

궤도 승용차 시스템의 적용 검토

Study on the Application of Personal Rapid Transit System

최재혁
Choe, Jea-Hyuck

ABSTRACT

Guideway Transportation will provide the break-through to solve the traffic problems, which a lot of big cities have over the world. APM (Automated People Mover) system, Guideway Transportation, is classified by PRT, GRT, and MRT according to the capacity of passenger to be carried by its system.

In the Application of PRT (Personal Rapid Transit) system, the exact analysis of the traffic problem on the area to be applied should be preceded. PRT system is characterized by Off-Line and Demand Operation. The Network of PRT system depends on the Load Time and Load Pattern. The operation of PRT system will have more efficient way when it is applied to the network with evenly distributed Load Time and Load Pattern.

1. 서론

본 논문은 현재 전세계 여러 곳에서 진행 중인 도시 교통체증해소를 위한 차세대 교통 시스템 개발의 일환으로 추진 중인 APM(Automated People Mover) 시스템의 운영 특징을 알아보고 기술적 발전 가능성이 높은 PRT(Personal Rapid Transit) 시스템의 적용에 대해서 검토하고자 한다.

2. APM SYSTEM 정의

APM(Automated People Mover)시스템은 수송되는 승객 수를 기준으로 다음과 같이 나누어 볼 수 있으며, 각 TRANSIT 의 분류에는 개발되는 시스템의 Power Supply, Propulsion, Driving System, Guideway 등에 따라서 다양한 기술이 개발되고 있다.

도표 1. APM 분류

APM SYSTEM의 분류	
PRT(Personal Rapid Transit)	1-4명 (개인 수송)
GRT(Group Rapid Transit)	10-100 명 (그룹 단위)
MRT(Mass Rapid Transit)	150명 이상의 승객을 수송

* 대우중공업(주) 철도차량 연구소, 주임연구원, 비회원

3. APM 시스템의 운영 특징

APM 시스템에는 기술적으로 여러 가지 시스템이 존재하며 개발되고 있으나 시스템 운영상으로 구분할 경우 다음과 같은 중요한 특징을 들 수 있다.

3.1 GUIDE WAY

APM 시스템에는 여러 방식이 존재할 수 있으나 기존의 지하나 도로상의 교통체증을 해소할 목적으로 일정 높이에 GUIDEWAY를 설치하여 임의의 지역을 연결(NETWORK), 궤도 위에 차량을 운행하도록 하여 승객을 수송하는 시스템으로 GUIDEWAY는 차량 시스템의 특성과 운영 시스템에 따라 달라진다.

3.2 DIRECTION

차량의 운영에 있어서 양방향(TWO WAY) 진행과 한 방향(ONE WAY) 진행으로 구분할 수 있는데 GUIDEWAY / 차량시스템의 기술 / 건설비용 / 건설환경의 영향으로 차량의 운행방향이 결정된다. ONE WAY인 경우엔 차량 운영에 많은 제약이 따르게 된다.

- ONE WAY : 일정 지역에서 차량이 한 방향으로만 운행이 된다.(ONE GUIDEWAY)

- TWO WAY : 지역에 상관없이 양 방향으로 운행이 된다.(ONE OR TWO GUIDEWAY)

3.3 ON-LINE / OFF-LINE (BY-PASS)

GUIDEWAY에 분기(DIVERGE)되는 OFF-LINE을 두어서 MAIN-LINE과 분리한 곳에 승강장(STATION)을 두어 승객의 승하차로 인한 차량 운행 지연을 방지하고 승객을 원하는 목적지까지 NON-STOP으로 운행하도록 하는 것을 말한다. 기존의 OFF-LINE이 없는 시스템은 ON-LINE 시스템이라고 한다.

3.4 DEMAND / SCHEDULED OPERATION

기존의 정해진 HEADWAY 따라서 계획된 시간에 따라 운행되는 SCHEDULED OPERATION 방식과 승객의 요구되는 시점에 차량의 운행이 시작되는 DEMAND OPERATION으로 나누어 볼 수 있다.

3.5 NETWORK

일정지역을 연결하는 NETWORK의 형태에 따라서 LINE형의 OPEN NETWORK와 LOOP형태의 CLOSE NETWORK로 나누어 볼 수 있고, CLOSE NETWORK는 다시 MAIN LINE 위주의 CIRCULATED NETWORK와 분산형인 DISTRIBUTED NETWORK로 분류할 수 있다.

4. 개발 동향

도표 2. APM 시스템 개발 동향

상황	APM 분류	노선명	길이 km	역 수	운행 방향	network	연결지역	승객	비고
개발	GRT	Jackson Ville Skyway	8	9	two way	open loop (Y type)	타 교통수단 연계	60	2량 편성
		New Jersey Titan Global	-	-	two way	-	-	25-100	suspended guideway
		System 21	-	-	two way (one beam)	-	-	52	Both-Side Beam
	P/ GRT	Cybertran	-	-	two way	open loop (line type)	중, 장거리 수송	6-20	기존레일 사용
	PRT	Cabin Taxi	-	-	two way (one beam)	close loop (net line)	-	3	Top& Suspended Beam
		PRT 2000	-	-	one way	close loop (net line)	-	4	Demand-op. off-line-st. by-pass op.
상용	GRT	Detroit People Mover	2.9	13	two way	close loop (circle)	타 교통수단 연계		
		Las Colinas	8	20	two way			45	
		Miami Metromover	7.1	22	two way	open loop (line type)	도심지 연결	120	
		Morgantown People Mover	14	5	two way	open loop (line type)	도심지- 캠퍼스연결	20/량	demand/ scheduled/ operation
		Newark Airport Monorail	3.06	7	two way	open loop (line type)	공항터미널과 gate연결	78/6량	
		Orlando airport Monorail			two way	open loop (line type)	공항터미널과 gate연결		3량 편성
		Walt Disney World Monorail	23.7	6	one way	close loop (circle)	관광단지 연결	120 (seat)	6량 편성
		Pittsburgh People Mover	0.7	2	two way		공항터미널과 gate연결	100	2량 편성
		Soule - SK transit	0.2-5		two way	open loop (line type)	전시장/ 공항	30	Cable Drawn op.

5. PRT 시스템

5.1 PRT 시스템의 운영상 특징

PRT 시스템의 특징은 승객의 수송에 있어서 기본 단위를 같은 목적지를 향하고 있는 1-4 명의 승객으로 하여 한 개의 차량을 이용한다는 개념이다. 따라서, 차량의 크기가 작아지고 궤도 건설 비용이 적게 들어서 경제적인 교통시스템을 구축할 수 있다.

그리고, 시스템 운영상의 가장 큰 특징은 OFF-LINE OPERATION 인데, 이 개념은 노선의 본선(ON-LINE)과 지선(OFF-LINE)을 분기(DIVERGE)하여서 중간 역의 플랫폼을 지선(OFF-LINE)에 설치한다는 것을 말한다. 따라서 승객을 원하는 목적지까지 중간 역에서 정차를 하지 않고 직접(NON-STOP)으로 운행을 할 수 있어서 운행시간을 획기적으로 단축할 수 있는 장점을 가지게 된다. OFF-LINE OPERATION 은 PRT 보다 규모가 큰 GRT 에도 적용을 할 수 있으나 차량과 궤도의 크기가 있어서 도심지 설치에 많은 제약이 따르게 된다 따라서 OFF-LINE OPERATION 도 시스템 크기가 작아진 PRT 의 특징이라고 말할 수 있다.

또한, PRT 시스템의 경우, OFF-LINE 을 활용하기 때문에 승객이 원하는 시간에 차량을 이용할 수 있도록 하는 DEMAND OPERATION 이 가능하다는 것이 PRT 의 특징이 될 수 있으며, 이는 시스템 운영의 효율성을 극대화 시킬 수 있는 가능성을 의미한다.

뿐만 아니라, PRT 는 GRT 에 비해, 곡선 회전 반경이 작아 지역 교통시스템에 유연한 노선설계를 할 수 있어서 다양한 NETWORK 를 구성할 수 있으며, 궤도의 설치 및 변경이 비교적 간단하여 지역 내 건물과의 연계성이 탁월한 것으로 알려지고 있다.

5.2 이상적인 PRT 시스템 구성

PRT 시스템은 각 세부 기술의 다양한 발전으로 여러 운영 시스템이 존재할 것으로 보이나 이론적이지만 이상적인 PRT 시스템에 대한 운영 개념을 설계하는 것은 서로 다른 시스템의 기술적인 검토나 경제성 분석을 위한 기초가 된다는 점에서 매우 중요하다고 볼 수 있다. 다음은 이상적인 PRT 시스템의 운영 개념을 정리한 것이다.

도표 3. 이상적인 PRT 시스템 구성

운영 구분	시스템 특징
Rail	Guideway
Direction	Two way
Intersection	Four way
Station	Off-Line
Operation	Demand Op.
Network	Close Loop / Multi-connection
Load Time	evenly Distributed
Load Pattern	evenly Distributed

6. PRT 시스템의 적용 검토

PRT 시스템의 실현을 위해 다양한 기술 개발 노력이 진행되고 있으나 시스템 도입 시 검토해야 할 운영 시스템의 특징에 대해서 알아 보고자 한다.

6.1 INTERSECTION / SWITCHING

PRT 시스템의 경우 차량 SIZE가 작아서(WHEEL BASE) 최소 회전반경이 비교적 작아 GRT에 비해 노선 교차로(INTERSECTION)에 대한 SWITCHING 기술 개발의 장점이 있다.

그러나, GUIDEWAY의 특성상 INTERSECTION 상의 한 지점에서 3방향으로 DIVERGE 시키는 운영이나 각 방향에서의 진행진로가 서로 겹치는 문제가 있어 도로상의 자동차의 운행과 같은 양방향(TWO WAY)의 자유로운 진행이 기술적으로 어려운 것이 사실이며, INTERSECTION 상에서 제한적인 진행을 결정할 수 밖에 없는 것이 현실이다. 이런 이유로 현재는 ONE WAY 방식의 PRT 시스템이 시험되고 있으며, 이점은 PRT NETWORK 상에서 승객을 원하는 목적지로 수송하는데 LOOP를 돌며 TURNING을 해야 하는 문제를 안고 있다.

INTERSECTION 상에서 차량의 자유로운 진로를 위해 INTERSECTION LOOP를 설계할 수도 있으나 설치 및 공간상의 문제와 SWITCHING LOOP로의 차량 집중으로 시스템 운영의 전체 속도를 저하시킬 우려가 있기 때문에 지역 상황과 시스템 운영을 고려한 선별적인 적용이 가능하다고 할 수 있다.

6.2 ONE WAY OPERATION

GRT에서와 같이 OPEN LOOP나 CIRCULATED LOOP의 NETWORK에서는 주로 두개의 GUIDEWAY를 이용한 TWO WAY OPERATION이 일반적이다. 그러나 PRT의 경우엔 앞서 설명한 INTERSECTION SWITCHING의 기술적인 어려움으로 ONE WAY OPERATION으로 개발이 되고 있어 NETWORK 상에서 임의의 목적지까지 최단 거리의 노선이 존재하기 어려우며 설계된 ONE WAY LOOP 상에서 TURNING LOOP를 따라서 차량이 주행하게 된다.

따라서, TWO WAY에 비해서 LOOP를 도는 TURNING TIME이 소요되기 때문에 이에 대한 검토가 충분히 이루어져야 한다. PRT의 NETWORK 설계에서 역의 수나 위치가 승객의 시스템 이용을 위한 WAITING TIME에 크게 영향을 준다고 하면, ONE WAY PRT에서는 NETWORK의 LOOP와 진행방향 설계가 실제 운행시간을 결정하는 중요한 변수가 될 수 있다. 특히, PRT 시스템이 중, 장거리의 NETWORK로 운행이 되지 않는 이상 주요 교통연계수단으로 활용될 경우가 대부분이기 때문에 시간대별 승객의 이용 분포와 방향이 계속 변하기 때문에 NETWORK의 LOOP 설계는 ONE WAY OPERATION에서 경제적인 시스템 운영의 중요한 요인이 된다. TURNING TIME을 줄이기 위해 LOOP의 크기와 방향을 결정하기 위해 지역의 특징과 승객의 이용 분포와 형태에 대한 분석이 선행되어야 한다.

6.3 LOAD PATTERN / TIME

PRT NETWORK를 설계할 경우 승객의 이용 분포와 형태를 상세히 분석하는 것이 선행되어야 하며 차량과 GUIDEWAY 시스템도 이러한 LOAD TIME 과 LOAD PATTERN 을 충분히 반영할 수 있어야 한다.

특히, 도심지의 교통체증을 해소할 목적으로 GUIDEWAY 시스템의 도입을 추진할 경우 교통난이 가중되는 RUSH HOUR 에 대한 LOAD TIME 과 PATTERN 이 중요해 지며, 또한 지하철과 같은 대용량의 MRT(Mass Rapid Transit) 시스템과의 연계 수단으로 활용할 경우 이용 승객이 출발지와 목적지가 집중되는 LOAD SOURCE / SINK 를 형성하게 되어 이에 대한 시스템 연구가 필요하다.

이상적인 PRT 시스템의 운영 효율을 극대화하는 또 하나의 가정은 LOAD TIME 과 PATTERN 이 이상적으로 균일한 NETWORK 이다. LOAD TIME 과 PATTERN 이 편중되지 않는 NETWORK 상에 서는 차량의 평균 주행 속도를 최대화할 수 있기 때문이다.

이에 비해 GRT 시스템의 경우엔 LOAD TIME 과 PATTERN 이 집중되는 NETWORK 에서 그 운영 효율을 높일 수 있다는 점에서 PRT 시스템과의 차이점이 있게 된다. 즉, GUIDEWAY 시스템을 도입하려는 지역의 LOAD TIME 과 PATTERN 에 따라서 운영 시스템의 개념 설계가 이루어 져야 한다는 것이다.

PRT 시스템의 장점을 이용할 수 있는 NETWORK 는 적어도 LOAD PATTERN 에 있어서, LOAD SOURCE 와 SINK 가 같은 시간대에 존재하지 않고, 순환 LOOP 가 한 방향으로 계속 이어지는 것을 피해야 바람직한 운영 결과를 기대할 수 있다.

6.4 PULSE LOAD

LOAD SOURCE 와 LOAD SINK 와 같이 NETWORK 상에서 이용 승객의 분포와 목적지가 균일한 분포를 보이지 않고 집중(CONCENTRATED)되는 현상을 PULSE LOAD 라 한다.

PULSE LOAD 는 RUSH HOUR 나 NETWORK 지역 내에 EVENT 에 의한 승객의 증가와 지하철 같은 연계 수송수단의 이용을 목적으로 발생하게 된다. PULSE LOAD 를 해결하기 위해 NETWORK 상에서 운행되는 차량의 수를 늘리거나 역에 연결된 OFF-LINE 의 길이를 늘이는 방법을 생각할 수 있는데, 차량의 증가는 LOAD FREE 시에 NETWORK 상에 정차를 해야 한다는 제약이 있어 일정한 한계가 생기며 OFF-LINE 의 확대는 건설비용과 설치공간과 관련하여 경제적인 검토를 해야 한다.

특히, PULSE LOAD 는 LOAD TIME 에 따라서 발생 지역이 달라 질 수 있기 때문에 NETWORK 상의 각 역을 기준으로 LOAD TIME 에 따른 시나리오 분석이 효과적이다. 따라서 LOAD TIME 에 관계없이 PULSE LOAD 가 발생할 수 있는 지역과 LOAD TIME 에 따라서 PULSE LOAD 가 생기는 지역을 구분할 필요가 있으며 LOAD TIME 에 무관한 지역에는 OFF-LINE 을 늘이는 방법이 타당하며 LOAD TIME 에 따른 PULSE LOAD 지역에는 NETWORK 상에서 연결 LOOP 의 조정이나

DUMMY LOOP 의 설치 방법도 고려해 볼 만하다.

또한 PULSE LOAD 의 해결을 위해 시스템 운영적인 방법에서 반복적인 LOAD TIME 과 LOAD PATTERN 을 분석해서 NETWORK 상에서의 차량 이동과 대기 방법을 사전에 실행해 놓는 선행적 운행(PRECEDING OPERATION)을 시도하는 것도 바람직하다고 본다. 이는 시스템의 운영 정보를 이용하는 RAILWAY 시스템의 장점을 최대한으로 살리는 좋은 예가 될 수 있다.

6.5 NETWORK

앞서 INTERSECTION SWITCHING, ONE WAY OPERATION, LOAD TIME/PATTERN, PULSE LOAD 에서 살펴 본 바와 같이 APM 시스템에서는 NETWORK 의 설계가 시스템 운영에서 갖는 중요성은 매우 크다고 할 수 있다.

일반적으로 PRT 시스템은 GRT 시스템에 비해서 순환 LOOP 가 많을수록 운영 효율이 높아지는데, 이는 주로 OPEN LOOP 나 CIRCULATED LOOP 로 이루어진 GRT 시스템에 비해 LOOP 확장과 연결이 용이하고 중간 역이 OFF-LINE 으로 설치되어 차량이 목적지까지 NON-STOP 으로 운행될 수 있기 때문이다.

따라서, 시스템 건설비의 경제성 검토를 병행해야겠지만, 적당한 규모의 STATION 수를 늘리고 LOOP 의 연결을 통해 LOAD PATTERN 을 분산시키며 차량 운행시간과 TURNING TIME 을 줄이기 위해 LOOP 의 크기와 수, 그리고 방향성을 검토, 분석하는 것이 PRT NETWORK 설계의 기본이라 할 수 있을 것이다.

그러나, 대부분의 지역 NETWORK 의 설계는 각 지역이 이미 가지고 있는 기존의 교통시스템이 안고 있는 문제에 기초를 두고 시작하는 것이 보통이기 때문에 위에서 언급한 NETWORK 를 구성하는 방향성과 불일치하는 경우가 많다. 예를 들어, 직선형적인 교통체증이나 일부 지역의 교통체증을 위해서 PRT NETWORK 를 설계하는 경우에는 이미 PRT 시스템의 효율성을 벗어날 수 있기 때문에 차량의 시스템보다는 GUIDEWAY 의 운영 시스템에 대한 기본 설계를 선행하는 것이 바람직하다.

7. 결 론

PRT 시스템의 도입은 아직 세계적으로 상용화된 노선이 없기 때문에 기술적인 검증과 시스템 운영에 대한 폭 넓은 이해가 필요하며, 이상적인 PRT 의 구현에는 아직 해결해야 하는 기술 개발 과제들이 있다. 그러나, 이미 포화 상태가 된 도심지의 교통체증을 해소하기 위해서는 GUIDEWAY TRANSPORTATION 의 등장은 필수적이며, 이 분야에서 기술 개발과 함께 발전 가능성이 가장 큰 PRT 시스템의 관심은 더욱 커질 것이다.

본 논문에서는 PRT 시스템의 운영상 특징과 시스템 적용 시 검토해야 할 부분을 살펴 보았는데, 먼저, 선행되어야 할 것은 지역 내에서 안고 있는 교통 체증의 원인과 상황을 분석을 하는 것

이며, 이에 근거한 LOAD TIME 과 LOAD PATTERN 을 예측하고 기술적으로, 경제적으로 타당한 NETWORK 설계와 운영 시스템을 정의하는 것이 차량 시스템의 결정보다 선행되어야 한다는 것이다.

PRT 시스템의 도입은 도심지의 교통체증이 안고 있는 모든 유형에 대한 해결책은 될 수 없으나, PRT NETWORK 의 탁월한 유연성과 접근성으로 타 교통수단과의 연계성은 물론, 시스템의 효율적인 운영성이 뛰어나 지속적인 연구 개발과 적용 검토가 필요하다고 하겠다.

참고문헌

1. Jerry B. Schneider, "Designing APM Circulator Systems for Major Activity Centers: An Interactive Graphic Approach", Proceedings of Automated People Movers 4: Enhancing Values in Major Activity Centers, American Society of Civil Engineers, New York, NY, pp.535-545, 1993.
2. John A. Dearien, Richard D. Struthers, Kent D. McCarthy, "A System Analysis Solution to the High Cost and Low Passenger Appeal of Conventional Rail Transportation Systems", International Conference on PRT and Other Emerging Transportation Systems University of Minnesota, Minneapolis, Minn., November, pp.18-20, 1996
3. Peter Samuel, "Personal Rapid Transit - Raytheon's Bold Move", the ITS International magazine, November, 1996.
4. Jarold A. Kieffer, "The Fundamental Gap in Urban Transportation", the fourth international APM Conference entitled "Automated People Movers 4", Las Colinas, Texas, 1993.
5. Stuart, Darwin, "Internal Circulation within Major Activity Centers: Issues and Problems", Transportation Research Record, No.1046, Transportation Research Board: Washington, D.C., pp.84-91, 1979
6. Anderson, J. Edward, "The TAXI 2000 Personal Rapid Transit Systems", Journal of Advanced Transportation, Vol.22, No.1, pp.1-15, 1988.
7. Anderson, J. Edward, "Introduction, Personal Rapid Transit " 3, Ed. By D. Gary, et al., University of Minnesota, Minneapolis, MN, pp.1-18