

철도수송계획의 수익성 평가체계

Profitability Evaluation System for Railway Transportation Plan

김 동 희 · 홍 순 흠
한국철도기술연구원

Abstract

In railway system, the transportation plan corresponds to master plan for transport services. This service plan must be constructed to minimize operational cost or maximize revenue considering transportation demands and resource capacities in the operation company, and includes several sub-planning activities such as train operation frequency plan, train (schedule) plan, train capacity assignment plan, and rolling stock requirement plan. In this paper, we present profitability evaluation system for current transportation plan. The proposed system can be used for evaluating profitability by estimating train service revenue considering customer demands.

1. 서 론

철도에서 수송계획은 수송서비스 생산을 위한 총괄 계획(Master Plan)에 해당된다. 즉, 철도수송수요와 철도운영회사의 서비스제공 능력을 감안하여 운영비용 최소화 및 수익 최대화, 그리고 고객 만족도 최대화를 위한 서비스계획을 수립하는 것이다. 수송서비스에 대한 총괄계획으로서 수송계획 단계에서는 열차운행빈도(Train Operation Frequency)의 결정, 수익 및 고객만족 최대화를 위한 열차계획(열차스케줄)의 결정, 열차용량할당(Train Capacity Assignment), 차량소요계획(Rolling Stock Requirement Plan) 등의 내용이 포함된다.

수송계획의 수립에 있어 열차는 고객서비스 제공을 위한 제품에 해당된다. 따라서 이러한 열차의 운행빈도, 스케줄 결정, 용량할당 과정은 반드시 고객수요 및 운영수익 측면이 반영되어야만 한다. 이를 위해서는 열차계획안에 대한 수익을 추정하여 의사결정자의 보조할 수 있는 체계는 필수적이다. 본 연구에서는 주어진 열차계획(열차스케줄)안에 대하여 고객수요를 고려한 서비스수익을 추정함으로써 의사결정자로 하여금 현재의 수송계획안의 수익성을 평가해볼 수 있는 체계를 제시하고자 한다.

2. 철도수송계획

철도수송계획의 핵심은 수송수요 및 자원을 고려한 최대효율의 대고객 서비스계획을 수립하는 것이다. 이러한 서비스계획에는 앞서 언급한 바와 같이 열차빈도 계획, 열차스케줄 작성, 열차용량할당, 차량소요계획 등이 있다. 대고객 상품으로서 제시되는 품목은 열차스케줄(Train Schedule)로서 열차종별, 시종착역, 중간정차역과 그에 따른 시간스케줄이 제시된다. 열차스케줄 작성에 앞서 중요한 문제중 하나인 노선별 열차운행빈도(Train Operation Frequency)를 결정해야만 하며, 수요와 서비스제공능력의 함수관계로 표현될 수 있다. 특히 수요의 일별, 시간대별 특성은 운행빈도 및 출발시간을 결정함에 있어 중요한 역할을 한다.

열차스케줄 작성 혹은 열차계획은 철도운영분야에서 가장 복잡한 문제이며, 그 결과는 철도운영회사의 직무이면서 대고객 상품이 된다. 열차스케줄에는 고정열차스케줄과 동적열차스케줄이 있으나, 예약발매 방식을 채택하고 있는 대부분 철도운영사에서는 고정열차스케줄을 사용하고 있다. 열차스케줄의 결과물은 일반적으로 열차시각표(Train Time-Table) 혹은 열차다이아(Train Diagram)로서 표현된다(그림 1 참조).

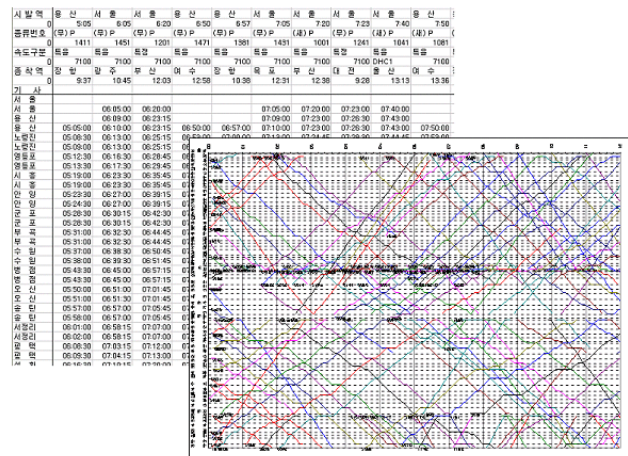


그림 1 열차시각표 및 열차다이아

열차의 출발/도착시간 및 정차역을 결정하는 것으로 수송계획이 완성되는 것은 아니며, 실제 운영가능한 수송계획 수립을 위하여 각 열차를 수행할 차량의

용량할당, 차량소요계획을 수립하여야 한다. 총괄계획으로서 수송계획 다음 단계로 객차 및 동력차 운영계획, 승무원 계획 등을 순차적으로 수립하여야만 한다. 열차용량할당은 수송계획 수립의 여러 계획기능 중에서 철도운영기관의 수익에 가장 영향이 크다. 효율적인 용량할당을 위해서는 운영비용 및 수송량에 대한 정확한 예측이 선행되어야만 하며, 수송량(수요), 운임, 좌석용량이 주어지면 상실수요비용(spill cost)을 계산할 수 있다. 열차의 용량할당은 객차 개개의 량단위의 편성조성문제와 일부 오버랩될 수 있으나, 운영의 편의 및 계획의 효율성을 위하여 기초성된 편성단위로 용량할당을 수행하는 추세이다. 이러한 열차편성 용량할당문제는 다중상품 네트워크 흐름(multi-commodity network flow)문제로 정형화되어 해결될 수 있다.

차량소요계획은 열차계획 수행을 위하여 편성유형(fleet type)별 최소소요차량에 대한 판단을 위한 기능이며, 이를 위하여 유지보수검수, 편성경로연결규칙, 차단이용율 등을 고려하여 각 편성유형별 최소소요차량 로테이션경로를 생성하게 된다. 이 문제 역시 다중상품 네트워크흐름문제로 정형화될 수 있으며, 주문제(master problem)와 서브문제(sub problem)로 분할하여 열생성기법(column generation technique)을 적용한 해법이 대표적인 성공사례이다.

3. 수익성 평가체계

수송계획의 수립에 있어 운행빈도계획, 열차계획, 그리고 열차편성 용량계획은 수송서비스 제공으로 인한 수익에 직접적인 영향을 미친다. 일반적으로 수송계획의 수립은 수요를 고려한 열차운행빈도계획을 수

립하고, 기본 열차계획을 작성한다. 기본 열차계획은 임시열차 및 가상열차 등을 모두 포함하여 작성하게 되며, 실제로 운행하게 될 열차에 대한 시각표만 공개된다. 그리고 나서 열차별로 용량설정을 수행하고 마지막으로 차량경로설정을 통하여 차량소요계획을 수행한다. 이들 과정은 모두 절대적인 순서를 가지는 것은 아니며, 여러 가지 수송계획안을 작성하는 일반적인 절차를 나타내는 것이다(그림2 참조).

이러한 수송계획 수립과정에서 열차계획이나 열차용량계획의 작성이나 수정이 일어날 때 수익의 추정 및 수익의 변화를 판단할 필요가 있다. 이러한 수익성 평가를 위해서 수요에 대한 열차계획의 수용량 추정을 통하여 수입과 운영비용을 고려한 수익성을 산정하게 된다(그림3 참조).

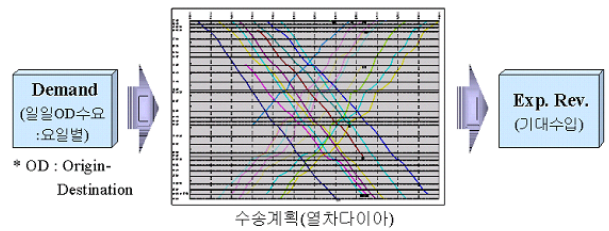


그림 3 수익성 평가의 개념

수송계획 입안자가 작성중인 열차계획의 수익성 평가를 위해서 다음과 같은 핵심기술이 사용된다 ;

- Market Sharing Technology: 일일 수요에서 OD-Train 별로 수요량을 분배하는 기술
- Capacity Sharing Technology: OD-Train 수요에 대하여 Train-Leg 별 용량을 분배하는 기술.

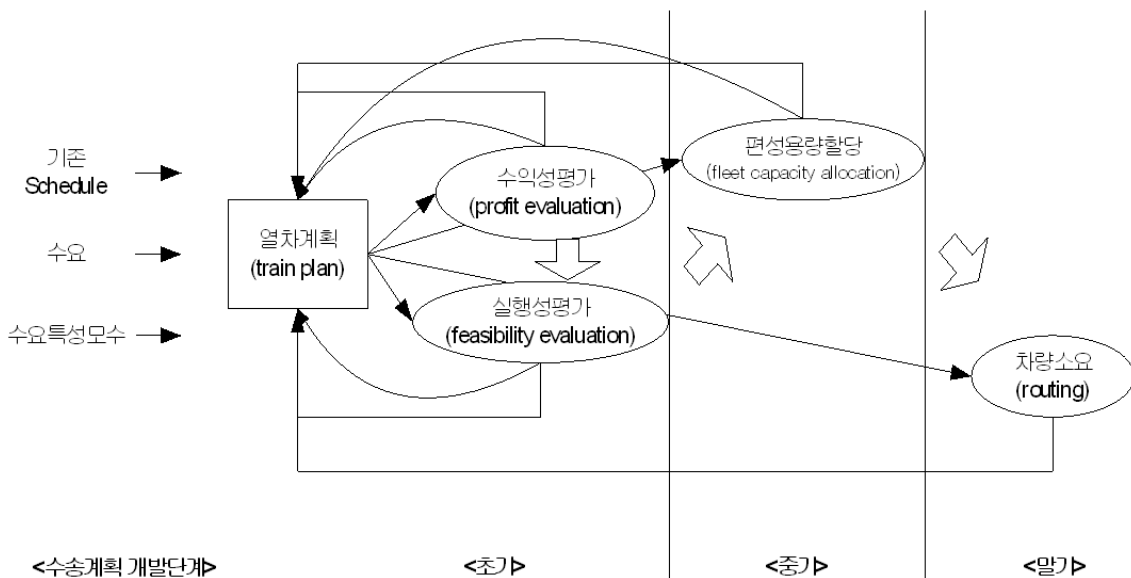


그림 2 수송계획과 수익성평가

- Spill-Recapture Technology: 수요와 용량을 기반으로 열차별 이탈수요(spill) 및 재수용수요(recapture)를 산정하는 기술

수익성평가는 열차계획과 관련된 수요 및 탑승여객수에 기반한 열차수입, 그리고 운영비용을 고려하게되며, 입력으로 사용되는 수요(Demand)는 기종/등급/요일/여행목적 (OD/compartment/day-of-week/motive) 별로 주어진다. 일일총괄OD수요를 수요특성을 이용하여 시간대별 일일수요분포를 생성하는 작업을 시작으로 다음과 같은 일련의 작업을 수행한다.

- 시간별 수요분포 생성 : 출발선호시간 분포와 도착선호시간 분포를 이용하여, 각 기종/등급/요일/여행목적에 대한 효용함수(w_t)를 계산한다.

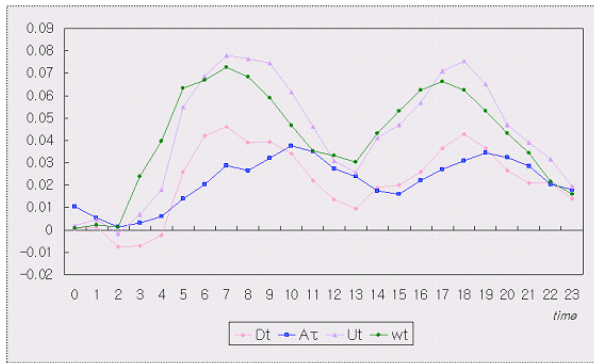


그림 4 시간대별 수요분포 생성

- OD-Train수요분배 : 고객선호자료를 이용하여 MDC(multi-nomial discrete choice) model을 적용함으로써 이격시간, 여행시간 및 요금에 대한 고객 선호계수를 산출하고 이를 다항로짓모형(multinomial logit model)에 적용하여 기종/등급/요일/여행목적과 관련된 열차별로 수요를 분배한다.

수요분포	w_1	w_2	...	w_t	...	$\sum w_i = 1$
선호시간	1	2	...	t	...	MS_j
열차	MS_{11}	MS_{12}	...	MS_{1t}	...	$\sum w_i \times MS_{1i}$
2	MS_{21}	MS_{22}	...	MS_{2t}	...	$\sum w_i \times MS_{2i}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
j	MS_{j1}	MS_{j2}	...	MS_{jt}	...	$\sum w_i \times MS_{ji}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

$\sum_j MS_{jt} = 1$

그림 5 열차별 수요분배

- Train-Leg 용량할당 : 상실수요(스필;spill)로 인한 수익을 최소화 할 수 있도록 열차에 분배된 수요를 수용할 수 있는 열차의 레그별 용량을 각 기종/등급/요일에 할당하는 것으로 수요가 비선형인 분포함수로 사용됨에 따라 이 용량할당문제는 비선형계획법(non-linear programming) 기법을 사용하여 해결한다. 만약 OD-Train수요를 분포가 아닌 상수처리하면 선형계획법으로 간소화할 수가 있다.

열차	수요		Leg			운임	Spill	Spilled Rev
	mean	std	서울-대전	대전-동대구	동대구-부산			
서울-대전	94	14	66			11,500	28	324,924
서울-동대구	147	23	98	98		22,500	49	1,102,730
서울-부산	166	28	128	128	128	30,600	39	1,197,029
대전-동대구	25	4		16		11,000	9	100,744
대전-부산	58	7		50	50	19,100	8	161,143
동대구-부산	126	21			114	8,100	16	127,332
			292	292	292			
합계							3,013,902	

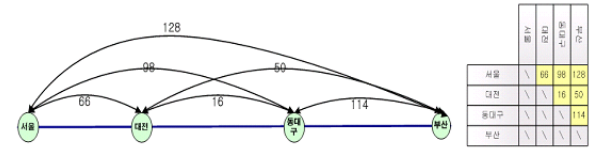


그림 6 Train-Leg 용량할당

- OD-Train 스펠 추정 : 스펠, 즉 상실수요 혹은 이탈수요는 주어진 용량보다 수요가 많이 발생함으로 인하여 놓치게 되는 수요량을 나타낸다. 스펠된 기대 여객수는 수요가 용량보다 큰 경우에 대한 기대값이기 때문에 항상 0보다 큰 값을 갖게 된다.

$$\text{기대스필} = E(D - C | D > C) * P(D > C) = E[(D - C)I_{(D > C)}]$$

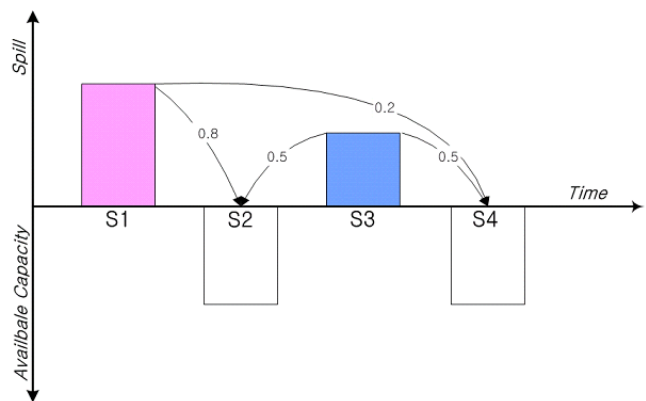


그림 8 스펠추정

- OD-Train 리캡처 추정 : 리캡처는 OD-Train 수요분배에서 사용된 선호계수 개념을 사용하여 인근열차에서 스펠된 여객수를 재수용할 수 있는 수용량을 나타내며, 각 열차에 대하여 기종/등급/요일별로 계산된다. Demand—Spill < Capacity * LFCLT를 이

용하여 용량이 남아있는 열차를 판단하게 되며, LFCLT(load factor on closed trains)는 실제 열차 레그 용량에 곱해서 사용되는 보수값으로 통상적으로 1보다 작은 값을 사용한다.스필/리캡처 과정은 2회 반복해서 사용되며, 그 이후 발생하는 스필은 무시하게 된다.

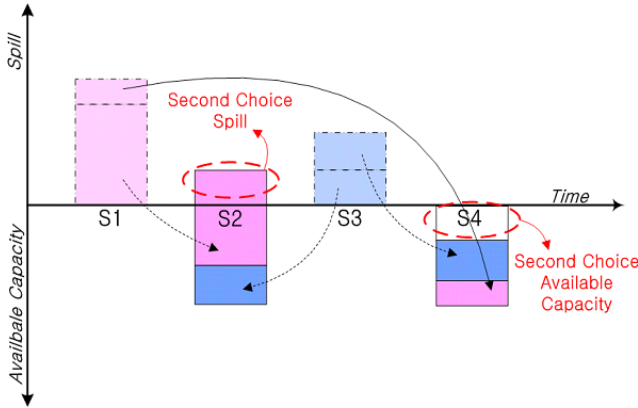


그림 9 리캡처 및 제스필 발생

- 열차수익(Train Profit) 계산 : 열차별 수익(profit)은 열차의 수입(revenue)에서 열차의 비용(cost)을 차감함으로써 계산될 수 있으며, 열차의 수입은 위 일련의 과정을 통하여 계산된다. 열차비용은 고정비용, 스케줄관련 비용, 여객관련 비용으로 구성된다.

<p>❖ Traffic = Demand - Spill + Total Recapture: 탑승여객수</p> <p>➢ 각 compartment, day_of_week별 OD-train에 대해 계산</p>
<p>❖ Revenue = Traffic × AvgService Fare : 열차수입</p> <p>➢ 각 compartment, day_of_week별 OD-train에 대해 계산</p>
<p>❖ 열차수익 = 열차수입 - 열차비용</p> <p>➢ 열차비용 = 고정비용 + 스케줄관련 비용 + 여객관련 비용</p> <p>➢ 각 열차별로 계산</p>

그림 10 열차수익계산

본 연구에서는 수송계획 입안자의 계획업무를 지원할 수 있는 차세대 철도정보화시스템의 핵심기술로 활용될 수 있는 철도수송계획의 수익성 평가체계를 제시하였다. 향후 연구로서 열차편성단위의 용량계획체계에 관한 연구 및 향후 시스템개발을 위한 원형시스템의 개발을 수행할 계획이다.

참고문헌

1. 이종득, 철도공학, 노해출판사, 1994
2. 한국철도기술연구원, 「동력차 및 증장거리 동차운용스케줄의 최적화에 관한 연구」, KRRI 연구 99-06, 1999
3. 한국철도기술연구원, 「수송계획 및 제어관리 최적화」, KRRI 연구 01-61, 2001
4. Chiang, T., H. Hau, H. Chiang, S. Ko, and C. Hsieh, "Knowledge-based System for Railway Scheduling," Data and Knowledge Engineering, Vol. 27, pp. 289-312, (1998).
5. 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, (1999), pp. 168-181.
6. Glover, F., R. Glover, J. Lorenzo, and C. McMillan, "The Passenger Mix Problem in the Scheduled Airlines," Interfaces, Vol. 12, No. 3, pp. 73-79, (1982)
7. Khedher, N.B, J.Kintanar, C. Queille, and W. Stripling, "Schedule Optimization at SNCF : From conception to day of departure", Interfaces, 28:1, 1998.
8. Petersen, E. R., A. J. Taylor, and C. D. Martland, "An Introduction to Computer Assisted Train Dispatch," J. Adv. Transn. Vol. 20, pp. 63-72, (1986).

4. 결론

수송계획은 철도운영회사로서는 대고객 서비스상품이며, 수행직무이게 된다. 수송계획에 포함되는 일련의 하위계획기능 들 중에 열차계획과 열차용량계획은 앞서 언급한 바와 같이 운영사의 수익과 직접적인 관계를 갖는 중요한 역할을 하게 된다. 따라서 이들 계획을 수행함에 있어 정확한 수익의 평가를 지원할 수 있는 체계 및 시스템의 중요성은 다시 언급할 필요가 없을 것이다.