

# 도시간선도로에서의 DFS 설치 효과 분석에 관한 연구

최현석<sup>†</sup> · 김홍상\* · 임근호\*\*

화신엔지니어링 · \*명지대학교 교통공학과 · \*\*한국교통안전컨설팅  
(2008. 10. 28. 접수 / 2009. 9. 24. 채택)

## A Study on the Analysis of the Effect DFS installation on Urban Arterial Road

Hyun-Seok Choi<sup>†</sup> · Hong-Sang Kim\* · Geun-Ho Lim\*\*

HwaSin Engineering

\*Department of Transportation Engineering, Myongji University

\*\*Korean Traffic Safety Consulting

(Received October 28, 2008 / Accepted September 24, 2009)

**Abstract :** Recently, with the existing speed-management by law enforcements and physical speed-reduction facilities, the country newly adopted Driver Feedback Sign (DFS) system, which displays driving speed in order to guide the driver to an advisable driving condition. DFS is mainly used in school zones due to reasons related to the ITS. Accordingly, because it is predictable that DFS will result in speed-reduction without legal forces and would have an effect on physical speed-reduction facilities, intersection, crosswalks, and road-alignments, this study will try to verify the efficiency of DFS by researching the vehicle speed in national highways and school zones, which have similar conditions to the urban arterial road. In consequence, on national highways, the drivers had a tendency to travel according to the road-environment such as urban arterial road and not reduce speed voluntarily. In school zones, drivers tend to reduce speed in mornings and afternoons when children travel to school or home, showing that the resulting effect is different according to the road-environment where DFS is installed, and the time slot of the DFS.

**Key Words :** DFS(Driver Feedback Sign), urban arterial road, speed management, speed behavior

### 1. 서론

속도관리는 기본적으로 교통법규, 도로의 구조, 단속, 교육 및 홍보, 또는 첨단기술 등의 다양한 방법을 이용하여 자동차의 속도를 조절하는 것으로 정의되고 있다.

도로교통안전관리공단<sup>1)</sup>에서는 속도관리의 일차적 고려요소는 도로의 종류 및 기능에 따른 분류이며 도로 종류별로 합리적인 제한속도를 설정하는 것과 운전자를 위한 과학적인 속도정보 제공체계의 구축 등을 포함하는 속도관리는 단순한 교통안전 측면에서 뿐만 아니라, 가로체계의 효율적 이용측면, 운전자의 편의성, 그리고 소음이나 매연 등의 환경측면에서도 결코 간과될 수 없는 중요한 교통류 관리의 한 부분이라고 밝혔다.

외국의 경우 기존의 단속위주 속도관리와 물리적 속도저감시설(과속방지턱, 도로 노면 요철 등)을 이용한 강제적 속도관리와 함께 운전자의 행태를 스스로 자각하게 하여 바람직한 운전상태로 유도할 목적과 교통안전표지판의 한계에 대한 해결책으로 운전자의 속도를 표시하여 주는 자발적 속도감속유도 장치(Driver Feedback Sign: 이하 DFS)이라는 개념을 도입하여 적용하고 있으며 국내에서도 ITS의 측면에서 주로 스쿨존에 DFS를 도입하여 활용하고 있는 실정이다<sup>2)</sup>.

도로선형이나 도로 등급, DFS 외 속도감속을 위한 물리적 시설의 존재 유무 등 여러 조건에 따라 DFS가 설치된 뒤 일정시간이 흐른 후 DFS 관련 연구는 계속 재검증 되고 있으며 이로 인해 해당지역의 도로환경에 따라 감속효과가 미비한 사례도 발표되고 있다.

따라서 본 연구는 법적 강제력이 없는 권유차원

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
eban-ijak@hanmail.net

에서의 속도감속을 유도하는 DFS에 대하여 그 효과를 재검증하는 것이 목적이며 주로 어린이 보호 구역을 중심으로 설치되고 연구되었던 DFS 효과 분석 뿐 만 아니라 일반도로에서의 DFS 효과분석을 추가로 실시하여 그 효과를 재검증해보고자 한다.

## 2. 운전자 주행속도 선택 및 DFS관련 기존 연구 고찰

### 2.1. 운전자의 주행속도 선택 관련 연구

도로상을 주행하는 운전자는 도로의 물리적인 조건, 교통상황, 차량의 성능, 제한속도와 단속의 수준, 통행 가치 등 다양한 요소를 고려하여 속도를 선택하며, 이러한 차량의 속도는 교통류의 소통 및 교통사고와 관련한 안전문제에 직접적인 영향을 초래하는 중요한 요소 중의 하나로 알려져 있다. Van der hors<sup>3)</sup>는 운전자의 속도선택 과정을 도로기하구조 및 교통환경/운전자 본인의 의도/주행속도 결정의 과정으로 이루어지고 이러한 과정들은 순환적이라고 설명하였다.

Kay Fitzpatrick 등<sup>4)</sup> 연구에서는 양방향 4차로 시외도로에 대해 평면곡선구간과 직선구간에서의 주행속도에 미치는 요인을 분석하였으며 이들 구간에서 영향을 가장 많이 미치는 요소는 속도제한으로 나타났고 도로 곡선구간에서는 곡선반경과 접근밀도에도 큰 영향을 받는 것으로 제시하였다.

또한 속도제한 변수를 제외한 분석에서는 도로 직선구간에서는 차로폭 만이 주행속도에 영향을 미치는 요인으로 나타난 반면, 도로 곡선구간에서는 중앙분리대 유무와 도로변 개발유무가 유의한 요인으로 규명되었다.

“미국 도로연방청”<sup>5)</sup>의 운전자 오류에 대한 연구에서는 운전자들의 약 20~35%가 안전한 정지를 위한 속도를 선택하고 있지 않으며, 정지에 요구되는 시간을 과소평가함으로써 부적절한 속도를 선택하는 것으로 설명하였고 특히, 전·후 차량 간의 차두간격은 약 84% 이상의 운전자가 요구되는 차두시간보다 짧은 간격을 유지하고 있는 것으로 나타났다.

Migletz<sup>6)</sup> 등의 공사구간에서의 운전자 주행속도 선택 연구에서는 공사구간에서의 제한속도의 감소 정도와 실제 주행속도 및 교통사고와의 관계를 분석한 결과, 감속이 필요한 구간에서는 낮은 제한속도 표지를 설치할 때가 제한속도를 설치하지 않을 때 보다 주행속도가 낮게 나타나고, 교통사고 발생

율도 낮음을 규명하였고 또한, 공사구간에서의 속도관리는 각 구간별 서로 다른 제한속도를 적용할 시 제한속도를 10mph 정도 낮출 때가 가장 바람직함을 제시하였다.

여러 연구결과를 볼 때, 속도선택과 관련하여 운전자가 제한속도를 위반하여 단속을 받게 되면 사회·경제적인 불이익을 받게 되므로 단속의 정도는 운전자가 위험 수준을 판단하는 중요한 요인으로 작용하게 되며, 또한 제한속도가 주는 신뢰성 역시 운전자가 판단하는 위험 수준에 영향을 주는 것은 자명하다고 볼 수 있다.

이러한 맥락에서 지금까지의 많은 연구들이 제한속도가 속도에 영향을 주는 주요 요인임을 단정 짓고 있으나, 운전속도 선택에는 다양한 요인들이 복합적으로 영향을 미치기 때문에 제한속도의 단독 요인이 속도 선택에 미치는 실질적인 영향의 크기는 아직 명확하게 나타내지 못하고 있는 실정이다.

### 2.2. DFS 효과분석 관련 연구

DFS는 과속위험구간, 노면결빙구간, 안개구간, 터널/교량 등 감속이 필요한 지점/시점에 노변의 전광판을 통해 운전자에게 자신의 속도를 표출하여 줌으로써 과속을 방지하며 위험을 사전에 경고하는 시스템이다.

Van Houton<sup>7)</sup>은 하루 전 또는 일주일간의 과속 현황을 도로표지판에 설치한 결과 과속이 줄었음을 확인하였다. 또한 과속차량의 비율과 일정 속도 이상 속도를 낸 차량의 비율을 노변에 표시한 결과를 나타내었는데 이는 단기효과 뿐만 아니라 장기 간에 걸쳐서도 효과가 있음을 보였다.

McCoy와 Bonneson<sup>8)</sup>은 기존에 차량 주행속도 감시장치가 설치된 고속도로의 공사구간에서 SMD (Speed Monitoring Display) 설치로 인한 효과분석을 실시하였다. 분석 결과 차량의 평균속도와 고속도로 작업구간으로의 접근속도가 감소하였으며 평균속도의 경우 6~8km/h가 감소하였고, 해당 구간의 권장속도인 75km/h 초과 차량비율이 20~40% 감소한 것으로 나타남을 보였다.

미국의 Garden Grove<sup>10)</sup>에서는 5개의 초등학교 근처 도로에 10개의 DFS를 설치하였다. 모든 DFS는 간선도로상에 설치되었고 제한속도는 35~40mph (약 55~65km/h)이며 차량 속도자료는 설치 전/후로 수집되었다. 설치 전/후 효과를 분석한 결과 85백분위 속도에서 5.6~22.3%의 통계적으로 유의한 감속을 나타냈다. DFS는 차로의 맨 우측 가로에 설

Location	A.M. Period					P.M. Period							
	Before	After		Significant		Before	After		Significant				
No.	SS	N <sub>1</sub>	SS	N <sub>2</sub>	Z-score	Yes/No	SS	N <sub>1</sub>	SS	N <sub>2</sub>	Z-score	Yes/No	
1	Northbound	290	30.6	200	28.7	1.43	Yes	324	32.6	200	29.1	7.83	Yes
	Southbound	140	30.4	200	34.2	-1.44	No	136	31.6	200	33	-1.43	No
2	Westbound	210	27.2	100	26.1	1.74	No	281	28.2	109	27.9	0.57	No
	Eastbound	270	24.1	100	24.9	-1.34	No	373	27.7	109	27.2	1.01	No
3	Westbound	247	29.9	100	30.3	-0.88	No	88	24	100	26.3	-4.36	No
	Eastbound							171	24.8	109	24.9	-0.16	No
4	Westbound	194	15.6	300	15.3	0.52	No	450	32	300	25	12.81	Yes
	Eastbound	340	29.2	200	28.8	0.41	No	362	24.1	200	30.9	-8.38	No
5	Northbound	160	28.8	100	28.7	0.15	No	194	29.6	100	29.1	0.64	No
	Southbound	117	24.2	100	24.1	0.14	No	204	25.2	100	22.4	4.17	Yes

SS - Sample Size  
 a<sub>1</sub> - Mean vehicle speed before DFS deployment  
 a<sub>2</sub> - Mean vehicle speed after DFS deployment  
 1 - significance level 0.5 (Z - Score for the difference between two means, Z = 1.96)

Fig. 1, the average speed investigation results after/before DFS installation.

치된 것이 아닌 운전자 머리위인 각 차로 중심에 설치되었으며 해당 구간 모두 운전자의 시야는 양호한 조건을 갖추었다.

Howard University Transportation Research Center<sup>11)</sup>에서는 KLS Engineering과 연계하여 5개의 초등학교 지역에 설치된 DFS 효과분석을 실시하였다. 5개의 초등학교는 간선도로와 주거지 내 지구도로 근처에 위치하고 있었으며 오전/오후 시간대로 나누어 설치 전/후 평균속도의 변화를 분석하였다. 설치 전 속도자료는 2004년 11월, 2005년 2월 중, 설치 후 속도자료는 2005년 6월, 2005년 11월에 수집되었으며 조사시간은 최소 40시간 이상으로 자료를 수집하였다.

DFS 설치 지점으로 접근하는 총 10개의 접근로에서 대부분의 접근로에서 운전자의 주행속도 변화는 유의함을 가지지 못한 것으로 나타났다. 또한 DFS의 영향은 대다수 운전자가 자신의 속도를 확인하기 위해 속도를 조금 낮추는데 그 의미가 있지만 이러한 점이 주행속도 감속에 필수적인 조건은 아니라는 연구결과를 제시하며 DFS의 효율성을 위해 다음과 같은 조건을 제시하였다.

- ▶ 모든 스쿨존에 설치하기 보다는 해당지역의 설치 전 평균속도가 35mph(약 56km/h) 이상인 곳이 바람직
- ▶ DFS의 시인거리는 최소 150~200ft(약 45~60m)
- ▶ DFS 설치 지점의 차로수는 방향별 1차로가 바람직
- ▶ DFS 설치 지점의 차로수가 1차로 이상일 경우 각 차로 위에 DFS 설치가 바람직
- ▶ 노상주차 금지
- ▶ 표지판의 남용 금지

Tribbett<sup>12)</sup>은 권장속도가 표시되는 트럭경고 시스템, CMS(changeable message signs)가 설치된 5개의

급커브 구간에서 그 효과를 분석하였다. 연구결과 초기에는 속도감소효과가 나타났으나 시간이 흐를수록 그 효과가 감소됨을 보였다. 특히 이러한 시스템이 설치된 후 시스템에 반응하여 속도를 줄이는 운전자는 대체로 약 1년 후 점점 감소함을 나타냈다.

Gerald<sup>13)</sup>는 설치 장소에 따라 DSDS(Dynamic Speed Display Sign: 이하 DSDS)의 효과를 검증하기 위해 다음과 같은 조사구간을 설정하였다.

- ▶ 스쿨존 내 DSDS 설치 지점
- ▶ 스쿨존 전방 경고 구간 지점(양방향)
- ▶ 높은 접근속도를 가진 신호교차로 (양방향)
- ▶ 급커브 구간 접근로 두 지점(양방향)

또한 DSDS의 영속적인 효과를 분석하기 위해 설치 전/후 기간을 DSDS 설치 전, 후 속도자료는 DSDS가 설치된 시점으로부터 3주 내, 설치 후 2~4달 후로 세분화 하여 분석하였다. 연구 결과 높은 속도로 주행 중인 운전자는 낮은 속도(또는 제한 속도 이하의 속도)로 주행하는 운전자 보다 유의한 속도감속을 보였고 DFS가 효과적이기 위해서는 스쿨존의 경우 법적 속도제한의 영향이 강한 곳, 직선에 가까운 선형과 양호한 시거, 그리고 단일차선(방향별), 표지판의 남용이 없는 구간과 같은 조건을 제시하였다.

### 3. DFS 설치 전/후 속도자료 수집

#### 3.1. 현장조사 개요

DFS 설치 효과 검증을 위해서는 설치 전 개별차량 속도자료가 필요한데 DFS 설치전 개별차량 속도자료는 민백초등학교의 경우 기 설치된 DFS 지점 상류부 100~120m의 지점을 DFS 설치 전 속도자료로 가정하였고 DFS 설치 후 속도자료는 민백초등학교와 대공원로 모두 DFS 설치지점의 속도자료로 가정하였다. 조사일시는 어린이 보호구역 내 차량속도측정을 위해 평일 중 화, 수요일에 조사를 실시하였으며 대공원로의 경우 역시 출퇴근 시간의 주행행태를 관측하기 위해 목, 금요일에 걸쳐 조사를 실시하였다. 조사 시간은 등하교시간, 출퇴근 시간, 그리고 과속이 빈번하게 일어나는 새벽 시간대 등 각 시간대별 특성을 나타내는 차량속도 자료를 확보하고 지자기 검지기 자체내 오류를 최소화하기 위해 24시간으로 조사 하였다.

Table 1. On-the-spot inspection synopsis

구분	장소	제한속도
조사 지점	민백초등학교(안양시)	30km/h
	과천대공원로	60km/h
조사 일시	2007. 10. 23. 7:00~24. 07:00 (24시간) 대공원로 2007. 10. 25. 7:00~26. 07:00 (24시간) 민백초등학교	
조사 장비	· 지자기 검지기(NC-200)	

### 3.2. 조사대상 지점 및 조사방법

과천대공원로의 경우 간선 및 보조 간선도로의 역할을 하고 주로 출·퇴근 통행이 많은 특성을 가지며 평상시 보행자의 통행이 거의 없는 구간이다. 조사 대상구간은 관문사거리에서 수원·의왕 방향으로 진입 후 DFS 설치 지점까지 총 570m의 구간길이를 가지며 과속방지턱이나 횡단보도, 유출입 시설이 없는 구간이다. 또한 약간의 하향경사를 가지고 있으며 거의 직선에 가까운 선형을 이루고 있다.

민백초등학교 DFS 설치구간의 경우 주거지 및 초등학교에 인접하여 출·퇴근 및 어린이 등·학교 통행이 많은 지점이다. 차량 방호울타리가 설치되어 있고 도로의 선형은 직선에 가까우며 교차로 진입시점부터 DFS 설치지점까지는 과속방지턱이

나 횡단보도가 설치되어 있지 않다. DFS 설치 지점에 아파트 유출입구가 있으나 이에 대한 영향을 최소화하기 위해 조사는 해당 구간의 1차로에서 실시하였다. DFS 설치 전 지점으로 가정할 검지기 위치가 과천대공원로에 비해 가까운 거리에 위치하지만 이 지점에서는 보도에 설치된 수목의 영향으로 운전자에게 DFS가 인식되지 않는 실정이다.

두 지점 모두 자유 교통류에 근접하기 위한 도로 여건을 갖추고 있으며 지자기 검지기(NC-200) 2기를 사용하여 DFS 설치 상류부 지점을 DFS 설치 전 지점으로 가정하고, 현 DFS 설치 지점을 설치 후 지점으로 가정하여 차량 속도자료를 수집하였다.

### 3.3. 수집된 자료 현황

조사자료는 NC-200의 조사모드 중 Sequential

Table 2. The data present condition which is collected

조사지점	수집된 데이터 수		유효 데이터 수		유효 데이터 비율(%)	
	설치 전	설치 후	설치 전	설치 후	설치 전	설치 후
민백초등학교(안양시)	6072	5626	2238	2237	37	39
대공원로(과천시)	2466	2839	1619	1455	59	57

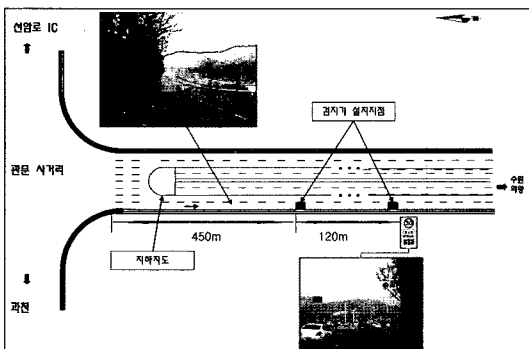


Fig. 2. Gwacheon Gongwon-road.

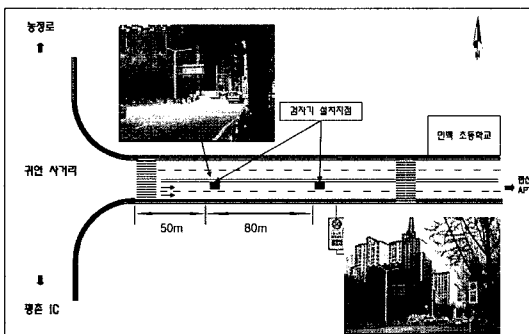


Fig. 3. Minbaeg elementary school.

Table 3. Example of NC-200 data which are collected

시	분	초	시간대	차투시간 (s)	속도 (km/h)
7	0	41	오전	38	47
7	1	19	오전	9	40
7	1	28	오전	13	40
7	1	46	오전	31	39
7	2	17	오전	51	35
7	3	8	오전	60	79
7	4	22	오전	24	51
7	4	46	오전	47	50
7	5	33	오전	48	32
7	6	21	오전	17	74
7	6	58	오전	6	40
7	7	4	오전	6	32
7	7	10	오전	8	53
7	7	28	오전	58	29
7	8	26	오전	36	42
7	9	2	오전	7	26
7	9	9	오전	6	43
7	9	18	오전	10	51
7	9	28	오전	41	27
7	10	9	오전	89	39

Mode(개별차량의 통과시각을 각각 기록)을 선택하여 민백초등학교 앞 도로와 과천시 대공원로(정부종합청사 방향)를 조사를 수행하였다.

현장 조사 시 DFS 설치조건 외에 다른 요인이 차량의 주행속도에 영향을 미치지 않게 하기 위해서 조사 대상도로의 선형은 직선구간으로 선정하였고 수집된 데이터 중에서 차량군에 의한 영향을 최소화하기 위해서 개별 차량 간의 차두시간이 6초 이상인 속도자료만을 유효 데이터로 취급하였다.

#### 4. DFS 설치 전/후 속도조사 결과 및 분석

##### 4.1. 속도

DFS 설치 전/후의 평균속도의 변화 및 감속으로 그 설치효과를 판단할 수 있으며 수집된 속도자료를 통하여 통계적 검증을 거쳐 변화된 평균속도가 과연 유의한 차이를 가지는지에 대해 분석하였다.

또한 DFS 효과분석을 위한 척도로써 평균속도 측면에서의 접근 외에 차량의 주행속도 분포를 더욱 정확히 할 수 있는 V85속도 측면에서의 접근을 시도하였다. 평균속도와 V85속도는 DFS 설치 전/후로 나누어 시간대별로 분석하였으며 85백분위 속도를 추출하여 차량의 주행속도패턴을 분석하였다.

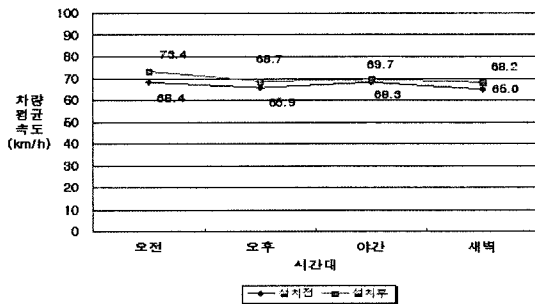


Fig. 4. Each value of time zone mean speed after establishing of DFS(Gwacheon Gongwon-road).

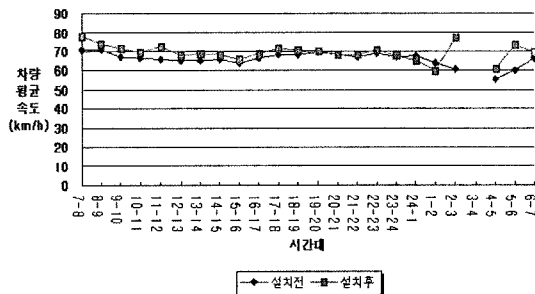


Fig. 5. Each value of time mean speed before/after establishing of DFS(Gwacheon Gongwon-road).

##### 4.1.1. 평균속도

시간대별로 살펴보면 과천대공원로의 경우 오전, 오후, 야간, 새벽 전 시간대에서 평균속도가 증가한 것으로 나타났으며 오전시간대(7~12시)에 평균 4.9km/h로 가장 크게 증가한 것으로 나타났다. 또한 평균속도가 가장 높은 출근시간인 7~8시에서의 평균속도 증가폭이 6.6km/h로 가장 크게 나타났다.

민백초등학교의 경우 과천대공원로와 마찬가지로 오전, 오후, 야간, 새벽 전 시간대에서 평균속도가 DFS 설치 전보다 증가하였으며 새벽시간대 평균속도의 증가가 4.7km/h로 가장 많이 증가한 것으로 나타났다.

오전시간대와 오후 시간대를 살펴보면 오전 시간대의 경우 초등학교 등교시간(7~9시) 이후 10~12시에서 평균속도 증가폭이 1.2km/h에서 3.6km/h로 늘어난 것으로 나타났다. 오후 시간대를 살펴보면 오전시간대와 유사하게 초등학교의 하교시간(13~17) 이후 평균속도의 증가폭이 1.7km/h에서 3.8km/h로 늘어난 것으로 나타났다.

과천대공원로나 민백초등학교 모두 DFS 설치 전/후 평균속도의 패턴은 유사하나 평균속도의 전체 수준이 대공원로의 경우 2.9km/h, 민백초등학교

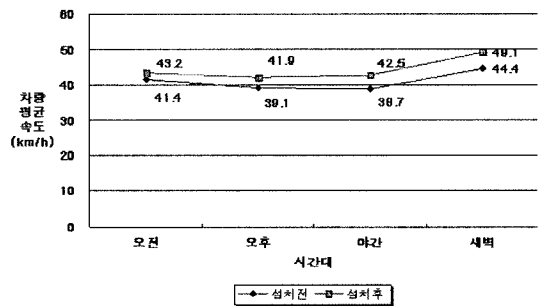


Fig. 6. Each value of time zone mean speed before/after establishing of DFS(Minbaeg elementary school).

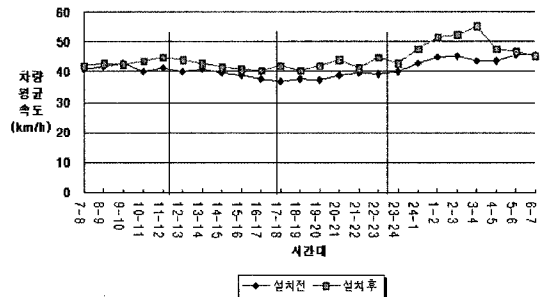


Fig. 7. 24 hour mean speed before/after establishing of DFS (Minbaeg elementary school).

의 경우 3.2km/h로 증가한 것으로 나타났으며 민백초등학교의 경우 야간과 새벽 시간대가, 대공원로의 경우 오전과 새벽 시간대 평균속도의 증가가 더욱 큰 것으로 나타났다.

4.1.2. 속도 분포

과천대공원로의 경우 시간대별로 살펴보면 평균속도 분석과 마찬가지로 오전, 오후, 야간, 새벽 전 시간대에서 DFS 설치 후 V15, V85속도가 증가한 것으로 나타났으며 그 중 오전시간대와 새벽시간대에서 각각 4.3km/h, 11.1km/h로 가장 큰 V85증가를 나타냈다. 오전시간대의 경우 출근시간대인 7~8, 8~9시에서 각각 10km/h, 6.2km/h로 가장 큰 V85속도 증가를 나타냈다.

민백초등학교의 경우 또한 오전, 오후, 야간, 새벽 전 시간대에서 DFS 설치 후 V15, V85속도가 증가한 것으로 나타났으며 그 중 오전시간대와 새벽시간대에서 각각 5.0km/h, 8.0km/h로 가장 큰 V85증가를 나타내어 과천대공원로와 유사한 경향을 보이고 있다.

V85 누적분포도를 살펴보면 과천대공원로의 경우 설치 전 누적속도 분포가 오른쪽으로 이동한 형

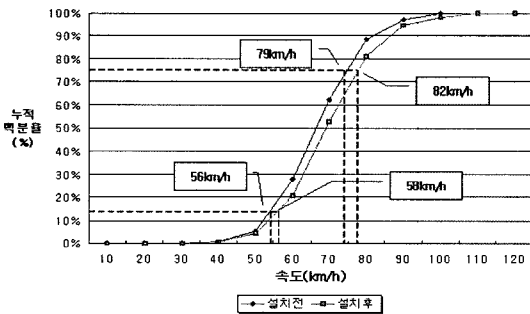


Fig. 8. 24 hour V85 accumulation percentage before/after establishing of DFS(Gwacheon Gongwon-road).

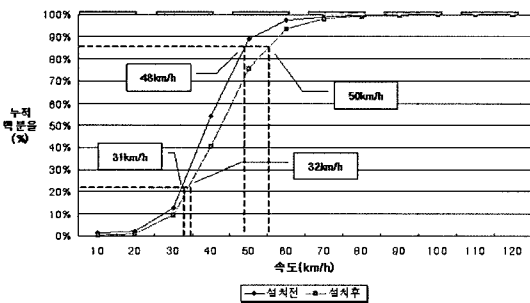


Fig. 9. V85 accumulation percentage before/after DFS establishing of DFS.

태를 띠며 전 속도구간에서 일정한 증가를 보이고 있다. 민백초등학교의 경우 과천대공원로와 마찬가지로 DFS 설치 전 누적속도 분포가 설치 후 오른쪽으로 이동한 형태를 띠고 있으며 속도가 높아질수록 누적비율이 증가하는 형태를 띠고 있다.

4.1.3. 속도 편차

속도편차(일정구간을 통과하는 차량간의 속도차이) 분석은 DFS 설치 전/후로 조사된 두 집단의 통계적 특성을 파악하기 위한 중요한 요소이다. DFS 설치 효과가 통계적으로 유의한지를 판단하기 위해서는 T-test를 통하여 두 집단(설치 전/후의 차량의 평균속도)의 차이를 검증하게 되는데 속도편차는 T-test의 종류인 등분산 T-test와 이분산 T-test 중 어떤 검증방법이 적합한지를 판단하게 하는 도구가 된다.

또한 주행 안전성 측면에서도 속도편차 분석은 DFS 설치 전/후의 교통류 흐름을 파악할 수 있는 수단이 되기도 한다.

과천대공원로의 경우 오전시간대를 살펴보면 출근시간대인 오전 8~9시의 속도편차가 DFS 설치 전보다 설치 후 2km/h 로 가장 큰 속도편차를 보였

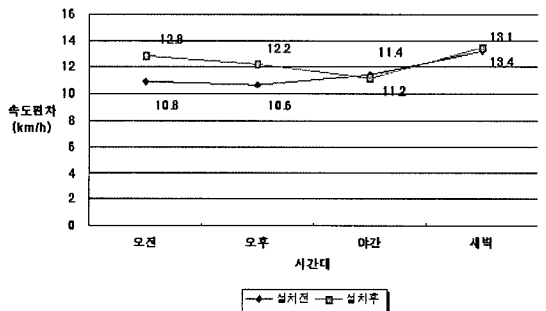


Fig. 10. Each value of time zone speed deviation establishing of DFS(Gwacheon Gongwon-road).

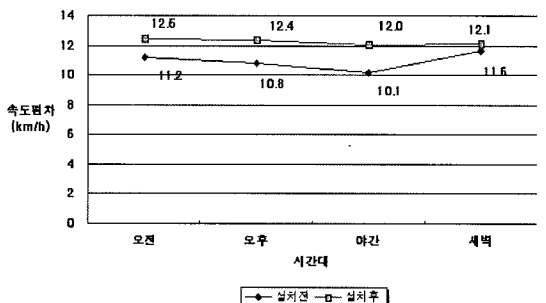


Fig. 11. Each value of time zone speed deviation establishing of DFS(Anyang Minbaeg elementary school).

으며 오전/오후/야간/새벽 시간대별로 보면 전 시간대에서 속도편차는 DFS 설치 전보다 설치 후 각각 2.0/1.6/-0.2/1.0로 오후시간대를 제외한 나머지 시간대에서 증가한 것으로 나타났으며 전체 속도편차는 11.2km/h에서 12.2km/h로 증가한 것으로 나타났다.

민백초등학교의 경우 어린이 보호구역의 교통안전측면에서 중요시되는 등·하교 시간대인 오전 7~9시와 오후 시간대(12~5시, 초등학교에서는 학년별로 하교시간이 다르므로 오후시간대 전체가 중요한 의미를 가짐)를 살펴보면 오전 7~8시의 속도편차가 DFS 설치 전보다 0.7km/h 증가한 것으로 나타났다. 오전/오후/야간/새벽 시간대별로 보면 전 시간대에서 속도편차는 DFS 설치 전보다 설치 후 각각 0.7/1.6/1.9/0.5km/h의 차이로 오전부터 야간 시간대로 갈수록 증가한 것으로 나타났으며 전체 속도편차는 11.2km/h에서 12.4km/h로 증가하였다.

#### 4.2. 동일 개별차량 분석

본 연구는 도시간선도로에서 DFS의 영향을 분석해 보는 데 그 목적이 있다. 그러나 설치 전/후의 속도자료를 DFS 상류부/설치지점으로 가정 한 후 검지기를 통해 수집하였으므로 이 구간사이에 차량 운전자들의 차선변경이 일어나 DFS 상류부에 설치된 검지기를 통과한 차량이 DFS 설치지점의 검지기를 통과하지 못하는 경우가 발생할 수 있다.

수집된 자료의 정확성을 높이기 위해 본 연구에서 사용된 검지기에 차량 통과시간이 검지되는 것을 이용하여 동일 개별차량을 분석하였다.

##### 4.2.1. 평균속도 및 속도편차

과천대공원로의 경우 동일 개별차량으로 분석된 평균속도의 경우 오전/오후 시간대의 추세는 유효 데이터로 분석한 평균속도의 추세와 유사하나 야간/새벽 시간대에서는 다른 추세를 보이고 있다. 유효 데이터 분석 시 야간/새벽의 설치 전/후 평균속도 차이는 0.4, 3.2km/h인데 반해 동일 개별차량 데이터 분석 시 야간/새벽의 설치 전/후 평균속도 차이는 6.1, 10.3km/h로 야간 시간대 이후 차량의 주행속도가 크게 높아졌음을 알 수 있다. 또한 24시간 별로 분석 시에도 유효 차량 데이터와 동일 개별차량 데이터의 형태는 전체적으로 유사한 형태를 보이지만 야간 시간대인 저녁 9시 이후에는 DFS 설치 전/후 평균속도의 차이가 커지고 있음을 확인할 수 있다. 이는 DFS의 영향보다 도로의 기하구조 즉 직선의 선형을 가지고 하향 경사를 이루며,

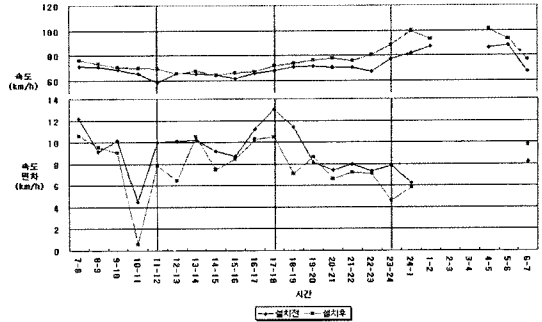


Fig. 12. 24 hour mean speed and speed deviation establishing of DFS(Gwacheon Gongwon-road, identical individual vehicle data).

해당 구간 내 유출입 시설 및 보행자 통행이 적은 점, 야간시간대 등 해당 구간의 특성이 반영된 것이라 판단할 수 있다.

속도 편차를 살펴보면 동일 개별차량 데이터로 분석 시 설치 전 속도편차의 시간대별 추세는 유효 데이터로 분석한 추세와 유사하나 야간 시간대부터 속도편차가 증가한 유효 데이터 분석과는 달리 평균속도의 설치 전/후 차이가 커지기 시작한 야간 시간대에서도 감소된 속도편차를 보였다.

또한 동일 개별차량 데이터로 분석 시에도 오전 시간 대부터 야간시간대 까지 DFS 설치 전/후 속도편차의 차이가 -0.9km/h(오전), -0.9km/h(오후), -1.1 km/h(야간)로 나타났다. 반면에 유효 차량 데이터 분석 시 나타나는 DFS 설치 전/후 속도편차의 차이는 2.0km/h(오전), 1.6km/h(오후), -0.2km/h(야간)로 나타났다.

이는 외부요인(물리적 속도감속요인, 구간 내 신호차로 및 횡단보도의 부재)의 영향이 적은 자유교통류 상태에 근접한 차량 주행 행태의 특성이 동일 개별차량 데이터로 인해 반영된 것이다.

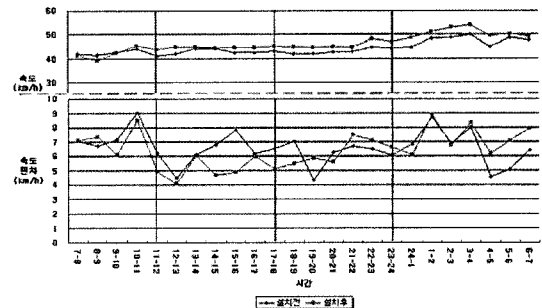


Fig. 13. Each value of time mean speed and speed deviation establishing of DFS(Minbaeg elementary school, identical individual vehicle data).

민백초등학교의 경우 동일 개별차량으로 분석된 평균속도는 유효데이터로 분석된 평균속도와 유사하게 오전에서 새벽으로 갈수록 시간대별 평균속도가 증가하는 추세를 보이고 있다.

그러나 유효 데이터로 분석 시 평균속도는 오전 시간대가 오후 시간대의보다 높은 수준을 보였고 속도편차 역시 오전시간대가 오후보다 큰 편차를 보였다.

어린이 등교 시간인 7~9시의 평균속도가 유효 데이터로 분석 시 DFS 설치전 41.3km/h에서 설치 후 42.5km/h로 증가한 반면 동일 개별차량 데이터로 분석 시에는 DFS 설치 전 41.7km/h에서 40.3 km/h로 감소하는 것으로 나타났다. 하교시간대인 오후 시간대에서는 동일 개별차량 데이터로 분석 시 DFS 설치 전보다 DFS 설치 후 평균 1.8km/h 증가하였는데 이는 초등학생 등교가 오전 7~9시에 집중되는 오전시간대와는 달리 오후시간대에서는 학년별로 하교시간이 다르기 때문에 그 영향이 줄어든 것이라 판단할 수 있다.

야간시간대와 새벽시간대에서는 유효데이터와 동일 개별차량 데이터 분석 모두 증가하는 것으로 나타났으며 이는 어린이 등·하교 활동의 영향이 감소하여 운전자의 주행속도가 높아지는 것으로 판단된다.

속도편차의 경우 유효 데이터로 분석 시 오전과 오후 시간대에서 각각 6.9와 5.1km/h로 DFS 설치 전보다 설치 후 감소하는 것으로 나타났다. 어린이 등·하교 시간대인 오전과 오후에서는 DFS 설치 전보다 설치 후 좀 더 안정된 교통류 상태에서 차량 운전자들이 감속 또는 속도를 유지하여 주행하고 있다는 것을 알 수 있다.

평균속도가 증가하는 시점인 야간 시간대 이후로는 속도편차가 DFS 설치 전보다 설치 후 증가하는 것으로 나타났다. 이는 어린이 등·하교 통행의 영향이 감소하여 운전자들이 속도를 높일 수 있는 하나의 요인이 될 수 있다.

그러나 야간 시간대에도 일정한 속도편차 감소를 보인 과천대공원로와는 달리 민백초등학교 DFS 설치 지점은 주거지에 인접하여 야간시간대에도 보행자의 통행이 존재한다는 점, 과천대공원로에 비해 짧은 검지기 사이 거리, DFS 설치 지점 후방 50m에 설치된 횡단보도 등 해당 도로의 특성으로 인해 운전자의 주행속도의 편차가 일정하지 않다고 볼 수 있다.

#### 4.2.2. 속도분포

동일 개별차량 데이터를 바탕으로 DFS 설치 전/후의 누적비율을 통해 차량속도 분포를 보면 과천대공원로의 경우 DFS 설치 전 가장 높은 빈도수를 보인 속도범위는 60~70km/h였고, DFS 설치 후 가장 높은 빈도수를 보인 속도범위는 70~80km/h이다.

평균속도 60km/h 이하 속도범위에서는 DFS 설치 후 감소된 빈도수를 보이고 있으며 60km/h 이상 속도범위부터는 DFS 설치 보다 빈도수가 증가하고 있음을 나타내고 있어 낮은 속도범위일수록 DFS 설치전의 빈도수보다 DFS 설치후의 빈도수가 감소하며 높은 속도범위일수록 DFS 설치전의 빈도수보다 설치후의 빈도수가 증가하는 것을 알 수 있다.

민백초등학교의 경우에는 DFS 설치 전 가장 높은 빈도수를 보인 속도범위는 30~40km/h였고, DFS 설치 후 가장 높은 빈도수를 보인 속도범위 또한 30~40km/h이다.

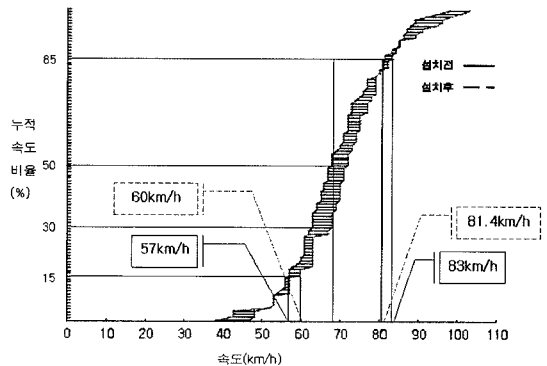


Fig. 14. Gwacheon elementary school Accumulation speed distribution(identical individual vehicle data).

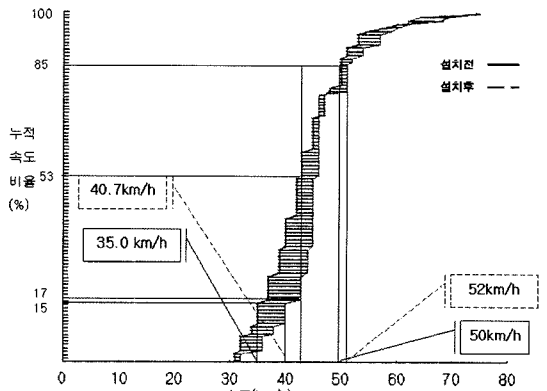


Fig. 15. Gwacheon elementary school Accumulation speed distribution(identical individual vehicle data).



그러나 40km/h 이하 속도범위에서는 DFS 설치 전 누적속도 비율이 36.8%이고 DFS 설치 후 누적속도 비율이 15.6%로 나타나 DFS 설치 전/후 약 21.2%의 속도분포 차이로 감소하였다.

40km/h 초과 속도범위에서는 DFS 설치 전/후 약 21.4%의 비율로 증가하였으며 그 중 가장 큰 비율 차이를 보인 속도범위는 40~50km/h 범위였다.

누적속도분포도를 보면 과천대공원로의 경우 60~70km/h 속도범위에서 가장 많은 변화를 보이고 있으며 DFS 설치 전 50%의 누적속도 비율이 67km/h를 나타낸 데 반해 DFS 설치 후에는 28%의 누적속도 비율이 67km/h를 나타내고 있다. V15~V85에서 평균 DFS 설치 전/후 개별차량 속도차이는 평균 +3km/h가 증가하였으며 V15는 57km/h에서 60km/h로 증가였고 V85는 83km/h에서 약 81km/h로 감소하였다.

민백초등학교의 경우 약 35~40km/h 속도범위에서 가장 많은 변화를 보이고 있으며 DFS 설치 전 53%의 누적속도 비율이 43km/h를 나타낸 데 반해 DFS 설치 후에는 17%의 누적속도 비율이 43km/h를 나타내고 있다. V15~V85에서 평균 DFS 설치 전/후 개별차량 속도차이는 평균 +3km/h가 증가하였으며 DFS 설치 전/후 V15는 35km/h에서 약 41km/h로 증가였고 V85는 50km/h에서 52km/h로 증가하였다.

### 4.3. 통계적 검증

#### 4.3.1. 검증방법

DFS와 같은 속도관리시설물의 설치 전/후 효과 분석은 주로 설치 전/후 집단 간 평균속도와 분산의 변화가 통계적인 유의성 검증을 수행하고 있다.

기존 DFS 효과분석 관련 연구문헌인 Carlson, Fontaine,<sup>8)</sup> McCoy와 Bonneson,<sup>9)</sup> Gerald<sup>13)</sup>등에서도 일반적으로 차량 주행속도는 정규분포를 따른다는 가정 아래 설치 전/후 집단 간 평균속도 및 분산을 검증하기 위해 통계검증 방법 중 하나인 F-test와 T, Z-TEST를 실시하였다.

그러나 본 연구에서 속도 자료 수집의 제한적 요인인 24시간의 조사기간, DFS 설치 전/후의 가정('DFS 설치 전'을 DFS 설치 상류부 지점으로, 'DFS 설치 후'를 DFS 설치 지점으로 가정)을 고려할 때 통계검증의 첫 단계로 수집된 차량 속도자료가 정규분포를 따르는지에 대한 검증부터 실시하였다.

그리고 그 결과에 따라 DFS 설치 전/후 집단의 평균속도 유의성 검증을 위해 모수통계기법인 F-test

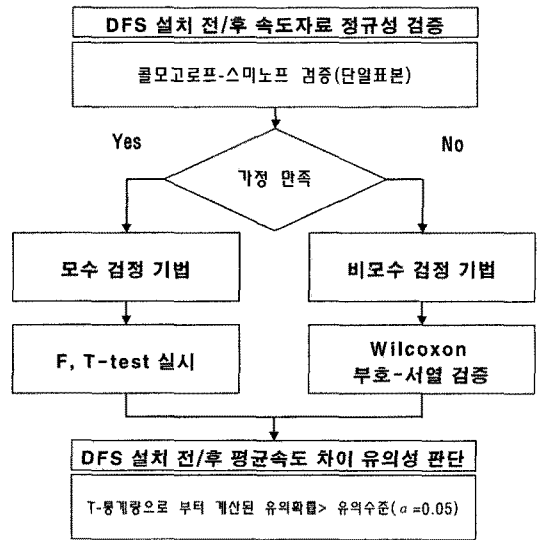


Fig. 16. Statistical verification Accomplishment.

와 T 또는 Z-TEST을 사용할 것인지, 분석하고자 하는 표본이 어떤 특정한 통계적 분포(정규분포, 포아송분포, 균일분포 등)를 따른다고 가정할 수 없을 때 사용하는 비모수 통계기법인 Wilcoxon 부호-서열 검증(대응 두 표본)을 사용할 것인지 결정하였다.

통계검증은 DFS 설치 전/후의 시간대별, 오전/오후/야간/새벽별로 수행하였으며, 통계 프로그램인 SPSS Ver. 12.0을 사용하여 실시하였다.

검증에 필요한 DFS 설치 전/후 차량 속도자료는 신뢰성을 높이기 위해 정리된 동일 개별차량 속도 자료를 검증변수로 사용하였다.

#### 4.3.2. 수집된 차량 속도자료의 정규분포성 검증

현장조사를 통해 수집된 과천대공원로와 민백초등학교의 DFS 설치 전/후 차량 속도자료가 정규분포를 따르는지 검증하기 위해서 비모수통계기법인 콜모고로프-스미노프 (Kolmogorov-Smirnov) 검정(단일표본)을 실시하였다.

관측치의 누적 분포와 누적 이론적분포와의 가장 큰 차이(절대값)에서 콜모고로프-스미노프 Z값이 계산된다. Z값이 작을수록 "Ho: 주어진 자료의 분포는 000분포를 따른다"를 기각하지 못하게 된다.

검증에 필요한 DFS 설치 전/후 차량 속도자료는 지자기 검지기(NC-200)으로부터 수집된 차두시간 6초 이상인 동일 개별차량 속도자료를 토대로 과천대공원로 설치 전/후, 민백초등학교 설치 전/후 각각 4가지 경우를 검증하였다.

검증에 사용된 귀무가설 및 대립가설은 다음과 같다(신뢰도  $\alpha = 0.05$ ).

$H_0$ (귀무가설) = 본 집단의 차량속도의 분포는 정규분포를 따른다.

$H_1$ (대립가설) = 본 집단의 차량속도의 분포는 정규분포를 따르지 않는다.

DFS 설치 전/후 과천대공원로와 민백초등학교 24시간 전체 동일 개별차량 데이터로 수집된 차량 주행속도 표본 분포가 정규분포를 따르는지에 관한 검증을 실시한 결과는 다음과 같다.

Table 4. Verified results of each one and same vehicles data

구분	설치전/후	정규모수		최대극단치			Z값	채택가설
		평균	표준편차	절대값	양수	음수		
과천대공원로	설치전	68.8	10.3	0.058	0.058	-0.028	1.441	$H_1$
	설치후	73.3	10.2	0.079	0.079	-0.032	1.968	$H_1$
민백초등학교	설치전	43.7	7.0	0.096	0.096	-0.059	2.956	$H_1$
	설치후	45.8	6.8	0.226	0.226	-0.118	6.925	$H_1$

근사유의확률  $p < 0.05$

검증 결과 과천대공원로, 민백초등학교 모두 DFS 설치 전/후 모두 정규분포에 대한 근사 유의확률이 신뢰수준( $\alpha = 0.05$ ) 이하로 나타났다.

이러한 결과는 과천대공원로, 민백초등학교 모두 DFS 설치 전/후 동일 개별차량 데이터의 표본분포가 정규분포를 따른다는 가정을 사용할 수 없음을 의미한다.

#### 4.3.3. DFS 설치 전/후 평균속도 차이 검증

과천대공원로와 민백초등학교 DFS 설치 전/후 차량 주행속도의 분포는 콜모고로프-스미노 검정(단일표본)에 의해 정규분포를 따르지 않는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 DFS 설치 전/후 평균속도 차이에 대한 통계적 검증을 실시할 때 일반적으로 쓰이는 T-test를 사용할 때 두 집단 모두 정규분포를 따라야 된다는 가정을 충족시킬 수 없으므로 모수 통계기법인 T-test를 사용할 수 없다.

모수 통계기법인 T-test와 비견되는 검증방법에는 비모수 통계기법으로 분류되는 Mann-Whitney U 검증(독립 두 표본)과 Wilcoxon 부호-서열 검증(대응 두 표본)이 있다.

이 중 Mann-Whitney U 검증(독립 두 표본)방법은 모수 통계기법의 T-test(독립 두 표본) 검증 방식과 가장 유사한 방법으로 두 집단의 분포가 동일한지 조사하는 기법이다. 두 집단의 관측치가 통합

되고 크기 순으로 순위가 부여되며 각 집단의 순위합계로부터 집단별로 U 값이 계산되어 검증이 이루어진다.

Wilcoxon 부호-서열 검증(대응 두 표본)은 모수 통계기법의 T-test(대응 두 표본) 검증 방식과 비견되는 방법으로 수집된 개별 데이터 상의 차이의 부호와 크기에 대한 정보를 토대로 두 집단 분포를 비교하는 방식이다.

본 통계적 검증에 검증변수로 사용되는 차량 주행속도자료는 동일 개별차량 데이터로 조사대상 구간에 설치된 지자기 검지기(NC-200) 2기를 동일한 차량이 통과한 속도로 정리된 것이다. 이는 서로 대응되는 자료임을 고려할 때 T-test와 비견되는 검증방법인 Mann-Whitney U 검증(독립 두 표본)와 Wilcoxon 부호-서열 검증(대응 두 표본) 중 수집된 개별 데이터 상의 차이 부호와 절대값을 토대로 두 집단의 분포를 비교하는 Wilcoxon 부호-서열 검증(대응 두 표본)을 사용하여 DFS 설치 전/후 평균속도 차이의 유의성 검토를 위해 통계적 검증을 실시하였다.

검증에 사용된 귀무가설 및 대립가설은 다음과 같다(신뢰도  $\alpha = 0.05$ )

$H_0$ (귀무가설) = DFS 설치 전/후 두 집단의 평균속도 차이는 통계적으로 유의하지 않음

$H_1$ (대립가설) = DFS 설치 전/후 두 집단의 평균속도 차이는 통계적으로 유의함

과천대공원로의 경우 24시간 전체 평균속도의 차이는 DFS 설치 전보다 설치 후 약 4.6km/h 증가한 것으로 조사되었으며 통계적 검증을 거친 결과 DFS 설치 전/후 24시간 전체 평균속도의 차이는 통계적으로 유의하다는 것을 나타내고 있다.

Table 5. Verified results of each one and same vehicles data mean speed difference verification (Gwacheon Gongwon-road)

구분	평균속도			평균순위		순위합		Z값	채택가설
	설치전	설치후	차이	음의 순위	양의 순위	음의 순위	양의 순위		
오전	70.0	73.5	3.5	73	95.6	5036.5	9841.5	-3.675	$H_1$
오후	65.5	66.5	1.0	86.4	119.5	6823.5	16181.5	-5.162	$H_1$
야간	70.8	76.9	6.0	70.1	109.5	3366.5	16533.5	-8.097	$H_1$
새벽	72.0	82.3	10.4	1.5	12	3.0	228.0	-3.913	$H_1$
전체	68.8	73.3	4.6	260.6	323.9	52118.5	131196.5	-9.195	$H_1$

근사유의확률  $p < 0.05$

Table 6. Verified results of each one and same vehicles data mean speed difference verification(Minbaeg elementary school)

구분	평균속도			평균순위		순위합		z값	채택 가설
	설치 전	설치 후	차이	음의 순위	양의 순위	음의 순위	양의 순위		
오전	42.1	42.4	0.2	108.4	125.6	7693.5	21226.5	-6.290	H1
오후	43.0	44.8	1.8	106.6	126.9	9809.0	18394.0	-4.068	H1
야간	43.0	45.8	2.8	93.4	117.9	7379.5	16273.5	-4.807	H1
새벽	47.2	50.5	3.3	79.7	112.5	4939.5	15970.5	-6.541	H1
전체	43.7	45.8	2.1	386.1	482.4	115065.5	290384.5	-11.249	H1

근사유의확률 p<0.05

또한 시간대별로 통계적 검증을 한 결과 새벽시간을 제외한 나머지 전 시간대에서 24시간 전체 평균속도 차이 검증의 결과와 마찬가지로 평균속도의 차이(설치 전 보다 설치 후 평균속도 증가)는 유의한 것으로 나타났다.

민백초등학교의 경우 24시간 전체 평균속도의 차이는 DFS 설치 전보다 설치 후 약 2.1km/h 증가한 것으로 조사되었으며 통계적 검증을 거친 결과 과천대공원로와 마찬가지로 DFS 설치 전/후 24시간 전체 평균속도의 차이는 통계적으로 유의하다는 것을 나타내고 있다.

시간대별로 통계적 검증을 한 결과 오전/오후/야간/새벽 전 시간대에서 마찬가지로 평균속도의 차이(설치 전 보다 설치 후 평균속도 증가)는 유의한 것으로 나타났다.

과천대공원로와 민백초등학교 모두 DFS 설치 전보다 설치 후 증가한 평균속도의 차이가 통계적 검증을 거친 결과 유의한 것으로 분석되었다. 그리고 출퇴근 시간대, 초등학교 등/하교 시간과 상관없이 전 시간대에서 조사된 평균속도의 증가(단, 민백초등학교의 경우 오전 등교시간인 7~9시 사이 평균속도 및 편차의 감소를 보임) 역시 통계적 검증 결과 유의한 것으로 분석되었다.

### 5. 결론

본 연구는 법·제도적 강제력이 아닌 권유차원에서의 속도감속기능을 가진 DFS가 설치 초기(2003~2005년)와 현재(2007년) 운전자가 받는 영향의 변화가 있을 것이라 판단하여 현장조사를 통한 DFS 설치 효과의 재검증을 실시하였다.

연구결과 조사대상구간 모두 운전자의 자발적 속도감소 보다는, 약 3km/h의 평균속도 증가와 함께 V15, V85의 증가를 보이고 있으며 이는 DFS 설

치 지점을 통과하는 차량의 속도가 시간이 지날수록 자발적인 속도감속효과가 감소하는 것으로 판단할 수 있다.

그러나 민백초등학교의 경우 오전 7~9시 및 오후 시간대에서는 평균속도의 감소 및 유지하려는 경향을 보여 특정지역(예: 어린이 보호구역)이나 특정 시간대(등·하교 시간)에서의 외부요인이 강한 구간에서는 다른 요인의 영향과 함께 속도감소효과가 있는 것으로 판단된다.

그동안 국내에서 수행되었던 어린이 보호구역 내 DFS 설치효과 관련 연구에서는 DFS설치시 감속효과가 있는 것으로 나타났으나 설치 후 2~5년이 지난 본 연구의 조사대상구간에서는 DFS 설치효과가 특정시간대를 제외하고는 기대만큼 나타나지 않았다.

이는 DFS가 운전자에 대해 법적/제도적 강제력이 없는 시스템인 만큼 설치 후 시간이 지날수록 운전자의 주행속도에 대한 영향력이 감소한다고 판단할 수 있으며 DSDS의 영속적인 효과를 연구했던 Gerald<sup>13)</sup>의 연구결과에 비교된다.

DFS 설치 시 일반적으로 해당 설치구간의 도로 환경에 따라 DFS의 설치위치나 점멸등, VMS 등과 같은 부대시설이 함께 적용되고 있는 외국의 실정을 비취볼 때 DFS 설치 초기와 그 이후 영향력 감소에 대해서는 기존 DFS에 과속카메라와 같은 단속기능의 추가와 같은 부대시설과의 조합이 하나의 대안이 될 수 있다.

하지만 본 연구에서는 조사일수와 분석대상지점의 부족(2개소), DFS 설치 전 지점을 DFS 설치 전후 가정으로 미루어 볼 때 조사결과의 범용성에서 한계점을 가지는 것으로 판단된다.

따라서 연구결과 DFS가 실제 통행속도 감소에 미치는 영향은 적은 것으로 나타났으나, 향후 DFS 설치효과에 관한 연구에서는 DFS 설치 지점의 특성(해당지역의 특성, 도로의 형태, 속도저감시설의 존재 유무 등)별로 좀 더 많은 조사구간이 추가되어야 할 것으로 보이며 설치 초기 뿐 만이 아닌 설치 후 효과의 연속성을 검증하기 위한 연구가 지속적으로 수행되어 DFS의 효과를 극대화하기 위한 최적의 조건을 밝혀내야 할 것으로 보인다.

**감사의 글 :** 본 연구는 건설교통부 “도로교통안전진단 및 관리를 위한 통합정보시스템 구축” 연구개발사업의 연구비지원(과제번호 “05-기반구축 D02”)에 의해 수행 되었습니다.

### 참고문헌

- 1) 도로교통안전관리공단 “도로종류별 속도관리방안 연구(도시고속도로)”, 2004.
- 2) 최봉수, 남두희, 이용택, 김주환, “어린이보호구역 내 DFS 설치에 따른 속도변화에 관한 연구”, 대한토목학회, 2005.
- 3) Van der Horst, “Factors Influencing Driver' Speed Behaviour and Adaption”, MASTER working Paper 2.4.1, 1998.
- 4) Kay Fitzpatrick, Paul Carlson, Marcus Brewer, and Lark Wooldridge, “Design Factors That Affect Driver Speed on Suburban Streets”, TRR 1751, pp. 18~25, 2001.
- 5) FHWA, “Development of countermeasure for Driver Maneuver Error”, Federal Highway Administration, FHWA-RD-00-022, U.S. DOT. Dec., 1999.
- 6) James Migletz, Jerry L. Graham, Ingrid B. Anderson, Douglas W. Harwood, and Karin M. Bauer, “Work Zone Speed Limit Procedure”, TRR 1675, pp. 24~30, 1999.
- 7) Van Houten, R., & Nau, P. A. "Feedback intervention and driving speed: A parametric and comparative analysis", *Journal of Applied Behavior Analysis*, 16, 253~281, 1983.
- 8) P.J. Carlson, and Fontaine, M.D., “Evaluation of speed Displys and Rumble Strips at Rural Maintenance Work Zones”, TRR 1745, 2001.
- 9) McCoy. P.T., J.A. Bonneson, J.A. Kollbaum, “Speed Redution Effects of Speed Monitoring Displays with Radar in Work Zone on Interstae Highways”, TRR 1509, 1995.
- 10) “Speed Rader”, City of Garden Gorge, 2003.
- 11) KLS Engineering, “Evaluation of Driver Feedback Signs, Final Report”, Howard University Transportation ResearchCenter, 2006.
- 12) Tribbett, L., P. McGowen, and J. Mounce, “Evaluation of Dynamic Curve Waring Systems in the Sacramento River Canyon”, Final Report to the California Department of Transportation, 2003.
- 13) Ullman, G., Rose, E, “Evaluation of Dynamic Speed Display Sign”, Texas Transportation Institute, FHWA/TX-04/0-4475, 2003.