

■ 論 文 ■

## 도시고속도로 진출램프 하류부교차로 운영 분석 (중동 IC 사례 분석을 중심으로)

Operation Analysis of Downstream Intersections at Urban Freeway Off-ramps

**전 재 현**

(서울시립대학교 교통공학과  
석사과정)

**김 영 찬**

(서울시립대학교 교통공학과 교수)

**정 영 제**

(서울시립대학교 교통공학과  
박사과정)

### 목 차

- |  |   |
|--|---|
| <p>I. 서론</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 연구의 배경 및 목적</li> <li>2. 연구의 내용</li> </ol> <p>II. 다이아몬드 IC와 SPUI의 운영 특징</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 다이아몬드 IC의 운영 특징</li> <li>2. SPUI의 운영 특징</li> <li>3. 다이아몬드 IC와 SPUI의 운영 비교</li> </ol> <p style="text-align: left;">선행연구</p> | <p>III. 도시고속도로 진출램프 하류부교차로 운영 개선 사례 분석</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 중동 IC 개선 사업 개요</li> <li>2. 중동 IC의 다이아몬드 IC와 SPUI 운영 적용</li> <li>3. 사례 분석 결과</li> <li>4. 교통량 시나리오 분석</li> </ol> <p>IV. 결론 및 향후 연구과제</p> <p>참고문헌</p> |
|--|---|

**Key Words :** 도시고속도로, 진출램프 하류부교차로, 다이아몬드 IC, SPUI, 4 phase with overlaps  
Urban freeway, Off-ramp downstream intersection, Diamond IC, SPUI, 4 phase with overlaps

### 요 약

서울시 도시고속도로 진출부에 극심한 정체가 다수 발생하고 있는데, 이러한 진출부 정체의 주원인으로 진출램프 하류부교차로의 처리용량 부족, 비효율적인 신호운영 등이 지적되고 있다. 이에 하류부교차로의 설계 및 운영 개선을 통한 진출램프 하류부교차로의 혼잡 완리가 필요하다. 본 연구에서는 도시고속도로 진출램프 하류부교차로의 개선 사례인 중동 IC를 중심으로 분석하였다. 고속도로와 간선도로가 교차 시 다이아몬드 IC가 주로 사용되고 양자택일로 SPUI가 사용되는데, 이 다이아몬드 IC와 SPUI의 운영을 중동 IC에 적용해 시뮬레이션 등으로 분석하여 그 효율성을 비교하였다.

분석 결과 다이아몬드 IC로 운영 시 4 phase with overlaps 적용 등의 신호운영 개선으로 진출부 혼잡 개선이 가능하고, frontage road가 없는 경우 SPUI가 다이아몬드 IC보다 더 효과적일 수 있으나 frontage road가 있으면 다이아몬드 IC가 SPUI보다 더 효율적인 것으로 나타났다. 본 연구 결과를 토대로 진출램프 하류부교차로의 효율적인 운영을 통해 하류부교차로 뿐만 아니라 도시고속도로 본선의 혼잡을 최소화할 수 있을 것으로 기대된다.

Severe congestion is happening at urban freeway off-ramps in Seoul. Major causes of congestion at off-ramps are a shortage of capacity and inefficient signal operations at the downstream intersection at off-ramps. It is necessary to control congestion by improving design or operations in the downstream intersection. In this study, the authors analyzed the case of the Jungdong interchange that was improved for design in the downstream intersection. When a freeway and an arterial road cross, diamond interchanges are usually selected with a single-point urban interchange (SPUI) as an alternative. To compare the effectiveness of a diamond interchange with a SPUI, the authors applied these two configurations to the Jungdong interchange using a simulation.

The result of the analysis shows that congestion at off-ramps in diamond interchanges can be reduced by improving signal operations such as the application of "4 phase with overlaps" and that diamond interchanges are more efficient than a SPUI with a frontage road. Efficient operation of the downstream intersection by these findings can minimize congestion of not only the downstream intersection but also the freeway mainline.

본 연구는 친환경, 지능형 도로설계 기술개발 연구단(건설핵심 D05-01)을 통하여 지원된 국토해양부 건설기술혁신사업에 의하여 수행되었습니다. 연구 지원에 감사드립니다.

## 1. 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

현재 서울시 도시고속도로 진출부에 극심한 정체가 다수 발생하고 있는데, 이 정체 지역들은 고속도로 본선에 까지 이르는 대기행렬 역류 현상이 발생하고 있어 도시고속도로 본선 정체의 주요인이 되고 있다. 이러한 진출부 정체의 주원인은 진출램프 하류부교차로의 처리용량 부족, 진출램프 하류부교차로의 비효율적인 신호운영, 진출램프와 하류부교차로의 짧은 이격거리로 지적되고 있다. 이에 하류부교차로의 설계 및 운영 측면의 개선을 통한 진출램프 하류부교차로의 혼잡 관리가 요구된다.

고속도로와 간선도로의 교차 시 네갈래 교차 인터체인지의 대표적 형식의 하나인 다이아몬드 IC가 주로 사용된다. 다이아몬드 IC는 보통 두 교차로 간의 간격이 매우 짧아 신호운영이 효율적으로 이루어지지 않을 시 스�필백(spillback)이 발생하여 고속도로 본선까지 영향을 끼칠 수 있다. 이에 고속도로와 간선도로 교차 처리 형태를 다이아몬드 IC 대신에 SPUI(Single Point Urban Interchange)를 선택하기도 한다.

본 연구의 목적은 진출램프 하류부교차로에 다이아몬드 IC와 SPUI 중 효율적인 것을 사용하게 함으로써 진출램프 하류부교차로의 운영 효율화를 도모하는 것이다. 이로써 하류부교차로의 혼잡 최소화뿐만 아니라 고속도로 본선의 영향을 최소화할 수 있을 것이다.

### 2. 연구의 내용

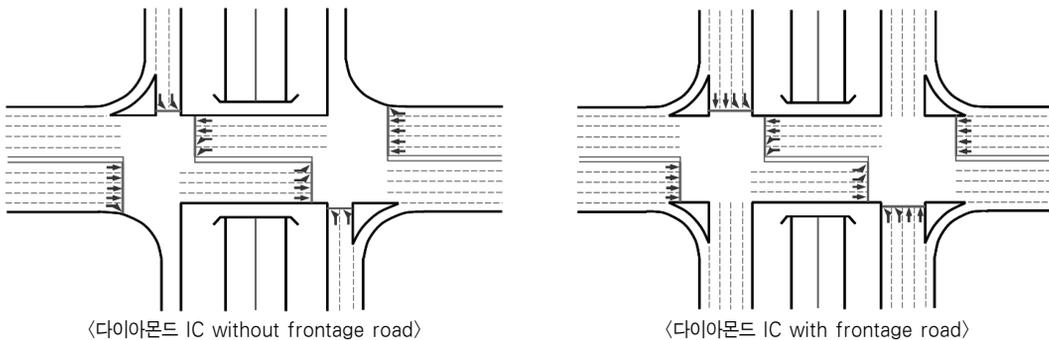
본 연구에서는 먼저 다이아몬드 IC와 SPUI의 전반

적인 운영 특징들을 살펴보았다. 다음으로 사례를 통해 진출램프 하류부교차로의 운영을 분석하였다. 중동 IC는 하류부교차로를 다이아몬드 IC에서 SPUI로 설계 개선을 한 예로, 중동 IC를 대상지로 선정하였다. 중동 IC에서 기존의 다이아몬드 IC에 이전 신호운영을 하는 경우, 다이아몬드 IC에서 신호운영을 개선한 경우, 현 SPUI에서의 신호운영과 현 SPUI의 차로수 증가분을 제외한 신호운영 경우를 시뮬레이션을 하여 다이아몬드 IC와 SPUI의 운영을 분석하였다. 또한 중동 IC에서 다이아몬드 IC와 SPUI 형태의 용량을 산정하여 비교하였고, 4개의 교통량 시나리오에 따른 그 효율성을 살펴보았다.

## II. 다이아몬드 IC와 SPUI의 운영 특징

### 1. 다이아몬드 IC의 운영 특징

다이아몬드 IC의 전형적인 형태는 <그림 1>과 같다. 다이아몬드 IC는 보통 두 신호교차로가 매우 근접해 있어서 내부 저장공간의 부족으로 스�필백(spillback) 현상이 발생하기 쉽고, 이 스�필백은 6개의 이동류(NBL, SBL, EBT, WBT, EBL, WBL)에서 발생할 수 있다. 따라서 비효율적인 신호 운영 시 교차로가 과포화 상태가 아님에도 불구하고 스�필백이 발생해 고속도로 본선까지 악영향을 끼칠 수 있다. 이에 두 교차로간에 차량이 효율적으로 이동하게 하고 내부공간의 대기행렬을 최소화하기위해 두 신호교차로를 연동 운영하는 등의 특별한 신호운영이 필요하다. 다이아몬드 IC에는 다양한 신호운영 방법들이 있는데, 크게 <그림 2>와 같이 Leading, Lagging, Lead-lag 신호운영이 있다.

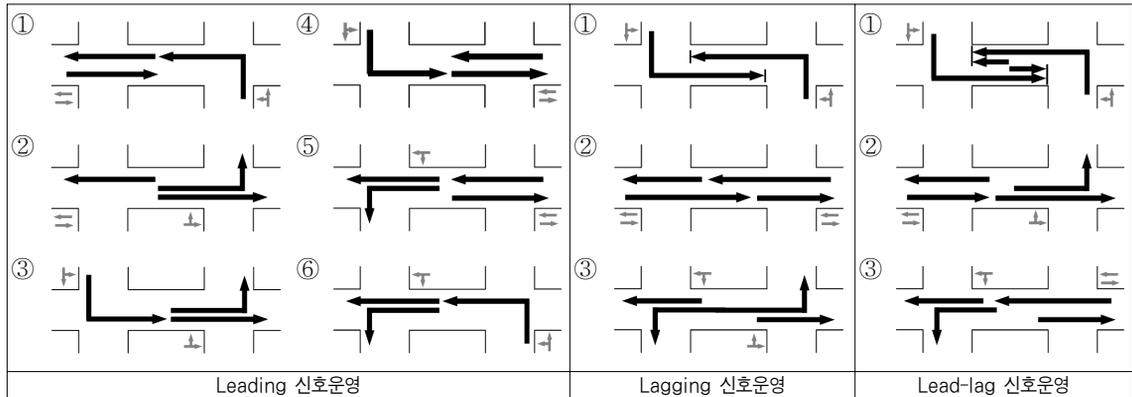


<그림 1> 다이아몬드 IC 형태

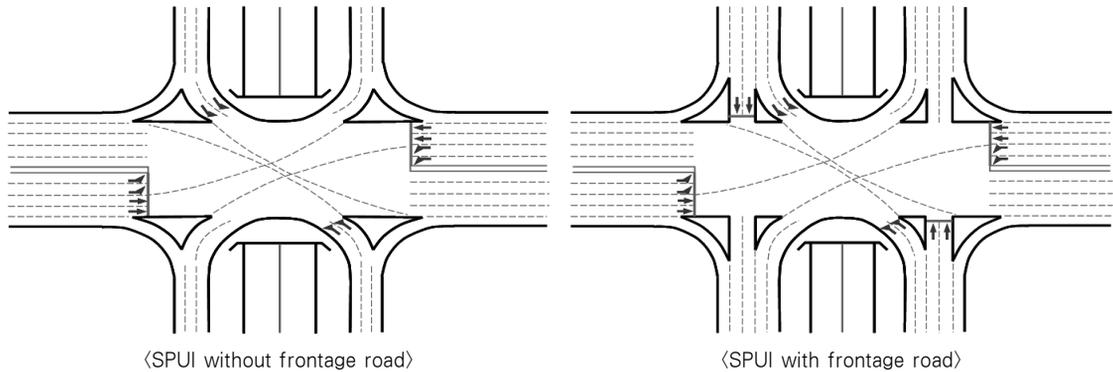
## 2. SPUI의 운영 특징

SPUI(Single Point Urban Interchange)는 다이아몬드 IC의 변형으로, 전형적인 형태는 <그림 3>과 같다. SPUI는 고속도로 상부나 하부의 하나의 교차로에서 모든 접근로들이 집결되는 형태로, 전형적인 다이아몬드 IC보다 상충수가 감소한다. SPUI는 <그림 4>와 같이 보통 중첩현시가 가능한 3현시로 운영되지만, frontage road가 있는 경우 중첩현시가 가능한 4현시로 운영된다.

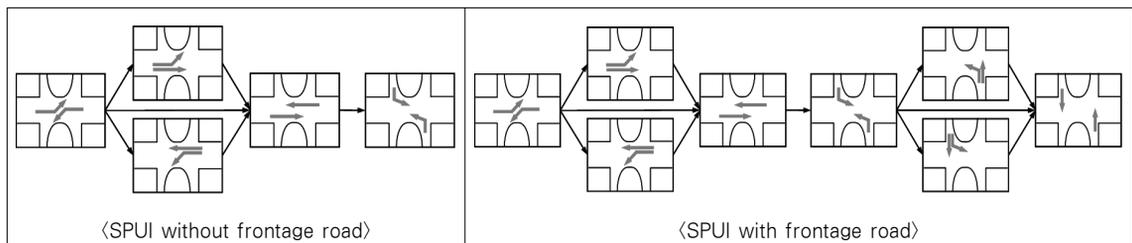
다이아몬드 IC로 운영 시 교통류 변수들(손실시간, 포화교통류율 등)은 평면교차로와 동일하게 적용되지만, SPUI는 다르게 적용되는 변수들이 있다. SPUI로 운영 시 출발손실시간은 비슷하지만 소거손실시간은 통행 궤적 길이에 영향을 받아서 전체 손실시간이 다이아몬드 IC보다 길게 적용이 된다. 포화교통류율은 다른 이동류들은 비슷하나 좌회전 이동류들은 다이아몬드 IC보다 큰 값이 적용된다. 이는 좌회전 궤적 반경이 증가함에 따라 차두시간이 감소하기 때문이다.



<그림 2> 다이아몬드 IC의 신호운영



<그림 3> SPUI 형태

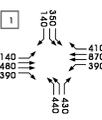
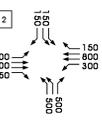
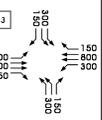
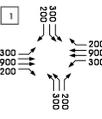
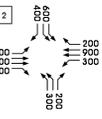
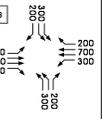


<그림 4> SPUI의 신호운영

### 3. 다이아몬드 IC와 SPUI의 운영 비교 선행연구

Sharp(2000)는 실제지역 한 곳과 램프 쪽 교통량이 균형인 경우와 불균형인 경우의 3개 교통량 시나리오를 설정하여 CORSIM을 통해 다이아몬드 IC와 SPUI의 운영을 비교하였다. 그 결과 평균지체 등이 SPUI가 다이아몬드 IC보다 더 낮게 나타나는 것으로 분석되었다.

Jones(2003)는 방향별 교통량이 균형인 경우, 램프 쪽 교통량이 불균형인 경우, 대향 직진 교통량이 불균형인 경우의 3가지 기본 시나리오와, 교통량 증가에 따른 총 15개의 교통량 시나리오에 따른 다이아몬드 IC와 SPUI의 운영을 CORSIM을 통해 비교하였다. 그 결과 교통운영 효과측도들(지체, 평균통행속도, 통과교통량, 정지수 비율, 현시 실패)이 SPUI가 다이아몬드 IC보다 더 좋게 분석되었다.

• Sharp 연구 결과 (Ref.10)				
교통량 시나리오				
	지체 (sec/veh)	TUDI 17.2 SPUI 14.8	TUDI 19.8 SPUI 18.1	TUDI 19.3 SPUI 16.2
• Jones 연구 결과 (Ref.6)				
교통량 시나리오				
	지체 (sec/veh)	TUDI 38.7 SPUI 36.2	TUDI 40.1 SPUI 36.9	TUDI 40.7 SPUI 33.2

(그림 5) 주요 선행연구 결과

Missouri DOT(2004)는 SPUI로 운영 시 frontage road가 있으면 다이아몬드 IC가 더 효율적이라고 하였다. 이는 frontage road가 있는 SPUI는 신호 현시가 늘어나게 되어 교차로 전체 지체가 증가하기 때문이다.

교통전문가들은 종종 다이아몬드 IC와 SPUI를 양자택일로 선택한다. 선행연구들에서 frontage road가 없는 경우에 대해서 비교분석을 하였는데 전체적으로 SPUI가 다이아몬드 IC보다 더 효율적이라고 분석하였다. 그러나 다이아몬드 IC와 SPUI에서 지체 등의 운영 특징들이 상당한 차이를 제시하지는 못하고 있어, 특정 지역에 다이아몬드 IC와 SPUI 중 적합한 형태를 결정하기가 어렵다. 따라서 각 지역별로 어느 형태가 더 효율적일지 각각의 분석을 통한 신중한 선택이 요구된다.

### III. 도시고속도로 진출램프 하부교차로 운영 개선 사례 분석

#### 1. 중동 IC 개선 사업 개요

이전의 중동 IC는 다이아몬드 IC 형태로, 고속도로 진출차량과 평면구간 차량간 엇갈림이 발생하고 직진보다 좌회전 교통량이 많았지만 기하구조 여건상 직진과 좌회전 신호를 분리할 수 없어 극심한 정체가 발생하고 있었다. 이것이 진출램프의 대기행렬이 서울외곽순환고속도로 본선에까지 이르는 대기행렬 역류 현상을 발생하게 하였다.

이에 경기도에서는 중동 IC의 개선 방안으로 (그림 6)과 같이 서울외곽순환고속도로 하부공간에 좌회전 차로를 설치하였다(2006.11.10 개통). 또한 이전의 두 교차로간의 짧은 내부공간을 없애고 2중 교차로를 1개로 통합 운영하는 SPUI로 기하구조를 변경하고 NB와 SB 접근로의 차로 수도 증가시켰다. 이로써 교통량 차이를 컸던 직진과 좌회전 신호의 분리 운영이 가능하게 되어 처리교통량이 증가하게 되었다.

중동 IC 개선 사업 후 하부교차로의 소통이 개선됨에 따라 <표 1>과 같이 서울외곽순환고속도로 본선 중동 IC 근처 구간(장수 IC ~ 계양 IC)의 교통 정체가 완화되었다.

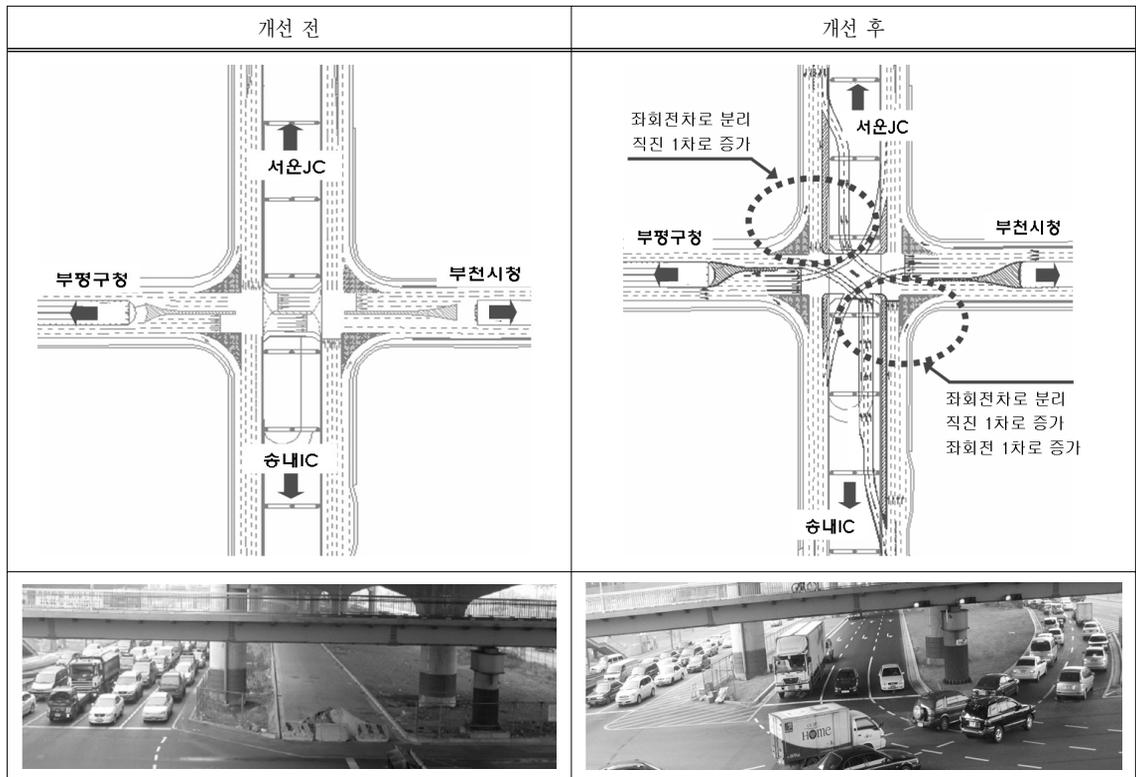
<표 1> 중동 IC 개선 전·후 비교

구분		개선 전	개선 후
고속도로 본선*	통행속도	29 kph	39 kph
	통행시간	8분 50초	6분 30초
하부교차로	통행시간	2분 54초	38초

(\* : 서울외곽순환고속도로 장수IC-계양IC 구간, 9km)

#### 2. 중동 IC의 다이아몬드 IC와 SPUI 운영 적용

중동 IC는 좌회전 차로를 서울외곽순환고속도로 하부공간에 설치, 다이아몬드 IC를 SPUI 형태로 변경함으로써 교차로의 소통이 개선되었고 고속도로 본선의 영향도 감소시켰다. 중동 IC 개선 사업은 설계 측면의 개선이었는데, 본 연구에서는 기존 다이아몬드 IC에 신호운영 개선을 적용하여 다이아몬드 IC와 SPUI 중 어떤 형태가 효율적인지 다이아몬드 IC와 SPUI의 운영을 분석하고자 한다. 이에 기존의 다이아몬드 IC에 이전의 신호운영과 신호운영을 개선한 방안, 현 SPUI에서의 신호운영과

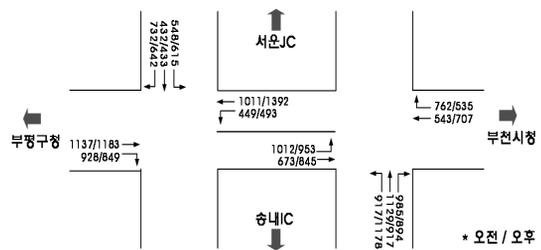


〈그림 6〉 중동 IC 개선 전·후

현 SPUI의 차로수 증가분을 제외한 신호운영을 VISSIM을 이용한 시뮬레이션을 통해 비교·분석하였다. 각 Case별 적용한 신호운영은 다음과 같으며, 여기서는 오후침두 교통량에 대한 신호운영 적용만 언급하겠다.

1) Case 1 : 다이아몬드 IC - 이전 신호운영

Case 1은 이전의 중동 IC 하부교차로의 신호운영으로, 3현시로 운영된다. 교통량은 〈그림 7〉과 같고, 각 Case에 동일한 교통량을 적용한다.



〈그림 7〉 중동 IC 하부교차로 교통량

〈표 2〉 Case 1의 신호운영

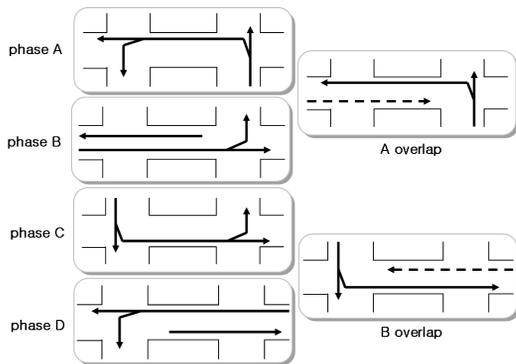
구분	Ø1	Ø2	Ø3	주기
서측				3현시
	44(3)	39(3)	88(3)	180초
	26%	23%	51%	100%
동측				3현시
	87(3)	47(3)	37(3)	180초
	50%	28%	22%	100%

2) Case 2 : 다이아몬드 IC - 4 phase with overlaps 운영

Case 2는 이전의 중동 IC 하부교차로에 4 phase with overlaps 신호운영 방법을 적용한 것으로 3현시로 운영된다. 중동 IC는 다이아몬드 IC로 두 신호교차로의 간격(60m)이 좁아 비효율적인 신호운영을 하면 내부링크의 저장공간에 스펠백이 발생할 수 있다. 이전의 신호운영은 내부 저장공간에 스펠백은 발생하지 않게 운영되었으나, 오히려 이 스펠백을 발생하지 않게 하려고 교통량이 많은 EB, NB 신호시간 비율이 적게 되는 등 신호시간이 비효율적으로 운영되고 있었다. 이에 다이아몬드 IC에서 내부

링크 길이가 짧아 내부 저장공간이 충분하지 않을 시 효율적으로 운영할 수 있는 4 phase with overlaps 방법을 적용하였다.

4 phase with overlaps 방법은 다이아몬드 IC 하부 교차로의 통과교통량을 최대화하여 용량을 증대시키고, 내부공간의 대기차량의 수가 내부 저장공간을 초과하지 않도록 하고, 두 교차로간을 효과적으로 연동화시켜 하나의 독립교차로처럼 운영되게 하는 방법이다. 전형적인 다이아몬드 IC 하부교차로에서 이 방법을 적용 시 <그림 8>과 같이 4 phase with 2 overlaps로 운영할 수 있다. 이것은 두 교차로를 하나로 고려할 때, 4현시로 운영되고 중간에 2번 중첩현시가 있어 내부 공간에 미리 직진 이동류가 진입하게 하는 것이다. 이 때 두 교차로간 통행시간을 고려한 옵셋 값을 적용하여 내부공간에 진입한 직진 이동류가 연속 진행하게 한다.

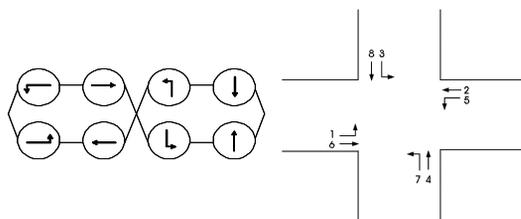


<그림 8> 4 phase with 2 overlaps

4 phase with 2 overlaps를 적용한 중동 IC 하부교차로의 신호시간 설계 과정은 다음과 같다.

(1) 현시 설계 및 공통 신호주기 산정

먼저 현시를 어떻게 운영할지 선택을 하는데, 여기서선 두 교차로에 대해 Dual-ring 신호체계로 설계하고 현시



<그림 9> Dual-ring 신호체계와 현시번호

번호는 NEMA방식으로 부여한다. 신호주기는 TRANSYT-7F를 사용하여 두 교차로의 최적 공통 신호주기를 산정하였으며 120초로 결정하였다.

(2) 중첩현시 시간 산정

중첩현시 시간( $\Phi$ )은 두 교차로간의 통행시간으로 두 교차로간 거리와 교차로 접근속도를 고려하여 산정한다. 교차로 접근속도가 40kph일 때 두 교차로간 거리 60m의 통행시간은 5.4초로 계산의 편의를 위해 5초로 결정하였다. 이 중첩현시 시간은 두 교차로간의 옵셋 값이 된다.

(3) 이동류별 신호시간 산정

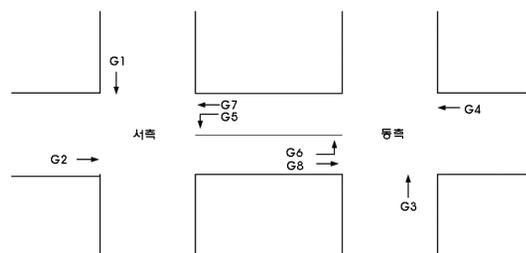
다이아몬드 IC 하부교차로는 외부 이동류 1,2,3,4와 내부 이동류 5,6,7,8로 구성되어 있다. 4 phase with overlaps로 신호 운영을 하면, 표면상으로는 각 교차로에서 주기 시간만큼만 신호 시간을 사용하는 것이지만 실제로는 주기( $C$ ) 외에 중첩현시 시간( $\Phi$ )만큼 더 사용하게 된다.

$$\text{서측 교차로} : G_1 + G_2 + G_5 = C \tag{1}$$

$$\text{동측 교차로} : G_3 + G_4 + G_6 = C \tag{2}$$

$$\text{외부 이동류} : G_1 + G_2 + G_3 + G_4 = C + \Phi \tag{3}$$

여기서,  $G_i$  :  $i$ 이동류의 신호 시간



<그림 10> 4 phase with overlaps의 이동류 번호

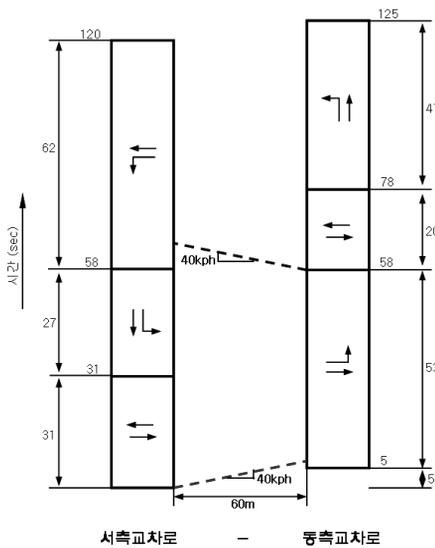
외부 이동류 1,2,3,4를 하나의 교차로 접근로로 가정하여 <표 3>과 같이 신호시간을 결정한다.  $G_1, G_2, G_3, G_4$ 의 신호 시간이 결정되면 내부 이동류의 녹색시간  $G_5, G_6$ 을 산정한다.

$$G_5 = C - (G_1 + G_2) = 62\text{초}$$

$$G_6 = C - (G_3 + G_4) = 53\text{초}$$

〈표 3〉 외부 이동류 신호시간 산정

구분	서측교차로					동측교차로				
	#2	#3	#5	#6	#8	#1	#2	#4	#6	#7
교통량	1392	615	493	2032	1075	953	1242	1811	845	1178
포화교통류율	3600	3200	3200	9000	5400	3200	9000	5400	3600	3200
y	0.387	0.192	0.154	0.226	0.199	0.298	0.138	0.335	0.235	0.368
	$G_1$		$G_2$			$G_3$		$G_4$		
$y_i$	0.199		0.226			0.368		0.138		
$\Sigma y_i$	0.931									
$C + \Phi - L$	120 + 5 - (4 \times 4) = 109									
$g_i$	23		27			43		16		
$G_i$	27		31			47		20		



〈그림 11〉 신호 계획

〈표 4〉 Case 2의 신호운영

구분	∅1	∅2	∅3	주기
서측	←→	↓↘	↘←	3현시
	28(3)	24(3)	59(3)	120초
	26%	22%	52%	100%
동측	↗→	←→	↗↑	3현시
	50(3)	17(3)	44(3)	120초
	44%	17%	39%	100%

주) 옙섯 5초 적용

3) Case 3 : SPUI with frontage road - 현재 신호운영

Case 3은 기하구조를 변경한 현재의 중동 IC 하부교차로로 frontage road가 있는 SPUI이다. frontage road가 있어 4현시로 운영되고 중첩현시가 있다.

〈표 5〉 Case 3의 신호운영

∅1	중첩	∅2	∅3	∅4	주기
←↘	↗↑	↓↘	↘←	←→	4현시
39(3)	18(3)	18(3)	66(3)	12(3)(2)	170초
25%	12%	12%	41%	9%	100%

4) Case 4 : SPUI with frontage road - 차로수 증가분 제외

중동 IC의 현재 SPUI는 이전보다 NB접근로의 직진과 좌회전, SB접근로의 직진차로를 1차로씩 증가시켜 기하구조를 개선한 것이므로, 다이아몬드 IC와의 정확한 효율성 비교를 위해서 차로수 증가분을 제외시키고 그에 따른 TRANSIT-7F를 통한 신호최적화를 하였다.

〈표 6〉 Case 4의 신호운영

∅1	중첩	∅2	∅3	∅4	주기
←↘	↗↑	↓↘	↘←	←→	4현시
39(3)	23(3)	24(3)	56(3)	11(3)(2)	170초
25%	15%	16%	35%	9%	100%

5) 다이아몬드 IC와 SPUI 용량 비교

중동 IC의 이전 다이아몬드 IC와 현재의 SPUI의 용량을 ICU(Intersection Capacity Utilization) 기법을 사용하여 비교하였다. ICU는 분석 시 신호운영 자료의 입력이 필요하지 않아 신호운영 자료의 부재시에도 교차로 용량 상태를 효율적으로 분석할 수 있어 설계 및 계획 분석에 적합한 기법이다. 또한 ICU는 다이아몬드 IC와 SPUI 분석을 별도로 다루고 있다. 이에 다이아몬드 IC와 SPUI 운영 시 모두 신호운영이 효율적이라고 봤을 때 어떤 형태가 더 효율적일지 ICU 기법을 통한 용량 산정으로 비교 분석이 가능하다.

ICU의 주 결과물은 분석교차로의 v/c로, 교차로의 여유용량 및 용량초과 정도를 파악할 수 있다. ICU의 v/c는 포화상태에서 모든 이동류의 수요를 충족하는데 요구되는 시간의 합을 기준주기로 나눠 산출하는데, 이는 HCM에서처럼 임계 v/s를 합산하는 것은 동일하나 ICU에서는 최소신호시간을 고려하는 것이 특징이다.

$$ICU = \max [tMn, (v/s_i \times CL + tL_i)] / CL \quad (4)$$

여기서, ICU : 임계 v/c 비

CL : 기준주기(Reference Cycle Length)

- $tL_i$  : 임계이동류 i의 손실시간
- $v/s_i$  : 임계이동류 i의 교통량 대 포화교통량을 비
- $tMin$  : 임계이동류 i의 최소 녹색 시간

### 3. 사례 분석 결과

분석 결과, <표 7>과 같이 교차로 전체의 지체는 이전의 다이아몬드 IC로 신호운영을 하였을 때(Case 1)는 142.8(sec/veh)이고 현재의 SPUI로 운영하는 경우(Case 3)는 33.1로 나타나, 기하구조를 변경하여 교차로의 효율이 많이 개선된 것을 보여준다. 이전의 중동 다이아몬드 IC에 4 phase with overlaps를 적용하여 신호운영을 개선한 경우(Case 2)의 지체는 31.0으로 이전의 신호운영(Case 1)과 비교 시 교차로의 운영이 크게 향상되는 것을 볼 수 있으며, 현 SPUI 운영(Case 3)과 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 그러나 Case 3은 차로수를 증가시킨 경우로 이 차로수 증가분을 제외한 Case 4의 지체와 비교해보면 다이아몬드 IC가 SPUI보다 더 효율적이라는 것을 볼 수 있다.

<표 7> Case별 교차로 전체 지체 비교 (단위 : sec/veh)

구분	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
오후	142.8	31.0	33.1	39.8
오전	136.8	26.1	30.3	35.8

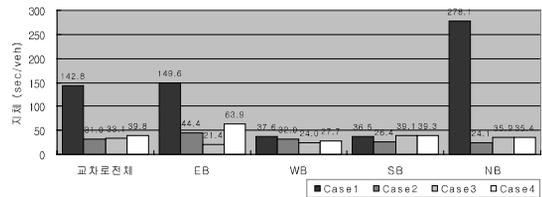
Case별로 살펴보면, Case 1의 경우 내부공간의 스푼백을 없애기 위해 신호시간을 비효율적으로 운영한 것을 볼 수 있다. 내부 공간의 스푼백 발생만 고려하여 서측교차로의 WBT·WBL현시(Ø3)와 동측교차로의 EBT·EBL현시(Ø1)가 길게 운영되었고, 이로 상대적으로 교통량이 많은 EB와 NB의 신호(서측교차로의 Ø2, 동측교차로의 Ø2) 시간이 적게 되어 대기행렬과 지체가 크게 발생하였다.

Case 2의 경우 4 phase with overlaps를 적용하여 두 교차로간의 통행시간(옴셋)을 고려하였고 독립교차로 처럼 모든 이동류가 연속 진행할 수 있도록 연동 운영하였다. 또한 신호시간 계획 시 각 현시시간을 교통량에 따라 최적 배분 하였다. 이에 Case 1보다 대기행렬과 지체가 크게 감소한 것으로 나타났다.

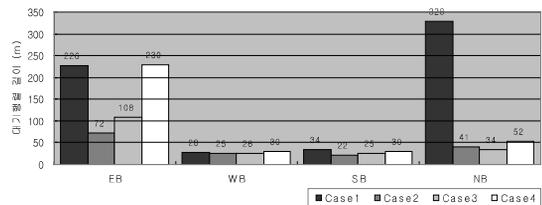
Case 3의 경우 SPUI로 기하구조를 변경하여 교통량 차이가 큰 직진과 좌회전 신호를 분리할 수 있고, 교통량

이 많아 지체가 가장 컸던 NB 이동류를 중첩현시로 운영하고 차로수도 증가하여 지체가 크게 줄었다. Case 4는 증가한 차로수를 제외시켜 운영함으로써 Case 3보다 지체가 그만큼 크게 나타났다.

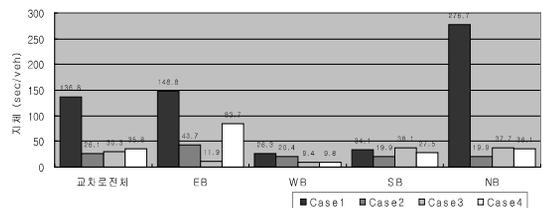
오전첨두 교통량에 대해서도 동일한 방법으로 분석하였고, 교통량이 오후첨두 교통량보다 적어서 지체도 그만큼 작게 나타났지만 전체적으로 동일한 결과가 나왔다.(지체 : Case 1 > Case 4 > Case 3 > Case 2)



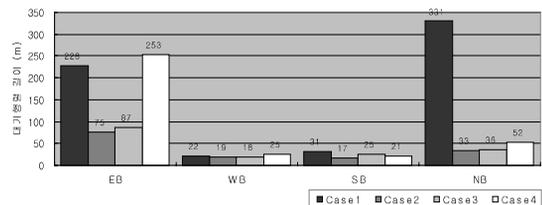
<그림 12> 방향별 지체 - 오후



<그림 13> 방향별 대기행렬 길이 - 오후



<그림 14> 방향별 지체 - 오전



<그림 15> 방향별 대기행렬 길이 - 오전

ICU 기법으로 frontage road가 있는 중동 IC의 다이아몬드 IC와 SPUI의 용량을 분석한 결과, <표 8>과 같이 다이아몬드 IC가 SPUI보다 용량 상태가 더 좋은 것으로

나타났다. 이는 앞서 VISSIM으로 분석한 지체도 결과와 동일한 것으로, frontage road가 있으면 다이아몬드 IC와는 달리 하나의 교차로로 운영되는 SPUI에서는 현시수가 3현시에서 4현시로 불가피하게 증가하기 때문에 다이아몬드 IC가 SPUI보다 더 효율적인 것이다. 이에 중동 IC에 frontage road가 없는 경우를 가정하여 용량을 산정한 결과 SPUI의 용량이 크게 향상되는 것으로 나타났으며, SPUI가 다이아몬드 IC보다 더 효율적이거나 비슷한 것을 볼 수 있다. 앞의 선행연구들에서 보듯이 frontage road가 없는 상황에서 보통 SPUI가 다이아몬드 IC보다 더 효율적이지만, 중동 IC의 경우 frontage road가 있는 SPUI로 다이아몬드 IC보다 효율적이지 못한 것이다.

〈표 8〉 중동 IC의 다이아몬드 IC와 SPUI 용량(v/c 비) 비교

구분	with frontage road		without frontage road	
	다이아몬드 IC	SPUI	다이아몬드 IC	SPUI
오후	79.0	87.7	79.0	74.4
오전	72.1	88.9	67.3	67.3

주) SPUI는 동일한 분석 조건을 위해 차로수 증가분 제외

이전의 중동 IC 신호운영(Case 1)으로 시뮬레이션한 분석 결과를 보면 지체가 크게 나타났지만, ICU 기법으로 산정된 용량은 여유 용량이 남아있는 것을 볼 수 있다. 이는 이전의 중동 IC 신호운영이 비효율적으로 운영되어서 교차로가 과포화 상태가 아님에도 정체가 발생했던 것이다.

#### 4. 교통량 시나리오 분석

##### 1) 교통량 시나리오

선행연구들에서는 frontage road가 없는 다이아몬드 IC와 SPUI에 대해 교통량 시나리오에 따른 효율성 분석을 하여 대부분 SPUI가 더 효율적이라는 결과를 얻었다. 여기서는 frontage road가 있는 다이아몬드 IC와 SPUI에 대해 간략한 4개의 교통량 시나리오에 따른 분석을 하여 앞서 나온 결과와 비교해 보겠다.

교통량 시나리오는 〈표 9〉와 같이 대향방향 교통량의 균형이 맞는 시나리오 1, 램프가 있는 두 방향(NB, SB)간의 교통량의 균형이 맞지 않는 경우인 시나리오 2와 교통량 수준이 높은 시나리오 3, 4로 구성하였다.

앞에서 중동 IC 사례를 분석한 것과 같이 TRANSIT-7F를 사용하여 다이아몬드 IC와 SPUI 형태에서의 각

교통량에 따른 신호를 최적화하고 다이아몬드 IC에는 4 phase with overlaps 방법을 적용하여, 이들을 VISSIM으로 시뮬레이션 분석을 하였다.

〈표 9〉 교통량 시나리오

구분	교통량과 차로구성
시나리오 1	
시나리오 2	
시나리오 3	(시나리오 1 교통량) × 1.25
시나리오 4	(시나리오 2 교통량) × 1.25

##### 2) 시나리오 분석 결과

분석 결과, 모든 교통량 시나리오에 대해서 SPUI가 다이아몬드 IC 보다 지체와 대기행렬이 더 크게 나타났다. 이는 앞의 중동 IC 분석결과와 동일한 것으로 frontage road가 있는 경우 다이아몬드 IC가 SPUI보다 더 효율적임을 확인할 수 있다.

〈표 10〉 시나리오별 지체, 대기행렬

구분	지체 (sec/veh)		대기행렬 길이 (m)	
	다이아몬드 IC	SPUI	다이아몬드 IC	SPUI
시나리오 1	27.5	34.9	87	178
시나리오 2	28.8	30.9	101	175
시나리오 3	32.7	69.8	137	536
시나리오 4	43.1	69.1	218	560

#### IV. 결론 및 향후 연구과제

도시고속도로 진출램프 하류부교차로에서 다이아몬드 IC와 SPUI 형태의 운영 효율을 분석하기 위해 중동 IC 사례에서 이전 다이아몬드 IC 운영과 다이아몬드 IC에 신호운영을 개선한 경우와 현 SPUI 운영을 비교하였다. 사례 분석 결과, 다이아몬드 IC로 운영 시 신호운영만 개선했어도 진출부 혼잡 개선이 가능하고, 다이아몬드 IC에 4 phase

with overlaps 신호운영을 적용 시 효과적으로 나타났다. 또한 중동 IC의 시뮬레이션 분석과 ICU를 통한 용량 비교 분석, 교통량 시나리오 시뮬레이션 분석들을 통해, frontage road가 없을 경우에는 SPUI가 다이아몬드 IC보다 좀 더 효율적일 수 있으나 frontage road가 있으면 다이아몬드 IC가 더 효율적임을 확인했다. 이는 frontage road가 있으면 다이아몬드 IC와 달리 하나의 교차로로 운영되는 SPUI에서는 불가피하게 현시수가 증가하기 때문이다.

진출램프 하류부교차로가 혼잡 시 고속도로 본선에 영향을 끼칠 수 있으므로 설계 및 운영 측면의 개선을 통한 진출램프 하류부교차로의 혼잡관리가 필요하다. 여기서도 도시고속도로 진출램프 하류부교차로가 비효율적으로 운영되면 고속도로 본선까지 악영향을 끼친다는 것과 이때 신호운영의 개선만으로도 큰 효과를 볼 수 있다는 것을 확인할 수 있었다. 본 연구 결과를 토대로 진출램프 하류부교차로에 frontage road가 있을 경우 SPUI보다 더 효율적인 다이아몬드 IC를 선택하고 4 phase with overlaps 같은 연동이 잘 되는 방법을 적용하여 신호운영을 효율적으로 함으로써, 하류부교차로의 혼잡뿐만 아니라 도시고속도로 본선으로의 영향을 최소화할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 중동 IC의 사례를 토대로 frontage road가 있는 다이아몬드 IC와 SPUI의 운영 효율을 분석하였으나, 향후 frontage road가 없는 경우에 대해 국외 연구에서보다 더 다양한 교통량 변화에 따른 효율성 분석 연구가 필요하다. 그리고 이에 맞는 실제 지역의 분석을 통한 검증 연구가 뒤따라야 할 것이다.

## 참고문헌

1. 경기도(2006), "중동 IC 하부교차로 개통보고".

2. 김영찬(1994), "과포화 다이아몬드형 인터체인지의 교통신호제어모형의 개발", 대한교통학회지, 제 12권 제2호, 대한교통학회, pp.5~30.
3. David, H. and John, A.(2003), "Intersection Capacity Utilization(2003 ed)", Trafficware.
4. Fowler, B. C.(1993), "An Operational Comparison of the Single-Point Urban and Tight-Diamond Interchanges", ITE journal, Vol. 63, No. 4, pp.19~24.
5. Garbar, N. J. and Smith, M. J. (1996), "Comparison of the Operational and Safety Characteristics of the Single Point Urban and Diamond Interchanges", Virginia Transportation Research Council, Charlottesville.
6. Jones, E. G. and Selinger, M. J.(2003), "Comparison of Operation of Single-Point Urban and Tight Urban Diamond Interchanges", Transportation Research Record, no. 1847, pp.29~35.
7. Leisch, J. P., Urbanik, T. and Oxley, J. P.(1989), "A Comparison of Two Diamond Interchange Forms in Urban Areas", ITE journal, Vol. 59, No. 5, pp.21~27.
8. Missouri Department of Transportation Research (2004), "Design of Single Point Urban Interchanges".
9. Roser, P. R., Elena, S. P. and William, R. M.(2004), "Traffic Engineering(third ed.)", Prentice Hall.
10. Sharp, W. H. and Selinger, M. J.(2000), "Comparison of SPUI and TUDI Interchange Alternatives with Computer Simulation Modeling", ITE Annual Meeting Compendium of Technical Papers.

✉ 주 작성자 : 전재현

✉ 교신저자 : 김영찬

✉ 논문투고일 : 2007. 5. 19

✉ 논문심사일 : 2007. 9. 5 (1차)

2008. 5. 14 (2차)

2008. 6. 17 (3차)

✉ 심사관정일 : 2008. 6. 17

✉ 반론접수기한 : 2008. 12. 31

✉ 3인 익명 심사필

✉ 1인 abstract 교정필