

고속철도 열차지연 유형의 구분지표 및 기준*

김한수[†] · 강중혁 · 배영규
한국철도공사 연구원 경영연구처

Types of Train Delay of High-Speed Rail : Indicators and Criteria for Classification

Hansoo Kim[†] · Joonghyuk Kang · Yeong-gyu Bae
Management Research Department, Korail Research Institute,
Korea Railroad Corporation

■ Abstract ■

The purpose of this study is to determine the indicators and the criteria to classify types of train delays of high-speed rail in South Korea. Types of train delays have divided into the chronic delays and the knock-on delays. The Indicators based on relevance, reliability, and comparability were selected with arrival delay rate of over five minutes, median of arrival delays of preceding train and following train, knock-on delay rate of over five minutes, correlation of delay between preceding train and following train on intermediate and last stations, average train headway, average number of passengers per train, and average seat usages. Types of train delays were separated using the Ward's hierarchical cluster analysis. The criteria for classification of train delay were presented by the Fisher's linear discriminant. The analysis on the situational characteristics of train delays is as follows. If the train headway in last station is short, the probability of chronic delay is high. If the planned running times of train is short, the seriousness of chronic delay is high. The important causes of train delays are short headway of train, shortly planned running times, delays of preceding train, and the excessive number of passengers per train.

Keyword : Train Delay, Chronic Delay, Knock-on Delay, High-Speed Rail, Ward's Hierarchical Clustering Analysis, Fisher's Linear Discriminant Analysis

논문접수일 : 2013년 05월 16일 논문게재확정일 : 2013년 6월 19일

논문수정일(1차 : 2013년 06월 14일, 2차 : 2013년 06월 18일)

* 본 연구는 국토교통부 철도기술연구사업 열차운영계획시스템 개발의 연구비지원(과제번호 12PRTD-C059365-02)에 의해 수행되었습니다.

[†] 교신저자 hansman@korail.com

1. 서 론

철도서비스의 신뢰성(reliability)은 안전성(safety)과 더불어 철도운영자 뿐 만 아니라 승객 모두에게 중요한 품질평가항목 중 하나이다. 철도서비스의 신뢰성은 정시성(punctuality)과 운행 취소율(cancelled trains)이 핵심지표(key performance indicator)이다. 정시성은 지연이 일정시간 이내인 열차 비율을 의미하며, 운행 취소율은 계획열차를 기준으로 천재지변 이외의 이유로 취소된 열차의 비율이다. 철도운영자의 서비스 품질개선을 유도하기 위해 정부가 2년 단위로 시행하는 철도서비스 품질평가의 2010년 결과를 보면 KTX, 새마을, 무궁화 모두 운행 취소율이 0%인 만큼 우리나라는 정시성이 운행 취소율보다 변별력 있는 지표라고 할 수 있다[1].

열차는 출발시각을 기준으로 조기출발(early departure), 정시출발(punctual departure), 지연출발(late departure)이 존재할 수 있으며, 도착시각을 기준으로 조기도착(early arrival), 정시도착(punctual arrival), 지연도착(late arrival)이 존재할 수 있다. 다양한 요인에 의해 열차가 정시에 출발하거나 도착하는 것은 매우 어려운 일이기 때문에 모든 국가에서는 정시 판단에 경계값(threshold value) 개념을 도입하여 경계값 이내에 출발하거나 도착하는 것을 정시 운행으로 간주하고 있다[6]. 국제철도연맹(International Union of Railways, UIC)에서는 “정시성은 특정 측정지점에서 열차번호로 식별된 각 열차의 시각표에 계획된 시각과 실제 운행시각과의 비교에 근거하여 측정한다.”고 하였다. 또한 라운드링 규칙(rounding rule)으로 30초에서의 반올림과 지연 경계값으로 5분을 권고하고 있다[11]. 국제철도연맹은 매년 발표하는 통계에서 지방 및 지역 여객열차(local and regional passenger trains)는 5분, 장거리 여객열차(long distance passenger trains)는 15분을 지연 경계값으로 적용하고 있다[12]. 장거리 여객열차에 대한 국가별 지연 경계값을 살펴보면, 네덜란드는 3분, 덴마크, 스위스 및 독일은 5분, 이탈리아는 15분, 미국은 열차운행거리에

따라 5분~30분이다[6, 9]. 우리나라에서는 KTX는 5분, 일반열차는 10분을 적용하고 있다[3].

정시성은 네트워크 용량(network capacity)의 활용수준과 상충관계(trade-off)가 있다. 네트워크 용량의 활용수준이 높아지면 정시성은 낮아진다. 반대로 네트워크 활용수준이 낮아지면 정시성은 높아질 수 있다. 정시성과 같은 승객에 대한 목표 서비스 수준과 철도 네트워크 용량의 활용수준은 대체되기 때문에 철도운영자는 목표한 서비스 수준에서 네트워크 용량의 활용을 최적화 하는 것이 필요하다[14]. 정시성 향상이나 네트워크 용량의 활용수준을 높이기 위해서는 열차지연에 대한 연구가 필수적이다. 열차지연의 유형과 특성에 대한 분석과 함께 열차지연을 해소하기 위한 구체적인 방안이 필요하다. 국제적으로 열차지연에 대한 연구는 유럽에서 실증적 분석결과들이 보고되고 있으나[6, 9, 14], 국내에서는 사례를 찾아보기 힘들다.

본 논문은 여객열차의 지연에 대한 초기연구로서 고속철도의 열차지연 유형을 구분할 수 있는 지표와 기준을 결정하는 것을 목적으로 한다. 열차지연 유형은 상습지연(chronic delay)과 연쇄지연(knock-on delay)으로 구분하였다. 상습지연은 동일열차가 일정기간 동안 반복하여 지연되는 현상으로 지연 경계값 이상의 발생빈도가 중요한 지표가 될 수 있다. 연쇄지연은 선행열차의 지연으로 인하여 후속열차가 연속해서 지연되는 현상으로 선행열차와 후속열차의 연쇄지연 발생빈도가 중요한 지표가 될 수 있다. 열차지연은 다양한 원인에 의해 발생되며 열차별로 발생빈도나 지연시간의 분포에 차이가 있다. 본 논문에서는 KTX의 정시성 판단기준인 종착역에서의 도착지연을 기준으로 열차별 도착지연의 시간적 또는 공간적 분포를 분석하여 열차지연의 특성을 파악하고, 이를 기반으로 열차지연 유형을 구분할 수 있는 지표와 기준을 설정하고자 한다. 본 논문에서 제시된 지표와 기준을 이용하면 열차지연 유형에 대해 보다 체계적인 열차지연 감소전략을 수립할 수 있다. 예를 들면, 상습지연 열차들은 열차시각표(train time table)를 수정할 때 운전시간(running

times), 정차시간(dwell times) 및 열차간격(headway)을 조정하여 열차지연을 감소시킬 수 있다. 연쇄지연 열차들은 지연시간을 예측하여 열차경합(train conflict) 발생여부를 판단하고, 열차시각표를 재수립 하는 열차경합 해소전략을 수립하는데 활용할 수 있다.

본 논문은 제 2장에서 열차지연에 대한 기존문헌을 고찰한다. 제 3장에서는 본 논문에서 사용할 연구자료에 대한 설명과 열차별 종착역 도착지연의 시간적 또는 공간적 분포를 분석하여 열차지연의 특성을 제시한다. 제 4장에서는 열차지연의 특성자료를 기반으로 열차지연 유형을 구분할 지표를 선정한다. 열차별 지연유형은 Ward의 계층적 군집분석(hierarchical clustering analysis)을 이용하여 구분한다. 열차지연 유형의 구분기준은 Fisher의 선형 판별분석(linear discriminant analysis)을 이용하여 판별식으로 제시한다. 제 5장에서는 열차지연 유형에 따라 어떠한 여건에서 지연이 발생하는지 열차간격, 선행열차의 도착지연, 좌석 이용률 등의 열차운행의 상황적인 특성을 제시한다. 마지막으로 제 6장의 결론에서는 이상의 연구결과를 요약하고, 시사점과 앞으로의 연구방향에 대해 논의한다.

2. 문헌 연구

열차지연은 철도서비스의 신뢰성을 판단하는 중요한 지표임에도 불구하고 국내에서는 본 논문이 실증적 분석결과를 제시하는 초기연구이다. 국외에서의 연구결과들을 살펴보면 열차지연의 영향변수에 대한 연구[4, 7, 13], 열차지연의 확률분포에 대한 연구[5, 8, 10], 연쇄지연(knock-on delay)의 지연전파(delay propagation)에 대한 연구[6, 14]들이 수행되었다. 본 연구와 관련 있는 열차지연의 영향변수에 대한 연구와 열차지연의 확률분포에 대한 연구를 중심으로 살펴본다.

열차지연에 영향을 미치는 변수를 파악하기 위한 방법은 주로 다변량 회귀분석이 이용되었다. Harris [4]는 열차 정시성에 영향을 미치는 변수를 선택하

여 분석한 결과 정시성에 미치는 영향변수로 열차장, 정거장수, 주행거리, 동력차 사용연수, 선로 점유율을 제시하였다. Wiggenraad[13]는 열차 정차 시간에 영향을 미치는 변수로 계획 정차시간(침두/비침두 시간), 승하차인원, 출입문 개수를 제시하였다. Olsson and Haugland[7]는 열차 정시성에 영향을 미치는 주요변수로 승객수, 좌석 이용률(승객/좌석수), 용량효율, 운행취소율, 일시적인 감속을 제시하였다. 본 연구에서 열차지연의 유형을 구분하기 위해 위와 같은 영향변수를 조사하여 분석하는 것이 필요하다.

열차지연의 확률분포에 대한 연구는 Schwanhäüßer [10]가 비음 도착지연(non-negative arrive delay)이 음지수분포(negative exponential distribution)임을 제시하였다. 최근에는 Huisman et al.[5]이 평균대기시간 추정을 위해 대기행렬 네트워크 모형을 제시하여, 확률분포를 이용한 통계적 접근이 활발히 이루어지고 있다. RMcon[8]는 비음 도착지연의 음지수분포를 연쇄지연에 대한 지연전파모형의 입력값으로 사용할 것을 제안하였다. 본 연구에서도 열차지연의 확률분포를 분석하여 유형구분에 효과적인 통계적 방법을 적용하는 것이 필요하다고 할 수 있다.

3. 연구자료

본 논문의 연구자료는 한국철도공사의 차세대 철도운영정보시스템인 XROIS(eXtended Railroad Operating Information System)의 열차운행내역이다. 열차운행내역은 운행일자, 열차번호, 노선, 열차종, 상하행 구분, 정거장명, 계획 출발시각, 실제 출발시각, 계획 도착시각, 실제 도착시각으로 구성되어 있다. 이 자료를 운행일과 열차번호로 구분하여 시발역, 중간지점¹⁾, 종착역 각각에 대해 계획 열차간격, 선행열차의 도착지연(시발역은 출발지연),

1) 중간지점은 상하행 KTX가 모두 통과하는 대전조차장으로 설정함.

당해열차의 도착지연(시발역은 출발지연)을 산출하고, 계획 운행시간, 실제 운행시간, 정거장수, 수송인원, 공급좌석수, 좌석 이용율²⁾을 추가하여 실제 분석할 자료를 구축하였다. 여기서, 계획 열차간격은 선행열차의 계획 출발(또는 도착)시각과 당해열차의 계획 출발(또는 도착)시각의 차이이다. 열차의 출발지연은 실제 출발시각과 계획 출발시각의 차이이며, 도착지연은 실제 도착시각과 계획 도착시각의 차이이다. 계획 운행시간은 종착역의 계획 도착시각과 시발역의 계획 출발시각의 차이이며, 실제 운행시간은 종착역의 실제 도착시각과 시발역의 실제 출발시각의 차이이다.

본 논문에서 이용한 자료의 범위는 다음과 같다. 첫째, 시간적 범위는 2012년 1월부터 10월까지이다. 2012년 11월 1일부터 열차운행계획이 변경되어 변경 이전의 자료로만 구성하였다. 둘째, 공간적 범위는 KTX가 운행하는 경부선(서울~부산), 경전선(서울~진주), 호남선(용산~목포), 전라선(용산~여수엑스포)을 대상으로 하였다. KTX의 노선별 열차지연의 특성을 분석하기 위함이다. 셋째, 내용적 범위는 KTX의 정시성 판단기준인 종착역에서의 도착지연을 대상으로 하였다. 도착지연의 범위는 조기도착, 정시도착, 지연도착을 모두 포함하였다. 조기도착은 [그림 1]에서 음의 값을 갖는 것으로 지연은 아니지만 제외할 경우 도착지연의 분포가 절단분포(truncated distribution)가 되어 도착지연의 통계량에 왜곡이 발생한다. 마지막으로 본 자료는 천재지변이나 사고, 선로에서의 각종 공사 등으로 인한 자료를 제외하지 않았으며, 정기열차와 부정기열차를 대상으로 하였다. 임시열차는 관광 등의 특정 목적에 의해 운행되는 열차로 제외하였다. 위의 자료범위에 해당하는 연구자료는 53,547건으로 일평균 175.6회의 열차

운행내역이다.

연구자료에 대한 자료특성을 파악하기 위하여 <표 1>에 노선별, 요일별, 종착역 도착시간대로 구분하여 기술통계량 분석결과를 제시하고, 종착역 도착지연의 상자그림(box plot)과 히스토그램(histogram)은 [그림 1]에 제시하였다. <표 1>은 열차운행횟수, 선행열차와 당해열차의 종착역 도착지연 통계량, 열차 당 평균수송인원을 나타낸 것이며, 음영부분은 당해열차의 도착지연이 평균보다 큰 것을 표시한 것이다. [그림 1]의 Y축은 당해열차의 종착역 도착지연으로 노선과 요일로 구분하여 상자그림과 히스토그램을 동시에 나타낸 것이며, 수평축은 도착지연의 0초, 300초(5분), 900초(15분)를 표시한 것이다. 이들의 분석결과는 다음과 같다.

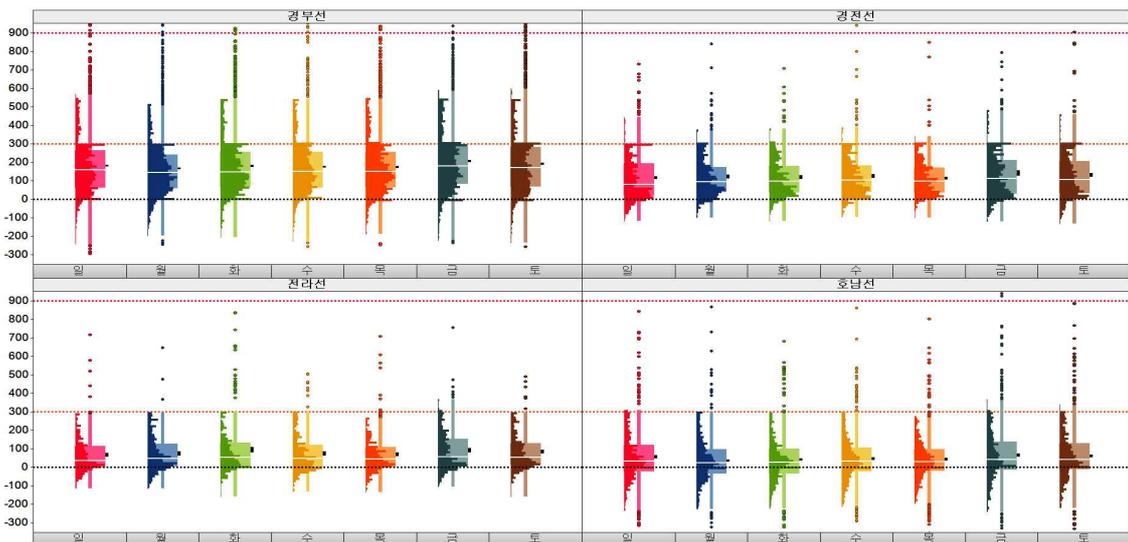
첫째, 노선별 도착지연은 모든 노선에서 도착지연 5분을 경계로 급속히 감소하는 경향을 나타내고 있다. KTX의 지연 경계값이 5분이기 때문이다. 경부선이 다른 노선에 비해 도착지연의 평균과 표준편차가 크며, 5분 이상의 도착지연 개수와 상자그림에 표시된 극단값(extreme value) 개수가 많다. 이와 같은 결과로 볼 때 경부선의 열차지연 유형이 다른 노선에 비해 다양하게 관찰될 것으로 예상된다. 열차지연 유형을 구분한 뒤 열차지연의 특성을 노선별로 구분하거나 경부선과 경부선 이외의 노선으로 구분하여 살펴보는 것이 필요하다.

둘째, 요일별 도착지연은 주말(금~일)이 주중(월~목)에 비해 높은 것으로 나타났다. 특히 금요일의 도착지연이 가장 높는데, 이는 주 5일 근무제가 정착되어 금요일의 수송인원이 가장 높게 나타나는 현상과 일치한다. <표 1>의 열차 당 평균수송인원과 당해열차의 도착지연이 주중에 비해 주말이 높을 것을 보면 수송인원이 많을수록 열차지연에 양(+)의 영향을 미치는 것으로 유추할 수 있다. 또한 주중과 주말의 도착지연에 차이나는 원인은 주중에 비해 주말의 열차운행횟수가 많기 때문이다. 네트워크 용량의 활용수준이 높은 만큼 열차지연이 상대적으로 많이 발생하는 것이다.

2) 좌석 이용율은 열차별 공급좌석수 당 수송인원의 백분율이며, 좌석 이용율이 높을수록 많은 승객이 승차한 것이다. 좌석 이용율은 100%를 초과할 수 있는데, 한 좌석을 한 명 이상의 승객이 이용할 수 있기 때문이다. 예를 들면, 한 좌석을 서울~대전 간 승객과 대전~부산 간 승객이 이용하는 경우가 존재함.

<표 1> 종착역 도착지연의 기술통계량

구 분	열차운행횟수			선행열차 도착지연(초)			당해열차 도착지연(초)			열차당 평균 수송인원	
	전체	일평균	구성비	평균	표준편차	중위수	평균	표준편차	중위수		
전체	53,547	175.6	100.0	145.9	180.9	119	141.0	176.0	115	769.2	
노선	경부선	33,199	108.8	62.0	178.0	177.6	151	182.0	178.0	156	931.8
	경전선	5,438	17.8	10.2	111.6	173.3	82	125.0	158.5	98	632.3
	전라선	3,050	10.0	5.7	94.4	167.4	58	78.6	124.9	49	373.3
	호남선	11,860	38.9	22.1	79.6	173.4	49	49.5	146.5	31	478.4
요일	일	8,448	192.0	15.8	147.7	183.8	120	141.3	175.0	117	770.0
	월	7,436	169.0	13.9	130.8	169.1	106	127.4	163.2	104	753.5
	화	7,193	163.5	13.4	139.4	183.6	110	136.2	180.2	108	713.8
	수	7,164	162.8	13.4	136.8	175.5	111	133.8	174.0	109	717.7
	목	6,966	162.0	13.0	134.7	157.4	111	131.4	159.9	107	762.1
	금	8,084	188.0	15.1	168.3	210.5	138	161.5	201.0	135	849.4
종착역 도착 시간대	토	8,256	192.0	15.4	158.4	174.5	130	151.4	170.6	124	802.5
	00시	3,050	10.0	5.7	131.3	139.4	111	115.1	131.5	92	475.8
	01시	837	2.7	1.6	132.1	167.8	93	161.8	159.7	144	671.1
	07시	738	2.4	1.4	131.5	102.1	108	152.7	219.9	117	889.8
	08시	2,387	7.8	4.5	133.8	208.7	86	101.6	132.0	70	757.5
	09시	2,959	9.7	5.5	135.6	123.2	125	127.3	145.7	115	732.6
	10시	2,745	9.0	5.1	126.4	168.2	105	86.6	145.9	56	764.0
	11시	4,326	14.2	8.1	110.9	185.1	63	139.3	194.8	88	771.6
	12시	2,575	8.4	4.8	129.0	195.0	87	114.9	161.8	83	807.8
	13시	3,369	11.0	6.3	153.1	178.7	120	158.5	164.4	135	784.2
	14시	1,306	4.3	2.4	152.7	164.6	133	135.7	174.2	101	827.2
	15시	3,412	11.2	6.4	175.3	215.1	143	182.5	229.2	156	792.2
	16시	3,355	11.0	6.3	122.5	214.0	79	164.8	194.0	130	698.3
	17시	2,938	9.6	5.5	202.9	178.1	172	174.6	160.2	147	936.8
18시	3,227	10.6	6.0	171.5	149.5	152	137.8	181.5	129	890.4	
19시	2,759	9.0	5.2	199.5	199.5	164	210.3	189.5	174	921.0	
20시	3,015	9.9	5.6	149.3	181.4	123	123.0	184.2	109	783.8	
21시	2,845	9.3	5.3	163.1	153.1	144	181.0	161.0	167	869.1	
22시	3,938	12.9	7.4	143.9	193.5	120	145.6	168.2	122	734.4	
23시	3,766	12.3	7.0	104.2	155.8	67	82.3	154.7	63	627.3	



[그림 1] 종착역 도착지연의 상자그림과 히스토그램

<표 2> 요일별 열차운행횟수

구 분		일	월	화	수	목	금	토	주중	주말
운행횟수별 열차 수	1~2주	n/a	34	39	40	n/a	n/a	n/a	40	n/a
	42~44주	192	168	162	162	162	188	192	162	195
	합계	192	202	201	202	162	188	192	202	195
평균 열차운행횟수		192	169	163.5	162.8	162	188	192	164.3	190.7

<표 3> 지연 여부(5분 기준)별 평균 좌석 이용율

구 분		일	월	화	수	목	금	토	평균
경부선	미지연	99.8	101.2	96.3	96.4	102.2	110.9	103.1	101.5
	지연	110.0	99.5	97.2	97.9	103.1	116.6	114.5	107.0
경전선	미지연	105.9	101.5	101.2	101.0	107.1	115.9	114.0	107.5
	지연	126.1	113.5	105.6	112.8	118.9	129.3	115.5	120.1
전라선	미지연	107.6	105.5	98.5	98.5	103.0	111.7	120.1	106.4
	지연	130.4	106.4	87.6	106.3	117.9	112.7	136.5	107.7
호남선	미지연	80.2	72.9	68.2	68.2	71.8	88.1	82.5	76.1
	지연	87.8	77.3	59.8	62.0	78.4	98.6	99.3	82.8

요일별 도착지연을 분석한 결과 열차지연 유형을 분석함에 있어 주중과 주말로 구분하는 것이 효과적일 것으로 판단된다. 그 이유는 다음과 같다. 첫째, 주중과 주말의 네트워크 용량의 활용수준에 차이가 있기 때문이다. 열차지연 유형을 분석하기 위해서는 동일 조건에서 분석하는 것이 필요한데, 동일 열차³⁾라 하더라도 주중과 주말의 네트워크 용량의 활용수준에 차이가 있기 때문에 열차지연이 발생할 조건이 동일하지 않다. 둘째, 주중과 주말에만 운행하는 열차가 존재한다. <표 2>를 보면 월~수만 운행하는 열차가 존재하고, 주말에만 운행하는 열차는 최대 30회가 많다. 열차지연 유형을 분석하기 위해 분석대상이 되는 열차를 식별하는 방법은 열차번호가 같은지 여부로 판단한다. 주중의 월~수에 운행한 일부 열차로 인해 주말 보다 주중의 열차가 많은 것으로 나타나지만, 이들 열차는 매주 운행하는 열차가 아니기 때문에 평균 열차운행횟수를 보면 주말이 주중 보다 많다.

셋째, 종착역 도착시간대로 구분한 도착지연은 오후가 오전에 비해 높은 것으로 나타났다. 7시~14시 도착열차가 일평균 66.8회이며, 15시~24시 도착열차가 일평균 105.8회로 오후 시간대에 열차운행이 집중되어 있다. 오전 시간대 도착지연이 평균 이하인 반면 오후 시간대 도착지연이 대부분 평균 이상인 것으로 볼 때 열차운행횟수(열차간격)가 열차지연에 양(+)의 영향을 미치는 것으로 유추할 수 있다. 이와 같은 결과로 볼 때 오후 시간대 열차지연 유형이 오전 시간대에 비해 다양하게 관찰될 것으로 예상된다. 열차지연 유형을 구분한 뒤 열차지연의 특성을 오전과 오후로 구분하여 살펴보는 것이 필요하다.

넷째, 지연 경계값 5분을 기준으로 지연된 열차의 수송인원이 많은 것으로 나타났다. 정시성 판단기준인 종착역에서의 도착지연 5분을 기준으로 지연여부를 구분하여 좌석 이용율을 산출하면 <표 3>과 같다. <표 3>의 음영으로 표시된 부분은 평균보다 큰 수치를 표시한 것이다. 모든 노선에서 지연되지 않은 열차보다 지연된 열차의 좌석 이용율이 높다. 경부선은 5.5%, 경전선은 12.6%, 전라선은 1.3%,

3) 동일 열차는 동일한 열차번호를 부여받아 동일 정거장에 정차하고, 동일 시간에 운행하는 열차를 의미함.

호남선은 6.7%가 높게 나타나 수송인원이 열차지연에 양(+)의 영향을 미치는 것으로 유추할 수 있다.

마지막으로 선행열차와 후속열차 간 열차지연의 상관관계를 <표 4>와 같이 분석하였다. 이 분석은 후속열차를 기준으로 시발역부터 종착역까지의 열차지연과 해당 역에서의 선행열차지연을 연결하여 분석한 것이다. 선행열차가 없는 경우가 제외되어 전체자료는 51,023건이며, 이들의 상관계수는 <표 4>의 우상단의 음영이 없는 삼각형 부분이다. 좌하단의 음영이 있는 삼각형 부분은 선행열차와 후속열차 모두 종착역에서 5분 이상 지연된 열차를 대상으로 한 상관계수이다. 이는 후속열차가 선행열차에 의해 지연되는 경우를 구분하기 쉽지 않기 때문에 종착역 기준으로 지연경계값 이상으로 지연된 연쇄지연열차로 한정하였다. 연쇄지연열차는 1,623건으로 일평균 5.3건이 발생하고 있다.

상관분석 결과를 살펴보면 다음과 같다. 첫째, 시발역에서 선행열차의 지연이 후속열차에 미치는 영향은 낮았다. 전체열차 기준의 상관계수는 0.1397, 연쇄 지연된 열차는 0.1311이다. 둘째, 연쇄 지연된 열차는 중간지점과 종착역에서 선행열차의 지연에 의해 영향을 받았다. 전체열차 기준으로 중간지점에서의 상관계수는 0.2287, 종착역은 0.3643인 반면, 연쇄 지연된 열차는 0.5620, 0.5215이다. 연쇄지연을 구분하는 지표로 중간지점과 종착역에서의 열차지연 상관계수가 중요한 지표가 될 것으로 판단된다.

4. 열차지연 유형의 구분

4.1 분석방법

열차지연의 유형을 구분하는 목적은 정시성 향상이나 네트워크 용량의 활용수준을 높이기 위해 효과적인 열차지연 감소전략을 수립하는데 있다. 열차지연이 다양한 형태로 발생되기 때문에 지연유형을 구분함으로써 그 특성을 파악하여, 이를 기반으로 체계적인 전략방향을 설정하고자 하는 것이다. 열차지연의 유형은 열차지연의 양적 또는 질적 특성, 열차지연이 발생하는 상황과 관련성이 높다. 열차지연의 양적 특성은 지연의 발생빈도나 지연크기이며, 질적 특성은 선행열차로 인한 연쇄지연의 발생빈도나 열차 간 지연관계이다. 열차지연이 발생하는 상황 특성은 단위시간 당 열차운행횟수인 평균 열차간격과 열차 당 수송인원 또는 밀도가 해당된다.

우리나라 고속철도의 정시성은 종착역을 기준으로 5분 이상 도착이 지연된 열차를 대상으로 산출한다. 그러므로 열차지연의 유형을 구분함에 있어 종착역의 도착지연을 기준으로 분석하는 것이 효과적이다. 또한 제 3장에서 설명한 바와 같이 네트워크 용량의 활용수준과 요일별 운행열차를 고려하여 주중과 주말로 구분하여 분석하는 것이 의미가 있다.

열차지연의 유형을 분석하는 단계는 구분지표 선정, 요인추출, 군집분석, 판별분석으로 구성하였다.

<표 4> 선행열차와 후속열차 간 열차지연의 상관계수

구분		선행열차			후속열차		
		시발역 지연	중간지점 지연	종착역 지연	시발역 지연	중간지점 지연	종착역 지연
선행열차	시발역 지연	1.0000	0.1009	0.0836	0.1397	0.0790	0.0408
	중간지점 지연	0.1787	1.0000	0.2519	0.0351	0.2287	0.1395
	종착역 지연	0.1268	0.4144	1.0000	0.0229	0.1182	0.3643
후속열차	시발역 지연	0.1311	0.0992	0.0996	1.0000	0.2077	0.1187
	중간지점 지연	0.0918	0.5620	0.2780	0.3573	1.0000	0.5114
	종착역 지연	0.0788	0.3596	0.5215	0.2852	0.6108	1.0000

주) 음영 부분은 선행열차와 후속열차 모두 종착역에서 5분 이상 지연한 열차에 대한 상관계수이며, 아닌 부분은 이들을 포함한 전체열차의 상관계수임.

첫 번째 단계인 구분지표 선정은 열차지연의 유형을 상습지연과 연쇄지연으로 구분할 수 있는 지표를 도출하는 단계이다. 두 번째 단계인 요인 추출은 여러 지표들의 요인구조를 추출하고, 다중공선성(multicollinearity)이 높은 변수들을 몇 개의 요인으로 축약하는 단계이다. 요인분석에 의해 산출된 요인점수는 다중공선성과 극단치 문제 등이 해결됨에 따라 원래의 지표를 사용하는 것보다 효율적이다. 세 번째 단계인 군집분석은 앞 단계에서 산출된 요인점수를 이용하여 열차지연의 유형 그룹을 구분한다. 이 단계에 적용한 Ward의 계층적 군집분석은 군집 내 제곱합 증분과 군집 간 제곱합을 이용하여 군집 간 정보의 손실을 최소화하도록 군집화 하는 방법이다[2]. 마지막 단계인 판별분석은 앞 단계에서 산출된 열차지연 유형 그룹의 구분기준을 설정하기 위함이다. 추후 새로운 열차에 대한 열차지연 유형을 분류할 때 사용할 수 있다. 이 단계에 적용한 Fisher의 선형 판별분석은 군집분석에 의해 분류된 열차지연 유형 그룹을 판별하는 선형식을 추정한다.

4.2 열차지연 유형의 구분지표

열차지연 유형을 구분하기 위한 지표선정 기준

은 목적적합성(relevance), 신뢰성(reliability), 비교가능성(comparability)으로 설정하였다. 목적적합성은 열차지연의 유형을 구분하고자 하는 목적에 적합한지 여부로 지표를 선정하는 기준이다. 목적적합성에 부합하기 위해서는 열차지연의 유형을 상습지연과 연쇄지연으로 구분할 수 있어야 한다. 신뢰성은 제시된 지표가 열차운행내역을 분석하여 산출이 가능하여야 하며, 지표의 표현이 명확하여야 한다. 마지막으로 비교가능성은 공통된 기준을 통해 제시하는 정보가 분석기간 간 비교(intersession comparability)가 가능해야 한다. 지연시간의 합계 같은 지표는 분석기간이 다르면 비교가 불가능하기에 이러한 지표들은 제외하였다. 이러한 기준에 의해 선정된 지표는 <표 5>에 제시된 바와 같이 총 10개 변수로 열차별 지연 특성을 나타내는 선행열차와 당해열차의 지연율과 지연 중위수, 연쇄지연율을 선정하였고, 선행열차와 후속열차 간의 열차지연 상관관계를 나타내는 지연상관 특성으로 중간지점과 종착역에서의 열차 간 지연 상관계수를 선정하였다. 또한 열차공급과 승객이용 특성을 나타내는 종착역에서의 평균 열차간격, 평균 수송인원, 평균 좌석 이용율을 선정하였다.

열차지연 유형의 구분지표간 상관관계를 분석하면

<표 5> 열차지연 유형의 구분지표

지표	정의	비고
선행열차 지연율(%)	선행열차의 종착역 5분 이상 지연횟수/운행횟수	지연 특성
선행열차 지연 중위수(초)	선행열차의 종착역 도착지연의 중위수	지연 특성
당해열차 지연율(%)	당해열차의 종착역 5분 이상 지연횟수/운행횟수	지연 특성
당해열차 지연 중위수(초)	당해열차의 종착역 도착지연의 중위수	지연 특성
연쇄지연율(%)	선행열차와 후속열차 모두 종착역에서 5분 이상 지연횟수/운행횟수	지연 특성
중간지점 열차 간 지연 상관계수	중간지점에서의 선행열차와 후속열차 간 지연 상관계수	지연상관 특성
종착역 열차 간 지연 상관계수	종착역에서의 선행열차와 후속열차 간 지연 상관계수	지연상관 특성
평균 열차간격(분)	종착역에서의 선행열차 도착시각과 당해열차 도착시각의 차이/운행횟수	열차공급 특성
평균 수송인원(인)	열차별 수송인원 합계/운행횟수	승객이용 특성
평균 좌석 이용율(%)	열차별 평균 수송인원/공급좌석수	승객이용 특성

<표 6> 구분지표 간 상관계수

구분		선행열차		당해열차		연쇄지연율	열차 간 지연 상관계수		평균 열차 간격	평균 수송 인원	평균 좌석 이용율
		지연율	지연 중위수	지연율	지연 중위수		중간지점	종착역			
선행열차	지연율	1.0000	0.7411	0.0938	0.0595	0.3335	0.1086	0.1010	-0.1845	0.0251	0.1073
	지연중위수	0.8004	1.0000	0.2642	0.3604	0.5110	0.0582	0.2147	-0.2235	0.1822	0.2096
당해열차	지연율	0.1092	0.3310	1.0000	0.8446	0.6153	-0.0452	0.0831	-0.1837	0.2021	0.0843
	지연중위수	0.0378	0.2944	0.8649	1.0000	0.5480	-0.0268	0.1601	-0.2642	0.3080	0.1670
연쇄지연율		0.3736	0.5634	0.7018	0.6149	1.0000	0.0676	0.2182	-0.1599	0.0660	0.0304
열차 간 지연 상관계수	중간지점	0.0301	-0.0062	0.0889	0.0844	0.0468	1.0000	0.0082	0.0814	-0.0301	-0.0479
	종착역	0.2530	0.2612	0.1670	0.1923	0.3621	0.1324	1.0000	-0.2530	0.0580	-0.0011
평균 열차간격		-0.2279	-0.2473	-0.2501	-0.2380	-0.2146	0.1671	-0.4165	1.0000	-0.2236	-0.0778
평균 수송인원		-0.0407	0.2868	0.3868	0.4296	0.1767	-0.0652	0.0468	-0.2194	1.0000	0.6018
평균 좌석 이용율		-0.0995	0.1863	0.1409	0.1977	0.0273	-0.0817	-0.0050	-0.0458	0.4998	1.0000

주) 음영 부분은 주말, 아닌 부분은 주중에 대한 상관계수임.

<표 7> 요인분석 결과 : 직교회전 후 최종 요인부하량

구분	주중(월~목)				주말(금~일)			
	상습지연 정도		승객이용 정도 (F ₃)	열차공급 집중도 (F ₄)	상습지연 정도		승객이용 정도 (F ₃)	열차공급 집중도 (F ₄)
	당해열차 (F ₁)	선행열차 (F ₂)			당해열차 (F ₁)	선행열차 (F ₂)		
당해열차 지연율	0.9521	0.0902	0.0680	0.0433	0.9362	0.1467	0.1312	-0.0968
당해열차 지연 중위수	0.8992	0.1081	0.2021	0.1537	0.9153	0.0799	0.2007	-0.1178
연쇄지연율	0.6552	0.5485	-0.0882	0.1076	0.6879	0.5756	-0.1049	-0.1693
선행열차 지연율	0.0891	0.9324	-0.0089	0.0545	0.1188	0.9351	0.0022	-0.1302
선행열차 지연 중위수	0.1756	0.8684	0.1718	0.1717	0.1620	0.8895	0.2050	-0.1417
평균 좌석 이용율	0.0150	0.1289	0.8937	-0.0580	-0.0247	0.0926	0.8717	0.0339
평균 수송인원	0.1666	-0.0271	0.8760	0.1543	0.3167	0.0391	0.8010	-0.1077
종착역 지연 상관계수	0.0460	0.1066	-0.0832	0.8130	0.0976	0.1959	-0.0970	-0.8094
평균 열차간격	-0.1326	-0.0859	-0.1715	-0.7363	-0.1230	-0.0675	-0.1554	0.8357

<표 6>과 같다. 우상단의 음영이 없는 삼각형 부분은 주중 운행된 열차에 대한 결과이며, 좌하단의 음영이 있는 삼각형 부분은 주말 운행된 열차에 대한 결과이다. 선행열차와 당해열차의 지연율과 지연중위수는 상관관계가 높으며, 연쇄지연율은 선행열차의 지연중위수, 당해열차의 지연율, 지연중위수와 상관관계가 높았다. 또한 주중 운행된 열차에 한하여 평균 수송인원과 평균 좌석 이용율이 높은 상관관계를 나타내고 있다.

구분지표에 대한 요인분석 결과는 <표 7>과 같다. 요인추출방법으로는 주성분분석법을 적용하고, 요인회전은 직교회전(orthogonal rotation)인 Varimax법

을 적용하였다. 적정 설명변수와 요인의 수를 결정한 방법은 후진선택방법(backward selection method)을 적용하여, 10개 변수 모두로 요인분석을 실시한 뒤 하나씩 제거하면서 분석결과가 적절한지를 판단하였다. 판단기준은 직교회전 후 최종 요인부하량의 적절성, 요인추출 후 공통분(communality)의 적절성, 직교회전 후 누적분산비율을 이용하였다. 그 결과 중간지점의 열차 간 지연 상관계수를 제외하고, 9개 변수로 주중과 주말 모두 4개씩의 요인을 얻을 수 있었다. 요인 1은 당해열차의 상습지연 정도, 요인 2는 선행열차의 상습지연 정도, 요인 3은 승객이용 정도, 요인 4는 열차공급의 집중도로 해석할 수 있다.

4.3 열차지연 유형의 구분결과

열차지연 유형은 요인분석 결과인 4개 요인을 이용하여 Ward의 계층적 군집분석으로 구분하였다. 군집 수의 결정기준은 Pseudo Hotelling's T^2 통계량의 급변점을 이용하였다. 주중과 주말 모두 5개의 군집으로 구분되었다. 선행열차가 존재하지 않은 일부 열차가 제외되어 주중은 195개 열차, 주말은 189개 열차가 분석되었다. 열차지연 유형별 지표의 평균은 <표 8>에 제시하였다.

열차지연 유형의 구분결과를 주중과 주말 각각에 대해 살펴보고, 이들 간의 특성에 대해 비교하여 본다. 첫째, 주중 운행열차에 대한 열차지연 유형을 당해열차의 지연율을 기준으로 나열하면 그룹 2, 3, 5, 1, 4의 순이다. 그룹 2, 3에 해당하는 열차는 102개이며, 지연의 발생빈도가 낮고 지연크기가 작다. 그룹 2는 평균 열차간격이 가장 길며, 그룹 3은 평균 수송인원과 좌석 이용율이 가장 낮다. 이러한 열차지연 유형은 비상승지연의 유형이라 할 수 있다. 그룹 5, 1에 해당하는 열차는 84개이며, 평균 수송인원과 좌석 이용율이 전체 평균 이상이다. 그룹 5는 선행열차와의 연쇄지연율이 7%이며, 선행열차는 62.2%가 지연을 하고 있다. 그룹 5는

연쇄지연, 그룹 1은 준상승지연의 유형이라 할 수 있다. 마지막으로 그룹 4에 해당하는 열차는 9개이며, 지연율이 64.0%, 선행열차와의 연쇄지연율이 18.5%로 가장 높다. 반면 다른 그룹에 비해 평균 열차간격이 가장 낮다. 이 그룹은 연쇄 및 상승지연의 유형이라 할 수 있다.

둘째, 주말 운행열차에 대한 열차지연 유형을 당해열차의 지연율을 기준으로 나열하면 그룹 2, 1, 3, 5, 4의 순이다. 그룹 2, 1에 해당하는 열차는 85개이며, 지연의 발생빈도가 낮고 지연크기가 작다. 그룹 2는 평균 열차간격이 가장 길며, 평균 수송인원과 좌석 이용율이 가장 낮다. 이들 그룹은 비상승지연의 유형이라 할 수 있다. 그룹 3, 5에 해당하는 열차는 95개이며, 지연율이 10%를 넘는다. 그룹 3은 평균 수송인원과 좌석 이용율이 가장 높으나, 선행열차와의 지연이 전체 평균 이하로 준상승지연의 유형이라 할 수 있다. 반면 그룹 5는 연쇄지연율이 11.3%이며, 선행열차는 63.5%가 지연을 하고 있어 연쇄 및 준상승지연의 유형이라 할 수 있다. 마지막으로 그룹 4에 해당하는 열차는 9개이며, 지연율이 64.7%, 선행열차와의 연쇄지연율이 22.7%로 가장 높다. 반면 다른 그룹에 비해 평균 열차간격이 가장 낮다. 이 그룹은 연쇄 및 상승지연의 유형이라 할 수 있다.

<표 8> 열차지연 유형별 지표의 평균

구분	지연 유형	열차수	선행열차		당해열차		연쇄 지연율	중착역 지연 상관계수	평균 열차 간격	평균 수송 인원	평균 좌석 이용율	
			지연율	지연 중위수	지연율	지연 중위수						
주중	전체	-	195	11.1	146.7	8.8	139.5	2.6	0.2987	39.6	738.7	94.9
	그룹 1	준상승	73	9.2	152.0	9.4	155.1	2.3	0.3647	17.5	1023.7	118.1
	그룹 2	비상승	41	2.3	93.1	2.8	98.0	0.4	0.0456	114.8	555.1	91.0
	그룹 3	비상승	61	8.3	134.2	3.9	112.3	1.3	0.3886	22.3	523.4	68.4
	그룹 4	연쇄/상승	9	24.0	222.2	64.0	374.4	18.5	0.2981	13.7	711.8	86.5
	그룹 5	연쇄	11	62.2	319.5	8.5	148.3	7.0	0.3059	24.3	747.7	110.0
주말	전체	-	189	13.6	155.8	11.8	155.9	3.9	0.3338	35.0	814.7	103.3
	그룹 1	비상승	52	16.1	160.2	5.6	120.3	3.2	0.4817	13.9	611.4	88.7
	그룹 2	비상승	33	3.8	94.5	2.1	100.0	0.2	0.1294	110.9	530.7	85.0
	그룹 3	준상승	88	10.6	151.6	13.5	173.5	3.3	0.3210	23.0	1030.2	119.5
	그룹 4	연쇄/상승	9	26.0	221.1	64.7	386.4	22.7	0.4147	11.5	850.1	90.6
	그룹 5	연쇄/준상승	7	63.5	382.3	14.3	166.2	11.3	0.2567	16.2	909.6	109.9

마지막으로 주중과 주말의 열차지연 유형을 비교하여 보면 주중에 비해 주말의 열차지연의 형태가 복잡하며, 지연되는 열차의 개수도 많은 것으로 분석되었다. 주중과 주말 모두 연쇄 및 상승지연의 유형에 해당하는 열차 9개는 집중적인 개선이 필요한 부분이라 할 수 있다.

4.4 열차지연 유형의 구분기준

열차지연 유형의 구분기준은 요인분석과 군집분석 결과를 이용하여 식 (1)과 같이 Fisher의 선형 판별식으로 제시하였다. 여기서, Z_i 는 그룹 i 의 판별점수, c_i 는 그룹 i 의 상수, a_{ij} 는 그룹 i 의 j 번째 판별계수, F_{ij} 는 그룹 i 의 j 번째 설명변수, n 은 설명변수의 개수이다. 변수선택방법은 4개 요인에 대해 단계적 선택방법(stepwise selection method)을 적용하였다. 변수 포함 시의 유의수준(entry significance)은 0.25, 변수 제거 시의 유의수준(staying significance)은 0.15이다. 분석결과는 <표 9>에 제시되었다. 개별열차가 어떤 그룹에 해당하는지는 개별열차의 설명변수 값과 <표 9>의 판별계수를 식 (1)에 적용하여 판별점수를 산출하고, 그룹별 판별점수 중 가장 큰 점수를 나타내는 그룹이 분류된 그룹으로 정해진다.

$$Z_i = c_i + \sum_{j=1}^n a_{ij}F_{ij} \quad (1)$$

주중에 운행한 열차들의 지연유형을 구분하는 판별식을 살펴보면, 그룹 1의 판별식은 승객이용 정도(요인 3)가 양(+)의 영향을 미치며, 그룹 2의 판별식은 열차공급 집중도(요인 4)가 음(-)의 영향을 미친다. 그룹 3의 판별식은 승객이용 정도(요인 3)가 음(-)의 영향, 그룹 4의 판별식은 당해열차의 상승지연 정도(요인 1)가 압도적인 양(+)의 영향, 그룹 5의 판별식은 선행열차의 상승지연 정도(요인 2)가 양(+)의 영향을 미친다. 판별력의 교차검증 결과는 87.3%로 양호하다.

주말에 운행한 열차들의 지연유형을 구분하는 판별식을 살펴보면, 그룹 1의 판별식은 승객이용 정도(요인 3)와 열차공급 집중도(요인 4)가 음(-)의 영향을 미치며, 그룹 2의 판별식은 승객이용 정도(요인 3)가 음(-), 열차공급 집중도(요인 4)가 양(+)의 영향을 미친다. 그룹 3의 판별식은 승객이용 정도(요인 3)가 양(+)의 영향, 그룹 4의 판별식은 상승지연 정도(요인 1)가 압도적인 양(+)의 영향, 그룹 5의 판별식은 선행열차의 상승지연 정도(요인 2)가 양(+)의 영향을 미친다. 판별력의 교차검증 결과는 91.3%로 양호하다.

5. 열차지연 유형별 상황특성 분석

앞 장에서 분석한 열차지연의 유형에 따라 해당 유형별로 어떠한 상황에서 지연이 발생하는지를 분

<표 9> 열차지연 유형의 구분 판별식

구분	주중(월~목)					주말(금~일)				
	상수 (c_i)	상승지연 정도		승객이용 정도 (a_{i3})	열차공급 집중도 (a_{i4})	상수 (c)	상승지연 정도		승객이용 정도 (a_{i3})	열차공급 집중도 (a_{i4})
		당해열차 (a_{i1})	선행열차 (a_{i2})				당해열차 (a_{i1})	선행열차 (a_{i2})		
그룹 1	-1.1476	-0.1068	-0.0494	2.0886	1.1654	-1.2398	-1.1370	0.3945	-1.3835	-1.2889
그룹 2	-2.5106	-0.6402	-1.0126	-1.3174	-3.0428	-4.1279	-0.8829	-0.7499	-2.9615	3.6515
그룹 3	-0.9709	-0.8296	-0.4169	-1.5713	0.7359	-0.9002	0.3144	-0.4512	2.0429	-0.6507
그룹 4	-19.4112	10.3306	1.3865	-1.4712	-0.8496	-12.2537	7.2197	0.9567	-1.2835	0.2244
그룹 5	-7.5536	-0.7570	5.2801	0.9668	0.2220	-7.9433	-0.6272	5.0466	0.2065	0.2521

석하기 위해 <표 10>으로 열차의 운행단계별 열차지연을 정리하여 보았다. 이에 대한 분석결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 열차지연은 시발역부터 종착역까지 누적 증가하는 경향을 나타낸다. 대부분의 유형에서 시발역부터 중간지점, 종착역으로 열차지연이 증가하고 있다. 주중과 주말 모두 그룹 2에서만 중간지점과 종착역 간에서 열차지연이 회복되었다. 이 경우 종착역에서의 열차간격은 110분 이상으로 열차빈도가 낮기 때문에 회복이 가능했던 것으로 판단된다. 그룹 4는 지연경계값인 5분을 평균적으로 초과하고 있어 개선이 시급한 대상이라 할 수 있다. 둘째, 열차간격이 길면 열차지연이 회복되거나 낮은 증가율을 나타낸다. 반대로 열차간격이 짧으면 열차지연의 증가율이 상대적으로 높다. 셋째, 종착역에서의 열차간격이 짧으면 상승지연이 발생할 개연성이 높은 것으로 판단된다. 종착역에서의 열차간격이 짧은 주중의 그룹 1, 4가 다른 그룹 2, 3, 5에 비해 상

승지연의 정도가 높다. 주말은 그룹 4, 5가 다른 그룹 1, 2, 3에 비해 상승지연의 정도가 높다. 열차간격이 짧을수록 상승지연이 발생할 개연성이 높은 것으로 판단된다. 넷째, 수송인원이 많은 경우 열차지연이 상대적으로 높은 것으로 나타난다. 준상승지연인 주중 그룹 1과 주말 그룹 3은 수송인원이 평균에 비해 주중 23.2%, 주말 16.2%가 높아 승차로 인한 정차지연이 가장 큰 원인일 것으로 판단된다. 마지막으로 계획 운행시간이 상대적으로 짧은 열차들이 상승지연의 정도가 높게 나타났다. 상승지연의 정도가 가장 높은 그룹 4의 경우 계획 운행시간이 평균에 비해 주중 11.5분, 주말 9.3분이 짧아 상승지연의 가장 큰 원인으로 판단된다. 이상의 결과로 볼 때 열차지연에는 열차간격, 계획 운행시간, 선행열차의 지연, 수송인원이 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었으며, 열차지연의 감소를 위해 열차계획 단계에서의 운전시간, 정차시간 및 열차간격의 조정이 중요한 것으로 판단된다.

<표 10> 열차지연 유형별 상황특성

구 분		주중(월~목)					주말(금~일)						
		그룹1	그룹2	그룹3	그룹4	그룹5	전체	그룹1	그룹2	그룹3	그룹4	그룹5	전체
지연유형		준상승	비상승	비상승	연쇄/상승	연쇄	-	비상승	비상승	준상승	연쇄/상승	연쇄/준상승	-
열차 수		73	41	61	9	11	195	52	33	88	9	7	189
시발역	열차간격(분)	26.5	13.5	17.0	18.4	24.2	22.2	15.1	26.2	21.2	13.8	45.5	20.8
	선행 열차지연(초)	33.6	68.5	38.3	46.6	43.8	39.3	47.0	74.3	39.9	50.9	54.7	44.8
	당해 열차지연(초)	42.9	52.5	45.2	40.1	64.8	45.2	50.6	43.7	45.0	50.1	38.3	46.2
중간지점	열차간격(분)	14.1	9.8	13.1	12.6	7.8	13.1	10.2	22.2	12.6	9.3	8.0	12.0
	선행 열차지연(초)	97.8	84.5	81.4	82.4	110.2	92.0	98.1	83.2	97.1	106.6	103.0	97.7
	당해 열차지연(초)	148.2	144.1	103.9	160.4	125.0	136.1	108.8	149.7	160.6	161.1	69.2	144.0
종착역	열차간격(분)	17.5	114.8	22.3	13.7	24.3	39.6	13.9	110.9	23.0	11.5	16.2	35.0
	선행 열차지연(초)	161.9	131.8	162.1	218.1	364.5	172.7	185.8	88.2	171.0	245.2	412.0	187.6
	당해 열차지연(초)	167.9	131.2	139.1	396.6	161.7	171.6	140.2	124.3	192.3	402.0	189.3	192.8
계획 운행시간(분)		167.9	168.6	166.0	155.4	171.7	166.9	169.7	122.8	169.1	157.3	179.7	166.6
실제 운행시간(분)		170.0	169.8	167.6	161.4	173.0	168.9	171.3	124.0	171.5	163.2	182.2	169.0
평균 정거장수(개)		7.0	6.9	6.7	5.3	6.7	6.8	6.6	6.3	7.1	4.9	7.0	6.8
평균 수송인원(인)		1023.7	555.1	523.4	711.8	747.7	738.7	611.4	530.7	1030.2	850.1	909.6	814.7
평균 좌석 이용율(%)		118.1	91.0	68.4	86.5	110.0	94.9	88.7	85.0	119.5	90.6	109.9	103.3

6. 결 론

본 논문은 여객열차의 지연에 대한 초기연구로서 고속철도의 열차지연 유형을 구분할 수 있는 지표와 기준을 결정하는 것을 목적으로 하였다. 열차지연의 유형을 구분하는 목적은 정시성 향상이나 네트워크 용량의 활용수준을 높이기 위해 효과적인 열차지연 감소전략을 수립하는데 있다. 열차지연이 다양한 형태로 발생되기 때문에 지연유형을 구분함으로써 그 특성을 파악하여, 이를 기반으로 체계적인 전략방향을 설정하고자 하는 것이다. 열차지연의 유형은 상승지연과 연쇄지연으로 구분하였다.

열차지연의 유형을 분석하는 단계는 구분지표 선정, 요인추출, 군집분석, 판별분석으로 구성하였다. 첫 번째 단계에서 열차지연 유형을 구분할 수 있는 지표를 도출하고, 두 번째 단계에서 이들 지표에 대한 요인을 추출하였다. 세 번째 단계에서 Ward의 계층적 군집분석을 이용하여 열차지연 유형을 구분하였다. 마지막 단계는 새로운 열차에 대해 열차지연 유형을 구분할 수 있도록 Fisher의 선형 판별식을 제시하였다. 이상의 연구방법에 의한 결과는 다음과 같다.

종착역 기준의 도착지연을 기초 분석한 결과, 첫째, 경부선이 다른 노선에 비해 도착지연의 평균과 표준편차가 크기 때문에 다양한 열차지연 유형이 예상된다. 둘째, 요일별 도착지연은 주말(금~일)이 주중(월~목)에 비해 높다. 이는 주말의 열차운행횟수가 많은 만큼 네트워크 용량의 활용수준이 높아 별도로 구분하여 분석하는 것이 효과적이다. 셋째, 종착역 도착시간대로 구분한 도착지연은 오후가 오전에 비해 높게 나타났다. 열차운행횟수가 오후가 많은 만큼 열차지연에 양(+)의 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 넷째, 지연 경계값 5분을 기준으로 지연된 열차의 수송인원이 많은 것으로 나타났다. 마지막으로 선행열차와 후속열차 간 열차지연의 상관관계를 분석한 결과 연쇄 지연된 열차에 대한 열차지연의 상관관계수가 전체에 비해 높게 나타났다.

열차지연 유형을 구분하기 위한 지표는 목적적 합성, 신뢰성, 비교가능성을 기준으로 검토하여 선행열차 및 당해열차에 대한 지연율과 지연 중위수, 연쇄지연율, 중간지점과 종착역의 열차 간 지연 상관관계수, 평균 열차간격, 평균 수송인원, 평균 좌석 이용율 10개 변수를 선정하여 요인분석을 한 결과 중간지점 열차 간 지연 상관관계수를 제외하고 9개 변수에 의해 4개의 요인이 추출되었다. 요인 1은 당해열차의 상승지연 정도, 요인 2는 선행열차의 상승지연 정도, 요인 3은 승객이용 정도, 요인 4는 열차공급의 집중도로 해석할 수 있다.

열차지연 유형은 4개의 요인을 이용하여 Ward의 계층적 군집분석으로 구분하였다. 군집 수의 결정기준은 Pseudo Hotelling's T^2 통계량의 급변점을 이용하였다. 그 결과 주중과 주말 모두 5개의 열차지연 유형 그룹으로 구분되었다. 주중의 열차지연 유형은 비상승지연 유형(그룹 2, 3)이 103개, 연쇄지연 유형(그룹 5)이 11개, 준상승지연 유형(그룹 1)이 73개, 연쇄 및 상승지연 유형(그룹 4)이 9개 열차로 구분되었다. 주말의 열차지연 유형은 비상승지연 유형(그룹 2, 1)이 85개, 준상승지연 유형(그룹 3)이 88개, 연쇄 및 준상승지연 유형(그룹 5)이 7개, 연쇄 및 상승지연 유형(그룹 4)이 9개 열차로 구분되었다. 열차지연 유형의 구분기준은 요인분석과 군집분석 결과를 이용하여 Fisher의 선형 판별식으로 제시하였다. 판별력의 교차검증 결과는 주중 87.3%, 주말 91.3%로 양호 하였다.

마지막으로 열차지연 유형별 상황특성을 분석한 결과 열차지연은 시발역부터 종착역까지 누적 증가하는 경향을 나타냈으며, 열차간격이 길면 열차지연이 회복되거나 낮은 증가율을 나타내었다. 또한 종착역에서의 열차간격이 짧으면 상승지연이 발생할 개연성이 높은 것으로 나타났으며, 수송인원이 많은 경우 열차지연이 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 마지막으로 계획 운행시간이 상대적으로 짧은 열차들의 상승지연 정도가 높게 나타났다. 이상의 결과로 볼 때 열차지연에는 열차간격, 계획 운행시간, 선행열차의 지연, 수송인원이 큰 영향을 미

치는 것을 알 수 있었으며, 열차지연의 감소를 위해 열차계획 단계에서의 운전시간, 정차시간 및 열차간격의 조정이 중요한 것으로 판단된다.

본 논문은 고속철도의 열차지연에 대한 초기연구로서 열차지연의 특성을 이해하는데 기초를 마련했다는 데 의의가 있다. 향후 연구에서는 열차운행의 시간적인 변화에 따라 열차지연의 변화를 관찰하는 미시적인 분석으로 열차지연을 감소시킬 수 있는 요소를 찾아보는 것이 필요하다고 할 수 있다. 또한 본 논문에서는 열차지연의 사유와 연관하여 분석하지 못하였는데 지연사유와 연계하여 분석한다면 내부요인으로 인한 지연과 외부요인으로 인한 지연의 특성을 이해하는데 도움이 될 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] 국토해양부, 철도서비스 품질평가 결과, 2011.
- [2] 김재희, R 다변량 통계분석, 2011.
- [3] 한국철도공사, 고객서비스 현장, 코레일 홈페이지, 2013.
- [4] Harris, N.G., *Planning Passenger Railways*, Transport Publishing Company, Derbyshire, chapter Punctuality and Performance, (1992), pp.130-142.
- [5] Huisman, T., R.J. Boucherie, and N.M. van Dijk, "A solvable queueing network model for railway networks and its validation and applications for the netherlands," *European Journal of Operational Research*, Vol.142, No.1(2002), pp.30-51.
- [6] Landex, A., *Methods to estimate railway capacity and passenger delays*, Ph.D. Thesis, DTU Transport, 2008.
- [7] Olsson, N.O.E. and H. Haugland, "Influencing factors on train punctuality—results from some norwegian studies," *Transport Policy*, Vol.11, No.4(2004), pp.387-397.
- [8] RMcon, *RailSys 3.0 Timetable and Infrastructure Management*, RMcon, 2004.
- [9] Schittenhelm, B., "Planning with timetable supplements in railway timetables," *Proceedings from the Annual Transport Conference at Aalborg University*, (2011), pp.1-18.
- [10] Schwanhäüßer, W., *Die Bemessung der Pufferzeiten im Fahrplangefüge der Eisenbahn*, PhD thesis, Veröffentlichungen des verkehrswissenschaftlichen Instituts RWTH Aachen, 1974.
- [11] UIC, *Assessment of the performance of the network related to rail traffic operation for the purpose of quality analyses—delay coding and delay cause attribution process*, UIC CODE 450-2, 2009.
- [12] UIC, *International Railway Statistics 2010*, 2012.
- [13] Wiggenraad, P.B.L., "Alighting and boarding times of passengers at Dutch railway stations," In : I.A. Hansen, (ed.), *Train Delays at Stations and Network Stability*, Proceedings of the TRAIL Workshop, 2001.
- [14] Yuan, J., *Stochastic modelling of train delays and delay propagation in stations*, Ph.D. Thesis, Delft University of Technology, 2006.