

BOX형 지하구조물 해석 및 설계 표준화 연구(1차 연구)

The First Step Study on the Standardization of the Analysis and Design for Underground BOX-Type Structures

한만엽* 박흥기** 손은진***
Han, Man Yeop Park, Hong Kee Son, Eun Jin

ABSTRACT

KCI Committee 107 is "Underground Structures Research Committee". The Committee 107 completed the first step study on the analysis and design for underground BOX type structures by 2005. In the study, the committee attempted to the standardization of the analysis and design procedure.

This is the introduction and summary of the study and the prospective plan on this subject.

요 약

“지하구조물 위원회(KCI 107)”는 교량 및 각종 구조물 기초, 지하차도, 지하철 및 공동구 등 지하구조물, 지하에 설치되는 건물의 지하실 또는 지하주차장 등의 해석 및 설계에 관한 학문적, 기술적 연구를 위해 결성된 위원회이다.

위원회는 첫 번째 연구과제로 “BOX형 지하구조물의 해석 및 설계표준화 연구”를 선정하고 콘크리트 구조설계기준(2003)에 따라 실무에서 수행되고 있는 해석 및 설계의 표준화를 위한 연구를 수행하여 2005년 1차 연구를 완료하였다.

이 연구는 Box형 지하구조물의 해석 및 설계에 대한 문제점 분석과 새로운 설계 및 시공기술의 반영 위한 연구를 통해, 보다 개선된 설계방안을 강구하고 이를 반영한 표준 설계 절차 및 상세 가이드를 제시하여, Box형 지하구조물을 경제적이고, 시공 및 유지관리에 유리하며, 적절한 안전성과 내하능력을 확보할 수 있도록 일관성 있게 설계되도록 하는데 목적을 두고 있다.

*정회원, 아주대학교 토목공학과 교수

**정회원, 신성엔지니어링 부사장

***정회원, 서영엔지니어링 상무

1. 서 론

Box형 지하구조물은 지하 공간의 효율적 활용을 위한 각종 지하시설 건설에 가장 일반적으로 적용되는 구조 형태로서 공공의 이용을 목적으로 한 대부분의 지하구조물이 Box형 구조로 건설되고 있다. Box형 지하구조는 토목기술자들이 가장 기본적으로 설계하고 시공하는 흔하면서도 단순한 구조형식이지만 지하 수 m에서 수십 m 깊이에 건설되기 때문에 큰 상재하중과 측면토압을 지지하여야 하고, 주로 대도시 노면 하에 건설되기 때문에 복잡하게 얽힌 지하매설물, 복잡한 노면교통, 인접시설로 인한 비좁은 작업 공간 등의 제약사항으로 인한 시공성 저하 및 품질관리의 어려움 등을 감안하여 안전성을 확보하는데 중점을 두고 설계되어 왔다.

그러나 최근의 설계 및 시공기술의 발달은 복잡하고 어려운 여건 하에서도 안전성과 시공성을 유지하면서 정밀한 설계, 시공이 이루어질 수 있는 기반을 제공하고 있으며 이러한 점을 감안하여 서울시에서는 지하철 설계의 경제성검토를 시행하여 현재 시공 중인 서울지하철 9호선의 설계기준을 일부 수정하고 이에 따라 구조물설계를 전면 조정하는 등 설계의 경제성과 합리성을 제고하기 위한 노력을 기울인바 있다. 이와 같은 시대적 변화를 감안할 때 향후 시행기관이나 설계업체가 제각각 변화를 모색할 경우 무분별한 기준 설정 및 지침의 적용으로 혼란이 발생할 가능성이 우려되고 있으며 또한 새로운 설계 및 시공기술의 반영에도 통일성을 기할 필요성이 제기되고 있어 이러한 요구사항들을 망라한 표준적인 설계지침의 제시가 필요할 것으로 판단되었다.

이에 본 위원회에서는 Box형 지하구조물의 해석 및 설계에 대한 문제점 분석과 새로운 설계 및 시공기술의 반영을 위한 연구를 통해 보다 개선된 설계방안을 강구하고, 콘크리트구조설계기준(2003)을 기반으로 하여 표준 설계 절차 및 상세 가이드를 제시한 보고서 및 표준지침서의 작성을 계획하였으며, 향후 이 보고서 및 지침서가 실무에 참여하는 현장기술자들에게 훌륭한 조언자로서의 역할을 할 수 있게 되기를 기대하고 있다.

2. 연구범위

연구의 범위를 현 설계방법의 적정성 판단 및 필요부분의 표준화에 초점을 맞추고 장기적으로는 설계 최적화를 위한 연구개발에 초점을 맞추어 수행되고 있다.

이에 따라 콘크리트구조설계기준에 의거한 설계방법 및 내용의 적합성을 평가하고 기존 설계방법의 문제점에 대한 개선방안을 강구하며 연구의 결과로 초급에서 중급의 기술자가 편리하게 사용할 수 있는 해석 및 설계지침을 제시하였다.

후속 진행될 연구에서는 국내 뿐 아니라 국외의 관련 기준 및 연구 자료를 보다 광범위하게 수집, 분석하고 국내 설계기준의 개정 필요성을 검토함과 동시에 설계 최적화를 위한 요소기술 연구에 목표를 두고 있으며, 2007년 개정된 콘크리트구조설계기준에 따라 표준설계지침의 개정(안)을 제시토록 할 계획이다.

연구의 주요 항목은 다음과 같다.

- (1) 적용 설계기준의 합리화, 정형화
- (2) 실용적인 구조해석 및 최적 단면설계방안 검토
- (3) 최신의 연구 및 기술개발 내용의 설계 적용방안 검토
- (4) 바람직한 철근상세 및 기타상세 제시
- (5) 해석 및 설계에 대한 표준 Procedure 정립
- (6) 예제를 이용한 상세 설계 Guide 제시

연구는 4개 분야로 구분하여 수행되었다. 연구는 국내·외 관련 기준 및 설계방법을 비교 분석하고 현재 BOX형 구조물 설계에 적용하고 있는 설계기준 및 방법과의 차이점을 평가하였으며, 현재 시행되고 있는 각종 구조해석 및 설계의 현황을 파악하고 내용이 복잡하거나 이해에 혼란이 있는 부분을 분석하고 정리함으로써 실무 기술자들의 이해를 돕도록 하는데 초점을 맞추었다.

4개 분야는 아래와 같으며,

- (1) 설계기준 및 해석방법 연구
- (2) 단면설계 및 철근 등 구조상세 연구
- (3) 내구성설계 연구
- (4) 내진설계 연구

주요 연구내용은 다음과 같다.

3. 연구내용

3.1 설계기준 및 해석방법 연구

BOX형 지하구조물은 지하철, 공동구, 지하차도 및 보도, 지하배수구, 도로나 철도횡단 통로나 배수로 등 여러 가지 목적 및 기능발휘를 위한 구조물로서 건설되기 때문에 여러 분야의 설계기준 또는 표준(Design Code and Standard)과 규정(Regulation)에 설계 및 시공에 대한 요구사항이 정의되어 있다.

본 연구에서는 국내·외의 콘크리트 구조설계에 관한 기준에서 규정하고 있는 설계방법과 특징을 비교하여 우리가 적용하고 있는 설계기준과의 차이점을 분석하였으며, 지하 BOX 구조물에 일반적으로 적용하고 있는 재료의 강도와 적용하중 그리고 해석 모델링의 차이점 등을 비교 평가하여 실무에서 적용하고 있는 설계기준과 해석방법의 적정성을 평가하고 향후 개선의 필요성을 판단하여 보았다.

3.2 단면설계 및 철근 상세 연구

Box형 지하구조물의 단면설계 및 철근상세는 건설교통부 제정의 콘크리트구조설계기준과 시설물 종류별로 그 특성을 감안한 발주기관별 상세설계지침에 따라 수행되고 있으며, 일반적으로 단순한 구조형식을 갖고 있어 설계업무를 수행하는데 큰 어려움이 없다. 그러나 포괄적인 설계기준인 콘크리트구조설계기준을 이해하고 적용하는데 있어 발주기관 및 설계자의 주관에 의해 기준의 해석 및 적용 방향에 차이를 갖는 경우가 발생하기도 하며, 또한 응력교란영역(Disturbed Region)과 같이 특수한 조건의 일부 부분에 대하여는 과거 설계기준(콘크리트구조설계기준, 2003)상에 구체적인 방법제시 및 상세한 지침이 없어 설계자 또는 발주기관에서 별도의 국내의 참고기준을 이용하여 상세설계가 수행되고 있어 설계의 효율성이 저하되고 적절한 구조물의 안전율을 확보하는데 문제 발생의 소지를 갖고 있다.

본 연구에서는 발주처별 상세 설계지침과 상위기준인 콘크리트 구조설계기준상의 상이점을 분석하고, 설계자 주관에 의한 기준의 해석 및 적용으로 문제가 될 수 있는 설계항목과 이들의 세부적인 설계방법에 대한 연구를 주로 수행하였다. 이에 따라 설계기준상에 구체적인 방법제시 및 상세 설계지침이 없는 항목에 대하여 설계기준의 정확한 이해와 적용을 위한 구체적인 의미해석과 설계방향을 제시하고자 노력하였으며, 실무에서 항상 접하고 있는 철근배근 적용현황을 조사하고 개선방안을 연구하여 바람직한 배근상세를 제시하여 합리적이고 일관성 있는 구조물 설계가 이루어질 수 있는 방안을 도모하였다.

3.3 내구성 설계

토목구조물은 국가의 기반시설을 이루며 이러한 시설물의 설치 시에는 막대한 재원이 소요된다. 따라서 구조물이 제 기능을 완전히 수행할 수 있으면서 설계수명기간 동안 본래의 상태를 유지하는 것이 이상적인 목표라 할 수 있다. 그러나 구조물에는 환경요인, 작용외력 등에 의하여 성능저하 현상이 발생하므로 콘크리트 구조물 역시 일정한 내구년한을 가질 수밖에 없고, 외부환경요인에 따라 이 내구년한이 때로는 설계수명보다 작을 수 있다.

현재 구조물의 설계에는 강도 및 안전성의 요건은 명확히 규정되어 있으나 구조물의 내구성 및 내구년한에 대한 고려는 초창기 단계에 있는 실정이다. 따라서 구조물의 설계수명기간을 확보할 수 있는 내구년한을 고려한 설계가 이루어 질 수 있도록 구조물의 합리적인 내구년한 개념의 정립과 평가기준의 마련에 좀 더 심층적인 연구가 필요하다.

콘크리트 구조물의 내구년한 정립을 통하여 내구성을 고려한 경제적이고 합리적인 구조물의 설계가 가능하고 구조물에 대한 효율적인 유지관리가 가능하게 되므로 콘크리트 구조물에 적합한 내구년한 개념이 정립되는 것은 국가경제적인 차원에서도 매우 중요하다. 특히, 지하구조물은 도심지의 아주 중요한 기간 사업으로서 이것이 차지하는 비중이 매우 크고, 또한, 사회·경제적인 영향도 매우 큰 국가의 핵심기간 시설물이다. 따라서, 이러한 지하구조물의 합리적인 내구년한 설정과 내구성 확보를 위한 설계 및 시공 그리고 유지관리방안을 위한 내구성 검토는 각 설계단계에서 필히 수행하여야 할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 콘크리트구조물의 내구성설계 현황에 대해서 국내와 일본, 미국, 유럽의 특징을 비교, 평가하였으며, 국내에서 적용되고 있는 내구성 설계에 관한 기준 중 지하철설계에 적용되는 기준과 콘크리트표준시방서에서 제시하는 규정의 특징 및 적용방법을 비교, 분석하였다.

3.4 내진 설계

내진설계는 2004년도에 제정된 “지하공동구 내진설계기준”과 지난 7월에 확정된 “도시철도 내진설계기준”의 내용을 분석하고 이에 따른 지하 BOX 구조물 설계에의 적용방안에 대해 연구하였다.

4. 결론 및 향후 계획

지하구조물위원회는 2005년 1단계 연구를 완료하고 중간보고서를 작성하였으며, 향후, 2단계에서는 1단계 연구의 미진한 부분과 2007년 개정된 콘크리트구조설계기준의 내용을 반영하여 연구를 보완하고 이에 따른 표준설계지침을 작성하여 실무자들의 편의를 돕도록 할 계획이다. 또 표준설계지침에 따른 주요 항목별 설계예제를 제시하여 초급 및 중급기술자들이 편리하고 정확하게 설계를 수행하는데 좋은 안내서가 되도록 하고자 한다.