도시철도차량의 고가선로 비상대피 시나리오 분석

김영상† · 맹희영 · 왕종배
철도전문대학원 철도차량시스템공학과
(2012. 2. 19. 접수 / 2012. 6. 9. 채택)

Emergency Evacuation Scenario Study of Urban Metro Vehicle Running on Elevated Guideway

Young-Sang Kim† · Hee-Young Maeng · Jong-Bae Wang
Railway Vehicle System Engineering, Graduate School of Railway Science and Technology
(Received February 19, 2012 / Accepted June 9, 2012)

Abstract : There have been recently introduced new types of urban metro vehicles called LRT (Light Rail Transit) running on elevated guideway such as Uijeongbu VAL(which stands for Véhicule Automatique Léger: Automatic Light Rail Vehicle) system, Yong-In LIM(Linear Induction Motor) system, Incheon international airport MAGLEV(Magnetic Levitated Vehicle) system and Daegu monorail system. Most of accidents by the vehicles are bound to happen on elevated guideway. Therefore, it is of vital importance to analyze hazards related to vehicles running on elevated guideway and study emergency evacuation scenarios applicable in case of accidents on elevated guideway so as to secure the safety of the new types of urban metro vehicles. In this study, FTA(Fault Tree Analysis) model was developed to identify all possible hazards, and all possible evacuation scenarios were studied. It was also confirmed that each hazard can be corresponded to one or more evacuation scenarios. This result shows that passengers can be evacuated according to one of the scenarios identified in this study in case of an accident of "Train Stranded on Elevated Guideway".
Key Words : elevated guideway, evacuation scenario, hazard, LRT, fault tree

1. 서 론

지금까지 국내의 도시철도는 주로 지하구간을 운행하는 중량전철(重量電鐵) 위주로 건설되었다. 그러나 최근 기존 도시철도에 비해 다양한 기술이 적용된 경량전철(輕量電鐵) 또는 신교통(新交通)이라고 불리는 새로운 형태의 도시철도 시스템들이 널리 도입되고 있다. 이러한 도시철도 시스템들은 기존 중량전철에 비해 경량화된 차체, 낮은 토목 건설비, 높은 에너지 효율, 선로계획의 유연성 등 장점으로 인해 점차 증가하고 있는 추세이다. 2011년 9월 개통된 부산-김해 경전철, 2012년 개통예정인 의정부 VAL (Automatic Light Rail Vehicle) 시스템과 용인 LIM (Linear Induction Motor) 경전철, 건설 중인 인천공항 자기부상열차 및 대구 도시철도 3호선 모노레일 등이 대표적이다. 기존 도시철도가 일부 하천구간 및 시외구간을 제외하고 대부분 지하구간에서 운행되는데 비해, 새로운 도시철도 시스템들은 지하구간 건설로 인한 막대한 건설비 절감을 위해 부득이한 경우를 제외하고 고가선로로 건설되는 경우가 많다.

한편 기존 도시철도의 경우 터널내 화재사고 및 운행장애를 포함한 오랜 경험을 바탕으로 안전대책 및 비상대응절차가 상당히 개선되어 왔으나 주로 지하구간에서 발생하는 안전사고만을 고려하고 있는 실정이다[1]. 그러나 2006. 8.11 상해 푸동공항 자기부상열차 화재사고[2] 및 2008. 7.13 대전과학공원 자기부상열차 전차선 탈락사고[3] 처럼 열차가 고가선로에서 멈추고 승객이 대피한 사례에서 볼 수 있듯이 고가선로를 운행하는 도시철도차량의 경우 사고는 대부분 고가선로에서 발생할 수밖에 없다. 따라서 고가선로를 운행하는 차량 관련 위험원들을 분석하고 적용가능한 비상대피 시나리오를 검토하는 것은 새로운 도시철도 시스템은 물론 기존 도시철도의 안전확보를 위해 매우 중요하다. 한편 철도안전 관련법에서도 열차사고에 대비한 비상대피 시나리오들을 분석하고 비상대응절차를 수립할 것을

† To whom correspondence should be addressed.
saferailway@naver.com.

요구하고 있다[4]. 그러나 국내에서 고가선로상의 열차사고와 관련된 위험원 식별과 비상대피 시나리오 검토는 충분히 이루지지 않고 있다.

따라서 본 연구에서는 고가선로를 운행하는 새로운 도시철도 시스템을 대상으로 고가선로상의 사고발생시 가능한 비상대피 시나리오들을 분석하고 해당사고를 유발하는 위험원들을 식별함으로써, 분석된 비상대피 시나리오들이 식별된 모든 위험원들로 인한 사고시 대피방법으로서 충분한지 여부를 확인하고자 하였다.

2. 검토대상 시스템과 비상대피 시나리오

2.1. 검토대상 시스템

앞에서 설명한 바와 같이 고가선로로 건설되는 도시철도 시스템은 다양하지만, 대부분 선로중앙 또는 바깥쪽에 승객대피 또는 유지보수를 위한 보행로(walkway)가 설치되어 있다. 보행로가 설치된 경우 비상시 승객의 대피는 비교적 용이하다. 그러나 자기부상열차나 모노레일의 경우 대부분 보행로가 설치되지 않는다[5]. Fig. 1은 보행로가 없는 고가선로 단면의 예이다.

이는 순천만에 건설중인 PRT(Personal Rapid Transit)의 경우도 마찬가지이다. 그러나 PRT의 경우 고가선로의 높이가 4.5 m 이하로 상대적으로 낮으므로 교각 높이가 최대 20 m가 넘는 자기부상열차 또는 모노레일 시스템에 비해 위험도가 높다고 볼 수 없다. 따라서 본 연구에서는 20 m 이상의 높이를 갖는 고가선로를 운행하는 도시철도 차량을 검토대상으로 하였다. 차량제원은 두바이에서 운행 중인 가좌식 모노레일(saddle type monorail) 차량을 참고하였다. 두바이 모노레일의 차체크기는 3.0 m × 5.3 m × 15.1 m (W × H × L)이며, 3량 편성시 승객정원은 265명, 만차시(150%) 398명이다. 추진 및 보조전원장치는 국내 도시철도 차량과 동일한 가변주파수(VVVF : Variable Voltage Variable Frequency) 방식이며, 차량당 8대의 견인전동기가 설치되고 4대까지 고장나는 경우에도 자체 동력으로 이동이 가능하다[5].

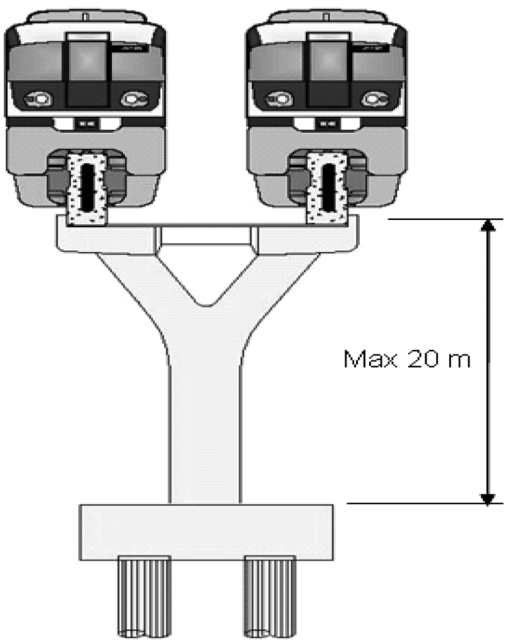

Fig. 1. Elevated guideway for saddle type monorails.

2.2. 비상대피 시나리오 분석

열차가 고가선로에 멈추는 위험사건의 경우 적용가능한 대피 시나리오들을 식별하고 분석하였다.

1) 보행로를 이용하여 인접역으로 대피

보행로가 있을 경우 가능한 기본적인 대피방법이다. 승객들은 차내방송 또는 구조요원의 안내에 따라 차량으로부터 약 1 m 아래의 선로 위 보행로를 이용하여 가장 가까운 역으로 이동한다. 이 대피방법은 외부지원 또는 선로상의 타설비를 이용할 필요없이 독립적으로 가능한 방법이다.

2) 사고열차 자체 추진력으로 근접역까지 이동

이 방법은 비상상황에서 적어도 한쪽 방향 선로에 장애물이 없고 전력이 공급되며 차량 자체의 추진이 가능한 경우에만 유효하다. 열차는 저속으로 가까운 역까지 이동하여 승객들을 하차시킨다. 이 방법은 승객들이 객실에 있으므로 상황이 허락한다면 승객의 안전확보 측면에서 최선의 방법이다.

3) 사고열차를 다른 열차가 견인 또는 밀어 가까운 역으로 이동

만일 사고열차가 이동이 가능하고 선로 상에 전력이 공급되고 있다면 동일 선로를 운행하는 다른 열차가 구원열차로서 사고차량을 견인하거나 밀어 가까운 역으로 이동시키는 것이 가능하다. 구원열차는 사고지점으로 가기 전에 인접 역에서 승객을 하차시킨 후 사고지점으로 이동하여 사고열차를 밀거나 견인하여 가장 가까운 역으로 이동시켜 승

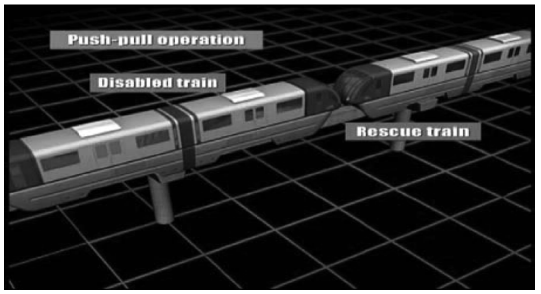

Fig. 2. Push pull train rescue.

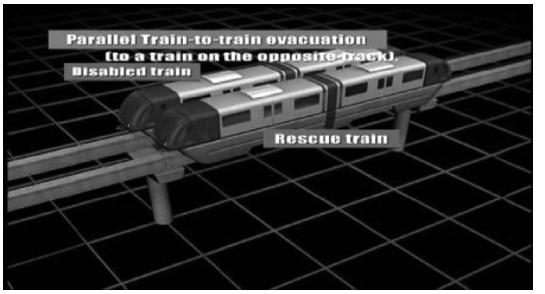

Fig. 3. Side to side train evacuation.

객을 하차시킨다. 승객들이 여전히 객실 내에 있으므로 매우 안전한 방법이다.

4) 사고열차를 구원차량이 견인 또는 밀어 인접역으로 이동

선로상에 전원공급이 중단되는 경우 디젤기관차가 사고열차를 견인하는 방법이다. 차량기지에서 디젤기관차가 출발하여 사고지점에 도착시까지 상당시간이 소요되므로 구조에 시간이 걸릴 수 있다. 허용시간 이상 지연된다면 다른 대피방법을 고려하여야 한다. 또한 전원이 공급되지 않는다면 기지에서 디젤기관차의 본선진입을 위해 선로변경을 위한 분기기 조작 등이 수동으로 이루어져야할 경우도 있다. 만일 전원공급이 차단되는 순간 본선상에 운행중인 열차가 많이 있는 경우에는 기지에서 가장 가까운 열차의 견인만이 가능할 수도 있다.

5) 승객들을 구원열차로 옮겨 실은 후 인접역으로 이동(전두부 비상출입문을 이용)

전원공급이 중단되지 않은 상태라면, 승객들은 사고열차 전두 비상출입문을 통해 같은 선로를 운행하는 다른 열차의 전두 비상출입문으로 이동하는 방법이다. 구원열차는 인접역에 승객들을 하차시킨 후 구조요원이 건넘장치를 싣고 사고지점으로 접근하여 비상출입문을 개방하고 사고열차의 비상출입문과 구원열차 비상출입문 사이에 건넘장치를 설치하면, 승객들은 건넘장치를 통해 구원열차로 옮겨탄 후 인접역에서 하차한다.

6) 승객들을 구원열차로 옮겨 실은 후 인접역으로 이동(측면 출입문을 이용)

전원공급이 중단되지 않은 상태라면, 승객들은 사고열차의 측면 출입문을 통해 반대측 선로를 운행하는 열차로 이동할 수 있다. 구원열차는 인접 역에 승객들을 하차시키고 구조요원이 건넘장치를 실은 후 사고지점으로 접근하여 사고열차의 반대쪽 선로에서 측출입문 위치를 일치시킨다.

구조요원이 측출입문을 열고 건넘장치를 설치하면 승객들은 건넘장치를 통해 구원열차로 옮겨탄 후 인접역에서 하차한다. 이 시나리오는 트랙간의 거리가 벌어지는 섬식 승강장 부근의 선로에서는 가능하지 않다.

7) 완강기를 이용해 지상으로 탈출(단일 출입문)

관제실의 연락을 받은 구조대가 사고현장에 도착하여 유압리프트나 사다리를 이용하여 사고열차에 접근한 후 측출입문 중 하나를 열고 완강기를 설치한다. 구조팀의 안내에 따라 승객들은 완강기를 이용하여 한명씩 지상으로 내려온다. 모든 승객이 탈출할 때까지 반복한다. 효과적인 탈출을 위해구조팀의 정기적인 훈련과 정기적인 구조장치의 시험 및 승객의 협조가 요구된다.

8) 완강기를 이용하여 지상으로 탈출 (다수의 출입문 이용)

구조대가 사고열차에 접근한 후 다수의 측출입문에 완강기를 설치한다는 점만 빼고 앞의 시나리오와 동일하다. 여러 대의 완강기를 사용하므로 탈출은 보다 신속하게 이루어질 수 있다. 다수의 출입문이 동시에 사용된다는 점에서 승객들의 추락에 대한 위험도는 증가한다.

9) 차량에 설치된 스파이럴 슈트를 이용하여 지상으로 탈출

스파이럴 슈트의 나선형 구조는 하강속도를 낮추어 승객이 지면에 도착하는 순간의 충격을 완화한다. 슈트의 끝에는 충격흡수부가 있으며 일정간격으로 설치되어 있다. 승무원이 탑승하는 열차의 경우 구조대가 도착하면 승무원이 측출입문을 개방하고 스파이럴 슈트를 직접 설치할 수 있다. 승

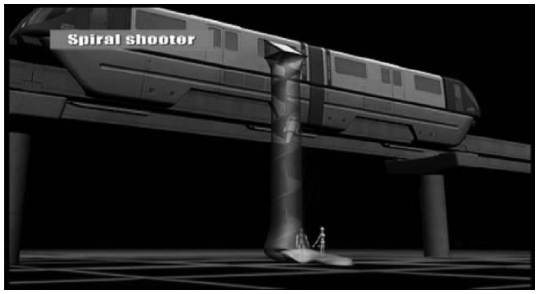

Fig. 4. Evacuation for saddle type monorails.

객들은 구조요원의 안내에 따라 개방된 측출입문으로부터 슈트를 타고 지면으로 내려온다.

슈트를 이용한 탈출은 매 2초 마다 1명씩 탈출이 가능한 것으로 알려져 있으나 평소 훈련을 받지 않은 승객들의 경우 더 오래 걸릴 수 있다. 이 방법은 매우 신속한 탈출을 가능하게 하지만 승객들이 공포심을 가질 수 있으며 내려오는 동안 마찰과 충격으로 인한 가벼운 부상의 위험이 있으나 추락에 의한 위험은 제거된다. 차량내에 화재가 발생하는 경우 탈출 이전에 화재를 진화하여야 한다.

10) 구조대가 설치한 스파이럴 슈트를 이용하여 지상으로 탈출

하나 또는 여러 대의 슈트가 구조대 유압 리프트의 플랫폼 또는 사다리 위에 설치된다는 점 외에는 시나리오 9)와 유사하다. 스파이럴 슈트의 양 끝에 숙련된 구조대원이 위치하여 승객들의 탈출을 도와준다. 숙련된 구조요원이 차량위에서 승객들이 슈트 안으로 들어가는 속도를 조절함으로써 부상 위험도를 감소시킨다. 또한 두려움을 갖는 승객들에게 안도감을 줄 수 있다. 만일 슈트를 직접 이용할 수 없는 승객에 대해서는 구조대의 플랫폼 또는 사다리를 이용해 구조할 수 있다.

11) 수직형 슈트를 이용하여 지상으로 탈출

수직형 슈트는 구조용 리프트의 플랫폼 또는 사다리에 연결되어 있으며 구조대원이 지상에서 사고열차로 설치한다. 구조요원이 승객들의 슈트 사용을 안내하고 도와주기 위해 양 끝에 위치한다. 슈트 자체에서 승객의 하강속도가 조절되며 내부의 쿠션이 승객을 동그랗게 싸서 보호해 주므로 비교적 안전하게 승객들이 지상으로 내려올 수 있도록 해준다. 가능한 대피속도는 인당 2.5초 가량 걸린다. 이 탈출 방법은 스파이럴 슈트에 비해 탈출속도는 느리나 승객들의 안전측면에서 유리한다. 하강시 마찰에 의한 경미한 부상 가능성은 있으나 일단 슈트 내부로 들어가면 추락에 의한 위험원은 제거된다. 차량내 화재의 경우 이 방법에 의해 지상으로 대피하기 이전에 화재부터 진화해야 한다.

12) 유압 리프트 또는 사다리가 설치된 구조차량을 이용하여 지상으로 탈출

이 시나리오는 유압 리프트 또는 사다리가 설치된 기존의 소방차를 이용하는 방법이다. 이 방법은 차량이 도로 측에서 사고열차로 접근이 가능하지 않을 경우 적용이 어려운 단점이 있다. 사고차량 옆에 소방차를 세우고 차량은 아웃트리거를 이용하여 고정시킨다. 구조대원은 유압 리프트나 사다리를 사고차량의 측 출입문 앞으로 접근시키고 출입문을 개방한 후 승객들을 지상으로 내려 보낸다. 한번에 10명까지 내려 보낼 수 있으나 승객들을 높은 곳에서 내려 보내는 과정에서 추락의 위험성이 크다.

3. 위험원 식별과 사고 시나리오의 대응

열차가 사고 또는 고장으로 고가선로상에 정지하는 경우를 Top event로 놓고 그 원인이 되는 위험원을 체계적으로 식별하기 위하여 FTA 모델을 Fig. 5와 같이 개발하였다. 이는 위험원 식별의 첫 단계인 PHA(Preliminary Hazard Analysis)[6]에 해당한다. PHA에 의해 Table 1과 같이 모두 9가지의 위험원이 식별되었다.

식별된 위험원을 세부적으로 분석하기 위하여 각각을 Top event로 SHA(System Hazard Analysis)[7]를

Table 1. Hazards of train or trains stranded on guideway

번호(ID No.)	위험원(Hazard)	결과(Consequence)
P1	열차고장(Train Failure)	고가선로상에 열차정지
P2	토목 및 궤도 이상 (Civil/Track Failure)	고가선로상에 열차정지
P3	기전시스템 고장 (E&M Systems Failure)	고가선로상에 열차정지
P4	외부사건(External Events)	고가선로상에 열차정지
P5	인적오류(Human Error)	고가선로상에 열차정지
P6	반달리즘(Vandalism)	고가선로상에 열차정지
P7	테러(Terrorism)	고가선로상에 열차정지
P8	열차탈선(Train Derailment)	고가선로상에 열차정지
P9	열차충돌(Train Collision)	고가선로상에 열차정지

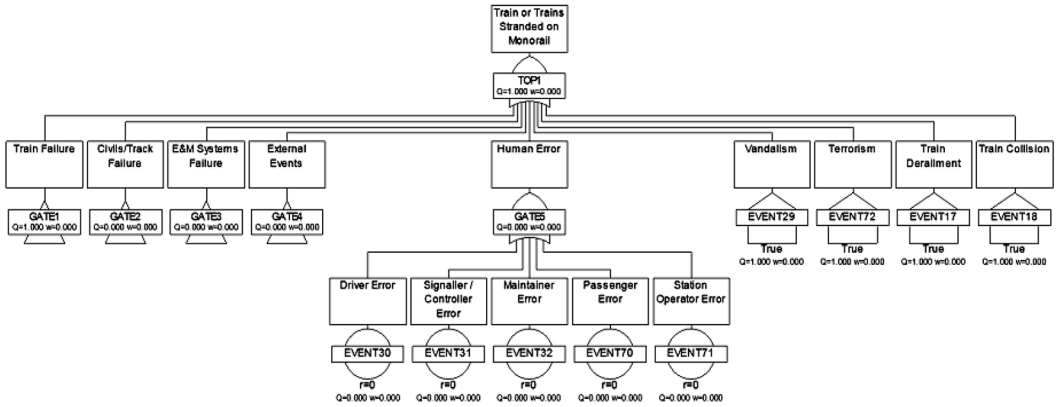

Fig. 5. FTA (Fault Tree Analysis) model for train stranded on guideway.

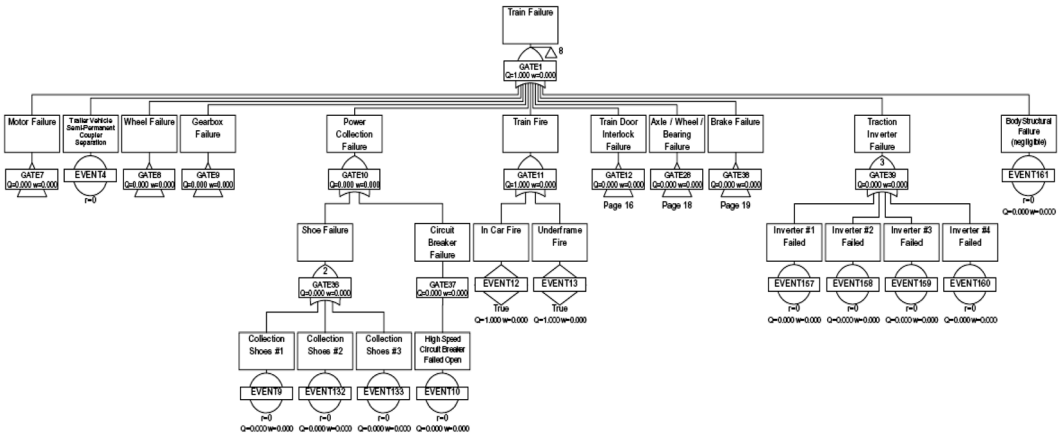

Fig. 6. FTA (Fault Tree Analysis) model for train failure.

Table 2. Failure scenarios of trains stalled on elevated track

열차 고장 시나리오		1 HVAC 장치정상	2 HVAC 장치고장	3 화재/폭발
A	사고열차의 기동이 불가능하며 구원열차에 의한 대피가 불가능한 상태	A1	A2	A3
B	사고열차의 기동이 불가능하나 구원열차에 의한 대피가 가능 한 상태	B1	B2	B3
C	사고열차의 기동이 가능하고 타 구원열차에 의해 밀거나 견인이 가능한 상태	C1	C2	C3

수행하였다. 먼저 차량을 시스템 경계로 정하고 열차 고장(train failure)을 Top event로 수행한 SHA가 Fig. 6에 나타나 있다. 견인전동기 고장, 연결기 분리, 차륜 파손, 기어박스 고장 등 모두 11가지의 위험원이 식별되었다. 이 때 각 위험원에 의해 발생되는 결과, 즉 열차가 고가선로위에 정지시 적용가능한 비상대피 시나리오는 기동 가능성(mobility), 냉난방환기장치(HVAC : Heating, Ventilation and Air Conditioning)의 가동 여부 및 화재/폭발 여부에 따라 달라져야 한다. 따라서 고가선로 위에 정지하는 사고를 Table 2와 같이 9 가지 유형으로 구분하였다.

다음은 SHA에 의해 식별된 각 위험원의 발생결과에 대하여 앞에서 구분한 9가지 고장유형 중 해당 유형을 대응시킨 후, 그 유형에 가장 적합한 비상대피 방법을 2.2절에서 분석한 시나리오와 대응시켰다. Table 3은 PHA 및 차량시스템에 대해 수행한 SHA의 결과로서 각 위험원에 대해 고장유형과 비상대피 사니리오를 대응시킨 결과이다.

Table 3. PHA and SHA results and evacuation scenarios

시스템	위험원	원인	결과	고장유형	비상대피 방법
Motor	Motor failure (<50%)	Poor maintenance	Stalled train (movable)	C1	Push pull recovery
	Motor failure (≥50%)	Poor maintenance or overheating	Stalled train (immovable)	B1	Side evacuation to rescue train on other track /End evacuation to rescue train on same track
Axle/Wheel/Bearing	Gearbox seized	Poor maintenance or overheating	Stalled train (immovable)	B1	Side evacuation to rescue train on other track /End evacuation to rescue train on same track
Coupler	Coupler separation	Poor maintenance	Stalled train (immovable)	C1	Push pull recovery
Wheel (Tyre)	Tyre failure	Tyre deflation	Partial stability/ adhesion loss	B1	Side evacuation to rescue train on other track /End evacuation to rescue train on same track
	Tyre failure	Tyre blow-out	Explosion damage under car	B1	Side evacuation to rescue train on other track /End evacuation to rescue train on same track
Gearbox	Gearbox failure	Gearbox stripped	Stalled train	B1	Side evacuation to rescue train on other track /End evacuation to rescue train on same track
		Gearbox seized	Stalled train	B1	Side evacuation to rescue train on other track /End evacuation to rescue train on same track
Power collection	Power system failure	Collector failure	Stalled train	C2	Push pull recovery
		Breaker failure	Stalled train	C2	Push pull recovery
		Inverter failure	Stalled train	C2	Push pull recovery
		HT cable failure	Stalled train	C2	Push pull recovery
Train fire	Fire on-board train	Terrorism /Vandalism/ Smoking etc	In-car fire	B3	Side evacuation to rescue train on other track /End evacuation to rescue train on same track /Rescue ladder/ Hydraulic lift from ground vehicle
		Overheating	Under frame fire	B3	Side evacuation to rescue train on other track /End evacuation to rescue train on same track /Rescue ladder/ Hydraulic lift from ground vehicle
Doors	Door system failure	Coincident door failure	Evacuation restricted	C1	Push pull recovery
Derail-ment	Derail-ment of train	Only possible with major civil failure	Train movement prevented	B2	Side evacuation to rescue train on other track /End evacuation to rescue train on same track /Rescue ladder/ Hydraulic lift from ground vehicle/ Emergency chute/Winch
			Stalled train	A3	Rescue ladder /Hydraulic lift from ground vehicle/ Emergency chute/Winch
Collision	Collision of train with another train or fixed object	Signalling failure	Train stranded between stations	B3	Side evacuation to rescue train on other track /End evacuation to rescue train on same track /Rescue ladder/Hydraulic lift from ground vehicle/Emergency chute/Winch
		Maintenance vehicle left on track	Train stranded between stations	C1	Push pull recovery
		Suspension failure / deflation	Train stranded between stations	B1	Side evacuation to rescue train on other track/End evacuation to rescue train on same track
		On-board Signalling (ATO/ATP) failure	Manual mode unprotected	C1	Push pull recovery
		Operation of emergency stop handle by passenger	Train stranded between stations	C1	Push pull recovery
		Operation of emergency stop handle by attendant	Train stranded between stations	C1	Train proceeds to station
		Human error whilst driving train in manual mode	Train stranded between stations	C1	Push pull recovery
Brake failure	Failure of brake system	Hydraulic hose failure	Brake seized on	B1	Side evacuation to rescue train on other track End evacuation to rescue train on same track
		Mechanical brake failure	Brake not functioning	C1	Push pull recovery

		Object on track	Collision with object and stranded train	B1	Side evacuation to rescue train on other track /End evacuation to rescue train on same track
Air Condition-ing Failure	Failure of air condition-ing system			C2	Push Pull recovery
Aux Power Supply Failure	Failure of aux power system	Inverter failure	Loss of air conditioning / lighting	A2	Rescue ladder/ Hydraulic lift from ground vehicle/Emergency chute/Winch
Structural Body/ Structure failure	Catastrophic failure of car body or under frame components	Corrosion/ poor maintenance/ inspection	Train stranded between stations	B2	Side evacuation to rescue train on other track /End evacuation to rescue train on same track /Rescue ladder/ hydraulic lift from ground vehicle/Emergency chute/Winch
High Wind	Damage to trains	Car body panels damaged or blown off	Body panels fall on persons on road / footpath below	B2	End evacuation to rescue train on same track /Side evacuation to rescue train on other track (high winds preclude other evacuation options)
	Wind gust as train enters station	Train strikes station structure on entry	Injury to passengers + train stranded outside station	B3	End evacuation to rescue train on same track
Lightning strike	Lightning strike on structure	Lightning strike causes structural damage to guideway	Train stranded on damaged guideway	B3	Side evacuation to rescue train on other track
	Lightning strike on train	Lightning strike on train	Electrocution of passengers	B3	End evacuation to rescue train on same track /Side evacuation to rescue train on other track
External Power Failure	Loss of power to monorail	Total Line Power outage	Multiple trains stranded between stations	A2	Rescue ladder/Hydraulic lift from ground vehicle/Emergency chute/Winch
High Tempera-ture	Equipment over temperature	Train equipment failure due to over temperature	Train stranded between stations	C1	Push Pull recovery
Heavy Rain	Rain storm during operation	Water ingress to equipment	Electrical short resulting in train becoming immobilized	B2	End evacuation to rescue train on same track /Side evacuation to rescue train on other track/Rescue ladder/ Hydraulic lift from ground vehicle/Emergency chute/Winch
		Water on track beam surface	Loss of traction /adhesion	B1	Side evacuation to rescue train on other track
Impact	Road vehicle impact	Road vehicle strikes pier	Damage to piers and collapse of guideway	B3	Rescue ladder /Hydraulic lift from ground vehicle/Emergency chute/Winch
	Electrical shorts on power rail	Foreign conducting material (ex. dropped by birds)	Electrical short	B2	Rescue ladder /Hydraulic lift from ground vehicle/ Emergency chute/Winch
	Falling material/objects	Large object dropped onto guideway from building	Stranded train	B1	Rescue ladder /Hydraulic lift from ground vehicle/Emergency chute/Winch

4. 결 론

본 연구에서는 고가선로로 운행하는 대표적인 도시철도 시스템인 모노레일을 대상으로, 고가선로상에서 정지사고 발생시 적용가능한 비상대피 시나리오들을 검토하고, 그러한 사고를 유발할 수 있는 위험원들을 분석하였다. 위험원 식별을 위해 열차가 사고 또는 고장으로 고가선로상에 정지하는 경우를 Top event로 놓고 위험원을 체계적으로 분석하기 위한 PHA 및 SHA를 수행하였으며, 식별된 각 위험원에 대하여 비상대피 시나리오들의 대응여부를 확인하였다. 그 결과 식별된 모든 위험원의 결과로서 고가선로상에 열차가 정지하는 사고 발생시, 검토된 비상대피 시나리오들 중 하나 또는 그 이상의 대피 시나리오를 이용하면 승객대피가 가능함을 알 수 있었다.

그러나 검토된 비상대피 시나리오들을 효과적으로 시행하기 위해서는 승객들이 견딜 수 있는 한계시간을 검토하고 그 한계시간 이내에 구조가 이루어질 수 있도록 보장할 수 있는 비상구조체계가 구축되어야 하며, 승객대피시 발생할 수 있는 피해를 최소화하기 위한 각 대피 시나리오별 위험도 평가가 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

1) 철도사고 및 비상대응관리체계 구축 연구보고서, 국토해양부, pp. 139~141, 2008.
2) China Daily, http://www.chinadaily.com.cn/china/ 2006-08/12.
3) 이상길, "자기부상열차 실용화를 위한 모델개발" 중장기산업기술개발 최종보고서, 현대로템, pp. 35, 2009.
4) 철도 비상대응계획 수립에 관한 지침 제 2조, 건설교통부 고시 제 2006-6호, 국토해양부, 2006.
5) N. Kimijima, "Overview of Monorail System Palm Jumeirah Transit System", JREA 52, No. 7, 2009.
6) Clifton A. Ericson, "Hazard Analysis Techniques for System Safety", John Wiley & Sons, pp. 73~93, 2005.
7) Clifton A. Ericson, "Hazard Analysis Techniques for System Safety", John Wiley & Sons, pp. 115~129, 2005.