

자료기반의 버스신뢰성 관리방안, 서울시를 중심으로

Methodology To Manage Data based Bus Reliability, Seoul Metropolitan

이호상
(서울시립대학교 박사과정)

정영제
(서울시립대학교 박사과정)

임정실
(아주대학교 박사수료)

김영찬
(서울시립대학교 교수)

Key Words: 대중교통, APTS(Advanced Public Transit System), BMS(Bus Manage System), 준공영제, 운행관리지표

목 차

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> I. 서론 <ul style="list-style-type: none"> 1. 연구배경 및 목적 2. 연구방법 II. 관련자료 고찰 <ul style="list-style-type: none"> 1. 서울시 시스템 2. 타 지자체 시스템 3. 국내외 운행관리 III. 서울시 운행관리 | <ul style="list-style-type: none"> 1. 시내버스평가 개요 2. 차고지 배차정시성 3. 운행중 차량물림율 4. 도착시간 준수율 5. BMS준법운행 6. 첫·막차시간 준수 IV. 결론 및 향후연구 참 고 문 헌 |
|---|---|

I. 서론

1. 연구배경 및 목적

경제발전으로 보다 나은 이동서비스 욕구 증대로 승용차 대수는 날로 증가하고 있으며, 그에 따른 교통혼잡비용¹⁾도 크게 증가하고 있다. 더욱이 최근 유류비마저 큰 폭으로 인상되어 교통혼잡비용이 더욱 늘어나고 있는 실정이다.

교통혼잡비용 등 외부효과(externality)를 최소화하기 위해서는 대중교통(특히 버스)의 역할이 매우 중요하나, 버스의 접근성불량, 불규칙한 배차간격, 난폭운행 등으로 이용승객이 점점 줄어드는 추세에 있다. 따라서, 대다수의 버스노선이 지속적인 수요감소, 수입감소, 경영수지악화, 서비스질 저하, 이용자감소의 악순환으로 경영위기 및 폐업이 발생하고 있으며, 그 피해는 고스란히 시민에게 돌아가고 있다.

여러 대도시에서는 버스의 정시성 확보 및 관련 운행정보 수집·제공을 위해 첨단대중교통체계(APTS, Advanced Public Transit System)를 기 설치하였거나, 설치를 추진중이다. 또한, 일부 대부도시에서는 버스의 공공성 강화의 일환으로 준공영제(관리는 공공, 운영은 민영)를 도입하고 있다.

첨단대중교통체계(APTS) 및 준공영제를 도입한 서울시의 경우, 버스관리를 위한 공공부분의 행정력이 크게 요구되었으며, 당초 민간의 관리기법을 도입하여 효율성을 제고하고

자 했던 의도와는 다르게 운수회사의 자발적인 운행관리가 이루어 지지 않는 등 비효율이 발생하여, 각종 시스템에서 수집된 자료를 어떻게 활용하여 효율적인 버스운행이 되도록 관리할 것인가가 매우 중요하게 되었다.

본 연구에서는 서울시 사례를 중심으로, 첨단대중교통체계(APTS)에서 수집되는 자료를 활용하여 민간 운수회사의 평가관리 및 시민이 피부로 느낄 수 있는 버스신뢰성 제고를 위해 관리하고 있는 지표와 분석방법론, 관리결과 및 향후 개선방안에 대하여 고찰하고자 하며, 본 연구내용이 이미 준공영제를 도입하였거나, 도입을 준비하고 있는 타 시·도의 운행관리정책에 많은 참고자료로 활용되기를 희망한다.

2. 연구방법

서울시에서 도입되어 운영중인 대표적인 첨단대중교통체계(APTS)인 신교통카드 시스템과 BMS(Bus Management System)에 대한 시스템구성 및 산출자료에 대하여 살펴보고, 신뢰성(Reliability)과 관련된 운행관리 지표에 대한 문헌조사를 실시하고, 우리나라 각 지방자치단체에서 도입한 BIS(Bus Information System)/BMS의 시스템 및 운행관리 현황에 대해 고찰하여 본다.

이와 비교하여 서울시에서 관리중인 운행관리 지표의 도입목적, 관리방향, 분석기초자료, 관리결과를 고찰하여 자료기반의 운행관리의 중요성을 살펴본다.

1) 서울시 연평균 교통혼잡비용 증가율 7.47%, 2004년 혼잡비용 5조 7천억원 (2004년 전국교통혼잡비용 산출과 추이분석, 한국교통연구원)

II. 관련자료 고찰

1. 서울시 시스템

1) 신 교통카드시스템

(1) 시스템 구성

신 교통카드시스템은 사용자가 교통요금을 지불하기 위한 다양한 지불매체 및 요금수집을 위한 단말기, 집계시스템, 센터 시스템 그리고 교통요금의 정산 및 카드의 발급, 충전·환불, 시스템의 관리를 위한 정산·관리센터 등으로 구성된다.

전체 시스템 중 버스시스템은 전체 차량(7,748대)에 설치된 단말기와 차고지의 집계시스템간에 무선통신을 통해 운행정보, 거래내역 등의 데이터를 송/수신하고, 차고지 집계시스템에 수집된 데이터는 <그림 1>과 같이 전산센터로 전송한다.

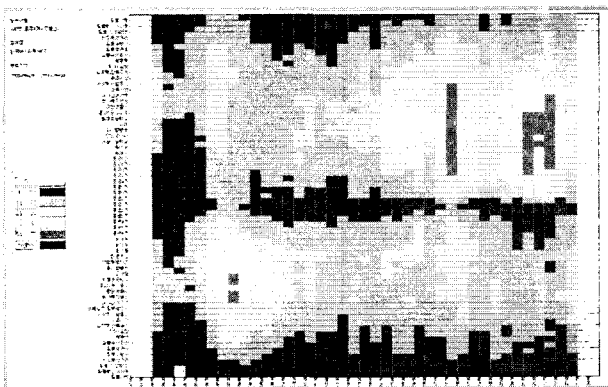


<그림 1> 교통카드 버스시스템 구성

(2) 산출자료

교통카드에서 산출되는 자료는 크게 정산용 자료 및 분석용 자료로 나뉘어 지는데, 버스와 관련된 정산용 자료에는 노선별 요금수입(카드, 현금 등), 노선별 운행횟수 등이 있다.

교통카드시스템이 정산을 위해 개발되었기 때문에, 분석용 자료는 자동 산출되지 못하고 정산용 자료를 추가 가공처리 해야 하는데 노선별/정류소별 승하차/재차인원, 노선별 대당 일일 승객수, 정류소별 OD자료 등의 자료가 있다. <그림 2>는 분석용자료 중 특정노선의 시간대/정류소별 도식화한 예시이다.



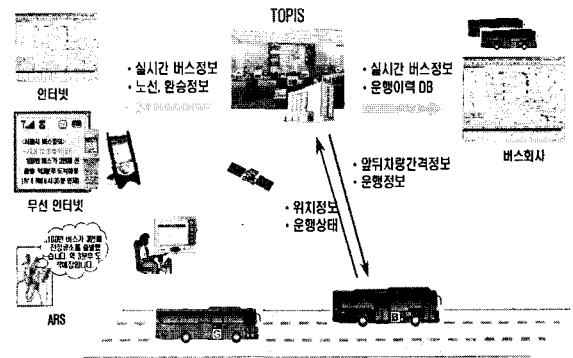
<그림 2> 재차인원 그래프

2) BMS(Bus Management System)

(1) 시스템구성

BMS란 GPS 등 정보 통신기술을 통하여 수집된 버스의 위치좌표, 시간 등의 가공하고, 버스운행 관련 각종 정보를 제공하여 효율적인 버스운송 및 시민의 편의를 도모하기 위한 버스 운행관리 시스템을 말한다.

BMS는 운전자의 운행상황 확인 및 관리자의 메시지 송수신을 위한 차량단말기, 운행상황(배차간격, 돌발상황발생 등) 모니터링 및 단말기DB관리를 위한 센터(TOPIS, 운수사관제실), 버스의 운행정보제공을 위한 매체(인터넷, 정류소안내단말기 등)로 구성되며, 개략적인 시스템구성은 <그림 3>과 같다.



<그림 3> BMS 시스템 구성

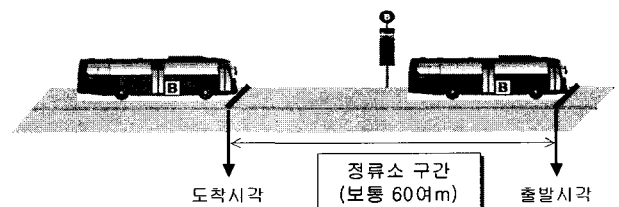
(2) 산출자료

BMS에서 산출되는 자료는 통신상태 점검을 위한 정류소별 버스도착시간 및 정보수집시간(62data), 운행관리를 위한 정류소별 버스도착시간 및 출발시간(63data) 그리고 준법운행 유도를 위해 관리하는 정류소별/차량별 과속, 개문주행, 무정차통과, 급가속, 급제동의 이력자료가 있다.

62data는 통신지연, 통신운영 등을 파악하기 위해 산출되는 자료로, 시내버스가 실제로 정류소에 도착하는 시간과 센터 수집시간 차이를 모니터링하기 위한 자료이다.

63data는 차량별/정류소별 도착시각, 출발시각자료로 운전자에게 실시간 배차간격 정보제공, BIS 및 ARS 정보제공, 버스 운행실태관리 등에 사용되며, 정류소의 도착 및 출발시각은 GPS에 입력된 정류소좌표 범위를 통과하는 시각으로 <그림 4>에서 보는 바와 같이 적용된다.

GPS 산출자료와 각종 검지센서를 추가 부착하여 과속, 개문주행, 무정차, 급가속, 급제동자료가 산출된다.



<그림 4> 정류소 출·도착시간 개념

2. 타 지자체 시스템

버스의 정시성향상, 이용시민 편의증대, 대중교통이용 활성화 등을 위하여 여러 지자체에서 BIS/BMS를 도입하여 운영중이며, <표 1>과 같이 버스위치검지 및 통신방식을 각 지자체 실정에 맞게 도입하여 운영중이다.

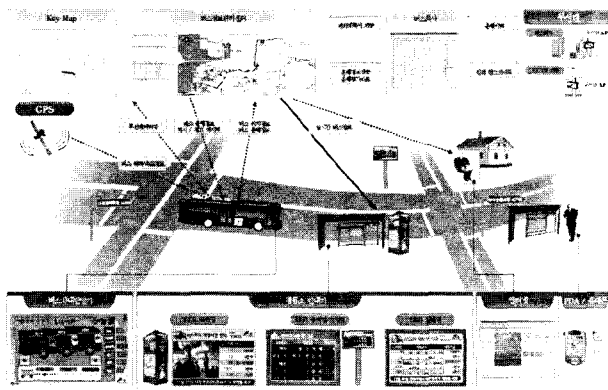
<표 1> BMS/BIS 구축현황

지자체	구축 방식	사업규모			적용기술	
		전노선	차량 대수	정류소 안내기	위치 검지	통신방식
서울	BMS	전노선	7,748	6	GPS	임대(무선데이터)
대구	BMS	전노선	1,633	52	GPS	임대(CDMA)
대전	ITS	전노선	940	200	DSRC	자가(DSRC)
울산	ITS	76	573	5	GPS	임대(무선데이터)
광주	BIS	1	20	20	GPS/RF	자가(RF)
부산	BIS	11	178	73	GPS/RF	자가(RF)
인천	BIS	2	57	.20	GPS/RF	자가(RF)
과천	BIS	6	191	11	GPS/RF	자가(RF)
부천	BIS	57	704	160	GPS/RF	자가(RF)
군포	BIS	21	38	21	GPS/RF	자가(RF)
안양	BIS	42	516	50	GPS	임대(무선데이터)
고양	BIS	7	103	22	GPS/RF	자가(RF)
제주	ITS	전노선	216	200	GPS	임대(CDMA)
전주	ITS	전노선	409	50	DSRC	자가(DSRC)

출처 : 「인천광역시 BIS/BMS 구축에 관한 연구」, 인천발전연구원, 2006

1) 인천 - GPS/RF

일부 노선에 버스안내정보시스템(BIS)을 구축하여 시민운영 중으로, 위치 추적 비콘과 GPS를 혼용하여 사용하고 있으며, RF비콘과 RF자가망 무선기지국을 이용하여 센터로 송신하는 무선통신방식을 사용하고 있다.



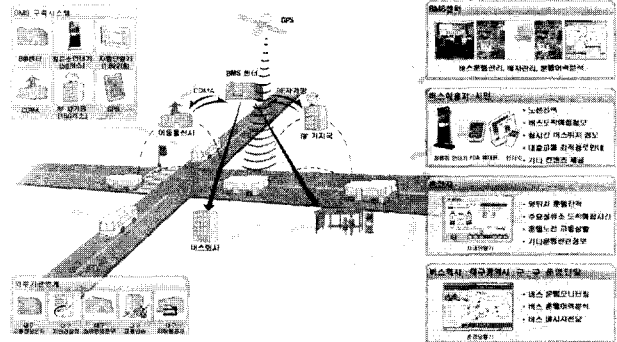
<그림 5> 인천시 시스템 구성

2) 부산 - GPS/RF

인천시와 마찬가지로, 위치자료 수집을 위해 GPS와 비콘을 이용하고 있으며, RF자가망을 이용하여 센터로 송신하는 무선 통신방식을 사용하고 있다.

3) 대구 - GPS/CDMA

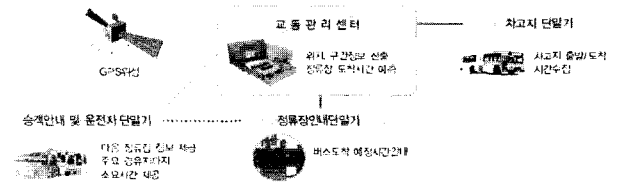
전체노선에 GPS를 장착하여 위치자료를 수집하고 CDMA통신망을 이용하여 센터로 자료를 송수신하며, 수집된 자료를 활용하여 도착예정시간, 출발상황 등의 정보를 제공한다.



<그림 6> 대구시 시스템 구성

4) 울산 - GPS/무선데이터

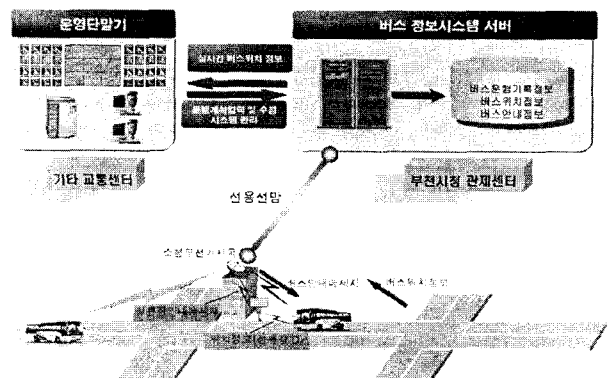
지능형교통체계(ITS, Intelligent Transport System) 사업시행으로 시내버스 전차량에 차량단말기를 장착하여 버스안내정보시스템(BIS)을 도입하여 운행중에 있으며, GPS를 통해 위치 정보를 수집하고 통신방식은 무선데이터망을 이용한다.



<그림 7> 울산시 시스템 구성

5) 부천 - GPS/RF

통신장비가 내장된 비콘 및 무선기지국 장비를 설치하여 버스위치정보를 수집하고, 외부에 도착시간정보를 제공하는 비콘 방식의 버스정보안내시스템(BIS)을 도입하여 운영중이다.



<그림 8> 부천시 시스템 구성

3. 국내외 운행관리

1) 국외

(1) TCQSM²⁾

(Transit Capacity and Quality of Service Manual)

TCQSM에서 제시하고 있는 성과척도(Performance Measure)는 <표 1>와 같이 운전자측면, 이용자측면, 차량측면 3가지로 구분하여 제시하고 있다.

<표 2> 성과척도 항목

구분	대항목	소항목
운전자측면	서비스제공정도, 경제성, 승객이용도 등	운영수입, 운영비용, 최대이용차량대수 등
이용자측면	유용성, 편리성, 쾌적성, 신뢰성 등	서비스시간, 재차인원, 정시성, 대기시간 등
차량측면	운행용량, 속도, 지체도 등	정류소처리용량, 차량용량, 평균통행속도 등

TCQSM에서는 3가지 측면으로 나뉘어 여러 성과척도를 제시하고 있으나, 운전자측면(신뢰성, reliability)을 제외한 나머지 부분은 노선에 절대적인 영향을 받는 항목으로 운수업체의 노력과는 거의 무관하기 때문에, 준공영제에서 운수업체의 평가관리에 활용이 가능한 신뢰성 측면에서 소개된 항목은 on-time performance(정시도착성), headway adherence(차두간격 균등성)로 나뉘어져 있다.

① on-time performance (정시도착성)

일반적으로 배차간격이 10분이상인 노선에 주로 적용되며, 정류소에 도착예정시간부터 5분 지연도착 까지를 정시도착(0분~+5분)으로 인정하여, 정체운행횟수 중 정시에 도착하는 비율을 토대로 서비스 평가를 실시한다.

② headway adherence (차두간격 균등성)

평균적으로 배차간격이 10분이하인 노선에 적용되며, 식(1)과 같이 정해진 배차간격과 실제 배차간격 사이의 분산을 이용한 분산계수(Cv, coefficient of variation)에 의해 서비스수준을 산정한다.

$$C_v = \frac{\text{standard deviation of headways}}{\text{scheduled headway}} \text{ -식(1)}$$

(2) TCRP (참고문헌 8)

버스의 양적, 질적 서비스 평가를 위한 항목은 매우 많지만, TCRP에서는 미국을 10개 권역으로 나누어 운수업체를 조사한 결과, <표 2>와 같이 크게 5가지로 분류하였다.

<표 3> 노선평가항목

구분	평가항목
노선설계	인구/고용밀도, 연결성, 서비스형평성, 직선도, 타 노선과의 이격 등
운행계획수립	첨두/비첨두 고려, 최대입석인원, 최대간격, 최소간격, 환승대기시간, 운영시간 등
경제성 및 생산성	인/시간, 비용/인, 인/km, 보조금/인 등
수송현황 모니터링	정시도착성, 차두간격 균등성
승객편의 및 안전	불편민원, 결행, 사고, 청결도, 차량상태 등

수송현황 모니터링부분이 버스도착 신뢰성측면에 해당되며, TCQSM과 마찬가지로 정시도착성과 차두간격 균등성을 제시하고 있다.

① on-time performance (정시도착성)

정시도착성의 실효적인 분석을 위해서는 많은 샘플자료를 확보해야 하기 때문에 자동차량위치(AVL, Automatic vehicle location)장치로 관리되어야 하며, 정시도착의 기준은 TCQSM과 동일하다.

② headway adherence (차두간격 균등성)

정시도착성과는 다르게 정시도착 및 결행과는 상관없이 버스이용자 입장에서 버스가 도착하는 시간간격 정도를 분석하는 것으로 TCQSM과 동일한 방식이다. 예를 들어, 5분간격 노선의 경우 모든 차량이 1분씩 조기운행한 경우 정시도착성은 0%이나, 차두간격 균등성은 100%이다.

2) 국내

대부분의 지자체에서는 구축된 시스템에서 수집된 자료를 단순정보제공에만 활용하고 있으며, 일부 지자체에서 버스의 운행상황 분석에 활용하고는 있으나, 그 결과를 다시 현장(운수회사, 운전자)에 적용하여 운행개선에 활용하는 Feedback 기능이 매우 미흡하다.

인천시는 일부노선에 BIS를 시범운영하고 있으며, 향후 BIS/BMS의 확대 도입 후 준공영제를 실시할 예정으로, 준공영제를 도입시 서울시와 마찬가지로 정시성 및 몰림율 등 여러 운행관리 지표를 지속적으로 분석·관리할 예정이다.

부산시는 BIS 및 준공영제를 도입하여 운영중에 있으나, 관리시스템 및 인력부족 등으로 정산에 필요한 자료는 산출되나 운행관리에 필요한 분석은 이루어지지 않고 있다.

부천시는 수집자료를 버스도착정보제공, 배차간격균등성 등 내부자료로 활용하고 있으나 Feedback기능은 없다. 최근 교통정보센타를 설치하여 운영하고 있으며, 향후 버스운행관련 지표개발 및 지속적인 평가·관리를 실시할 예정에 있다.

대구시는 수집자료를 버스도착정보제공, 계획시간 대비 조기도착 관리 등에 활용하여 Feedback기능을 수행하고 있다.

2) Transit Capacity and Quality of Service Manual-2nd Edition, TRB, Washington DC., 2003

III. 서울시 운행관리

1. 서울시내버스 평가개요

1) 성과이윤(인센티브)

2004년 준공영제 도입이후, 68개 운수회사 간 선의의 경쟁을 유도하여 경영 및 서비스 수준을 향상시키기 위해, 운수회사에 지급하는 비용 중 일부를 따로 모아 두었다가 경영성과에 따라 차등 분배하는 돈을 성과이윤(인센티브)이라 한다 (2007년 200여억원).

2) 평가지표

평가항목은 3개 분야, 10개 지표로 구성되며, 평가총점은 2,000점 중 BMS활용 운행관리에 180점(9%)이 할당되어있다. 이와는 별도로 14개의 가·감점 항목(감차, 현금탈루, 인건비 횡령 등)이 존재해 다각도로 운수업체를 평가관리하고 있다.

<표 4> 평가지표

평가분야	평가지표	점수	평가방법
운행관리 (480)	안전운행지수 (10%)	200	<ul style="list-style-type: none"> ○사고발생건수·유형에 따른 사고지수 ○인사(징계)위원회 외부인사 구성실적 ○총 운전자수 대비 면허취소 및 면허정지일수 ○운수과징금, 운전자과태료 등 행정처분 금액
	근로자 복지지수 (5%)	100	<ul style="list-style-type: none"> ○퇴직금 추계액 대비 퇴직금 금융기관 예치실적 ○근로자 1인당 지급된 복리후생비 ○근로자 1인당 평균채불실태
	BMS 활용 운행관리 (9%)	180	<ul style="list-style-type: none"> ○차고지배차 정시성 ○운행중 차량물림율 ○정류소 도착시간표 준수율 ○BMS 준법운행 ○착·막차시간 준수 ○BMS 담당자 전입 및 교육이수 유무
서비스개선 (700)	서비스품질 평가(30%)	600	<ul style="list-style-type: none"> ○시내버스 시민만족도(300점) ○시내버스 모니터링(300점)
	오염도평가(5%)	100	○경유차량 배기가스 오염도 측정
경영개선 (820)	CNG버스 등 도입 (12.5%)	250	<ul style="list-style-type: none"> ○천연가스버스 총 도입율 ○당해년도 CNG버스, 저상버스 도입실적 ○CNG충전소 확보율
	운송수지 개선(5%)	100	<ul style="list-style-type: none"> ○효율적인 인력운용을 통한 운송비 절감 ○효율적인 인력운용을 통한 운송비 개선
	재무 건전성 (10%)	200	<ul style="list-style-type: none"> ○수정영업 이익률 ○자기자본 비율 ○수정매출 총이익률 ○이자보상배율 ○대당 자기자본 증가액 ○대당 기타 차량유지비·인건비·기타관리비
	수입·지출의 투명성 (7.5%)	150	<ul style="list-style-type: none"> ○운전직 인건비 은행계좌 이체비율 ○현금영수증 발급비율 ○회사별 인가대수 대비 현금자동인식기 장착율
	내부개선 (6%)	120	<ul style="list-style-type: none"> ○경영건전성(평가결과 평가위원회 별도심의) ○운수종사자 복지·후생시설 개선

2. 차고지 배차정시성

1) 상세인가

서울시에서는 버스이용수요(카드자료) 및 운행소요시간(BMS) 자료 등을 기초로 하여 운행가능대수, 근로여건, 최대/최소 재차인원, 최대/최소 배차간격 등을 고려하여, <그림 9>와 같이 노선단위의 상세배차계획을 계절별, 일자(평/토/공휴일)별로 수립하여, 준수토록 관리하고 있다.

000번 인가대장																
□ 기본정보																
업체명	노선 번호	기종점	인가 대수	구분	운행대수	표준 시간 (4분)	운행 대당횟수	운행 횟수	배차구격(비)	정시 시간	막차 시간	비고				
000여객	000	우이동 서동역	27	도	26	23	3	337	117	620	400	201	4	7	4:25	24:14
				토	23	17	6	337	115	630	400	185	5	8	4:25	24:14
				공	20	15	5	337	107	650	400	148	6	9	4:25	24:14
□ 상세정보																
업체명	노선 번호	시간대	운행횟수	배차간격	운행횟수	배차간격	운행횟수	배차간격	비고							
000여객	000	전체합계(평균)	201	4-7	185	5-8	148	6-9								
		03:30 - 03:30														
		03:30 - 04:00														
		04:00 - 04:30														
		04:30 - 05:00	6-7	5	5-6	6	4-5	7								
		05:00 - 05:30	6-7	5	5-6	6	4-5	7								
		05:30 - 06:00	6-7	5	5-6	6	4-5	7								
		06:00 - 06:30	7-8	4	6-7	5	5-6	6								
		06:30 - 07:00	7-8	4	6-7	5	5-6	6								
		07:00 - 07:30	6-7	5	5-6	6	4-5	7								
		07:30 - 08:00	6-7	5	5-6	6	4-5	7								
		08:00 - 08:30	6-7	5	5-6	6	4-5	7								
		08:30 - 09:00	6-7	5	6-7	5	3-4	8								
		09:00 - 09:30	5-6	6	5-6	6	3-4	8								
		09:30 - 10:00	5-6	6	5-6	6	3-4	8								
		10:00 - 10:30	5-6	6	4-5	7	3-4	8								
		10:30 - 11:00	4-5	7	4-5	7	3-4	8								
		11:00 - 11:30	4-5	7	4-5	7	3-4	8								
		11:30 - 12:00	5-6	6	3-4	8	3-4	9								
		12:00 - 12:30	5-6	6	3-4	8	3-4	9								
		12:30 - 13:00	6-7	5	4-5	7	3-4	8								
		13:00 - 13:30	6-7	5	4-5	7	3-4	8								
		13:30 - 14:00	5-6	6	5-6	6	3-4	8								
		14:00 - 14:30	5-6	6	5-6	6	4-5	7								
		14:30 - 15:00	5-6	6	5-6	6	4-5	7								
		15:00 - 15:30	6-7	5	5-6	6	4-5	7								
		15:30 - 16:00	6-7	5	5-6	6	4-5	7								
		16:00 - 16:30	5-6	6	5-6	6	3-4	8								
		16:30 - 17:00	5-6	6	5-6	6	4-5	7								
		17:00 - 17:30	5-6	6	5-6	6	4-5	7								
17:30 - 18:00	5-6	6	5-6	6	3-4	8										
18:00 - 18:30	5-6	6	5-6	6	3-4	8										
18:30 - 19:00	5-6	6	5-6	6	3-4	8										
19:00 - 19:30	5-6	6	4-5	7	3-4	8										
19:30 - 20:00	4-5	7	4-5	7	3-4	8										
20:00 - 20:30	4-5	7	4-5	7	3-4	8										
20:30 - 21:00	5-6	6	4-5	7	3-4	8										
21:00 - 21:30	5-6	6	4-5	7	3-4	8										
21:30 - 22:00	5-6	6	4-5	7	3-4	9										
22:00 - 22:30	5-6	6	4-5	7	3-4	9										
22:30 - 23:00	4-5	7	3-4	8	3-4	9										
23:00 - 23:30	1-2	7	3-4	8	3-4	9										
23:30 - 24:00																
24:00 - 24:30																
24:30 - 25:00																
25:00 - 25:30																

<그림 9> 상세인가대장

2) 관리방법

차고지에서 정해진 시간에 정확히 출발하는 것은 버스 신뢰성확보의 가장기초가 된다. 차고지배차정시성은 상세배차계획 준수정도를 평가·관리하기 위한 지표로 실제 배차간격은 <표 5>와 같은 문제로 인하여 BMS 및 교통카드 두 자료를 동시에 이용한다.

<표 5> 분석자료의 장·단점

구분	BMS 자료	교통카드 자료
장점	• 차고지 실 출발시간 적용가능	• 차고지 출발시간 전수자료 확보가능
단점	• GPS음영에 따른 결측 • 차고지 앞 신호 등으로 지연	• 운전자조작시간 오차발생

3) 이호상, 다중제약을 고려한 최적 버스운행계획 알고리즘 개발, 2006.12, 대한교통학회

차고지배차정시성은 TCQSM 차투간격균등성의 분산계수(Cv)를 변형한 식(2)와 같이 산정되며, 월단위로 분석한 내용에 따라 평가를 실시하고 결과를 통보하여 운수업체의 자발적 배차관리를 유도한다.

$$\text{정시성} = (1 - C_v) \times 100 = (1 - S_h / \bar{h}) \times 100 \quad \text{식(2)}$$

$$S_h = \sqrt{\frac{\sum_{i=2}^N (h_i - \bar{h})^2}{N}} \quad \text{: 실제배차간격의 표준편차}$$

\bar{h} : 인가 배차간격

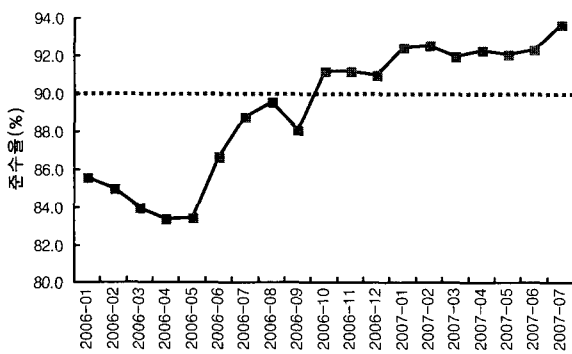
N : 실제 운행횟수

h_i : i 번째 버스의 배차간격

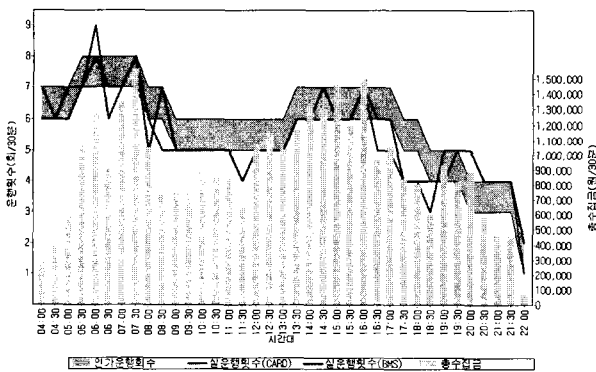
C_v : 배차간격의 분산계수

3) 관리결과

차고지 배차정시성은 90%이상 유지를 목표로 지난 '06년 1월부터 지속적으로 관리한 결과, <그림 10>에서 보는 바와 같이 '06년 6월~8월사이에 준수율이 급증하였으며, '06년 10월 이후 목표치 90%를 초과하여 현재까지 계속 유지되고 있다.



<그림 10> 배차정시성 변화추이



<그림 11> 배차정시성 우수노선 사례

<그림 11>은 배차정시성이 우수하게 관리되는 노선의 인가배차간격(수요) vs 실제배차를 비교분석한 그림으로, 첨두시 집중운행하고, 비첨두시 운행횟수를 줄여 운행하였다.

3. 운행중 차량물림을

1) 목적

차고지 배차정시성은 차량이 차고지에서 정시출발토록 관리하기 위한 지표이며, 운행중 차량물림은 차고지 출발이후 노선 상에서 차량간 붙어 다니는 비율을 분석·평가하는 것으로 정류소에서 기다리는 시민이 체감하는 배차간격을 유지하여 버스의 도착시간 신뢰성을 제고하려는 것이다.

정류소에 도착하는 버스의 배차간격 균등성은 도로정체, 승객집중 등 물리적인 요인에 의한 영향도 크지만, 관리측면에서 운전자의 운행행태가 미치는 영향이 매우 크다.

따라서 개별운전자의 운행행태 직출이 가능하고, 결과에 대한 운전자 이해가 용이하며, 물리적인 외부요인에 탄력적 수용이 가능한 운행중 차량물림을 지표를 개발·적용하였다.

2) 관리방법

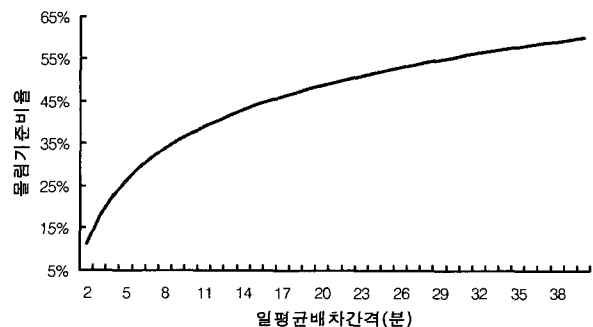
BMS의 63data(정류소 도착, 출발시각자료)를 활용하며, 버스운전자가 배차간격을 유지하기 위해 정류소 부근에서 단시간 정차, 중간배차 등의 행태를 고려하기 위해 정류소 출발시간을 기준으로 적용한다.

운행중 차량물림율은 노선별 물림기준시간 보다 짧은 시간 간격으로 정류소를 통과한 차량빈도를 산정하는 것으로, 물림기준시간은 노선별 일평균 배차간격에 물림기준비율을 곱하여 산출된다(식(3) 참조).

$$\text{일평균배차간격} = \frac{\text{막차시간} - \text{첫차시간}}{\text{일일운행횟수}} \quad \text{식(3)}$$

$$\text{물림기준시간} = \text{일평균배차간격} \times \text{물림기준비율}$$

비록 일평균 배차간격을 고려하지만 물림기준비율을 일률적으로 적용할 경우 배차간격이 짧은 노선은 불리해지고 배차간격이 긴 노선이 유리해지므로 <그림 12>와 같이 노선별 일평균배차간격별로 물림기준비율을 차등 적용한다.

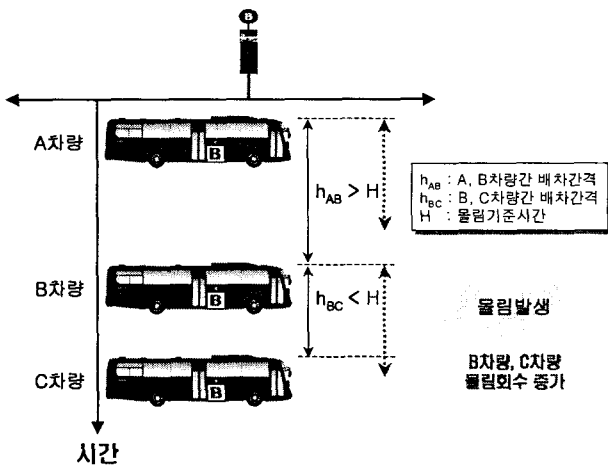


<그림 12> 물림기준비율

차량몰림의 적출은 <그림 13>과 같이 노선별 몰림기준시간(H)과 노선별로 개별차량이 정류소를 출발하는 시간간격(h_{AB}, h_{BC})을 비교하여 몰림기준시간보다 짧은 간격으로 출발한 두 대의 차량을 몰림으로 간주한다. 운행중 차량몰림율은 식(4)와 같이 산정된다.

$$\text{차량몰림율} = \frac{\text{차량몰림횟수}}{\text{차량간격분석자료수}} \times 100 \quad \text{식(4)}$$

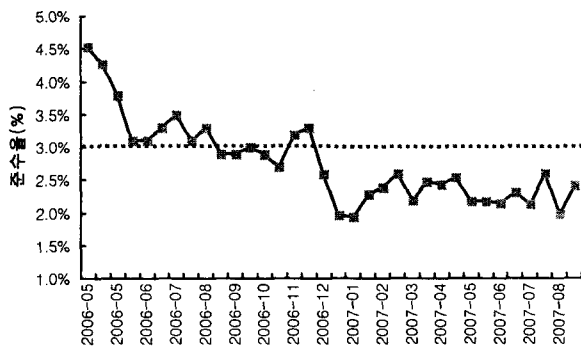
차량별 적출결과는 운수사에 통보하여 원인분석을 실시하고, 두 대의 차량중 운행행태가 잘못된 운전자에 대하여 시정 조치를 하게 된다. 운행중 차량몰림율은 운전자가 배차간격을 유지해야 한다는 인식을 갖도록, 항상 유념시키기 위하여 격주로 분석·평가관리를 실시하고 있다.



<그림 13> 차량몰림 판별방법

3) 관리결과

차량몰림율은 3%이하 유지를 목표로 지난 '06년 5월부터 지속적으로 관리한 결과, <그림 14>에서 보는 바와 같이 '06년 6월, '07년 1월에 급감하였으며, '07년 1월 이후 목표치인 3% 미만으로 '07년 현재까지 계속 유지되고 있다.



<그림 14> 운행중 차량몰림율 변화추이

4. 도착시간표 준수율

1) 목적

서울시내버스 전체노선의 일평균배차간격의 평균은 10.9분 정도⁴⁾이나 노선별로는 3~40분 정도로 배차간격에 큰 격차를 가지고 운영되고 있다. 특히, 배차간격이 긴 노선의 경우 버스이용시민은 차량1대를 놓쳤을 경우 정류소에서 30분 이상을 대기할 수도 있으며, 이용자 입장에서는 정류소에 도착하는 시간이 언제인지 알 수 없어 큰 불편함을 느끼게 된다.

이에 서울시에서는 배차간격이 긴 노선에 대하여 주요정류소에 지하철평과 같이 도착시간표를 부착하고, 버스운전자가 도착시간표에 맞추어 운행토록 평가관리하고 있다.

2) 관리방법

배차간격이 20분이상인 노선을 대상으로 선정(49개 노선, 2007년 9월 기준)하여 주요정류소에 <그림 15>와 같은 도착시간표를 부착하고, 운전자에게는 별도의 노선별 정류소 도착시간표를 배부하여 항상 시간표를 인지하고 시간에 맞추어 운행토록 관리하고 있다.

운전자는 도착시간 준수율을 위해 일부구간에서 서행운행 또는 일시정차 등의 노력을 하며, 차내 승객에게는 마이크 등을 통하여 서행운행에 대한 사유를 안내하고 있다.

400번 구룡마을 정류소 도착예정시간입니다. (정류간격 20분 이상인 노선입니다.)

시간	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
출발	06	26	46	66	86	106	126	146	166	186	206	226	246	266	286	306	326	346	366
도착	08	28	48	68	88	108	128	148	168	188	208	228	248	268	288	308	328	348	368
정류소 도착	09	29	49	69	89	109	129	149	169	189	209	229	249	269	289	309	329	349	369

※도착시간은 사정에 따라 다소 변경 될 수 있으나 지체지도보 노력하겠습니다. 위반사항은 도선역력 02-574-0013로 문의하시기 바랍니다.

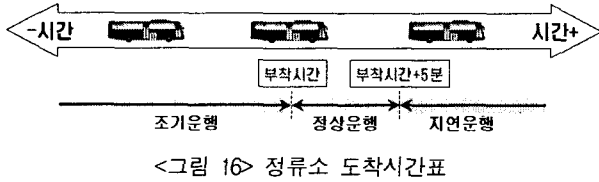
<그림 15> 정류소 도착시간표

정류소 도착시간표 준수 관리는 BMS 63data를 활용하며, <그림 16>과 같이 도착시간 대비 조기운행, 정상운행, 지연운행으로 구분한다. 구분기준은 TCQSM과 동일하게 적용하며, 부착시각~부착시간+5분까지를 정상운행에 포함시킨다.

지연운행은 대부분 물리적인 요인(정체, 승객집중 등)에 의해 발생하기 때문에 정시에 도착토록 개선하는 것은 어려우며, 다만, 부착된 도착시간표가 너무 빨리 도착하는 것으로 계획되었는지 등을 면밀히 검토하여 재조정하여야 한다.

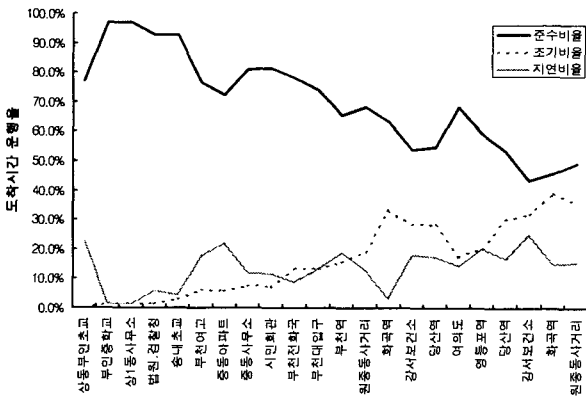
조기운행은 이용객이 도착예정시간 이전에 정류소에 도착하더라도 차량이 조기출발 하였다면, 승객은 엄청난 대기시간을 감수해야 하기 때문에 가장 철저히 관리해야 하는 부분이다. 상습적으로 조기운행을 하는 운전자에 대해서는 지속적인 운행행태 개선을 위해 페널티를 부과하고 있다.

4) 서울특별시, 서울시대중교통기본계획, 2007



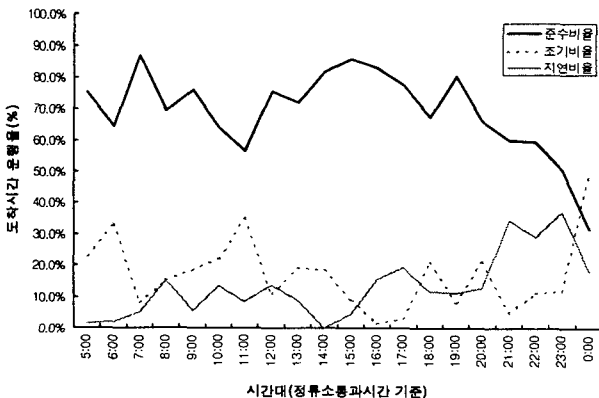
도착시간표 준수율은 정류소별, 시간대별, 차량별로 분석하여 평가관리하며, 분석결과는 해당운수업체에 통보하여 상세 배차변경, 도착시간표조정, 운전자교육 등에 활용토록 한다.

<그림 17>은 정류소별 준수비율, 조기비율, 지연비율 분포 사례로, 차고지 부근에서의 준수비율은 높으나 차고지에서 멀어 질수록 준수비율이 점점 떨어지고 반면에, 조기비율 및 지연비율이 점차 증가하는 것으로 나타나, 종점으로 회차할 때 운전자가 빨리 들어가려 한다거나, 도로의 정체를 제대로 반영하지 못하고 도착시간표를 작성한 것을 알 수 있다.



<그림 17> 정류소별 준수비율 분포 사례

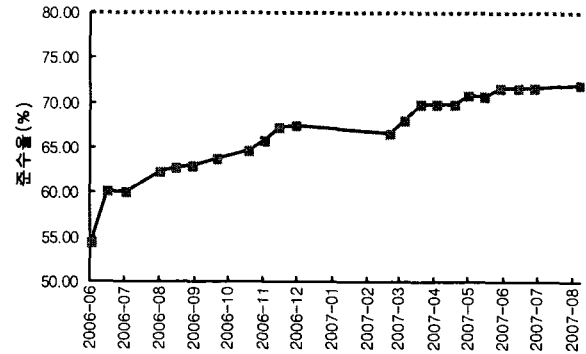
<그림 18>은 시간대별 준수비율, 조기비율, 지연비율 분포 사례로, 대부분 시간대에 준수비율이 비교적 양호하나 저녁 및 심야시간대 준수비율이 급격히 떨어지는 것으로 나타나, 저녁시간대 정체 및 승객집중으로 인한 지연운행, 심야시간대 운전자들의 조기운행으로 인해 준수비율이 급격히 저하되는 것으로 판단할 수 있다.



<그림 18> 시간대별 준수비율 분포 사례

3) 관리결과

도착시간표 준수율은 80%를 목표로 지난 '06년 6월부터 지속적으로 관리하여 <그림 19>에서 보는 바와 같이 지속적으로 증가하여 70%는 초과하였으나, 목표인 80%에 도달하지 못하여 준수율 향상을 위한 특단의 조치를 강구 중에 있다.



<그림 19> 도착시간 준수율 변화추이

5. BMS준법운행

BMS는 운행관리 측면에서 배차간격 관리, 운전자에게 운행지시 등의 톨로 사용이 가능할 뿐만 아니라, 개별운전자의 난폭운행을 적출 및 관리에도 활용이 가능하다.

GPS에서 수집되는 정보와 각종 센서(개폐센서, 속도센서 등)를 버스에 추가로 장착하여 과속, 개문주행, 무정차, 급가속, 급제동 등을 적발하고, 그 결과를 활용하여 운전자의 운행태도를 모니터링 및 개선한다.

<표 6> 위반행위별 적출기준

위반행위	적출 기준
과 속	순간속도가 제한속도 보다 10km/h 초과시
개문주행	운행중 문을 연채로 10m이상 이동시
무 정 차	정류소구간에서 문을 열지 않았거나, 10km/h보다 빨리 통과할 경우
급 가 속	운행속도가 초당 7km/h 이상 가속될 경우
급 제 동	운행속도가 초당 7km/h 이상 감속될 경우

6. 첫·막차시간 준수여부

운수회사의 도덕적헤이를 방지코자 교통카드자료를 활용하여 차고지에서 노선별로 인가된 첫·막차 시간을 준수하는 지에 대하여 평가·관리하여 왔으나, 최근에는 시범노선을 선정하여 버스도착시간안내 ARS와는 별도로 주요정류소별 첫차·막차의 도착예정시간을 부착하여 시민에게 정보제공하고 있으며, 시민만족도, 준수정도 등을 면밀히 검토하여 실효성이 있는 것으로 판단될 경우에 전노선으로 확대할 예정이다.

IV. 결론 및 향후연구

개인 승용차 증가로 인한 막대한 혼잡비용 발생과 자원의 비효율적 이용을 해결하기 위해서 대중교통(버스)의 중요성이 점차 증대되고 있으나, 버스의 불규칙한 배차간격, 난폭운전, 운영채산성 악화 등으로 이용객이 감소하고, 채산성이 떨어져 많은 운수업체가 경영위기로 도산하는 등 문제점이 발생하고 있으며, 그로 인해 일반시민이 겪는 불편함은 막대하다.

이에 중앙정부에서는 「대중교통의 육성 및 이용촉진에 관한 법」을 제정하여 효율적인 대중교통사업의 추진 및 운영을 위해 지방대중교통계획을 수립토록하고 있으며, 각 지자체에서는 BIS/BMS 등 첨단대중교통체계(APTS) 및 준공영제를 도입하여 버스의 신뢰성 및 공공성을 확보하기 위해 노력하고 있다.

하지만, 서울시 등 준공영제를 도입한 일부 대도시에서는 운수업체의 자발적 경영개선 미흡, 비효율적인 운행관리 등으로 신규 시스템 도입에 따른 효과를 반감시키는 문제가 발생하여 공공차원에서의 개별운전자의 운전행태 관리 및 정시성 확보를 위한 운행관리의 필요성이 대두되었다.

서울시에서는 첨단대중교통체계에서 수집되는 자료를 활용하여 배차정시성, 운행중 차량물림, 도착시간 준수율 등 여러 가지 운행관리지표를 지속적으로 평가·관리하여, 버스 운전자의 부적절한 운행행태가 상당부분 개선되었으며, 버스신뢰성도 크게 증대되었다. 하지만, 평가관리지표가 도로정체, 승객집중 등 노선별 특성을 반영하지 못하며, 운행중 차량물림의 경우 노선별 차등적으로 적용되는 물림기준비율이 임의적이라는 문제점을 갖고 있다. 하지만 가장 큰 문제는 운행관리를 철저히 관리하면 할수록 신뢰성은 크게 향상되나 난폭운전, 불법운행, 불친절 행위는 오히려 늘어나는 딜레마(dilemma)에 빠지게 된다는 것이다. 따라서, 버스의 신뢰성 확보와 승객편의/안전은 상충(Trade Off)관계가 존재하므로 적절한 관리수준의 유지가 중요하다.

향후에는 기존 운행관리지표가 도로정체, 승객집중 등 노선별 특성 반영이 가능토록 개선하여야 하며, 버스운행상황의 모니터링 및 관리가 가능하고 이론적으로도 우수한 운행관리지표를 추가로 개발하여야 한다. 본 연구에서는 서울시에서 관리하고 있는 운행관리지표의 종류와 필요성, 관리에 따른 지표변화추이, 문제점, 향후개선방안 등에 대하여 고찰하였으며, 이러한 내용이 타 지자체의 운행관리정책에 많은 참고가 되기를 희망한다.

참 고 문 헌

1. 도로용량편람, 건설교통부, 2001
2. 서울시정개발연구원, 서울교통시스템개편 실행방안, 서울특별시, 2003
3. 서울시정개발연구원, 대중교통체계개편 성과분석 및

- 버스관리기구 설립·운영방안, 서울특별시, 2006
4. 서울특별시, 서울시대중교통기본계획, 2007
5. 수도권교통조합, 수도권교통조합 중장기 기본계획, 2006
6. 윤혁렬, 서울시 버스체계개편에 따른 모니터링 연구, 서울시정개발연구원, 2004
7. 이호상, 다중제약을 고려한 최적 버스운행계획 알고리즘 개발, 대한교통학회, 2006
8. 인천발전연구원, 인천광역시 BIS/BMS 구축에 관한 연구, 2006
9. Benn. H. P., TCRP synthesis of Transit Practice 10 : Bus Route Evaluation Standards, Transportation Research Board, National Academy, Washington, DC., 1995
10. TCRP Web Document6 - Report Transit Capacity and Quality of Service Manual, TRB, 1999
11. TCRP Report 100, Transit Capacity and Quality of Service Manual-2nd Edition. Transportation Research Board, National Academy Press, Washington, DC., 2000
12. Bates, J. W., Definition of practiccies for bus transit on-time performancce : Preliminary study.", Transportation Research Circular No. 300, Trans. Res. Board, Washington, D.C., 1986