간 최소화 전략

종류	설명	효과
EC-DC 제어	Extended-Call과Delayed-Call을 이용하여 제어를 하는 방식	69% 사고위험 감소
LHOVRA	Passive Green과 Active Green을 사용하여 제어를 하는 방식	25% 사고감소 50% Conflict 감소
일본 R형 검지기	R형 검지기로 차량의 속도를 관측하여 제어 하는방식	시험기간중 사고 0건

III. 알고리즘 개발

1. 알고리즘 선정

이인규(2003) '국도신호의 운영 효율성 향상을 위한 감응식 신호의 연동제어전략' 에서 평가한 결과에 따르면, 다음의 전략을 비교평가하여 최적의 전략을 도출을 하였다.

- 전략1 - Yield Point 결정방식
: 주기에서 차량군이 일찍 출발하는 것을 피하기 위해 여분의 녹색시간을 기반으로 연동현시의 Yield Point결정방식
- 전략2 - 신호최적화 프로그램 사용방식
: Yield Point와 Force-Off 의 시간결정을 신호시간 최적화 프로그램 수행에 의해서 결정하는 전략
- 전략3 - Average Split을 이용한 Force-Off 결정방식
: 감응식 현시들에서 녹색시간들의 평균적인 시간을 기반으로 Force-Off 결정방식

앞의 전략별 결과에 따르면, 전략2가 타 전략에 비해 좋은 결과를 나타내고 있다. 따라서 본 논문에서는 '전략2-신호최적화 프로그램 사용방식'을 채택을 하겠다.

허정아(2002) '딜레마 구간 최소화를 위한 감응식 신호제어 전략의 개발' 에서 비교평가한 내용을 살펴보면 다음과 같다.

- 전략 I - Volume-Density의 Last Car Pass
- 전략 II - 일본의 'R형 검지기를 이용한 방법'
- 전략 III - EC-DC 제어

<표 2> 각 전략의 결과

운영개선효과 비교척도		전략 I	전략 II	전략 III
안전측면	E1	1.5	-1.0	4.5
	M(%)	0	0	15
소통측면	평균정지 지체(초/대)	6.34	6.23	5.19

위의 <표 2>의 결과를 토대로 EC-DC 제어와 일본R형 검지기의 혼합형태인 딜레마 감응제어를 선정하였다. 본 딜레마 제어방식은 상류부 120m에 설치된 검지기를 통해 얻어진 접근속도 자료를 통해 딜레마구간에 존재여부를 판단하여 연장을 해주는 방식이다.

2. 알고리즘 개발

앞에서 선정된 감응식 연동 알고리즘 적용시 딜레마 구간의 차량의 검지가 증가한다. 따라서 안전성을 고려한 딜레마 감응의 필요성이 있다. 연동전략의 특성상 딜레마 감응에 따른 녹색시간 연장을 할 수 없다. 따라서 현시가 종료될 때, 딜레마구간의 차량에 대해서 Last Car Pass처럼 딜레마 감응이 된 첫 차량에 대해서 녹색시간을 연장하도록 하겠다.

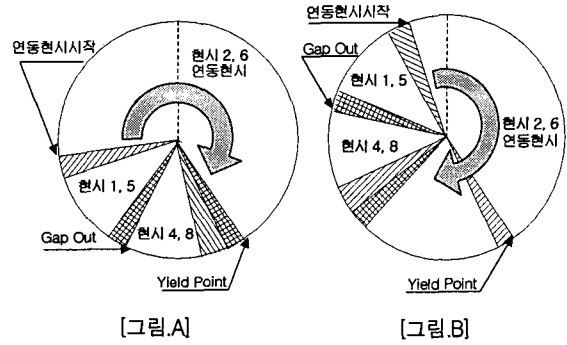
그리고 위의 연동제어시 주방향의 교통량이 많은 방향에 대해 녹색시간을 많이 부여함으로써 높은 효율성을 가지고 있다. 하지만 부방향에 대해서 비효율적인 측면이 있다. 따라서 본 논문에서는 주방향의 높은 효율성을 유지하면서, 부방향의 효율적인 운영을 위해서 Permissive Period Timings 전략과, 앞에서 선정된 감응식 딜레마 제어방식을 제공하겠다.

1) Permissive Period Timings

앞에서 설명을 했듯이 Vehicle/Pedestrian Call을 얻을 수 있는 시간대이며, 부방향현시에 설정이 된다. 따라서 Permissive Periods는 부방향현시의 수와 관련이 있다. 이 시간대의 시간 설정은 Yield Point를 기준점으로 해서 결정이 되며, 각 시간대는 아래 식의 범위값내에서 결정이 된다.

$$\text{Max. Permissive Period } i < \text{Force-Off } i - \text{Min. Green Time}$$

<그림 3>의 [A]는 기존의 알고리즘에 따른 전략이고, 그림 [B]는 Permissive Period Timings 전략을 제공했을시, 제공되는 전략이다. 그림에서 보는 바와 같이 본 전략의 제공방법에 따라 주방향 현시가 유동적으로 움직이므로 부방향의 특히 Pedestrian Call/Vehicle Call에 따라 유동적으로 대처가 가능하지만, 주방향의 지체의 변화는 거의 변하지 않는다.

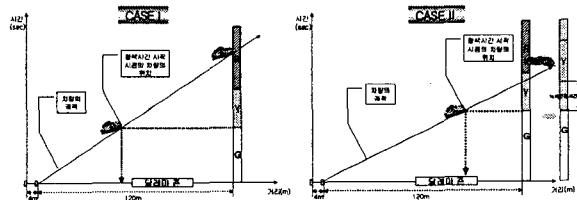


<그림 3> Permissive Period Timings 전략의 개념도

2) 딜레마 감응 제어

본 논문에서 제안되는 딜레마 감응제어에 대해 살펴보면 다음과 같다. 우선 상류부 120m에 설치된 검지기를 통해 접근속도 자료를 얻는다. 접근속도에 따른 차량의 딜레마구간에 해당되는지의 유무를 판단하고, 딜레마 감응의 판단시에는 녹색시간을 연장을 한다. 하지만 기존에 완전감응하에서 제공된 연장시간만큼의 시간은 허용할 수 없다. 반감응식 연동제어하에서는 부방향의 제공시간과 주기값이 설정되어 있으므로 녹색시간의 연장에 있어서 제약이 있다. 따라서 본 논문에서는 Volume/Capacity 제어의 특징중의 하나인 Last Car Pass 기능과 같이 감응된 차량의 첫 번째 차량에 대해서 시간을 연장을 하도록 하겠다.

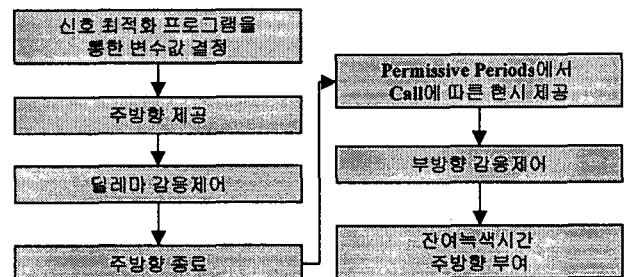
완전감응하에서 제공된 딜레마 감응제어보다는 수행능력은 떨어지지만 반감응연동제어에서 안전성에 있어서 높은 효율이 있다.



<그림 4> 딜레마 감응제어 개념도

3) 알고리즘 수행도

알고리즘의 흐름은 <그림 5>의 순서와 같이 진행이 된다.



<그림 5> 전체 알고리즘 수행절차

IV. 알고리즘의 적용 방법론

신호 최적화 프로그램(T7F)을 이용하여 최적의 값을 산출한다. 산출된 값은 Background Cycle Length로 적용이 되며, 적용된값은 감응식 연동제어의 가장 기본적인 제어변수로 사용이 된다.

Yield Point와 Force-Off값은 ' Background Cycle Length'로부터 구해진 현시값을 이용을 하는데 Yield Point는 주방향 녹색시간과 Offset값을 더한 값이 된다. Force-off는 부방향 녹색시간이 종료되는 시점으로써, 앞에서 구해진 Yield Point를 기준점으로 하여 각 현시의 Yield Point값이 결정이 된다.

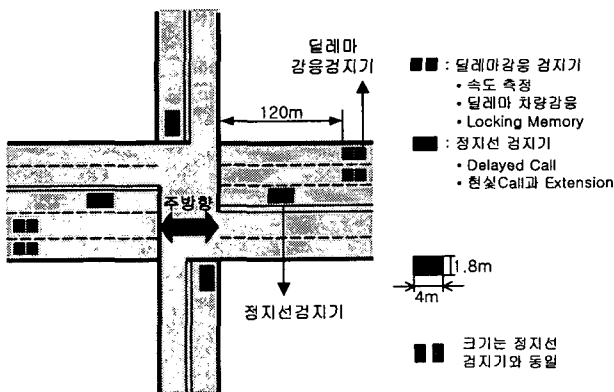
Off-Line에서의 옵셋 결정 알고리즘은 최대 bandwidth를 제공하기 위해서 차량 통행시간을 기반으로 하는 옵셋 Tuning 보정을 통해 결정되어진다. 이러한 초기 옵셋은 통행구간의 설계속도와 각각의 link의 길이에의해 구해진다. 그리고 가장 하류부 교차로에서 옵셋을 tuning을 시작한다.

<표 3>의 과정을 통해 해당 교차로의 옵셋값을 산정을 하고 이런 과정의 반복을 통해 Offset값을 결정한다.

<표 3> 각 전략의 결과

단계	설명
Step.1	초기옵셋값결정(링크와 속도에 의해 결정)
Step.2	선두차량의 지체된 통행시간 산정
Step.3	$Offset_{new} = Offset_{old} + \text{지체된 통행시간}$
Step.4	시뮬레이션후 다시 Step.1
Step.5	다음 하류부 교차로의 Offset Tuning

검지기 설계는 <그림 6>과 같이 검지기는 주방향에는 딜레마 감응을 위한 검지기를 정지선으로부터 120m위치에 Setback을 하여 차량의 속도값을 얻을 수 있도록 2-Pair로 설계를 한다. 본 논문의 알고리즘 전략은 반감응을 기반으로 되어 있기 때문에 주방향의 검지기가 필요하지 않다. 하지만 부방향의 경우는 감응을 할 수 있도록 좌회전 차선과 부방향에 검지기를 설치하였다.

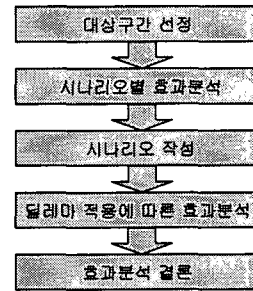


<그림 6> 알고리즘 설계도

V. 알고리즘의 평가

1. 평가수행방법

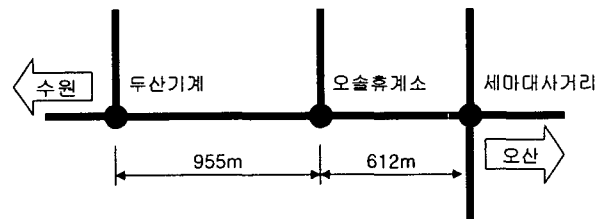
평가방법은 우선 대상구간을 선정을 하고, 대상구간의 교통량 및 속도등을 조사를 하고, <그림 7>과 같은 순서에 의해서 평가를 실시 하였다.



<그림 7> 알고리즘 설계도

효과 분석은 NETSIM과 VC++을 이용해서 자체 개발한 시뮬레이터를 통해서 분석을 실시 하였다. 효과분석의 지표는 소통측면에서 평균정지지체(초/대)를 사용하였다.

국도 1호선의 세마대 사거리~두산기계교차로를 대상으로 시뮬레이션 평가를 시행하였다. 대상구간의 기하구조는 <그림 8>과 같다.



<그림 8> 대상구간(국도 1호선의 3개 교차로)

시나리오는 다음과 같이 분류를 하였다.

- 시나리오 I - V/C별 지체도 산정
- 시나리오 II - 실제 현장 Data를 이용한 효과분석
- 시나리오 III - 딜레마 감응에 따른 효과분석

시나리오 I은 교통량의 변화에 따른 최적의 신호제어방식을 선택하기 위해 구성을 했으며, 교통량에 따른 최적의 신호 제어방식 및 교통량에 따른 본 알고리즘의 수행평가를 위해 작성되었다. 평가척도는 평균정지지체인 sec/veh을 사용하고, 평가는 NETSIM을 이용하여 평가를 하겠다.

시나리오 II는 실제 현장 DATA를 기반으로 효과분석을 실시를 했으며, 실제현장에서 효과를 측정할 하기위해서 구성을 하였다. 평가척도는 평균정지지체인 sec/veh를 사용하고 NETSIM을 이용하여 평가를 하겠다.

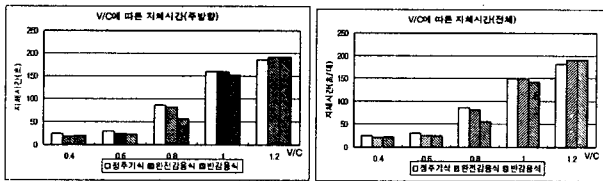
시나리오 III는 딜레마알고리즘의 수행평가를 위해서 딜레마 감응에 따른 효과분석을 실시를 했으며, 알고리즘 적용의 사전·후 조사를 통해서 딜레마 구간의 차량의 감소를 확인

해 보았다. 평가척도는 딜레마존내 존재하는 차량수를 사용하겠다. 평가는 VC++로 자체 개발된 프로그램을 이용하여 평가를 수행하겠다.

2. 효과분석 결과

1) 시나리오 I

V/C비를 아래 그림과 같이 적용을 했을시 비교분석 하였다. 비교 분석결과는 저포화시에는 완전감응식 제어가 가장 좋은 결과를 나타내었다. 근포화시에는 반감응식 연동제어가 좋은효과를 나타내지만, 차량의 증가로 인한 과포화시에는 정주기식으로 제어를 했을시에 가장 좋은 결과를 얻었다.

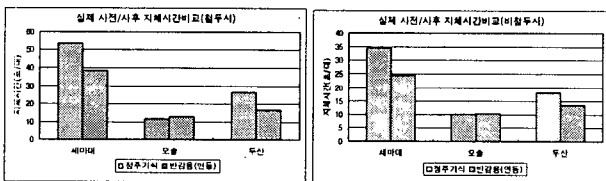


V/C비	정주기식	완전감응식	반감응식
0.4	23.3	17.9	19.6
0.6	29	23.5	22.7
0.8	85.9	81.9	56.9
1	160	159.9	152.8
1.2	186.7	191	191.9

<그림 9>시나리오 I 그래프와 표(V/C비에 따른 비교)

2) 시나리오 II

실제 현장 Data를 통해 분석한 결과는 아래의 표·그림과 같다. 본 현장의 V/C비는 첨두시 0.75 이고 비첨두시는 0.6 정도에 해당이 된다. 따라서 반감응식 연동제어 적용시 좋은 결과를 나타내었다. 지체시간은 아래의 첨두시에 세마대 교차로의 경우는 정주기식일때에는 53.7초/대의 지체를 나타냈지만, 반감응연동제어시에는 38.3초/대의 지체를 나타내고 있다. 주방향에 있어서는 약 42%의 지체시간이 감소된 것을 알 수 있다.



[첨두시]

[비첨두시]

제어방식	세마대	오솔	두산
정주기식	53.7	11.7	26.5
연동제어전략	38.3	12.9	16.6

[첨두시]

제어방식	세마대	오솔	두산
정주기식	34.4	10.1	18
연동제어전략	24.5	10.3	13.4

[비첨두시]

<그림 10>시나리오II 그래프와 표(실제현장 사전·후비교)

2) 시나리오 III

수행절차는 VC++로 자체 개발된 시뮬레이터를 이용하여 딜레마존 차량의 제거를 위한 알고리즘의 적용시와 비적용시의 각 교차로에서 딜레마 구간에 해당되는 차량의 수를 확인해 보았다. 결과로는 딜레마 구간내 차량이 전체적으로 약 41%가 감소를 했다.

오솔휴게소 같은 경우는 연동제어의 가장중앙에 있는 교차로이다. 따라서 다른 교차로보다는 높은 검지를 나타내었으며, 연동제어에 따른 딜레마존 제어는 필요성이 높아지는 것을 알수가 있다.

<표 4>시나리오III 결과(딜레마 감응에 따른 사전·후 비교)

교차로명	총검지대수(사전)	총검지대수(사후)
세마대	66	38
오솔휴게소	88	43
두산기계	50	39

VI. 결 론

본 논문에서 개발된 감응식 연동 알고리즘의 효과분석에 따르면 근포화시 가장 좋은 효과를 가지고 있다. 그리고 감응식 신호에서 연동제어를 함으로써, 운영상 높은 효율성을 얻을 수 있었다. 마지막으로 딜레마 감응을 통해서 딜레마구간의 차량을 제거함으로써 안전성을 높일 수 있었다.

참고문헌

- 허정아, 딜레마 구간 최소화를 위한 감응식 신호제어전략의 개발, 2002.2
- 이인규, 국도신호의 운영 효율성 향상을 위한 감응식 신호의 연동제어전략 개발, 2003.2
- Feng-Bor Lin and M.C. Percy, Vehicle-Detector Interactions and Analysis of Traffic-Actuated Signal Controls, TRR 971, 1984.
- Traffic Control Systems Handbook, publication No. FHWA-SA-95-031, 1996.
- Coordination of Actuated Controllers in Coordinated Systems(Research Report 1255-2F), Texas Transportation Institute
- Determination of Timing in Signal with Traffic Actuated Controllers by Alexander Skabardonis