

소형궤도차량 운전시각에 관한 고찰(1)

A Study on the Headway for PRT System

김종기* 김백현* 이준호* 신덕호* 이기서**
Kim, Jong-Ki Kim, Baek-Hyun Lee, Jun-Ho Shin, Duck-Ho Lee. Key-Soe

ABSTRACT

In a signal control of the railway system, the first objective is to guarantee a safety of the train operation, and the second is to increase a frequency(a capability of the transportation) of the train operation. In order to express the capability of the transportation a terminology what is called a railroad line capacity is employed. The railroad line capacity means a maximum frequency of the train operation in a possible schedule of the one way operation for one day. During the last several years an improvement in the facilities of the train operation (railroad line extension, improvement in the stations, improvement in the signal facilities) has been achieved to increase the railroad line capacity. In this paper the authors deal with the case analysis which try to shorten headway and which has an impartible relation with increasing of the railroad capacity

1. 서론

소형궤도차량이라 함은 국내에서 아직은 미개척 전도교통시스템의 한분야인 소형궤도열차 시스템의 시프시스템을 말한다.

소형궤도열차시스템은 수송수요 및 적용지역의 특성에 따라 적합한 차량시스템을 선정, 건설함으로써 다양한 양질의 대중교통서비스를 제공할 수 있는 새로운 교통체계라 할 수 있다. 이의 대표적인 시스템으로 PRT(Personal Rapid Transit), GRT(Group Rapid Transit) 등이 연구 개발되고 있다.[1]

본 연구에서는 국내외에서 새롭게 시도되고 있는 PRT의 연구개발 추진사례를 살펴보고 운전시각 계산 방식의 이론적 내용을 고찰하고자 한다.

2. PRT의 연구개발 추진사례

PRT System은 1960년대 후반부터 연구개발되고 있는 유연하고 신속하며 신뢰성 있는 혁신

적인 미래형 교통수단으로 부상될 것으로 생각된다. PRT System은 대체적으로 건설비용과 건설기간이 짧고, 공사 및 운영 중에 주변환경에 끼치는 영향이 적으며 무엇보다 교통체증을 완화시킬 수 있는 장점을 가지고 있어서 자동차의 서비스 수준에 필적하는 유일한 대중교통시스템으로 간주되고 있다.[1]

현재 미국에서는 Sky web express, 영국의 ULTra 등이 가장 활발한 연구개발을 추진하고 있으며, 한국에서는 포항공대에서 연구활동을 지속해오고 있다. 특히, 미국의 Morgan Town GRT System은 상용중에 있는 유일한 시스템이다.

2.1 국외의 연구개발 추진사례

소형레도열차 시스템의 실현가능성 검토는 1966년 미국의 HUD(House and Urban Development)에서 “내일의 교통수단”이라는 타당성연구보고서를 통하여 검토하기 시작되었다. 또한 1969년 미국 Scientific American지 보고서에서는 소형레도열차 시스템이 미래 교통문제 해결방안으로 제시되었다. 이 보고서들은 1970년대 초기 소형레도열차 시스템에 대한 연구를 촉발시켰고 이 기간동안 소형레도열차 시스템 해석에 대한 수학적 토대가 마련되었다.

마네스타 대학에서는 John Edward Anderson 교수를 중심으로 하여 1980년대 초반부터 Taxi2000이라는 소형레도열차 시스템을 개발하기 시작하였다. 1990년대 초반에 Taxi2000 Corporation이 소형레도열차 시스템의 계획, 설계 및 사물레이션에 대한 전문적인 서비스를 제공하는 컨설팅 회사로 설립되어 Taxi2000 시스템 개념을 발전시키면서 관련 정부기관 및 단체에 독자적인 소형레도열차 시스템 계획안을 제공하였다. 수송시스템 시장으로 영업을 확장하려했던 미국의 대표적인 방위산업체인 Raytheon사가 1993년 Taxi2000 시스템 기술에 대한 권리를 사들였다. 내부계열사들의 연구와 Taxi2000사의 컨설팅을 기반으로 하여 시스템을 개량하였고 PRT2000 시스템이라 명명하였다. 1995년 Raytheon사는 매사추세츠주 말보로서에 PRT2000 시험노선을 건설하고 3대의 시제차량을 개발하여 시제차 시운전 시험을 통하여 기술적 사항의 입증완료중에 있다. 이러한 개발 및 시험 활동은 북동 일타노이주 지역 교통당국과의 연합 프로젝트의 단계 II였으며, 단계 III는 일리노이주의 O'Hare 국제공항 근처에 위치한 로즈몬트라는 교외 지역에 소규모의 PRT2000 시스템의 제작 및 운영에 대한 내용이었다. 로즈몬트의 소형레도열차 시스템 건설 예산에 만족하는 즉시 상업노선 건설 착수를 계획하였으나 연방정부의 재정지원 대상에서 제외되면서 2000년 Raytheon사는 PRT2000 프로젝트를 종결하였고 단계 III는 착수되지 못했다. 개발 권한은 Raytheon사에서 다시 Taxi2000사로 양도되었으며 미국의 소형레도열차 시스템 도입은 현재 Taxi2000 시스템을 중심으로 여러 지역에서 진지하게 검토 중에 있다.

영국에서는 Bristol 대학의 Martin M. Lawson 교수를 중심으로 한 Advanced Transport System에서 ULTra(Urban Light Transport)가 개발되어 소형레도열차 시스템으로서는 세계 최초의 상용 운전을 눈앞에 두고 있다. 미래 대비 운송수단으로 ULTra 시제 차량의 설계, 제작 및 시험에 5백만 파운드의 정부 연구 보조금이 지원되었으며 웨일즈 지방의 주도인 Cardiff시에서도 최초의 상용화를 위한 지역 선정 및 건설계획을 위한 연구에 재정 지원을 하고 있다. ULTra 시스템은 현재 시제차량을 완성하고 Cardiff시의 1km 시험선에서 차량 시험중에 있으며 1,000회 이상의 시험운행을 거쳤다.

그 외 스웨덴, 노르웨이, 캐나다, 스위스 등 선진 각국에서 소형레도열차 시스템의 개발을 진행하려는 노력이 점점 구체화되고 있으며 제어방식, 시스템 구성, 기본 요소 기술에서 다

양한 양식의 소형궤도열차 시스템 개념들의 연구가 진행되고 있으며 각국 정부에서도 미래 교통수단으로서 소형궤도열차 시스템의 개발 가능성 및 적용 타당성을 심도 있게 연구하고 있다.

소형궤도열차시스템의 본격적인 상업 노선의 성공 사례는 아직 없으며 현재에도 소형궤도열차시스템 사업이 적극적으로 추진되지 못하고 있는 것이 사실인데, 그 이유는 아직 분명하지 않으며 아마도 수요, 비용 효율, 대중의 반응 등이 눈으로 확인된 바가 없기 때문에 소형궤도열차시스템 사업이 여전히 모험적인 사업이라고 인식되기 때문일 것이다. 그러나, 지난 30여년간 여러 지역에서 수행된 연구개발을 통해 이와 같은 우려들이 이제는 충분히 개선될 수 있으며, 소형궤도열차시스템은 개발 가치가 충분하다는 것이 차츰 인식되고 있다.

2.2 국내의 연구개발 추진사례

국내 소형궤도차량 개발을 위한 시도로는 1990년대 초반 시스템의 타당성 조사 및 벤처비즈니스 사업화의 추진이 시도되었으며, 1996년 6월 국회 가상정보가치연구회 주관으로 소형궤도열차시스템 개발타당성 정책토론회가 열렸었음. 미국의 시스템 기술 도입 및 극산화 연구를 위하여 국내 산업체(PRT Korea)와 학계(포항공대)의 공동연구가 진행되었으며, 현재 새로운 구동방식, 분기방식 등을 적용시킨 시스템을 개발하여 포항공대의 시험 선로에서 시험중이며, 이와 같은 국내의 소형궤도차량 시스템에 대한 연구는 단위 차량 및 단일 궤도에 대한 연구가 진행되었으며, 또한, 충남대학에서는 자기부상열차의 운행제어기술에 관하여 연구한 사례는 있으나, 이는 차량과 지상간의 상호 유기적인 신호통신체계의 확립을 위한 요소기술 연구로 차량위치 및 속도검지시스템, 정보전송선로, 정보송수신시스템 구축을 중심으로 자기부상열차 대상으로 연구수행되었다.

최근 한국철도기술연구원에서 “신교통 소형궤도열차 시스템 개발을 위한 기획연구(2002.12)”를 수행한 바 있으며, 2004년 하반기부터 극소간격제어기술 연구가 진행되고 있다. 주요 연구분야로는 그림1에서와 같이 궤도 병합점에서의 간격최적화 제어기술 등 3개 분야이다.

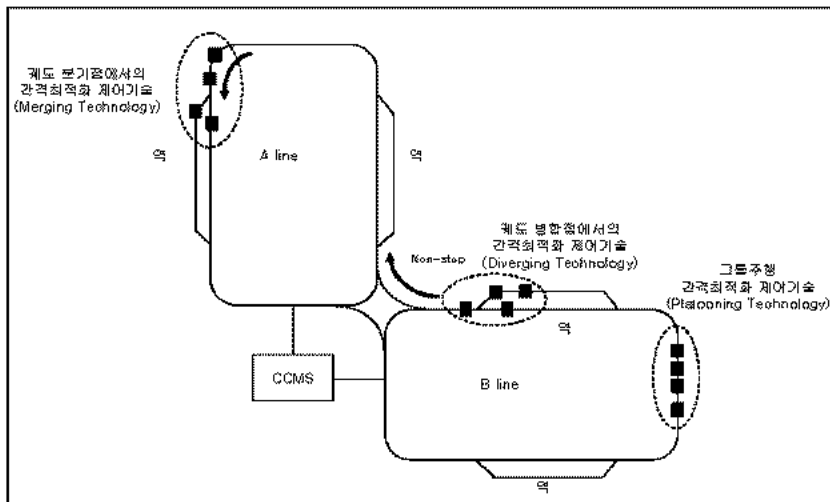


그림 1. 소형궤도차량 극소간격제어기술의 개념도

3. PRT 운전시각 계산 방식 고찰

모든 제어 개념은 선로를 따른 소형레도차량의 종방향 제어, 교차로와 병합지점에서 차량 제어, 역 운영과 제어에 대한 내용을 포함하게 된다. 소형레도차량의 높은 선로용량을 충족시키고자 하다면, 소형레도차량은 매우 짧은 운전시각으로 운행되어야만 할 것이다. 즉 차량간 간격이 매우 짧아야 한다는 것이다.

운전시각이라 함은 선로상에서 선행 차량과 후속 차량 사이의 “상호운행간격시간”을 말하며, 그 최소값을 최소 운전시각(Headway)이라 한다. 최소운전시각은 차량 간격제어의 방식, 차량 길이, 차량의 감속도 및 정차장 선로의 수(구내선로모양)등 각종의 요소에 따라 다르다. 차량 설정상의 최소운전시각, 예를 들어 Rush Hour의 1분당 20개 차량이 운전되고 있는 구간에서는 3초가 된다. 따라서 선로를 가장 유효하게 사용하려면 그 선로에 최대한 많은 차량이 운행되어야 하며, 이를 위하여 차량과 차량과의 간격을 최소로 하여야 한다.

차량간의 최소한의 안전한 간격(H_{min})은 최대 안전정지거리에서 최단의 장애시 정지거리를 뺀 거리가 된다. 이러한 간격은 다음의 방정식을 통해 구해진다.

$$H_{min} = Vt_c + 0.5V^2 (1/A_e - 1/A_f) \quad (1)$$

방정식(1)에서 V 는 차량의 속도, t_c 는브레이크 작동에 대한 시정수, A_e 는 비상제동시 최소감속도, A_f 는 고장시 최대 감속도를 각각의미한다. 엄밀하게 이야기 할 때, 관련된 감속의 변화비율(jerk)에 대한 내용도 추가되어야 하나, 비상 jerk는 jerk가 H_{min} 에 추가되지 않아도 되도록 충분히 높은 수치여야 한다는 것이다.

만일 L 이 차량의 길이라고 한다면, 최소 운전시각은 위의 방정식을 활용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$T_{min} = (L + H_{min})/V = L/V + t_c + 0.5V(1/A_e - 1/A_f) \quad (2)$$

윗 식에서 알 수 있듯이 가능한 짧은 거리의 차간 간격을 유지하기 위해서는 차량길이가 짧아야 하고, 차량속도가 빨라야 하지만 차량속도는 정지 시 차량의 감속특성과 관계가 있기 때문에, 고정된 계수로서 차간 간격을 줄일 수 있는 가장 손쉬운 방법은 차량길이를 짧게 하는 것이다. 만약 차량길이를 2.6[m], 차량속도를 13[m/s]로 하면, t_c 와 $\alpha = 0.5V(1/A_e - 1/A_f)$ 를 고려하지 않았을 때 0.2[sec]의 차간 간격을 얻을 수 있다. 하지만 실제 시스템을 고려할 경우에는 t_c 와 α 는 반드시 고려되어야 하기 때문에 만약 운전시각을 0.5[sec]로 정할 경우, t_c 를 0.2[sec]로 가정했을 때 α 는 0.1[sec]가 되어야 한다. α 가 0.1[sec]가 되기 위해서는 A_e, A_f 가 가능한 큰 값을 가져야 하며 이런 특성은 차량의 제동 특성과 직접적인 연관성을 갖는다.

아래 표는 PRT2000, Morgan Town GRT, Taxi2000에 대한 Headway와 각 Parameter 들의 관계를 나타낸다. 이 표에서 A_e, A_f 는 충분히 큰 값으로 가정했다.

도표 1. 소형궤도차량 모델별 운전시각과 파라메타

모델구분	Speed, V(m/s)	Safe distance, Hmin(m)	Car Length L(m)	Headway Tmin(sec)
PRT2000	13.4	29.8	3.7	2.5
M. Town	13.4	196.2	4.8	15
Taxi2000	22.2	7.8	3.3	0.5

4. 결론

본 연구에서는 국내외에서 새롭게 연구개발되고 있는 소형궤도차량의 추진사태를 분석하고, PRT System의 운전시각 산정방식에 관하여 이론적 내용을 고찰하여보았다.

PRT System은 On-line(주행선로)과 Off-line(Station)상에서 다수의 차량을 무인으로 제어하는 것이 기본이며, 안전성은 매우 중요한 요소이다. PRT System에서의 최소운전시각은 PRT System의 정상적인 운영에 의해 결정되는 것이 아니라, 장애가 발생하였을때 승객의 안전에 대한 문제(안전정책, 발생한 장애의 종류와 빈도, 장애시 응답시간, 활용 가능한 비상제동의 수준, 승객안전장치 등)를 고려하여 결정된다.

따라서 향후 국내에서 실용화시 적용을 위하여 국내 실정에 맞는 운전시각의 계수값들에 관하여 연구되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] 정락교(2002), "신교통 소형궤도열차 시스템 개발을 위한 기획연구" 한국철도기술연구원
- [2] J. Edward Anderson, "Control of Personal Rapid Transit System"