

# 시스템 다이내믹스 관점에서의 버스 운영계획모형 해석

## System Dynamics Interpretation on Bus Scheduling Model

김 경 식\*  
(Kyeong-Sik Kim)

### 요 약

본 연구는 기존의 버스 운영계획모형을 시스템 다이내믹스(System Dynamics : SD) 관점에서 검토하는 것을 주된 목적으로 하고 있다. 결정변수들 간의 선형적 관계에 기초한 교통비용모델에 SD관점을 적용하여 순환적 관계로의 재구성을 시도하였으며, 그 결과물로 최적배차간격모형의 인과지도(Causal Loop Diagram)를 제시하였다. 또한 계량적 시뮬레이션이 가능한 저유량 인과지도(Stock & Flow Diagram)를 작성하여 시뮬레이션 결과의 의미를 논의하였다. 연구결과, 시뮬레이션에 적용한 수식이 기존의 교통비용모형에 토대를 두고 있기 때문에 시뮬레이션 결과가 기존의 연구와 큰 차이를 보이지 않았다.

### Abstract

This paper aims mainly to reinterpretate Optimal Bus Scheduling Model by applying System Dynamics Perspective. Traditionally, the study regarding Optimal Bus Scheduling Model stems on the linear relationship. However, this paper attempted to convert linear relationship based Optimal Bus Scheduling Model to causal loop perspective based Model. In result, the paper present Casual Loop Diagram for Optimal Bus Scheduling Model. Furthermore, the paper also ran a simulation based on Stock & Flow Diagram for Optimal Bus Scheduling Model. The outcome was not much different from the linear relationship based Model due to the similarity of the equation applied on two models.

**Key words:** System dynamics, causal loop diagram, stock & flow diagram, bus scheduling model, simulation

## I. 서 론

본 연구의 목적은 버스의 운영계획모형을 시스템 다이내믹스 (System Dynamics: SD) 관점에서 해석하는데 있다. 버스의 운영계획모형은 기본적으로 교통비용모형을 배경으로 하여 다양한 개선이 시도되어 왔다. Jansson(1980)은 교통비용의 구성요인으로 운영

자 비용과 이용자 비용을 제시하며 두 비용의 합을 최소화하는 것을 목적으로 하는 선형모형을 개발하였다 [1, 2]. 이러한 흐름은 국내 연구에서도 계속 이어져 진행되어왔으며, 정영삼(1997)은 이용자 비용을 다시 승객의 대기시간 비용과 통행시간 비용으로 세분화한 총교통비용모형을 제시하였다 [3].

총교통비용모형에 대한 연구는 특히 버스 운영

† 본 연구는 한양여자대학 교내 연구비 지원(2008)으로 수행되었습니다.

\* 주저자 : 한양여자대학 경영과 조교수

† 논문접수일 : 2009년 1월 2일

† 논문심사일 : 2009년 1월 20일

† 게재확정일 : 2009년 1월 21일

계획모형(Bus Scheduling Model) 연구에 많은 영향을 끼쳤다. 승객의 만족도 개념을 반영한 버스 배차간격설정 모형이 개발되었으며[4], 보유대수를 최적화하는 최적운행시각 모형과[5] 다중제약을 고려한 최적 버스운영계획의 알고리즘이 개발되기도 하였다 [6].

이러한 연구들의 공통적인 특징은 모형이 선형적 관계에 기반하고 있다는 점이다. 즉, 목적함수=f(결정변수)라는 선형적 관계의 틀에서 크게 벗어나지 못하여 왔다. 본 연구는 선형적 관계를 기반으로 하는 버스 운영계획모형을 순환적 관계에 기초하고 있는 SD관점에서 검토하고자 한다. 시간대별 배차간격, 정류장 간격, 차량보유대수, 노선길이 등의 결정변수가 어떤 알고리즘에 의하여 교통비용을 최소화시키는지 찾아내는 것이 아니라, 그러한 결정변수와 목적변수가 서로 어떠한 순환적 관계를 형성하는지 도출하고자 한다.

이를 위해서, 기존의 교통비용모형을 주제로 시도되어진 다양한 연구결과를 참고, 인과지도(Causal Loop Diagram: CLD) 작성에 필요한 변수들을 살펴볼 것이다. 더 나아가서 그런 변수들 간의 관계가 모형 전체에 미치는 영향을 시뮬레이션을 통하여 밝혀보고자 한다.

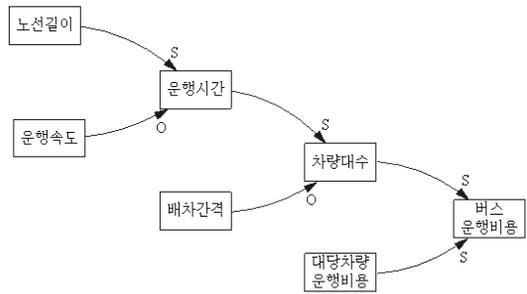
## II. 버스 운영계획모형의 고찰

버스 운영계획모형은 기본적으로 총 교통비용을 기본 모형으로 하며 그 식은 다음과 같다.

$$TC = C_o + C_{pw} + C_{pl} \tag{1}$$

- 여기서 ●  $TC$  = 총교통비용  
 ●  $C_o$  = 버스운영비용  
 ●  $C_{pw}$  = 승객대기시간비용  
 ●  $C_{pl}$  = 승객통행시간비용

버스 운영비용은 차량대수와 대당차량운영비용에 의해서 결정된다. 차량대수는 다시 운행시간을 노선길이로 나누어 구할 수 있으며 그 식은 다음과 같다.



<그림 1> 버스운영비용의 선형적 관계

<Fig. 1> A linear relationship of bus operation cost

s: same direction (정의 관계, +)  
 o: opposite direction(부의 관계, -)

$$\begin{aligned} C_o &= \text{차량대수} \times \text{대당차량운영비용} \\ &= N \cdot C_{op} \\ &= (D/(v \cdot h)) \cdot C_{op} = (t/h) \cdot C_{op} \end{aligned} \tag{2}$$

- 여기서 ●  $C_o$  = 버스운영비용  
 ●  $N$  = 차량대수  
 ●  $C_{op}$  = 대당차량운영비용  
 ●  $D$  = 노선길이  
 ●  $v$  = 운행속도  
 ●  $t$  = 운행시간  
 ●  $h$  = 배차간격

버스운영비용과 이의 결정변수들 간의 선형적 관계를 도식화하면 <그림 1>과 같다.

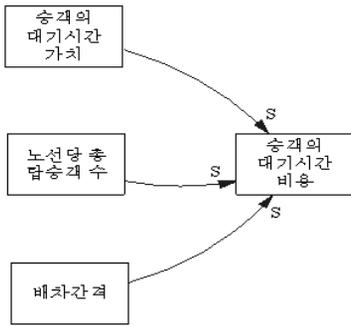
승객의 대기시간비용은 승객의 대기시간가치와 노선당 총 탑승객 수 그리고 배차간격의 관계에서 구할 수 있으며, 그 식은 다음과 같다.

$$C_{pw} = C_w \times Q \times (h/2) \tag{3}$$

- 여기서 ●  $C_{pw}$  = 승객의대기시간비용  
 ●  $C_w$  = 버스운영비용  
 ●  $Q$  = 노선당총탑승객수  
 ●  $h$  = 배차간격

승객의 대기시간비용을 도식화 하면 <그림 2>와 같다.

마지막으로 승객의 통행시간비용은 승객의 통행



<그림 2> 승객대기시간비용의 선형적 관계

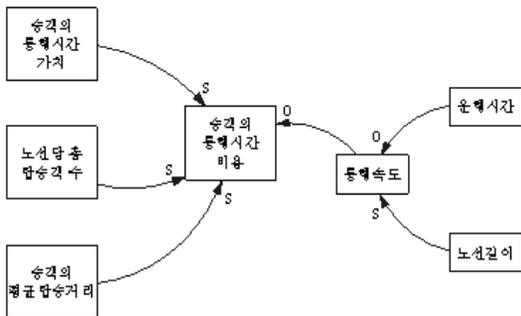
<Fig. 2> A linear relationship of a passenger's waiting time

s: same direction (정의 관계, +)  
o: opposite direction(부의 관계, -)

시간의 가치, 노선당 총 탑승객의 수 그리고 승객의 평균탑승거리, 운행시간과의 관계로 표현할 수 있으며 그 식은 다음과 같다.

$$C_{pl} = C_t \times Q \times (d/v) = C_t \times Q \times d \times (t/D) \quad (4)$$

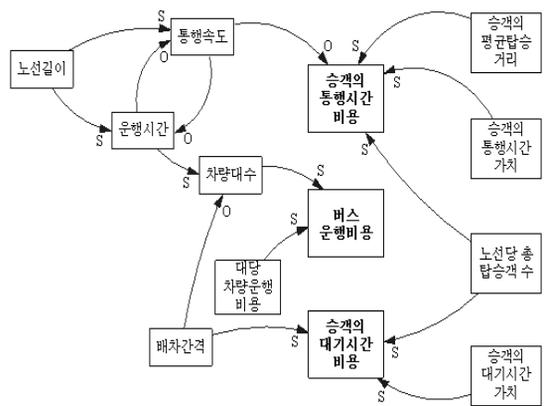
- 여기서 ●  $C_{pl}$  = 승객의통행시간비용  
 ●  $C_t$  = 승객의통행시간가치  
 ●  $Q$  = 노선당총탑승객수  
 ●  $d$  = 승객의 평균 탑승거리  
 ●  $D$  = 노선길이



<그림 3> 승객통행시간비용의 선형적 관계

<Fig. 3> A linear relationship of a passenger's traveling time

s: same direction (정의 관계, +)  
o: opposite direction(부의 관계, -)



<그림 4> 총교통비용의 결정변수들간의 선형적 관계

<Fig. 4> A linear relationship among independent variables of total transportation cost

- $v$  = 운행속도
- $t$  = 운행시간

승객의 통행시간비용을 도식화 하면 <그림 3>과 같다.

앞서 제시한 각각의 선형적 관계를 통합하면 <그림 4>와 같다.

### Ⅲ. 교통비용 인과지도

#### 1. 변수간의 관계 규정

SD관점에서 변수간의 관계는 순환적 관계를 전제로 하고 있다. 즉, 변수 A가 B에 영향을 미치면 B 또한 A에게 영향을 미친다. 중간에 매개변수를 경유할 수 있지만 궁극적으로 두 변수간의 관계는 일방적인 선형적 관계가 아닌 상호 영향을 교환하는 순환적 관계로서 닫힌 인과고리 (closed causal loop)을 형성한다 [7].

교통비용모형을 구성하고 있는 변수들 간의 순환적 관계성과 인과성을 분석하면 <표 1>과 같다.

대당차량운행비용의 변화는 버스운행비용의 증감에 직접적인 원인으로 작용한다. 즉, 대당차량운행비용의 증감은 버스운행비용의 증감을 같은 방향으로 변화하게 만든다. 즉 전자가 증가하면 후자도 증가

<표 1> 교통비용 결정변수간의 인과성 분석  
 <Table 1> Independent variables' causality in bus scheduling model

변수 A	=>	변수 B	인과성
버스운행비용		대당차량운행비용	no causality
대당차량운행비용		버스운행비용	same direction
버스운행비용		차량대수	opposite direction
차량대수		버스운행비용	same direction
차량대수		운행시간	opposite direction
운행시간		차량대수	same direction
차량대수		배차간격	no causality
배차간격		차량대수	opposite direction
운행시간		노선길이	no causality
노선길이		운행시간	same direction
노선길이		차량대수	same direction
차량대수		노선길이	no causality
운행속도		운행시간	opposite direction
운행시간		운행속도	no causality
승객통행시간비용		운행시간	no causality
운행시간		승객통행시간비용	same direction
승객평균탑승거리		승객통행시간비용	same direction
승객통행시간비용		승객평균탑승거리	no causality
승객통행시간가치		승객통행시간비용	same direction
승객통행시간비용		승객통행시간가치	opposite direction
승객통행시간비용		노선당총탑승객수	no causality
노선당총탑승객수		승객통행시간비용	opposite direction
노선당총탑승객수		배차간격	opposite direction
배차간격		노선당총탑승객수	same direction
배차간격		승객대기시간비용	same direction
노선당총탑승객수		승객대기시간비용	same direction
승객대기시간비용		노선당총탑승객수	no causality
승객대기시간가치		승객대기시간비용	same direction
승객대기시간비용		승객대기시간가치	opposite direction

하고, 전자가 감소하면 후자 또한 감소한다. 하지만 버스운행비용이 증가하였다고 대당 차량운행비용이 직접적으로 영향을 받는 것은 아니다.

차량대수의 증감은 버스운행비용의 증감에 직접적인 영향을 주며 증감의 방향성은 동일하다. 또한 버스운행비용의 증감은 차량대수의 변화에 영향을 주지만 그 증감의 방향은 반대로 나타난다. 즉, 차량대수가 증가하면(감소하면) 버스운행비용 또한 증가한다(감소한다). 하지만 버스운행비용이 증가하면 차량대수는 오히려 감소하여 궁극적으로 버스운행비용을 낮추는 작용을 한다.

차량대수와 운행시간의 관계 또한 버스운행비용과 차량대수와의 관계와 유사한 패턴을 보인다. 즉, 운행시간의 증감은 차량대수의 증감을 같은 방향으로 작동하게 하나, 차량대수가 운행시간에 미치는 영향은 오히려 다른 방향으로 발생하게 작용한다.

노선길기와 차량대수의 관계는 일방적이다. 노선길이는 정해져 있는 것으로, 노선길이가 증가하면 차량대수는 당연히 증가해야 한다. 하지만 차량대수가 변한다고 하여 한번 결정된 노선길이가 바뀌지는 않는다. 마찬가지로 이유로 노선길이는 배차간격에 영향을 미치나 배차간격의 변화가 노선길이의 변화를 가져올 수는 없다.

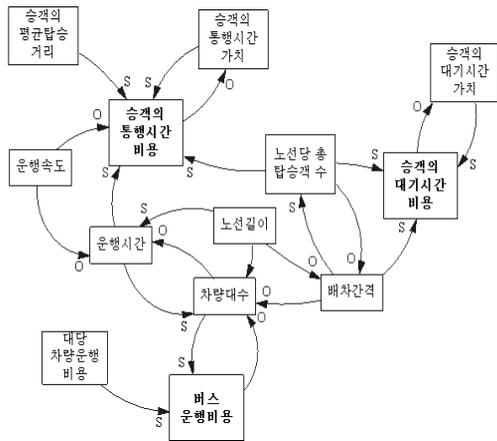
배차간격의 증감은 차량대수의 증감에 직접적인 영향을 준다. 다만, 그 방향은 정 반대로 나타난다. 배차간격이 길어지면 운행차량대수는 오히려 감소한다. 하지만 차량대수가 늘어나면 배차간격은 어떻게 될까? 꼭 감소할 필요는 없다. 감소할 수는 있지만 이는 선택의 문제이다.

운행시간의 증감은 승객의 통행시간 비용의 증감에 직접적인 영향을 미친다. 하지만 승객의 통행시간 비용이 증가하거나 감소한다고 해서 이것이 운행시간의 원인으로 작용할 수는 없다. 운행속도는 승객의 통행시간 비용과 운행시간에 다른 방향으로의 영향을 주지만 두 변수는 운행속도의 변화에 어떤 직접적인 영향을 줄 수는 없다. 다만 운행속도는 정류장 구간별로 혹은 앞차와의 거리유지를 위해 의도적으로 한시적이지만 속도를 높이거나 또 줄일 수 있다.

승객의 평균탑승거리는 승객의 통행시간 비용의 변화에 직접적인 영향을 준다. 전자의 증가는 후자의 증가를 초래하고, 전자의 감소는 후자의 감소를 의미한다. 하지만 후자는 전자의 변화에 영향을 줄 수 없다.

통행시간가치의 변화는 통행시간비용에 같은 방향으로의 영향을 준다. 하지만 통행시간의 증감이 꼭 통행시간 가치의 변화를 예측가능하게 해주지는 않는다.

승객의 대기시간비용은 승객의 대기시간가치에 일정한 영향을 미친다. 전자가 증감은 후자를 다른



<그림 5> 최적배차간격모형의 ‘인과지도 1’  
 <Fig. 6> ‘A causal loop diagram 1’ of optimal bus scheduling model

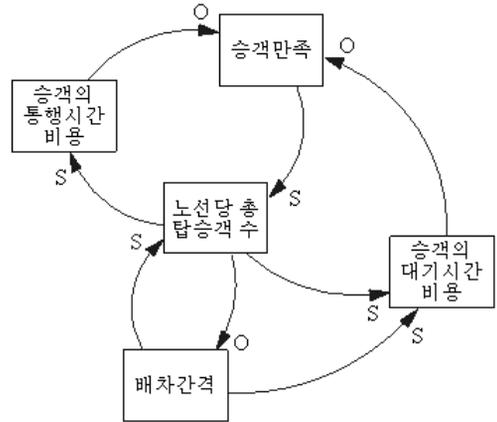
방향으로 움직이게 한다. 즉 대기시간비용이 증가하면 대기시간 가치를 감소시키며 비용의 감소는 역으로 가치를 증가시킨다. 하지만 가치의 증감은 비용의 증감을 같은 방향으로 움직이게 작용한다.

노선당 총 탑승객 수의 증감은 승객의 통행시간비용, 배차간격 그리고 승객의 대기시간비용 모두에 영향을 준다. 하지만 승객의 통행시간비용과 노선당 총 탑승객수에 영향을 주지는 못한다. 하지만 승객의 대기시간 비용이 감소하거나 배차간격이 짧아지면 노선당 총 탑승객 수 또한 증가하게 된다.

이상의 논의를 통하여 작성된 CLD가 <그림 5>에 제시되었다. <그림 4>와 비교하여 보다 순환적 관계를 보여주고 있다. 하지만 여전히 승객의 통행시간 비용변수의 무리들은 다른 버스운영비용 및 승객의 대기시간 비용 무리들과는 순환적 관계를 유지하는 것이 아니라, ‘운행시간’변수와 ‘노선당 총 탑승객 수’ 변수를 넘지 못하고 있다.

**2. 추가 변수: ‘승객만족’**

배상훈의 2명(2007)의 연구는 이러한 고민을 해소하는데 많은 도움이 된다. 연구자들은 탑승객의 만족도를 교통비용모형에 반영하여 그것이 교통비용에 미치는 영향을 시뮬레이션을 통하여 검증하였으



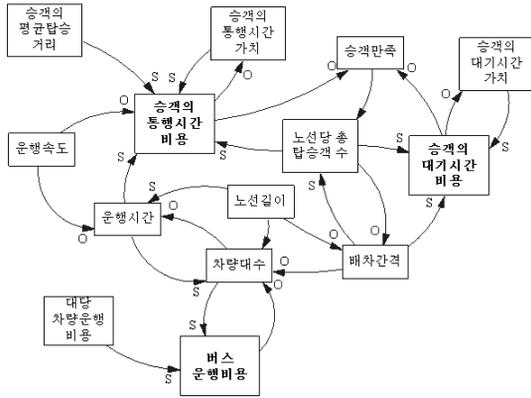
<그림 6> 승객만족도와 탑승객 수와의 순환적 관계  
 <Fig. 6> The causal loop relationship between total passengers and passenger’s degree of satisfaction

며 그 결과, 의미 있는 비용감소결과가 나왔다고 보고하였다 [4]. 만족도의 측정은 대기시간에 따른 탑승객의 만족도를 지수함수식을 통하여 도출하였다.

연구결과에 의하면, 노선당 총 탑승객 수는 배차간격에 영향을 주며 이는 다시 승객의 대기시간 비용에 영향을 주고, 대기시간비용은 승객만족에 영향을 주어, 노선당 총 탑승객 수에 영향을 주는 전형적인 순환적 관계를 보여주고 있다. 또한 노선당 총 탑승객 수는 승객의 통행시간 비용에 영향을 주고 이는 다시 승객만족변수를 거쳐 노선당 총 탑승객 수로 되돌아오는 또 다른 순환적 관계를 보여주고 있다(<그림 6>참조).

기존의 교통비용모형에 입각하여 작성한 변수들 간의 관계는 <그림 4>에서 볼 수 있듯이 모든 변수들 간의 인과적 관계는 승객의 통행시간비용, 승객의 대기시간 비용 그리고 버스 운행비용에 귀결되고 있으며, 이 세 변수는 결국 총교통비용이라는 목적 변수의 최소화를 위한 원인으로 작용할 뿐, 그 관계가 다시 각각의 결정변수에 어떻게 영향이 되돌아오는지를 보여주지 못하고 있다.

새롭게 작성한 인과지도는 기존의 선형적 관계의 틀에서 벗어나 모형을 구성하고 있는 변수들 사이에서 실제로 어떤 관계들이 발생하고 있는지를 표현하고 있다(<그림 7> 참조).



<그림 7> 최적배차간격모형의 인과지도  
 <Fig. 7> A causal loop diagram of optimal bus scheduling model

IV. 저장(Stock)/유량(Flow) 인과지도

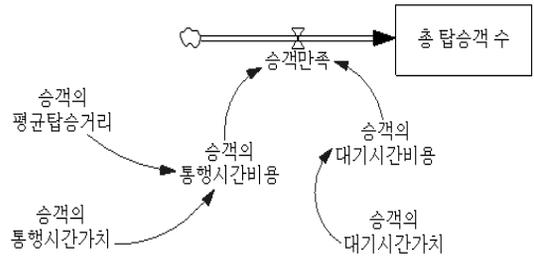
CLD를 계량적으로 시뮬레이션이 가능하게 하기 위해서는 저장/유량 인과지도(Stock & Flow Diagram : SFD)의 작성이 필요하다. SD에서 정의되는 모든 수식은 원론적으로 두 가지 유형의 변수로 구분할 수 있다. 우리가 흔히 저장변수(Stock Variable)이라 표현하는 수준변수(Level Variable)는 행위의 결과로 저장되어 쌓아지는 변수를 의미한다. 저수지에 가득 채워진 물을 여기에 비유할 수 있다. 또 다른 중요 개념은 유량변수(Flow Variable)라고 부르는 변화율 변수(Rate Variable)이다. 이는 저장의 투입(input)과 산출(output)을 결정하는 비율로서 저수지로 비유하면 유입되는 물의 양과 유출되는 물의 양을 계산하는 변화율을 의미한다 [7].

수준(L)과 변화율(R)은 다음과 같은 수식으로 정의할 수 있다.

$$(dL/dt) = R \tag{5}$$

여기서  $L$  = 수준 변수  
 $R$  = 변화율 변수  
 $t$  = 시간

이외에도 보조변수, 상수, 정보의 흐름 등을 나타내는 다양한 요소가 있다.



<그림 8> 총 탑승객 수 저유량 인과지도  
 <Fig. 8> Total passengers' stock & flow diagram

최적 배차간격모형의 인과지도에는 물리적으로 두드러지는 두 개의 저장 변수가 있다. ‘총 탑승객 수’와 ‘차량대수’가 바로 그 두 저장 변수로서 우선 ‘총 탑승객 수’ 변수를 둘러싼 관계를 SFD로 <그림 8>과 같이 작성할 수 있다. 총 탑승객 수는 버스 한 대가 차고지를 출발하여 반대 차고지에 도착할 때까지 탑승한 총 탑승객의 합으로서 누적개념이다. 잠재적 승객과 정류장 수에 의해서 총 잠재적 승객을 도출할 수 있겠지만 결국 탑승으로 이어지는 승객은 승객만족도가 일정 수준 이상이 되는 사람들이다.

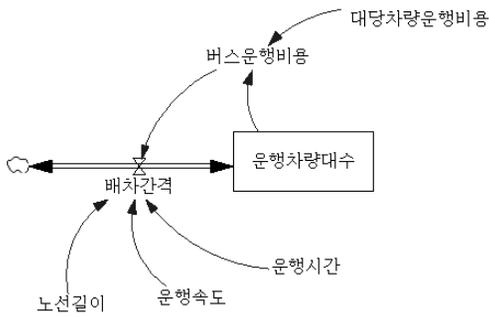
배상훈외 2명(2007) 연구결과에 의하면 승객만족에 직접적 원인이 되는 것은 탑승에 수반되는 비용이다 [4]. 즉, 승객의 통행시간비용과 승객의 대기시간 비용이 바로 그것이다. 승객의 통행시간비용은 승객의 탑승시간과 승객의 통행시간가치에 의해서 좌우되며 개별적 승객의 탑승거리는 승객의 평균탑승거리로 대신하였다. 승객의 대기시간비용은 승객의 대기시간가치에 의해 영향을 받는다. 이외에도 배차간격이 중요한 원인으로 작용하나 이 변수는 다음 SFD에서 보다 자세하게 다루도록 하겠다.

운행차량대수는 노선에서 운영되고 있는 차량의 합이다.

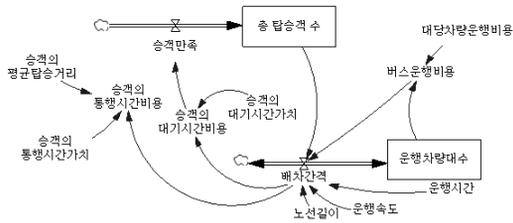
이외에도 예비버스가 있을 수 있으나 본 분석은 총교통비용을 최소화하는 결정변수의 값을 찾는 데 있지 않으므로, 본 분석에서는 제외하도록 하겠다.

운행차량대수는 기본적으로 노선길이와 배차간격에 의해 결정된다.

두 개의 SFD 인과지도를 통합하면 <그림 10>과 같다. 배차간격은 승객의 대기시간비용과 승객의 통



<그림 9> 운행차량대수 저유량 인과지도  
<Fig. 9> Buses-on-the-road diagram



<그림 10> 최적배차간격모형의 저유량인과지도  
<Fig. 10> Stock & Flow diagram of optimal bus scheduling model

행시간비용에 영향을 주며 그것이 총탑승객수를 경유하여 다시 배차간격에 영향을 준다.

시뮬레이션 결과 배차간격, 차량대수, 운행시간 그리고 총 탑승객 수 사이에는 의미 있는 관계가 나타났다.

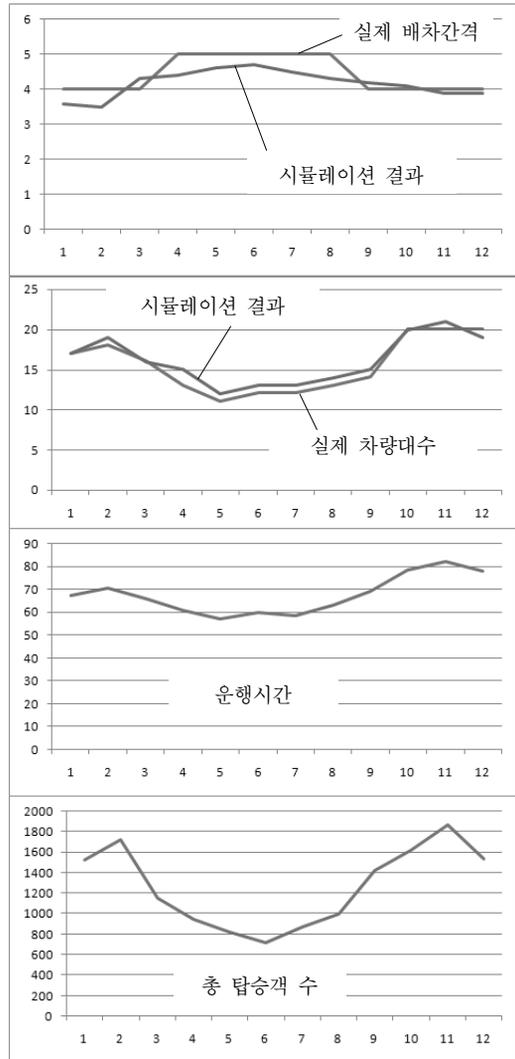
우선 총교통비용의 결과와 시뮬레이션 결과와의 관계를 보면 두 모형 간에 큰 차이를 보이지 않았다. 이는 아마도 두 가지 원인이 작용했다고 이해된다.

하나는 SFD 시뮬레이션에 적용하였던 수식이 기본적으로 총교통비용의 수식에 기초하였다는 점이다. 수학적으로 논리구조가 유사하다 보니, 그 결과 또한 유사하게 나온 것으로 사료된다.

두 번째, 본 모형은 기존의 선형적 관계에 기반한 모형을 순환적 피드백 관계에 기반한 모형으로 전환하는데 더 중요한 의미를 두었기에, 실제 모형에 포함되었어야 할 변수들이 전혀 고려되지 못하였다. 버스 운영계획모형은 기본적으로 비용 최소화를 찾는 모형이다. 관련 연구 상당수가 운영비용과 사용

자 비용의 최소화를 목적함수로 하고 있는 관계로 결정변수 또한 배차간격이나 노선의 길이, 차량보유대수, 배차간격, 운행 횟수 등으로 제한되어있다.

목적함수를 운영수입 및 사용자 편의의 최대화와 같은 쪽으로 맞추어졌다면 결정 변수가 좀 더 다양해졌으리라 생각하며 보다 높은 수준의 동태성을 볼 수 있었으리라 기대된다.



<그림 11> 배차간격, 차량대수, 운행시간 그리고 총 탑승객 수(그래프 순서대로 열거)간의 관계

<Fig. 11> The relationship among 'bus scheduling interval', 'buses on the road', 'time to take a trip' and 'total passengers'

## V. 결 론

본 연구는 버스 운영계획모형을 시스템 다이내믹스 관점에서 재해석하여, 기존의 선형적 관계에 뿌리를 두고 있는 예측모형을 순환적 관계로 전환하는데 주된 목적을 두었다.

충교통비용모형을 구성하고 있는 버스운행비용, 승객의 대기시간 비용 그리고 승객의 통행시간비용의 결정변수들 간의 선형적 관계를 SD관점의 순환적 고리에 기반한 CLD로 재구성하였다(<그림 7> 참조). 그 과정에서 ‘승객만족’ 변수를 새롭게 추가하여 세 변수들의 순환적 연계가 가능하게 하였으며 (<그림 6> 참조), 이를 토대로 정량적 시뮬레이션이 가능한 SFDiagram을 개발하였으나 성과는 다소 제한적이었다.

시뮬레이션 결과는 기존의 버스 운영계획모형과 커다란 차이를 보이지 않고 있다. 배차간격의 경우, 실제 배차간격보다 다소 낮은 수치를 제공하고 있어서 실제보다 약간 높은 차량대수를 보이고 있다.

차량대수 변수와 운행시간 변수는 매우 유사한 변화 패턴을 보이고 있다. 이는 도로의 혼잡성으로 인해 운행시간이 길어지면 그와 함께 도로에서 운행되고 있는 차량도 많아짐을 의미하며, 이후 모델 개발에는 도로의 혼잡성 변수를 포함하여야 할 것이다.

시뮬레이션 결과, 배차간격이 짧을수록 높은 탑승객을 기록하는 것으로 나타났다. 이는 짧은 배차간격이 결과적으로 승객의 대기비용과 통행비용을 감소시켜 보다 많은 사람이 탑승하게 되는 결과로 이어진다고 해석된다. 승객의 만족도에 영향을 주는

변수가 승객의 비용감소 이외에 어떤 점들이 있는지 체계적인 연구가 요구된다고 사료된다.

## 참 고 문 헌

- [1] J. O. Jansson, "A simple bus line model for of service frequency and bus size," *J. Transport Economics and Policy*, vol. 14, no 1, pp. 53-80, Jan. 1980.
- [2] M. A. Fobes, "An exact algorithm for multiple depot bus scheduling," *European J. Organizational Research*, vol. 72, no. 1, pp. 115-124, Jan. 1991.
- [3] 정영삼, "버스 운행시간 분석 및 최적 배차간격 모형 개발," *명지대학교 대학원 논문집*, 공학 계열 제 1집, pp. 509-516, 1998. 2.
- [4] 배상훈, 김탁영, 류범용, "이용자 만족도를 반영한 최적 버스 배차 간격 설정 모형의 개발," *한국 ITS학회논문지*, 제6권, 제3호, pp. 12~23, 2007. 12.
- [5] 고승영, 고종섭, "버스의 최적운행시격 및 보유대수 모형개발," *대한교통학회지*, 제16권, 제2호, pp. 169-176, 1998. 6.
- [6] 이호상, 박종현, 조성훈, 윤병조, "다중제약을 고려한 최적 버스운행계획 알고리즘 개발," *대한교통학회지*, 제24권, 제7호, pp. 29-138, 2006. 12.
- [7] R. I. Hall, P. W. Aitchison, W. L. Kocay, "Causal policy maps of managers: Formal methods for elicitation and analysis," *System Dynamics Review*, vol. 10, no. 4, pp. 337-360, 1994.

### 저자소개



김 경 식 (Kim, Kyeong Sik)  
2000년 한양대학교 박사과정 수료(인사조직)  
1994년 8월~The Univ. of Oregon, MBA  
1994년 9월~현재 : 한양여자대학 경영과