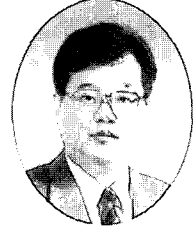


콘크리트구조설계기준에 대한 장기적 과제

- Concerning about Future Korean Design Code for Structural Concrete -



이재훈*
Jea-Hoon, Lee

우리 학회의 콘크리트구조설계기준위원회 위원장을 맡은 중앙대 정영수 교수, 그리고 간사의 일을 하게 된 한양대 최창식 교수와 필자가 올해 초에 첫 번째 모임을 갖고 앞으로 콘크리트구조설계기준위원회가 해야 할 일들에 관하여 논의하였다. 여러 가지 일 중 하나로써 올해 5월에 개최될 봄 학술발표회에서 「콘크리트구조설계기준」의 개정에 대한 공청회를 하기로 하였다. 위원장은 당연히 공청회에 대한 구상을 하도록 간사들에게 지시하였고, 최창식 교수와 필자는 공청회를 어떤 형식으로 진행하고 준비를 해야 할지 고민이 시작되었다.

그러다가 1999년도에 토목과 건축이 통합한 「콘크리트구조설계기준」이 제정된 뒤 가을 학술발표회에서 개최되었던 공청회에서 있었던 일이 떠올랐다. 그 공청회는 한국과학기술원 김진근 교수가 진행하였고 필자는 기록을 맡았었다. 공청회의 초반에 용어에 관한 가벼운(?) 토론이 있었고, 그 후에 안전성 관련 계수(하중계수와 강도감소계수)에 대한 토론이 진행되었다. 이 때 한 청중의 발언에 필자는 고개를 갸웃하게 되었고, 반론을 제기하고 싶었으나 기록을 하는 처지에 발언할 수는 없어서 답답함을 느꼈다. 그러나 다행스럽게도 사회자가 필자의 생각과 같은 내용의 반론을 제기하시면서 토론이 활기를 띠었다. 안전성 관련 계수(하중계수와 강도감소계수)에 대한 한 청중의 발언, 필자의 느낌, 사회자의 반론은 이런 것이었다.

- 발언자: 안전성계수, 특히 강도감소계수를 규정대로 해야지 왜 다른 값을 쓰는가?
- 필자: (저 분의 발언은 무슨 뜻일까? 저 분이 뜻하는 "규정"이란 무엇을 뜻할까?)
- 사회자: 강도감소계수는 「콘크리트구조설계기준」에 규정되어 있는데, 규정대로 해야 된다는 것은 무슨 뜻인지...?

- 발언자: ACI Code에 규정된 강도감소계수를 써야지 왜 다른 값을 쓰냐는 뜻이지요.
- 필자: (아하, 그런 뜻이었구나. 그런데 반론이 있어야 할 텐데 ...)
- 사회자: ACI Code는 미국의 기준이고, 우리가 ACI Code를 받아들여더라도 우리의 실정에 맞다고 생각되는 강도감소계수를 규정하는 것이 올바른 게 아닐까요?
- 필자: (끄덕 끄덕)

이런 기억을 떠올리면서 필자는 공청회의 진행방법과 더불어 우리의 구조설계기준에 대한 근본적인 생각을 하게 된다. 물론 이런 필자의 생각이 이번 공청회의 주제는 아니겠지만 장기적인 관점에서 평소에 생각해 오던 것이다.

구조공학의 모든 분야가 마찬가지지만, 특히 콘크리트 구조공학 분야에서 무엇보다도 중요한 역할을 하는 것은 구조설계기준일 것이다. 물론 이를 적용하는 구조기술자의 능력이나 판단이 더 중요하지만, 아쉽게도 실상은 그렇지 않은 듯하다. 우리나라 건설업계에서 구조기술자의 지식수준보다는 구조설계기준의 문구 하나가 더 큰 역할을 한다는 사실이 매우 안타깝다. 이런 결과가 초래된 것은 발주자와 시행자 간의 기술적 신뢰의 문제와 유사시 책임소재의 문제 등 여러 가지 복합적인 원인이 있겠으나, 구조설계기준 개정의 관례와 대학의 교육내용도 큰 원인이라고 생각한다.

각종 구조설계기준의 개정에 대하여 아쉬운 것이 많이 있으나 「콘크리트구조설계기준」만으로 범위를 한정하여 한 가지만 말하라면, "ACI 318 Code가 개정되었으니 우리도 그에 따라 개정하여야한다"는 생각이 우리 모두를 지배하고 있지는 않은가 하는 것이다. 이에 따라 개정작업을 시행하는 정부기관이 혹시 이런 생각을 가지고 있는 것은 아닐까. "설계기준의 개정은 오랜 전부터 미국의 기준을 참조하고 있으니(중계 표현하자면 ..., 심하게

* 정회원, 영남대학교 건설환경공학부 교수

말하면 '번역하는 거니까'), 큰 예산이 들지도 않고 시간이 많이 필요하지도 않고 ...” 한편 개정작업에 참여하고 있는 전문가들은, “거의 무보수로 하는 일이지만 누군가는 해야 하는 일이니 하기는 하는데, 충분한 시간이 있는 것도 아니니 많은 전문가들 간의 심도 깊은 검토와 토의는 다음번 개정 때에나 ...”

하긴 미국의 기준을 거의 받아들이고 있다는 현실이 사실이기는 하다. 「콘크리트구조설계기준」은 미국 「ACI 318 Code」를, 도로교설계기준은 미국 「AASHTO」를 참조(좋게 표현하면)하고 있으니 ... 그렇지만, 앞으로도 계속 그래야 하는가?

필자는 이런 생각이 든다. 실무설계에 자주 관여하는 기술자로서는, “앞으로 더 개방화 되어 국내에서도 외국 기술자들과 기술 수준을 겨룰 일이 더 많아질 텐데, 우리의 구조설계기준으로는, 또 미국개념으로 구조설계를 공부한 우리 기술자로서는, 미국의 기준개정만을 주시하는 처지를 영영 못 벗어나는 게 아닐까.”

대학에서 콘크리트구조를 가르치는 선생으로서, “미국의 설계기준과 적용개념에 따라 집필된 교과서로 배운 우리 학생들이 외국(특히 유럽) 학생들과 비교하여 경쟁력이 충분하다고 말할 수 있을까.”

콘크리트구조 연구자로서는, “국내학술지에 많은 논문이 발표되었지만 실제로 실무에 적용된 우리의 연구결과는 얼마나 될까. 설계기준에 반영될만한 연구성과가 그리 많다고는 말하기 어렵겠지만, 아무리 연구성과가 좋더라도 설계기준에 반영되지 않고서는 적용하기 어려운 것이 국내 현실이니 ... 이렇게 된 것은 우리가 미국의 설계기준과 적용개념을 도입했기 때문이 아닐까”

필자가 해외학술발표회에 참가하면서 이쉽게 생각하는 것이 하나 있다. 초청논문으로서 발표하는 연사들이, “USA Practice on ...”, “European Practice on ...”, “Japanese Practice on ...”, 최근 들어서는 “Chinese Practice on ...” 등의 제목으로, 각 나라에서 그 주제에 관하여 해오고 있는 연구 또는 실무 적용 사례 등을 발표하는 것을 자주 보았다. 그런데 “Korean Practice on ...”이라는 초청논문은 거의 찾아볼 수 없다는 것이다. 과연 Korean Practice라고 내세울 것이 있는가. 우리의 설계기준이 미국의 것을 거의 그대로 받아들인 것이니, Korean Practice라고 해 봐야 결국은 USA Practice가 아닐까. 해외에서 당당히 “Korean Practice on ...”라는 제목으로 초청받으려면 앞으로 어떻게 하여야 할까. 문제는 설계기준이 아닐까.

그렇다면 이제 전 세계 구조설계기준의 양대 축을 형성하는 유럽의 설계기준과 미국의 설계기준의 차이점에 대하여 생각해 볼 필요가 있을 것이다. 필자는 양대 축으로 나누어진 시기가 2차대전 이후이며 접근방법의 차이는 경제력과 큰 관계가 있다고 알고 있다. 2차대전 이전에는 콘크리트구조도 역시 허용응력설계법을 사용하여 유럽과 미국이 큰 차이가 없었으나, 2차대전 이후 합리적인 설계법을 연구하는 과정에서 전쟁으로 경제력이 쇠약해진

유럽과 경제력이 크게 신장된 미국이 연구방법을 달리하였다.

유럽은 복잡한 거동을 보이는 강재(철근 및 긴장재)와 콘크리트의 합성구조에 대하여 재료단위의 특성을 파악한 후, 역학을 적용한 해석방법을 개발하고 나서 소수의 부재단위 실험을 통하여 검증하고 수정하는 방법을 택하였다. 반면에 미국에서는 막대한 연구비로 휨부재, 전단부재, 기동부재 등 부재단위 실험을 대대적으로 수행하여 부재단위의 실험식(휨강도식, 전단강도식, 처짐 계산식, 균열폭 계산식 등)을 개발하였다. 따라서 유럽의 설계기준은 콘크리트의 등가직사각형 응력분포 뿐만 아니라 재료의 응력-변형을 모델로 비중 있게 다루고 있는 반면, 미국의 「ACI-318 Code」는 콘크리트의 응력-변형률 모델을 언급하지 않고 있다.

결국, 양쪽 모두 역학을 적용하고 실험을 수행한 점은 같으나, 유럽이 재료단위의 특성과 역학적응용을 중시하는 반면, 미국은 부재단위의 실험 및 경험식을 중시한다고 할 수 있다. 따라서 이제까지의 결과로는 미국의 방법이 실제에 더 근접한 계산결과를 제공할 수도 있으나, 기준의 확장성에서는 논란이 있을 수 있다. 예를 들어 고강도 콘크리트 구조의 경우, 유럽형은 고강도 콘크리트의 재료특성을 기본으로 역학을 적용한 계산법에다 강재와의 합성 거동을 검증하는 부재단위 실험을 소수 수행하여 보정하는 저가형(low cost) 방식이다. 반면에 미국형은 고강도 콘크리트 휨부재, 전단부재, 기동부재 등 부재단위 실험을 대대적으로 수행하여 기존의 계산법을 수정하는 고가형(high cost) 방식이다. 우리나라의 경제규모를 고려할 때 우리는 어떤 방식이 적당할 것인가?

한편 이러한 차이는 구조공학의 교육과 기술자의 경쟁력에도 큰 영향을 준다. 예를 들어 철근콘크리트구조의 사용성 검토의 경우, 유럽형에서는 역학이론을 충분히 숙지하지 않으면 처짐과 균열폭을 쉽게 계산하기 어려운 반면, 미국형에서는 역학에 대한 깊은 이해 없이도 공식을 적용하여 비교적 쉽게 계산할 수 있다. 그러다 보니 미국형으로 공부한 학생들은 콘크리트구조의 거동과 해석방법에 관심을 두기 보다는 공식의 적용에만 관심을 두는 경향이 있으며, 하중이 증가함에 따라 선형으로 균열폭이 증가하는 것으로 계산되는 공식의 비합리성을 인식하지도 못한 채 실무설계에 투입되게 된다. 이에 따라 토목 구조물에서 휨에 의한 균열 발생 초기상태임에도 불구하고 균열폭이 크게 계산되어 난감해지는 경우가 종종 있다. 이러한 경우, 설계기준에 명시되어 있지는 않는 “적절한 방법”을 적용하여 균열을 검토할 수 있으나, 설계기준 적용의 경직성으로 승인을 받는 작업이 간단하지 않은 것이 현실이다. 또 콘크리트 구조의 거동에 대하여 제대로 이해하지 못한 채 공식 몇 개만 가지고 거대한 구조물을 설계하는 경우도 많다. 물론 우리나라의 모든 구조기술자가 다 그렇다는 것은 아니지만, 외국 기술과의 경쟁에 있어서 이것은 매우 심각한 문제가 될 수도 있다.

그렇다면 유럽과 미국 이외의 나라들은 어떤지 살펴볼 필요가

있다. 일본은 기본 골격으로 유럽형을 채택한 후 자신들의 연구 결과를 반영하여 독자적인 설계기준으로 발전시키고 있다. 필자의 생각으로는 만약 일본이 미국형을 채택하였다면 독자적인 설계기준으로의 발전은 한계가 있었을 것 같다. 뉴질랜드는 미국형을 채택하였으므로 설계기준의 골격이 미국과 유사하지만 부분적으로 많은 수정을 거친 설계기준을 사용하고 있다.

우리가 주목해야 할 기준 중 하나는 아마도 캐나다의 설계기준일 것이다. 미국과 거의 동일한 설계기준을 사용하던 캐나다는 1980년대에 과감히 유럽개념을 도입하였다. 따라서 부재별 강도 감소계수(휨, 전단, 축력 등)를 버리고, 유럽의 재료부분안전계수와 같은 개념인 재료저항계수(콘크리트, 철근, 긴장재, 강재)를 적용하도록 개정하였다. 그러나 모든 조항을 유럽형으로 완전히 바꾸지는 않았으며, 강도에 대한 안전계수의 적용법 이외의 많은 부분은 미국 설계기준의 형식을 그대로 따르고 있다. 단, 콘크리트의 전단설계규정은 캐나다의 연구성과(유럽의 영향을 크게 받은)를 대폭 반영하여 독자적인 규정을 도입하였다. 물론 캐나다에서 개발된 수정압축장이론(Modified Compression Field Theory)에 따른 전단설계법의 타당성에 대해서는 많은 논란이 있음을 필자도 알고 있다. 그러나 우리가 주목할 만한 것은 유럽의 영향을 크게 받은 수정압축장이론에 따른 전단설계법(유럽에서는 인정하지 않는 듯하지만)이 이미 1994년도 「AASHTO-LRFD」 기준에 채택되었고, 유럽에서 주로 사용하던 Strut-and-Tie Model도 나름대로 수정하여 1994년도 「AASHTO-LRFD」 기준과 2002년도 「ACI 318 Code」 부록에 채택되었다는 사실이다.

또 한 가지 생각해 봐야 할 것은 하중계수이다. 유럽의 Eurocode에서는 교량과 건물, 콘크리트 구조와 강(철골) 구조의 모든 구조물의 고정하중계수가 동일하고, 구조물에 따라 활하중계수를 달리 적용한다. 그러나 미국과 우리나라는 고정하중계수가 교량과 지하철 또는 건물이 다르며, 콘크리트 건물과 철골 건물 또한 다르다. 물론 이러한 문제점을 인식한 미국 토목학회는 1998년에 ASCE 7을 발간하여 교량을 제외한 일반 콘크리트 구조 및

강(철골) 구조에 대한 하중계수와 하중조합을 통일하긴 하였으나 여전히 교량과 건물의 고정하중계수는 다르다. 과연 어떤 것이 더 합리적인가?

한편 미국의 2002년도 「콘크리트구조설계기준(ACI 318)」은 보와 기둥에 대한 휨강도감소계수 적용성의 한계(연성거동의 반영방법)를 극복하고자 다소 편법(?)이라고 할 수 있는 휨강도 감소계수의 적용방법(Unified Design Provisions)으로 개정하였다. 지면관계 상 구체적인 내용을 자세히 언급할 수는 없지만(자세한 내용은 2003년 11월 콘크리트학회지 특집기사 참조), 연성거동의 반영 문제는 재료부분안전계수를 적용하는 유럽개념에서는 전혀 문제될 것이 없이 자연스럽게 해소되는 사안이다.

이와 같은 여러 예를 보면, 결국 미국도 그들 설계기준의 취약성을 유럽 개념을 반영하여 개선하고 있다고 할 수 있다. 필자로서는 최근 들어 콘크리트 구조전공 교수님들 중 유럽의 CEB-FIP Model Code나 Eurocode에 관심을 갖는 분들이 점점 많아지고 있다는 사실을 반갑게 생각하고 있다.

이제는 우리가 장기적으로 어떤 방향으로 가야 하는지 생각해 보아야 할 때가 아닐까. 10년, 20년 뒤에도, 그저 미국 설계기준의 개정결과를 주시하다가 몇 년 뒤에 우리의 설계기준도 그에 따라 개정할 것인가. 일본을 타산지석으로, 유럽형으로 기본 골격을 변경한 후 우리의 연구결과를 반영하여 독자적인 설계기준으로 발전시킬 것인가. 뉴질랜드처럼 미국형을 유지한 채 우리의 연구결과를 가능한 한 많이 반영하여 수정을 할 것인가. 아니면, 캐나다처럼 유럽개념과 미국개념을 절묘하게 합친 후 우리의 연구결과를 반영하여 독자적인 설계기준으로 발전시킬 것인가. 물론 쉽지 않은 과업일 것이다.

이런 필자의 생각이 올해 5월 봄학술발표회 중 개최될 콘크리트구조설계기준에 대한 공청회의 주제는 아니다. 이번 공청회는 몇 년 내에 시행될 다음번 개정을 준비하는 단기적 과업의 일환이 될 것이다. 다만 장기적으로 나갈 방향에 대하여 많은 분들이 관심을 가지고 제실 것으로 생각되어 필자의 생각을 정리해 보았다. □

신간소개

철근콘크리트 구조물의 내화특성

◆ 소개

... 이 시리즈는 그간 각 분야별로 학회지 특집기사에 참여한 전문가들의 경험과 축적된 연구결과 및 국내외에서 개발된 각종 기술 등에 대하여 체계적이고 깊이 있는 내용을 수록하고 있어 관련분야에 종사하는 실무자나 학생들에게 매우 유익한 도서가 될 것이다.

- 저 자: 한국콘크리트학회
- 출판사: 기문당
- 발행일: 2004년 12월 30일
- 정 가: 12,000원(회 원: 10,000원)
- ISBN: 89-7086-634-5
- 총쪽수: 205쪽(판형: B5)

