중앙버스전용차로의 교차로 좌회전에 따른 버스 정지선 후퇴에 관한 연구

A Study on Backing Up the Bus Stop Line according to the Left Turn at Intersection on the Median Bus Lane

오 훈 (서울대학교 환경대학원 석사과정)
이 진 우 (서울대학교 환경대학원 석사과정)
이 영 인 (서울대학교 환경대학원 교수)

Key Words : 중앙버스전용차로, 좌회전, 정지선

목 차

Ⅰ. 서론
1. 연구배경 및 목적
2. 연구범위
Ⅱ. 기존 연구 및 관련 문헌 고찰
1. 버스 전용 차로의 고찰
2. 서울시 버스 전용 차로의 고찰
Ⅲ. 버스 정지선 후퇴 거리 산정 방법론
1. 딜레마 구간과 시거를 고려한 버스 정지선 후퇴 거리 산정
2. 교차로 신호와 시거 삼각형을 고려한 버스 정지선 후퇴 거리 산정
3. 버스 정지선 후퇴로 인한 좌회전 용량 예측
Ⅳ. 방법론 적용
1. 교차로 가정
2. 적용
3. 결과 요약
Ⅴ. 결론 및 향후 연구과제
Ⅵ. 참고문헌

Ⅰ. 서론

1. 연구 배경 및 목적

2004.7.1. 서울시는 대중교통체계 개편의 하나로 서울시 주요 간선도로에 중앙버스전용차로제를 시행하고 있다. 96년 천호대로에 중앙버스전용차로를 처음으로 시행하여 동 노선의 버스 속도가 평균 35km/h를 나타내고 있어 버스의 속도 향상은 분명한 것으로 판단된다. 2004.7.1.부터 확대 시행되는 중앙전용차로는 강남대로, 성산·수색로, 도봉·미아로가 있다. 그런데, 중앙버스전용차로를 실시하게 되면 기존 1차로를 버스가 전용으로 사용하게 되어 교차로에서의 좌회전을 허용치 않는 것이 원칙이다. 중앙버스전용차로의 버스는 직진만을 하기에 좌회전을 허용하게 되면 교차로 정지선에서 버스는 정지하고 일반 차량들이 2차로에서 좌회전을 하여 버스의 흐름에 방해를 줄 뿐만 아니라, 좌회전 차량들이 정지한 버스로 인하여 시야 확보가 되지 않아 안전상 많은 문제점을 갖게 된다.

하지만 현재 시행하고 있는 중앙버스전용차로의 교차로에서는 기존의 좌회전을 최대한 허용하고 있는 실정이다. 좌회전 불허용시 지역 주민들의 반발, 우회로 확보의 어려움 등으로 좌회전을 기존 2차로에서 허용하는 것이다. 교차로에서의 좌회전을 허용하면 보다 안전하게 좌회전 할 수 있는 방안을 찾아야 하는 데 중앙버스전용차로의 교차로에서 버스와 일반 차량의 정지선이 같이 놓여 있거나, 버스 정지선을 후퇴 시켜도 일정한 기준이 없어 좌회전시 운전자들이 위험을 느끼게 된다. 특히, 중앙버스전용차로의 교차로에서 버스와 일반 차량 정지선이 같이 놓인 채 좌회전을 하게 되면 대향 하위 차로에 있는 직진 차량이 좌회전 교통량을 미리 파악치 못하여 교차로 내에서의 충돌 위험이 매우 높은 실정이다.

본 연구의 목적은 중앙버스전용차로의 교차로 좌회전 허용시 보다 안전하게 좌회전 할 수 있는 방안을 찾는 것으로 특히, 교차로의 버스 정지선을 얼마나 후퇴시켜야 적절한가를 시거 삼각형, 차량 접근 속도, 인지·반응 시간 등을 이용

하여 제시하는 것이다.

2. 연구범위

중앙버스전용차로의 교차로 좌회전시 좌회전 차량의 시거와 대향 하위 차로 직진 차량의 시거 확보를 위한 방안을 신호 현시 순서, 신호 시간 등은 그대로 두고 버스 정지선 후퇴만을 중심으로 한정한다.

II. 기존 연구 및 관련 문헌 고찰

1. 버스 전용차로의 고찰

버스 전용 차로는 버스 우선 체계의 하나로 그 종류는 다음과 같다.

1)가로변 전용차로

가로변 전용 차로는 도로의 가로변 차로를 버스에 제공해 주는 형태로 가장 일반적으로 시행되고 있는 방식이다. 이 방식은 유지·관리비용이 적게 소요되고, 상대적으로 시행 과정이 단순하며, 수정 및 변경이 용이하다는 이점이 있다. 하지만 타 방식에 비해 시행에 따른 효과가 적고, 도심부 교차로에서의 우회전 차량과의 상충 및 정체를 유발하는 단점을 가진다.

2)역류 전용차로

역류전용차로는 일반 교통류와 반대 방향으로 1~2차로를 버스에 제공하는 방식으로 일방통행로에 주로 적용하는 기법이다. 이 방식은 버스 서비스를 계속 유지 하면서 가로망에 도입된 일방통행의 이점을 살릴 수 있으며 정시성의 문제를 유지·개선 시킬 수 있다. 하지만 일방통행에 비해 보행자 사고의 위험이 높고, 시행 과정이 까다로우며 비교적 비용이 많이 소요되는 단점이 있다.

3)중앙전용차로

중앙전용차로는 편도 4차로 이상의 기존 도로에 중앙차로를 버스에 제공하는 운용 방식이다. 이 방식은 일반 차량과의 상충을 억제하여 차량의 통행 속도 및 버스의 정시성 문제를 향상시킬 수 있으나 버스 정류장이 일반 차로 사이에 교통섬의 형태로 설치되어 일반 차로의 용량을 감소 시키며 정류장 접근시 일반 차로 횡단에 따른 안전 문제, 버스 도착을 기다리는 승객의 안전 확보 및 일반 차량의 좌회전 처리의 어려움 등의 문제를 발생 시킨다.

2. 서울시 버스 전용차로의 고찰[1)]

서울시는 93년 2월부터 한강로 등 4개 구간을 시작으로 현재 60여개 구간 약 220km의 버스전용차로를 운영하고 있다.

현재의 버스 전용 차로는 대부분이 가로변 전용 차로이며, 중앙 전용 차로는 '96년에 천호대로 구간(구의동 교차로 ~ 답십리 교차로) 4.5km, '03년에 하정로 구간(답십리 교차로 ~ 신설동 교차로) 3.1km를 설치·운영 중이며 2004.7.1.부터 강남대로(10.4km), 성산·수색로(9.9km), 도봉·미아로(15.8km)에 확대 실시하고 있다.

III. 버스 정지선 후퇴 거리 산정 방법론

1. 딜레마 구간과 시거를 고려한 버스 정지선 후퇴 거리 산정

1)교차로 내의 시거

교차로에서 여러 방향의 접근 차량들이 충돌없이 교차로를 통과하기 위하여는 모든 차량의 운전자가 타 차량의 위치 및 속도를 파악할 수 있도록 시거 확보를 하는 것이 중요하다. 이는 운전자가 교차하는 도로에서 차량이 접근 하는 것을 처음 인지하여 정지하는 데 필요한 거리를 말하는 것으로 운전자의 인지·반응 시간(2초)과 속도를 조절하는 데 걸리는 시간(1초)을 합해 총 3초 동안 이동한 거리로 가정하여 사용되고 있다. 속도별 3초동안 평균 이동한 거리는 <표 1>과 같다.

<표 1> 3초 동안 이동한 평균 거리

속도 (km)	20	30	40	50	60	70	80
거리 (m)	20	25	35	40	50	60	65

2)딜레마 구간

실제 황색 시간이 적정 황색 시간보다 짧으면 교차로의 정지선 이전에 딜레마 구간이 생긴다. 딜레마 구간이란 황색 신호가 시작되는 것을 보았지만 임계감속도로 인하여 정지선에 정지하기가 불가능하여 계속 진행할 때 황색 신호 이내에 교차로를 완전히 통과하지 못하게 되는 경우가 생기는 구간이다.

3)버스 정지선 후퇴 거리 산정

교차로 내의 시거와 딜레마 구간을 고려하여 좌회전 차량의 대향 하위차로에 있는 차량이 좌회전 교통량을 최소 얼마나 보아야 하는지(즉, 정지선에서 얼마 만큼 떨어져 있는 차량을 보아야 하는지)를 밝히고 이를 이용하여 버스 정지선 후퇴 거리를 산정한다.

1) 서울시 도심교통개발실 (http://www.metro.seoul.kr)

2.교차로 신호와 시거 삼각형을 고려한 버스 정지선 후퇴 거리 산정

1)교차로의 신호 고려

해당 교차로의 현시가 <표 2>와 같다면 4현시에서 직진 후 1현시에서 좌회전 할 때 시거를 확보해 주어야 한다. 이를 시거 삼각형에 의하여 살펴 본다

<표 2> 교차로 신호 현시 순서

ø 1	ø 2	ø 3	ø 4

2)버스 정지선 후퇴 길이 산정

교차로에서 좌회전 차량의 이동 거리(S)는 좌회전 반경을 r이라고 할 때 다음과 같다.

즉, $S=2\pi r/4$ (r는 좌회전 반경) · · · · · · · ①

또한 좌회전 차로에서 정지했던 차량(속도 V_{b0})이 좌회전을 마치는 데 이동한 거리(S)는,

$S= V_{b0}*t + \frac{1}{2}*a*t^2$ (a는 가속도, t는 이동시간) · · ·②

식 ①,②을 이용하여 가속도 a를 구하고, 인지 · 반응시간과 속도조절 시간 동안 이동한 거리를 구하면 이를 이용하여 버스 정지선 후퇴 거리를 산정할 수 있다.

3.버스 정지선 후퇴로 인한 좌회전 용량 예측

버스전용차로 설치로 인하여 좌회전 차량의 회전 궤적이 변하였다. 이에 버스 전용차로 설치 전과 설치 후, 정지선 후퇴 후의 좌회전 용량을 회전 반경 변화에 근거하여 예측하기로 한다. 이를 위하여 다음과 같은 가정을 둔다.

1)차량은 정지선에서 Θ만큼의 최대각을 가지고 출발할 수 있다.
2)좌측 도로 진입시 차량은 정지선과 직각으로 진입한다.
3)좌회전 원호의 곡율 반경은 일정한 것으로 간주한다.
4)대상 차량은 설계 기준 자동차 중 소형 자동차로 한다.
5)운전석 측면에 장애물이 없으면 운전자는 바로 회전하기 시작한다.(차량 앞면과 운전석까지 거리 1m)

이와 같은 가정하에 Θ값을 구하고 이를 이용하여 정지선 후퇴시 좌회전 곡율 반경과 용량을 예측한다.

Ⅳ. 방법론 적용

1.교차로 가정

중앙버스전용차로의 교차로 구조가 다양하여 <표 3>과 같이 가정한다.

<표 3> 교차로 가정

차로수	차로폭	연석-정지선	1차로	2차로
편도 5차로	3.1m	5m	버스전용	좌회전

2.적용

1)<그림 1>에서 차로 B에 접근하는 차량이 딜레마 구간에 의하여 계속 진행할 경우 이 때의 차량 속도를 v(5.8m/s), 차로 C에 정지해 있는 차량이 B차로로 접근하는 차량이 감속하는지 혹은 그대로 진행하는지 판단하는 데 걸리는 시간을 t(여기서는 C차로에 정지해 있는 상태여서 속도 조절이 필요 없으므로 2초)라 하면

$s = vt$, $s = 11.6$

따라서 차로 C에 정지해 있는 차량은 B차로의 정지선으로부터 11.6.m 까지의 시거를 확보할 필요가 있다.

다음은 11.6m까지의 시거를 확보하려면 버스 정지선을 기존의 정지선에서 얼마나 후퇴하여야 하는지를 산출해 보기로 한다. <그림 1>에서

$\triangle abc \sim \triangle afg$,

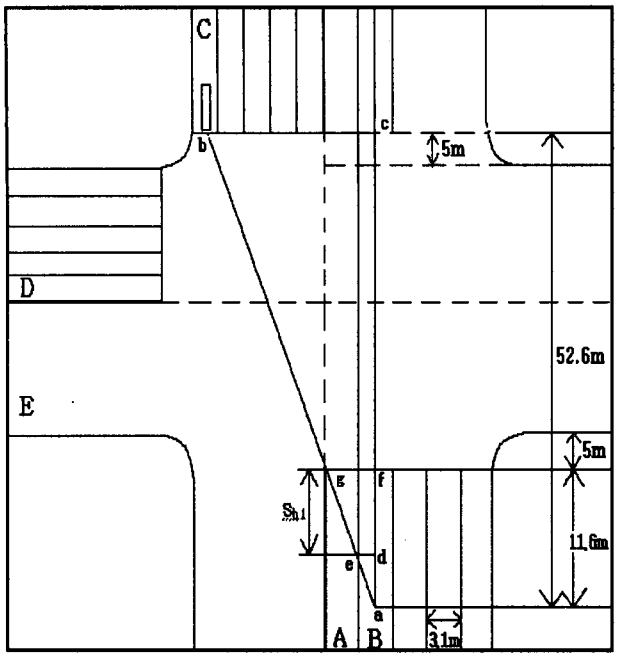
$18.6 : 52.6 = gf : 11.6$, $\therefore gf = 4.1m$

$\triangle afg \sim \triangle ade$,

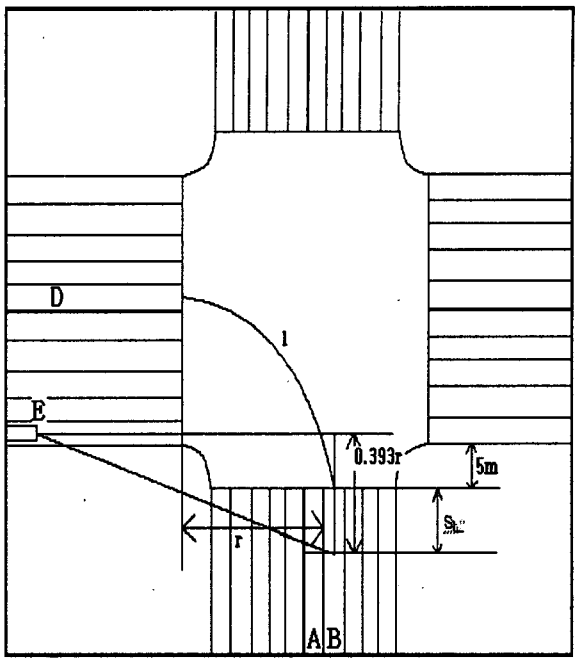
$11.6 : 4.1 = 11.6-s_{bi} : 1.55$, $\therefore s_{bi} = 7.2m$

그러므로 버스 전용차로의 정지선 후퇴 길이는 기존 정지선으로부터 7.2m가 된다.

<그림 1>딜레마 구역과 시거를 고려한 버스 정지선 후퇴 길이 산정



<그림 2>시거 삼각형을 고려한 버스 정지선 후퇴 길이 산정



2)<그림 2>와 같은 교차로에서 차로 E에서 직진하는 차량의 속도를 Ve = 60km/h, 차로 B에서 좌회전하려는 차량의 초기 속도 V_{b0} = 0 , 차로 B에서 출발하는 첫 차량이 차로 D에 진입하는 데 걸리는 시간을 약 8초, 포화교통류의 경우 차로 B에서 차로 D로 진입하는 데 걸리는 시간을 약 6초(t)라고 가정 한다.(회전반경 약 23m인 교차로에서 관측한 평균값이다.) 교차로의 좌회전 반경을 r, 좌회전 차량이 그리는 곡선의 길이(호의 길이)를 l, 차량의 가속도를 a, 인지 · 반응시간 2초,속도조절 시간 1초, 총 3초라고 하면

차로 B에서 차로 D로 진입한 거리 S는 다음과 같다.

$$S = V_{b0} * t + \frac{1}{2} * a * t^2$$

이 때 S는 호의 길이 l과 같다.

$l = 2\pi r/4$, $2\pi r/4 = \frac{1}{2} * a * t^2$, t 값은 포화 교통류일 때의 값 6이다.

그러므로 a는 $0.0873r(m/s^2)$이다.

이 가속도 a로 3초간 진행한 거리 S를 계산 하면

S = 0.393r(m)

만일 r가 23.6m이면 S는 9.27m이다. 따라서 <그림 2>에서 S_{b2}는 4.27m가 된다.

차로 E상의 직진차량 속도로부터 구한 시거 삼각형의 차로 E에 해당하는 변의 길이가 약 50m이고, 차로 B에 해당하는 변의 길이는 9.27m이다. 이에 의하여 버스 정지선의 후퇴 길이를 구하면 4.27m보다 약간 줄어드나 안전상 이를 이용하기로 한다.

3)좌회전 차량의 회전 반경과 용량 예측

① Θ의 도출

<그림 3>과 같은 제원의 경우(폭 : 1.7m, 길이 : 4.7m, 도로 폭 : 3.1m)

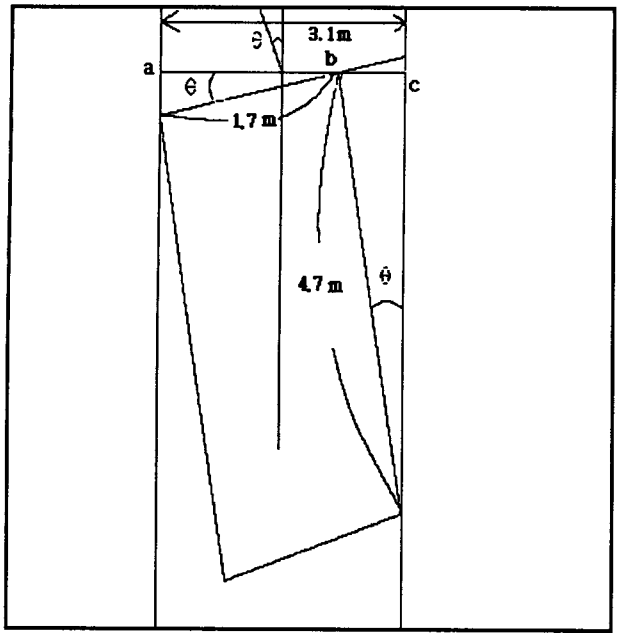
ab + bc = 3.1, ab = 1.7cosΘ, bc = 4.7sinΘ

1.7cosΘ + 4.7sinΘ = 3.1

∴ Θ = 18.45° = 0.322(rad)

즉, 승용차가 미리 정지선에 대하여 가질 수 있는 각의 최대값은 0.322rad 이다.(단, 차량은 차로에서 승용차의 축과 차륜축을 직각으로 가진다.)

<그림 3> 대상 차량의 제원



② 좌회전 곡율 반경의 산출 및 용량 예측

(1)버스 전용차로 설치전·후 비교

<그림 4>에서 r = r_1 - 차로폭

따라서, 버스 전용차로 설치전 보다 설치 후에 곡율 반경은 3.1m 더 커진다.

(2)버스 전용차로 설치 후 정지선 후퇴시

위에서 구한 Θ 값을 가지고 주어진 가정에 따라 버스 전용차로의 정지선 후퇴시 차량의 좌회전 반경(r_2)을 구하면 <그림 4>에서

$r_2 = r_1/\cos\Theta$

$=r_1(1+\frac{\theta^2}{2}+\frac{5\theta^4}{24}+\cdots\cdots)\fallingdotseq 24.88$ (r_1=23.6m)

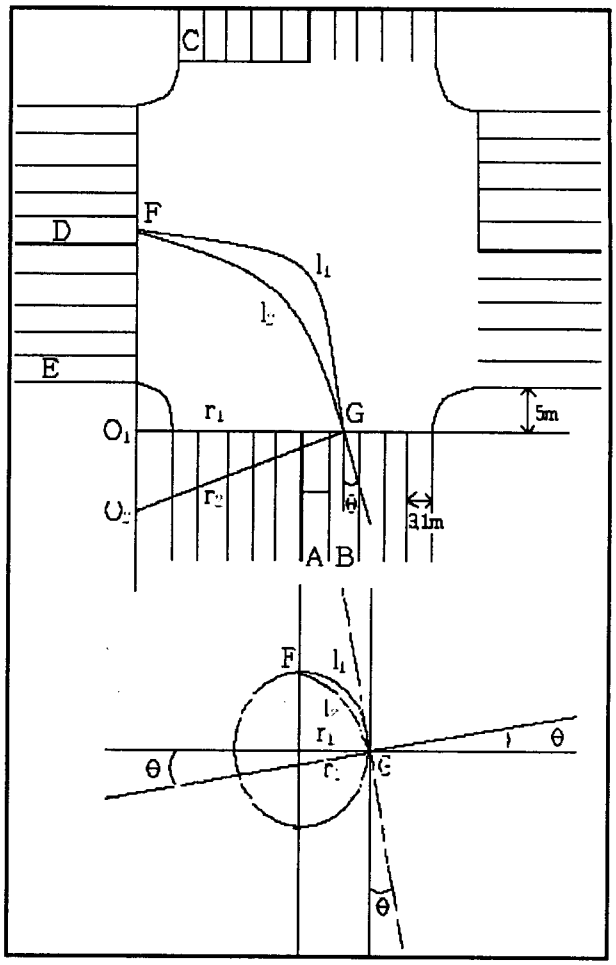
정지선 후퇴전에 비하여 곡율 반경은 약 1.3m 증가한다.

(3)곡율반경에 따른 좌회전 용량 예측

곡율 반경이 커질수록 좌회전 차량의 차두 시간은 짧아진다. 즉, 좌회전 용량은 증가하게 된다. 김기용[2]의 연구에 따르면 좌회전 교차로 진입부 폭이 18.8m일 때 좌회전 반경이 20m에서 24m까지 2m씩 늘어날 때마다 포화교통량이 20대 정도 늘어나는 것으로 나타나고 있다. 이에 따르면 1.3m의 반경이 증가한다면 정지선 후퇴 전보다 포화 교통량이 10~15대 정도 증가할 것으로 예측된다.

2) 김기용,"교차로 좌회전 궤적에 따른 정지선 위치에 관한 연구",대한교통학회,2000.6.

<그림 4>좌회전 곡율반경의 산출



3.결과 요약

중앙버스전용차로의 교차에서 좌회전을 허용할 때 좌회전 차량의 시거와 대향 하위차로의 시거 확보를 위한 적절한 정지선 후퇴 거리와 이에 따른 좌회전 반경과 용량에 대하여 정리를 하면 다음과 같다.

1)딜레마 구역과 시거를 고려하여 버스 정지선 후퇴 거리를 산정할 때 적절한 후퇴 거리는 7.2m

2)교차로 신호와 시거 삼각형을 고려할 때 4.2m

3)운전자는 측면 장애물이 없을 때 회전을 시작하고 차량 앞면과 운전석까지의 거리를 1m라고 하면 위 후퇴 거리는 이를 포함하여 좌회전 반경은 1.3m증가하고 포화교통량은 10~15대 정도 증가할 것으로 예측된다.

4) 1),2),3)을 만족할 수 있는 버스 정지선 후퇴 거리는 7.2m이다.

V.결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 중앙버스전용차로의 설치시 교차로 좌회전을 허용한다는 전제하에 보다 안전한 좌회전을 위하여 버스 정지선의 적절한 후퇴 거리 산출 방안을 도출 하였다. 본 연구에서 제시한 방법은 중앙버스전용차로의 교차로 설계시 안전성 확보에 많은 도움을 줄 것으로 기대된다. 적절한 버스 정지선의 후퇴로 인하여 대중교통의 원활한 소통과 좌회전 차량의 안전성 확보를 바라는 바이며 향후에는 버스 정지선 후퇴로 인한 버스의 교차로 정체 여부와 신호 순서의 변경, 황색 신호의 연장 여부, 좌회전 용량 변화 등에 대하여 살펴보아야 할 것이다.

VI.참고문헌

1.도철웅, 교통공학원론, 청문각, 2004

2.건설교통부, 도로용량편람, 대학교통학회, 2001

3.건설교통부, 도로의 구조.시설기준에관한 규칙 해설 및 지침, 2000

4.서영욱, 도심지역 가로변 버스전용차로 설치기준 설정방안 연구, 서울시립대학교 석사논문, 2003.

5.김기용, 교차로 좌회전 궤적에 따른 정지선 위치에 관한 연구, 대한 교통학회, 2000.6.

6.American Association of State Highway and Transportation Officials, "A Policy on Geometric Design of Highway and Streets", Washington. D.C. 1994.

7.H.Douglas Robertson, "Manual of Transportation Engineering Studies", Institute of Transportation Engineers