

성능중심의 건설기술기준 개발의 필요성

Necessities of Development of Performance Based Construction Standards



구재동*
Jai-Dong Koo



김태송**
Tae-Song Kim



송하원***
Ha-Won Song

1. 머리말

WTO 출범 이후, 세계가 하나의 시장으로 개편되면서, 국제 표준(standard)의 중요성이 부각되고 있고, 세계 교역량의 80%가 표준에 영향을 받는 것으로 파악되고 있으며, 국가 간의 무역 활동은 점차적으로 기술무역장벽으로 대체되어 가고 있다.

콘크리트 분야에서는 국제표준화기구(ISO), 유럽표준위원회(CEN), 아시아 콘크리트 모델코드위원회(ICCMC) 등의 국제적 혹은 지역적 기구를 중심으로 콘크리트 구조물의 요구 성능을 합리적으로 확보하기 위한 방안으로서 성능중심의 기준(performance based code)의 도입을 본격적으로 하고 있다^{4,5)}.

국내에서는 콘크리트 구조물 건설에 관련하여 2004년에는 콘크리트표준시방서 내구성편을 제정하여 시공 이전에 내구성 평가를 성능평가형으로 수행하도록 하여 그 결과를 콘크리트 배합설계 및 콘크리트 구조물 구조설계에 반영하도록 하였으나³⁾, 콘크리트 구조설계기준이 사양기준으로 되어 있어 설계에 고성능화되고 다기능화된 콘크리트의 성능 및 최근 개발된 고도의 기술을 반영하기 힘든 실정이다^{1,2)}.

현재 콘크리트 구조물 설계기준을 포함하여 국내 건설공사기준 체계는 대부분이 구조물의 기술적 조건을 충족시키려는 규정 및 사양중심의 기준(prescriptive code)이므로, 세계적인 표준화 흐름에 대응하기 위하여 성능중심의 기술기준 개발이 매우 필요한 실정이다.

2. 콘크리트 구조물 설계기준 발전

구조물 설계기준은 <그림 1>에서 보이는 것처럼 구조물의 공용기간내의 설계상태를 고려할 때 크게 안전성, 수복성, 사용

성, 내구성 등의 요구성능의 확보 및 경제성 확보와, 기반 요소 기술의 확보 정도에 따라 발전해 왔다. 1960년대까지는 복잡한 비선형 거동 특성을 갖는 콘크리트 구조의 기반 재료 및 요소 부재 이론이 충분히 확보되지 않는 상태에서 선형 탄성 이론을 바탕으로 한 허용응력설계법(working stress design: WSD)을 사용하였다. 그 후 경험과 연구 개발에 의한 요소 기술의 축적으로 강도설계법(ultimate strength design: USD)과 전통적 개념의 한계상태설계법(limit state design: LSD)이 등장하였다.

강도설계법과 전통적 개념의 한계상태설계법은 모두 신뢰도기반 하중저항계수 설계(load-resistance factor design: LRFD) 방식에 해당하는데, 한국콘크리트학회 설계기준의 바탕이 되어 온 미국의 현행 ACI(2005)나 AASHTO(2002) 기준은 강도설계법을 바탕으로 하고 있고, 유럽의 Eurocode-2 (EC-2)(1992)는 전통적 개념의 한계상태설계법을 근간으로 하고 있으며, 일본토목학회(JSCE) 기준(2002)은 전통적 개념의 한계상태설계법을 근간으로 하여 최근 성능기반형 형식(performance-based format)을 부분적으로 도입하고 있다⁶⁾.

최근에 이르러 성능중심, 즉 성능기반형 설계기준 개발에 특히 유럽 각국 및 일본을 중심으로 본격적으로 착수 하였으며 노르웨이, 일본 등 일부 국가에서는 국가 차원의 설계개념으로 성능기반형 설계 개념을 도입하고 있다.

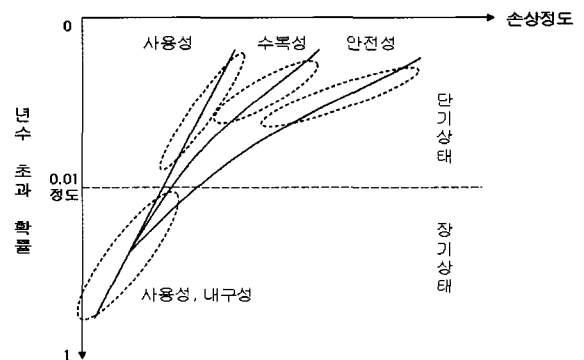


그림 1. 설계상태와 요구성능

* 정희원, 한국건설기술연구원 건설관리연구부 수석연구원
jdkoo@kict.re.kr

** 한국건설기술연구원 건설관리연구부 선임연구원

*** 정희원, 연세대학교 사회환경시스템공학부 교수

3. 성능중심의 건설기술기준의 개념

‘성능’이란 ISO 15686에 의하면 “일정 시점에서 핵심적인 특성에 관한 품질수준”이라고 정의되어 있다. 건설된 시설물에서의 핵심적인 특성은 내화성능, 내구성능, 내진성능 등과 다양하게 나타난다. ‘성능기준’이란 “방법, 수행절차 등을 제시한 것이 아닌, 의도된 최종 성과물의 요구성능에 초점을 맞춘 기준”이라고 정의할 수 있다. 건설기술기준은 크게 설계기준과 시공기준으로 나눌 수 있는데, 이와 같이 성능기준도 성능 설계기준과 성능 시공기준으로 나눌 수 있다⁷⁾.

성능설계기준은 일반적으로 성능기반설계(performance based design: PBD) 기준(code)으로 불리고 있고, 성능 시공기준은 성능시방서(performance specification)로 불려지고 있다. 일반적으로 성능중심형 기준의 구조는 <그림 2>에서 처럼 크게 2단계의 모델로 설명되는 경우가 많다. 일반적으로 먼저 목적하는 바(objectives)를 기술하고, 기능적 요건을 기술하며, 요구하는 성능(performance requirements) 및 성능규정을 기술하는 단계와, 그 다음 그 성능을 조사하고 검증하는 방법의 조사 단계를 갖고 있다.

성능평가형 설계를 수행하는 경우, 규정된 목표성능 지표를 검증 혹은 조사하는 것이 기본이지만, 그 성능지표에 대응하는 콘크리트, 부재 등의 성능조사가 용이하지 않거나 시험이 불가능한 경우, 이를 직접 계산하지 않고 목표성능 지표의 대체성능 지표를 합리적으로 설정해서 검증하는 경우도 있다. 또한, 예측하려는 거동이 여러가지 현상의 복합작용으로 나타나는 경우에는 각 현상 전부를 예측모델에 따른 계산에 근거해야만 하는 것이 아니라, 어느 현상에 관해서는 실험결과를 이용하는 경우도 있다. 단, 실험결과에 근거하여 예측 하려는 경우에는 그 실험조건이 예측하려는 거동의 환경조건 및 시공조건과 일치해야 한다.

성능기반 설계기준의 반대 개념은 사양설계(prescriptive design: PD)기준이다. 성능기반 설계기준과 사양설계기준의 장단점을 비교하면 <표 1>과 같다. 기존 설계 개념인 사양설계(PD) 기준의 장점은 기준에 기술되어 있는 규정에 따르면 되기 때문에 선택에 대하여 생각할 필요가 없어 적용이 쉽다는 것이다.

반면 새로운 개념의 성능기반설계(PBD)기준은 목적하는 바에 따라 해결책이 달라지며, 여러 가지 방법을 동원하여 목적하

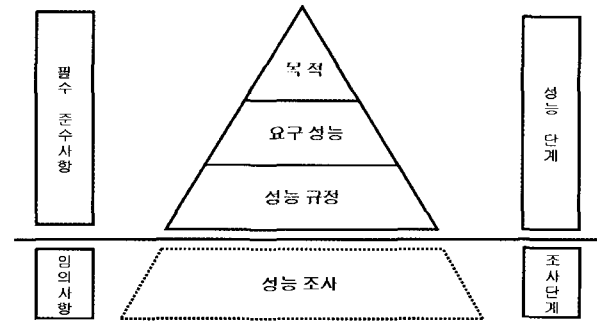


그림 2. 성능기준의 구조 및 단계

는 바를 달성할 수 있고, 따라서 기술 개발 및 성능평가 기술의 우위를 바탕으로 건설 시장 개방에 적극적으로 대응 할 수 있다는 이점이 있다. 그러나 설계자에게 보다 많은 지식이 요구되며 성능평가 및 검증에 대한 기술력의 축적이 필요하다는 단점이 있다. 성능시방서란 제품이나 치수, 형상을 규정하기보다는 제품의 성능만을 명시하고, 자재나 시공방법과 같이 결과치에 이르는 방법을 규정하기보다는 요구하는 최종 목표 결과치를 명시하는 시방이다.

성능시방서의 반대개념은 서술시방서(descriptive specification)이다. 성능시방서와 서술시방서의 장단점을 비교하면 <표 2>와 같다. 서술시방서의 장점은 명시된 대로 시공하면 되므로, 적용이 용이하나, 신기술, 시공법 반영이 곤란하여 시공자의 기술개발이 곤란한 단점이 있다. 반면 성능시방서는 신기술, 신공법의 반영이 가능하여 시공자의 기술개발 유도가 가능하고, 시공성과품의 생애주기비용(LCC)의 절감이 가능하나, 시방서 작성 및 적용이 어렵고, 시공자의 위험부담이 증가하는 단점이 있다.

4. 성능중심 건설기술기준 개발 현황

콘크리트 분야에서의 성능기반설계(performance based design)의 개념은 최근 국제표준화기구(ISO)의 콘크리트 구조물의 설계기준의 최상위 기본개념으로 채택되어 각국의 설계기준의 기본개념으로 채택되고 있다.

일본의 경우, 한신대지진 이후 건설기술자의 각성과 책임을 강조하려는 제도적인 노력의 일환으로 1998년 건축기준법을 개정

표 1. 사양설계기준과 성능기반 설계기준의 장단점 비교

	장점	단점
사양설계 기준	- 설계가 사용 용이 - 발주자가 빠르고 쉽게 결과물에 대한 검토수행 - 법률적인 집행 용이	- 신기술, 신공법 반영 곤란하여 설계자의 기술개발에 한계 존재 - 최적공사비 설계 곤란 - 국제시장 장벽으로 작용하여 문제발생 소지 존재
성능기반 설계 기준	- 요구성능과 결합가능한 설계를 통해 설계기술력 향상도도 - 신기술 비교적 빨리 반영가능 - 국제건설시장의 흐름에 맞는 기준	- 설계자의 위험부담 증가 - 설계에 대한 상세한 실험 및 검토 등 전문적 접근 필요 - 기준의 정량화 곤란

표 2. 서술시방서와 성능시방서의 장단점 비교

	장점	단점
서술시방서	- 시공자가 사용 용이 - 발주자나 감리자가 빠르고 쉽게 결과물에 대한 검토수행	- 신기술, 신공법 반영 곤란하여 시공자의 기술개발 곤란 - 최적공사비 시공 곤란
성능시방서	- 신기술, 신공법의 반영이 가능하여 시공자의 기술 개발 촉진 - 생애주기비용(LCC) 절감 가능	- 시방서에 시설물의 기능이나 시공결과 중 하나라도 누락 시 큰 손실 초래 가능 - 시공자의 위험부담 증가 - 시공결과물에 대한 상세한 실험 및 검토 등 전문적 접근 필요

하여 설계단계에 성능을 평가하는 설계주택성능평가를 수행하도록 하여, 콘크리트 구조물 설계기준이 성능평가형 규정으로 전환되도록 하였으며, 향후 레미콘의 발주에 있어서도 설계기준강도, 슬럼프, 굽은골재 최대치수 등만을 표시한 사양발주가 아닌 성능발주라는 새로운 개념의 발주시스템으로 변화할 것으로 예측되고 있다. 또한 2002년 콘크리트 표준시방서를 성능설계중심으로 개편하여 구조성능조사형 구조설계 기준으로 개정하였다. 유럽연합 소속인 프랑스의 경우 구조물의 사용자에게 주택성능평가의 결과를 제공하는 Qualitel제도를 1986년부터 실시하고 있으며, 노르웨이, 스페인 등은 국가 차원의 설계기준으로 성능기준형 설계기준을 채택하고 있다.

성능중심의 설계개념에 대한 개발이 국제적으로 많이 진행되고 있는 아스팔트 포장 분야의 성능기준 개발을 소개해보면, 덴마크와 스웨덴의 경우, 전통계약방식 하에서 성능보증(performance warranties)제도를 적용하고 있다. 영국의 경우, 10여년 이상 영국의 계약방식이었던 설계시공일괄입찰 방식 하에서 성능보증제도를 채택해 왔다. 성능보증에는 자재 및 기술숙련도가 포함되지만, 시공자가 설계의 일부 또는 전부에 대한 책임이 있기 때문에, 완성된 시공 성과품의 성능이 포함된다. 덴마크, 스웨덴, 영국 세나라가 성능보증제도에 5년의 성능보증기간을 적용하고 있다. 아스팔트 포장의 경우, 설계수명이 5년보다 훨씬 길지만, 그 기간이면 시공자에게 아스팔트 포장의 설계수명 전체에 대한 과도한 부담을 지우지 않으면서, 아스팔트 포장에 대한 적당한 수명측정이 가능하기 때문이다. 성능에는 소성변형, 크래킹, 내구성 외에 포장의 평탄성, 마찰성능이 많이 적용된다. 성능보증은 배합설계나 자재 및 공법의 혁신을 가져올 수 있다. 국가별로 정도의 차이는 있으나, 유럽의 주요 국가들의 경우, 성능보증계약제도가 자재 및 기술숙련도 보증제도에 비하여 훨씬 더 큰 효과가 있음을 보여주었다.

대안계약방식 중 하나인 포장성능계약(pavement performance contracts)제도의 경우 보증기간을 포장의 설계수명에 가깝게 늘리고 있다. 이 계약제도 하에서 계약자는 포장의 성능을 명시된 수준까지 설계, 시공, 유지관리를 할 의무가 있다. 대부분의 유럽 주요 국가들은 11년 ~ 20년까지의 다양한 포장성능보증계약을 시행하거나 시험하고 있다. 이 계약방식은 계약자들에게 더 많은 기술혁신을 유도할 수 있으나, 계약자는 설계, 시공, 유지관리에서 경쟁력을 확보하여야 하는 잠재적 위험요소를 가질 수 있다. 이 계약제도가 건설프로세스 상에서 적용되는 범위는 <그림 3>과 같다⁸⁾.

5. 맺음말

현재의 대부분의 설계기준 및 시공기준은 사양중심의 설계기준과 서술중심의 시방서라고 할 수 있다. 사양중심의 설계기준과 서술중심의 시방서는 공통적으로 신기술, 신공법의 적용이 곤란

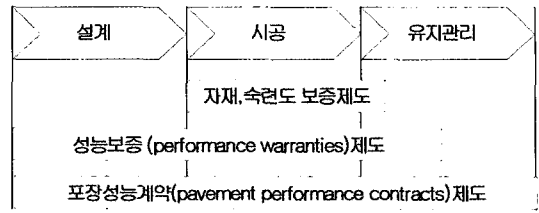


그림 3. 포장성능계약제도의 적용범위

하여 설계자 및 시공자의 개발된 기술 적용에 한계가 존재한다는 단점이 있다. 반면 성능기반 설계기준과 성능시방서는 모두 기준의 작성 및 적용에 어려움이 있지만, 설계 및 시공자의 창의성이 반영될 수 있도록 함으로써 기술개발을 촉진시킬 수 있다는 장점이 있다.

이러한 두 설계 및 시공기준의 장단점에도 불구하고 기술력에 의한 차별성이 확실한 성능중심의 기준이 미래지향적이며, 국제기준의 흐름에 부합하는 기준으로 앞으로 나아갈 방향임에는 틀림없다. 최근 건설교통부에서 2006년 초부터 주택성능등급 표시제도를 시행하도록 하여 구조물건설에 보다 본격적인 성능기반 설계기준 및 성능시방서의 도입 필요성이 시급히 대두되고 있으며, 콘크리트 표준시방서 등에서 콘크리트 구조물의 등급별 목표내구수명 등을 규정하여 구조물 시공 이전에 부분적인 내구성 성능평가를 수행하도록 성능시방이 도입되고 있다. 국내 실정과 국제 동향에 부합하도록 대체로 비슷한 시기에 성능기반 설계기법을 개발하여 선진국과 어깨를 나란히 하며 현장에 적용할 수 있도록 한다면, 국내의 시멘트 산업, 콘크리트 산업, 건설산업과 관련된 기술은 급속도로 향상되고 우리기술의 국제화 및 경쟁력 상승으로 이어질 수 있다.

향후 약 5년 이내에 고강도, 고성능, 고내구성 콘크리트가 콘크리트 산업을 주도할 전망이다. 또한 지속가능한 콘크리트 구조물의 설계와 시공을 위해서는 차세대 건설관련 기준으로 성능중심의 설계기준 및 시방기준, 즉 표준시방서의 개발이 시급히 필요한 실정이다. □

참고문헌

1. 한국콘크리트학회, 콘크리트 구조설계기준, 한국콘크리트학회, 2003.
2. 한국콘크리트학회, 콘크리트 표준시방서, 한국콘크리트학회, 2003.
3. 한국콘크리트학회, 콘크리트 표준시방서(내구성편), 한국콘크리트학회, 2004.
4. 구재동, 진경호, 국제화시대에 대비한 성능중심의 건설기술기준 개발 기획연구.
5. 송하원, "콘크리트에 관한 ISO국제규격- ISO/TC71 서울총회개최 보고를 중심으로", 콘크리트학회지, 18권 3호, 2006, pp.91 ~ 96.
6. 日本土木學會, 콘크리트標準示方書(構造性能照査編), 日本土木學會, 2002.
7. Construction Specifications Institute, *The Project Resource Manual*, MacGraw-Hill, 2005.
8. U. S. Dept. of Transportation, *Asphalt Pavement Warranties Technology and Practice on Europe*, 2003.