

경전철 고가구조물 슬림화를 위한 콘크리트 재료 연구동향

Study Trend of Concrete Material for a Downsizing on the LRT Elevated Structures

신정열*, 박재임*, 이안호*†

Jeong-Ryol Shin*, Jae-Im Park*, An-Ho Lee*†

Abstract Light rail transit (LRT) system has been generally constructed in the form of elevated structures in Korea. Without taking into account the point that LRT system is constructed within the city, massive structures which spoil urban aesthetics were constructed by considering only their functional aspects. It does make it difficult to do the LRT projects. Therefore, the rational design and construction technologies of elevated structures should be developed by considering functionality, economic feasibility, safety, and its aesthetics. In order to reduce the scale of structures, its weight, and the maintenance costs, the trend is that eco-friendly lightweight concrete, which has high-strength and high-performance, is applied to the civil structures such as bridges. In this paper, authors investigated and analyzed the recent research trend on the concrete as a basic research on the downsizing technology of elevated light-rail structures.

Keywords : light rail transit, elevated structure, high performance concrete, high strength concrete
lightweight concrete

초 록 최근 신교통 수단으로 건설된 부산, 김해, 의정부, 용인 등 국내 경전철은 상당 부분 도심지 고가형태로 건설되어 있다. 건설 당시, 도심지 내에 건설되는 점을 고려하지 못한채 구조물의 기능적인 측면만을 고려하여 형고가 높고 단면이 큰 육중한 기존의 철도 고가구조물 형태로 건설되어 도시 미관을 해치고 있다. 이로 인해 고가형태의 경전철 사업추진이 어려운 실정이다. 최근 국내외에서 콘크리트 구조물의 자중 및 부재의 단면저감과 함께 유지관리비를 절감하기 위해 고강도, 경량화 및 친환경적인 고성능 콘크리트를 교량 및 토목구조물에 적용하려는 사례가 증가하고 있는 추세이다. 이에 본 연구에서는 경전철 고가구조물의 슬림화를 위한 기초 연구로서 구조물의 미관과 더불어 기능성, 경제성 및 안정성을 모두 고려한 합리적인 설계 및 시공기술 개발을 위하여 최근에 개발된 고강도, 고성능 및 경량화 콘크리트에 대한 연구동향을 조사 분석하였다.

주요어 : 경전철, 고가구조물, 고성능콘크리트, 고강도콘크리트, 경량콘크리트

1. 서 론

최근 대도시의 교통문제를 기존 도시철도시스템에 비해 경제적이고 효율적으로 해결하기 위해 부산, 김해, 의정부, 용인 등의 지자체는 경전철을 도입하였으며 상당 부분 도심지 고

† 교신저자: 한국철도기술연구원 광역도시교통연구본부 저심도·경전철연구단(ahlee@krrri.re.kr)

* 한국철도기술연구원 광역도시교통연구본부 저심도·경전철연구단

가형태로 건설되어 있다[1]. 이러한 경전철 등 도시철도 고가구조물은 일반적으로 도심지 내에 건설되는 공공시설물이고, 반영구적인 대형 구조물이라는 특성을 가진다. 하지만 이들 고가구조물의 경우, 도심지 내에 건설되는 점을 고려하지 못한 채 구조물의 기능적인 측면만을 고려하여 형고가 높고 단면이 큰 육중한 기존의 철도 고가구조물 형태로 건설되어 도시 미관을 해치고 있다. 이에 구조물의 미관은 기능적인 측면과 더불어 반드시 설계 시 고려해야 되는 필수 항목이다.

최근 국내외에서 콘크리트 구조물의 자중 및 부재의 단면저감과 함께 유지관리비를 절감하기 위해 고강도, 경량화 및 친환경적인 고성능 콘크리트를 연구하고, 이를 초고층 콘크리트 건축물 및 장대교량 등 초대형 구조물에 적용하려는 사례가 증가하고 있는 추세이다[2].

이에 본 연구에서는 경전철 고가구조물의 슬림화를 위한 기초 연구로서 구조물의 미관과 더불어 기능성, 경제성 및 안전성을 모두 고려한 합리적인 설계 및 시공기술 개발을 위하여 최근에 개발된 고강도, 고성능 및 경량화 콘크리트에 대한 연구동향을 조사 분석하였다. 향후 이를 바탕으로 저비용 고성능 도시철도 인프라 기술 개발에 활용하고자 한다.

2. 본 론

2.1 콘크리트 기술개발 동향

콘크리트는 국가 기간시설의 핵심을 이루는 고속도로, 교량, 고속철도, 지하철, 항만 및 해양 구조물 등의 건설에 중요하게 활용되고 있다. 신소재의 발달과 설계기술의 진전 등으로 콘크리트는 강도, 내구성이 현저하게 향상되어 교량분야에서 콘크리트 교량이 70% 이상 차지하고 주경간 50m 이상의 장대교량을 제외하고는 거의 모두 콘크리트를 기반으로 하고 있어 각종 사회기반시설의 건설에 가장 기본이 되는 건설재료로 성장하였다[2]. Fig.1은 국내외 콘크리트 기술 개발 동향을 나타낸 것으로, 전 세계적으로 이산화탄소배출량 감소에 발맞춰 시멘트 및 콘크리트의 사용량을 감소하기 위한 시멘트 대체재료와 고성능 콘크리트의 활용 및 무시멘트 콘크리트 개발을 위한 신소재의 활용 방향으로 연구가 활발히 수행되고 있다.

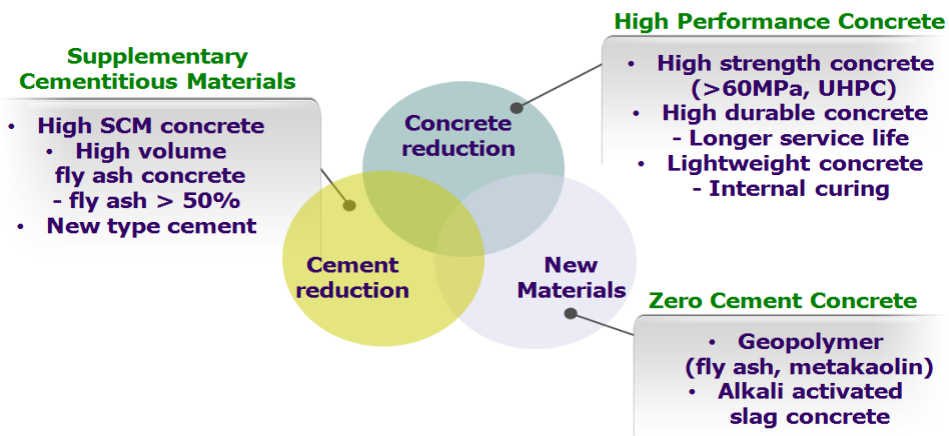


Fig. 1 R&D trend of concrete(extract : concrete engineering lecture(Cha Su Won))

2.1.1 고강도화

고강도 콘크리트는 보통강도의 콘크리트에 비해 압축강도가 대폭적으로 향상된 콘크리트를 말하며, 그 구체적인 의미는 국가나 지역, 사용 분야 등에 의해 Table 1과 같다. 일반적으로 설계기준강도가 40MPa 이상의 콘크리트를 고강도 콘크리트로 정의하고 있다.

Table 1 Strength range according to concrete classification

Code		Normal strength concrete (MPa)	High strength(light weight) concrete (MPa)	Light weight concrete (MPa)
Korea	Allowable stress design	15이상	-	-
	Architectural standard specification	18~40	40	-
	Concrete standard specification	18~40	40 (27)	15~24
	KS F 4009	18~35	40	-
U.S	ACI 318-02	18	42	-
	ACI 363			
Japan	AIJ	13~36	27~36 (24~27)	12~24
	JSCE	18~60	60~80	-

고강도 콘크리트는 1960년대부터 개발 및 실용화되기 시작했으며 고성능 AE 감수제 등의 우수한 혼화제의 개발과 함께 그 실용성이 증가되었다. ACI 363 위원회에서는 설계기준강도 42MPa 이상의 콘크리트를 고강도 콘크리트로 할 것을 제안하여 구체적인 품질관리 방안 및 시공방안을 제시하였다. 친환경 건설재료인 실리카 폼, 플라이 애시 및 고로슬래그 미분말 등의 혼화재료를 혼입한 시멘트를 사용하여 100MPa 이상의 초고강도 콘크리트를 생산 실용화하고 있는 실정이다. 국내에서도 고층화, 대형화, 특수구조물인 고속 철도, 장대교량 등 사회적 요구에 의해 1990년대 후반부터 초고강도 콘크리트에 대한 기술개발이 시작되었으며 최근에는 국내 대형 건설사를 중심으로 80~300MPa 급 초고강도 콘크리트 시공실적도 증가하는 추세이다.

경전철 고가구조물에 고강도 콘크리트를 적용하게 되면 부재의 단면이 감소하여 자중이 감소되고 미학적 측면에서도 좋은 효과를 거둘 수 있다. 또한 강도의 증가와 함께 탄성계수가 증가하여 부재의 강성을 높여 처짐을 감소시키고 구조거동을 개선하는데 도움을 준다. 그 외에도 인장강도의 증진 효과나 수밀성의 개선 등으로 인해 장대교량이나 열악한 환경 하에 있는 주요 구조물에도 아주 유용하게 적용될 수 있다.

2.1.2 경량화

콘크리트는 단위질량에 비하여 압축강도가 낮고 단면이 커서 자중이 증가되는 단점에 구조물을 슬림화하기 위해 콘크리트를 경량화 하려는 연구가 수행되고 있으며, 골재의 전부 또는 일부를 인공 경량골재를 사용하여 만든 콘크리트를 경량 콘크리트라 정의하고 있다[3]. 경량 콘크리트는 적용 목적에 따라 구조용 및 비구조용으로 분류되며 구조용 경량 콘크리트는 기건 단위질량 1,400~2,000 kg/m³, 강도는 25~50 MPa 정도가 주로 사용되며, 최근 경량 콘크리트를 고강도화하기 위해 고로슬래그 미분말 및 실리카 폼 등을 혼입한 시멘트를 사용한 연구가 활발히 수행되고 있다.

최근의 콘크리트 동향 조사 논문[2]에 따르면, 경량 콘크리트는 고정하중 감소에 따른 구조부재의 단면 축소 및 다양한 스펙과 구조에 적용할 수 있어 구조적인 측면에서 효용성이 높기 때문에 미국 샌프란시스코에 있는 오클랜드 베이 브리지의 경우 교량상판에 경량 콘크리트를 적용해 약 300만달러 이상의 철골투입량을 줄였으며, 호주 시드니의 스퀘어에는 7층 이상의 보, 기둥 및 슬래브에 3만1천m³의 고강도 경량콘크리트를 타설해 약 13%의 건설비용을 절감한 것으로 보고되며 지간 368m 사장교와 1,246m의 부교로 구성된 노르웨이 노드홀랜드 브리지에도 설계기준강도 55 MPa 고강도 경량 콘크리트가 적용되어 건축 및 토목구조물에의 적용이 활발히 진행되고 있다(Fig.2). 반면에 국내의 경우는 아직 경량 콘크리트에 대한 인식 부족과 인공 경량골재 경제성 문제로 인하여 교량 등 토목구조물에는 적용된 사례는 없고 구조용 경량 콘크리트를 여의도 아일렉스타워의 콘크리트 리모델링 구조물에 시범적으로 적용되는 등 일부 건축구조물에 적용된 사례만 있는 실정이다.

특히 경전철 고가구조물의 경우, 구조물에 작용하는 상부하중 비율을 보면 상부구조의 사하중이 활하중에 비해 상당히 커서 사하중 지배구조라 할 수 있다. 이에 고강도 경량 콘크리트의 적용을 통해 상부구조물의 사하중을 줄인다면 하부구조물의 단면을 최소화할 수 있다.

이처럼 경량 콘크리트의 경전철 고가구조물 적용을 위해서, 경량골재 및 경량 콘크리트 품질의 안정성 확보 기술 및 경량 콘크리트의 고강도화 기술 연구가 추진될 필요가 있다.



(a) Oakland bay bridge, USA



(b) Australian Square, Australia

Fig. 2 Application case of lightweight concrete[2]

2.1.3 고성능화

토목시공기술의 발전과 콘크리트 구조물의 고층화, 대형화 및 특수화됨에 따라 부재의 형상이 다양하고 복잡해지고 있어 신기술 및 신공법에 의한 건설공사의 합리화가 요구되고 있다. 이러한 건설환경의 전반적인 여건에 따라 시공의 효율성 및 품질향상을 고려하여 기존 재료보다 강도, 기능성, 내구성 및 시공성 등 성능이 향상된 고성능 콘크리트(high performance concrete)가 개발되어 적용되고 있다.

현재 다양한 고성능 콘크리트가 개발되었음에도 불구하고 여전히 인장강도가 낮고 연성 및 취성이 강하다. 이러한 기존 고성능 콘크리트에 시멘트 크기 이하의 석영 분말과 같은 필러재와 섬유(fiber)를 혼입하여 고인성을 갖는 초고성능 콘크리트(ultra high performance concrete)를 개발하고자 현재 국내뿐만 아니라 프랑스, 일본, 독일 등에서도 다양한 연구가 활발히 수행되고 있다[4].

이러한 고성능 콘크리트는 철근이 감당하는 인장응력, 휨응력 및 전단응력 등을 콘크리트 복합재가 상당부분을 감당하고, 콘크리트 복합재가 초고강도의 기능을 지니고 있어 동일한 소요하중에 대하여 단면을 크게 축소할 수 있으며, 철근 배근량을 최소화하고, 휨인장 철근 또는 PS강선만으로 휨응력을 충분히 감당할 수 있어 비용절감 효과가 큰 것으로 보고되고 있어, 경전철 고가구조물에 적용한다면 상당한 구조물 규모 축소 및 공사비 절감, 미관 향상 효과가 기대된다. 현재, 국내외에서 소규모 보도교, 건축자재 등에서부터 도로 및 철도 교량 등에 규모가 큰 토목구조물에 적용되는 단계에 있다(Fig.3).

2.2 고가구조물 슬림화를 위한 콘크리트 기술개발 방향

고가 형태로 건설되는 경전철은 도심지 내 주변 경관과의 조화가 중요하다. 경전철 고가구조물의 규모를 결정하는 정성적인 주요인자로는 차종(축중), 차량 크기 및 차량수, 경간 길이(구조물의 사하중) 및 설계기준 등이 있다[5]. 이들 중 구조물의 사하중은 구조물의 규모와 재료에 의해서 결정되며, 2.1절에서 언급한 고강도, 경량화 및 고성능 콘크리트를 적



(a) Sunyu footbridge, Korea



(b) UHPC cable-stayed footbridge, Korea

Fig. 3 Application case of Ultra high performance concrete[4]

용하여 고가구조물을 슬림화 한다면, 구조물의 사하중 또한 대폭 감소하게 될 것이다. 그리고 경전철 고가구조물의 상부구조에 고강도화, 경량화 및 고성능화된 콘크리트를 적용함으로써 부재의 내하력 증대효과로 인한 교량구조물의 장경간화가 가능하다. 이로 인한 교각 개수의 감소효과로 구조물이 차지하는 지상공간의 축소가 가능하다. 또한 상부자중의 감소로 인한 바닥판, 거더 부재 단면이 감소되어 상부에서 하부구조로 전달되는 하중이 감소되므로, 교각 등의 하부구조 단면이 축소될 수 있다. 이로 인해 기초 및 말뚝의 크기 축소 및 철근량이 감소되어 하부구조 공사비 절감 효과가 있다. 이에 저비용 고성능 철도 인프라 기술 개발을 위하여 고강도, 경량화 및 고성능화된 콘크리트를 제조하기 위한 인공 경량골재, 혼화재료 및 화학혼화제의 비용을 절감할 수 있는 신소재 개발이 필요하며, 경전철 고가구조물을 슬림화시킬 수 있는 신형식 고가구조물 설계에 대한 연구를 수행하여야 할 것으로 판단된다.

3. 결 론

경전철 고가구조물 슬림화를 위해 콘크리트 재료 분야에서 활발히 연구되고 있는 최신 기술 동향에 대하여 간략히 살펴보았다. 최신 콘크리트 기술은 고성능 콘크리트의 개발 및 적용에 대한 기술로, 고성능 콘크리트는 콘크리트 본래의 기능인 고강도 이외에 경량화, 고내구성, 고인성 등의 성질을 갖는 콘크리트로서 여러 가지 환경에 노출되는 구조물의 재료로서 그 사용 가치가 매우 높다. 특히 친환경 건설재료를 사용한 고성능 콘크리트를 도심지 내에 건설되는 경전철 고가구조물에 적용할 경우, 구조물의 자중경감 및 부재단면 축소되어 도시 미관과의 원활한 조화뿐만 아니라 기능성, 경제성 및 안전성이 우수한 친환경적인 구조물이 될 것으로 판단된다.

향후 경전철 고가구조물에 적용되는 콘크리트로서 한층 더 경쟁력을 갖추기 위해서 콘크리트를 제조하는데 필요한 재료들의 비용을 절감할 수 있는 신소재의 개발과 경전철 고가구조물을 슬림화시킬 수 있는 신형식 고가구조물 설계에 대한 연구가 수행될 계획이다.

감사의 글

본 연구는 산업기술연구회의 “저비용 고성능 철도 인프라 기술 개발” 연구과제에 대한 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 한국철도기술연구원 (2008) 도시철도시스템 기술의 이해, 화남출판사
- [2] 공태웅, 이수형, 권춘우, 이한백 (2011) 첨단콘크리트 기술동향, *한국세라믹학회 세라미스트*, 14(6), pp. 45-53.
- [3] 김용직, 최연왕 (2010) 경량골재를 사용한 자기충전 콘크리트의 품질 특성, *대한토목학회 논문집*, 30(6A), pp. 573-580.
- [4] 고경택, 박정준, 류금성, 김성욱 (2013) 초고성능 콘크리트 개발 현황, *대한토목학회학회지*, 61(2), pp. 51-60.
- [5] 한국철도기술연구원 (2012) 경전철 구조물 슬림화를 위한 설계기준 연구