

# 철도역의 여객유동과 피난안전성 및 역사의 내진



ㅣ 서 사 범 ㅣ  
(주)서현기술단 부사장  
공학박사/철도기술사

## I. 머리말

정거장은 철도의 운영에 중요한 시설로서 여객·화물 수송의 거점이다. 역은 철도와 도로 교통의 결절 점이고 동시에 상업 시설·버스 터미널·택시 승강장 등의 도시로서의 기능을 가지며, 주변의 사람들이 이합 집산하는 장소로서 하나의 소도시를 형성하고 있다.

철도를 이용하는 사람(여객)의 이동전체를 ‘여객유동’이라고 부른다. 이 ‘여객유동’을 가리키는 것에는 크게 두 가지가 있다. 하나는 철도의 노선망 전체를 볼 때의 역과 역간을 왕래하는 여객의 흐름, 예를 들어 A역에서 승차하여 B역이나 C역에서 내리는 여객의 이동경로나 규모를 가리키는 것이다. 그리고 또 하나는 역 안을 이동하는 여객의 흐름, 예를 들어 열차에서 개찰구로 가는 여객이나 1번 플랫폼에서 4번 플랫폼으로 갈아타는 여객의 보행경로나 규모를 가리킨다.

한편, 여객유동과 관련하여 대구지하철의 화재에 따른 참사는 기억에 새롭다고 생각된다. 이와 같은 화재로 인한 피해는 적지 않으므로 유사시에 혼란이 없이 여객을 유도하는 방법의 검토가 더욱 필요하다. 또한, 근래의 철도역은 대규모화·복합화가 진행되고 인접건물과의 연속성도 높아지게 되어 상호의 제휴를 위한 통일적인 피난대책도 또한 필요하다.

역사는 열차에 승강하기 위한 장소이며, 철도시설 전체 중에서도 중요한 구조물의 하나이다. 또한, 최근에는 도시

부를 중심으로 역사 중에 콩코스 등의 역 시설 외에 편리성을 높이기 위하여 판매 점포나 레스토랑 등의 상업시설이 병설되는 경우도 있어 불특정 다수의 이용자가 체재하는 장소로도 되어가고 있다. 이와 같은 역사를 지진의 흔들림으로부터 지키는 것은 인명의 확보나 철도의 조기회복 등의 면에서 중요한 과제이다.

‘여객흐름’은 시간이나 장소에 따라서 여러 가지 모습이 보이지만 본고에서는 역 안에서의 여객유동에 대하여 여러 가지 사례를 소개하면서 역의 사용방법을 고찰한다. 아울러 화재 시의 피난안전성의 향상을 목적으로 한 기초적인 피난실험 등을 소개하고, 마지막으로 역사의 내진설계나 지진대책에 대한 지금까지의 연구사례를 소개한다.

## II. 역에서의 여객유동

### 1. 통상시의 여객유동

#### (1) 역안의 여객유동

공공교통기관인 철도의 특징 중의 하나로서 대량수송능력이 있다. 다른 교통기관(비행기나 버스 등)에 비하여 하나의 차량에 탈 수 있는 여객수가 많고 차량을 몇 량이라도 연결하여 운행할 수 있으므로 한 번에 대량의 여객을 수송할 수가 있다. 그 결과, 역 안을 이동하는 여객의 흐름을 하천의 흐름으로 예를 취한다면 작은 하천과 같은 흐름뿐만 아니라 큰 하천과 같은 흐름으로 되는 일도 있다. 그 때문에 예전부터 역을 만들 때에는 이들의 흐름이 막히지 않는, 즉

스무드하게 이동할 수 있도록 충분한 크기와 수의 계단이나 통로를 설치하고 적절한 크기의 대합 스페이스를 설치하는 등, 여러 가지의 검토 등이 이루어져 왔다.

(2) 파동

역의 여객유동에 관한 고민의 하나로서 ‘파동’이라는 것이 있다. 하천의 흐름에서도 끊임없이 똑같은 흐름이 이어지면 그를 위하여 필요한 하천 폭이나 제방의 높이를 고려하는 것이 비교적 용이할지도 모른다. 그러나 실제로는 태풍이나 장마의 영향으로 하천의 수량은 크게 변화한다.

역의 여객유동에도 똑같은 상황이 적용된다. 역의 이용에도 시간적·공간적인 파동이 있고 이것은 철도의 이용자에게 호응하여 증감된다. 통근의 여객에 대하여 생각하면 특히 아침의 통근 시에 역의 이용자가 많은 경우는 그곳을 중심으로 검토할 필요가 있다.

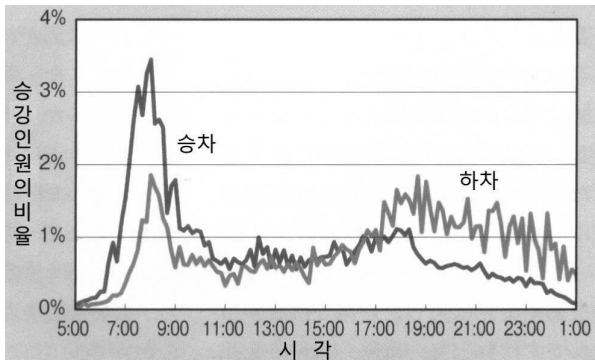


그림 1. 역이용자의 시각변동

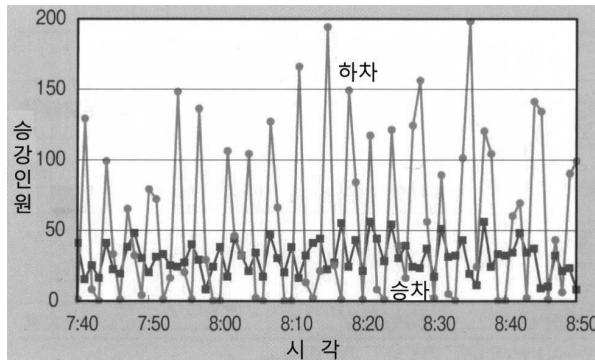


그림 2. 플랫폼 계단에서의 승강파동

그림 1은 도심근교 역의 1일 승강 인원 그래프이다. 이 역에서는 아침시간 대에 승차인원이 최대로 되어 있다. 이 승차와 하차의 양은 역에 따라서도 다르며 예를 들어 도심의 터미널 역에서는 하차가 많게 되는 것도 생각할 수 있다.

다음에 약간 자세히 보면 승차와 하차에서는 여객유동의 성질이 약간 다르다. 일반적으로는 하차의 쪽이 파동이 크다고 한다. 이것은 열차의 도착과 동시에 하차한 여객이 대량으로 역구내로 출현하기 때문이다. 한편, 승차하는 여객은 도보나 버스 등 비교적 완만한 시간분포로 역에 도착하므로 통상은 큰 파동으로 되지 않는다. 그림 2는 도심 통근 역의 플랫폼 통과인수를 나타내고 있다. 완만한 승차와 예리한 피크를 가진 하차의 상황이 눈에 들어온다.

(3) 통상시의 여객유동에 대한 대책

이와 같은 역에서는 조석의 러시시간대를 중심으로 하여 일상적으로 대량의 여객이 단시간에 이용한다고 하는 상황으로 되어 다른 건물에서는 매우 드물게 보이는 혼잡상태가 일상적으로 발생된다고 하는 특징이 있다. 그러므로 이용자가 적더라도 스무드하고 쾌적하게 이용할 수 있는 배려가 중요하다.

여객유동을 원활하게 하는 기본적인 사고방식으로서 흐름이 막히게 하는 요인(bottleneck·보틀넥)을 제거하는 것이 있다. 일상적으로 혼잡이 발생되기 쉬운 장소로서 전차의 도어, 플랫폼의 계단, 개찰구 등이 있으며, 이들의 장소에서 흐름이 막히지 않도록 하기 위하여 특정 차량만 혼잡하지 않도록 한다, 계단의 폭을 크게 하고, 계단의 수를 늘리며, 개찰구의 수를 늘리고, 개찰기의 처리속도를 올리는 등의 여러 가지 대책을 취하고 있다.

또한, 이들 대책의 효과나 현상의 문제점을 검토하는 데에 유용한 것이 계산식이나 컴퓨터를 이용한 시뮬레이션이다. 여기서는 ‘여객유동 시뮬레이션시스템’을 이용한 일례를 소개한다. 이를 이용하여 혼잡을 해소하기 어려운 개소를 시각적으로 확인할 수가 있다. 이와 같은 방법으로 컴퓨터상에서 여객 수를 늘려보기도 하고, 계단의 폭을 넓혀보기도 하여 여러 가지 대책을 시도하면서 역의 상황에 맞춘 대책을 검토하는 것이 가능하게 된다.

## 2. 통상시가 아닌 여객유동

다음에 매일 반복되는 조석의 러시아워 등 통상 시의 여객유동과는 달리 상정을 뛰어넘는 이상 시의 여객유동이나 상정하는 것 자체가 어려운 여객유동 등, 극히 희귀하게 밖에 보이지 않는 여객유동에 대하여 소개한다. 본고에서는 이들을 통칭하여 통상과는 다르다고 하는 의미에서 ‘통상시가 아닌 여객유동’ 이라고 표현한다.

### (1) 이벤트시등의 여객유동

일상적으로 보이는 여객유동과는 다르게 일 년에 몇 번 이라고 하는 빈도로밖에 보이지 않는 여객유동의 대표적인 것으로서 벚꽃축제, 불꽃축제, 가요콘서트 등과 같은 이벤트 시의 여객유동이 있다. 예를 들어, 역의 주변에 대규모의 집객시설이나 이벤트가 있는 경우에 특정한 날에만 통상시를 대폭으로 뛰어넘는 여객이 역을 이용하는 일도 있다. 이들 이벤트 시에 역에서의 여객유동의 특징으로서 이벤트의 종료직전 또는 직후에 역 이용자가 집중되는 점이 열거된다. 이것은 이벤트의 개시시각에 맞추어 서서히 사람들이 모이는 것에 비하여 이벤트 종료 후는 참가하고 있던 관객이 일제히 돌아가기 시작하는 것이 요인으로 되어 있다.

그 때문에 주변에서 정기적으로 개최되는 이벤트에 대비한 큰 공간을 가진 역을 제외하고 대부분의 경우에는 역 만으로는 수용할 수 없는 이용자가 역으로 집중하게 된다. 그 때의 대책으로서는 주변도로나 역전광장을 포함한 광역(廣域)에서의 여객의 유도나 역구내에서의 입장제한, 임시열차의 증발 등이 있다. 이 경우는 통상시 여객유동의 대책과 마찬가지로 흐름의 원활화는 당연한 것이면서 여객을 기다리게 하는 궁리도 필요하게 된다. 예를 들어 방향이 다른 여객이 교차하는 것을 방지하기 위한 책(柵)이나 로프를 이용하여 여객유동을 분리하기도 하고 여객의 머무름이 너무 크게 되지 않도록 될 수 있는 한 가늘고 길게 되는 열을 유도하기도 한다. 또한, 한시라도 빨리 역에 들어가고 싶다고 생각하는 여객의 혼란을 방지하기 위하여 열차의 도착상황이나 전방의 상황을 세세하게 전하는 등 정보 면에서의 배려도 필요하게 된다. 그러면 통상시가 아닌 여객유동에 대하여 어찌서 이와 같이 특별한 대책이

필요하게 되는 것일까? 여기에는 불행히도 과거에 일어난 사고에서 캐치할 수가 있다.

### (2) 여객유동에 관련된 사고사례

예를 들어, 추석과 설을 앞두고 서울의 주요 역에서 압사 사고가 발생된 사례가 있다. 추석을 앞둔 1974년 9월 28일 서울 용산역 경부선 구름다리 계단에서 귀성객과 휴가를 나온 군인 수백 명이 뒤섞여 넘어지면서 4명이 숨지고 38명이 다쳤다. 1960년 1월 26일 설을 이틀 앞두고 고향을 찾으려는 귀성객이 몰린 서울역에서도 목포행 완행열차를 타려던 승객들이 계단에서 한꺼번에 넘어져 31명이 숨지고 40여명이 중경상을 입는 사고가 발생했다. 평소보다 3배나 많은 4천여 명이 승차하고 출발시간 5분을 앞두고 개찰하는 바람에 먼저 열차를 타려는 승객들이 좁은 계단으로 무질서하게 몰려든 것이 사고원인이었다.

외국에서도 1996년 7월 31일 남아프리카공화국 요하네스버그 교외의 템비사 기차역에서 압사사고가 발생, 출근길 승객 15명이 숨지고 최소한 42명이 다쳤으며, 이날 압사사고는 기차역에서 승차권을 사기 위해 줄을 서있던 승객들이 인도교를 건너 역 안으로 밀려들어오자 안전요원들이 이를 저지하기 위해 전기봉을 휘두르면서 일어났다.

한편, 철도시스템이 통상대로 기능을 하고 있으면, 발생되지 않는 이용자의 증가가 우발적인 계기로서 갑자기 나타나는 일도 있다. 현재에는 각지에서 과거의 경험에서 얻어진 여러 가지 여객의 유도방법이 일상적으로 실천되고 있지만 그 근저에는 첫째로 이용자의 안전을 지키는 것이 중요하다는 인식에 있다.

### (3) 역에서 피난하는 여객유동

근년의 철도에서는 화재로 인한 대참사가 일어나지 않고 있지만, 사상자는 없었어도 주변에서의 화재사태나 작은 불 소동이 일어난 사례가 있다. 과거에 발생된 대구지하철 화재참사는 2003년 2월 18일 대구지하철 1호선 중앙로역에 정지한 전동차에서 한 정신지체장애인이 휘발유에 불을 붙이면서 발생한 사고로 모두 192명이 숨지고 148명이 다쳤다. 철도역에서 발생되는 화재 시에 역 안에 있는 여객전원을 안전하게 역 밖으로 유도하는 것도 일종의 여객유동의

역할이라고 생각할 수가 있다.

역에서 피난하는 여객유동을 고려할 때에 먼저 중요하게 되는 것은 피난사람의 수, 피난하는 방향이지만, 그 외에도 화재의 발생장소, 연기의 발생상황, 스프링클러나 배연기의 유무 등을 고려하여 화재로 인한 열이나 연기 등의 영향에 대하여 검토하는 것도 중요한 조건으로 된다. 이들의 조건은 건축기준법이나 소방법 등의 법률 외에 여러 가지 기술기준으로 정해져 있으며 이들에 의거하여 화재 시에도 여객이 안전하게 피난할 수 있는 역 설비의 정비가 이루어지고 있다.

이들 설비 면에서의 안전성을 확보하는 것은 최저조건으로서 실제의 피난이 행하여질 때에 불가결하게 되는 것이 여객에 대한 유도안내나 정보제공이다. 그러나 화재 시에 일어나는 여러 가지 돌발사항에 대하여 여객이 불안하게 느끼지 않는가, 당황하여 틀린 피난행동을 일으키지 않는가, 구전(口傳)으로 잘못된 정보가 흐르지 않는가, 등 심리적인 측면에서의 상정에는 한계가 있다.

이에 대한 대책으로서 고려되는 것은 역원에 의한 적절한 피난유도나 음성이나 시각을 이용한 정보의 제공이다. 피난시의 여객의 심리상태나 행동특성에 대하여는 미해명의 부분도 많이 있지만 이들의 정보제공이 적절하게 이루어짐에 따라서 피난자의 유동을 분산시키거나 전체의 피난에 걸리는 시간을 단축시키는 등의 효과가 있다고 생각되고 있으며, 계속적인 조사나 실험이 이루어지고 있다. 제3장에서는 역에서 화재시의 피난안전성 향상에 관하여 검토한 내용을 소개한다.

### Ⅲ. 역에서 화재 시의 피난안전성 향상

#### 1. 철도화재에 대한 외국의 대책사례

외국에서는 공사 중에 끊기어있던 가선과 차량이 접촉되어 팬터그래프에서 발생된 불꽃이 차량의 목재 지붕으로 인화되어 차량이 전소된 사례가 있다. 차량의 불연화가 진행되지 않았던 것 이외에도 창이 일부밖에 열리지 않아 탈출할 수 없었던 점이나 차량 간의 관통로 문의 여는 방향 등 차량구조상의 문제가 밝혀지게 되어 그 후의 긴급적인 대책으로서 방화도료의 도포나 관통로 문의 당기는 방식화 등이 강구되었다. 터널 내의 열차화재 후에는 차량 사용재료의

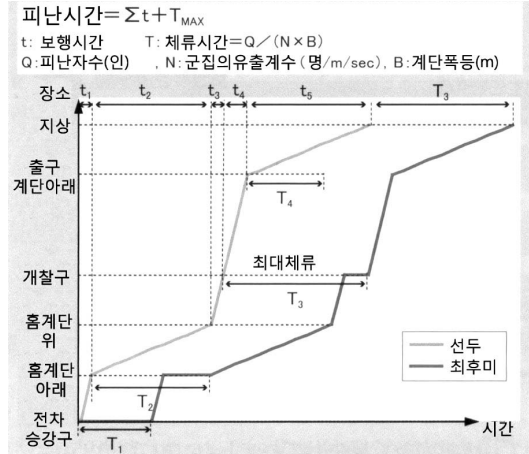


그림 3. 피난시간의 산출

불연·난연화가 강화되고 차량 바닥아래 기기로부터의 출화(出火)사고에서는 실제 차량의 연소실험이 행하여져 기준이 개정되었다. 또한, 터널의 열차화재 사고 후에는 산악 터널을 주행하는 차량의 화재대책이 강화되고 지하역 및 터널 화재대책의 검토가 이루어졌다.

철도에서 통상의 화원(火源)은 차량의 경우에 차량 바닥아래 기기로부터의 출화(出火)와 매점의 경우에 라이터 등을 이용한 방화가 상정되며, 대(大)화원은 차량의 경우에 가솔린 4리터를 이용한 방화와 매점의 경우에 가솔린 4리터를 이용한 방화가 상정된다. 이처럼 가솔린을 이용한 방화를 상정한 대(大)화원 화재의 상정과 화원에 대응한 피난자의 대피시간을 산출한다(그림 3).

통상적으로 화재 시에 발생하는 연기의 온도가 낮고 연기가 한결같이 확산되는 특성을 갖고 있기 때문에 피난안전의 조사(照査)에는 피난자가 피난을 완료한 시간에 연기농도가 허용치 이하인 것을 확인한다. 큰 화원의 화재에서는 화재 시에 발생하는 연기의 온도가 높고 연기가 천정의 면에 층을 이루어 유동하며 연기의 축적과 함께 연기가 하강하는 특성을 갖고 있기 때문에 바닥면에서 연기 층 하단까지의 높이가 피난 상 지장으로 되는 2m에 달하는 시간에 대하여 피난안전을 조사(照査)하고 있다.

일본에서는 차량화재의 경우에 플랫폼 층에서 콩코스 층까지의 피난시간을 일률적으로 7분, 콩코스 화재의 경우에

플랫폼 층에서 지상까지를 일률적으로 10분으로 하고 있다. 그리고 이 피난시간을 기초로 필요한 배연능력을 설계하고 있지만 근년에 역의 대규모화에 따라 역마다의 형태를 고려하여 산출할 필요에서 역의 규모(피난자수)와 형태를 고려한 방법이 제안되고 있다.

## 2. 역의 피난안정성 향상

역에서의 피난안전성을 향상시키기 위해서는 기준을 만족시키고 더욱 효과적인 설비 등의 배치나 기능을 부가시키는 것이 고려된다. 그래서 역 중에서도 기존 설치수가 많은 설비로서 조명 및 방송용 스피커에 주목하여 실험한 예를 소개한다.

### (1) 빛을 이용한 유도

비상조명을 교체한 경우의 조도(照度)는 바닥에서 1 렉스 이상으로 되도록 정하고 있다. 그러나 일률적으로 1 렉스의 빛 환경을 주기보다도 피난 상 유효하다고 생각되는 장소, 예를 들어 출구에 가까운 개소 등에서는 단 곳과의 밝기에 차이를 두는 것이 효과적이라고 생각된다. 그러므로 빛을 이용한 유도에 관한 기초적 실험을 소개한다.

30명의 피험자 군집이 피난할 때에 여러 광원 조건 하에서 두 개찰구 중에 어느 개찰구를 선택하는가를 실험한 결과, 광원이 있는 쪽의 개찰구 선택비율이 높았다.

피험자로 행한 개찰구 선택이유의 앙케트 분석에서는 광원이 없는 경우의 개찰구 선택이유는 '앞사람을 따라 갔기 때문' 이 반수를 점하고 있어, 광원이 없이는 경로판단이 어려워 추종형 행동을 취하는 경향이 강한 것을 알 수 있었다. 또한, 광원이 있는 경우에는 약 63%의 사람이 '밝기'를 이유로 개찰구를 선택하고 있기 때문에 빛을 이용한 효과가 나타나고 있는 것을 알 수 있었다. 한편으로 '사람에 추종'이라고 하는 이유가 다음으로 많아, 추종형 행동의 경향도 나타내고 있다. 또한, 광원이 없는 개찰구를 선택한 이유에서는 '다른 개찰구가 혼잡하였기 때문' 이 전체의 약 30%를 점하고 있어 혼잡을 회피하려고 하는 경향도 나타내었다.

### (2) 소리(音)를 이용한 유도

역에서는 평소에 고객에게 여러 가지 안내를 하기 때문에 많은 방송이 흘러나오고 있다. 또한 방송 이외에도 발소리

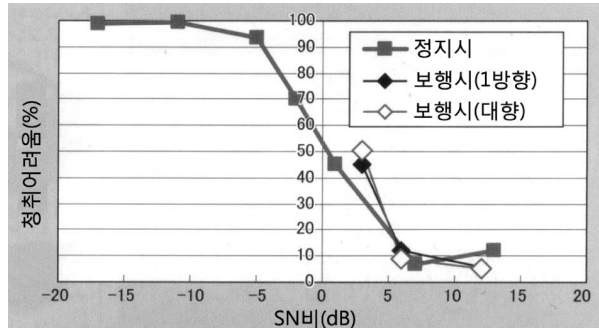


그림 4. 정지 시와 보행 시의 청취어려움

나 말소리 등 여러 가지 음이 넘치고 있다. 이들의 음 환경 중에서 화재 시에 이상을 전하는 방법으로서 비상경보설비가 있다. 비상경보설비에서 나는 경보음은 대단히 커서 많은 사람이 이상하게 느낀다고 생각된다. 그러나 경보음 후의 효과적인 피난유도를 할 때에는 장소마다 방송내용을 바꾸어 적절한 유도를 하여야 하기 때문에 그 때의 피난자의 이동 상태를 고려한 청취에 관하여 기초실험을 하였다.

실험은 친밀도가 높은 단어나 문장(대부분의 사람이 일상적으로 잘 사용하는 단어)을 피험자가 청취하고 이것을 '청취하기 어렵지 않다'로부터 '대단히 청취하기 어렵다'까지 4단계로 회답하여 '청취하기 어렵지 않다' 이외의 회답을 한 피험자의 비율로 평가하는 청취 어려움 실험을 정지 시와 보행 시에 행하였다.

정지 시에서는 평가지점에 피험자를 세워 음성방송을 청취하고, 보행 시에는 두 지점 간을 전원(全員)이 이동하는 '한 방향'의 경우와 두 지점에 피험자를 반분으로 나누어 대기시키고 그 후에 동시에 반대지점으로 이동하는 '대향'의 경우 등, 2 종류의 보행조건으로 행하였다.

그림 4의 실험결과를 보면 SN비(방송과 방송이외의 소음레벨 차이)가 1~3 dB인 때에 정지 시와 보행 시에 약간의 차이가 보인다. 또한 SN비가 작은 경우에 보행상태가 복잡한 방향의 쪽이 1방향보다도 청취하기 어려움이 약간 증가한다고 하는 경향이 일어났다.

이번의 실험조건에서는 음성방송에 의식이 집중되어 있었기 때문에 청취하기 어려움에 큰 차이가 나지 않았다고 생각된다. 향후는 실제 피난 시의 의식에 보다 가까운 상태



를 재현하여 피난 시의 중요한 정보로 되는 방송내용의 청취에 관한 검토가 진행될 것이다.

### 3. 화재시 피난상황의 재현

화재 시의 피난을 상정한 실험을 할 경우에 당연하지만 실제의 불을 다루는 것이 아니라 피험자의 쪽에 화재가 발생되고 있는 상황을 상정하여 두고 그 전제조건 하에서 실험을 한다. 그 때에 말로서 하는 설명뿐만 아니라 그림을 보여주기도 하고 실제 화재의 음을 듣게 하기도 하며, 연기를 발생시키기도 하여 보다 현장감이 있는 설정을 하고 있다. 그러나 단어나 그림만으로는 반드시 피험자에게 통일의 환경을 설정하여주지 않기 때문에 상상력을 어느 정도 통일화할 필요가 있다.

그래서 근년에 발달되고 있는 버추얼리티(Virtuality, VR; 인공현실감) 기술을 활용한 실험방법이 고려된다. 컴퓨터기술의 발달에 따라 버추얼(virtual) 공간을 리얼타임(realtime)으로 렌더링(rendering, 물체의 보는 쪽을 컴퓨터가 계산하면서 화상을 작성하여가는 것)하는 것이 가능하게 되어 보다 알기 쉬운 상정환경을 피험자에게 제시할 수가

있게 되었다. 기존의 버추얼리티 기술을 이용한 화재관계의 설비에는 일본의 경우에 소방연구센터의 'fire cube'가 있다. fire cube는 대형의 스크린에 CG(Computer Graphics)로 재현한 화재영상을 투영하여 화재상황과 연동하여 실내의 온도나 습도, 그리고 연기를 발생시킬 수가 있는 시스템이다. 실제의 화재를 체험하는 것이 현실적이지는 않기 때문에 과거의 화재사례를 재현하여 체감함으로써 방화안전의 교육·훈련에의 적용이나 안전대책을 확인하는 것을 목적으로 하고 있다.

또한, 버추얼(virtual)과 리얼(real)의 융합이라고 하는 관점에서 VR의 진화系라고도 하는 AR(Augmented Reality; 확장현실감)기술도 진화되고 있다. AR이란 현실의 공간에 컴퓨터를 이용하여 정보를 부가하는 기술이며 게임에서의 료까지 다양한 분야에서 현재 응용연구가 행하여지고 있다. USB 카메라 등으로 대상을 보면 현실공간에 설치한 마카라고 부르는 식별자의 장소에 실제로는 존재하지 않는 물체가 표시되는 시스템이며 주로 헤드마운트 디스플레이(HMD, 두부에 장착하는 소형의 디스플레이)를 이용함으로써 현실공간과 가상공간을 링크시켜 몰입감각을 얻을 수가 있다.

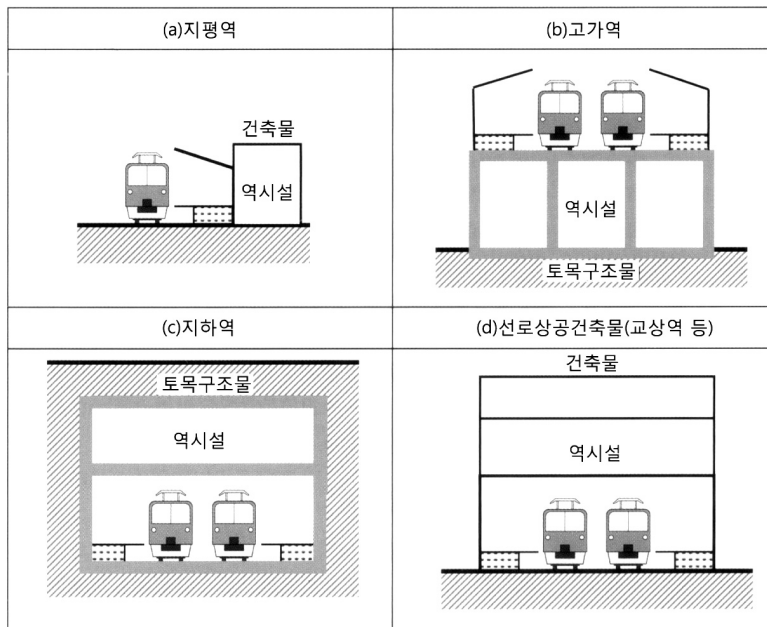


그림 5. 역사의 구조적인 형태분류

이들의 최신기술을 역 시뮬레이터에 입력시킴으로써 보다 현실감이 있는 화재피난실험이 가능한 설비의 개발이 이루어지고 있다.

#### IV. 역사의 내진설계와 지진대책

##### 1. 여러 가지 역사의 형태

역사의 구조적인 형태는 선로와의 위치관계 등에서 주로 그림 5와 같이 분류할 수 있다. (a)는 선로의 옆에 역사가 있는 타입으로 지평역이라고 부른다. (b)는 고가 역으로 토목구조물의 고가교 아래를 콩코스 등의 역 시설로서 이용하는 타입이며 선하역사라고도 한다. (c)는 지하역으로 지하의 토목구조물 중에 역 시설이 있는 타입이다. (d)는 선로의 상공부분 위로 건축물을 구축하는 타입이며, 이와 같은 건물을 '선로상공 건물'이라고 부른다. 2층 부분에 콩코스 등이 있는 저층의 역이 이른바 교상역이라고 하는 것이며 더욱 상층에 상업시설을 병설한 역을 역 빌딩 타입도 있다.

일본에서는 이 중에서 (a), (d)가 건축기준법에 기초한 설계가 요구되지만, (d)의 선로상공 건축물은 일반의 건물과는 다른 구조적인 특징이 있기 때문에 특별한 설계법을 적용하여 큰 지진의 흔들림에 대하여도 안전을 확보할 수 있도록 하고 있다. 여기서는 이 선로상공 건축물의 내진설계법을 중심으로 소개한다.

##### 2. 선로상공을 이용한 건물의 특징

선로상공을 이용한 교상역이나 역 빌딩은 토지의 유효이용이나 선로로 인한 시가지의 분단을 피하기에 적합한 구조 형태이다. 선로를 넘어가기 때문에 일반건물과 비교하여 구조상의 특징이 몇 가지 있다(그림 6). 먼저 선로나 플랫폼이 있는 최하층(선로 층)은 열차가 주행하는 공간을 확보하기 위하여 높이가 일반건물의 배에 가까운 점이나 복수의 선로를 넘어가기 때문에 기둥과 기둥의 간격이 긴 점이 열거된다. 특히 특징적인 것이 일반건물에서는 설치되는 기초말뚝의 정부(頂部)를 지중부에서 연결하는 부재(지중 보)가 대부분의 경우에 생략되는 점이다. 그 이유는 선로상공 건축물은 기설의 영업선로의 바로 위에 건설되는 경우가 많

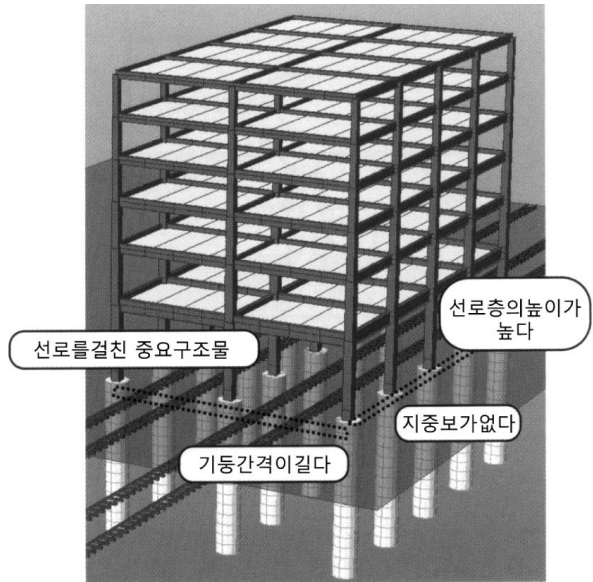


그림 6. 선로상공 건축물의 특징

고 그 경우에 선로 아래나 선로근접부분의 지반을 굴착하여 지중 보를 시공하는 것이 안전성의 확보나 경제성의 면에서 어렵기 때문이다.

용도상의 중요성에 대하여도 일반건물과는 다른 특징이 있다. 선로 층을 열차가 주행하여 다수의 여객이 이용하는 점이나 지진 후의 신속한 역 기능의 복구를 고려하면 내진 성능을 보다 높이기 위한 설계가 요구된다. 또한, 철도시설 전체의 내진성능의 관점에서 고가교 등의 토목구조물과의 내진성능의 정합을 도모할 필요도 있다.

##### 3. 지진 시 거동의 탐색

지중 보를 생략한 건물에서는 기초말뚝의 거동이 상부구조의 거동에 큰 영향을 준다. 그 때문에 모래나 점토질의 지반에서 실물크기의 기초말뚝을 설치하고 수평방향으로 힘을 가하여 그 거동을 조사하였다. 실험결과로부터 기초말뚝의 변형이나 응력상태를 확인하고 설계에 이용하는 해석 모델의 타당성을 검증하였다.

또한, 지진 시에 지반과 건물은 상호에 영향을 주지만, 특히 지중 보가 없는 건물에서는 그 영향이 크게 되는 점에 상된다. 그래서 지반을 분할하여 질량을 가진 점과 그들을

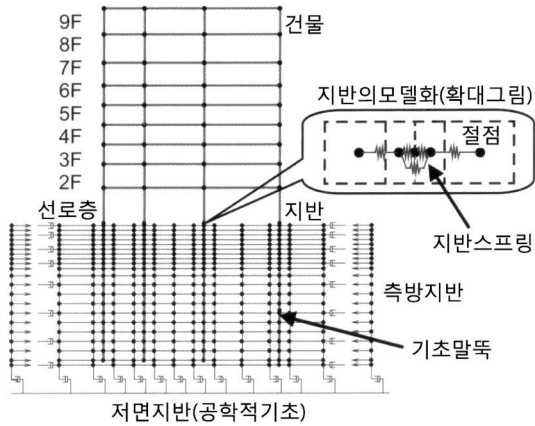


그림 7. 지반과 건물을 일체화한 해석모델(격자모델)

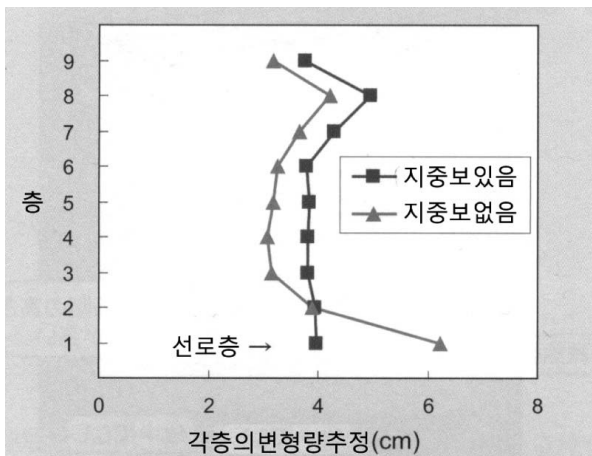


그림 8. 지진 시에 생기는 각층 변형량의 추정예

연결하는 스프링으로 치환하여 스프링을 기초말뚝으로 접속하는 것으로 지반과 건물을 일체화한 해석모델을 작성하였다(그림 7). 지반의 스프링이 격자와 같이 보이므로 격자 모델이라고 부르고 있다. 이 모델에 지진동을 입력하여 그때의 거동을 해석한 예를 그림 8에 나타낸다. 지중 보가 없으면 선로나 플랫폼이 있는 선로 층에 변형이 집중하여버리기 때문에 선로 층의 설계에는 특히 주의할 필요가 있음을 알 수 있었다.

4. 지진의 흔들림에 대한 대처

건물의 설계에서는 건축에 관한 법률이 있지만 이것은 일

표 1. 내진성능 목표의 예

지진동 레벨	인명	열차운행	기능
중소지진	○	○	○
대지진	○	○	△
최대급 지진	○	△	×

○ : 보증할 수 있다, △ : 보증할 수 없는 경우도 있다, × : 보증할 수 없다

반건물을 대상으로 한 필요최저한의 규정을 나타내고 있다고 한다. 그 때문에 특수한 구조형식과 중요한 용도를 아울러 가진 선로상공 건축물에서는 건축에 관한 법률을 기본으로 하여 건물의 특징에 의거한 보다 높은 내진성능의 확보가 필요하게 된다. 그러므로 선로상공 건축물에 대한 설계법을 작성하여 설계실무에 활용하고 있다. 일본에서의 이 설계법의 기본적인 고려방법은 다음과 같다.

(1) 목표로 하는 내진성능

선로상공 건축물의 설계에서 목표로 하는 내진성능을 표 1에 나타낸다. 특히, 선로 층에 대하여는 열차가 운행하는 공간을 덮은 셸터(shelter)로서의 중요성을 고려하고 있다. 건물의 존속기간 중에 수 회 일어난다고 예측되는 중소규모의 지진에는 건물로서의 기능을 보증하고 내용연수 중에 1회 조우하거나 하지 않는 대지진에는 선로 층을 경미한 손상으로 머물러 열차의 운행이 확보될 수 있는 것을 목표로 하고 있다. 또한, 극히 빈도가 적은 최대급 지진에 대하여도 인명에 피해를 주는 붕괴·도괴에는 이르지 않을 것과 지진 후에 열차운행의 조기 복구가 가능할 것을 목표로 하고 있다.

(2) 건물의 손상제한

모든 지진에 대하여도 전혀 파괴되지 않는 건물이 실현될 수 있으면 이상적이지만, 부재의 손상으로 건물에 입력하는 지진에너지를 흡수하는 것이나 경제성의 관점에서 무손상의 건물을 설계하는 것은 한 마디로 합리적이라고는 말할 수 없다. 또한 상정을 약간 상회하는 지진에 대하여 곧바로 붕괴되어버리는 여유가 없는 건물이어도 곤란하다. 따라서 어떻게 손상되면 안전에 대한 신뢰성이 보다 증가되는가라는 것이 설계에서 특히 중요하게 된다.



먼저 건물의 손상발생 패턴이 선로 층보다 위의 층이 먼저 손상을 받으면 손상된 부위에서 에너지를 흡수하는 일도 있어 선로 층에 작용하는 지진력은 크게 되지 않는다. 따라서 열차가 주행하는 선로 층의 중요성을 고려하여 선로 층을 상층보다 먼저 손상되지 않는 설계를 추천하고 있다. 또한 보는 하층이 작용한 때의 변형 능력이 일반적으로 기둥보다 크고 손상되어도 건물전체의 붕괴·도괴에 이를 가능성이 낮기 때문에 보는 기둥보다 먼저 손상시키는 쪽이 좋은 설계라고 한다. 더욱이, 기초말뚝의 손상은 지중 보가 없는 경우에 건물의 붕괴·도괴를 일으킬 우려가 높기 때문에 지진동의 크기에 따라 기초말뚝의 손상을 제한할 필요가 있다.

### (3) 토목구조물과의 정합

철도에 관련되는 구조물은 역사 이외에도 다수 있지만, 예를 들어 고가교는 토목구조물로서 다루고 있다. 그 때문에 그 설계에는 철도토목구조물의 내진기준이 적용된다. 그렇지만, 토목과 건축의 기준에서는 대상으로 하는 지진동의 크기가 다르며, 토목의 쪽이 건축보다 큰 지진동을 상정하고 있다. 즉, 고가교와 선로상공 건축물에서는 쌍방 모두 철도시스템의 일부를 담당하는 구조물이면서 크게 다른 지진에 대하여 안전성을 평가하는 것으로 된다. 그래서 토목구조물의 내진설계에 이용되는 지진동(1.2 지진동)을 최대급 지진동으로 정하고 기타 진동에 대하여 선로 층이 붕괴되지 않는 것을 확인하고 있다. 이 검토에 따라 같은 철도관련 시설로서 내진성능평가의 정합을 취하도록 하고 있다.

## 5. 시설 역사의 지진대책

기존 교상 역 중에는 내진성이 낮은 것도 있어 필요에 따라 내진보강이 진행되고 있지만, 선로 층에서는 열차주행이나 여객유동을 저해하기 때문에 일반건물과 같이 기둥과 기둥 사이에 엇 걸치는 지주를 설치하거나 벽을 증설하는

것은 제약이 있다. 또한 보나 기둥을 보강하여 강도를 너무 높이면 지진 시에 기초말뚝에 작용하는 힘이 증대할 우려가 있다. 그래서 합리적인 내진 보강방법으로서 기둥과 보의 접합부 부근에 방장(方丈)모양의 댐퍼를 설치하여 그곳에서 내진 에너지를 흡수시키는 공법을 개발하고 있다. 댐퍼에는 특수한 강재나 점성재 등을 이용할 수가 있다. 대형 진동대에서의 실험이나 지진응답 해석에 따라 댐퍼가 유효하게 작용하여 부재의 변형이나 응력이 작게 되는 것을 확인할 수 있었다. 이 공법은 신설 역사에도 적용할 수 있다.

## V. 맺음말

역에서의 여객유동을 여러 가지 측면에서 보았지만, 시뮬레이션 기술의 진보에 따라 통상시의 여객유동을 보다 상세히 검토할 수 있게 되었다. 그러나 시대의 흐름과 함께 여객유동을 구성하는 이용자의 행동특성이나 소지물의 변화 등, 역의 사용방법도 끊임없이 변화되고 있다. 또한 통상시가 아닌 때에도 눈을 돌려보면 사례자체가 적어 미해명의 부분도 많아 장래에 걸쳐 안전한 역을 유지시켜가기 위해서도 지속적인 조사연구가 필요하다고 생각된다.

철도역에서의 피난안전성은 과거의 화재사례 마다의 대책으로 일정한 수준에 달하고 있지만, 보다 안전하고 원활한 피난을 가능하게 하는 설계와 설비의 개발을 목표로 하여 실험이 계속 진행되고 있다.

또한, 선로상공을 이용하는 역사(선로상공 건축물)의 내진설계 고려방법을 기술하였지만 이외에도 역의 설비나 천정·마무리 재료 등의 내진성 향상도 중요하다. 더욱이 지진 시 여객의 피난유도 등 소프트 면에 대하여도 검토할 필요가 있다고 생각된다. ☺