

지하철의 사상사고 및 운전장애 분석에 관한 연구

An Analysis of Death Injuries and Operational Troubles of Urban Transit

권혁무* · 윤원영** · 장성록* · 옥영석* · 목연수* · 이동훈* · 최용석** · 배동철*

H.M.Kwon · W.Y.Yun · S.R.Chang · Y.S.Ock · Y.S.Mok · D.H.Lee · Y.S.Choi · D.C.Bae

(1999년 3월 14일 접수, 1999년 5월 23일 채택)

ABSTRACT

The purpose of this study is to analyze death injuries and operation troubles of urban transit. No difference was shown in death rates between Line 1 of Pusan urban transit and Line 5, 7, and 8 of Seoul metropolitan transit. And relief time by another train did not depend upon the number of crews. We concluded that thorough inspection and preventive maintenance of trains and facilities are necessary for safe and timely service of urban transit.

1. 서 론

부산의 지하철 1호선은 1985년 7월 1단계 노포동-범내골 구간(16.2Km)의 개통을 시작으로, 1987년 5월 2단계 범내골-중앙동 구간(5.4Km), 1990년 2월 3단계 중앙동-서대신동 구간(4.5Km), 1994년 6월 4단계 서대신동-신평 구간(6.4Km)를 순차적으로 개통함으로써 현재 전 구간을 운행하고 있다. 98년 현재 1호선은 8량 편성으로 평일 편도 408회, 휴일 편도 350회 운행 하루

평균 약 60만 명의 시민을 수송하여 수송분담률이 10%에 이르고 있다. 여기에 호포-서면-해운대를 연결하는 2호선 전 구간이 개통되면 부산의 중요한 지역을 모두 연결하게 됨으로서, 수송분담률이 훨씬 더 증가할 것으로 예상된다^{1,2)}.

본 연구는 1999년 3월 개통 예정인 호포-서면간의 2호선 1단계 개통을 앞두고 행해진 전동차 운영방식에 관한 기술공학적 진단을 위하여 사상사고 및 운전장애자료를 수집하여 통계적인 분석을 하는데 그 목적이 있다. 분석 방법으로서

* 부경대학교 산업시스템·안전공학부

** 부산대학교 산업공학과

98년 7월 현재 2인 승무제를 채택하고 있는 부산 지하철 1호선과 1인 승무제를 실시하고 있는 서울 도시철도공사의 5, 7, 8호선에 대해 사고 및 운전장애자료를 비교하여 통계적으로 유의한 차이가 있는지 검정하였다.

2. 시스템 개요

지하철에서의 사고 및 운전장애를 분석하기 위해 먼저 시스템을 개략적으로 분류해 보면 다음과 같다³⁻⁵⁾.

전동차: 승객을 수송하는 주체로서 노선에 따라 특징이 다르지만 1개 편성이 6~10량으로 구성되어 있고 전기모타(직류전용이 일반적임)에 의해 구동하면서 속도제어는 가변전압 가변주파수 제어방식을 사용하고 열차운행방식은 자동가감속, 자동정위치정차, 자동출입문개폐가 가능한 것이 보통이다.

신호설비: 전자회로와 컴퓨터를 이용한 전자연동장치 방식을 채택하여 열차의 자동제어와 자동운전(ATC/ATO)을 지원하며 레일이 절손되거나 앞 열차가 정차중일 때에는 궤도회로에 의한 자동속도제어로 열차의 충돌과 추돌, 탈선을 방지할 수 있는 기능이 보유된 것이 일반적이다.

전기설비: 전기는 차량을 움직이는 에너지로 일정 구간별로 지하철 변전소가 수전하여 전동차 및 기타 동력으로 사용하며 한국전력공사 변전소 ⇒ 지하철변전소 ⇒ 전동차 및 기타 전력사용설비까지의 수전경로를 거친다(이중화, 네트워크화 되어 안정성을 주요하게 취급).

통신설비: 통신설비는 디지털 전송이 가능한 광전송장비를 이용하는 것이 일반적이며 전기, 신호의 모든 설비의 사령과 역사간 데이터 전송과 전화망을 담당하는 지하철의 신경망이다.

기계설비: 열차의 안전운행과 쾌적한 지하철 환경 조성을 위하여 역사 및 본선의 각종 기계설비를 광통신망과 LAN을 통하여 원격제어 및 감시가 가능하도록 하는 설비이다.

역무자동설비: 승차권의 발매, 개표, 집표, 정산 및 회계계산 등의 역무업무를 자동화 하고자 하는 설비이다(사고, 운전장애와는 무관함).

그 외 지하철 운행의 안전과 관련된 설비로서는 역사에서 승객의 탑승과악을 위한 후사경, CCTV 카메라 등 역사내의 상황을 총괄 감시하고 승객흐름의 판단과 이상시 응급대체를 위한 설비들이 있다.

3. 사상사고 분석

3.1 승무원 수의 영향

승무원 수에 따라 사상사고율이 다른지 살펴 보기 위해 2인 승무제를 채택한 기간동안의 지하철 1호선과 1인 승무제를 채택하고 있는 서울 도시철도공사 5, 7, 8호선의 통계 자료를 비교하였다. 자료는 서울의 개통시기를 고려 95년-97년의 자료를 사용하였다. 사상사고는 평상시에는 잘 발생하지 않는 회귀사상이므로 100만 Km 주행할 동안의 사고건수를 기준으로 하였다. Table 1은 부산과 서울의 사상사고 자료를 정리한 것이다⁶⁻⁸⁾.

Table 1 Death Rates of 1st line in Pusan urban transit and 5th, 7th, 8th line in Seoul metropolitan transit

년 도		95	96	97	계 (사고율은 평균)
부산 1호선 (2인 승부)	사상사고 건수	5	4	2	11
	운행거리 (백만 Km)	4.68	4.54	4.62	13.84
	백만 Km당 사고율	0.855	0.881	0.433	0.795
서울 5, 7, 8호선 (1인 승부)	사상사고 건수	1	5	7	13
	운행거리 (백만 Km)	0.255	4.754	13.136	18.145
	백만 Km당 사고율	3.921	1.052	0.533	0.716

Table 1에서 보는 바와 같이 100만 Km당 사상사고율은 2인 승무제를 채택하고 있는 부산 1호선이 0.795, 1인 승무제를 채택하고 있는 서울 5, 7, 8호선이 0.716이어서 서울이 다소 작게 나타났다. 통계적인 분석을 위하여 95-97년 동안

부산 지하철 1호선 및 서울 도시철도공사 5, 7, 8호선의 사상사고건수를 각각 X, Y라 하면, X, Y는 희귀사상의 발생건수로서 Poisson Process의 가정을 만족하게 되므로 Poisson 분포를 사용할 수 있다. 따라서 각각의 모수값을 λ_X, λ_Y 라 하면 X, Y의 평균과 분산은 각각

$$E(X) = \lambda_X, \text{Var}(X) = \lambda_X$$

$$E(Y) = \lambda_Y, \text{Var}(Y) = \lambda_Y \dots\dots\dots (1)$$

이 된다. 그런데 λ_X, λ_Y 의 추정값이 11, 13으로서 5보다 훨씬 큰 값이므로 중심극한정리에 의해서 X, Y의 분포는 근사적으로 정규분포를 따르게 된다. 또, 부산 지하철 1호선과 서울 도시철도공사의 100만 km당 사상사고 건수를 각각 U, V라 하면

$$U = \frac{X}{13.84}, \quad V = \frac{Y}{18.145} \dots\dots\dots (2)$$

로서 U, V의 분포는 근사적으로 $U \sim N\left(\lambda_U, \frac{\lambda_U}{13.84}\right)$ 및 $V \sim N\left(\lambda_V, \frac{\lambda_V}{18.145}\right)$ 이 된다. 단, λ_U, λ_V 는 부산 1호선 및 서울 도시철도공사의 100만 km당 평균 사고율로서

$$\lambda_U = \frac{\lambda_X}{13.84}, \quad \lambda_V = \frac{\lambda_Y}{18.145} \dots\dots\dots (3)$$

이다. 여기서 검정하고자 하는 가설은 귀무가설 $H_0: \lambda_U = \lambda_V$
대립가설 $H_1: \lambda_U < \lambda_V \dots\dots\dots (4)$

이다. 검정통계량의 관측값이 $Z_0 = \frac{0.795 - 0.716}{\sqrt{\frac{0.795}{13.84} + \frac{0.716}{18.145}}} = 0.254 \dots\dots (5)$

로서 유의수준 5%의 기각역 $C = \{Z_0 < -1.645\}$ 이나 유의수준 1%의 기각역 $C = \{Z_0 < -2.33\}$ 에 속하지 않으므로 귀무가설 H_0 가 채택되고 주어진 자료에 의하면 2인 승무제와 1인 승무제로 인한 사상사고율의 차이가 있다고 볼 수 없다. 한편, 차이의 정도를 구체적으로 파악하기 위해 p-value를 계산하면

$$p\text{-value} = \Pr[Z < 0.254] = 0.6003 \dots (6)$$

로서 부산 지하철 1호선과 서울도시철도공사의 경우 100만 km당 사상사고율이 거의 같은 것으로 사료된다.

이와 같은 결과는 사상사고의 발생이 승무원 수에 영향을 받는다고보다 다른 요인에 의해 더 많은 영향을 받게 됨을 시사한다. 즉, 사상사고를 줄이기 위해 승무원 수를 한 명 더 늘리는 것은 그다지 의미가 없다는 것을 뜻하며, 사고 내용을 검토해보면 교통문화수준이 안전에 훨씬 더 큰 영향을 주는 요소임을 알 수 있다. 실제 사상사고의 대부분이 선로무단침입자 혹은 취객에 의한 것으로 시민의 안전의식이 문제가 되고 있음을 보여주고 있다.

3.2 편성 차량 수의 영향

부산 지하철 1호선은 93년까지 6량 편성으로 운행되었고, 94년부터 6량 및 8량 편성으로 운행되었다. Table 2는 89년부터 97년까지 부산 지하철 1호선의 차량 편성 및 사상사고 발생 현황을 정리한 것이다⁶⁾. Table 2의 자료를 이용하여 다음의 가설

H_0 : 운행거리 100만 Km당 사상사고율이 편성차량 수와 무관하다.

H_1 : 8량 편성일 경우가 6량 편성일 경우보다 사상사고율이 더 크다.

$$\dots\dots\dots (7)$$

을 3.1절에서와 동일한 방법으로 검정한 결과 p-value=0.12로서 유의수준 5%로 할 때 귀무가설이 채택되지만 편성 차량 수가 사상사고에 영향을 미치지 않는다고 단정적인 결론을 내릴 수는 없다. 보다 확실한 결론을 얻기 위해서는 더 많은 자료가 수집된 후에 분석해야 할 것이다.

Table 2 Death Injuries by arrangement of electrical train

년도	89	90	91	92	93	94	95	96	97
차량편성	6	6	6	6	6	6+8	6+8	6+8	6+8
운행거리 (백만 Km)	3.39	3.49	3.78	3.82	3.78	4.25	4.68	4.54	4.62
사상사고	1	3	1	2	0	1	5	4	2

3.3 사상사고 내용 분석

Table 1은 1989-97년 사이 부산지하철 1호선의 총 사고 건수와 95-97년 사이 서울 5, 7, 8호

선 사고는 총 44건으로 사상사고를 직무사고, 여객 사상사고, 공중 사상사고로 분류하여 구성비를 도시한 것이다. 직무사고란 교통공단 직원이 시험운행, 차량수선 등 여객과 무관한 일을 수행하던 도중 발생한 사고를 말하며, 공중 사상사고란 지하철을 이용하는 승객 이외의 사람이 선로 무단횡단 등에 의해 상해를 입게 되는 사고를 말한다. Fig. 1에서 보듯이 세 종류의 사고 중 여객 사상사고가 차지하는 비율이 20.5%로서 가장 낮다. 1989년부터 1997년까지 발생한 여객 사상사고는 모두 9건으로 이중 선로 무단침입, 선로보행, 취객 추락을 제외한 승객 부주의에 의한 사고는 1건이었다.

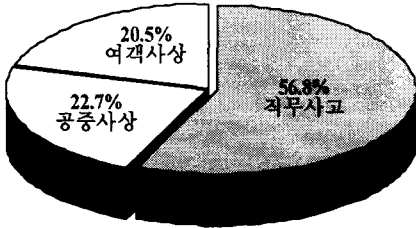


Fig. 1 Death Injuries by cause

4. 운전 장애 분석

승객의 안전과 직접적인 관련은 없다고 하더라도 운전장애의 발생은 대 승객 서비스의 질을 떨어뜨리는 중요한 요소이다. 예정된 시간에 거의 오차없이 목적지에 도착할 수 있다는 것이 지하철의 가장 큰 장점인데, 운전 장애로 인한 지연시간이 길어진다 면 이러한 장점은 없어지게 된다. 운전 장애를 줄이기 위해서는 차량 및 신호시스템의 예방정비 등에 만전을 기하여 전체 시스템을 안정시키는 것이 무엇보다도 중요하다. 여기서는 운전장애가 일단 발생했을 때, 사후 조치시간이 승무원 수에 영향을 받는지 검토하였다.

4.1 구원열차 장애시분 비교

Table 3과 Table 4는 각각 부산 지하철 1호선(2인 승무)과 서울 도시철도공사 5, 7, 8호선(1인 승무)의 구원열차 조치 장애 내역을 정리한

Table 3 Relief time by another train of 1st line in Pusan urban transit

일 자	장 애 내 용	상대시분
88. 7. 5	BAT 방전(BCIN Trip)	45분
89. 6. 9	103선 열화단선(103선 소손)	19분
91. 9.23	TC1 저전압 연결 소켓 인입선 피복 소손 및 제어용 전선 단선	26분
91.11. 6	CHOPER OCR (2번 CAR) CHOPER OVR (4번 CAR)	17분
93. 2. 3	주동기압축기 전동기 베어링 파손으로 계자권선 집지	16분
94. 8. 7	CM-INV 동작으로 공기압축기 2대 동시 정지	29분
95. 8.26	POTENTIO METER BRUSH와 세크먼트 접촉불량	22분
95.10.31	전차선 PANTOGRAF 하강	25분
96. 7. 9	BVN 계속 Trip	28분

Table 4 Relief time by another train of Seoul metropolitan transit corporation

일 시	장 애 내 용	상대시분
95.11.28	전동기 인버터 불량으로 주회로 차단기 차단되어 출력 부족	27분
95.12.16	자동운전중 자동이 해제되며 정차 후 역행 불능	22분
96. 3.30	신호제어 컴퓨터 오동작, 기관시 진로확인 소홀	25분
96. 4.15	차량컴퓨터 순간장애	27분
96. 6.15	보조 전원장치 고장	26분
96. 6.17	열차 자동제어장치 고장	21분
96. 7.10	출입문 제어 스위치 점접 불량	31분
96.10.30	속도코드 부원시, 비상운전 불능	30분
96.11.28	제어용 집퍼핀 접촉 불량	25분
96.12.27	주간제어기 마이크로 스위치 접촉 불량	20분

것이다^{7,8)}. 표에서 보는 바와 같이 부산의 경우 평균 장애시분 25.22분, 서울의 경우 25.40분으로서 승무원수와 관계없이 비슷하다. 이 자료를 바탕으로 다음 가설

H_0 : 구원열차 조치 장애시분이 승무원수와 무관하다.

H_1 : 1인 승무원일 경우가 2인 승무원일 경우보다 더 길다.

..... (8)

를 검정하였다. 구원열차 조치에 소요되는 시간은 평균값을 중심으로 장애 내용에 따라 다소 길어지거나 짧게 되는 경향이 있으므로 분석을 위해 정규분포를 가정하였다.

부산 지하철 1호선과 서울 도시철도공사의 구원열차 조치 장애시분을 각각 X, Y라 하면 장애에 따라 X, Y의 분포는 $N(\mu_X, \sigma_X^2)$, $N(\mu_Y, \sigma_Y^2)$ 이 된다. 그런데 주어진 데이터를 사용하여 X, Y의 표본평균과 표본분산을 계산하면

$$\bar{x} = 25.22, \quad S_x^2 = 76.9444, \\ \bar{y} = 25.40, \quad S_y^2 = 13.1556 \quad \dots\dots\dots (9)$$

으로서 표본분산의 값에 상당히 큰 차이가 있으므로 모분산 값이 같다고 보기 어렵다. 따라서 통계적 가설(8)을 검정하기 위한 통계량은

$$T = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{\sqrt{\frac{S_x^2}{9} + \frac{S_y^2}{10}}} \quad \dots\dots\dots (10)$$

을 사용하였다. 검정통계량의 관측값을 구하면

$$T_o = \frac{25.22 - 25.40}{\sqrt{\frac{76.9444}{9} + \frac{13.1556}{10}}} = -0.0573 \quad \dots\dots\dots (11)$$

인데, 이 값과 비교하기 위한 기각치를 구하기 위해 먼저 t분포의 자유도를 Welch의 근사식을 이용해서 구하면 다음과 같다.

$$\nu = \frac{\left(\frac{76.9444}{9} + \frac{13.1556}{10}\right)^2}{\frac{1}{8}\left(\frac{76.9444}{9}\right)^2 + \frac{1}{9}\left(\frac{13.1556}{10}\right)^2} \\ = 10.43 \quad \dots\dots\dots (12)$$

보간법을 이용하여 유의수준 5% 및 1%의 기각치를 구하면 $t_{0.05}(10.43) \approx 1.805$ 및 $t_{0.01}(10.43) \approx 2.744$ 으로서 식(11)과 비교해볼 때 귀무가설을 기각할 수 없다. 즉, 주어진 자료에 의하면 2인 승무제와 1인 승무제로 인한 구원열차 조치 장애시분에 차이가 있다고 볼 수 없다. 오히려 $P - Value = P_r [T(10.43) < -0.0573] > 0.40$ 으로서 구원 열차 장애시분이 거의 같다고 사료된다.

4.2 구원열차 조치 이외의 장애시분 비교

구원열차 조치 이외의 부산 지하철 1호선과

서울 도시철도공사의 열차운행 지연시분은 다음과 같다.

- 부산교통공단 지하철 1호선

8 20 17 9 7 11 26 11 10 7
6 22 10 10

- 서울도시철도공사

45 2 5 2 9 8 4 14 11 11 12

통계적 분석을 위해 3.1절에서 사용한 방법과 유사한 방법으로 열차 운행 지연시분을 비교한 결과 차이가 없는 것으로 나타났다.

또, 부산 지하철 1호선의 경우 열차 구원없이 조치했을 때의 평균 장애시분에 대해 95% 신뢰구간을 구한 결과

$$[0, 25.93] \quad \dots\dots\dots (13)$$

이 되었다. 이는 장애의 종류에 따라 빨리 조치될 수 있는 경우가 있는가 하면 늦을 경우 30분 가까이 지연될 경우도 있다는 것을 의미한다. 다만, 분석에 사용된 자료는 운전장애가 차량이나 신호의 장애와 관계없는 정전 등의 외부적 요인에 의해 발생하여 장시간 지연되는 경우는 제외하였다. 따라서 외부요인에 의한 지연까지 포함시킬 경우, 평균 지연시간은 길어지게 된다.

승무원 수의 영향에 대한 분석결과 승무원 수의 증가에 의해 지연시간이 크게 단축되지 않는 것으로 나타났다.

4.3 운전장애 발생장소 및 내용

Fig. 2는 운전장애의 발생장소별로 건수를 조사하여 파레토그림으로 나타낸 것이다. 운전장애 중 55%가 역 구내에서 발생하고 있다. 이는 전동차의 정지 문개폐 그리고 출발시에 다양한 운전장애가 발생함을 의미한다. 또, Fig. 3은 장애 내용별 발생 현황을 원 그래프로 나타낸 것인데 차량고장과 시설 결함이 각각 54.5% 및 34.5%로서 큰 비중을 차지하고 있으므로, 차량과 시설의 효과적인 유지보수시스템을 구축하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

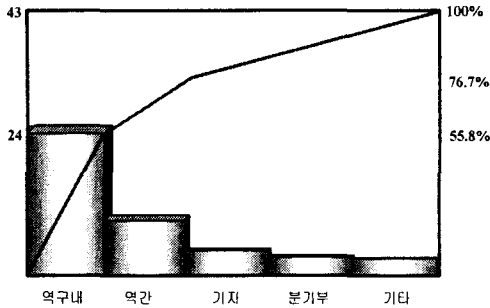


Fig. 2 Pareto graph by trouble place

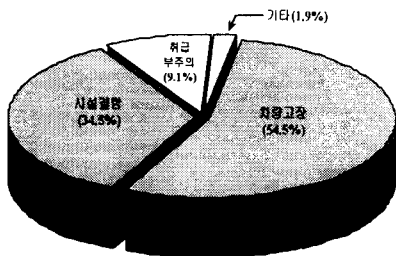


Fig. 3 Detail operation errors

5. 결 론

지금까지 승무원 수가 지하철의 안전성 및 서비스의 질에 미치는 영향을 검토 평가한 사례를 소개하였다. 안전성에 관련해서는 사상사고 자료를 이용하고, 대 승객 서비스의 질과 관련해서는 운전장애 발생시 조치시간에 대한 자료를 기초로 비교하였다. 자료는 98년말까지 2인 승무제를 실시하고 있던 부산 지하철 1호선과 1인 승무제를 실시하고 있는 서울도시철도공사 5, 7, 8호선의 자료를 이용하였다.

공식적으로 수집된 자료를 통계적으로 분석

비교한 결과, 1인 승무원이든 2인 승무원이든 사상사고율은 비슷하게 나타났으며, 운전장애시 조치 장애시분도 별 차가 없는 것으로 나타났다. 그러나 사상 사고율은 유의수준 5%로 할 때 유의차는 없지만, 편성차량의 수에 영향을 받을 소지가 있는 것으로 나타났다. 또 운전장애 발생 내용으로 볼 때, 차량 및 시설의 결함으로 인한 것이 전체의 90%정도 차지하므로 차량 및 시설의 효과적인 유지보수에 비중을 두어야 할 것으로 사료된다.

현재 지하철의 안전운행과 서비스 개선을 위해서는 차량에 대한 철저한 검수와 사전 예방정비 및 시설관리에 대한 관리 체계를 구축하고 이를 실천해 나갈 수 있는 방안을 강구하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 1) 부경대학교 산업과학기술 연구소, 전동차 운영방식에 관한 기술공학적 진단 연구, July, 1998.
- 2) 부산대학교 경영·경제연구소, 부산교통공단 조직 및 안전자원관리시스템의 전략적설계, March, 1998.
- 3) 부산교통공단 부산지하철 2호선 기본 설계 보고서, December, 1991.
- 4) 부산교통공단, 고장 발생시 대처 Manual, 1997.
- 5) 부산교통공단, 운전 및 검수 교육, 1997.
- 6) 부산교통공단, 사상사고 관리대장, 1998.
- 7) 부산교통공단, 운전장애 사례집, 1998.
- 8) 서울 도시철도공사, 97년 국정감사 보고자료, 1997.