

자료포락분석을 활용한 철도화물취급역의 성과평가

Evaluating the Performance of Freight Railway Stations Using Data Envelopment Analysis

김성호[†] · 오석문*

Seongho Kim · Suk-Moon Oh

Abstract In this paper we presents an approach to evaluating the performance of freight railway stations based on several performance indicators as an alternative to the evaluation based on single indicator. Such evaluation needs a way to weight the importance of the individual performance indicator. Data envelopment analysis (DEA) suggested by Charnes, Cooper, and Rhodes (1978) can be used to determine the weights. Using DEA we evaluate 353 freight railway stations based on four performance indicators: loading volume, unloading volume, loading revenue, unloading revenue. The evaluation results facilitates the organization's decision making by providing valuable information.

Keywords : Freight Railway Station, Performance Indicator, Data Envelopment Analysis

요 지 본 연구에서는 단일기준을 활용한 화물취급역 평가의 대안으로서 다수의 기준을 활용한 평가방법을 제안하고자 한다. 다수의 기준을 활용한 평가에서는 각 성과지표에 대한 가중치가 필요하며 Charnes, Cooper, and Rhodes(1978)가 제안한 자료포락분석은 이러한 가중치를 결정하는 방법으로 사용될 수 있다. 본 연구에서는 353개 화물취급역의 발송규모, 발송수입, 도착규모, 도착수입 등을 성과지표로 사용하고 이들을 자료포락분석을 사용하여 다수의 성과지표를 동시에 모두 반영한 평가결과를 제시한다. 이러한 결과는 철도경영자 또는 철도정책담당자의 경영전략 또는 정책의사결정에 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

주 요 어 : 화물취급역, 성과지표, 자료포락분석

1. 서 론

2007년 화물운송실적자료를 살펴보면 철도공사는 전국 철도망에 630개(유인역 450개와 무인역 180개)의 역과 38개(유인신호장 1개와 무인신호장 37개)의 신호장을 운영하고 있으며 이중 화물을 취급(발송 또는 도착)하는 역은 353개(사업용품을 제외하면 253개)이다. 이들 353개 역에서 2007년 한 해 동안 발송되거나 또는 도착된 화물은 약 8,912만톤(사업용품을 제외하면 약 8,779만톤)의 규모이며 발송역 기준으로 집계된 화물수입은 약 3,740억원이다.

철도경영자 또는 철도정책담당자는 경영전략 또는 정책을 수립하기 위한 목적에서 철도화물취급역의 성과를 평가

할 필요가 있다. 예를 들어 최근 국토해양부의 철도운영과는 보도자료를 통해서 순차적으로 취급규모가 적은 역들을 정비하고 거점화를 통해서 철도화물영업의 경쟁력을 강화할 계획임을 발표하였다. 철도화물취급역의 성과를 평가하는 간단한 방법은 취급역의 발착규모 또는 화물수입 등 단일기준을 사용하는 것이다. 그러나 화물취급역은 역에 따라 발송이 중요한 역, 도착이 중요한 역, 그리고 발송 및 도착이 모두 중요한 역으로 구분할 수 있다. Table 1은 주요 화물취급역의 2007년 발송규모와 도착규모를 나타낸 것이다. 이 표를 살펴보면 적량, 통리, 옥계는 발송규모가 도착규모보다 크며 따라서 발송이 중요한 역임을 알 수 있다.

덕소, 간치, 안인 등은 도착규모가 발송규모보다 크며 따라서 도착이 중요한 역임을 알 수 있다. 묵호항, 약목, 북전주 등은 적량, 통리, 옥계 등보다 발송규모가 작고 덕소, 간치, 안인 등보다 도착규모가 작지만 발송규모와 도착규모를 합제한 발착규모는 더 큰 상태에 있어 상대적으로 다른

[†] 책임저자 : 정회원, 인하대학교 경영학부 부교수
E-mail : shk7768@inha.ac.kr

TEL : (032)860-7768 FAX : (032)866-6877

* 정회원, 한국철도기술연구원, 선임연구원

역들보다 발송과 도착이 모두 중요한 역임을 알 수 있다.

Table 1. Loading and unloading size of some freight railway stations (2007)

	발송규모 (단위: 톤)	도착규모 (단위: 톤)	발착규모 (단위: 톤)
적량	1,054,505	80,438	1,134,943
통리	972,688	778	973,466
옥계	927,266	1,500	928,766
덕소	440	959,090	959,530
간치	96	922,393	922,489
안인	-	821,300	821,300
목호항	837,616	541,236	1,378,852
약목	596,202	561,477	1,157,679
북전주	471,258	780,700	1,251,958

Table 2. Loading size and freight revenue of some freight railway stations (2007)

	발송규모 (단위: 톤)	발송수입 (단위: 백만원)
신선대	1,004,832	12,027
광양항	1,194,057	10,377
약목	596,202	2,207
북전주	471,258	3,654
삼화	1,187,500	11,612
옥계	927,266	8,866
예미	393,217	2,070
흥국사	346,178	2,997

Table 2는 주요 화물취급역의 2007년 발송규모와 발송수입을 나타낸 것이다. 이 표를 살펴보면 발송규모를 기준으로 평가할 경우와 발송수입을 기준으로 평가할 경우 신선대와 광양항의 순위가 역전되는 것을 알 수 있다. 이는 약목과 북전주, 삼화와 옥계, 예미와 흥국사 등에서도 마찬가지이다. 즉 어떤 기준으로 평가하는가에 따라 평가순위가 달라진다.

화물취급역의 성과를 평가함에 있어서 발착규모 또는 화물수입 등과 같은 단일기준으로 평가할 경우 평가절차가 간단하다는 장점이 있으나 Table 1에서 나타낸 발송규모, 도착규모 및 발착규모의 차이 그리고 Table 2에서 나타낸 규모와 수입의 차이 등을 평가에 반영하지 못하는 문제점이 있다.

본 연구에서는 단일기준을 활용한 화물취급역 평가의 대안으로서 다수의 기준을 활용한 평가방법을 제안하고자 한다. 구체적으로 본 연구에서는 화물취급역의 발송규모, 발

송수입, 도착규모, 도착수입 등을 성과지표로 사용하고 이들을 자료포락분석(data envelopment analysis)을 사용하여 다수의 성과지표를 동시에 모두 반영하는 평가방안 제시하고 그 적용결과를 제시하고자 한다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 제2절에서는 본 연구에서 사용하고자 하는 화물취급역의 성과지표를 설정하고 측정방법을 제시한다. 제3절에서는 성과분석을 위한 자료포락분석의 자료구조와 분석모형 및 파레토최적성과의 관련성을 제시한다. 그리고 제4절에서 자료포락분석으로 구한 성과점수를 제시하고 제5절에서 결론을 맺는다.

2. 화물취급역의 성과지표

Table 1에 나타낸 바와 같이 화물취급역은 역에 따라 발송이 중요한 역, 도착이 중요한 역, 그리고 발송 및 도착이 모두 중요한 역으로 구분할 수 있다. 또한 Table 2에 나타낸 바와 같이 취급규모가 큰 역이 있는 반면에 규모보다는 상대적으로 수입이 많은 역도 있다. 본 연구에서는 발송과 도착 그리고 규모와 수입에서 화물취급역의 성과차이를 반영하기 위해 화물취급역의 성과를 발송규모, 발송수입, 도착규모, 도착수입 등의 4가지 지표로 구분하여 평가한다.

2007년도에 발생한 품목-발송역-도착역별 화물수송은 모두 1,441케이스이며 각 케이스의 수입과 규모는 월별 수입 및 규모를 합계한 것이다. Table 3은 이 중 도담역에서 발송된 케이스 일부와 도담역으로 도착한 케이스 일부를 나타낸 것이다.

Table 3. Loading/unloading size and freight revenue between freight railway station pairs by item (2007)

건	품목	발송역	도착역	수입 (백만원)	규모 (톤)
1	∴	∴	∴	∴	∴
∴	포대양회	도담	수색	213	25,713
∴	벌크양회	도담	약목	200	28,080
∴	백운석	도담	태금	2,873	184,482
∴	∴	∴	∴	∴	∴
∴	유연탄	목호항	도담	460	54,280
∴	석고	울산	도담	747	62,169
∴	광재	괴동	도담	2,473	278,763
1441	∴	∴	∴	∴	∴

Table 3에서 세 번째 행은 2007년 한 해 동안 포대양회 25,713톤이 도담역에서 수색역으로 수송되었으며 이로부터 2억1천3백만원의 수입이 발생했음을 나타낸다. 네 번째

행은 2007년 한 해동안 벌크양회 28,080톤이 도담역에서 약목역으로 수송되었으며 이로부터 2억원의 수입이 발생했음을 나타낸다.

도담역의 발송규모와 발송수입은 Table 3의 자료로부터 도담역에서 발송되는 모든 품목의 규모와 수입을 합계한 값으로 측정하였다. 예를 들어 도담역에서 수색역으로 수송되는 포대양회 25,713톤, 도담에서 약목으로 수송되는 벌크양회 28,080톤, 도담에서 태금으로 수송되는 백운석 184,482톤 등을 포함하여 도담에서 발송되는 모든 품목의 규모를 합계하면 $25,713 + 28,080 + 184,428 + \dots = 7,546,658$ (톤)이 된다.

도담역의 도착규모와 도착수입은 Table 3의 자료로부터 도담으로 도착하는 모든 품목의 규모와 수입을 합계한 값으로 측정하였다. 예를 들어 묵호항역에서 도담역으로 수송되는 유연탄 54,280톤, 울산역에서 도담역으로 수송되는 석고 62,169톤, 괴동역에서 도담역으로 수송되는 광재 278,763톤 등을 포함하여 도담으로 도착하는 모든 품목의 규모를 합계하면 $54,280 + 62,169 + 278,763 + \dots = 2,030,631$ (톤)이 된다.

3. 성과분석을 위한 자료포락분석

다수의 성과지표를 동시에 고려하여 화물취급역의 성과를 평가하기 위해서는 각 성과지표에 대한 가중치가 필요하다. 화물취급역의 평가와 같이 사후가중치(ex post weight)가 필요한 경우에는 주관적 가중치보다는 객관적 가중치를 사용하는 것이 타당하다. 자료포락분석(data envelopment analysis)은 선형계획법(linear programming)을 사용하여 성과자료로부터 객관적으로 가중치를 결정하는 방법으로 사전 정보를 요구하지 않는 장점을 가지고 있으나 평가대상의 수가 적을 경우 변별력이 약해지는 단점을 가지고 있다. 자료포락분석은 1978년 Charnes 등[1]이 미국의 소외계층을 위한 교육프로그램의 성과를 분석하기 위한 방법으로 처음 제안한 이후 R&D프로젝트 평가[2], 고에너지물리실험동 후보지 평가[3], 고속도로 유지보수반 평가[4] 등을 포함한 매우 다양한 분야에서 객관적 가중치를 결정하는 방법으로 활용되고 있다. 국내에서는 금융기관의 효율성 평가[5], 철도운영기관의 효율성 평가[6] 등에 활용된 바 있다.

평가 대상이 되는 화물취급역의 수를 n 개라 하고 성과지표의 수를 s 개라 하자. 그리고 화물취급역이 달성한 성과지표의 수준을 y 로 나타내자. 화물취급역을 나타내는 인덱스변수로 j 를 사용하고 성과지표를 나타내는 인덱스변수로 r 를 사용하면 y_{jr} 은 화물취급역 j 의 r 번째 성과지표의 수준을 나타낸다. 자료포락분석은 화물취급역별 성과지표

자료가 주어진 상태에서 각 화물취급역별로 가장 유리한 총괄성과점수(aggreated performance score)를 제공하는 가중치를 계산하는 선형최적화모형이다. 화물취급역의 성과지표에 대한 가중치 w_{jr} 은 화물취급역 j 의 r 번째 성과지표에 대한 가중치를 나타낸다.

화물취급역의 성과지표를 가중치로 가중합계한 평가점수는 자기평가점수(self-evaluation score)와 동료평가점수(peer-evaluation score)로 구분할 수 있다. p 번째 화물취급역의 가중치 $w_{p1}, w_{p2}, \dots, w_{ps}$ 로 자기 자신의 성과지표자료 $y_{p1}, y_{p2}, \dots, y_{ps}$ 를 가중합계한 평가점수

$$O_{pp} = \sum_{r=1}^s w_{pr} y_{pr} \quad (1)$$

를 자기평가점수로 정의한다. p 번째 화물취급역의 가중치 $w_{p1}, w_{p2}, \dots, w_{ps}$ 로 q 번째 화물취급역의 성과지표자료 $y_{q1}, y_{q2}, \dots, y_{qs}$ 를 가중합계한 평가점수

$$O_{pq} = \sum_{r=1}^s w_{pr} y_{qr} \quad (2)$$

를 동료평가점수로 정의한다.

자료포락분석모형은 성과지표자료로부터 평가 대상 화물취급역에게 가장 유리한 가중치를 결정하는 선형계획법 모형이다. 평가 대상 화물취급역 p 에게 가장 유리한 가중치는 화물취급역 p 의 자기평가점수를 최대화해주는 가중치이다. 이러한 가중치는 자기평가점수를 최대화하는 최적화문제

$$O_{pp}^* = \max O_{pp} \quad (3)$$

의 최적해로 구할 수 있다. 이 문제에서 가중치에 아무런 제약조건을 부여하지 않으면 O_{pp} 는 무한대로 커져 O_{pp}^* 를 구할 수 없다. O_{pp}^* 의 값을 구하기 위한 최소한의 조건은 p 번째 화물취급역 가중치 $w_{p1}, w_{p2}, \dots, w_{ps}$ 로 평가되는 자기평가점수와 모든 동료평가점수에 상한값을 설정하는 것이다. 일반적으로 자료포락분석에서는 자기평가점수와 모든 동료평가점수에 상한값으로 100% 또는 100점을 사용한다. 평가점수에 상한값을 설정한 자료포락분석모형은

$$O_{pp}^* = \max O_{pp} \quad \text{st } O_{pq} \leq 100, \quad q=1,2,\dots,n \quad (4)$$

으로 나타낼 수 있다.

식 (4)의 자료포락분석 모형은 파레토최적성(Pareto optimality) 개념과 관련되어 있다. 파레토최적은 적어도 하나 이상의 성과지표에서 다른 역보다 우월한 상태에 있음을 나타낸다. 비파레토최적(not Pareto-optimal)은 다른 역과 비교해서 모든 성과지표에서 우월하지 못함을 나타낸다.

Table 4는 6개 가상 화물취급역의 화물수입과 취급규모자료이고 Fig. 1은 이들 6개 가상 화물취급역을 ‘화물수입’을 수평축으로 하고 ‘취급규모’를 수직축으로 하는 좌표공간에 나타낸 산점도이다.

Table 4. Performance data of 6 virtual freight railway stations

화물취급역	화물수입(억원)	취급규모(만톤)
A	20	50
B	40	40
C	50	20
D	16	40
E	27	18
F	35	7

이 그림에서 ‘A’, ‘B’, ‘C’는 적어도 하나 이상의 성과지표에서 우월한 상태에 있는 파레토최적 화물취급역이다. ‘A’는 ‘취급규모’에서 우월하다. ‘C’는 ‘화물수입’에서 우월하다. 그리고 ‘B’는 ‘화물수입’에서 ‘A’보다 우월하고 ‘취급규모’에서는 ‘C’보다 우월하다. 한편 ‘D’, ‘E’, ‘F’는 다른 역과 비교해서 모든 성과지표에서 우월하지 못한 비파레토최적 화물취급역이다. ‘D’는 ‘화물취급’과 ‘취급규모’에서 모두 ‘A’보다 우월하지 못하다. ‘E’는 ‘화물취급’과 ‘취급규모’에서 모두 ‘B’보다 우월하지 못하다. ‘F’는 ‘화물취급’과 ‘취급규모’에서 모두 ‘C’보다 우월하지 못하다.

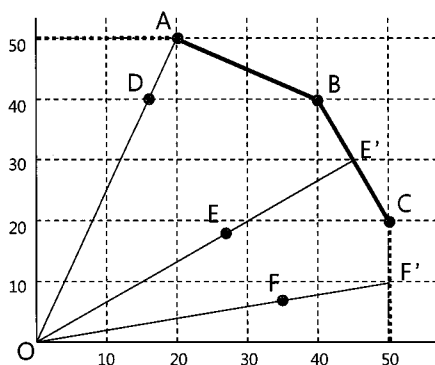


Fig. 1. Sampled Pareto optimal and nonoptimal freight railway stations

식 (4)의 자료포락분석 모형은 파레토최적의 역에는 평가점수가 100점이 되도록 가중치를 부여하고 파레토최적이 아닌 역에는 파레토최적이 아닌 정도에 비례하는 평가점수가 되도록 가중치를 부여하는 방법이다. 식 (4)의 자료포락분석 모형은 화물취급역 ‘A’, ‘B’, ‘C’, ‘D’, ‘E’, ‘F’의 평가점수가 Table 7에 나타낸 것과 같이 되도록 가중치를 결정한다.

4. 화물취급역의 성과점수

2007년 한 해동안 화물을 취급한 353개 역의 성과지표자료에 식 (4)의 자료포락분석 모형을 적용하여 각 화물취급역의 성과에 대한 평가점수를 계산하였다. Table 5는 353개의 화물취급역의 계산결과 중에서 발착규모가 10만톤 이상인 88개 역의 발착규모, 성과점수, 규모순위, 성과순위 등을 나타낸 것이다. 이 표에서 규모순위는 발착규모를 기준으로 내림차순정렬을 수행한 후 순위를 부여한 것이다. 성과순위는 식 (4)의 자료포락분석 모형으로 계산한 성과점수를 기준으로 내림차순정렬을 수행한 후 순위를 부여한 것이다.

Table 5를 살펴보면 규모순위와 성과순위가 역전되는 경우를 볼 수 있다. 이는 발착규모만으로 평가할 경우 반영할 수 없었던 성과특성을 동시에 모두 고려함으로써 나타난 결과라 할 수 있다. 규모순위 22위 미만(발착규모 100만톤 미만)의 화물취급역 중에서 ‘발송규모’, ‘발송수입’, ‘도착규모’, ‘도착수입’ 등을 동시에 고려한 성과순위가 22위 이상(성과점수가 14점 이상)인 역은 통리(규모순위 23, 성과순위 18), 옥계(규모순위 26, 성과순위 16), 간치(규모순위 27, 성과순위 12), 석항(규모순위 32, 성과순위 19) 등이다. 규모순위 40위 미만(발착규모 50만톤 미만)의 화물취급역 중에서 성과순위가 40위 이상(성과점수가 6.7 이상)인 역은 화순(규모순위 50, 성과순위 36), 전곡(규모순위 72, 성과순위 40) 등이다.

Table 5. Loading/unloading size and, performance scores of freight railway stations with its rankings (2007)

역	발착규모 (단위: 톤)	성과점수	규모순위	성과순위
오봉	10,081,160	100.000	1	1
도담	9,577,289	100.000	2	1
부산진	6,031,537	68.936	3	3
입석리	5,818,201	61.737	4	4
괴동	3,569,854	52.894	5	5
신선대	2,251,162	29.911	6	7
광양항	2,103,021	24.107	7	9
쌍용	2,043,593	22.933	8	11
태금	1,982,380	33.033	9	6
수색	1,899,156	26.158	10	8
성북	1,381,982	19.137	11	15
목호항	1,378,852	14.139	12	23
철암	1,327,847	19.519	13	14
장생포	1,271,115	20.106	14	13

역	발착규모 (단위: 톤)	성과점수	규모순위	성과순위
부강	1,268,510	15.615	15	17
북진주	1,251,958	12.538	16	26
삼화	1,189,023	23.174	17	10
동해	1,178,224	14.641	18	21
신탄진	1,175,213	12.511	19	27
약목	1,157,679	11.760	20	28
적량	1,134,943	15.069	21	20
팔당	1,015,165	14.070	22	24
통리	973,466	15.380	23	18
인천	967,086	14.566	24	22
덕소	959,530	13.294	25	25
옥계	928,766	17.694	26	16
간치	922,489	20.607	27	12
삼곡	826,572	8.795	28	37
안인	821,300	11.384	29	30
오류동	815,621	11.096	30	32
오송	793,649	10.809	31	33
석항	757,284	15.311	32	19
의왕	749,101	11.611	33	29
청주	727,786	7.699	34	39
온산	650,227	11.185	35	31
석포	604,164	9.000	36	35
음성	580,218	8.042	37	38
삼척	559,522	10.218	38	34
매포	532,480	6.743	39	42
도계	504,011	6.667	40	44
반야월	488,658	6.773	41	41
무릉	434,310	6.020	42	46
동익산	407,919	4.429	43	55
청천	404,448	5.606	44	48
예미	393,217	5.211	45	51
울산	387,273	6.718	46	43
회덕	381,267	5.284	47	50
홍국사	361,340	5.981	48	47
조치원	348,513	3.528	49	62
화순	342,177	8.984	50	36
대야	335,948	4.506	51	54
삼교	320,977	6.041	52	45
홍성	314,701	4.347	53	56
고명	312,410	5.531	54	49
장락	309,957	4.296	55	57

역	발착규모 (단위: 톤)	성과점수	규모순위	성과순위
두정	302,818	3.326	56	65
수원	302,572	4.192	57	59
가야	300,573	3.122	58	69
용산	298,096	4.060	59	60
울산항	281,126	3.012	60	71
만종	265,982	3.687	61	61
동백산	262,279	4.243	62	58
한림정	239,380	3.318	63	66
송학	237,670	4.719	64	52
나주	236,391	3.265	65	67
효천	235,116	4.521	66	53
도안	224,766	3.094	67	70
가수원	210,115	2.912	68	72
신동	203,172	2.816	69	73
평은	200,618	2.601	70	75
초성리	197,337	3.241	71	68
전곡	186,662	6.967	72	40
대전조차장	184,765	2.478	73	76
소정리	167,273	2.069	74	84
장항화물	162,035	3.352	75	64
주평	158,319	2.301	76	78
동두천	140,779	2.241	77	79
장성	134,632	1.834	78	88
양산화물	126,144	2.372	79	77
시흥	124,431	2.176	80	81
동산	121,953	1.247	81	97
송정리	116,880	1.223	82	98
추전	110,366	1.886	83	86
부평	105,625	2.168	84	82
흑석리	105,140	1.457	85	91
충주	103,057	1.059	86	102
군산화물	102,695	1.443	87	92
운산	102,112	2.149	88	83

5. 결론

본 연구에서는 단일기준을 활용한 화물취급역 평가의 대안으로서 다수의 기준을 활용한 평가방법을 제안하였다. 구체적으로 본 연구에서는 화물취급역의 발송규모, 발송수입, 도착규모, 도착수입 등을 성과지표로 사용하고 이들을 자료포락분석(data envelopment analysis)을 사용하여 다수

의 성과지표를 동시에 모두 반영하는 평가방안 제시하고 그 적용결과를 제시하였다. 적용결과에서 화물취급규모에 의한 규모순위와 자료포락분석에 의한 성과점수의 순위가 역전되는 경우를 볼 수 있었다. 이는 화물취급규모만으로 평가할 경우 반영할 수 없었던 성과특성을 동시에 모두 고려함으로써 나타난 결과라 할 수 있다. 이러한 결과는 철도 경영자 또는 철도정책담당자의 경영전략 또는 정책의사결정에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

1. Charnes, A., W. W. Cooper, and E. L. Rhodes (1978), "Measuring the Efficiency of Decision Making Units," *European Journal of Operational Research*, Vol. 2, No. 6, pp. 429-444.
2. Oral, M., O. Kettani, and P. Lang (1991), "A Methodology for Collective Evaluation and Selection of Industrial R&D Projects," *Management Science*, Vol. 37, No. 7, pp. 871-883.
3. Thompson, R. G., F. D. Singleton, Jr., R. M. Thrall, and B. A. Smith (1986), "Comparative Site Evaluation for Locating a High-Energy Physics Lab in Texas," *Interfaces*, Vol. 16, No. 6, pp. 35-49.
4. Cook, W. D., Y. Roll, and A. Kazakov (1990), "A DEA Model for Measuring the Relative Efficiency of Highway Maintenance Patrols," *Infor*, Vol. 28, No. 2, pp. 113-124.
5. 최태성 · 장익환 (1992), "DEA를 이용한 금융기관의 운영효율성 평가", 『재무관리연구 제9권 제2호』, pp.77-100.
6. 김성호 · 홍순흠 · 최태성 (2000), "한국철도의 상대적 운영효율성 평가", 『한국철도학회 2000년도 추계학술대회논문집』, pp. 17-23.

접수일(2008년 12월 4일), 수정일(2009년 3월 10일),
 게재확정일(2009년 4월 13일)