

■ 論 文 ■

# 버스 운행 정시성의 서비스수준 기준산정

## Determining Level-of-Service Criteria of Headway Adherence

고 승 영

(서울대학교 지구환경시스템공학부 교수)

박 준 식

(서울대학교 지구환경시스템공학부 박사과정)

### 목 차

- I. 서론
  - 1. 연구의 배경 및 목적
  - 2. 연구의 내용 및 방법론
- II. 본론
  - 1. TCQSM의 버스 운행 정시성 평가 방법론
- 2. 문제점 분석
- 3. 버스 운행 정시성의 서비스수준 효과척도 및 기준산정 방법론
- III. 결론 및 향후 연구과제
- 참고문헌

Key Words : 정시성, 신뢰성, 서비스수준, 효과척도, 대기시간

### 요 약

버스와 같은 대중교통의 경우에는 서비스수준을 평가하는 효과척도에 확률의 개념이 사용되어, 확률값의 선형비례적인 수치를 기준으로 A~F의 서비스수준의 등급을 구분하기도 한다.(TCQSM: Transit Capacity and Quality of Service Manual-2nd Edition, TRB, Washington DC., 2003) 이 경우 운전자나 승객이 느끼는 정도와 확률값이 선형비례 관계에 있지 않을 수 있는데 이는 서비스수준을 적절하게 반영한다고 볼 수 없다.

본 연구에서는 TCQSM에서 제시하고 있는 버스 운행의 정시성 평가 사례를 통해 확률값의 선형비례적인 수치를 기준으로 서비스수준의 등급을 구분할 때 발생하는 문제점을 분석하고, 이러한 문제점을 보완하는 적절한 서비스수준 기준을 산정하는 방법론을 제시하였다.

본 연구에서 제시한 차두간격 분산계수 분포의 확률밀도를 기준으로 서비스수준의 기준을 산정하는 방법은 승객의 평균 대기시간을 적절하게 반영하고, 실제 버스 운행 자료를 사용하여 적용한 결과, TCQSM에서 제시한 방법보다 더 적절하게 버스의 운행 신뢰성을 평가하는 것으로 나타났다. 그러나 효용함수를 이용하여 서비스수준의 기준을 산정하는 방법은 이용자가 느끼는 서비스수준과 효용차이의 관계에 대한 추가적인 연구가 필요한 것으로 본 연구의 한계로 남는다.

In case of public transit such as bus system, the probability concept is used to evaluate the Level-of-Service of the operations. And each levels could be classified according to the linear probability value.(TCQSM: Transit Capacity and Quality of Service Manual-2nd Edition, TRB, Washington, D.C., 2003) In this case, the drivers or passengers wouldn't think that the service level isn't equivalent to the linear probability value. Thus the linear probability value doesn't exactly reflect the service level.

This study shows the problems of using the linear probability value in classifying the service level through the case of evaluation of bus operation's punctuality, presented in TCQSM. To make up for the problems of such case, two methodologies are presented in this study.

The method of determining Level-of-Service criteria using probability density of headway variation's distribution, presented in this paper, adequately reflects passenger's expected waiting time. According to the application result to real bus operation data, it is better than the method of TCQSM to evaluate the reliability of bus operations. However further research about the relations between utility difference and passenger feeling of service level is necessary to apply the method that uses the utility function. It remains as the limitation of this paper.

## I. 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

교통시설의 용량을 산정하거나 운영 상태를 평가하는데 있어서 일반적으로 서비스수준의 개념을 많이 사용한다. 서비스수준이란 교통시설 내에서의 운행성과를 나타내는 것으로서, 운전자나 승객이 느끼는 정성적인 평가기준으로 A~F의 6개 등급으로 정의된다. 서비스수준을 평가하는 효과적도는 서비스질에 대한 사용자의 인식과, 이들을 설명하면서 운행상태를 나타내는 변수으로써 측정하기 쉽고 또 다른 효과적도들을 대표할 수 있는 것이어야 한다. (도철용(1))

버스와 같은 대중교통의 경우에는 서비스수준을 평가하는 효과적도에 확률의 개념이 사용되어, 확률 값의 선형비례적인 수치를 기준으로 A~F의 서비스수준의 등급을 구분하기도 한다. 이 경우 운전자나 승객이 느끼는 정도와 확률값이 선형비례의 관계에 있지 않을 수 있는데 이는 서비스수준을 적절하게 반영한다고 볼 수 없다.

TCQSM(Transit Capacity and Quality of Service Manual-2nd Edition, TRB, Washington DC., 2003)에서는 버스 운행의 정시성 지표를 통해 버스 운행의 신뢰성을 평가하는데, 이때 확률값의 선형비례적인 수치를 기준으로 서비스수준을 산정한다. 그러나 이를 기준으로 버스 운행의 정시성을 평가할 경우 실제 버스의 운행 상태에 대한 적절한 평가가 이루어지지 않음을 확인하게 되었다.

본 연구에서는 TCQSM에서 제시하고 있는 버스 운행의 정시성 평가 사례를 통해 확률값의 선형비례적인 수치를 기준으로 서비스수준의 등급을 구분할 때 발생하는 문제점을 분석하고 적절한 서비스수준 기준을 산정하는 방법론을 제시하고자 한다.

### 2. 연구의 내용 및 방법론

버스의 운행 정시성은 버스가 정류장에 얼마나 정시에 도착하는가를 나타내는 지표로 운행 신뢰성을 나타내는 하나의 항목이다. 미국의 TCQSM에서는 버스의 운행 신뢰성을 평가하는 지표로 "on-time performance(정시도착성)"과 "headway adherence(차두간격 균등성)"을 사용하고 있다. 국내에서는 정시

도착성과 차두간격 균등성을 구분하지 않고 "정시성"이라는 하나의 용어를 사용하고 있으며, 아직까지 이에 대한 명확한 정의도 내려지지 않고 있는 실정이다.

실제로 서울과 같은 대도시 시내버스의 경우 사전에 계획된 배차계획표가 없기 때문에 각 정류장에 버스차량이 도착하는 시각을 이용객이 알 수 없기 때문에 이 경우 정시성이라는 용어는 "차두간격 균등성"에 해당한다. 따라서 본 연구에서는 "차두간격 균등성"을 "정시성"으로 정의하여 이의 서비스수준 기준 산정 방법론에 대해 분석하고자 한다.

본 연구에서는 TCQSM의 버스 운행 정시성 평가 방법론을 통해, 확률값을 사용하여 서비스수준의 기준을 산정할 경우 운전자나 승객이 느끼는 정도를 적절하게 반영하지 못하여 실제 운행에 대한 적절한 평가가 이루어지지 않음을 보이고, 이 경우 고려해야 할 사항을 검토하여 적절한 서비스수준 산정 방법론을 제시하고자 한다.

본 연구는 다음과 같은 절차와 방법으로 이루어진다.

- TCQSM의 버스 운행 정시성 평가 방법론 분석
  - TCQSM의 버스 운행 서비스 평가 대상 및 항목별 평가척도 제시
  - 버스 운행 정시성의 효과적도 및 서비스수준 산정 방법론 분석
- TCQSM에서 제시한 방법론의 문제점 분석
  - 평균 대기시간과의 관계 분석
  - 버스 운행 실측자료 분석
- 버스 운행 정시성의 서비스수준 효과적도 및 기준산정 방법론 제시
- 연구결과 요약 및 한계점 제시

## II. 본론

### 1. TCQSM의 버스 운행 정시성 평가 방법론

버스 서비스의 성능은 경제성, 효율성, 안전성, 유용성 등의 항목을 기준으로 구분될 수 있다. 버스 서비스의 성능평가 항목과 각각의 항목에 해당하는 효과적도는 이용자, 운전자, 운영자 및 여러 관계기관의 관점을 모두 포함하고 있다.

TCQSM에서는 이용자의 관점에서 버스 서비스품질을 평가하기 위한 평가대상과 항목을 제시하고 있다.

〈표 1〉 버스 서비스 평가 항목

구분	서비스 평가대상		
	정류장	버스노선	시스템
유용성 및 접근성	운행빈도	운행시간	서비스권역
편의성 및 편리성	차내 혼잡도	신뢰성	통행시간

정류장, 버스노선 및 시스템을 대상으로 유용성 및 접근성(Availability)과 편의성 및 편리성(Comfort & Convenient) 항목에 대해 버스 서비스 평가를 시행할 것을 제시하고 있다.

〈표 1〉은 TCQSM에서 제시하고 있는 버스 서비스 평가 대상 및 항목별 평가척도이다.

버스 운행의 신뢰성은 노선의 편의성 및 편리성을 나타내는 평가척도로, TCQSM에서는 평균 배차간격에 따라 "on-time performance(정시 도착성)"과 'headway adherence(차두간격의 균등성)'으로 구분하여 사용할 것을 제시하고 있다.

평균 배차간격이 10분 이상일 경우에 정시 도착성을 사용하며, 정시 도착성은 기준 오차범위(5분) 내에 도착하는 차량의 비율값으로 측정한다.

평균 배차간격이 10분 이하일 경우에는 이용자들이 계획된 배차 시각표를 참조하여 정류장에 도착하기보다는 임의적으로 균등하게 도착하는 행태를 보이기 때문에 정시 도착성보다는 차두간격의 균등성이 보다 적절한 효과척도가 된다. 예를 들어 임의의 정류장에 계획된 버스 도착시각이 10:05, 10:10, 10:15, 10:20이고, 실제로는 10:05분에 도착할 차량이 결행되고 다음의 차량들은 10:11, 10:16, 10:21에 도착했다면, 이 정류장의 정시 도착성은 0%이지만 이용자들은 5분 간격으로 각각 1분씩 늦게 도착한 것으로 인식하게 된다. 따라서 평균 배차간격이 10분 이하일 경우에는 버스노선의 편의성 및 편리성을 평가하기 위해 차두간격의 균등성을 사용할 것을 제시하고 있다.(Benn(3))

서울시의 경우 운행하는 대부분의 버스 노선들의 평균 배차간격이 10분 이하이며, 10분 이상일 경우에도 이용자들이 계획된 배차 시각표를 참조하여 정류장에 도착하지 않고 임의적으로 도착하는 행태를 나타낸다. 따라서 서울시 시내버스의 신뢰성을 평가하기 위해서는 정시 도착성이 아닌 차두간격 균등성을 사용해야 할 것이며, 본 연구에서는 차두간격 균등성을 정시성으로 정의하여 사용하기로 한다.

〈표 2〉 차두간격 균등성의 서비스수준 기준

LOS	$c_{wh}$	$\Pr( h_i - \bar{h}  > 0.5 \bar{h})$
A	0.00 ~ 0.21	$\leq 1\%$
B	0.22 ~ 0.30	$\leq 10\%$
C	0.31 ~ 0.39	$\leq 20\%$
C	0.40 ~ 0.52	$\leq 33\%$
E	0.53 ~ 0.74	$\leq 50\%$
F	$\geq 0.75$	$> 50\%$

자료 : TCQSM, TRB, Washington D.C, 2003.

차두간격의 균등성은 차두간격의 분산계수로 측정하며 차두간격의 분산계수는 식(1)과 같이 정의된다.

$$c_{wh} = \frac{\text{차두간격의 표준편차}}{\text{평균 차두간격}} \quad (1)$$

TCQSM에서는 차두간격의 분산계수값에 따라 차두간격 균등성의 서비스수준 기준을 설정하여 제시하고 있다.

TCQSM에서 제시한 서비스수준의 기준은 도착하는 버스차량의 차두간격의 분포를 정규분포로 가정하고 각 차두간격이 평균차두간격의 50%보다 크거나 작을 확률에 기반하여 산정되었다. 즉, 평균 배차간격이 10분일 경우 5분 일찍 도착하거나 늦게 도착할 확률이 1% 이하면 서비스수준 A, 10% 이하이면 서비스수준 B가 된다. 이는 다음의 계산과정을 통해 산출될 수 있다.

$$c_{wh} = \frac{\text{차두간격의 표준편차}}{\text{평균 차두간격}} = \frac{s}{\bar{h}} \quad (2)$$

$$Z = \frac{|h_i - \bar{h}|}{s} = \frac{0.5 \bar{h}}{s} \quad (3)$$

여기서,

$s$  : 차두간격의 표준편차

$\bar{h}$  : 평균 차두간격

$h_i$  :  $i$  번째 차량의 차두간격

$Z$  : 정규분포의 확률 변수값

식(3)을 식(2)에 대입하면 식(4)와 같이 정리된다.

$$c_{wh} = \frac{s}{\bar{h}} = \frac{0.5 \bar{h}}{Z \bar{h}} = \frac{0.5}{Z} \quad (4)$$

정규분포 표에서 각 서비스수준의 경계가 되는 확률값에 해당하는 변수값,  $Z$ 를 찾아 이를 식(4)에 대입하면 〈표 3〉과 같이 구해진다.

〈표 3〉 차두간격 분산계수의 산정 방법

LOS	$\Pr( h_i - \bar{h}  > 0.5\bar{h})$	Z	$c_{vh}$
A	1%	2.38	0.21
B	10%	1.67	0.30
C	20%	1.28	0.39
D	33%	0.96	0.52
E	50%	0.68	0.74

주 : 정규분포의 일측 면적에 대한 확률 변수값 사용

## 2. 문제점 분석

### 1) 평균 대기시간과의 관계 분석

버스 승객들이 정류장에 임의적으로 도착할 경우 승객들의 평균 대기시간의 기대값은 다음의 식(5)와 같다.(Osuna and Newell(6))

$$E(W) = \frac{\bar{h}}{2} \left[ 1 + \left( \frac{s}{\bar{h}} \right)^2 \right] = \frac{\bar{h}}{2} (1 + I_p) \quad (5)$$

여기서,  $s$  : 차두간격의 표준편차

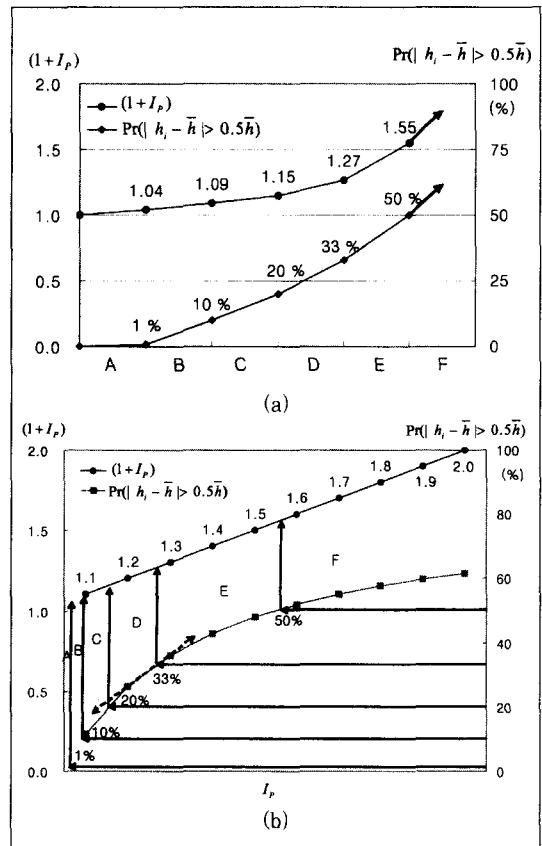
$\bar{h}$  : 평균 차두간격

$$I_p = \left( \frac{s}{\bar{h}} \right)^2 = (c_{vh})^2$$

식(5)에서  $I_p$ 는 분산계수의 제곱에 해당하며 분산계수가 0일 경우 즉, 모든 차량의 차두간격이 동일할 경우에는 승객들의 평균 대기시간의 기대값은 평균 차두간격의 절반으로 최소값을 갖는다. 여기서  $(1 + I_p)$ 는 대기시간의 최소값에 곱해지는 변수로 작용하며 이 값은 차두간격의 분산계수가 커짐에 따라 증가하게 된다. 버스차량들이 정확히 2대씩 몰려다니게 되면 차두간격의 표준편차와 평균 차두간격이 같게 되어  $I_p$ 값은 1이 되고 승객들의 평균 대기시간의 기대값은 평균 차두간격과 같아진다.

〈표 3〉과 식(5)를 혼합하여 차두간격이 평균차두간격의 50%보다 크거나 작을 확률과 승객들의 평균 대기시간의 기대값의 관계를 분석한 결과 〈그림 1〉과 같이 나타났다.

〈그림 1〉의 (a)를 보면 차두간격이 평균차두간격의 50%보다 크거나 작을 확률,  $\Pr(|h_i - \bar{h}| > 0.5\bar{h})$ 의 증가에 비해 승객들의 평균 대기시간의 기대값을



〈그림 1〉 확률값과 평균대기시간의 관계

결정하는  $(1 + I_p)$ 값은 서비스수준 D 이전에는 완만하게 증가하고, 그 이후에는 증가폭이 큰 것을 알 수 있다.

x축을  $I_p$ 의 변화로 두고 그래프를 다시 그리면 〈그림 1〉의 (b)와 같이 된다. 여기서, 승객들의 평균 대기시간의 기대값은 선형으로 증가하는 반면, 차두간격이 평균차두간격의 50%보다 크거나 작을 확률,  $\Pr(|h_i - \bar{h}| > 0.5\bar{h})$ 는 위로 볼록한 곡선을 나타낸다. 따라서 점선으로 표시된 단위 기울기선이 확률곡선과 접하는 점이 LOS D와 E의 경계지점 부근으로 LOS A~D 구간은 왼쪽으로 압축되어 0값에 치우쳐져 있고 LOS E와 F 구간은 오른쪽으로 펼쳐져 있다.

이를 통해 확률값의 선형 비례적인 수치를 기준으로 서비스수준의 기준을 산정할 경우에 확률값의 변화에 따른 승객들이 기대하는 평균 대기시간의 변화가 일관되지 않아 서비스수준을 적절하게 반영하지 못함을 확인하였다.

2) 버스 운행의 실적자료 분석

서울시의 22개 노선, 1,609개 정류장의 5일 동안 (2004년 8월 5일~9일)의 운행자료를 분석하여 TCQSM에서 제시하는 차두간격의 분산계수를 산정한 결과 <그림 2>와 같은 차두간격 분산계수의 분포도를 도출할 수 있었다.

1,609개 정류장의 5일 동안의 버스 운행 정시성을 계산하여 서비스수준을 산정한 결과 전체의 26.4%가 LOS D 이상이고 나머지 73.6%는 LOS E와 F에 해당하는 것을 확인할 수 있었다.

앞서의 분석에서 언급한바와 같이 TCQSM에서 제시하고 있는 서비스수준의 기준이 승객들의 평균 대기 시간 변화와 일관되지 않아 서비스수준을 적절하게 반영하지 못하는 문제점과 더불어, 서비스수준의 기준이 지나치게 엄격하게 산정되어 있고 그 간격의 크기도 분포의 평균과 분산을 반영하여 산정된 것이 아니기 때문에 실제 운행하는 버스 노선의 신뢰성을 평가하기에 무리가 있는 것으로 판단된다.

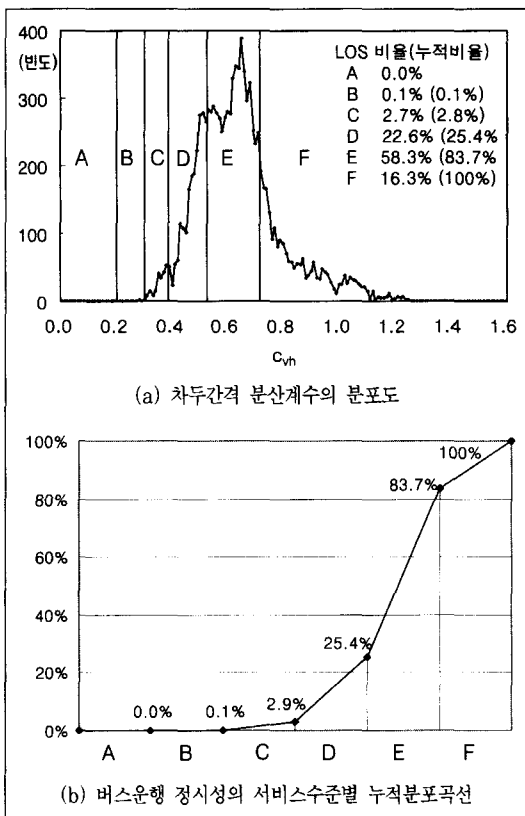
3. 버스 운행 정시성의 서비스수준 효과척도 및 기준산정 방법론

1) 차두간격 분산계수의 누적 확률밀도값을 이용하는 방법

TCQSM에서는 버스 차량의 도착분포를 정규분포로 가정하고 도착하는 차량의 차두간격이 평균 차두간격의 50%보다 크거나 작을 확률,  $Pr(h_i - \bar{h} > 0.5\bar{h})$ 을 사용하여 서비스수준의 기준을 구분하였으나 이러한 방법은 승객의 대기시간을 적절하게 반영하지 못하며 실제 버스 운행 결과를 평가하기에 무리가 있는 것으로 분석되었다.

본 연구에서는 도착하는 차량의 차두간격이 평균 차두간격의 50%보다 크거나 작을 확률,  $Pr(h_i - \bar{h} > 0.5\bar{h})$  대신 차두간격 분산계수 분포의 확률밀도를 기준으로 서비스수준을 산정하는 방법을 제안한다.

<그림 2>의 차두간격 분산계수의 분포를 보면 이 분포가 정규분포에 근사하는 것을 확인할 수 있으므로 차두간격의 분산계수( $c_{vh}$ )를 정규분포로 가정한다.



<그림 2> 차두간격 분산계수의 분포

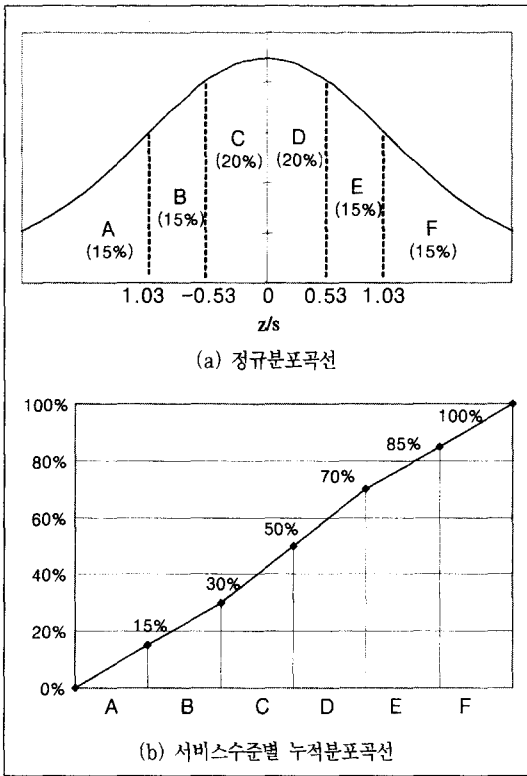
서비스수준 기준 산정은 다음의 단계를 따른다.

- 단계1) 정규분포곡선에서 누적 확률 밀도값을 기준으로 구간을 분할한다.
- 단계2) 분할된 구간의 각 기준 확률 밀도값에 해당하는 정규분포의 변수값( $z/s$ )을 구한다.
- 단계3) 조사된 차두간격 분산계수의 평균과 표준편차를 적용하여 각 서비스수준에 해당하는 X값(실제 차두간격 분산계수)을 구한다.

<계산 예>

앞에서 사용한 실제 차두간격 분산계수 분포에서 평균과 표준편차를 산정하여 확률 밀도값에 적용하면, <표 4>와 같이 각 서비스수준별 차두간격 분산계수값을 구할 수 있다.

- 단계1) 확률 밀도값을 기준으로 구간분할  
→ 15, 30, 50, 70, 85%
- 단계2) 정규분포의 변수값( $z/s$ ) 산정  
→ -1.03, -0.53, 0, 0.53, 1.03
- 단계3) 차두간격 분산계수(X)값 산정  
→ 0.48, 0.55, 0.63, 0.71, 0.79



〈그림 3〉 정규분포곡선에서 구간분할 예

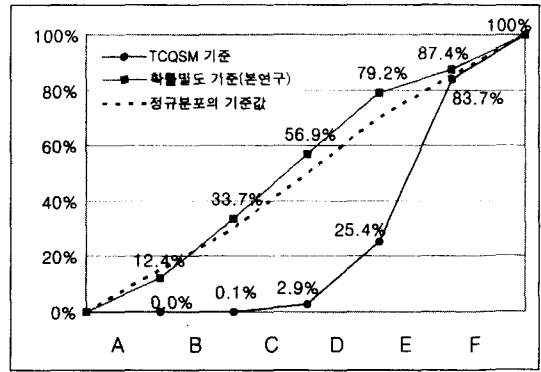
〈표 4〉 누적확률밀도에 기반한 서비스수준 산정 예

LOS	확률밀도 (누적확률밀도)	z/s	$X^{(1)}$	$(1 + I_p)$
A	15% (15%)	-1.034	0.478	1.228
B	15% (30%)	-0.526	0.554	1.307
C	20% (50%)	0.000	0.633	1.401
D	20% (70%)	0.526	0.712	1.507
E	15% (85%)	1.034	0.788	1.621
F	15% (100%)			

주1) 평균: 0.633, 표준편차: 0.150

〈그림 4〉를 보면 차두간격 분산계수의 누적 확률밀도를 기준으로 서비스수준을 산정한 결과가 TCQSM을 기준으로 산정한 결과보다 서비스수준별 분포가 더 균일하여 실제 운행결과를 보다 잘 설명하는 것을 알 수 있다. 또한 서비스수준 C와 D의 값이 기준값보다 큰 것을 통해 실제 차두간격 분산계수의 분포가 정규분포보다 왼쪽으로 약간 치우친 분포임을 확인할 수 있다.

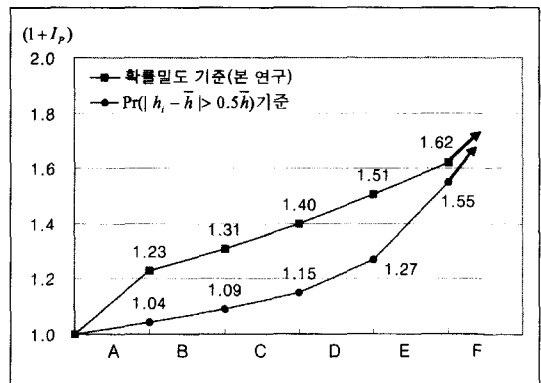
서비스수준별 이용객의 대기시간 변화를 분석한 결과 서비스수준별 각 기준치의 평균은 확률밀도를 기준으로 산정하였을 경우 1.41로 TCQSM을 기준으로 산



〈그림 4〉 차두간격 분산계수의 서비스수준별 누적비율

〈표 5〉 서비스수준별 승객 대기시간,  $(1 + I_p)$  비교

LOS	$\Pr(h_i - \bar{h} > 0.5\bar{h})$ 기준 (TCQSM)	확률밀도 기준 (본 연구)
A	1.04	1.23
B	1.09	1.31
C	1.15	1.40
D	1.27	1.51
E	1.55	1.60
A~E 차이	0.50	0.39
평균	1.22	1.41
분산	0.04	0.02



〈그림 5〉 서비스수준별 승객 대기시간,  $(1 + I_p)$  변화

정한 1.22보다 높게 나타나 기준의 엄격함이 완화된 것을 알 수 있다. 또한 서비스수준 A와 E의 기준치 차이는 각각 0.50과 0.39 TCQSM의 기준이 더 크지만 각 기준치의 분산은 0.04와 0.02로 확률밀도를 기준으로 산정하였을 경우에 더 작게 나타나 확률밀도를 기준으로 산정할 경우가 더 균등하게 분할되어 이용객의 대기시간을 더 적절하게 반영하는 것으로 분석되었다.

2) 효용함수를 이용하는 방법

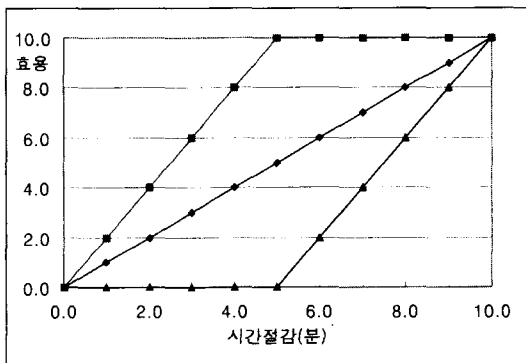
서비스수준은 교통시설 내에서의 운행성과를 나타내는 것으로서, 운전자나 승객이 느끼는 정성적인 평가기준이다. 그러나 버스 이용자들은 도착하는 버스차량의 차두간격이 평균 차두간격의 50% 이상이 될 확률이 얼마나 되는지 인지하고 있지 못하며, 앞의 분석에서 이를 기반으로 서비스수준의 기준을 산정한 것에 문제가 있음을 분명히 확인하였다.

또한 앞에서 제시한 차두간격 분산계수의 누적 확률 밀도를 이용한 방법도 역시 TCQSM의 방법보다 승객 대기시간을 더 적절하게 반영하고 있기는 하지만 승객 대기시간을 직접적으로 고려한 방법은 아니다. 승객의 대기시간을 직접적으로 반영하기 위해서는 차두간격 분산계수가 아닌 이의 제곱에 해당하는  $I_p$  값을 기준으로 서비스수준의 기준을 산정해야 한다.

그러나 승객이 판단하는 시간절감의 가치가 개인의 특성 및 상황에 따라 다르게 판단될 수 있다. <그림 6>에서와 같이, 만약 5분 이내에는 절감되는 시간 1분당 2만큼의 효용이 증가되고 5분 이후에는 효용증가가 없을 경우 2분과 3분의 시간절감은 2만큼의 효용차이가 있지만 5분과 6분의 시간절감은 효용차이가 없게 된다. 또한 5분 이내의 시간절감에 대해서는 효용의 증감이 없고 5분 이후에는 1분당 2만큼의 효용이 증가될 경우 앞의 경우와 반대의 결과를 초래하게 된다.

이처럼 승객의 대기시간과 승객이 느끼는 효용이 서로 1대 1의 동일한 가치를 가지지 않게 될 경우 승객의 대기시간을 기준으로 서비스수준 기준을 산정하는 것은 실제 이용자가 느끼는 서비스수준과 상이한 결과를 나타낸다.

<그림 7>의 (a)는 작은 시간절감에 민감하고 큰 시

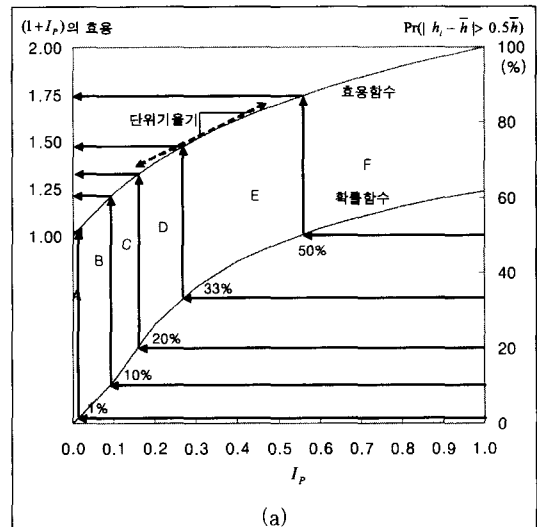


<그림 6> 시간절감에 따른 효용의 차이

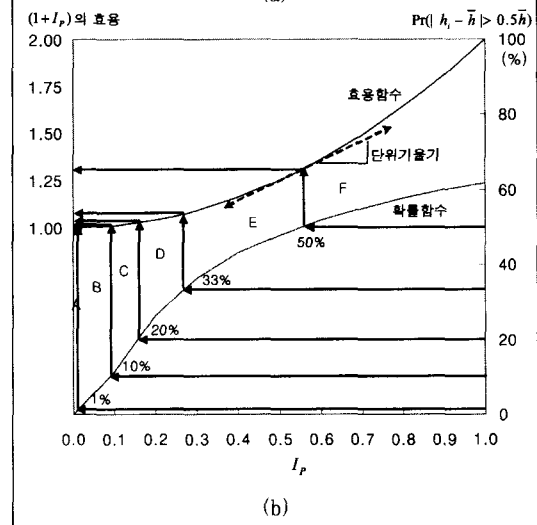
간절감에는 둔감한 효용함수를 적용한 것이고, (b)는 작은 시간절감에는 둔감한 반면 큰 시간절감에 민감한 효용함수를 적용한 경우이다. 출근통행과 같이 도착시간이 정해져 있고 업무시작시간보다 늦는 것에 대한 벌점이 있다면 (a)와 같은 효용함수를 나타낼 것이고, 도착시간에 대한 제약이 없는 장거리통행의 경우 (b)와 같은 효용함수를 나타낼 것으로 추측할 수 있다.

TCQSM에서 사용한 도착하는 차량의 차두간격이 평균 차두간격의 50%보다 크거나 작을 확률,  $Pr(|h_i - \bar{h}| > 0.5\bar{h})$ 을 기준으로 서비스수준의 기준을 산정할 경우 어떤 효용함수를 적용하는지에 따라 매우 다른 결과를 나타내는 것을 알 수 있다.

(b)와 같은 효용함수를 적용할 경우 이용자가 느끼



(a)



(b)

<그림 7> 대기시간의 효용함수 적용 예

는 효용의 차이가 서비스수준에 따라 거의 변화하지 않기 때문에 이용자의 관점에서 서비스수준을 적절하게 평가하지 못함을 알 수 있다.

이용객의 효용에 기반하여 서비스수준의 기준을 산정하기 위해서는 개인의 특성 및 상황에 따른 효용함수와 이용자가 느끼는 서비스수준과 효용차이의 관계에 대한 연구가 필요하지만 이는 본 연구의 범위를 넘어서기 때문에 본 연구에서는 이에 대해 적절하게 가정하여 효용에 기반하여 서비스수준 기준을 산정하는 방법만을 제시하고자 한다.

다음의 단계에 따라 이용객의 효용을 기준으로 서비스수준의 기준을 설정한다.

- 단계1) 효용을 기준으로 구간을 분할한다.
- 단계2) 효용함수를 사용하여 분할된 구간의 각 기준 효용치에 해당하는  $I_p$ 값을 구한다.
- 단계3) 각  $I_p$ 값에 해당하는 차두간격 분산계수값 ( $c_{vh}$ )을 구한다.

<계산 예>

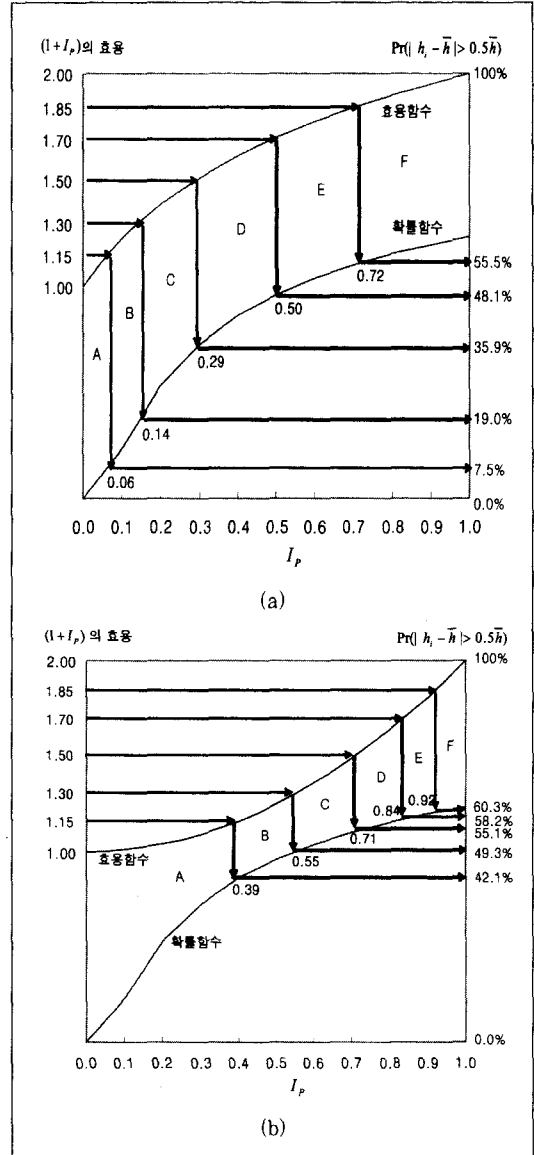
- 단계1) 효용을 기준으로 구간분할  
→ 0.15, 0.30, 0.50, 0.70, 0.85
- 단계2)  $I_p$ 값 계산  
효용함수(a): 0.06, 0.14, 0.29, 0.50, 0.72  
효용함수(b): 0.39, 0.55, 0.71, 0.84, 0.92
- 단계3) 차두간격 분산계수값( $c_{vh}$ ) 계산  
효용함수(a): 0.25, 0.38, 0.54, 0.71, 0.85  
효용함수(b): 0.62, 0.74, 0.84, 0.91, 0.96

계산에 사용한 효용함수(a)는 위로 볼록한 대표적인 함수인 로그함수로 곡선의 시작점과 끝점을 이용하여 계수값을 계산하여 식 (6)과 같은 함수식을 구축하였으며, 효용함수(b)는 아래로 볼록한 대표적인 함수인 2차함수로 식 (7)과 같다.

$$\text{효용함수(a)} : y = \frac{1}{\ln 6} \ln(5x + 1) \quad (6)$$

$$\text{효용함수(b)} : y = x^2 \quad (7)$$

앞의 계산 예에서 도착하는 차량의 차두간격이 평균 차두간격의 50%보다 크거나 작을 확률,  $\Pr(|h_i - \bar{h}| > 0.5\bar{h})$

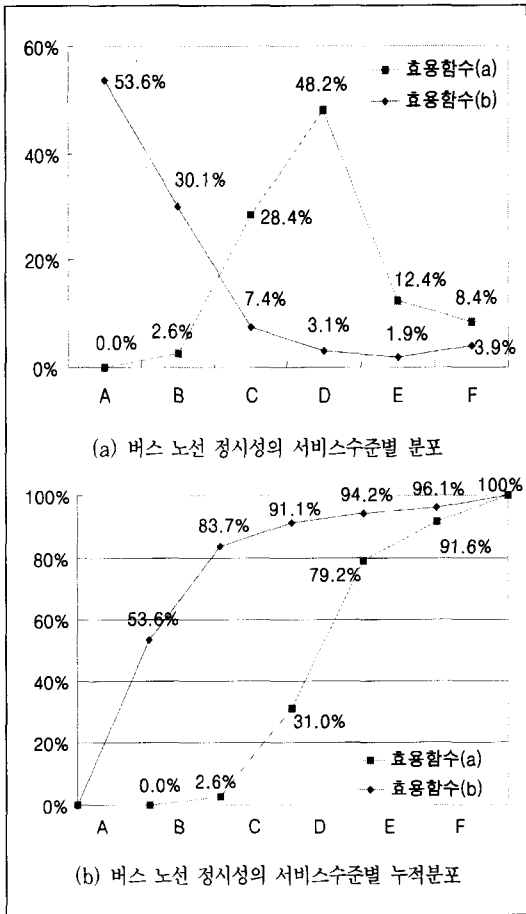


<그림 8> 효용에 기반한 서비스수준 산정 예

<표 6> 효용에 기반한 서비스수준 산정 예

LOS		A	B	C	D	E
효용 (%)		15	30	50	70	85
효용함수 (a)	$I_p$	0.06	0.14	0.29	0.50	0.72
	$c_{vh}$	0.25	0.38	0.54	0.71	0.85
	$\Pr( h_i - \bar{h}  > 0.5\bar{h})$ (%)	7.5	19.0	35.9	48.1	55.5
효용함수 (b)	$I_p$	0.39	0.55	0.71	0.84	0.92
	$c_{vh}$	0.62	0.74	0.84	0.91	0.96
	$\Pr( h_i - \bar{h}  > 0.5\bar{h})$ (%)	42.1	49.3	55.1	58.2	60.3





〈그림 9〉 버스 노선 정시성의 서비스수준 분포

을 산정한 결과를 보면 TCQSM에서 제시한 각 서비스수준별 기준값과 상당한 차이가 있는 것을 알 수 있다. TCQSM에서 제시한 각 서비스수준별 기준 확률값은 명확한 근거를 갖는 값이 아니기 때문에 이와 같이 각 경우에 따라 적절한 기준 확률값이 설정되어야 할 것이다.

작은 시간절감에 민감하고 큰 시간절감에는 둔감한 효용합수(a)를 사용하여 앞에서 사용한 버스 운행자료의 정시성 서비스수준을 산정하였을 경우에는 서비스수준별 분포가 정규분포와 같이 종모양으로 나타났으며, 작은 시간절감에는 둔감한 반면 큰 시간절감에 민감한 효용합수(b)를 사용하여 서비스수준을 산정하였을 경우에는 음지수분포 모양으로 나타났다.

이것은 단순한 계산 예에 불과한 것이며 실제로 이 방법을 적용하기 위해서는 앞에서도 언급한 효용합수와 이용자가 느끼는 서비스수준과 효용차이의 관계에 대한 연구가 선행되어 적절하게 적용되어야 할 것이다.

### III. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 버스 운행 정시성을 평가하는 효과적도인 차두간격의 균등성을 사례로 확률값의 선형비례적인 수치를 기반으로 서비스수준 기준을 산정할 경우의 문제점을 분석하였으며, 이러한 문제점을 해소할 수 있는 서비스수준 기준 산정 방법론을 두 가지로 제시하였다.

이러한 서비스수준 기준 산정 방법론은 체계적으로 정립된 것이 없고, 서비스수준이란 것이 운전자나 승객이 느끼는 정성적인 평가기준이기 때문에 논의의 소지가 다분히 있을 수 있다. 그렇기 때문에 본 연구에서 제시하고 있는 방법론이 반드시 그렇게 해야 된다는 지침이 될 수는 없다. 그러나 여러 가지 분석 결과 TCQSM에서 제시하고 있는 방법보다 본 연구에서 제시하는 방법이 이용자의 관점에서 버스 운행 정시성의 서비스수준을 더 적절하게 평가할 수 있음을 확인하였다.

본 연구에서는 이용자의 효용합수를 가정하여 사용하였으며, 이용자가 느끼는 서비스수준과 효용차이의 관계에 대한 규명 없이 적절한 값을 적용하여 분석하였다. 따라서 최종적인 가치판단 기준이 되는 이용자가 느끼는 효용에 따라 서비스수준 기준을 산정하기 위해서는 앞에서 언급한 두 가지 문제에 대한 연구가 수반되어야 할 것이다.

### 참고문헌

1. 도철웅(1995), 교통공학원론, 청문각.
2. 송문섭, 허문열(1991), 수리통계학, 박영사.
3. 서울대학교(2004), 서울시 BMS 배차관리 알고리즘 개발 최종보고서.
4. Benn, H. P. (1995), TCRP synthesis of Transit Practice 10: Bus Route Evaluation Standards, Transportation Research Board, National Academy Press, Washington, DC.
5. TCRP Report 100 (2003), Transit Capacity and Quality of Service Manual-2nd Edition, Transportation Research Board, National Academy Press, Washington, DC.
6. Osuna, E. E., Newell, G. F. (1972), Central Strategies for an Idealized Public Transport System, Transportation Science, vol. 6, No. 1, pp.5

2~72.  
7. Neufville, R., Stafford, J. H.(1971), Systems Analysis for Engineers and Managers, McGraw-Hill.

8. Jason Chang, S. K., Hsu, C. L. (2001), Modeling Passenger Waiting Time for Intermodal Transit Stations, Transportation Research Record 1753, pp.69~75.

♣ 주 작성 자 : 박준식

♣ 논문투고일 : 2005. 1. 18

논문심사일 : 2005. 3. 7 (1차)

2005. 4. 8 (2차)

심사관정일 : 2005. 4. 8

♣ 반론접수기한 : 2005. 8. 31