

# 청주시 직진우선신호체계 도입에 따른 온실가스 저감 효과분석\*

## Analysis on the Reduction Effect of Greenhouse Gases by the Introduction of Through Traffic Priority Signal System

홍영성\* · 김준용\*\* · 박병호\*\*\*

Hong, Young Sung · Kim, Jun Yong · Park, Byung Ho

### 1. 서 론

#### 1.1 연구의 배경 및 목적

한국교통연구원에 따르면 우리나라에서 지·정체 등으로 야기되는 교통혼잡 비용이 25조8천억원(2007년 기준)으로 국내총생산(GDP)의 약 3퍼센트를 차지하고 있다. 또한 교통 부문은 우리나라 온실가스 배출량의 20퍼센트를 차지하는 등 대표적인 온실가스 주범의 하나로 손꼽힌다. 특히 자동차가 배출하는 온실가스는 교통 부문의 78.8퍼센트를 차지하고 있으며 연평균 약 5퍼센트씩 증가하고 있다.

2009년 4월 국가경쟁력강화위원회와 경찰청에서는 국가경쟁력 강화를 위한 교통신호 개선과 우측보행 확립을 목표로 하는 19가지 과제가 담긴 '교통운영체계 선진화 방안'을 내놓았다. 교통운영체계 선진화 방안을 3단계로 나눠 순차적으로 추진하고 있는데, 올해 1월부터 시행된 3단계 과제는 직진 우선의 신호원칙 확립, 비보호 좌회전 단계적 확대, 적색 신호 시 우회전 허용 선별 제한, 신호운영 탄력화 및 교통안전시설 정비 확충, 지정차로제 개선 및 준수 강화, 보행자 및 자전거 안전 강화 등을 목표로 하고 있다.

본 연구에서는 전국 교차로에서 10여년 동안 운전자에게 적용된 '좌회전 후 직진'이 '직진 후 좌회전'으로 단계적으로 바뀌고 있는 상황에서 청주시의 주간선도로 중심축인 사직로를 대상으로 직진우선 신호체계로의 시행전과 시행후를 TSIS 5.0을 통해 총 네트워크를 구축, HC · CO · NO 가스 배출량을 분석하여 직진신호 체계 변화에 따른 온실가스 저감에 효과가 있는지를 분석하고자 한다.

#### 1.2 연구의 내용 및 방법

##### 1.2.1 연구의 내용

교통 흐름상 직진 차량이 좌회전 차량보다 많은 것이 상식이다. 하지만 현재 우리나라 교차로 신호등은 '직진·좌회전 동시' 신호가 40.4퍼센트를 차지하고, '좌회전 후 직진' 신호가 29.1퍼센트를 차지하고 있다. 이에 비해 '직진 후 좌회전' 신호는 9.7퍼센트에 그친다. 이렇듯 '좌회전 또는 직진·좌회전 동시' 신호를 '직진' 신호보다 먼저 주는 교차로가 많아 교통량의 대부분을 차지하는 직진 차량의 교통 체증을 초래하게 된다. 이 때문에 자동차에서 배출되는 온실 가스의 양이 증가하고 있는 현실이다. 자동차에서 배출되는 온실 가스는 여러 가지가 있지만 우리가 흔히 알고 있는 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 메탄(CH<sub>4</sub>), 아산화질소(N<sub>2</sub>O)가 가장 대표적인 물질이다. 전 세계적으로 지구온난화의 문제가 크게 부각되고 있는 상황에서 이산화탄소의 배출비율은 국가배출량 측면에서는 약 90% 이상이고 그 중의 수송부문에서는 약 98% 이상으로 배출량에 있어서 메탄과 아산

\* 본 연구는 국토해양부가 주관하고 한국건설교통기술평가원이 시행하는 2009년 첨단도시개발사업(과제번호 : 07도시재생/B01)에 의해 수행되었음.

\* 충북대학교 도시공학과 석사과정(E-mail : blademiro@nate.com) - 발표자

\*\* 충북대학교 도시공학과 석사과정(E-mail : redblack21@nate.com)

\*\*\* 정희원 · 충북대학교 도시공학과 교수(E-mail : bhpark@chungbuk.ac.kr)

화질소에 비해 큰 비중을 차지하고 있다. 이에 따라 세계적으로 온실가스 저감을 위해 많은 자본과 노력을 쏟고 있다. 본 연구는 2010년 1월부터 시행되고 있는 직진우선 신호체계가 온실가스 배출량에 미치는 영향에 대해 분석하고자 TSIS 5.0을 이용하여 청주시 사직로를 대상지로 설정하여 네트워크를 구축, 154개의 링크에서 배출되는 HC · CO · NO 가스의 변화량을 비교·분석한다.

### 1.2.2 연구의 방법

본 연구는 신호현시에 따른 대기오염물질 배출량의 변화에 관한 선행연구를 고찰하고, TSIS 5.0을 이용하여 청주시 사직로를 대상으로하는 네트워크를 구축, 154개의 링크에서 발생하는 온실가스의 시뮬레이션 값을 직진우선 신호체계가 도입되기 이전의 결과 값과, 도입되었을 때의 결과 값을 도출한 후, 시나리오를 설정 및 시나리오에 대한 가설검증을 실시하여 온실가스 배출량에 미치는 영향에 대해 평가하여 결론을 제시한다.

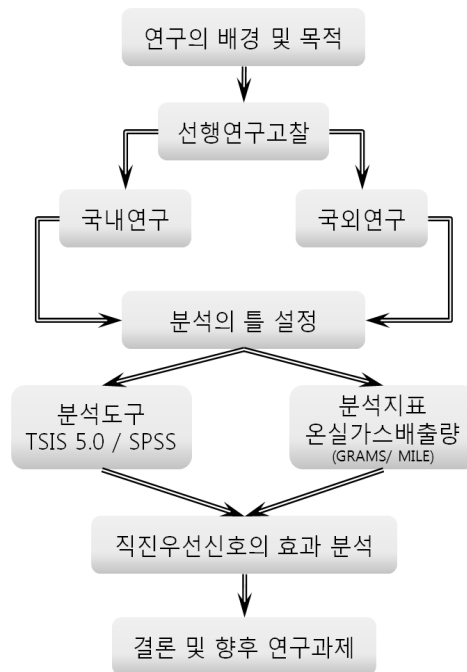


그림 1. 연구의 흐름도

## 2. 선행연구 고찰

### 2.1 국내연구

국내에서 연구된 차량배출량감소 및 교통운영관련 연구는 주로 Transyt-7F를 이용하여 연구가 진행되어 왔는데, 주요내용은 아래의 표.1에서와 같이 연구진행되어 왔다.



표 1. 국내선행연구 주요내용

저자(연도)	주요내용
홍민선 등 (1993)	- Transyt-7F모델을 이용하여 교통신호체계에 따른 차량배출량 변화 요인 파악
홍창의 등 (1995)	- TRAF-NETSIM, Transyt-7F를 이용한 배출량을 산정 - 교통체계 및 교통류의 개선은 소동뿐만 아니라 대기오염물질 감소에도 큰영향
박광열 (1995)	- Transyt-7F를 통해 실제 교통량과 신호시간을 이용하여 교차로의 신호운영 형태의 최적화를 산출
이영인 등 (2002)	- 대기오염물질의 실시간 모니터링 시스템 개발로 교통전략 효과의 평가와 교통과 대기의 통합관리가 가능
박준환 등 (2005)	- 신호제어 전략에 따른 배기가스 배출량 추정 - 대기오염을 최소화 시키는 전략 수립

2.2 국외연구

국외에서 연구된 차량배출량감소 및 교통운영관련 연구의 주요내용은 아래의 표.2에서와 같이 연구진행 되어 왔다.

표 2. 국외선행연구 주요내용

저자(연도)	주요내용
Sergio Ostria et al (1998)	- 지능형교통체계 및 교통신호시스템에서의 차량배출량을 평가, 저감시킬 수 있는 framework을 개발
Hesham Rakha (2000)	- 교통신호시스템이 에너지소비와 차량배출가스에 미치는 영향을 분석
Koichi Tsubaki (2000)	- 교통신호를 적절한 상황에 통제해줌으로써 차량의 배출가스를 저감시킬 수 있음
Alper Unal et al (2003)	- 신호시스템과 혼잡관리가 차량배출량에 미치는 영향을 분석 - 정지수를 줄이는 것이 차량배출량을 최소화 시키는 방안
Xiugang Li et al (2004)	- 배기가스 배출량과 연료소모량을 교차로 지체와 함께 고려하여 신호현시를 최적화하는 PI를 제시

3. 분석의 틀 설정

3.1 CO<sub>2</sub> 배출추이

3.1.1 우리나라의 수송수단별 CO<sub>2</sub> 배출추이

표에서 보이는 바와 같이 우리나라 전체의 수송수단 중 75.8%를 도로교통에서 배출, 이산화탄소 배출량이 국가적으로 도로부문에서의 이산화탄소 저감할 수 있는 정책의 확산이 시급하다는 것을 볼 수 있다.

표 3. 수송수단별 CO<sub>2</sub> 배출추이

(단위 : 백만 CO<sub>2</sub> 톤)

구분	수송	철도	도로	해운	항공	기타
1990	42.4(100.0)	0.9(2.1)	33.3(78.9)	5.3(12.6)	2.7(6.4)	0.0(0.0)
1995	77.2(100.0)	1.0(1.3)	62.9(81.5)	11.5(14.9)	1.3(1.7)	0.5(0.6)
2000	87.1(100.0)	1.0(1.1)	69.2(79.4)	15.0(17.2)	1.4(1.6)	0.5(0.6)
2002	94.9(100.0)	1.0(1.1)	77.8(82.0)	14.1(14.9)	1.4(1.5)	0.6(0.6)
2004	97.1(100.0)	0.9(0.9)	80.9(83.3)	13.0(13.4)	1.2(1.2)	1.1(1.1)
2007*	101.0(100.0)	0.7(0.7)	78.5(77.7)	12.9(12.7)	9.0(8.9)	0.0(0.0)
연평균증가율(%)	5.3	-1.5	5.2	5.4	7.3	9.2

주 : 1. ( )는 수송부문 전체에 대한 비중임

2. 기타부문 연평균증가율은 '95 ~ '04 기준임 , 자료 : \* 국토해양부 보도자료, 2009. 4. 3

**3.1.2 수송수단별 · 시도별 교통부문 CO<sub>2</sub> 배출량(2007년)**

충북의 경우 표에서 보이는 바와 같이 도로교통에서 배출되는 이산화탄소 배출량이 98.7%나 차지하고 있어 도로부문에서의 이산화탄소를 저감할 수 있는 정책이 시급하다는 것을 볼 수 있다.

**표 4. 수송수단별 · 시도별 교통부문 CO<sub>2</sub> 배출량(2007년)**(단위 : CO<sub>2</sub> 톤)

구분	철도	도로	해운	항공	계
계	669,761	78,475,668	12,861,595	8,970,959	100,977,983
1.서울	181,226	9,637,507	285,625	2,390,638	12,494,995
2.부산	57,923	4,746,206	3,542,539	90,111	8,436,778
3.대구	27,503	3,163,742	0	7,806	3,199,051
4.인천	0	4,285,022	2,084,291	6,236,785	12,606,099
5.광주	9,168	1,994,343	833	390	2,004,734
6.대전	124,746	2,037,356	0	0	2,162,102
7.울산	2,084	2,035,540	4,125,565	781	6,163,969
8.경기도	51,672	19,338,040	580,888	7,117	19,977,717
9.강원도	7,084	3,296,587	90,176	1,607	3,395,454
10.충북	15,418	3,616,275	0	30,835	3,662,528

주 : ( )는 각 총계 내에서 해당 지역이 차지하는 비율임, 자료 : \* 국토해양부 2009 도로업무연람

**3.2 분석대상지 선정**

청주시의 주간선도로중 중심축인 사직로의 12개 교차로와 제 1순환로의 사직주공1단지 4거리 · 개신오거리 등 총 14개의 교차로를 대상으로 설정하고, 교차로의 기하구조 및 신호현시 · 방향별 교통량을 조사한다.

**표 5. 분석대상지 현황**

교차로명	교차로형태	신호주기	교차로명	교차로형태	신호주기
터미널사거리	4	160	운동장삼거리	4	150
오복치과사거리	4	150	국보로사거리	4	150
북대사거리	4	150	사직사거리	4	140
산업단지육거리	6	140	청주대교사거리	4	140
충대사거리	4	150	상당사거리	4	140
사창사거리	4	150	사직주공1단지 4거리	4	140
시계탑사거리	4	150	개신오거리	5	140

**3.3 분석도구 및 분석지표 선정****3.3.1 네트워크 구축**

사직로의 12개의 교차로와 제 1순환로의 사직주공1단지 4거리 · 개신오거리를 TSIS 5.0 이용하여 교차로의 기하구조 및 신호현시 · 방향별 교통량을 입력하여 기존네트워크를 구축하고, 신호현시를 변화시킨 또 하나의 네트워크를 구축한다.

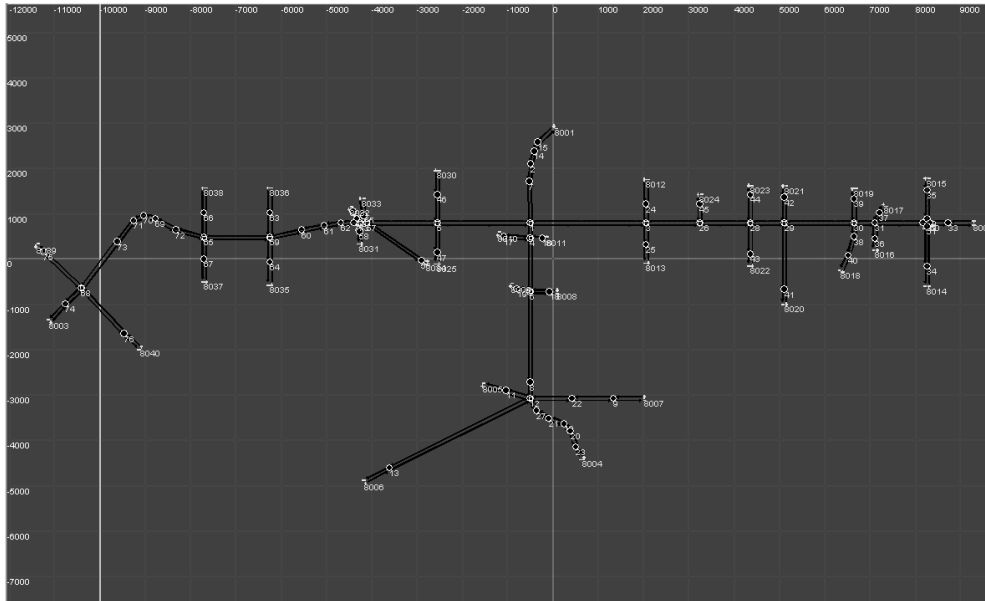


그림 2. TSI5 5.0을 이용한 청주시 사직로 네트워크 구축

#### 4. 직진우선 신호의 효과 분석

##### 4.1 평균속도 및 지체시간

TSI5 5.0을 이용하여 구축한 청주시 네트워크를 CORSIM(CORridor SIMulation) 분석을 통해서 기존의 신호체계에서의 평균속도 및 지체시간과 직진우선신호체계에서의 평균속도 및 지체시간을 output file에서 추출하여 분석한 결과, 직진우선신호체계를 도입하기 전에는 평균속도는 11.4mph, 지체시간은 148.23초의 값이 나왔고, 도입 후에는 평균속도는 11.99mph, 지체시간은 141.37초의 값이 도출되어 직진우선신호체계가 교통운영효율이 더 효과적이라는 것을 알 수 있었다.

##### 4.2 온실가스 배출량

###### 4.2.1 HC 배출량

154개의 링크에서 차량유형(TSI5 5.0 유형구분 : 5 - 저성능 승용차, 1 - 고성능 승용차, 2 - 단일트럭)에 따라 각각 발생하는 HC화합물의 배출량을 통계 분석한다.

표 6. HC 배출량 통계표

(단위 : GRAMS/ MILE)

차종	기존 링크의 통계량			변화 후 링크의 통계량		
	승용차(저성능)	승용차(고성능)	단일트럭	승용차(저성능)	승용차(고성능)	단일트럭
평균	0.24	0.30	7.47	0.24	0.29	7.40
분산	0.04	0.07	80.65	0.04	0.06	83.96
최소값	0	0	0	0	0	0
최대값	0.92	1.40	48.95	0.96	1.30	44.54
합계	36.89	46.21	1150.75	37.18	45.25	1140.98

###### 4.2.2 CO 배출량

154개의 링크에서 차량유형(TSI5 5.0 유형구분 : 5 - 저성능 승용차, 1 - 고성능 승용차, 2 - 단일트럭)에 따라 각각 발생하는 CO화합물의 배출량을 통계 분석한다.



표 7. CO 배출량 통계표

(단위 : GRAMS/ MILE)

차종	기존 링크의 통계량			변화 후 링크의 통계량		
	승용차(저성능)	승용차(고성능)	단일트럭	승용차(저성능)	승용차(고성능)	단일트럭
평균	15.38	22.39	117.06	15.60	21.90	116.99
분산	133.05	382.70	20327.03	145.09	330.99	21339.59
최소값	0	0	0	0	0	0
최대값	52.23	99.89	724.31	57.91	90.56	628.83
합계	2368.87	3448.28	18026.64	2402.94	3373.22	18017.10

## 4.2.3 NO 배출량

154개의 링크에서 차량유형(TSIS 5.0 유형구분 : 5 - 저성능 승용차, 1 - 고성능 승용차, 2 - 단일트럭)에 따라 각각 발생하는 NO화합물의 배출량을 통계 분석한다.

표 8. NO 배출량 통계표

(단위 : GRAMS/ MILE)

차종	기존 링크의 통계량			변화 후 링크의 통계량		
	승용차(저성능)	승용차(고성능)	단일트럭	승용차(저성능)	승용차(고성능)	단일트럭
평균	1.25	1.07	16.88	1.24	1.06	16.97
분산	1.04	0.848	444.34	1.08	0.78	470.16
최소값	0	0	0	0	0	0
최대값	4.46	4.22	99.65	5.10	4.04	86.66
합계	191.82	164.98	2599.34	191.64	162.67	2613.31

## 4.3 효과

## 4.3.1 온실가스 배출량 변화값

154개의 링크에서 차량의 종류(저성능 승용차, 고성능 승용차, 트럭)에 따라 각각 발생하는 온실가스 배출량을 기존네트워크의 값에서 직진우선 신호를 도입했을 때의 값을 감했을 때 나온 각 링크별 배출량 값을 통계 분석한다.

표 9. 온실가스 배출량 변화값 통계표

(단위 : GRAMS/ MILE)

차종	HC			CO			NO		
	승용차 (저성능)	승용차 (고성능)	단일 트럭	승용차 (저성능)	승용차 (고성능)	단일 트럭	승용차 (저성능)	승용차 (고성능)	단일 트럭
평균	-0.0019	0.0062	0.0634	-0.2212	0.4874	0.0619	0.012	0.0150	-0.0907
분산	0.002	0.002	19.399	9.553	9.979	5473.26	0.43	0.018	134.669
합계	-0.29	0.96	9.77	-34.07	75.06	9.54	0.18	2.31	-13.97

첫째 HC배출량의 경우 고성능 승용차 및 트럭에서는 도입시 배출량 감소 효과를 나타나는 것을 볼 수 있었다. 하지만 저성능 승용차의 경우에는 오히려 배출량이 증가하는 것을 볼 수 있었다. 트럭의 경우를 제외하고는 변화량이 크지 않다는 것을 확인 할 수 있었다.

둘째 CO배출량의 경우 고성능 승용차에서 도입 시 배출량 감소에 우수한 효과를 기대할 수 있을 것으로 나타난 반면, 저성능 승용차의 경우는 효과가 심각하게 나빠져 배출량이 오히려 증가하는 것으로 나타났다. 트럭의 경우 도입시 배출량 감소 효과를 나타나는 것을 볼 수 있었다.

셋째 NO배출량의 경우 승용차에서는 배출량 감소에 효과를 볼 수 있지만 효과가 미비한 것으로 나타났고, 트럭의 경우는 배출량이 크게 증가하는 것으로 나타났다.

#### 4.4 가설검정

##### 4.4.1 HC 배출량 Paired-sample t-test

표 10. Paired-sample t-test

구 분	대응표본 t검정					t값	유의확률 (양쪽)
	평 균	표준편차	평균의 표준오차	차이의 90% 신뢰구간			
				하한	상한		
저성능 승용차	-0.00188	0.04584	0.00639	-0.00918	0.00542	-0.510	0.611
고성능 승용차	0.00623	0.04108	0.00331	-0.00031	0.1277	1.883	0.062
단일트럭	0.06344	4.40448	0.35492	-0.63774	0.76462	0.179	0.858

기존 배출량과 도입시 배출량의 평균차 비교를 통해 직진우선신호체계의 효과성을 검증한다. 대응표본 t검정(paired sample t-test)을 통해 기존 배출량과 도입시 배출량의 차이 여부를 통계적으로 검증한다. 저성능승용차의 HC배출량을 대응표본 t검정을 통해 검증한 결과, t값이 0.510, 유의확률이 0.611로 나타나 90% 신뢰수준에서 귀무가설( $H_0 : d_0 = 0$ )을 기각하지 못하여, 기존배출량과 도입시 배출량 간에 차이가 있다는 가설을 기각 할 수 없는 것으로 분석되었다. 고성능승용차의 경우엔 배출량을 대응표본 t검정을 통해 검증한 결과, t값이 1.883, 유의확률이 0.062로 나타나 귀무가설( $H_0 : d_0 = 0$ )을 기각하여, 기존배출량과 도입시 배출량 간에 차이가 있는 것으로 분석되었다. 단일트럭의 경우엔 배출량을 대응표본 t검정을 통해 검증한 결과, t값이 0.179, 유의확률이 0.858로 나타나 귀무가설( $H_0 : d_0 = 0$ )을 기각하지 못하여, 기존배출량과 도입시 배출량 간에 차이가 없는 것으로 분석되었다.

##### 4.4.2 CO 배출량 Paired-sample t-test

표 11. Paired-sample t-test

구 분	대응표본 t검정					t값	유의확률 (양쪽)
	평 균	표준편차	평균의 표준오차	차이의 90% 신뢰구간			
				하한	상한		
저성능 승용차	-0.22123	3.09075	0.24906	-0.63340	0.19093	-0.888	0.376
고성능 승용차	0.48740	3.15900	0.25456	0.06614	0.90867	1.915	0.057
단일트럭	0.06195	73.98151	5.96160	-9.80375	9.92764	0.010	0.992

저성능승용차의 CO배출량을 대응표본 t검정을 통해 검증한 결과, t값이 0.888, 유의확률이 0.376로 나타나 90% 신뢰수준에서 귀무가설( $H_0 : d_0 = 0$ )을 기각하지 못하여, 기존배출량과 도입시 배출량 간에 차이가 있다는 가설을 기각 할 수 없는 것으로 분석되었다. 고성능승용차의 경우엔 배출량을 대응표본 t검정을 통해 검증한 결과, t값이 1.915, 유의확률이 0.057로 나타나 귀무가설( $H_0 : d_0 = 0$ )을 기각하여, 기존배출량과 도입시 배출량 간에 차이가 있는 것으로 분석되었다. 단일트럭의 경우엔 배출량을 대응표본 t검정을 통해 검증한 결과, t값이 0.010, 유의확률이 0.992로 나타나 귀무가설( $H_0 : d_0 = 0$ )을 기각하지 못하여, 기존 배출량과 도입시 배출량 간에 차이가 없는 것으로 분석되었다.

4.4.3 NO 배출량 Paired-sample t-test

표 12. Paired-sample t-test

구 분	대응표본 t검정				t값	유의확률 (양쪽)	
	평 균	표준편차	평균의 표준오차	차이의 90% 신뢰구간			
				하한			상한
저성능 승용차	0.00117	0.20715	0.01669	-0.02646	0.2879	0.070	0.944
고성능 승용차	0.01500	0.13333	0.01074	-0.00278	0.3278	1.396	0.165
단일트럭	-0.09071	11.60468	0.93513	-1.63824	1.45681	-0.097	0.923

저성능승용차의 NO배출량을 대응표본 t검정을 통해 검증한 결과, t값이 0.070, 유의확률이 0.944로 나타나 90% 신뢰수준에서 귀무가설( $H_0 : d_0 = 0$ )을 기각하지 못하여, 기존배출량과 도입시 배출량 간에 차이가 있다는 가설을 기각 할 수 없는 것으로 분석되었다. 고성능승용차의 경우엔 배출량을 대응표본 t검정을 통해 검증한 결과, t값이 1.396, 유의확률이 0.165로 나타나 귀무가설( $H_0 : d_0 = 0$ )을 기각하지 못하여, 기존배출량과 도입시 배출량 간에 차이가 있다는 가설을 기각 할 수 없는 것으로 분석되었다. 단일트럭의 경우엔 배출량을 대응표본 t검정을 통해 검증한 결과, t값이 0.097, 유의확률이 0.923로 나타나 귀무가설( $H_0 : d_0 = 0$ )을 기각하지 못하여, 기존 배출량과 도입시 배출량 간에 차이가 없는 것으로 분석되었다.

5. 결론 및 향후 연구과제

본 연구는 청주시사직로를 대상으로 하는 154개의 링크를 분석하여 각 링크에서 발생하는 HC·CO·NO 가스 배출량을 차량유형(TSIS 5.0 유형구분 : 5 - 저성능 승용차, 1 - 고성능 승용차, 2 - 단일트럭)에 따라 기존 신호체계와 직진우선신호체계에 따라 각각 값을 분석하여 시행했을 때의 효과를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째 HC배출량의 경우 배출량만을 측정하였을 때는 고성능승용차는 약간의 효과, 단일트럭에 좋은 효과가 나타난 것으로 보이지만, t검정을 통해 검증한 결과 고성능승용차에만 효과가 나타난다는 것을 알 수 있다.

둘째 CO배출량의 경우 배출량만을 측정하였을 때는 고성능승용차와 단일트럭에 효과가 나타난 것으로 보이지만, t검정을 통해 검증한 결과 고성능승용차에만 효과가 나타난다는 것을 알 수 있다.

셋째 NO배출량의 경우 배출량만을 측정하였을 때는 승용차에만 약간의 효과가 나타난 것으로 보이지만, t검정을 통해 검증한 결과 기존배출량과 도입시 배출량 간에 차이가 없다는 것을 알 수 있다.

결론적으로 대상지에 직진우선신호체계를 도입하기 전에는 평균속도는 11.4mph, 지체시간은 148.23초의 값이 나왔고, 도입 후에는 평균속도는 11.99mph, 지체시간은 141.37초의 값이 도출되어 직진우선신호체계의 도입이 교통운영효율 및 일부의 고성능승용차의 온실가스 배출량 저감에 효과가 있다는 결론을 얻었다.

향후연구과제로는 본 연구는 청주시 간선도로의 기존 교통량 및 신호현시를 기준으로 모형을 구축하였으나, 청주시 사직로라는 단일로만을 분석하여 폭넓은 연구를 위해서는 청주시 전체적인 간선도로망을 구축하고, 대중교통 등 차량유형을 보다 추가하여 분석의 폭을 넓혀야 할 것이다.

참고 문헌

1. 강중호 외, “교통환경분야의 국내외 연구동향 및 시사점(차량배출량 관련 연구를 중심으로)”, 대한교통학회, 대한교통학회지 제25권 제6호 2007년 12월



2. 김갑수(1996), “서울시 경유자동차 배출가스 저감정책수립에 관한 연구”, 서울시정개발연구원.
3. 김용건(1997), “자동차 공해저감대책의 비용효과분석 및 경제적 유인제도 적용방안”, 한국환경정책·평가연구원.
4. 김운수(2001), “도로환경용량 고려한 도시 교통계획의 수립과 적용에 관한 연구”, 한국지역학회, 지역연구, 17권, 단일호, pp.17~20.
5. 김운수(2005), “서울시 저공해 자동차의 운행촉진을 위한 기반조성 및 지원방안”, 서울시정개발연구원.
6. 류정호 외(2009), “승용차의 CO<sub>2</sub> 배출가스 영향인자 특성에 관한 연구”, Transactions of KSAE, Vol. 17, No. 4, pp.10-15
7. 박광열(1995), “양양지역 교차로 신호시스템에 따른 대기오염물질 배출량 변화에 관한 연구”, 관동대학교. 關大論文集, Vol.28, No.2, pp.215~224.
8. 박준환·정상문·임강원(2005), “교차로 신호 전략을 이용한 배기가스 배출량 감소 방안에 대한연구”, 대한교통학회 제48회 학술발표회, 대한교통학회, pp.356~364.
9. 이성원·박지형(1998), “교통부문의 환경문제와 대응방안”, 교통개발연구원.
10. 이신해·김원호(2005), “서울시 자동차 배기가스저감을 위한 교통관리 기법연구”, 서울시정개발연구원.
11. 이영인 외(2002), “실시간 검지정보를 이용한 대기오염 모니터링 시스템 개발”, 2003년 지능형교통체계 연구개발사업 제1차년도 최종보고서, 건설교통부·교통개발연구원.
12. 이영인 외(2004), “차량의 개별주행 행태를 고려한 자동차 배출가스 산정방법론 연구”, 서울도시연구 제5 권, 제4호, pp.43~59.
13. 홍민선 외, “대도시 교통신호시스템에 따른 대기오염물질 배출량 변화에 관한 연구”, 한국대기보전학회, 한국대기보전학회지 9(1) 93-100
14. 장영기외(1995), “면 및 이동오염원 대기오염배출량 산정 지침에 관한 연구”, 환경부.
15. 조강래 외(1993), “자동차에 의한 오염물질 배출계수 및 배출량 산출에 관한 연구”, 한국대기환경학회지, Vol. 9.
16. 조규탁(2002), “자동차 대기오염물질 배출량의 공간해상도 개선을 위한 Nested Top Down Approach개발”, 서울대학교 박사학위논문.
17. 조역수(1993), “선오염원에 의한 대기오염물질 배출량 산정에 관한 연구: 서울지역을 대상으로”, 서울대학교 환경대학원 석사 논문.
18. 조중래 외(2002), “수도권 자동차 대기오염물질배출량 추정 및 대기오염 저감정책방안 연구”, 경기개발연구원.
19. 한화진(1995), “자동차 배출가스 종합대책”, 한국환경기술개발원.
20. 한화진(1996), “저공해연료자동차 보급 활성화 방안 연구”, 한국환경기술개발원.
21. 홍창의(1995), “서울시 경유자동차 배출가스 저감정책 수립에 관한 연구”, 서울시정개발연구원.
22. 홍창의·황상호·안호혁·김윤지(1995), “교통량에 따른 배기가스량 산정에 관한 연구 (교차로를 중심으로)”, 대한교통학회 제29회 학술발표회, 대한교통학회.
23. Sergio Ostria, Sandeep Aneja, Robert B. Noland(1998), “Emissions and Fuel Consumption Impacts of Intelligent Transportation Systems : Modeling and Evaluation Methodologies”, Transportation Research Board 77th Annual Meeting.
24. Hesham Rakha, Michel Van Aerde, K. Ahn, and Antonio A. Trani(2001), “Requirements for Evaluating Traffic Signal Control Impacts on Energy and Emissions Based on Instantaneous Speed and Acceleration Measurements”, Transportation Research Record 1738, Paper No. 00-1133.
25. Koichi Tsubaki(2000), “Environment Protection Management Systems”, IEE. 29. Alper Unal, Nagui M. Roupail, and H. Chirstopher Frey(2003), “Effect of Arterial Signalization and Level of Service on Measured Vehicle Emissions”, Transportaion Reasearch Record 1842, Paper No. 03-2884.
26. Xiugang Li, Guoqiang Li, Su-Seng Pang, Xianguang Yang, Jialin Tian(2004), “Signal timing of intersection using integrated optimization of traffic quality, emissions and fuel consumption: a note”, Transporation Research Pard D 9, pp.401~407.
27. 2009 도로업무편람, 국토해양부