

# 다수의 기종점에 대한 열차의 좌석용량배분모형

## A Train Seat Capacity Distribution Model to Multiple Origin-Destinations

김성호<sup>1</sup>, 오석문<sup>2</sup>

Seongho Kim, Seog-Moon Oh

**Keywords** : Train Seat Capacity(열차의 좌석용량),

Spill Model(상실수요모형), Nonlinear Programming(비선형계획법)

### Abstract

In this paper we present a nonlinear programming model for the train seat capacity distribution with a numerical example. The model finds the optimal capacity distribution methods which minimize the sum of the differences between the demands and the seat capacities. Also the model provides the information on the degree of the discrepancy between the demand and the seat capacities. One can use the model as a tool for planning train seat capacity planning.

### 1. 서론

최근 세계 각국의 철도회사들은 철도자원의 효율적 활용을 통해 이익을 극대화하기 위한 다양한 노력을 기울이고 있다. 경영과학(operations research)이론을 활용하여 철도자원의 이용 효율성을 높일 수 있다는 사실은 많은 철도회사들이 인식하고 있으며 실제로 많은 사례를 찾아 볼 수 있다. 열차스케줄(train scheduling)분야는 가장 활발하게 경영과학이론이 활용되는 분야이며(Cordeau, Toth, and Vigo 1998), 최근에는 철도회사의 수익관리시스템(yield management system: YMS)에도 활용되고 있는 추세에 있다(Ciancimino, Inzerillo, Lucidi, and Palagi 1999).

본 논문의 목적은 열차의 좌석용량배분문제(train seat capacity distribution problem: TSCDP)에 대한 비선형계획모형(nonlinear programming model)을 제시하고 그 수치예제를 제시하는 것이다. TSCDP는 열차의 좌석용량을 열차가 서비스하는 다수의 기종점(origin- destination: 이하 OD라 칭함)에 배분하는 문제를 의미하며 이 문제는 YMS의 인벤토리를 통제하거나(Ciancimino, Inzerillo, Lucidi, and Palagi 1999) 또는 열차스케줄의 용량계획작성에 유용하게 사용할 수 있다(Ben Khedher, Kintanar, Queille, and Stripling 1998). YMS에서는 좌석예약이 시작되는 시점에서 각 OD별로 판매할 수 있는 좌석의 최대수량을 사전에 설정해야 하는데 TSCDP의 최적해를 구하여 설정할 수 있을 것이다. 열차스케줄의 용량계획은 수요가 많을 것으로 예상되는 열차에 더 많은 좌석을 할당하는 방식으로 수립되어야 한다. 일반적으로 수송수요는 OD별로 추정되며 따라서 수요를 고려하여

<sup>1</sup> 정회원, 한국철도기술연구원, 선임연구원

<sup>2</sup> 정회원, 한국철도기술연구원, 주임연구원

열차의 용량계획을 수립하기 위해서는 열차의 좌석용량을 OD별로 변환하는 것이 필요하다. TSCDP는 열차의 좌석용량을 OD별로 변환하는 수단을 제공할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2절에서 TSCDP에 대해서 설명하고 제3절에서는 TSCDP의 해를 구하기 위한 비선형계획모형을 제시한다. 제4절에서는 수치예제를 제시하고 제5절에서 결론을 맺는다.

## 2. 열차의 좌석용량배분문제

열차의 좌석용량배분문제는 열차의 좌석용량을 열차가 서비스하는 다수의 기종점에 배분하는 문제를 의미한다. 열차스케줄에서 열차의 좌석용량은 수요(여객수)와 공급(좌석수)을 일치시킴으로서 여객만족도 또는 철도회사의 수입을 최대화하도록 할당되어야 한다. 이를 위해서는 열차에 할당된 좌석용량에 따른 수요와 공급의 불일치 정도를 나타내는 함수가 필요하다. 그런데 열차에 할당된 용량과 수요·공급의 불일치 정도간의 관계는 용량을 OD에 배분하는 방법에 따라 달라지게 되며 본 논문에서 제시하고자 하는 TSCDP모형은 수요·공급의 불일치 정도를 최소화하는 용량배분방법을 찾고 동시에 최소화된 수요·공급의 불일치 정도에 관한 정보를 제공한다.

### 2.1 레그와 OD간의 관련성

레그(leg)는 이웃한 두 정차역 구간을 의미하며 일반적으로 1개 이상의 OD를 포함한다. 예를 들어 어떤 열차가 서울발 부산행이며 대전과 동대구에서 정차한다고 하자. 이 경우 Fig. 1에 나타낸 바와 같이  $L_1, L_2, L_3$  등 3개의 레그가 형성되며 이 열차는  $OD_1, OD_2, OD_3, OD_4, OD_5, OD_6$  등 6개의 OD에 수송서비스를 제공할 수 있다.

Fig. 1에서  $L_1$ 은  $OD_1, OD_2, OD_3$ 을 포함한다. 즉 서울-대전 구간에서는 서울에서 대전까지 가고자 하는 여객, 서울에서 동대구까지 가고자 하는 여객, 서울에서 부산까지 가고자 하는 여객들이 열차에 함께 승차하게 된다.

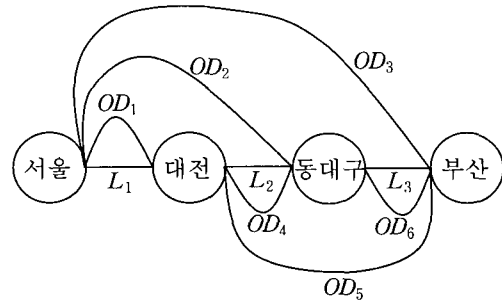


Fig. 1 레그와 OD간의 관계

레그에 여러 개의 OD가 포함되므로 레그용량을 각 OD에 배분하는 방법은 여러 가지가 가능하게 되며 어떻게 배분하는가에 따라 수요와 공급의 차이가 달라지게 된다. 예를 들어  $L_1$ 의 좌석용량의 대부분이 서울-부산 여객에게 배분될 경우 서울-대전 여객과 서울-동대구 여객은 좌석부족으로 승차하지 못할 가능성이 높아진다.  $L_1$ 의 용량배분은 다른 레그에 포함된 OD에도 영향을 주게 된다.  $L_2$  및  $L_3$ 의 좌석용량 배분도 서로 관련되어 있는 OD에 영향을 주게 된다. Kniker and Barnhart(2000)는 항공교통의 상황에서 레그의 좌석용량 배분이 OD여객의 스펴 발생 가능성에 주는 영향을 네트워크효과(network effect)라는 개념으로 설명한 바 있다.

### 2.2 스펴

스펴(spill)은 좌석용량의 제약으로 승차하지 못한 여객수를 의미한다. 즉 스펴은 수요·공급의 불일치 정도를 나타내 주는 지표라 할 수 있으며, 스펴의 발생은 여객불만족의 증가 또는 잠재수입의 상실을 의미한다. 스펴을 추정하기 위한 스펴모형은 1970년대 중반부터 항공분야를 중심으로 많은 연구가 이루어졌으며(Shlifer and Vardi 1975), YMS에 통합되어 특정 노선에 투입할 항공기의 규모 또는 유형의 결정, 신규도입 항공기의 유형 결정 등에 필요한 정보를 생성하는데 활용되어 왔다.

어떤 OD의 수요를  $X$ 라하고 용량을  $C$ 라하자. 수요  $X$ 를 확정변수로 가정하면 스펴  $S$ 는 식(1)로 나타낼 수 있다.

$$S = X - C \tag{1}$$

식 (1)에 나타낸 스펙트럼모형은 계산이 편리하다는 장점이 있으나 수요의 불확실성을 반영하지 못한다는 단점이 있다. 수요의 불확실성을 효과적으로 나타내는 방법은 수요  $X$ 를 Fig. 2와 같이 확률분포로 표현하는 것이다.

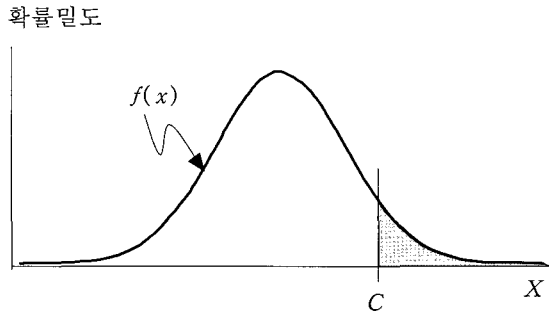


Fig. 2 수요의 분포

Fig. 2에서  $f(x)$ 는 수요  $X$ 의 확률밀도함수(probability density function)이며 음영으로 나타낸 부분의 면적은 스펙트럼  $S$ 가 발생할 확률을 의미한다. 수요  $X$ 는 용량  $C$ 보다 작은 값으로 발생할 수도 있고 용량 보다 큰 값으로 발생할 수도 있다. 스펙트럼  $S$ 는  $X > C$ 의 경우에만 발생하며 그 기대값  $\hat{S}$ 은 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \hat{S} &= E(S|X > C) \\ &= E(X - C|X > C) \\ &= \int_C^\infty (x - C)f(x) dx \end{aligned} \quad (2)$$

Swan(1984)은 수요  $X$ 의 확률분포로 평균이  $\mu$ , 표준편차가  $\sigma$ 인 정규분포를 가정하고 기대스필(expected spill)  $\hat{S}$ 을 결정하기 위한 스펙트럼모형을 식 (3)과 같이 유도하였다.

$$\begin{aligned} \hat{S} &= \sigma[\phi(b) - b(1 - \Phi(b))] \\ \text{여기서 } b &= (C - \mu)/\sigma \\ \phi(x) &= (1/\sqrt{2\pi}) \exp\{-0.5x^2\} \\ \Phi(x) &= (1/\sqrt{2\pi}) \int_{-\infty}^x \exp\{-0.5t^2\} dt \end{aligned} \quad (3)$$

본 논문에서 제시하는 TSCDP모형에서는 열차가 서비스하는 각 OD의 수요·공급의 불일치정도를 나타내는 수단으로 계산이 편리한 확정적 스펙트럼을 사용하는 대신 수요의 불확실성을 반영한 확률적 스펙트럼을 사용하였으며 확률적 스펙트럼모형으로는 Swan이 제시한 스펙트럼모형을 사용하였다.

### 3. 비선형계획모형

본 논문에서 제시하는 TSCDP모형은 OD수요가 정규분포를 따르는 확률변수인 것으로 가정한 상태에서 열차의 좌석용량을, 열차가 서비스하는 다수의 OD에 대해서 각 OD의 수요·공급의 불일치정도 즉 기대스필이 최소가 되도록 배분하는 방법을 찾는 비선형계획모형(nonlinear programming model)이다.

모형을 수식으로 표현하기 위해 다음과 같은 기호를 가정한다.

- $L$  = 레그들의 집합을 의미하며 이 집합의 원소는  $l, k$ 로 나타냄.
- $J$  = OD들의 집합을 의미하며 이 집합의 원소는  $j$ 로 나타냄.
- $J_l$  =  $J$ 의 부분집합으로 레그  $l$ 에 포함된 OD들의 집합을 의미함.
- $\bar{J}_l$  =  $J_l - \bigcup_{i=1}^{l-1} J_i$  ( $J_0$ 는 공집합)
- $x'_j$  = 레그  $l$ 의 용량 중에서 OD  $j$ 에 배분된 용량을 의미함(모형의 결정변수)
- $C_l$  = 레그  $l$ 의 용량
- $\mu_j$  = OD  $j$  수요의 평균을 의미함
- $\sigma_j$  = OD  $j$  수요의 표준편차를 의미함
- $\hat{S}_j$  = OD  $j$ 의 기대스필을 의미하며 아래의 식 (4)로 계산됨

$$\hat{S}_j = \sigma_j[\phi(b_j) - b_j(1 - \Phi(b_j))] \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{여기서 } b_j &= (x'_j - \mu_j)/\sigma_j \\ j &\in \bar{J}_l \\ l &\in L \end{aligned}$$

기대스필을 최소화하는 TSCDP모형은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{Minimize } \sum_{j \in J} \tilde{S}_j$$

subject to

$$\begin{aligned} \sum_{j \in J_l} x_j^l &\leq C_l, \quad l \in L & (5) \\ x_j^l &= x_j^k, \quad j \in J, \quad l, k \in L \\ \tilde{S}_j / \mu_j &\geq p, \quad j \in J \\ x_j^l &\geq 0, \quad j \in J, \quad l \in L \end{aligned}$$

식 (5)에서 목적함수는 각 OD의 기대스필의 합 ( $\sum_{j \in J} \tilde{S}_j$ )을 최소화하는 것이다. 각 OD의 기대스필은 각 OD별 수요와 공급의 불일치 정도로 해석할 수 있다. 즉 TSCDP모형은 열차에 대한 수요를 확률 변수로 가정함으로써 수요의 불확실성을 모형에서 명시적으로 고려하고 있으며 수요와 공급의 불일치 정도를 최소화하는 좌석용량배분방법과 더불어 수요·공급간의 불일치정도에 관한 정보를 제공할 수 있다.

식 (5)에서 첫 번째 제약조건은 각 레그별로 OD에 배분되는 용량의 합  $\sum_{j \in J_l} x_j^l$ 이 레그에 할당된 용량  $C_l$ 을 초과할 수 없음을 의미한다. 식 (5)에서 두 번째 제약조건은 OD  $j$ 에 배분된 용량은 레그가 달라져도 일정함을 의미한다. 예를 들어 Fig. 1에서  $L_1$ 의 용량이 100석이라 하자.  $OD_1$ 은  $L_2$ 와  $L_3$ 에도 포함되어 있으므로  $L_1$ 의 100석 중  $OD_1$ 에 40석이 배분되었다면  $L_2$ 의 용량 중  $OD_1$ 에 40석이 배분되어야 하며  $L_3$ 의 용량 중에서도 역시  $OD_1$ 에 40석이 배분되어야 한다. 만약  $L_2$ 의 용량 중에서  $OD_1$ 에 30석을 배분한다면 서울에서 부산을 가고자 하는 여객 중 10명이 대전에서 내려야 한다는 의미가 된다. 만약  $L_2$ 의 용량 중에서  $OD_1$ 에 50석을 배분한다면 이는 서울에서 부산을 가고자 하는 여객 중에서 10명이 대전에서 승차한다는 의미가 되며 이는 모순이다. 식 (5)의 세 번째 제약조건에서 부등식의 좌변  $\tilde{S}_j / \mu_j$ 은 OD  $j$ 의 평균수요  $\mu_j$ 에서 스페일될 것으로 기대되는 사람들  $\tilde{S}_j$ 의 비율을 의미하며 이 비율의 하한값을 특정한 값  $p$ 로 제약하는 것은 비정상적인 극단적 해가 발생하지 않도록 해준다. 식 (5)에서 네 번째 제약조건은 모든 결정변수의 값이 음수가 되어서는 않된다는 의미이다.

#### 4. 수치예제

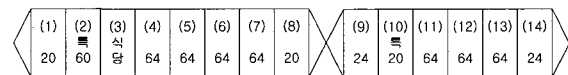
여기서는 대전과 동대구에 정차하는 서울발 부산행 새마을호 열차의 과거 수송실적자료에 근거하여 재구성한 수송 수요 및 용량 자료를 사용하여 앞의 식 (5)에서 제시한 TSCDP모형의 적용사례를 제시하고자 한다.

Table 1 수요자료

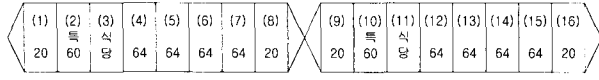
OD	$j$	평균 $\mu_j$	표준편차 $\sigma_j$
서울-대전	1	94	14
서울-동대구	2	147	23
서울-부산	3	166	28
대전-동대구	4	25	4
대전-부산	5	58	7
동대구-부산	6	126	21

Table 1에 나타난 수요자료는 1998년 3월 4일부터 4월 3일까지의 31일간 대전과 동대구에 정차하는 서울발 부산행 새마을호 열차의 과거 수송실적자료를 기초로 구성된 것이다. 여기서 제시하는 수치예제는 앞절에서 제시한 TSCDP모형의 적용과정을 보여주는 것을 주된 목적으로 하며 따라서 자료의 시기 및 시간범위는 중요하지 않은 것으로 판단된다.

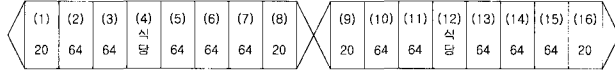
새마을호 열차의 좌석용량은 편성의 차량 조성 형태에 따라 다양하다. 예를 들어 1998년 5월 15일 시점에서 우리나라에서 사용된 PP동차의 차량 조성 형태는 PP동차 중련 일반편성에는 616석, 712석, 720석 등의 3가지 종류가 있고, PP동차 일반편성 356석, PP동차 6량 편성 260석, 그리고 PP동차 중련 특실전용편성 680석 등이 있다. Fig. 3은 차량 조성 형태와 좌석용량의 예를 그림으로 나타낸 것이다.



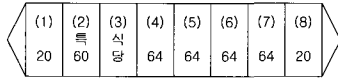
(PP동차 중련 일반편성 616석)



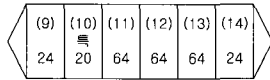
(PP동차 중련 일반편성 712석)



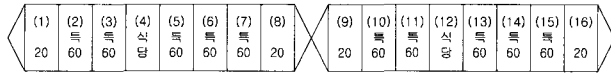
(PP동차 중련 일반편성 720석)



(PP동차 일반편성 356석)



(PP동차 6량편성 260석)



(PP동차 중련 특실전용편성 680석)

Fig. 3 차량 조성 형태와 좌석용량의 예

여기서는 열차의 좌석용량으로 PP동차 일반편성 356석과 PP동차 6량편성 260석으로 가정해 보자.

대전과 동대구에 정차하므로 레그는 서울-대전, 대전-동대구, 동대구-부산 등 3개가 형성되며 OD는 Table 1에 나타나 있듯이 6개가 가능하다. 즉  $L = \{1, 2, 3\}$ , 여기서 1 = 서울-대전, 2 = 대전-동대구, 3 = 동대구-부산 레그이다. 그리고  $J = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ , 여기서 1 = 서울-대전, 2 = 서울-동대구, 3 = 서울-부산, 4 = 대전-동대구, 5 = 대전-부산, 6 = 동대구-부산 등이다. 각 레그별로 포함된 OD는 Fig. 1로부터 쉽게 알 수 있으며 이를 기호로 나타내면  $J_1 = \{1, 2, 3\}$ ,  $J_2 = \{2, 3, 4, 5\}$ ,  $J_3 = \{3, 5, 6\}$  등이다. 각 레그별로  $\bar{J}_1 = \{1, 2, 3\}$ ,  $\bar{J}_2 = \{4, 5\}$ ,  $\bar{J}_3 = \{6\}$ 이 된다.

각 OD별로 기대스필  $\tilde{S}_j$ ,  $j \in J$ 을 나타내면 Table 2와 같다.

Table 2 OD별 기대스필

OD $j$	레그 $l$	$b_j, \tilde{S}_j$
1	1	$b_1 = (x_1^1 - 94) / 14,$ $\tilde{S}_1 = 14 \cdot [\phi(b_1) - b_1 \cdot \{1 - \Phi(b_1)\}]$
2	1	$b_2 = (x_2^1 - 147) / 23,$ $\tilde{S}_2 = 23 \cdot [\phi(b_2) - b_2 \cdot \{1 - \Phi(b_2)\}]$
3	1	$b_3 = (x_3^1 - 166) / 28,$ $\tilde{S}_3 = 28 \cdot [\phi(b_3) - b_3 \cdot \{1 - \Phi(b_3)\}]$
4	2	$b_4 = (x_4^2 - 25) / 4,$ $\tilde{S}_4 = 4 \cdot [\phi(b_4) - b_4 \cdot \{1 - \Phi(b_4)\}]$
5	2	$b_5 = (x_5^2 - 58) / 7,$ $\tilde{S}_5 = 7 \cdot [\phi(b_5) - b_5 \cdot \{1 - \Phi(b_5)\}]$
6	3	$b_6 = (x_6^3 - 126) / 21,$ $\tilde{S}_6 = 21 \cdot [\phi(b_6) - b_6 \cdot \{1 - \Phi(b_6)\}]$

$p=0.1$ 로 하고, 열차의 좌석용량으로 PP동차 일반편성 356석을 설정하고, Table 1에 나타난 수요자료에 적용한 TSCDP모형은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{Minimize } \tilde{S}_1 + \tilde{S}_2 + \tilde{S}_3 + \tilde{S}_4 + \tilde{S}_5 + \tilde{S}_6$$

subject to

$$x_1^1 + x_2^1 + x_3^1 \leq 356$$

$$x_2^2 + x_3^2 + x_4^2 + x_5^2 \leq 356$$

$$x_3^3 + x_5^3 + x_6^3 \leq 356$$

$$x_2^1 = x_2^2$$

$$x_3^1 = x_3^2 = x_3^3$$

$$x_5^2 = x_5^3$$

$$\tilde{S}_1 / 94 \geq 0.1$$

$$\tilde{S}_2 / 147 \geq 0.1$$

$$\tilde{S}_3 / 166 \geq 0.1$$

$$\tilde{S}_4 / 25 \geq 0.1$$

$$\tilde{S}_5 / 58 \geq 0.1$$

$$\tilde{S}_6 / 126 \geq 0.1$$

$$x_1^1, x_2^1, x_3^1, x_2^2, x_3^2, x_4^2, x_5^2, x_3^3, x_5^3, x_6^3 \geq 0$$

Table 3은 식 (5)의 TSCDP모형에서 스펠비율의 하한값( $p$ )에 대한 제약조건이 비정상적인 극단적 해가 발생하지 않도록 하는 역할을 효과적으로 수행하는지 살펴보기 위해  $p$ 의 값으로 0.2, 0.1, 0.05, 0.01 등의 4가지 경우를 설정하고, 열차의 좌석용량으로 260석과 356석의 두 가지 경우를 설정하여 구한 해를 정리한 것이다.

Table 3의 표에서 첫 번째 열에는 평균수요  $\mu_j$ 에 서 스펠될 것으로 기대되는 사람들  $\tilde{S}_j$ 의 비율에 대한 하한값  $p$ 를 나타낸다. 표에서 세 번째 열부터 여덟 번째 열까지는 각 OD의 결정변수  $x_j^l$  값, 기대스펠  $\tilde{S}_j$ , 그리고 스펠비율  $\tilde{S}_j/\mu_j$ 의 값을 나타내었다.

**Table 3 TSCDP모형의 해**

열차의 좌석용량 = 260석

$p$	OD ( $j$ )	서울-대전 (1)	서울-동대구 (2)	서울-부산 (3)	대전-동대구 (4)	대전-부산 (5)	동대구-부산 (6)	기대스펠의 합
	$\mu_j$	94	147	166	25	58	126	
	$\sigma_j$	14	23	28	4	7	21	
0.2	$x_j^l$	67	93	100	20	47	102	189
	$\tilde{S}_j$	27	54	66	5	12	25	
	$\tilde{S}_j/\mu_j$	29.1	36.8	39.7	20.0	20.0	20.0	
0.1	$x_j^l$	77	95	88	23	53	119	169
	$\tilde{S}_j$	18	25	78	2	6	13	
	$\tilde{S}_j/\mu_j$	19.2	35.3	46.9	10.0	10.0	10.0	
0.05	$x_j^l$	84	105	72	26	58	131	160
	$\tilde{S}_j$	12	43	94	1	3	6	
	$\tilde{S}_j/\mu_j$	13.1	28.9	56.8	5.0	5.0	5.0	
0.01	$x_j^l$	89	121	50	28	61	149	155
	$\tilde{S}_j$	9	27	116	1	2	1	
	$\tilde{S}_j/\mu_j$	9.2	18.5	69.9	2.0	2.9	1.1	

열차의 좌석용량 = 356석

$p$	OD ( $j$ )	서울-대전 (1)	서울-동대구 (2)	서울-부산 (3)	대전-동대구 (4)	대전-부산 (5)	동대구-부산 (6)	기대스펠의 합
	$\mu_j$	94	147	166	25	58	126	
	$\sigma_j$	14	23	28	4	7	21	
0.2	$x_j^l$	76	119	135	20	47	102	123
	$\tilde{S}_j$	19	29	33	5	12	25	
	$\tilde{S}_j/\mu_j$	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	
0.1	$x_j^l$	83	129	144	23	53	119	80
	$\tilde{S}_j$	13	21	25	2	6	13	
	$\tilde{S}_j/\mu_j$	13.5	14.2	15.3	10.0	10.0	10.0	
0.05	$x_j^l$	84	129	144	26	58	131	69
	$\tilde{S}_j$	12	21	26	1	3	6	
	$\tilde{S}_j/\mu_j$	13.1	14.3	15.5	5.0	5.0	5.0	
0.01	$x_j^l$	91	125	140	28	63	151	63
	$\tilde{S}_j$	7	24	29	1	1	1	
	$\tilde{S}_j/\mu_j$	7.8	16.1	17.4	2.2	1.7	1.0	

Table 3에서 열차의 좌석용량이 260석인 경우 및 356석인 경우 모두 스펠비율의 하한값  $p$ 의 값이 0.01에서 0.2로 커져감에 따라 기대스펠의 합이 커지는 것으로 나타났다. 이는 스펠비율의 하한값  $p$ 를 큰 값으로 제약할수록 목적함수 즉 수요와 공급의 불일치 정도가 커짐을 의미한다. 반면에 각 OD의 기대스펠  $\tilde{S}_j$  값은 스펠비율의 하한값  $p$ 를 큰 값으로 제약할수록 특정 OD의 기대스펠  $\tilde{S}_j$  값 또는 스펠비율  $\tilde{S}_j/\mu_j$ 의 값이 커지는 현상이 완화되는 것으로 나타났다.

Table 3의 첫 번째 표(열차의 좌석용량=260석)를 살펴보면 스펠비율의 하한값( $p$ )을 큰 값으로 제약할수록 서울-부산(3) OD의 스펠비율( $\tilde{S}_j/\mu_j$ )이 69.9%에서 39.7%로 감소하고 있는 반면 다른 OD들은 모두 증가하고 있다. 스펠비율의 하한값( $p$ )이 0.01일 때는 전체 기대스펠 155명 중 116명이 서울-부산(3) OD의 기대스펠이었으나 스펠비율의 하한값( $p$ )이 0.2로 설정될 경우 전체 기대스펠 189명 중 서울-부산(3) OD의 기대스펠은 66명인 것으로 계산되었다.

이러한 결과는 식 (5)에 제시한 TSCDP모형에서 스펠비율의 하한값( $p$ )에 대한 제약조건이 기대스펠  $\tilde{S}_j$

값 또는 스펙비율  $S_j/\mu_j$ 의 값이 특정 OD로 편중되는 비정상적인 현상을 방지하는 역할을 효과적으로 수행하고 있음을 보여주는 것이다.

### 5. 결론

본 논문에서는 열차의 좌석용량배분문제(train seat capacity distribution problem: TSCDP)에 대한 비선형계획모형을 제시하였다. 열차계획에서 열차의 좌석용량은 수요와 공급을 일치시킴으로서 여객만족도 또는 철도회사의 수입을 최대화하도록 할당되어야 하며 이를 위해서는 열차에 할당된 용량에 따른 수요와 공급의 불일치 정도를 나타내는 함수가 필요하다. 본 논문에서는 수요·공급의 불일치 정도를 Swan(1984)의 확률적 스펙 개념으로 나타내고 이를 최소화하는 용량배분방법을 찾기 위한 비선형계획모형을 제시하였다. 그리고 이 모형을 대전과 동대구에 정착하는 서울발 부산행 새마을호의 과거 수송실적자료에 적용한 수치예제도 함께 제시하였다.

본 논문에서 제시한 TSCDP모형은 수요를 확률변수로 가정함으로써 수요에 대한 불확실성을 모형에서 명시적으로 고려한다는 특성을 가지고 있으며, 수요와 공급의 불일치 정도를 최소화하는 좌석용량배분방법과 더불어 수요·공급간의 불일치정도에 관한 정보를 함께 제공한다.

### 참고문헌

1. Ben Khedher, N., J. Kintanar, C. Queille, and W. Stripling, "Schedule Optimization at SNCF: From Conception to Day of Departure," *Interfaces*, vol.28, no.1, pp. 6-23, 1998.
1. Cordeau, J.- F., P. Toth, and D. Vigo, "A Survey of Optimization Models for Train Routing and Scheduling," *Transportation Science*, vol. 32, no 4, pp. 380-404, 1998.
2. Ciancimino, A., G. Inzerillo, S. Lucidi, and L. Palagi, "A Mathematical Programming Approach for the Solution of the Railway Yield Management Problem," *Transportation Science*, vol. 33, no 2, pp. 168-181, 1999.
3. Kniker, T. S., and C. Barnhart, "Itinerary-Based Airline Fleet Assignment," Center for Transportation Studies, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge,

MA, 2000.

4. Shlifer, R., and Y. Vardi, "An Airline Overbooking Policy," *Transportation Science*, vol. 9, pp. 101-114, 1975.
4. Swan, W. M., "Traffic Losses at High Load Factors," Paper Presented at the 24th Annual AGIFORS Conference, Strasbourg, France, 1984.