한국화재소방학회 논문지, 제22권 제1호, 2008년
[논 문]

J. of Korean Institute of Fire Sci. & Eng.
Vol. 22, No. 1, 2008

오감인지를 통한 지하철 화재 비상대응시스템에 관한 연구

A Study on the Emergency Response System by Five Sense in the Subway Fire

노삼규† · 함은구*

Sam-Kew Roh† · Eun-Gu Ham*

광운대학교 건축학부, *광운대학교 건축공학과
(2007. 12. 27. 접수/2008. 3. 14. 채택)

요 약

지하철 화재사고 경우 정확한 화재 유형 파악과 그에 따른 적절한 초기대응은 사고피해를 최소화하기 위한 중요한 사항이다. 그러나 지하철 화재사고 발생 시 기관사 또는 비상대응직원이 직접 목격하지 않으면 화재 유형을 즉시 파악하기란 불가능하다. 본 연구에서는 화재사고로 나타날 수 있는 오감(五感)* 유형을 분석하여 오감 정보를 통해 신속한 화재사고 정보를 전달할 수 있도록 오감 유형을 제안하였다. 또한, 화재 시나리오에 따른 비상대응을 Activity-Action Diagram(AAD)로 정의하여 비상대응을 시스템화 하기 위한 기반을 제시하였다.

ABSTRACT

In the subway fire case, it is important that judge accuracy subway fire type and on the initial response minimize accident damage. But when the subway fire accident occurring, if it have know impossible that accuracy subway fire type to judge at once though witnessing driver or emergency response staff. This study suggests type of five senses that using information of five sense take to the subway fire accident information which analyses five senses as occurring subway fire accident. Also it is proposed that emergency response system though fire scenario by using Activity-Action Diagram (AAD).

Keywords : Subway fire, Emergency response, Five senses, Activity-Action Diagram

1. 서 론

지하철은 에너지 효율성이 높으며, 정시성, 안정성이 보장되는 교통수단으로 현대사회의 대중교통 문제를 해결할 수 있는 효과적인 대안으로 평가받고 있다. 그러나 이러한 장점에도 불구하고 우리나라 지하철시스템의 경우 대형화재 사고에 대한 대비가 매우 미흡한 상태였으며, 결국 2003년 대구지하철 사고와 같은 대형 참사의 기록을 가지게 되었다.

철도 운행안전관리는 승객의 안전뿐 아니라 국가적 재난 방지를 위해서라도 매우 중요하며 신중하게 다루어져야 할 분야이다. 특히 도시철도 지하철 경우에는 기존 철도와는 달리 노선 대부분이 지하공간(지하역사, 터널 등)으로 그 구조적 공간적 특성상 화재발생시 피난동선이 연기의 이동경로와 동일하여 다량의 인명피해를 발생시킬 수 있는 장소로서 안전성을 확보하기 취약한 구조로 되어 있다.[1)]

2004년 고속철도의 개통과 각 지자체별 도시철도의 건설 및 개통으로 철도산업은 과거에 비해 양적 질적으로 증가하게 되었다. 그러나 철도의 발전과 함께 상

*오감(五感, five senses) : 시각, 청각, 후각, 미각, 촉각 등의 5가지 감각으로 감각을 신체에 있는 감각수용기의 종류로 분류한 것.

† E-mail: roh@kw.ac.kr

대적으로 철도의 안전체계 구축은 미흡하여 항상 사고의 위험성으로부터 노출되어 왔고, 결국 2003년도 대구 지하철 화재와 같은 대형 사고를 초래하는 결과를 갖게 되었다.

2003년에 발생한 대구 지하철 화재사고에서 나타난 바와 같이 화재사고 발생 시 초기대응의 당자자인 기관사, 중앙사령 등의 역할이 중요하다는 것을 간접 경험한 봐 있다. 이것은 지하철 화재 시 초기대응 및 비상대응의 문제점을 명확하게 알려준 계기가 되었다.

대구 지하철 사고 이후 지난 4년여 동안 정부는 차량 내장재 재료안전기준, 터널 및 지하역사 제연설비 설치기준을 개정하는 등 설비 개선 사업을 추진 중에 있다. 그러나 이러한 하드웨어 개선뿐만 아니라, 대구 화재 사건 이후에 발생한 지하철 7호선 화재 사고에서도 나타났듯이 화재사고 발생 시 초기대응 및 비상대응시스템 구축 등의 소프트웨어 개발도 시급한 실정에 이르렀다.[2)]

본 논문에서는 대구 사고 등에서 문제점으로 제시된 화재 시 초기대응과 비상대응시스템에 문제점을 분석하여 이에 대한 대안으로 오감인지대응*을 통한 초기대응 방안과 비상대응시스템 방안을 제안하고 자 한다.

2. 사고 사례를 통한 대응사례 분석

2003년 2월 18일 오전 9시 52분경 1079호 전동차에 있던 방화범이 휘발유 4 *l*를 의자와 바닥에 부어 라이터 불로 점화 화재가 발생하였다. 8분 후 1량의 객차가 완전 연소된 추정시간인 10시경까지의 화재 초기단계 내의 경과를 보면, 처음 승객들의 화재진압 시도 후 화재 확대로 대피한 기관사의 화재발생 최초 보고 시점인 9시 55분경에 최초 화재경보를 접수한 종합사령실에는 빈번한 오작동으로 인한 비(非)화재보로 판단, 당시 화재경보를 무시하고 1080호의 역사 내 진입을 통제하지 못하였다. 이러한 소극적인 대처와 판단 미흡으로 급속한 화재의 연소 확대가 진행되고, 9시 56분경에 중앙로역 반대편 승강장에 도착한 1080호 전동차까지 화재가 전파되는 상황으로 이어졌다.

화재가 발생하면 신속한 화재신고와 더불어 승객들의 빠른 피난을 시도했어야할 기관사와 종합사령실의 판단지연 및 전동차 출입구를 폐쇄하고 종합사령실의 지시만을 기다린 기관사의 수동적 대응으로 초기화재 시의 승객 피난시간을 확보하지 못함으로 대형 인명피해를 초래하게 되었다. 객차 1량의 완전연소가 진행된 10시경 이후에는 차량대피지시와 통제 등이 이루어 졌지만 그때는 이미 역사의 전원공급이 차단되고 연기가 역사 내 전 층에 퍼져 많은 희생자가 발생한 후였다.[3)] 소방대가 현장에 도착한 10시 08분 후에는 역사 내 전 층에 퍼진 연기로 인하여 시야가 확보되지 못하고 역사 내 지하1층에 도달한 피난 승객도 다수 희생된 후였다. 이는 1079호의 방화를 승객이 적극적으로 저지

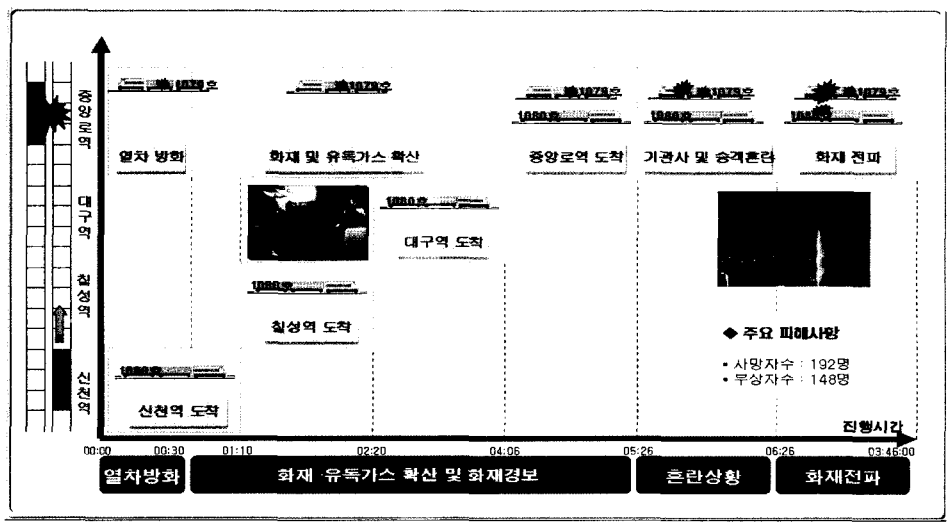


Figure 1. Accident situations and response in Daegu subway fire.

*오감인지대응 : 화재사고에서 나타날 수 있는 오감(五感)에 대한 특징을 사고초기에 사고의 인지 및 비상사고유형의 판단을 위한 초기 인식 인자(Factor)로 활용하여 화재사고유형 전파.

하지 못한 점부터 승무원의 종합사령실로의 보고 누락 및 판단, 지연 상대선로로 진입중인 1080호에 대한 서행 진입지시, 승객피난유도실패 등 발화초기 약 10분간 적어도 5~6회의 사고종료의 기회가 있었음에도 불구하고 모두 제대로 대처하지 못해 기회를 상실한 예라고 할 수 있다. Figure 1은 시간대별 사고 전개 과정을 나타내고 있다.

3. 초기대응을 위한 오감인지 대응

지하철 비상사고 발생 시 비상사고유형 파악과 그에 따른 적절한 비상대응절차의 적용은 사고피해를 최소화하기 위한 가장 중요한 사항이다. 그러나 지하철 비상사고* 발생 시 기관사 또는 비상대응직원이 직접 목격하지 않으면 비상사고유형이 어떤 종류인지 즉시 파악하기란 불가능하다.

초기대응이 신속하게 이루어지지 않는다면 비상대응직원이나 승객의 능력으로는 화재사고 규모의 확대를 막을 수 없다. 따라서 화재사고 발생 시 효과적인 대응을 위하여 초기대응이 중요하다.

Figure 2은 화재 발생 시 오감인지대응 메커니즘을 보여주는 것으로 비상상황 인식, 비상상황 전파, 비상대응 실시와의 관계를 보여준다.

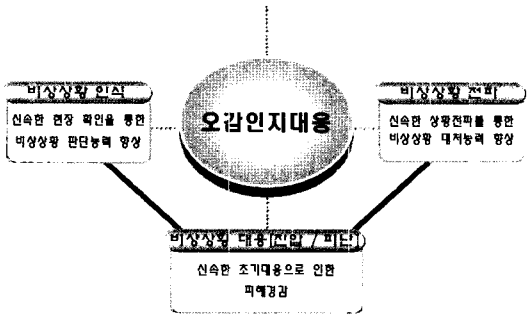


Figure 2. Mechanism of five senses response.

4. 비상대응 시스템 구축

4.1 시나리오 구축을 위한 중요 Event 설정

도시철도 운행 중 열차화재로 인해 터널 내에 정차한 경우로써 다음과 같이 이벤트를 도출하였다. 도시철도의 경우 열차 내 화재 발생 시 안전지역은 화재진압과 피난이 용이한 역사로서 열차운행의 상황에 따라 역사로의 진입이 가능한지에 관한 사항이 비상대응 측면에서 중요한 변수이므로 이벤트로 도출함. 화재가 발생하여 열차내의 승객들에 의한 초기대응 성공여부는

Table 1. Element of fire accident event

화재사고 진행과정	이벤트 도출	배경 설명
화재상황 발생 ⬇ 화재상황 전파 ⬇ 안전지역 정지 ⬇ 초기진압 / 피난 실시 ⬇ 재발화(재연) ⬇ 자체진압 실시 ⬇ 외부진압 실시 ⬇ 화재상황 종료	화재상황 인지	오감에 의한 화재상황 인지
	화재상황 전파	화재상황 전파
	안전지역 정지여부	열차의 정차위치에 따른 코드진행
	초기대응 성공여부	초기대응의 성공여부에 따른 상황전개
	열차 출입문 개방여부	열차출입문 개방여부에 따른 피난로 재설정
	재발화(재연) 유무	재발화 유무에 따른 대응 재전개
	자체소방대에 의한 화재진압 여부	자체대응의 성공여부에 따른 상황전개
	외부관계기관에 의한 화재진압	외부대응에 의한 화재진압
	화재상황 종료	상황종료

*철도비상사고(비상사고) : 철도비상사태, 천재지변, 테러와 전시에 준하는 사고, 철도사고, 운행장애 등으로 비상대응이 요구되는 사고를 의미

로 이벤트로 도출하였으며 화재가 발생한 열차에서 피난경로는 열차출입문이므로 열차출입문의 개방 가능여부는 중요한 변수이다. 따라서 화재상황인지, 화재상황 전파, 안전지역 정지, 초기진압 실시 등의 이벤트 도출이 가능하다.

Table 1은 화재사고 이벤트 도출요소로 화재 상황 발생에서부터 화재 상황 종료 때까지의 발생할 수 있는 이벤트를 보여주고 있는 것으로, 예를 들면 오감에 의한 화재 상황인지, 화재 상황 전파, 안전지역 정차여부 등의 총 9개의 이벤트로 구성되어 졌으며 이러한 이벤트를 바탕으로 하여 비상사고 시나리오가 전개된다.

4.2 Activity-Action Diagram(AAD)의 정의

비상대응절차는 비상대응시나리오*를 기반으로 구축된다. 그러나 각 시나리오의 이벤트(Event)별로 취해져야 할 비상대응 요구사항이 정의되지 않으면 비상대응절차를 효과적으로 구축할 수 없을 뿐만 아니라 체계적인 구축이 불가능하게 된다. 이를 위해 도시철도의 모든 비상대응시나리오의 각 이벤트별로 비상대응 시 취해져야할 비상대응 요구사항을 액티비티(Activity)**로 정의하고, 이의 세부적인 조치사항은 액션(Action)으로 정의하였다. 액티비티(Activity)별 액션(Action)의 비상대응 조치내용은 Table 2에서 보듯이 ● 기호는 비상대응 행위의 주체, ○ 기호는 지시 및 전달을 받는 대상으로 구분하고 비상대응 주체별로 상호 지시, 요구, 실시되는 의사소통 내용을 화살표로 나타내어 명확한 권한과 책임을 정의하였다.

다양한 화재사고 비상대응 시나리오를 분석한 결과 24종류의 액티비티가 발생하는 것으로 나타났으며 이에 대한 Activity-Action Diagram(AAD)을 통하여 승객, 기관사, 역근무자, 종합사령실, 외부관계기관별로 역할을 정의하였다.

Activity-Action Diagram(AAD)의 기본 개념은 비상대응 행위의 주체와 지시 및 전달을 받는 주체로 나누어져 있다. 이는 우리의 일상행동에서 보면 행위를 하는 자와 행위를 받는 자로 생각하면 될 것이다. 그리고 Activity-Action Diagram(AAD)에는 의무적인 전달과 통보 그리고 비의무적인 전달과 통보 두 가지의 의사 전달 방법이 있다. 이것은 비상대응 관련 직원과 승객의 행동요령을 정리 하는데 있어 반드시 해야 할 의무들과 아닌 것들로 나누어져 있다고 볼 수 있다.

Figure 3은 열차 내 사고전파 Activity를 보여주는 것으로 상황전파, 비상방송지시, 비상방송 실시, All Call 4가지의 Action으로 구성되어지며 각각의 비상대응 주체별로 상호 지시, 요구, 실시 등으로 행동이 이루어지

Table 2. Symbol of activity-Action Diagram (AAD)

표기	설명	표기	설명
●	비상대응 행위의 주체	——▶	의무적인 전달 및 통보
○	지시 및 전달을 받는 대상	·····▶	비의무적인 전달 및 통보

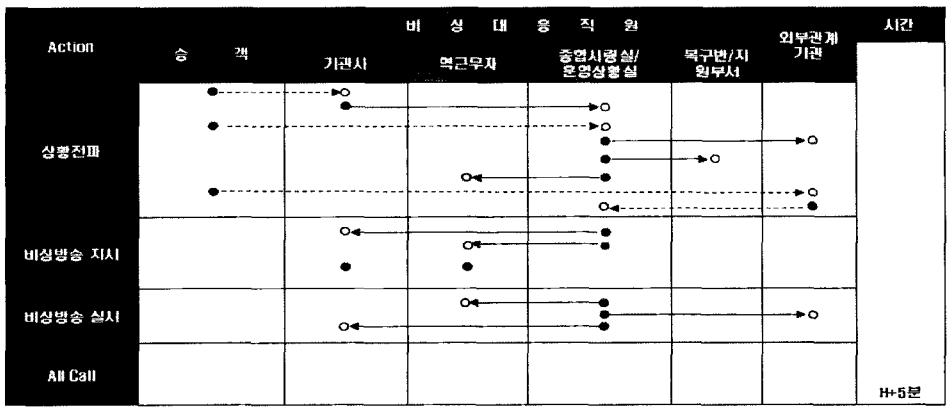


Figure 3. Accident propagate activity in train.

*비상대응 시나리오 : 철도비상사고 발생 시 승객긴급대피 및 비상사고대응 과정에서 발생할 수 있는 제반사건(Event)의 성공여부에 따라 일련의 대응을 흐름도 형식으로 종합화한 것.

**액티비티(Activity) : 비상대응 시나리오의 이벤트(Event)별로 비상대응 시 취해져야할 비상대응 요구사항을 말하여, 철도종류별 비상대응 요구상항은 도시 · 광역철도 24개, 일반철도 32개, 고속철도 30개 정의됨.

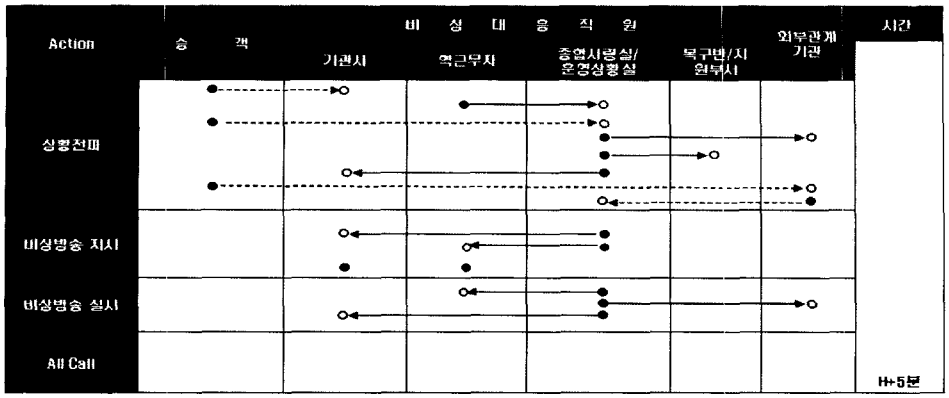


Figure 4. Accident propagate activity in platform.

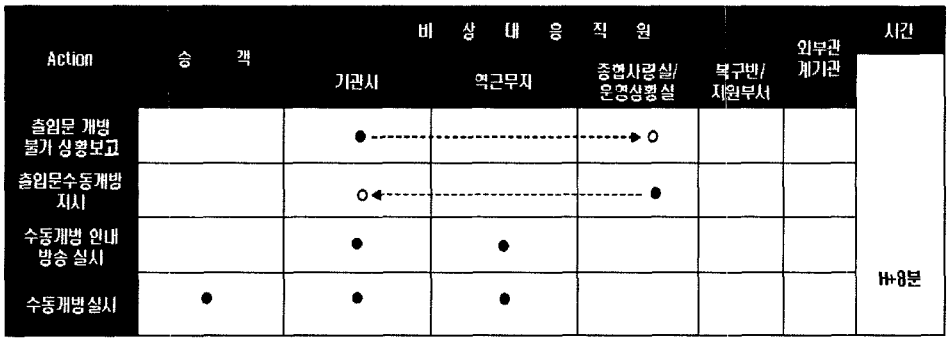


Figure 5. Train door manual open activity.

도록 하였다.

Figure 4는 역사 내 사고전파 Activity를 보여주는 것으로 열차 내 사고전파 Activity와 마찬가지로 상황전파, 비송방송지시, 비상방송 실시로 이루어지며 종합사령실 또는 운영상황실에서 비상방송실시가 이루어진다.

Figure 5는 출입문 수동개방 Activity로 먼저 출입문 개방 불가상황보고 Action의 경우 기관사가 종합상황실로 보고하여야 하며 둘째, 출입문 수동개방지시 Action의 경우 종합사령실은 기관사에게 출입문수동개방 지시를 내릴 수 있으며 셋째, 수동개방안내방송실시 Action의 경우 상황에 따라 기관사와 역 근무자를 열차 출입문 수동개방 방송을 실시하고 넷째, 수동개방 실시 Action은 상황에 따라 승객 또는 기관사, 역 근무자가 열차 출입문 수동 개방을 실시하도록 구성되어 있다.

4.3 Activity-Action Diagram(AAD) 활용을 통한 비상대응절차 수립

비상대응 시나리오를 기반으로 비상대응절차가 구축되며, 각 비상대응절차는 Activity-Action Diagram(AAD)을 시나리오 상에서 비상대응이 필요한 이벤트에 적용을 한다. 예를 들어 비상대응 시나리오에서 '사고인지' 이벤트가 있을 경우, 이때 필요한 대응조치 Activity로는 '역사 내 사고전파 Activity', '열차 내 사고전파 Activity' 등이 있을 것이며, 이 Activity에서 각 비상대응 주체별로 취해야 할 조치는 그 Activity의 Action이 된다. Figure 6은 화재 시나리오에 따른 Activity-Action Diagram(AAD)이용한 비상대응절차로 시나리오 전개상의 Event에 대응하는 Activity가 규정되어져 있다는 것을 보여주고 있다.

Figure 6에서 시나리오 전개상의 Event에 대응하는 Activity의 한 사례로 화재상황 전파 Event의 경우 열차내사고전파 Activity와 역사내사고전파 Activity가 실행되어야 하는 것으로 나타났다.

앞서 기술한 바와 같이 비상대응절차를 보면 시나리오 상에서 필요한 대응조치 Activity가 추가 되어 있는 것을 볼 수가 있다. 각각의 Activity를 다시 세분화하여 Action을 정리하면 Figure 7과 같은 비상대응주체별 대응절차가 만들어 진다.

Figure 7는 비상대응 주체별 대응절차의 한 사례로

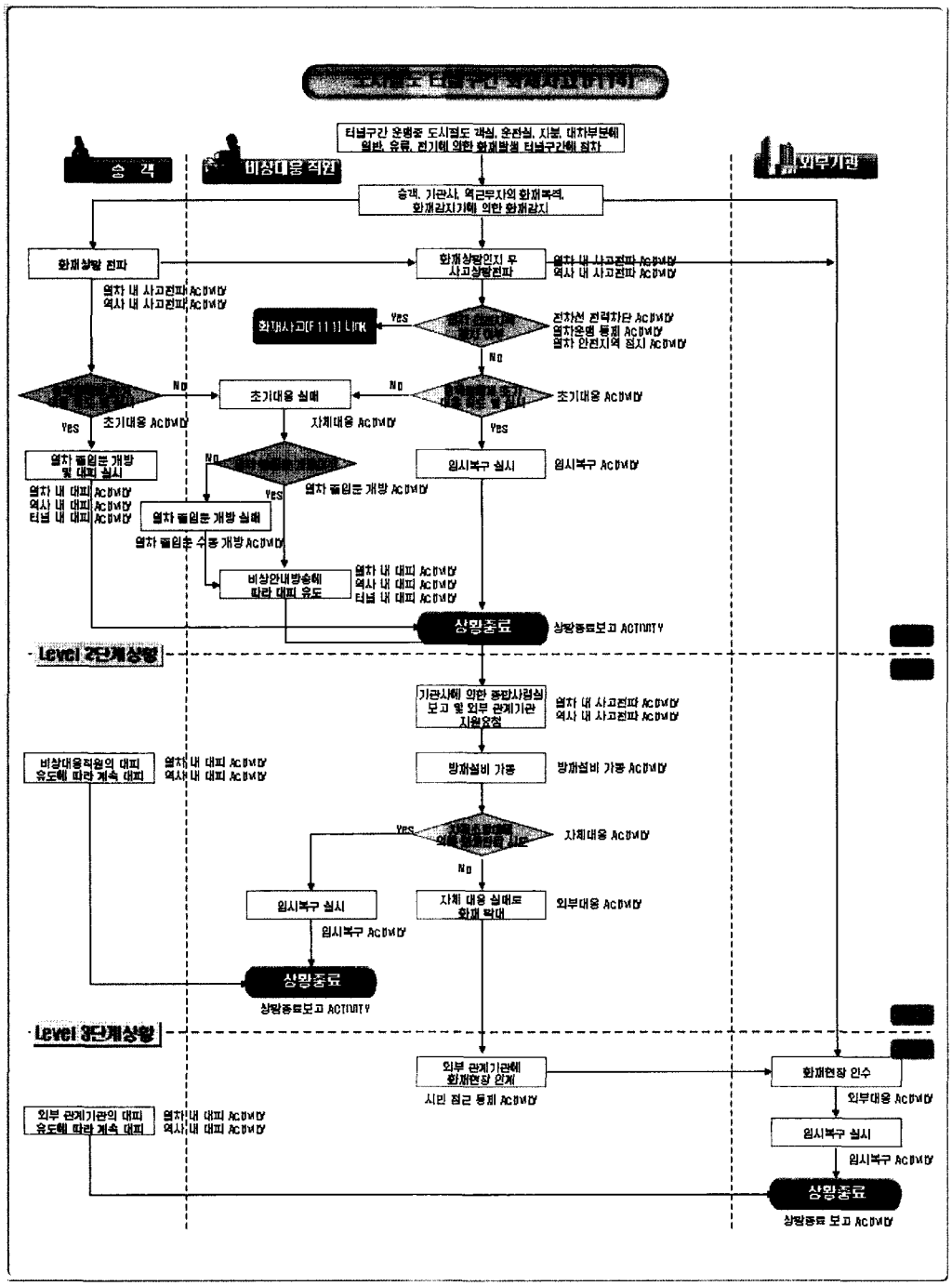
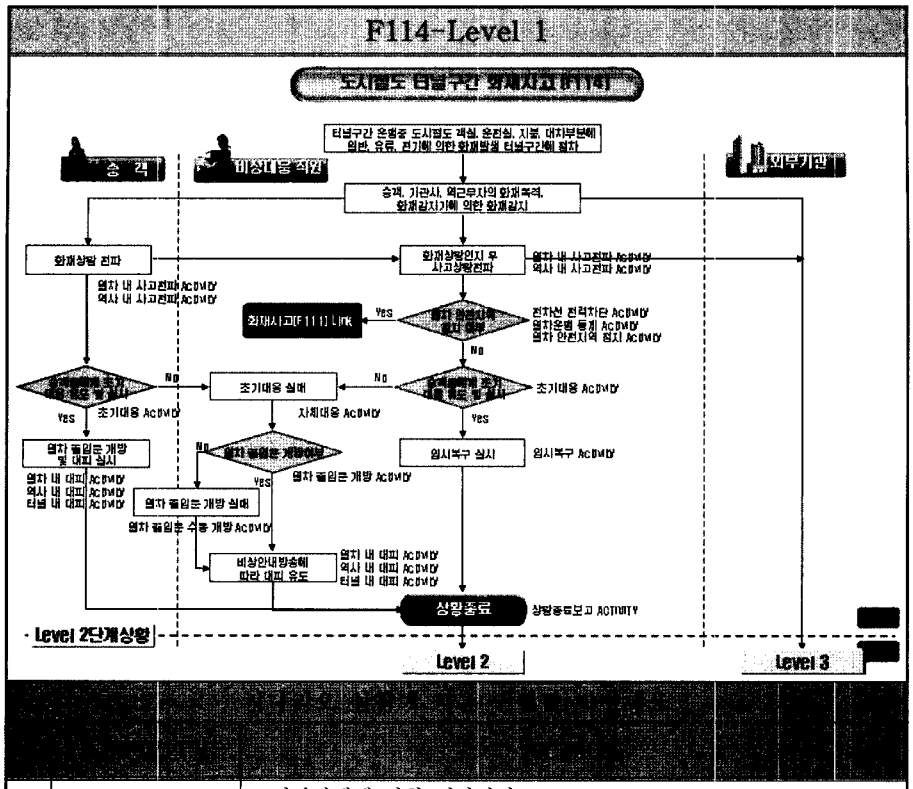


Figure 6. Emergency response procedure using AAD.

비상대응 주체 중 승객의 경우 해당하는 Activity는 열차 내 사고전파, 역사 내 사고전파, 초기대응, 열차 내 대피, 역사 내 대피, 터널 내 대피 총 6개의 Activity로 구성되어지며 앞서 살펴본 Activity-Action Diagram (AAD)상의 각각의 Action들을 정리하면 주체별 대응 절차를 수립할 수 있다.



승객	열차 내 사고전파	• 기관사에게 상황 전파한다. • 사령실에게 상황 전파한다. • 외부관계기관에게 상황 전파한다.
	역사 내 사고전파	• 기관사에게 상황 전파한다. • 역무원에게 상황 전파한다. • 사령실에게 상황 전파한다. • 외부관계기관에게 상황 전파한다.
	초기대응	• 승객이 초기대응 시도한다. • 기관사에게 대응상황 전파한다. • 사령실에게 대응상황 전파한다.
	열차 내 대피	• 열차에서 승객이 대피를 실시한다.
	역사 내 대피	• 역사에서 승객이 대피를 실시한다.
	터널 내 대피	• 터널에서 승객이 대피를 실시한다.

Figure 7. Emergency response procedure for passenger.

5. 결 론

지하철 화재 비상사고 발생 시 신속한 비상사고유형 파악과 그에 따른 적절한 비상대응절차의 적용은 사고피해를 최소화하기 위해 매우 중요하다. 본 논문에서는 오감에 의해 감지된 상황을 비상대응절차와 연계하는 오감인지대응 방안을 제시하였다. 특히, 오감(五感)에 의한 특징을 최초 사고의 인지 및 비상사고 유형의 판단을 위한 초기 인식 인자(Factor)로 활용할 수 있다.

본 연구에서는 화재사고로 나타날 수 있는 오감(五感) 유형을 분석하여 오감 정보를 통해 신속한 화재사고 정보를 전달할 수 있도록 오감 유형을 제안하였다. 또한, 화재 시나리오에 따른 비상대응을 Activity-Action Diagram(AAD)로 정의하여 비상대응을 시스템화 하기 위한 기반을 제시하였다.

감사의 글

본 논문은 2006년도 광운대학교 교내학술연구조성비 지원사업에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 노삼규, 함은구, 김시곤, "지하철 차량 방화사고 초기 대응에 관한 연구", 한국화재소방학회 논문지, Vol.20, No.2, pp.21-30(2006).
2. "도시철도시스템의 안전·방재 능력 향상 방안 연구", 건설교통부, pp.303-325(2003).
3. "철도사고 및 비상대응 관리체계 구축", 보고서, 건설교통부, pp.2-120(2005).
4. W.K. Chow, "Fire Safety of the Railway Systems", International Journal on Architectural Science, Vol. 5, No.2, pp.35-42(2004).
5. "도시철도 안전·방재 개선방안 수립을 위한 공청회", 한국철도기술연구원(2003).
6. "대구지하철설비관련 기술토론회", 대한설비공학회(2003).
7. "지하철 화재안전성능을 위한 전문가 포럼", 한국소방기술사회(2003).
8. "LegCo Panel on Transport Subcommittee on Matters Relating to Railways Preventive and Response Measures for Emergency Incidents", Kowloon-Canton Railway Corporation, pp.204-220, Feb.(2004).
9. "일본의 지하철 화재대책 검토", 총무성 소방청 특수대책실(2004).