

건축분야에서의 철근콘크리트 기술의 발전

Reinforced Concrete Technology and the Modernization of Korean Buildings



김상식*
Sang-Sik Kim



정성훈*
Seong-Hoon Jeong

1. 개요

철근콘크리트 구조가 개발된 것은 140년 정도밖에 되지 않으나 철근콘크리트가 가지는 경제성, 시공성, 내구성, 조형성 등의 장점으로 구조재료로 적합성이 인정되어 각종 건축물을 위시하여 교량, 항만 및 해양구조물, 지하구조물 등에 널리 사용되고 있다.

철근콘크리트의 주요 원료인 시멘트와 철근은 공장에서 생산되거나 거푸집과 철근을 가공 조립하고 콘크리트를 배합하여 타설한 후 양생을 거쳐 완성된다. 이 과정에서 인위적인 요인과 주위 환경의 영향을 많이 받는다. 따라서 구조, 재료 및 시공기술의 포괄적인 진보에 의해 철근콘크리트 건축기술이 발전되어 왔다. 이 글에서는 우리나라 철근콘크리트 건물의 시대별 발전 과정과 구조설계기준의 변천에 대해 개괄적으로 설명하고자 한다.

2. 시대별 발전과정

철근콘크리트가 본격적으로 건축물 구조재로 등장하기 시작한 시기는 1890년대였으며, 1900년을 전후하여 점차 보급되기 시작한 후 1차 세계대전 이후 1920년대부터 건축구조물에의 적용이 매우 활발해졌다. 우리나라에서는 1910년대에 들어 철근콘크리트 건물들이 건립되기 시작하였다. 최초의 건물은 1910년 11월에 준공된 부산 세관 본청사 2층 건물이었으나 이는 현재 남아 있지 않다. 현존하는 가장 오래된 철근콘크리트 건물은 사적 280호로 보존되고 있는 한국은행 본점으로 1912년 1월에 준공되었다.

1920년대 들어 철근콘크리트 건물이 늘어나기 시작하였는데, 이 시기에 건립된 대표적인 건물들로는 1925년에 준공된 서울역 건물과 1926년에 준공된 경성부 청사 및 조선총독부 청사 등이 있다. 1930년대에는 우리나라 건축가에 의해 철근콘크리트 건물

이 설계되었는데, 박동진 건축가가 설계하여 1934년 준공된 고려대학교 본관건물과 박길룡 건축가가 설계하여 1937년 준공된 화신백화점 등이 대표적인 건물들이다. 1938년 건립된 반도호텔은 지하 1층, 지상 8층에 연면적 18,300㎡로 1960년대에 이르기까지 우리나라에서 가장 높은 건물로 군림하기도 하였다.

1950년대 중반에는 전후복구사업을 중심으로 건설분야에 활기가 돌기 시작했으며 후반부터는 학교, 공공 건축물, 극장, 상가 건물 등의 신축사업이 추진되었다. 이 시기의 건축물은 철근콘크리트 구조가 주류를 이루고 있었으며, 1958년 건립된 국립의료원, 1959년 완공된 그랜드빌딩, 1960년에 준공된 지상 11층 메트로 호텔 등이 대표적인 건물들이다.

1960년대 중반 이후에는 업무용 빌딩, 은행, 호텔 등 규모가 큰 건축물의 건설사업이 본격적으로 활기를 띠게 되는데 이 시기의 철근콘크리트 건물의 발전상황에 대해서 임용상씨는 「건축구조 60년사」에서 다음과 같이 정리하고 있다.

- (1) 철근콘크리트 골조의 일반적인 스패이 50년대의 6.0 ~ 7.5 m 정도에서 60년대 후반에는 7.0 ~ 12.0 m 정도로 장스팬화 되었다
- (2) 철골구조 시스템이 도입되지 못하였으므로 이 시기의 고층건물들은 철근콘크리트 구조방식에 의존하여야 했다. 철근콘크리트 고층건물의 층수는 1964년에 타워호텔이 18층, 1968년에는 대연각빌딩이 23층을 기록하였다.
- (3) 1969년 최초의 H형강 철골구조를 적용한 한진사옥 KAL 빌딩을 시작으로 20층을 초과하는 고층 건축물은 철근콘크리트 구조에서 철골구조로 전환하게 된다.
- (4) 건축구조 기술 분야에 있어 철근콘크리트 구조는 1970년 경을 전후하여 현재까지 일반적으로 통용되고 있는 수준에 도달한 것으로 평가할 수 있다. 그러나 기술의 수준과는 별개로 당시 낙후된 경제 사정으로 인한 시멘트나 철근 등 건축자재의 부족 사태와 제도적인 환경은 철근콘크리

* 정회원, 인하대학교 건축학부 교수
hanjib@inha.ac.kr

트 건축물의 저질화, 부실화를 유발하는 잠재 요인이었다.

1970년대 중반 이후에는 철근콘크리트 내력벽 구조방식의 아파트가 등장하여 주류를 이루게 되었다. 아파트 건설공사를 제외한 1970년대와 1980년대의 고층 구조물들에는 철골구조가 보편화되어 적용되었다. 한편 이 시기의 대형 건축물에 철근콘크리트 구조가 사용되기도 했는데, 그 대표적인 사례들로는 1973년 준공된 한국방송공사 여의도 사옥, 1978년 준공된 세종문화회관, 1983년 준공된 과천 국립현대미술관, 1984년 건립된 천안 독립기념관, 1985년 준공된 김포국제공항 신청사 등이 있다.

1980년대와 1990년대에 이르기까지 강구조 고층건물이 활성화되었으나 지하나 저층부 및 횡력을 부담하는 코어 전단벽에는 철근콘크리트 구조가 적용되는 경우가 많았다. 1990년대 수도권 신도시를 중심으로 대형 아파트 단지들이 건설되었는데 공사비 절감을 위한 철근콘크리트 벽식 아파트가 대규모로 건설되었다.

2000년대에는 고강도콘크리트의 안정적인 공급 기술과 콘크리트의 압송 기술의 발달로 인해 고층 및 초고층 건물에 철근콘크리트 구조의 적용이 늘어나고 있다. 이는 철근콘크리트 구조가 초고층 건물의 내진 및 내풍 설계를 위한 횡강성 확보와 고급 주거용 건물의 층간 소음 감소에 유리하며, 가격이 급등한 강재에 비해 경제적이기 때문이다.

3. 초기 철근콘크리트 건축기술의 단면 - 경성부 청사(京城府 廳舍)

우리나라의 초기 철근콘크리트 건물인 경성부 청사(京城府 廳)

에 대한 조사를 통해 이 시기의 철근콘크리트 건축기술의 단면을 엿볼 수 있다. 1945년 이후 현재까지 서울시청으로 사용되고 있는 이 건물은 일제강점기인 1926년 경성부 청사로 지은 지상 4층의 철근콘크리트 건축물이다<사진 1>.

신축 당시 사용하였던 철근콘크리트 보의 배근도면이 <그림 1>에 나타나 있다. 전단보강을 위한 수직 스테럽 및 구부림 철근이 사용되었는데, 이는 당시에 트러스 이론에 근거를 둔 전단거동의 이해와 이를 바탕으로 한 전단배근이 실제 건축물의 설계에 적용되고 있었다는 것을 보여준다. 또한 구조 성능의 향상을 위한 복근보의 사용이나 적절한 피복두께 등을 통해 이 시기의 철근콘크리트 구조설계 방법이 현재와 매우 유사하다는 것을 알 수 있다. 다만 모든 철근의 정착을 갈고리에 의존한다는 점이 현재의 보강철근 배근과 다른 점이라고 볼 수 있는데, 이는 원형철근의 사용으로 인해 발생할 수 있는 부착 미끄러짐을 방지하기 위한 것이었다.



사진 1. 준공 당시의 경성부 청사

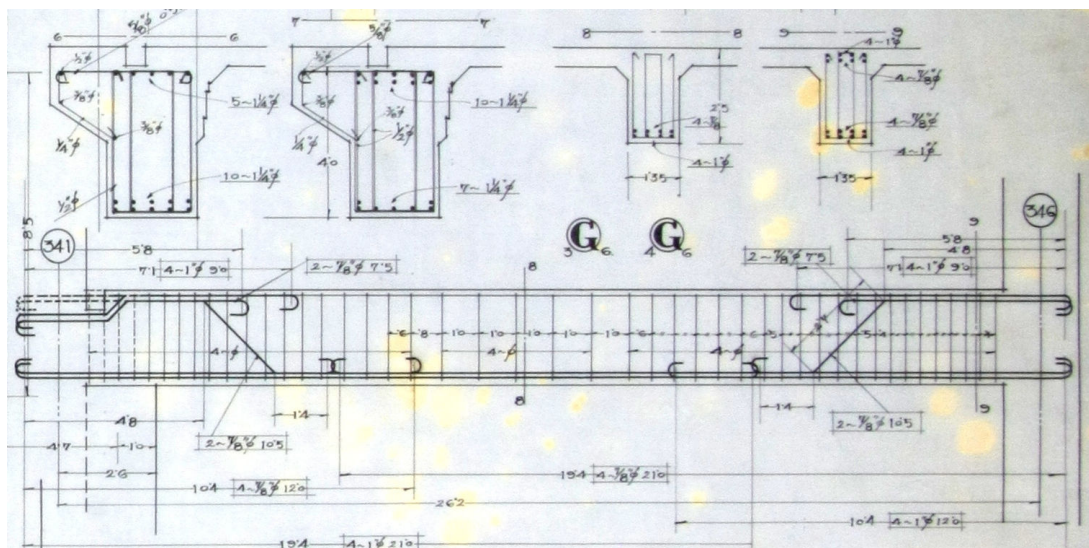


그림 1. 보 배근도

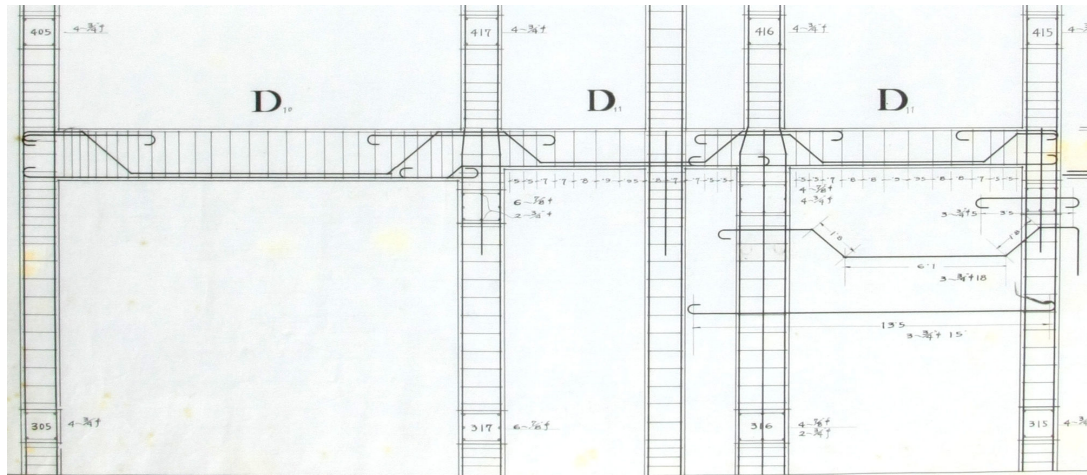


그림 2. 골조 배근도

<그림 2>는 철근콘크리트 골조 배근도의 일부를 보여주고 있다. 이 시기의 설계도면은 척(尺)과 촌(寸) 스케일을 사용하여 작성하였다. 기둥의 상부에 이음을 위한 철근이 추가로 배치되어 있다 <그림 3>. 그러나 이음철근들은 아래층 기둥의 상부에서 시작하여 위층 기둥의 밑면까지만 연결되어 접합부에 휨모멘트가 크게 걸리는 경우 충분한 하중전달하기에는 부족할 수 있다. 이는 당시의 철근콘크리트 골조 설계에 수직하중만을 고려했기 때문이다.

주출입구 기둥은 <그림 4>와 같이 큰 단면으로 설계되었다. 이는 <그림 5>의 단면도에서 보듯이 중앙탑에서부터 내려오는 하중의 상당부분이 육중한 거더로 연결되어 건물의 주출입구 기둥으로 전달되기 때문이다. 또한 이와 같은 기둥의 단면크기에는

구조적인 이유뿐만 아니라 관청의 권위를 표현하기 위한 의장적인 요소도 있었을 것으로 생각한다.

이 기둥에 배치된 스테럽은 넓은 단면을 가진 기둥 전체 외측선을 감싸는 비정형으로, 여러 개의 작은 사각형으로 나누어진 스테럽을 사용하는 것보다 전단보강의 효율성에 있어 매우 불리하다. 이는 전단보강의 원리를 제대로 이해하지 못하고 설계된 것이 아니라, 기둥의 코어에 래티스 철골 기둥이 존재하기 때문으로 추측된다. <그림 5>의 경성부처사의 단면도에서 중앙탑(A)과 외전공간(B)은 골격이 철골철근콘크리트 구조로 되어있다. 기본 골조를 철골로 구성하고 이를 다시 거푸집으로 두르고 철근을 배치하여 콘크리트를 타설하였는데 보에는 H형강을 사용하였고 <그림 6>, 기둥의 중심에는 래티스 철골을 사용하였다 <그림 7>. 이외에도 비교적 큰 하중을 부담하는 부재에는 철골철근콘크리트가 적용되었는데 이와 같은 구조설계는 당시 콘크리트의 강

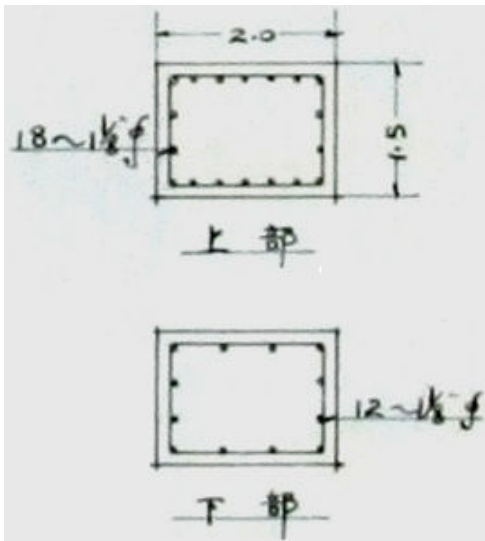


그림 3. 일반 기둥 단면도

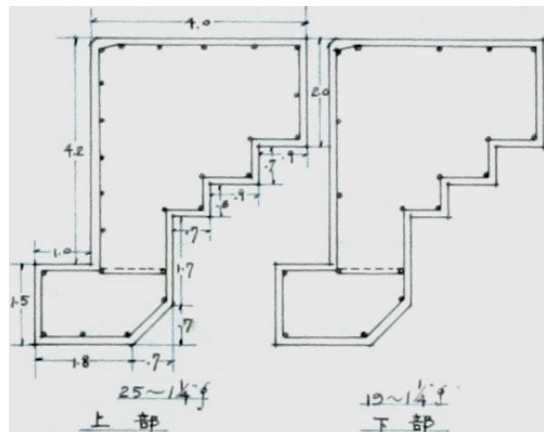


그림 4. 주출입구 기둥 단면도

도에 대한 신뢰성 부족에 기인한 것으로 판단된다.

1920년대에는 현재와 같은 다짐기가 발명되기 이전의 시대로 콘크리트의 다짐이 불량한 곳이 많았다<사진 2>. 특히 철근의 주변에서는 공동이 흔히 발견되며 재료의 분리가 매우 심하다<사진 3>.

경성부 청사는 건립 당시 실내에 수도 소화전을 배치하고 증기식 중앙난방시설과 자동 전화교환대 등을 설치하는 등 최고의 설비 시설물을 갖추었다고 알려진다. <사진 4>에서 보듯이 설비용 배관을 철근콘크리트 구조체 속에 타설한 흔적이 남아있다. 이로 인해 구조체를 통과하는 설비 배관의 수리 및 교체가 불가능했다.

<사진 5>에서 보이듯이 철근콘크리트 슬래브의 이래면 시공 시 남겨진 거푸집 흔적을 통해 당시 사용한 거푸집은 폭 0.2~0.5

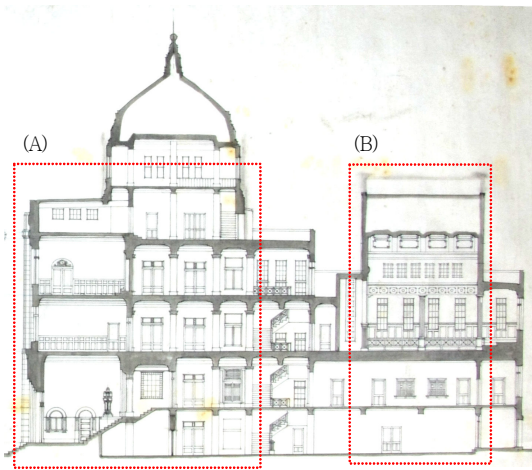


그림 5. 단면도

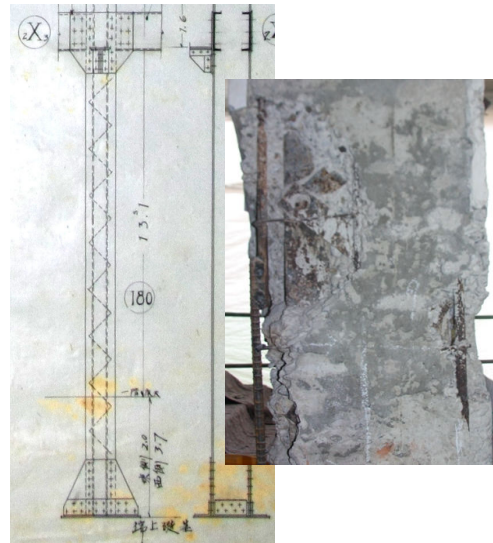


그림 7. 래티스 기둥의 골조도면 및 래티스 철골



사진 2. 보단면에 나타난 콘크리트의 다짐불량

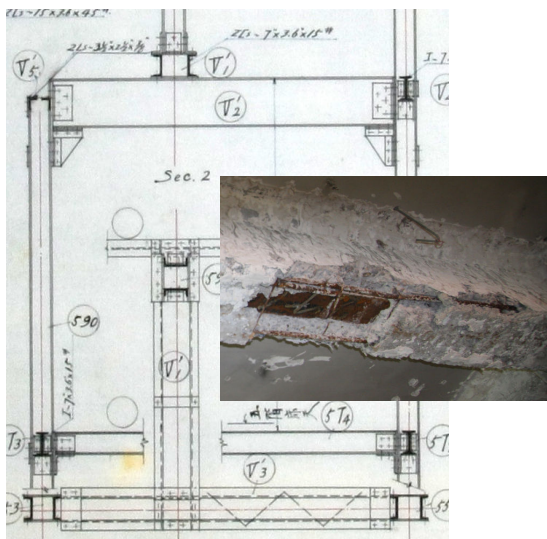


그림 6. SRC보의 H형강 골조도면 및 노출된 H형강



사진 3. 1층 기둥 하부의 재료분리

m이며, 길이는 5m 이상인 목재 패널이었음을 알 수 있다. 또한 당시에도 천정 반자판을 매달기 위한 철물을 콘크리트 타설할 때 심어둔 것을 볼 수 있다.

이상의 조사로부터 1920년대의 철근콘크리트 건물은 설계의 개념에 있어서 현재와 달랐던 점이 거의 없다고 볼 수 있다. 부재의 인장축에 철근보강을 사용해야 한다는 것은 1850년대 중반에 이미 알려졌으며, 1898년에는 구부림 철근과 스테럽을 사용한 철근콘크리트 보가 앙네비크(F. Hennebique)에 의해 개발되었다<그림 8>. 이는 1899년 스위스의 리터(F. Ritter)와 1902년 독일의 뢰르시(E. Mörsch)에 의해 발표된 트러스 이론보다 앞



사진 4. 철근콘크리트 슬래브 속의 설비배관 흔적



사진 5. 철근콘크리트 슬래브 밑면

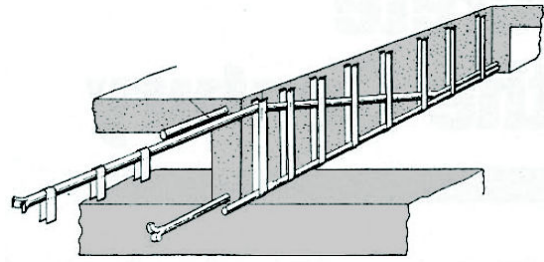


그림 8. Hennebique의 철근콘크리트 보

선 것으로 당시 철근콘크리트 구조기술이 매우 빠르게 발전되고 있었음을 알 수 있다.

당시의 철근콘크리트 구조에 대한 연구와 이해의 수준을 가늠할 수 있는 한 사례로 1908년에 출판된 Turneure와 Maurer의 철근콘크리트 설계에 관한 책을 들 수 있다. 여기에는 콘크리트의 비선형 응력-변형도 관계가 잘 파악되어 있었으며, 이는 <그림 9>와 같이 포물선 압축응력블록으로 모델링 되었다. 또한 이 책은 <그림 10>를 바탕으로 콘크리트의 실제 응력분포에 적합한 응력블록의 모양에 대한 다양한 의견과 그들의 차이점에 대해서도 서술하고 있다. 이 시기에 철근콘크리트 건축에 대한 기술의 발전은 매우 빨랐으며, 유럽과 미국을 중심으로 각국의 철근콘크리트 구조설계기준이 제정되기에 이른다.

경성부 청사에 대한 조사를 바탕으로 초기의 철근콘크리트 건물은 구조설계의 측면에서는 상당한 수준의 기술이 적용되었으나, 재료분리나 다짐 불량이나 흔한 나타나는 등 콘크리트의 배합과 타설기술이 부족했음을 알 수 있다. 또한 당시의 재료기술로는 콘크리트의 강도에 대한 신뢰성이 부족하여 5층 이상이거나 큰 중력하중을 부담하는 골조는 철골철근콘크리트로 축조되었다. 설비설계기술의 부족으로 철근콘크리트 구조에 비해 수명이 짧은 각종 배관을 콘크리트 구조체 속에 묻어 둔 것도 이 시기의 철근콘크리트 건축의 특이점으로 보인다.

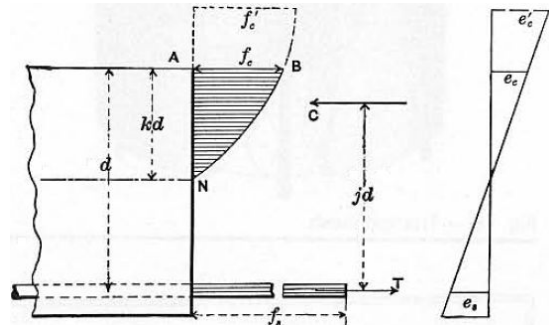


그림 9. 1908년에 사용되던 포물선 응력블록

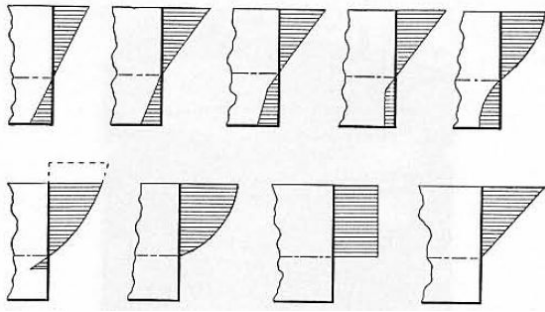


그림 10. 1900년대 초기 논의되던 다양한 응력블록

4. 철근콘크리트 구조설계 기준

1910년 한일합방 이후 일제시대의 주요 건축물은 대부분 일본인 건축기술자에 의해 축조되었고 일본 본토의 관행 및 규정을 바탕으로 구조설계 및 시공이 수행되었다. 일본인들은 1900년을 전후하여 서양의 기술을 적극적으로 도입하였는데, 이 시기는 유럽과 미국을 중심으로 철근콘크리트 건축기술이 비약적으로 발전하던 때였다. 피르시 교수에 의하여 초안되고 1904년 프로시아에서 공포된 최초의 철근콘크리트 구조설계기준을 시작으로 1907년에서 1910년 사이에 영국, 프랑스, 오스트리아, 스위스 및 미국 등지에서 철근콘크리트 구조설계기준이 발표되었다. 이를 바탕으로 일본인들은 자체적인 해석과 연구를 반영하여 1920년에 건축구조물에 대한 구조강도규정을 포함한 시가지건축물법 시행규칙을 제정하기에 이른다. 이후 일본건축학회는 1929년 시공관련 지침을 내용으로 한 「콘크리트 및 철근콘크리트 사양서」를 발표하였고, 1933년 「철근콘크리트 구조계산규준」을 제정·발표하였다.

1945년 해방 이후에도 일본인들에 의해 조성된 기술의 골격과 규칙이 일정기간 유지되었으나 1962년도에 건축법 및 건축법 시행령이 공포·시행됨에 따라 일제시대부터 적용되던 법규는 공식적으로 폐지되었다. 그러나 당시 한국의 건축법 시행령 속에 등장한 건축구조 관련 기준은 1950년 제정된 일본의 건축기준법 시행령의 해당 부분을 거의 그대로 옮겨온 수준에 불과했다.

1960년을 전후하여 일부 구조기술자들이 미국과 유럽의 구조기준을 경험하게 되면서 그들 사이에 일본식 구조기술 체계에 대한 비판적 안목이 생기기 시작하였다. ACI기준의 국내 도입 과정에 대해 마춘경 소장은 「건축구조 60년사」에서 다음과 같이 증언하고 있다. 우리나라 구조실무 분야의 기술자들이 ACI기준을 접하게 된 것은 1957년경으로 알려져 있다. 이 시기에 주한 미군의 증강 정책이 추진되면서 많은 물량의 미군시설 공사가 발주되기 시작하였는데, 이러한 실정과 더불어 미공병단 산하의 부

서와 미국계 설계회사에 고용되었던 한국인 기술자들은 ACI, AISC, UBC 등 미국식 설계기준에 의한 구조설계 업무에 직접 참여할 수 있는 기회가 주어졌다. ACI기준의 적용은 미군시설 공사에 국한된 일시적이고 수동적이었던 것으로 1960년을 전후하여 점차 미군시설 공사 경기가 후퇴하면서 관련 기술자들도 자연히 미국식 기준과 소원하게 되었다. 그러나 이러한 경험은 일부 구조 기술자들에게 ACI기준의 선진적인 내용과 체계에 대한 관심과 글로벌 스탠더드의 가치에 대한 인식을 가지게 해 주었고 이를 적극적으로 연구·수용하려는 경향이 흐르게 되었다. 이후 1962년도에 발간된 대한건축학회지 「건축」에는 이승우씨와 김창우씨의 공동 번역으로 ACI 318-56이 여러 차례에 걸쳐 연재되었는데 이는 ACI 기준이 우리 구조분야에 유입·수용되기 시작하였다는 사실에 대한 공개적인 기록으로 볼 수 있다.

우리나라에서는 1972년 건설부의 지원 아래 대한건축학회가 「철근콘크리트 구조계산규준」을 제정하였는데 이는 일본의 규준을 바탕으로 ACI 318-63을 부분적으로 수용한 것이었다. 이 규준은 허용응력도 설계법으로 되어 있고, 1975년, 1977년 및 1982년의 3차에 걸쳐 내용이 수정 보완되면서 우리나라 철근콘크리트 건물의 구조설계의 바탕이 되어 왔다.

1900년에서 1950년대까지는 프랑스의 쿠아네(E. Coignet)와 테데스코(N. de Tedesco)에 의하여 개발된 허용응력설계법이 설계방법의 주를 이루었으나, 여러 가지 파괴모드를 포함한 철근콘크리트 구조의 한계상태를 고려한 한계상태설계에 대한 연구가 진행되면서 1950년대와 1970년대 사이에 허용응력설계법과 한계상태설계법의 병용을 거쳐 1970년대 이후에는 한계상태법에 근거를 둔 설계기준들이 통용되고 있었다. 우리나라에서는 1969년도에 제정한 대한토목학회의 콘크리트표준시방서에서 ACI 318-63의 극한강도설계를 도입하였고, 이후 1988년 12월 「극한강도설계법에 의한 철근콘크리트 구조설계규준」이 대한건축학회에 의하여 제정되었다. 강도설계법에 의한 설계기준은 그동안 대한토목학회와 대한건축학회에서 별도로 제정되어 사용되어 왔으나, 내용에서 두 기준의 공통점이 많아 한국콘크리트학회를 주관 연구기관으로 하여 1999년 건설교통부에서 통합기준으로 「콘크리트구조설계기준」을 제정하였다. 이 기준은 2003년에 이르러 C.G.S. 단위에서 국제 단위로 개정되었다.

현재 각국에서 채택되고 있는 철근콘크리트설계기준은 크게 두 계열로 분류된다.

첫 번째는 미국콘크리트학회(ACI)에서 제정한 ACI 318의 「철근콘크리트 구조설계기준」(Building Code Requirements for Reinforced Concrete)으로, 이 기준은 강도설계법으로 되어 있고, 6년마다 새로운 이론 또는 실험결과에 따라 개정되고 있으며, 최근에는 1999년에 ACI 318-99로 개정되었다. ACI 318

설계기준은 미국뿐 아니라 캐나다, 뉴질랜드, 오스트레일리아, 남아메리카의 일부 국가와 우리나라 설계기준의 근간을 이루고 있다.

두 번째는 유럽콘크리트위원회(CEB)에서 제정한 「콘크리트 구조물 설계기준」(CEB-FIP Model Code for Concrete Structures)으로, 유럽 여러 국가들의 설계기준을 통일할 목적으로 1978년에 발간되었으며, 최근 개정되었다. 이 설계기준은 한계상태설계법에 근거를 두고 있으며, 유럽 여러 나라들의 설계기준의 근간이 되고 있다. ACI 설계기준과 CEB 설계기준은 여러 면에서 유사한 내용들을 가지고 있다.

5. 결 언

우리나라의 철근콘크리트 건축기술은 일제강점기에 도입되었다. 일본인들은 서구의 선진 기술을 적극적으로 수용하고 있었으므로 한반도에도 비교적 빠른 시기에 철근콘크리트 건축물이 축조되기 시작하였다. 경성부 청사에 대한 조사를 통해서 1920년대의 철근콘크리트 건축기술은 구조설계 기술에 비해서 재료와 시공 기술 수준이 부족했음을 알 수 있다. 해방 이후 구조설계 기술은 ACI기준 등을 도입하면서 계속적으로 발전하였고, 1988년 「국한강도설계법에 의한 철근콘크리트 구조설계기준」을 제정하기에 이른다. 또한 재료와 시공 기술도 비약적으로 발전하게 되었는데, 특히 고강도콘크리트의 실용화와 콘크리트의 압송 기술

의 발전으로 초고층건물에도 콘크리트가 선호되는 단계에 이르게 되었다.

향후에도 철근콘크리트를 이용한 건설기술은 구조 기술뿐만 아니라 재료와 시공 기술의 진보를 통해 발전할 것이며, 안전하고 경제성과 기능에서 최적화된 건축구조시스템을 실현하는데 중추적인 역할을 할 것이다.

감사의 글

서울시청의 철근콘크리트 골조에 대한 자료수집에 도움을 주신 삼성물산 건설부문의 정태성 공사팀장, 박동순 차장, 그리고 박성화 과장께 깊은 감사를 드립니다. ☞

참고문헌

1. 대한건축학회, 건축구조60년사, 2006.
2. 김상식, 철근콘크리트구조설계 4판, 문운당, 2008.
3. Turneure, F. E., and Maurer, E. R., Principles of Reinforced Concrete Construction, John Wiley & Sons, New York, 1908.

담당 편집위원 :

권기주(한국전력공사 전력연구원) kyeunkjoo@kepco.co.kr

◆◆◆ 제1회 한국콘크리트학회 「포토에세이」 사진공모전 ◆◆◆

「콘크리트학회지」는 격월간(홀수달)으로 발행되어 7,000여 회원을 비롯한 콘크리트 관련 업계, 학계, 유관 기관 및 단체 등에 배포되고 있습니다. 우리 학회지는 'Photo Essay'이라는 장을 마련하여 회원님들께 감성적 욕구를 충족시켜 드리고자 노력하고 있습니다. 금번 7월호부터는 회원님들의 적극적인 참여를 유도하기 위하여 회원님들께서 직접 촬영하신 사진과 간단한 에세이를 공모하고자 합니다.

☞ 모집 요강

가. 응모자격 : 한국콘크리트학회 (준)회원

나. 공모분야 : 특정 주제는 없음

다. 출품규격 및 응모방법

- ① 컬러 또는 흑백의 디지털 사진으로 출품
- ② 출품수 3점 이내(연작 혹은 시리즈 작품인 경우 1점으로 간주)
- ③ 디지털카메라는 최소 2,200 × 2,800 pixel 이상으로 촬영 권장, jpg파일로 제출
- ④ 사진과 관련된 감상문을 150자 이내로 한글화일로 작성하여 사진과 함께 제출
- ⑤ 작품접수 : 2009년 06월 11일 ~ 07월 15일(마감 : 18:00)
- ⑥ 응모방법 : 이메일 접수(kke@kci.or.kr)

라. 시상내역 : 상장 및 특전

- ① 최우수상(1편) : 20만원 상당의 학회도서
- ② 우수상(1편) : 15만원 상당의 학회도서
- ③ 동상(3편) : 5만원 상당의 학회도서