

□ 論 文 □

교통량에 따른 교통신호기 설치 기준 안에 관한 연구

A Study of Proposing Standard for Traffic Signal Warrants Corresponding to Traffic Volumes

박 용 진

(계명대학교 도시공학과 조교수)

장 덕 명

(도로교통안전협회 연구위원)

김 기 혁

(계명대학교 도시공학과 부교수)

목 차

I. 서론

- 1. 연구목적 및 필요성

II. 연구방법

- 1. 이상적인 상태에 대한 접근방법
- 2. 현재 상태에 대한 접근방법

III. 자료조사

- 1. 조사방법
- 2. 조사지점 선정 및 조사

IV. 분석

- 1. 자료의 서술적 통계 분석
- 2. 이상적인 상태에 대한 분석
- 3. 현재 상태에 대한 분석
- 4. 기준 안 설정
- 5. 기준 안 검증

V. 결론

참고문헌

요 약

신호기 설치기준(warrants)은 차량교통량, 보행자교통량, 교통사고기록, 통학로, 연속교통류의 흐름 및 지체 등에 따라 제안되고 있으나 그 기준은 나라마다 조금씩 차이를 보이고 있다. 대부분 외국의 신호기 설치 기준은 매우 단순하며 적용하는데 교통전공 기술자의 경험과 지식을 요구되는 반면에 미국의 신호기 설치기준은 11가지의 설치 기준을 명확히 제시하고 있다. 현재 우리 나라는 “교통안전시설 실무편람”에서 제시한 신호기 설치 기준 중 차량 교통량에 관한 기준은 “최소 차량 교통량”에 관한 기준으로 미국 기준과 동일한 기준이다. 이 기준은 교통량에 대한 유일한 기준으로 우리 나라 상황에서 검증되지 않은 기준이다.

따라서 본 연구는 미국의 기준 중 현재 가장 타당성 있다고 판단되는 4시간 교통량 및 침두시간 교통량을 검정하고 우리 나라 실정에 적용 할 수 있는 교통량에 관한 신호기 설치기준 안을 제시하였다. 접근 방법은 현재 비신호 교차로 운영방식은 교차로 통과 우선 순위에 따라 운영되지 않고 있어 장래에 교통문화가 정착되었을 때를 대비한 이상적인 상태에 대한 접근방법과 통과 규칙이 잘 지켜지지 않고 있는 현재 상태에 대한 접근방법으로 나누어 분석하여 기준 안을 제시하고 미국의 기준을 변형한 기준 안을 제시하였다.

본 연구에서 제시한 기준 안은 전체 교통량은 1400~1800대/시로 비교적 높게 나타났으며 주도로(양방향) 교통량이 1050~1200대/시이고 부도로(교통량이 많은 쪽) 교통량이 325~585대/시로 호주에서 제시한 4시간 교통량보다 주도로는 1.5배, 부도로는 3배 높게 나타났으며 미국 기준을 변형한 안은 실제 자료를 분석한 결과 기존의 기준안 보다 비교적 완화된 기준 안으로 나타났다.

또한 미국 기준 중 비교적 잘 적용되고 있는 4시간 교통량과 침두시간 교통량에 관한 기준은 부도로의 교통량이 일방향 교통량만 기준 안에 적용되나 실제적으로 비신호 교차로 지체는 부도로의 모든 교통량이 영향을 미치는 것으로 나타나 부도로의 교통량에 가중치를 적용한 기준 안으로 전체 교통량과 부도로/주도로 교통량의 비로 전환되어 제시되었다.

I. 서론

1. 연구목적 및 필요성

매년 늘어나는 차량들로 인하여 도심 가로의 정체 및 정지 현상이 증가되고 있다. 특히 신흥 주거 단지 및 공업단지에서는 특정 기준 적용 없이 신호기가 설치 운영되고 있어 운전자들의 짜증을 유발시키고 있다. 이런 불필요한 곳의 신호기 설치 운영은 운전자로 하여금 신호기에 대한 신뢰성을 저하시키며 안전수칙이 무시되어 사고를 유발시키는 요인으로 작용되기도 한다.

신호기 설치기준(warrants)은 차량교통량, 보행자교통량, 교통사고기록, 통학로, 연속교통류의 흐름 및 지체 등에 따라 제안되고 있으나 그 기준은 나라마다 조금씩 차이를 보이고 있다. 대부분 외국의 신호기 설치 기준은 매우 단순하며^{1,2,3,4,5)} 적용하는데 교통전공 기술자의 경험과 지식을 요구되는 반면에 미국의 신호기 설치기준은 11가지의 설치 기준을 명확히 제시하고 있다.⁶⁾ 현재 우리나라는 “교통안전시설 실무편람”⁷⁾에서 제시한 신호기 설치 기준 중 차량교통량에 관한 기준은 “최소 차량 교통량”에 관한 기준으로 미국 기준 1과 동일한 기준이다. 이 기준은 교통량에 대한 유일한 기준으로 우리나라 상황에서 검증되지 않은 기준이다.

미국 기준 중 교통량에 관한 기준은 기준 1, 2, 9, 10과 11로 이들 기준에도 다소의 문제점이 제시되고 있다. 특히 교통량에 관한 설치기준 중 기준 1과 2는 1920년대와 1930년대에 이루어진 것으로 이들 기준 안에 적용되는 8시간 교통량에 대한 근거는 AASHTO위원들에 의해 결정된 사항으로 연구결과에 의한 것은 아니다. 또한 Texas에서 80개의 신호 교차로를 조사한 결과 지방에 설치한 3개만이 기준 1에서 8에 의거 신호등이 설치되었고 나머지는 기준 9-11에

의하여 설치된 것으로 나타났다.⁸⁾ 또한 NCHRP 연구⁹⁾에서 444개의 신호등을 조사한 결과 신호기 형태에 상관없이 기준 9~11이 가장 잘 적용된 것으로 나타났다.

따라서 본 연구의 목적은 미국의 기준 중 현재 가장 타당성 있다고 판단되는 4시간 교통량 및 첨두시간 교통량을 검정하고 우리나라 실정에 적용할 수 있는 교통량에 관한 신호기 설치 기준 안 제시하는 것이다.

II. 연구방법

신호기 설치 기준이 비교적 잘 정립된 미국 기준에서 사용된 변수들을 위주로 기준을 제시하고자 한다. 미국의 신호기 설치 기준 1과 2는 과학적 근거 없이 설정된 기준으로 NCHRP Report 249⁹⁾의 연구결과에서 보여주듯이 11개 기준 중 기준 9, 10, 11이 잘 적용되고 있는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 교통량에 관한 연구로서 기준 9와 11에 적용된 변수들(4시간 교통량, 첨두시간 교통량)을 중심으로 분석하였다.

접근 방법은 현재 비신호 교차로 운영방식은 교차로 통과 우선 순위에 따라 운영되지 않고 있어 장래에 교통문화가 정착되었을 때를 대비한 이상적인 상태에 대한 접근방법과 통과 규칙이 잘 지켜지지 않고 있는 현재 상태에 대한 접근방법으로 나누어 분석하였다.

1. 이상적인 상태에 대한 접근방법

이상적인 상태에 대한 접근방법은 교통문화가 정착되었을 때를 대비한 접근 방법으로 모든 차량이 교차로 통과 순위를 지켜 교차로를 통과하는 것을 전제로 비신호 교차로의 지체와

신호기를 설치하였을 경우 예상되는 지체를 비교 분석한다.

분석 대상 교통량은 기존의 신호기 설치기준 중 교통량에 관한 기준인 첨두시간 교통량과 4시간 교통량 기준 표에 적용 가능한 교통량을 FORTRAN program을 이용하여 지체를 산정하였다. 우리나라 비신호 교차로 형태는 MWSCI (Multi-Way Stop Controlled Intersection) 운영방식으로 1994년 미국의 도로용량편람¹⁰⁾에서 제시한 비신호교차로(MWSCI)의 지체공식을 이용하여 접근지체를 산정하고 교차로 평균정지지체로 전환하였다. 또한 같은 조건에서 신호기를 설치하였을 경우 예상된 정지지체를 도로용량편람¹¹⁾에서 제시한 신호교차로 정지지체 공식을 이용하여 정지지체를 산정하였다.

산정된 두 지체의 차이를 부도로(교통량이 많은 쪽) 교통량, 주도로(양방향) 교통량, 전체 교통량 및 부도로 교통량 대 주도로 교통량의 비에 따라 예측된 지체도의 차이를 기존의 신호기 설치기준인 9번(4시간 교통량)과 11번(첨두시간 교통량)에 적용하여 이상적인 조건에서의 기존의 미국 신호기 설치기준의 타당성을 조사하고 이상적인 상태에 대한 교통량에 관한 기준을 설정하였다.

2. 현재 상태에 대한 접근방법

현재 비신호 교차로 운영방식은 교차로 우선 순위에 따라 운영되지 않고 있어 미국 신호기 설치 기준에 적용한다면 우리 나라 거의 모든 비신호 교차로에 신호기가 설치되는 경우가 발생할 수도 있다.

현재 상태에 대한 접근방법은 우리 나라 비신호 교차로의 통행형태를 현재의 상태로 간주하고 현재 비신호 교차로로 운영되고 있는 교차로를 대상으로 미국의 설치 기준 9와 기준 11

에 적용하여 신호기 설치 타당성을 검증하고 교통량과 지체에 관한 관계를 분석하여 현재 상태에 대한 교통량 기준을 설정하였다.

III. 자료조사

1. 조사방법

본 연구에서 교차로 정지지체를 측정하는데 사용된 방법은 TIQD(Time-In Queue Delay)방식으로 정지한 차량에 따라 누적 시간을 측정하여 정지지체를 계산하는 방법으로 차량이 접근로에 진입하여 정지하였다가 차량이 교차로를 빠져나갈 때를 기준으로 정지차량의 진출·입시간과 대기 차량 대수를 stop watch를 응용한 차두거리 측정기(SYSTEM STOP WATCH S129)와 조사지에 입력하는 방법이다.

차두거리 측정기의 누적 시간을 구하는 각각의 기준 시각은 접근로에 차량이 접근하여 서행하기 시작하는 시점과 교차로를 빠져나가는 시각을 입력하고, 차두거리 측정기의 시간 번호와 조사지의 번호를 일치시키면서 정지 차량수를 조사지에 기입하였다. 조사지 및 정지지체 계산 방식은 <그림 1>과 같다.

비신호 교차로는 차량이 완전히 정지하는 것보다 서행하면서 교차로 상황을 파악하는 경우가 많으므로 본 연구에서는 아래와 같은 기준¹²⁾을 적용하여 정지한 차량으로 간주하였다.

1. 완전히 정지한 차량
2. 교차로를 벗어나지 못하고 대기행렬 속에서 서행하는 차량
3. 차간거리가 차량 3대 길이보다 작은 차간거리(15m)를 가지고 서행하는 차량
4. 서행이라 함은 즉시 정지할 수 있는 속도로 5km/h(3mph)로 본다.

비신호 교차로 지체도 조사용지

교차로명: _____ 조사일자 : 1996년 월 일 접근로: _____ 조사자: _____

누적시간	1차선 정지차량수	2차선 정지차량수	1차선 지체시간	2차선 지체시간
T ₀	X ₀	Y ₀	(T ₁ - T ₀) * X ₀	(T ₁ - T ₀) * Y ₀
T ₁	X ₁	Y ₁	(T ₂ - T ₁) * X ₁	(T ₂ - T ₁) * Y ₁
T ₂	X ₂	Y ₂	(T ₃ - T ₂) * X ₂	(T ₃ - T ₂) * Y ₂
T ₃	X ₃	Y ₃	(T ₄ - T ₃) * X ₃	(T ₄ - T ₃) * Y ₃
T ₄	X ₄	Y ₄	(T ₅ - T ₄) * X ₄	(T ₅ - T ₄) * Y ₄
T ₅	X ₅	Y ₅
...
...
T _n	X _n	Y _n	(T _{n+1} - T _n) * X _n	(T _{n+1} - T _n) * Y _n
T _{n+1}				
총 정지 차량대수	$\sum X_i$	$\sum Y_j$	$\sum_{i=0}^n (T_{i+1} - T_i) * X_i$	$\sum_{j=0}^n (T_{j+1} - T_j) * Y_j$
통과차량당 정지지체 = $[\sum_{i=0}^n (T_{i+1} - T_i) * X_i + \sum_{j=0}^n (T_{j+1} - T_j) * Y_j] / N$ (초/대) N = 총 통과차량대수				

〈그림 1〉 TIQD(Time-In Queue Delay)방식에 의한 정지지체 계산방법

위의 조사방법에 따른 조사항목은 교차로 접근로별 차종 및 회전 교통량은 video를 이용하고 지체도는 차두거리 측정기로서 TIQD방식을 이용한 지체도를 산정 하였다.

2. 조사지점 선정 및 조사

본 연구를 위한 자료조사는 96년 10월 초순부터 11월 초순까지 한달 동안 대구, 포항, 경주, 서울권을 대상으로 9개 지점에 대해서 침투시간을 포함하여 4시간 자료조사를 실시하였다. 지역별로는 대구 3곳과 경주, 포항 및 서울권에

서 각각 2곳을 선정하여 사전 조사후 실 조사를 실시하였다. 포항의 두 지점은 조사중 가랑비로 인하여 같은 요일 같은 시간대에 보완 조사를 실시하여 총 11개지점이 되었다. 자료조사가 실시된 지점을 교차하는 차선 수에 따라 1차선과 1차선이 교차하는 지점이 2곳, 1차선과 2차선이 교차하는 지점 6곳, 2차선과 2차선이 교차하는 지점 3곳에서 자료 조사가 실시되었다. 기하구조에 따라 사지형 7곳과 삼지형 4곳에서 자료조사가 실시되었으며 기하구조 및 지역별 조사지점은 〈표 1〉과 같다.

〈표 1〉 선정된 자료조사 지점

지역에 따른 분류				
	서울권	대구	경주	포항
지 점	⑥⑦	②⑤⑬	①⑫	③④⑩⑪
지점수	2	3	2	4
기하구조에 따른 교차로 분류				
교차하는 차선수 (편도)	기하구조에 따른 교차로 분류		합 계	
	사 지 형 (+)	삼 지 형 (-)		
1차선 - 1차선	①⑦		2	
1차선 - 2차선	②③④	⑩⑬⑪	6	
2차선 - 2차선	⑤⑥	⑫	3	
합 계	7	4	11	

- ① 경주시 청산포 네거리
- ② 대구시 월촌초등학교 앞 네거리
- ③ 포항시 시외버스터미널 서측 네거리
- ④ 포항시 시외버스터미널 서측 네거리 (보완 조사)
- ⑤ 대구시 비산 염색 공단내 네거리
- ⑥ 경기도 일산구청 앞 네거리
- ⑦ 서울시 성심여대 부근 네거리
- ⑫ 경주시 도투락월드 진입부 삼거리
- ⑩ 포항시 시외버스터미널 북측 제일생명 앞 삼거리
- ⑪ 포항시 시외버스터미널 북측 제일생명 앞 삼거리(보완조사)
- ⑬ 대구시 상인여중 앞 삼거리

IV. 분 석

1. 자료의 서술적 통계 분석

1) 자료의 집계

조사된 각 지점의 방향별 교통량을 각 이동류별로 소형, 중형, 대형으로 차종 구분하여 15분 단위 교통량을 승용차 환산계수를 적용하여 시간당 교통량으로 환산하였다. 환산계수값은

한국도로용량편람에서 제시한 소형차량은 1.0, 중형차량은 1.2, 대형차량은 1.9를 적용하였다.

각 지점별 방향별 시간당 환산 교통량은 136대/시에서 992대/로 분포되어 있으며 방향별 평균 정지지체는 0.7초/대에서 32.4초/대 분포되어 있는 것으로 나타났다.

조사된 자료의 지점별 방향별 교통량 및 평균지체는 〈표 2〉와 같다.

〈표 2〉 각 지점별 방향별 평균교통량과 평균지체 (지점별 조사시간 : 4시간)

	교 통 량					실 측 지 체				
	동	서	남	북	교차로	동	서	남	북	교차로
지점 1	394	436	185	264	1279	4.5	5.1	10.9	9.3	6.6
지점 2	344	265	252	386	1246	2.9	2.6	--	3.1	2.9
지점 3	494	599	146	163	1401	1.2	1.1	10.0	10.6	3.2
지점 4	522	652	158	167	1499	1.5	1.3	11.1	8.5	3.1
지점 5	136	347	992	945	2421	6.8	3.8	--	1.1	2.3
지점 6	274	299	150	236	960	3.3	3.0	8.9	5.9	4.6
지점 7	424	740	618	255	2036	15.5	19.4	32.4	13.0	21.8
지점12	474	803	557		1834	3.7	5.4	17.0		8.5
지점13	452	583		333	1367	1.0	1.7		10.2	3.6
지점14	409	533		277	1218	0.7	1.0		6.1	2.1
지점15	308		288	556	1151	4.9		0.8	1.4	2.2

주 1) 지점 2, 지점 5 SB의 관측지체(--) LAPTOP DATA FILE 소실.

- 2) 지점 3, 지점 13 조사중 우천
- 3) 지점 4, 지점 14 보완조사
- 4) 지점12 조사중 사고 발생으로 DATA 일부 소실
- 5) 지점14 보완조사중 우천으로 2시간 조사
- 6) 지점12, 13, 14, 15는 삼지 교차로

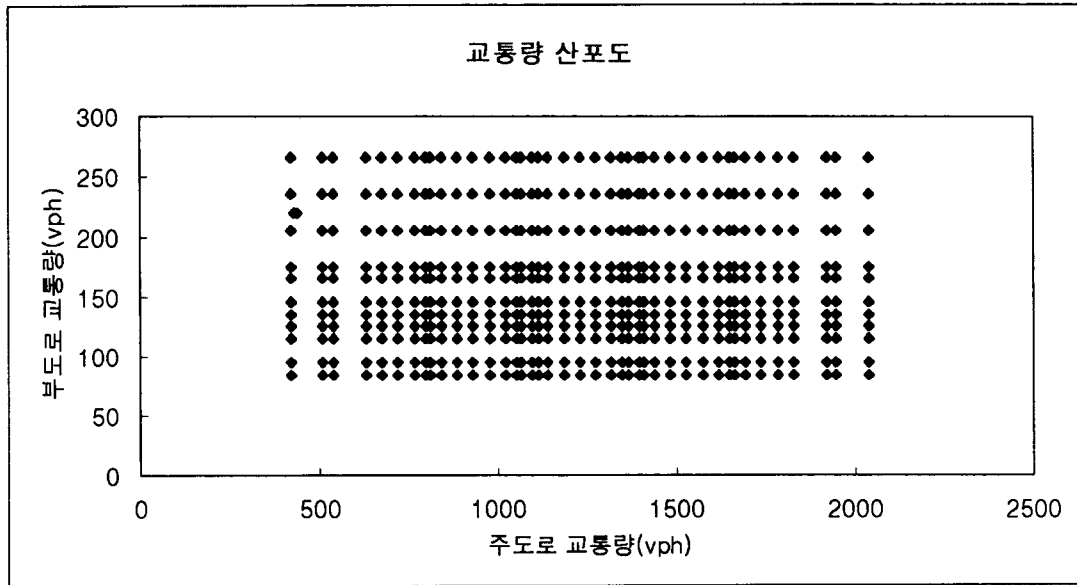
포항시 지점 3 및 13은 자료 조사중 비가 조금씩 내려 1주가 지난 후 같은 요일 같은 시간에 보완 자료수집(4와 14)이 이루어졌다.

2. 이상적인 상태에 대한 분석

모든 차량이 교차로 통과 순위를 지켜 교차로를 통과하는 것을 전제로 하였을 때의 분석으로 미국의 신호기 설치 기준 중 가장 많이 적용되는 교통량의 기준인 4시간 교통량(W9)과 첨두시간 교통량(W11)에 관한 기준에 부합되는 교통량을 이용하여 비신호 교차로의 지체와

신호기를 설치하였을 경우 예상되는 지체를 비교 분석하여 신호기를 설치하였을 경우 지체가 높아지는 교통량을 이상적인 상태에 대한 교통량 기준으로 산정한다.

분석 대상 교차로는 2차선 및 1차선으로 이루어진 4지 교차로를 중심으로 교통량은 FORTRAN program을 이용하여 W9 및 W11에 적용 가능한 교통량을 창출하였다. 이 program에서 창출된 교차로 총 교통량은 560대/시간에서 2480대/시간까지 변화된 3456 경우로 분석에서 사용된 주도로(양방향) 및 부도로(교통량이 많은 쪽) 교통량의 산포도는 <그림 2>와 같다.



〈그림 2〉 주도로(양방향)와 부도로(교통량이 많은 쪽)의 교통량

창출된 교통량은 우리나라 비신호 교차로 형태에 맞는 MWSCI (Multi-Way Stop Controlled Intersection) 운영 방식에 따라 1994년 미국의 도로용량편람¹¹⁾에서 제시한 비신호 교차로(MWSCl)의 지체 공식을 이용하여 교차로 평균정지지체(UCD)를 산정하였다. 또한 같은 조건에서 신호기를 설치하였을 경우 예상된 정지지체를 도로용량 편람에서 제시한 임계이동류 분석을 적용하여 신호교차로 평균정지지체(SCD)를 산정하였다. 신호교차로 정지지체는 도로용량편람에서 신호교차로 계획단계에 적용되는 방법을 이용하여 신호주기범위는 65~120 초로하고 2차선으로 이루어진 교차로의 일반적인 운영체제인 직·좌 동시 4현시 운영체제로 가정하여 지체도를 산정하였다.

신호기를 설치하였을 경우 정지지체시간이 늘어나는 경우는 신호기 설치가 타당하지 않는 경우로 신호시 지체와 비신호시 지체의 차(DOD=SCD-UCD)의 변화를 주도로(양방향) 교통량(MAJV), 부도로(교통량이 많은 쪽) 교

통량(MINV1), 부도로(양방향) 교통량(MINV2) 및 전체 교통량(TVOL)에 따라 차선 및 신호기 설치기준에 따라 분석하였다.

1) 4시간 교통량기준에 부합되는 경우 (W9=0)

2차선 교차로에서 신호시 지체와 비신호시 지체의 차이(DOD)는 전체교통량(TVOL)이 1350대/시보다 큰 경우에서 양의 값으로 신호시 지체가 높게 나타났다. 또한 주방향 양방향 교통량(MAJV)이 1000대/시보다 작은 경우, 교통량이 많은 부도로 교통량(MINV1)은 180대/시보다 큰 경우, 부도로 양방향 교통량(MINV2)은 350대/시보다 큰 경우는 신호기 설치로 인하여 지체가 높아지는 것으로 나타났다.

1차선 교차로는 TVOL이 1200대/시보다 큰 경우 신호기를 설치하는 것이 바람직하다고 나타났다으며 MAJV가 1000대/시보다 크고 MINV1 및 MINV2가 각각 100, 175대/시보다 작으면 DOD가 양의 값으로 신호기를 설치하면 지체도가 높아지는 것으로 나타났다.

2) 첨두시간 교통량기준에 부합되는 경우($W11=0$)

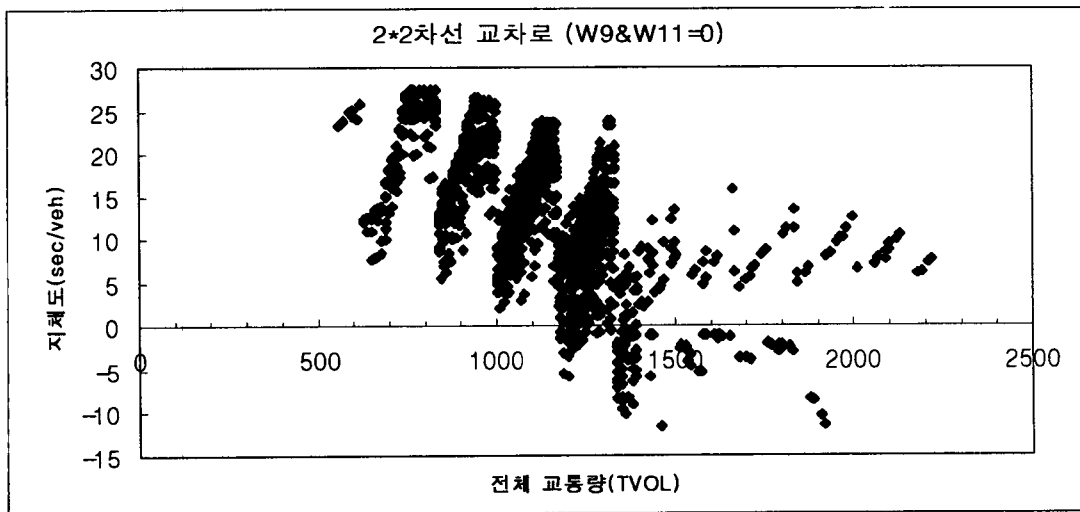
2차선 교차로에서 첨두시간 교통량 기준에 부합되는 경우($W11=0$)는 $W9=0$ 인 경우 유사한 결과로 TVOL이 1350대/시보다 크고, MAJV는 1000대/시보다 크면 신호기를 설치하면 지체가 신호기를 설치하지 않는 경우보다 지체가 커지는 것으로 나타났다. 또한 MINV1은 정확한 경계가 나타나지 않았으나 부도로 양방향 교통량(MINV2)의 경우 400대/시보다 큰 경우가 DDT가 양의 값으로 나타나 신호기를 설치하면 지체가 높아지는 것으로 나타났다.

1차선 교차로의 경우 2차선 교차로의 경우와 비슷한 결과를 나타내고 있으나 MINV1은 200대/시보다 적고 MINV2는 400대/시보다 적은 경우에서 DOD가 양의 값으로 나타나 신호기를

설치하면 지체가 높아지는 것으로 나타났다.

3) 4시간 및 첨두시간 교통량기준에 부합되는 경우 ($W9&W11=0$)

4시간과 첨두시간 교통량 기준에 모두 부합되는 경우는 <그림 3>과 같이 1차선과 2차선에서 TVOL이 1200대/시보다 크고, MAJV가 1000대/시보다 큰 경우 신호기를 설치하면 지체도가 높아지는 것으로 나타났다. 2차선에서 MINV1이 180대/시보다 작은 경우, MINV2가 350대/시보다 작은 경우 신호기를 설치하면 지체도가 커지는 경우가 많이 나타났다. 1차선에서는 MINV1이 100대/시보다 큰 경우, MINV2가 175대/시보다 큰 경우에 신호기를 설치하지 않는 것이 지체를 감소시키는 경우가 많이 나타났다.



<그림 3> 2차선 교차로에서 교통량 기준에 부합되는 경우 ($W9&W11=0$)

이상적인 조건에서 미국의 4시간 및 첨두시간 교통량에 따른 신호기를 설치하지 않아도 되는 최저 교통량 기준 안은 <표 3>과 같다. 4시간 교통량 기준은 첨두시간 교통량에 비해 약간 작은 수치로 나타났으며 2차선에서는 4시

간 교통량과 첨두시간 교통량이 유사하게 나타났다. 4시간 및 첨두시간 교통량 기준 모두 부합되는 경우($W9&W11=0$)는 두 기준 중 낮은 값이 나타나 차선수에 상관없이 비슷한 것으로 나타났다.

〈표 3〉 교통량 기준에 따른 신호기를 설치하지 않아도 되는 최저 교통량 기준 안

기준 교통량(대/시)	4시간 교통량 (W9=0)		침두시간 교통량 (W11=0)		W9&W11=0	
	2차선	1차선	2차선	1차선	2차선	1차선
전 체(TVOL)	1350이하	1200이하	1350이하	1300이하	1350이하	1200이하
주방향(MAJV)	1000이하	1000이하	1000이하	1100이하	1000이하	1000이하
부방향(MINV1)	180이상	100이상	-	200이상	180이상	100이상
부방향(MINV2)	350이상	175이상	400이상	380이상	350이상	175이상
MINV1/MAJV(RMM1)	0.2이상	0.1이상	0.3이상	0.25이상	0.2이상	0.1이상
MINV2/MAJV(RMM2)	0.35이상	0.2이상	0.4이상	0.4이상	0.35이상	0.2이상

3. 현재 상태에 대한 분석

1) 실측, 비신호 계산 및 신호 계산 지체 비교

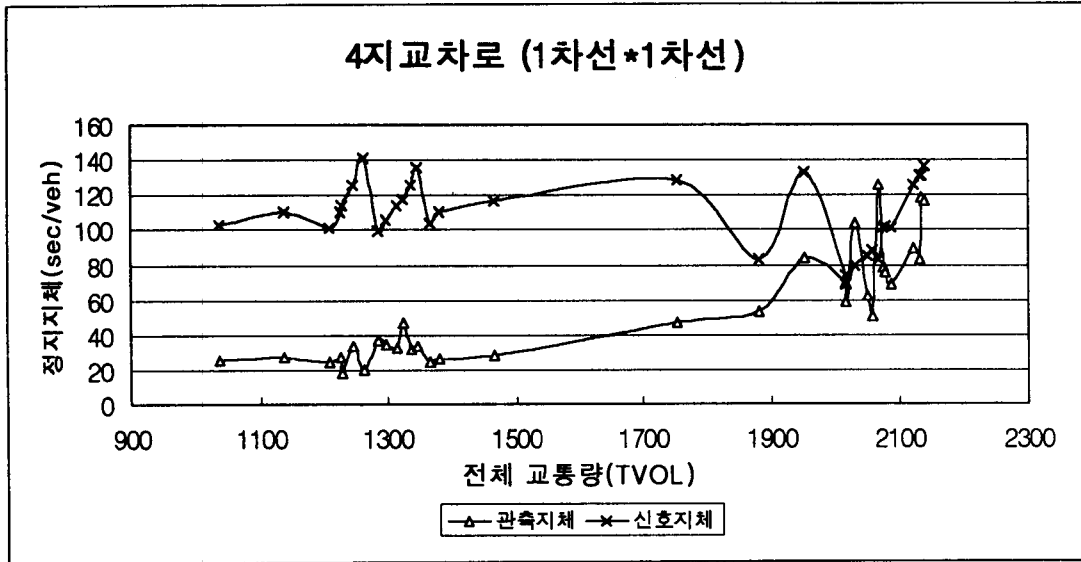
교차로의 지체가 신호기가 설치되지 않은 현상보다 신호기를 설치하였을 때 지체가 감소되는 교차점을 신호기 설치 기준으로 결정하기 위하여 교차로 형태별 및 차선별에 따른 실측된 지체(UMD)와 도로용량편람에서 제시한 신호교차로 지체공식을 이용하여 계산된 지체(SCD)를 산정하였다. 산정된 지체는 교차로 교통량(TVOL), 주도로 양방향 지체와 교통량(MAJV), 교통량이 많은 부도로 교통량(MINV1), 부도로 양방향 교통량(MINV2), MINV1과 MAJV의 비(RMM1), MINV2와 MAJV의 비(RMM2)에 따른 지체와 교통량의 변화를 교차로 형태 및 차선별로 도식하였다.

4지교차로 1차선*1차선에서는 〈그림 4〉와 같이 전체교통량(TVOL)은 2000대/시에서 UMD가 SCD보다 큰 경우로 나타났으며 주도로 교통량(MAJV)은 1100대/시보다 작은 경우에 UMD가 SCD보다 월등히 큰 경우가 많이 나타났다. 교통량이 많은 부도로(MINV1)는 550대/시보다 큰 경우 UMD가 SCD보다 크게 나타났으며, 부도로 양방향 교통량(MINV2)은 750대/시보다

큰 경우에 UMD가 SCD보다 큰 경우들이 나타났다. RMM1과 RMM2는 각각 0.5와 0.7보다 큰 경우 UMD가 SCD보다 큰 부분이 나타났다. 그러나 사지 교차로 2차선*1차선 및 2차선*2차선은 조사된 비신호 지체(UMD)가 신호기를 설치하였을 때의 지체(SCD)에 비해 매우 낮게 나타나 있어 서로 교차하는 부분이 나타나지 않고 있다.

2차선*1차선으로 이루어진 삼지교차로에서 전체교통량(TVOL)은 1700대/시에서 UMD가 SCD보다 큰 경우로 나타났으며 주도로 교통량(MAJV)은 1300대/시보다 작은 경우에 UMD가 SCD보다 월등히 큰 경우가 나타났다. 교통량이 많은 부도로(MINV1)는 UMD와 SCD가 교차하는 부분이 없는 것으로 나타났다. RMM1은 0.31에서 UMD가 SCD보다 큰 부분이 나타났다. 그러나 삼지 교차로 2차선*2차선은 UMD와 SCD가 서로 교차하는 부분이 나타나지 않았다.

현재 상태에서 신호기를 설치하면 정지지체가 커지는 교통량의 한계는 삼지 교차로의 1차선*2차선과 4지교차로의 1차선*1차선에서만 한계치가 설정되었다. 교차로 형태 및 차선수에 따른 신호기 설치 교통량 기준 안은 〈표 4〉와 같다.



〈그림 4〉 전체 교통량에 따른 정지지체의 관계

〈표 4〉 현 상태에 대한 교차로 형태 및 차선수에 따른 교통량 기준

교통량(대/시)	삼지 교차로	사지 교차로
	1*2차선	1*1차선
전 체 (TVOL)	1700	2000
주방향 (MAJV)	1300	1100
부방향(많은방향) (MINV1)	400	550
부방향(양방향) (MINV2)		750
MINV1/MAJV (RMM1)	0.31	0.5
MINV2/MAJV (RMM2)		0.7

2) 회귀분석

비신호교차로의 지체공식을 산출하기 위해 15개 지점에서 조사된 자료를 이용하여 15분 간격 평균 지체와 평균 교통량으로 회귀분석을 실시하였다.

기존의 미국 도로용량편람에서 비신호교차로 지체시간 산출식은 연구방향의 용량으로 이루어진 함수로 연구방향의 지체는 연구방향 및 대향방향의 차선수와 대향방향 및 상충방향 각

각의 좌회전 및 우회전 비율로 이루어 졌다. 미국 도로용량편람에서 제공된 비신호 지체공식에서 적용된 변수들로 회귀분석을 실시하였으나 R²가 매우 낮게 나타났으며 또한 각 변수들이 지체에 미치는 영향이 없는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 교차로 형태 및 차선수에 따른 stepwise 방법을 이용한 회귀분석을 실시하였다. 4교차로에서는 차선수에 따라 주도로 교

통량(MAJV)과 부도로 양방향 교통량(MINV)을 변수로 한 회귀식이 <표 5>와 같이 도출되었다. 1차선*1차선 및 2차선*1차선 교차로에서는 R²가 0.9이상으로 높게 나타났으며 MAJV와 MINV가 증가할수록 지체가 증가하는 것으로

나타났으나, 2차선*2차선 교차로에서는 R²가 0.8525로 나타났으며 MAJV가 증가할수록 지체는 감소하고 MINV는 증가할수록 지체가 증가하는 것으로 나타났다.

<표 5> 차선에 따른 4지교차로 회귀분석 결과

종속변수 (logTD)	1*1차선		1*2차선		2*2차선	
	Parameter Estimate	Prob> t	Parameter Estimate	Prob> t	Parameter Estimate	Prob> t
MAJV	0.001342	0.0001	0.000740	0.0001	-0.000508	0.0012
MINV	0.001664	0.0001	0.000873	0.0006	0.003943	0.0001
R ²	0.9901		0.9393		0.8525	

또한 3지교차로의 지체는 <표 6>과 같이 전체교통량(TVOL)으로 이루어진 함수로 나타났

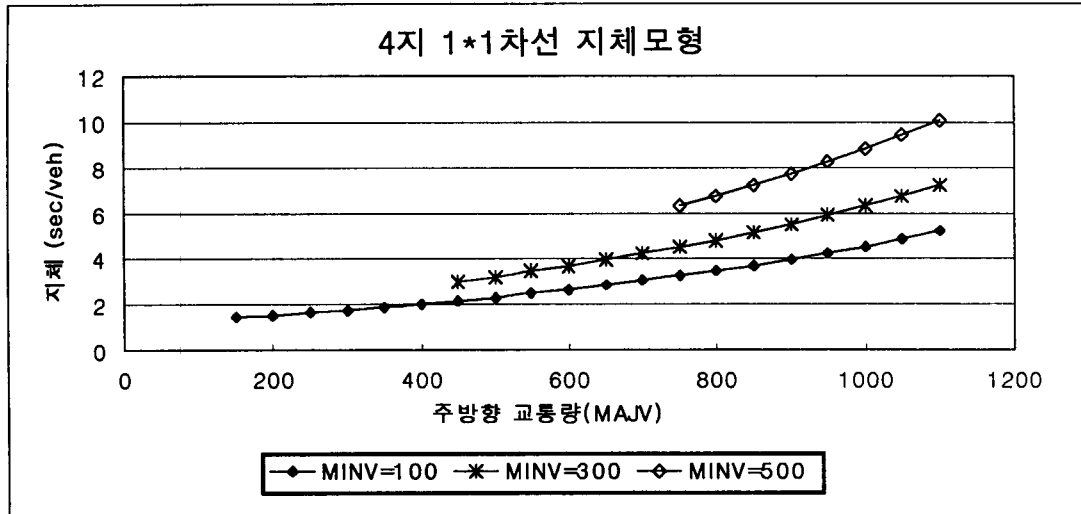
으며 차선별 R²가 모두 0.92이상으로 TVOL이 증가하면 지체가 증가하는 것으로 나타났다.

<표 6> 차선에 따른 3지교차로 회귀분석 결과

종속변수 (logTD)	1*2차선		2*2차선	
	Parameter Estimate	Prob> t	Parameter Estimate	Prob> t
TVOL	0.001046	0.0001	0.000627	0.0001
R ²	0.9271		0.9225	

비신호시 실측지체와 신호기를 설치하였을 때의 지체를 비교하여 결정된 값은 4지교차로에서는 1차선*1차선으로 전체교통량(TVOL)은 2000대/시 이하로 주도로 교통량(MAJV)이 1100대/시 이하이며, 부도로 교통량(MINV)이 750대/시 이하로 MINV/MAJV(RMM2)가 0.7 이하인 영역에서 주도로 교통량에 따른 지체의

곡선 식은 <그림 5>와 같이 나타났다. 제한된 한계 영역에서 1*1차선의 경우 정지지체가 10초 이하로 서비스 수준 B 상태를 나타내고 있다. 반면 1*2차선 및 2*2차선의 경우 실측자료에서 한계값이 결정되지 않아 한계 영역을 표시할 수 없었다.



〈그림 5〉 4지교차로 1*1차선의 지체 곡선

3지교차로의 지체 식은 교차로 전체교통량의 함수로 실측자료에서 결정된 한계영역인 TVOL이 1700대/시보다 작은 1*2차선의 경우 4지교차로의 경우와 같이 예상되는 지체가 서비스 수준 B를 유지하고 있는 것으로 나타났으나, 2*2차선은 실측자료에서 한계값이 결정되지 않아 한계영역을 표시할 수 없는 실정이다.

4. 기준 안 설정

1) 본 연구결과에 따른 기준 안

본 연구에서 제안된 기준 안은 이상적인 상태에서 4교차로 1*1차선과 2*2차선에 관한 기준 안이 제안되었고 현상태에 대한 분석에 의한 기준 안은 4지교차로 1*1차선과 3지교차로 1*2차선 교차로의 기준 안이 도출되었다.

교차로별 차선별 기준 안을 제시하기 위하여 4지교차로 1*1차선은 현재 안과 이상적인 안의 비율을 적용하여 4지교차로 2*2차선의 기준을 제시하고 1*1차선과 2*2차선의 평균값을 적용하

여 2*1차선의 기준 안을 제시하였다. 또한 3지교차로 1*2차선의 기준은 현재 안과 이상적인 안의 비율을 적용하여 이상적인 안과 현재의 안을 평균한 값으로 기준 안을 제시하고 2*2차선인 경우 부도로 교통량을 두배로 하여 기준 안을 제시하였다.

차선별 교차로 형태별 본 연구에서 제안된 기준 안은 〈표 6〉과 같이 3지교차로 1*2차선 및 2*2차선의 전체교통량은 1400, 1600대/시보다 크면 신호기를 설치하여 하는 것으로 나타났고, 4지교차로의 경우 1*1차선, 1*2차선, 및 2*2차선의 전체 교통량은 각각 1600, 1700, 1800대/시보다 크면 신호기를 설치하는 것으로 나타났다.

본 연구에서 제시한 기준 안은 전체 교통량은 1400-1800대/시로 비교적 높게 나타났으며 주도로(양방향) 교통량은 1050-1200대/시이고 부도로(교통량이 많은 쪽) 교통량은 325-585대/시로 호주에서 제시한 4시간 교통량보다 주도로는 1.5배, 부도로는 3배 높게 나타났다.

〈표 6〉 현 상태에 대한 교차로 형태 및 차선수에 따른 교통량 기준

교통량(대/시)	삼지 교차로		사지 교차로		
	1*2차선	2*2차선	1*1차선	1*2차선	2*2차선
전 체 (TVOL)	1400	1600	1600	1700	1800
주방향 (MAJV)	1200	1200	1050	1050	1050
부방향(많은방향) (MINV1)	200	400	325	455	585
부방향(양방향) (MINV2)	-	-	463	628	793
MINV1/MAJV (RMM1)	0.16	0.32	0.31	0.43	0.56
MINV2/MAJV (RMM2)	-	-	0.44	0.6	0.76

2) 미국 기준 안을 변형한 기준 안

미국의 제외한 다른 나라의 기준은 주도로 및 부도로 교통량을 제안하고 있는 반면에 미국 기준은 비교적 모든 교통량을 포함한 기준 안이며 이상적 상태에 대한 접근 방법에서 보여 주었듯이 기준 9번과 11번은 비신호 통과 규칙이 잘 지켜지면 비교적 잘 맞는 것으로 나타났다. 그러나 이 기준은 주도로 양방향 교통량과 부도로 최대교통량을 적용하고 있어 부도로의 또 다른 방향의 교통량은 고려되지 않은 기준이다.

미국 도로용량편람(1994)에 제시된 비신호 교차로 지체 공식은 〈식 1〉과 같이 상충방향의 양방향 교통량이 포함된 식으로 부도로의 양방향 교통량이 포함되는 기준 안이 제시되는 것이 바람직하다.

$$UDT = 1.3 * e^{3.8 \frac{V}{C}} \quad \text{〈식 1〉}$$

여기서,

$$C = 1000V_{bs} + 700V_{po} + 200L_s - 100L_o - 300LT_{po} + 200RT_{po} - 300LT_{pc} + 300RT_{pc}$$

UDT = 연구방향의 평균 정지 지체

C = 연구방향의 용량

L_s = 연구방향 차선수

L_o = 대항방향 차선수

LT_{po} = 대항방향 좌회전 비율

LT_{pc} = 상충방향 좌회전 비율

RT_{po} = 대항방향 우회전 비율

RT_{pc} = 상충방향 우회전 비율

따라서 교통량이 많은 쪽의 부도로 교통량과 주도로 교통량의 관계로 제시된 미국 기준 9번과 11번에서 부도로 양방향 교통량을 적용하여 부도로/주도로 교통량 비와 교차로 전체교통량의 관계를 유도하여 미국 기준 변형 안으로 제안한다. 제안된 안은 교통량이 적은 부도로의 교통량을 많은 쪽의 교통량과 같은 교통량을 적용하는 안과 많은 쪽 교통량의 0.5배를 적용하는 안으로 두 개의 안을 제안 하고자 한다.

안1) 교통량이 적은 부도로 교통량을 부도로 최

대교통량과 같게 하는 안 (가중치=1)

안2) 교통량이 적은 부도로 교통량을 부도로 최

대교통량의 반으로 하는 안 (가중치=0.5)

5. 기준 안 검토

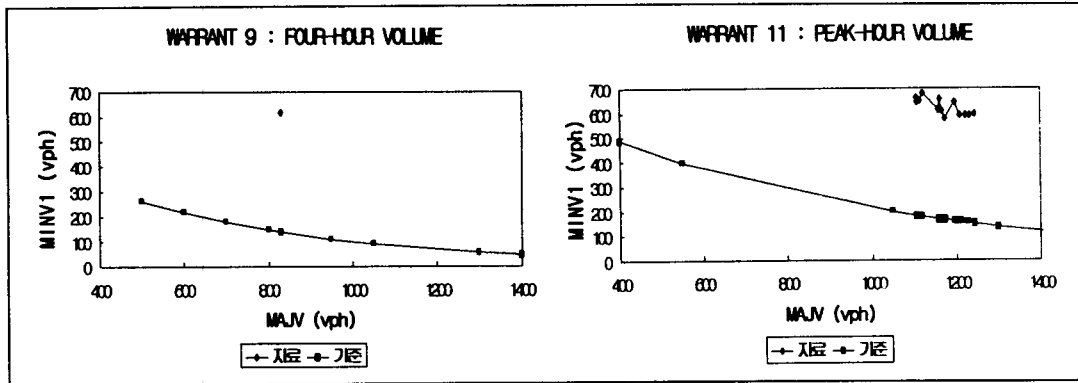
1) 지점별 미국 신호기 설치기준 검토 및 분석

본 연구에서 조사 지점으로 선정한 11개(보완 조사 2개 포함)에 대하여 미국 신호기 설치 기준 중 4시간 교통량(W9) 및 첨두시간 교통량(W11)기준을 조사지점의 교통량과 지체값을

가지고 설치여부를 검증해 보았다. 미국의 신호기 설치 W9는 조사시간 4시간의 교통량(보완 조사와 조사중 비나 사고로 인하여 4시간 조사를 하지 못한 지점은 4시간 교통량으로 환산)으로 검증하였고, W11은 15분 간격을 이용하여 조사시작부터 4개의 15분 간격을 이용하여 주도로 교통량과 교통량이 많은 일방향 부도로 교통량을 각각 13개씩 도출하여 현재 미국에서 적

용되는 신호기 설치 기준에 따라 실시하였다.

각 지점은 기준 9와 11에 적용하여 신호기 설치 적정성을 분석하였다. 지점7인 서울 성신여대 부근 네거리의 <그림 6>과 같이 모든 자료가 기준9와 11의 기준선 위에 자료점이 위치하고 있어 신호기 설치가 적합한 것으로 나타나 신호기 설치에 적합하다는 판정을 내릴 수 있다.



<그림 6> 신호기 설치기준(W9, W11)에 의한 검정 (지점 7)

각 지점에 대한 신호기 설치 기준을 검증한 결과는 <표 7>과 같이 W9는 지점 6에서만 신호기 설치가 부적합한 것으로 나타났고, W11은 지점 2,3,4,6,14 및 15번에서 부적합한 것으로 나타났으며 지점 5,7과 12번은 모든 기준에 부

합되어 신호기를 설치하는 것이 바람직하다고 나타났다. 그러나 미국 신호기 설치 기준에 따르면 조사된 모든 지점에 신호기를 설치하여야 하는 결과가 도출되었다.

<표 7> 미국기준에 따른 검증 (현재 기준)

기준\지점	사지형 교차로							삼지형 교차로			
	1	2	3	4	5	6	7	12	13	14	15
기준 9	○	○	○	○	○	×	○	○	○	○	○
기준 11	○	×	×	×	○	×	○	○	○	×	×
결과	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

○ : 신호기 설치기준에 적합한 경우 × : 신호기 설치기준에 부적합 경우

2) 본 연구에서 제안한 기준 안에 의한 검정

본 연구에서 제시된 기준 안은 첨두시간을 포함한 4시간 교통량으로 각 지점의 전체 교통량, 주방향 교통량, 부도로 양방향 교통량에 대한 기준을 적용하면 <표 8>과 같은 결과를 도출하게 된다. 전체 교통량 기준에 의하면 지점 3,5,7,12에서, 주방향 교통량에 의한 기준에 의하면 지점 3,4,5,7,12에서 신호기 설치가 적합한 것으로 나타났다. 또한 부방향 교통량 기준에

의하면 지점 7,12,13,14에서 신호기 설치가 적합한 것으로 나타났다.

기준 안 사용에 있어서 전체 교통량은 주방향 교통량과 부방향 교통량의 합으로 표출될 수 있으므로 세 개의 기준 중 2개이상 적합하다고 판단되면 신호기 설치가 적합한 것으로 한다. 따라서 본 연구에서 제안한 기준 안에 의한 검정은 지점 3,5,7,12는 신호기 설치가 적합하다는 결론에 도달하게 된다.

<표 8> 본 연구에서 제시한 기준 안에 따른 검증

기준\지점	사지형 교차로							삼지형 교차로			
	1	2	3	4	5	6	7	12	13	14	15
전 체 교통량	×	×	○	×	○	×	○	○	×	×	×
주방향 교통량	×	×	○	○	○	×	○	○	×	×	×
부방향 교통량	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○	×
결 과*	×	×	○	×	○	×	○	○	×	×	×

○ : 신호기 설치기준에 적합한 경우 × : 신호기 설치기준에 부적합 경우

* 판정기준 : 세 기준 중 두가지이상 기준에 부합되는 지점

3) 미국 기준의 변형에 대한 기준 검정

새로 제안된 기준 안(W9A & W11A)을 이용하여 조사된 지점별 신호기 설치 기준에 합당한가의 여부를 <표 9>와 같이 조사하였다. 변형된 4시간 교통량 기준(W9A)에서 부도로 교통량의 가중치가 1인 W9A1은 지점 1,4,5,7,12,13번에 신호기 설치가 가능한 것으로 <그림 7>과 같이 나타났다. 또한 가중치가 0.5인 W9A2는 지점 6번과 15번을 제외하고는 모두 신호기 설치가 적합한 것으로 나타났다. 변형된 첨두시간 교통량 기준(W11A)은 부도로 교통량의 가중치가 1인 W11A1은 <그림 8>과 같이 지점 5,7,12번에 신호기 설치가 적합한 것으로 나타났으며 가중치가 0.5인 W11A2는 지점 1,5,7,12번에 신호기 설치가 적합한 것으로 나타났다.

가중치 1을 적용한 A1안은 지점 1,4,5,7,12,13에서 신호기 설치가 적합하고, 가중치 0.5를 적용한 A2안은 지점 6, 15에서만 신호기 설치가 부적합한 것으로 나타났다.

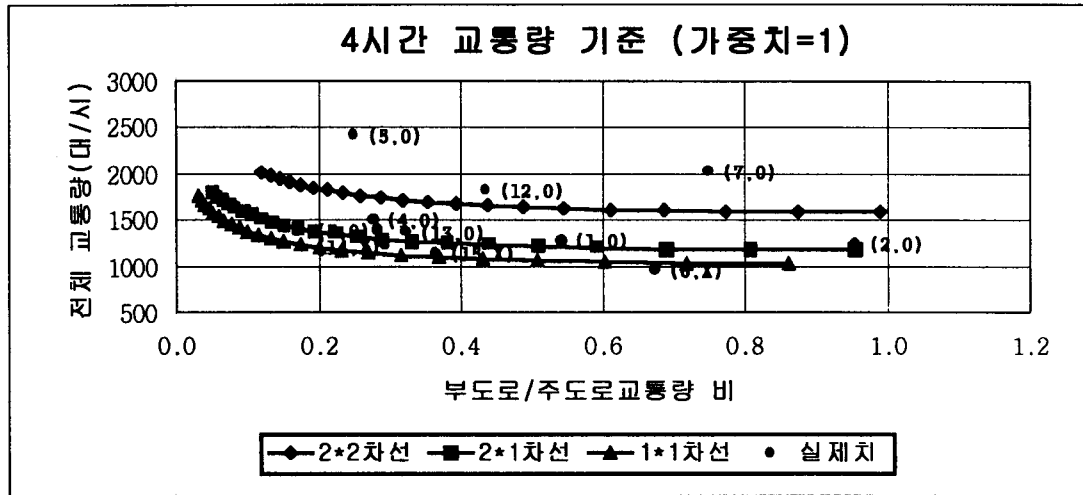
현재 미국에서 적용되는 기준에 조사된 자료를 적용하였을 경우 모든 교차로에 신호기를 설치하여야 한다는 결과가 도출되었고, 본 연구에서 제안한 기준 안에 의하면 지점 3,5,7,12에 신호기 설치가 적합하다든 결과가 도출되었다. 또한 변형된 미국의 기준안 중 A1안에서는 지점 1,5,7,12에 신호기 설치가 적합한 것으로 나타났다.

따라서 우리 나라에 적합한 교통량 신호기 설치 기준 안은 본 연구의 자료에 의하여 도출된 기준안과 변형된 미국의 기준 안을 병행하여 적용하는 것이 바람직하다.

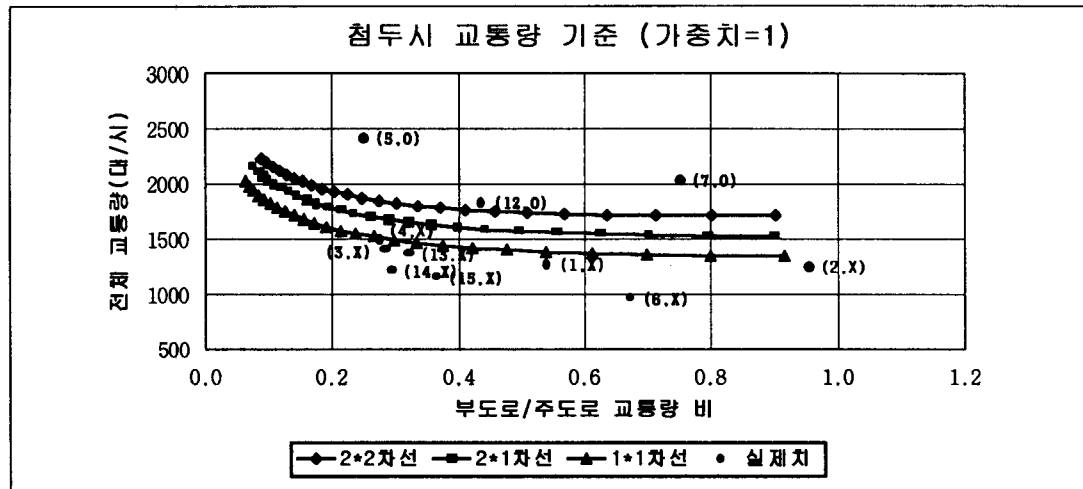
<표 9> 교차로의 기준 검증 (제안된 기준 2)

기준\지점		사지형 교차로							삼지형 교차로				
		1	2	3	4	5	6	7	12	13	14	15	
WARRANT9	A1	○	×	×	○	○	×	○	○	○	×	×	
	A2	○	○	○	○	○	×	○	○	○	○	×	
WARRANT11	A1	×	×	×	×	○	×	○	○	×	×	×	
	A2	○	×	×	×	○	×	○	○	×	×	×	
결 과	A1	○	×	×	○	○	×	○	○	○	×	×	
	A2	○	○	○	○	○	×	○	○	○	○	×	

○ : 신호기 설치기준에 적합한 경우 × : 신호기 설치기준에 부적합 경우



<그림 7> 변형된 4시간 교통량 설치기준 (W9A1)



<그림 8> 변형된 첨두시간 교통량 설치기준 (W11A1)

V. 결론

우리 실정에 맞는 신호기 설치 기준 중 교통량에 관한 기준을 정하기 위하여 본 연구는 현재의 상태에 대한 연구와 교통문화가 정착된 후에 대한 이상적인 상태에 대한 연구를 병행하여 기준 안을 제시하였다. 또한 미국 기준 중 4시간 교통량과 첨두시간 교통량에 관한 기준은 비교적 잘 적용되고 있어 이를 변형시킨 새로운 기준안도 제안하였다.

현재 상태와 이상적인 상태에 대한 연구에서 제안된 기준 안은 차선별 및 교차로 형태별로 제안되었다. 제안된 기준 안은 3지교차로 1*2차선 및 2*2차선의 전체교통량은 1400, 1600대/시보다 크면 신호기를 설치하여야 하는 것으로 나타났고, 4지교차로의 경우 1*1차선, 1*2차선, 및 2*2차선의 전체 교통량은 각각 1600, 1700, 1800대/시보다 크면 신호기를 설치하는 것으로 나타났다. 이 기준 안은 전체 교통량이 1400-1800대/시로 비교적 높게 나타났으며 주도로(양방향)교통량이 1050-1200대/시, 부도로(교통량이 많은 쪽) 교통량이 325-585대/시로 호주에서 제시한 4시간 교통량보다 주도로는 1.5배, 부도로는 3배 높게 나타났다.

미국 기준을 변형시킨 안은 부도로의 교통량을 두배로하고 전체 교통량과 부도로/주도로 교통량의 비로 전환된 기준으로서 실제 자료를 분석한 결과 기존의 기준안보다 비교적 완화된 기준 안으로 나타났다.

따라서 현재 상태와 이상적인 상태에서 도출된 기준 안은 교차로 형태 및 차선에 따른 자료수가 충분하지 않아 현단계에서는 변형된 미국 기준 안을 병행하여 적용하는 것을 본 연구에서 제안하고자 한다.

본 연구 자료 수집 중 두건의 사고를 목격하였다. 한건은 기계 설치 중, 다른 한건은 자료

수집 중 사고를 목격하였다. 따라서 추후 연구과제로서 신호기 설치 기준 안에 관한 연구는 보다 객관적인 교통량과 지체의 관계를 도출하기 위하여 더 많은 자료의 수집이 필요하며 사고에 대한 연구도 병행되어야 하겠다. 또한 현재 우리 나라의 모든 비신호 교차로는 모든 방향이 정지표지판으로 운영되는 교차로(MWSCl) 형태를 이루고 있으나 실제적으로는 두방향이 정지표지판으로 운영되는 교차로(TWSCl) 형태로 운영되고 있는 교차로가 많은 것으로 나타났으므로 추후 연구과제로서 MWSCl와 TWSCl의 운영 기준을 설정하는 연구가 지속되어야겠다.

참고문헌

1. 이영인, 이병철, 신호등 설치 기준 정립 방법에 관한 연구 -차량 교통량과 교통사고 중심으로-, 도로교통안전협회, 93-35-215, 1993
2. 交通信號の制御技術, 사단법인 교통공학연구회편, 1983
3. 교통공학 HandBook, 사단법인 교통공학연구회편, 技報堂출판, 1984
4. 岡本博之 編著, 道路交通の運營と管理, 교통공학연구회편, 1987
5. National Association Australian State Road Authorities Sydney 1988, Australia
6. Manual on Uniform Traffic Control Devices, U.S. Department of Transportation, FHWA, 1988
7. 치안본부, 교통안전시설 실무편람, 1996
8. W. Scott Wainwright, "Will Newly Approved Warrants Results in More Signals?", ITE Journal, December 1985
9. Peak-Hour Traffic Signal Warrant, NCHRP Report 249, TRB, 1982

10. Highway Capacity Manual, Special Report 209 (3rd Edition), Transportation Research Board, 1994
11. 도로용량편람, 건설부제정, 1992
12. Manual of Transportation Engineering Studies, Prentice-Hall, Inc., 1994, p72
13. 박용진, "비신호 교차로에서의 교통류 특성 및 접근지체 모형개발", 대한교통학회지, 제 12권 제2호, 1994
14. "Assembly, Analysis, and Application of Data on Warrants for Traffic Control Signals," Paul C. Box and Associates for Signals Committee National Joint Committee on Uniform Traffic Control Devices, March 1967
15. "Traffic Signal Warrant for Heavy Traffic Volumes Occurring During Short Periods of Time," Wibur Smith and Associates for West Virginia Department of Highways, April 1975
16. "Traffic Signal Warrants," KLD Associates, Inc. for the National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, National Research Council, December 1976
17. Anthony A.Saka, "Evaluation of Traffic Signal Warrants 1 & 2 Using Simulation," Transportation Research Board Washington, D.C. 1993
18. Michael N.Byrd and B. Stafford, "Analysis of Delay and User Costs at Unwarranted Four-Way Stop Sign Controlled Intersections," Transportation Research Board 969, 1984
19. Louis G. Neudorff, "Gap-Based Criteria for Signal Warrants", ITE Journal, February, 1985