

고성능 콘크리트의 개발과 적용

Development of High-Performance Concrete and Its Applications

콘크리트는 국가기간시설의 핵심을 이루는 고속도로 교량, 고속철도, 지하철, 항만 및 해양구조물 등의 건설에 중요하게 활용되고 있다. 최근 콘크리트와 관련된 가장 주목할만한 주제의 하나는 콘크리트의 '고성능화'이다. 불과 몇 년전만 하더라도 콘크리트는 주로 강도의 측면에서 분류되고 설계에 반영되었다. 이 때문에 고강도 콘크리트 (high-strength concrete)가 곧 고성능을 보장할 수 있다는 인식이 지배적이었다. 그러나, 점차 콘크리트의 강도 이외의 측면, 즉 내구성과 시공성 등의 측면이 부각되기 시작하면서 현재의 고성능 콘크리트 (high-performance concrete) 개념이 도입되기에 이르렀다.

그러나, 고성능 콘크리트라는 용어가 건설분야에서 사용되기 시작한 것이 이미 십 여년이 지났지만, 실제로 고성능 콘크리트가 무엇인가라고 할 때 이에 대해 명확한 정의를 제시하기란 결코 쉬운 일이 아니다. 그만큼 고성능 콘크리트는 상황과 목표에 따라 그 정의가 달라질 수 있으며, 적용방법 또한 다양하기 때문이다. 여기서는 고성능 콘크리트에 대한 일반의 이해를 돕기 위해 미국 콘크리트학회(ACI)의 기술분과위원회 위원장인 Henry Russell가 고성능 콘크리트의 정의에 대해 Concrete International 紙에 기고한 내용을 바탕으로 고성능 콘크리트의 정의와 개발에 대해 소개하고, 고성능 콘크리트의 적용방안에 대해 간략히 고찰하고자 한다.

고성능 콘크리트의 정의와 개발

미국의 SHRP(Strategic Highway Research Program)²에서는 고성능 콘크리트에 대해서는 최초로 다음과 같은 정의를 제시하였다.

1. 물 - 시멘트비 : 0.35 이하



오 병 환

서울대학교 토목공학과 교수



장 승 엽

서울대학교 토목공학과 박사수료

- 2. 동결융해 내구지수 : 80% 이상
- 3. 재령별 최소 압축강도 : 다음 중의 하나
 - 3000psi (21MPa) 타설 후 4시간 이내
 - 5000psi (35MPa) 타설 후 24시간 이내
 - 10000psi(69MPa) 타설 후 28일 이내

SHRP³에서는 또, 위의 정의에 맞는 4가지 종류의 고성능 콘크리트를 개발하였다(표1).

표 1. SHRP³의 고성능 콘크리트

형 태	최소강도기준	w/(c+m)	최소내구지수(%)
초조강 콘크리트(VES)	6시간강도 2000psi (14MPa)	≤0.40	80
조강 콘크리트(HES)	24시간강도 5000psi (34MPa)	≤0.35	80
초고강 콘크리트(VHS)	28일강도 10000psi (69MPa)	≤0.35	80
섬유보강 콘크리트	HES + 강/합성섬유	≤0.35	80

1998년의 FHWA(Federal Highway Administration) 보고서⁴에서는 고성능 콘크리트는 보통 콘크리트보다 더 내구성이 높게 또는 필요할 경우 강도가 더 높게 설계된 콘크리트이며, 사용재료는 보통 콘크리트 배합과 거의 유사하지만, 그 배합비(mixture proportions)는 건설프로젝트의 구조적, 환경적 요건에 맞는 강도 및 내구성을 가질 수 있도록 설계되고 계획된다고 서술하고 있다.

Mather⁵는 어떤 목적을 위해 필요한 보통 콘크리트가 가질 수 없는 성질을 가진 콘크리트를 고성능 콘크리트라고 간주하였으며, Neville⁶은 “고성능 콘크리트의 기본적인 특징은 그 구성재료와 배합비가 구조물의 용도에 맞는 적절한 특정 성질을 갖도록 선택된다는 점이며, 이런 성질에는 주로 고강도와 낮은 투과성(low permeability)이 된다.”라고 기술하고 있다. 그리고, 호주의 Ryan & Potter⁷는 보통 구조용 콘크리트에 요구되는

것보다 훨씬 더 엄격한 복합적인 성능기준을 만족하는 콘크리트를 고성능 콘크리트로 정의하기도 하였으며, 역시 호주의 Rangan⁸은 또 고성능 콘크리트에 대한 유일한 정의는 있을 수 없으며, 콘크리트의 목적에 맞는 성능요건의 기준치에 의해서만 고성능 콘크리트를 정의할 수 있다고 서술했다.

영국의 Swamy⁹는 고성능 콘크리트 부재를 비용, 수명, 내구성 요건과 일치하는, 주어진 하중조합과 취급방법, 노출조건에 맞게 최적화된 성능을 발휘하도록 설계된 콘크리트로 정의하였으며, 고성능 콘크리트가 반드시 비싼 재료와 복잡한 공정의 기술 - 이것들이 상황이나 환경에 적합한지가 보장되지않는다면 - 을 요하는 것이 아니라는 점을 지적하였다.

일본의 Tomosawa¹⁰는 필요한 만큼 조절할 수 있는 비중을 가지면서, 여러 종류의 구조물 설계 및 시공환경에 대한 다양화된 요건을 만족하도록 높은 작업성과 고유동성을 갖는 콘크리트로 고성능 콘크리트를 정의하였다. 실제로 일본에서는 이러한 무(無)다짐 콘크리트(self-compacting 또는 self-leveling concrete)를 몇 개의 대형 건설프로젝트에 적용한 바 있다.

이상의 정의들은 모두 나름대로의 타당성을 가지지만, 모두 조금씩 차이가 있다. 이런 고성능 콘크리트의 다양한 측면을 포괄하기 위해 ACI의 고성능 콘크리트 기술분과위원회에서는 고성능 콘크리트에 다음과 같은 공식적인 정의를 제시하였다.

“일반적인 재료와 보통의 비비기, 타설 및 양생작업을 통해서서는 일반적으로 얻을 수 없는 성능 및 균질성(uniformity) 조건의 조합을 만족하는 콘크리트”

ACI의 정의에 따르면, 고성능 콘크리트는 특정 적용목적과 환경에 맞게 개발된 특성을 가진 콘크리트이다. 이런 특성의 예로는 다음과 같은 것을 들고 있다.

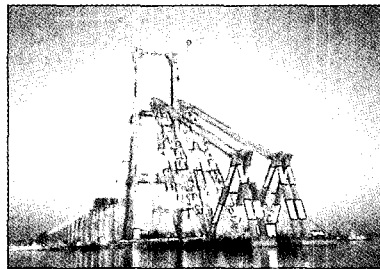
- 타설의 용이성(ease of placement)
- 재료분리가 없이 다짐할 수 있는 성질 (compaction without segregation)
- 초기강도(early age strength)
- 장기 역학적 성질 (long-term mechanical properties)
- 투과성(permeability)
- 밀도(density)
- 수화열(heat of hydration)
- 인성(toughness)
- 부피안정성(volume stability)
- 열악한 환경에서의 장수명 (long life in severe environment)

ACI의 정의는 다양한 고성능 콘크리트의 적용을 제한하지 않도록 하기 위해서 매우 포괄적으로 정의되었으나 자칫하면 고성능 콘크리트와 일반 콘크리트를 혼동할 수 있는 소지가 있다. 따라서, 이 정의가 최종적인 고성능 콘크리트의 정의라고는 할 수 없으며, 고강도 콘크리트의 정의가 수년에 걸쳐 계속 변화되어 왔듯이 고성능 콘크리트의 정의 역시 시간이 흐름에 따라 계속 변해갈 것이다.

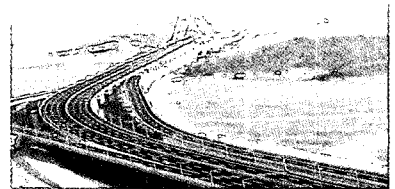
고성능 콘크리트의 적용

고성능 콘크리트의 적용범위는 그 정의나 성질만큼 매우 다양하다. 해양 구조물, 원자력발전소, 장대교량 등 열악한 환경에 건설되는 구조물이나 국가·사회적으로 중요도가 높은 대형 구조물에는 고성능 콘크리트가 주로 적용된다(그림1). 최근에는 100MPa의 콘크리트가 실제로 적용될 계획으로 있을 만큼 국내에서도 이미 고강도 콘크리트, 고내구성 콘크리트(high-durability concrete)¹⁾, 고유동 콘크리트(high-fluidity concrete) 및 고인성 콘크리트(high-toughness concrete) 등이 실용화 단계에 있으며, 이외에도 여러 가지 종류의 고성능 콘크리트가 연구, 개발되고 있다.

그러나, 고성능 콘크리트의 개발과 보다 활발한 적용을 위해 아직 해결해야 할 과제가 많이 남아 있다. 무엇보다도 고성능 콘크리트를 위한



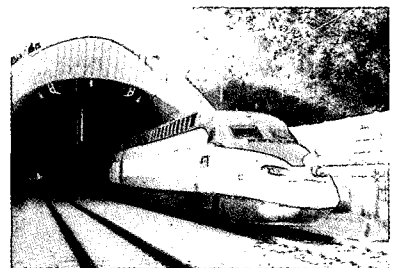
서해대교



신공항고속도로



원자력발전소



고속철도

그림 1. 고성능 콘크리트의 적용

설계 및 해석기법의 개발이 반드시 필요하다. 고성능 콘크리트는 일반 콘크리트와는 다른 재료 및 배합비를 사용하기 때문에 일반 설계기준을 그대로 적용할 수 없으며, 따라서 적용목적과 환경에 맞는 적절한 재료와 배합비의 선정을 위한 설계기준과 해석기법이 정립되어야 한다. 또, 이에 따라 고성능 콘크리트의 시공 및 유지관리를 위한 품질기준과 시공기법의 개발이 또한 뒷받침되어야 할 것이다.

맺음말

본 소고에서는 고성능 콘크리트의 정의와 적용에 대해 간략히 살펴보았다. 본문에서 서술했듯이 고성능 콘크리트는 하나의 특별한 성질을 갖는 콘크리트가 아니라 목적과 상황에 맞게 최적화된 일반 콘크리트로는 얻을 수 없는 하나 이상의 복합적인 특성을 갖는 콘크리트로 이해되어야 한다. 일반적으로 사용자들은 고성능 콘크리트가 많은 비용이 드는 콘크리트라고 생각하는 경향이 있지만, 반드시 비싼 재료와 복잡한 기술을 요하는 것이 아니며 장기적인 유지보수 비용까지 고려한다면 경제성 측면에서도 고성능 콘크리트가 일반 콘크리트에 비해 훨씬 유리하다는 사실을 인식할 필요가 있다.

최근 잇따른 기간시설물의 부실시공문제로 사회적 불안감이 가중되고 있는 현실에서 유일한 대안은 고성능 콘크리트라는 사실을 깊이 인식하고, 앞으로도 고성능 콘크리트의 개발과 실용화를 위해 보다 많은 관심과 연구노력을 기울여야 한다.

참고문헌

1. Russell, H.G., "ACI Defines High-Performance Concrete," *Concrete International*, Vol.21, No.2, February 1999, pp.56-57.
2. Zia, P., Leming, M.L. and Ahmad, S.H., *High-Performance Concretes: A State-of-the-Art Report*, SHRP-C/FR-91-103, Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, D.C., 1991.
3. Zia, P., Leming, M.L. and Ahmad, S.H., *Mechanical Behavior of High-Performance Concretes, V.1: Summary Report*, SHRP-C-361, Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, D.C., 1993.
4. *High-Performance Concrete Bridges, Building Bridges for the 21st Century*, U.S. Dept. of Transportation, Federal Highway Administration, Publication No. FHWA-SA-98-084, 1998.
5. Mather, B., "High-Performance Concrete in the U.S. Army Corps of Engineers," *International Workshop on High-Performance Concrete*, edited by P. Zia, SP-159, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1996, pp.323-333.
6. Neville, A.M., *Properties of Concrete*, 4th ed., Longman Group Limited, England, 1995, 844 pp.
7. Ryan & Potter, "Research Needs for HPC - An Australian Perspective," *International Workshop on High-Performance Concrete*, edited by P. Zia, SP-159, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1996, pp.105-116.
8. Rangan, B.V., "Studies of High-Performance Concrete Structural Members," *International Workshop on High-Performance Concrete*, edited by P. Zia, SP-159, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1996, pp.117-134.
9. Swamy, R.N., "High Performance and Durability through Design," *International Workshop on High-Performance Concrete*, edited by P. Zia, SP-159, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1996, pp.209-230.
10. Tomosawa, F., "Special HPC's II: Lightweight Aggregate HPC, Self-Compacting HPC," *Fourth International Symposium on the Utilization of High-Strength / High-Performance Concrete*, Symposium Proceedings, V.1, Paris, France, 1996, pp.83-92.
11. 오병환 외, "고품질 시공을 위한 고내구성 콘크리트의 개발 및 실용화 연구" 연구보고서, R&D/94-0029, 건설교통부, 1996, 375 pp.