

高強度 콘크리트 (I)

— 양날을 가진 칼(번역)

오병환* 백신원**

*서울대학교 공과대학 토목공학과 교수

**서울대학교 대학원 박사과정

目 次

1. 서론	4. 재료의 선택 및 배합비율
2. 고강도 콘크리트의 시장성	4.1. 개요
3. 고강도 콘크리트의 적용	4.2. 콘크리트의 요구특성 결정
3.1. 고강도 콘크리트기둥, 파일 및 케이슨	4.3. 그 지역에서 이용가능한 재료 결정
3.2. 고강도 복합철근 콘크리트 부재	
3.3. 보 및 거더	

1. 서론

일반적으로 압축강도가 6,000psi (420kg/cm²) 이상인 콘크리트를 고강도 콘크리트로 분류한다. 대부분의 레미콘 회사에서는 압축강도 6,000psi인 콘크리트를 공급할 수 있고 몇몇 지역에서는 압축강도가 9,000psi (630kg/cm²) 까지의 콘크리트를 공급하기도 한다. 최근에는 압축강도 12,000psi (840kg/cm²) - 14,000 (980kg/cm²) 의 고강도콘크리트가 실제시공에 적용되고 있고, 프리캐스트 프리스트레스트 콘크리트 파일등에는 더 높은 강도의 콘크리트가 적용되고 있다.

콘크리트의 새로운 시장을 창출하고 사업을 확장하기 위해 레미콘회사들은 고강도

콘크리트를 사용한다. 시카고의 레미콘회사에서는 고층빌딩에 고강도 콘크리트를 사용하여 국제적으로 그들의 우수성을 인정받고 있다. 보통 콘크리트뿐만 아니라 고강도 콘크리트의 새로운 시장은 고층빌딩이나 교량 건물등에 강재 대신에 콘크리트를 사용함으로써 더욱 넓어질 것이다.

Cleveland, Seattle, San Francisco 등지에서는 현재 압축강도가 10,000psi (700kg/cm²) 이상인 콘크리트가 고층빌딩의 구조용 강 콘크리트 합성재를 만들기 위해 사용되고 있다. 구조용 강-콘크리트 합성재를 사용함으로써 강부재의 양을 줄이고 건축 공정을 단축할 수 있는 잇점이 있다.

특수콘크리트의 매매는 콘크리트 생산자

에게 위험부담을 주며 투자한 만큼의 이윤을 회수하기 어렵다. 대부분의 레미콘은 하나의 상품으로 사고, 팔리며, 생산자도 이에 따라 대우를 받는다.

대부분의 건설도급자들은 콘크리트 생산자의 공급능력과 콘크리트 가격에 근거하여 콘크리트를 구입한다. 또한 그들은 콘크리트의 비용이 직접적으로 줄어드는 것에 관심이 있으며 콘크리트 생산자들과의 오랜 친분관계를 유지한다거나 양질의 콘크리트에는 별로 관심이 없다. 콘크리트생산자들은 이러한 콘크리트 수주자들의 요구에 대한 어려움을 겪고 있는데도 콘크리트 수주자들은 더욱 더 비용을 낮출려고 할뿐만 아니라 좋지 않은 콘크리트에 대해서는 모든 비용을 콘크리트 생산자들에게 부과하려고 한다.

콘크리트 생산자들에게 새로운 판매망과 수익성을 창출하기 위하여 고강도 콘크리트를 사용하는 방안을 강구해야 한다. 고강도 콘크리트를 생산하기 위해서는 재료의 관리나 기술적인 부분에 세심한 주의를 기울여야 한다.

본 연구에서는 고강도 콘크리트의 시장성과 위험성에 대해 개략적으로 고찰해 보고 고강도 콘크리트의 제조방법을 제시하고자 한다. 또한 고강도 콘크리트에 문제가 발생할 경우 이에 대처할 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

2. 고강도 콘크리트의 시장성

고강도 콘크리트는 특수한 목적을 위해 콘크리트 수요자나 설계자에 의해 사용되어진다. 설계자들은 구조물의 뼈대(골조) 비용을 감소시키기 위해서나 또는 구조물에 있어서 특수 설계를 하기 위해서 고강도 콘크리트를 사용한다. 도급자들은 어느 콘크리트에 대해서도 추가비용을 지불하지 않지 만, 하루만에 포스트텐션이 가능하다든지,

손상된구조의 보수를 빠르게 한다든지, 철근량을 크게 줄일 수 있을 경우등에는 언제나 추가비용 지불에 인색하지 않다.

고강도 콘크리트의 시장성을 보장하는 열쇠는 설계자나 콘크리트 수주자들이 고강도 콘크리트를 사용할 경우 많은 이로움이 있다는 것을 보여주는데 있다. 고강도 콘크리트가 상당히 유용하고 경제성이 높을 경우 설계자나 콘크리트 도급자는 고강도 콘크리트를 사용할 것이다.

콘크리트 생산자들은 합리적인 가격으로 항상 균일한 강도를 달성할 수 있다는 것을 보증해야 한다. 콘크리트 생산자들이 그들의 능력을 알리는 하나의 방법은 표1과 같은 사양서(Specification Sheet)를 만드는 것이다. 이러한 사양서에 콘크리트 생산자들은 고강도 콘크리트의 배합비, 재료, 비용 등의 상세한 부분을 나타내지 않으면서 이런 종류의 콘크리트에 대한 시공경험을 요약할 수 있다. 또한 이러한 사양서를 통해 휨강도의 증가와 같은 정보를 설계자들에게 알려줌으로써 설계자들이 고강도 콘크리트를 유용하게 사용할 수 있고 고강도 콘크리트의 적용범위를 넓힐 수 있을 것이다.

표 1. 고강도 콘크리트의 견본 사양서
(1) 압축 강도 (1psi≒0.07kg/cm²)

재 령 (일)	평균 압축강도 (psi)	표 준 편 차 (psi)	시 험갯수	탄 성 계 수 (10 ⁶ psi)
3	5,070	700	23	4.5
7	9,020	750	120	
14	11,200	725	12	
28	12,090	760	160	6.5
56	13,300	735	34	
90	13,900	715	18	7.2

이표는 우리회사의 배합 0162의 데이터로

서 이러한 정보가 설계를 하시는 분이나 건설현장에 종사하시는 분들에게 관심이 있으리라 믿습니다. 이표의 시험은 CCRL (Cement and Concrete Reference Laboratory)이 인정한 전문적인 실험실에서 이루어 졌습니다.

이표와 같은 고강도 콘크리트나 다른 콘크리트에 관한 더 많은 정보를 원하시는 분들은 연락을 주시기 바랍니다.

(2) 휨 인장강도 (28일) :1,400psi

(3) 단위 중량:152(1b/ft3)

(4) 물시멘트비:0.32

다행히도 콘크리트 생산자들만이 고강도 콘크리트의 품질을 향상시키는데 관심이 있는 것은 아니다. 몇몇 철근 제조자나 관련 무역회사들도 철골구조보다 철근콘크리트 구조의 경제성을 향상시키기 위해 고강도 콘크리트의 품질 향상에 상당한 관심을 가지고 있다. 또한 많은 시멘트회사나 관련 무역회사들은 철골구조보다는 고강도 콘크리트를 사용한 구조물의 설계를 하는 설계자나 콘크리트 생산자에게 상당한 도움을 주고 있고 이러한 도움의 형태나 수준은 지역에 따라 다르지만 대단히 의미있는 일이라 말할 수 있다. 이들 제조회사들은 구조물의 효율적인 건설을 위해 설계상세와 시공상세를 제시할 수도 있다.

3. 고강도 콘크리트의 적용

특수한 목적에 이용되는 상업용, 군시설, 다른 공공구조물에 고강도 콘크리트가 사용되고 있다. 그러나 케이슨, 파일, 거더, 기둥 등을 포함한 고층빌딩에 더 많이 사용되기 때문에 고층빌딩을 고강도 콘크리트의 가장 큰 시장으로 볼 수 있다.

10,000psi이상의 강도로 건물을 짓는 공사에서는 보통 10,000 cubic yard이상의 고강도 콘크리트가 필요하다. 표2는 50층이상인 고층빌딩의 공칭강도 (Specified Strength)와

실제강도 (Actual Strength)를 나타낸 것이다.

표 2. 1988, 1989년도 고강도 콘크리트의 적용례

(1psi ≒ 0.07kg/cm²)

지역	공칭 강도 (psi)	실제평균 강도 (28일) (psi)
Seattle	14,000	18,000
Chicago	12,000	13,000
Cleveland	12,000	(1989년초)
San Francisco	9,500	11,000

3.1. 고강도 콘크리트 기둥, 파일 및 케이슨

기둥, 기초 파일 및 케이슨등의 성능은 콘크리트의 압축강도에 직접 비례하며 압축강도가 증가함으로써 기둥, 파일 및 케이슨의 단면이나 사용되는 갯수가 줄어들게 된다.

1989년 1월, 한 건물의 설계에 약300개의 프리스트레스 콘크리트 파일과 상당히 많은 양의 케이슨이 소요되는 것으로 계산되었고 이때의 콘크리트의 설계강도를 5,000psi로 가정했으나, 설계강도를 14,000psi이상을 가정했을 경우에는 80%이상의 콘크리트파일과 케이슨이 감소됨으로써 기초에 쓰이는 비용과 시간의 상당한 감소를 가져오는 것으로 나타났다.

3.2. 고강도 복합철근 콘크리트 부재

빌딩의 기둥이나 전단벽의 크기는 빌딩층수나 층면적에 대한 소유주의 요구에 의해서 결정된다. 이때 작은 기둥을 사용하기 위해서는 많은 양의 복합 철근이 필요하고 이럴경우 상대적으로 비용의 증가를 가져와 기둥과 전단벽에 소요되는 철근의 비용은 노동력을 포함하여 일반공법에 의해 2, 3배

가 증가하게 될 것이다.

특히 많은 양의 철근을 필요로 하는 건축물에서는 고강도 콘크리트를 사용함으로써 기둥에 쓰이는 철근양의 감소로 전반적으로 상당한 비용 절감을 얻게 된다. 설계자들은 기둥이나 전단벽의 강성은 그대로 유지하면서 필요한 철근의 양을 줄이기 위해서 압축강도와 탄성계수가 더 큰 콘크리트를 원한다. 철근 부재에서 철근양은 빌딩의 건축공정에 상당한 영향을 미치고 철근양의 감소는 전체공정을 단축시키는 결과를 가져올 것이다.

3.3. 보 및 거더

고강도 콘크리트가 건축물의 기둥에 가장 많이 사용되는 것으로 알려져 있지만 보나 거더에도 사용된다. 보나 거더는 건축물의 바닥을 지지하는데 쓰이며 부재의 장기처짐이 거의 일어나지 않도록 설계하는 것이 중요하다.

전달(Transfer) 거더는 빌딩의 내부 기둥으로부터 큰 하중을 받아 하중을 외부기둥에 전달하는 역할을 한다. 따라서 전달거더를 사용함으로써 콘크리트빌딩의 저층에 공간이 넓은 룸을 만들 수 있다. 그러나 이러한 트랜스퍼 거더를 사용하는 경우 부재 단면의 높이를 최소화하고 부재의 장기처짐을 최소화하는 것이 중요하다. 전달거더에 고강도 콘크리트를 사용할 경우 탄성계수의 증가로 장기처짐이 상당히 감소할 뿐만 아니라 휨강성이 증가하여 부재단면의 높이도 줄일 수 있다.

4. 재료의 선택 및 배합

4.1. 개요

대부분의 콘크리트 생산자들은 56일 압축강도 10,000-12,000psi까지의 고강도콘크리트를 얻기 위해 그 지역내에서 유용한 재료와 상업용 혼화재료를 사용한다.

초기의 이러한 강도에서 나중의 강도가 13,000-19,000psi까지를 얻으려면은 다른 지역으로부터 조골재를 수입해야 될지 모르지만 이 정도의 강도는 쉽게 얻어질 수 있다.

ACI나 여러 사람들이 고강도 콘크리트의 일반적인 배합과정을 제시하였고 콘크리트 생산자들은 이러한 제안을 유용하게 이용을 한다. ACI 363 위원회의 보고서에는 고강도 콘크리트의 재료 선택 및 배합에 관한 내용이 있으며 AIC 211에는 더 자세한 과정이 나와 있다.

상업용 콘크리트를 생산하기 위해서는 콘크리트 재료의 계측이나 배합에 관해 수많은 실험을 수행해야만 한다. 고강도 콘크리트를 만들기 위해 콘크리트의 배합이나 재료의 선택에 있어서 ACI나 다른 일반적인 지침을 이용하게 된다. 그러나 그 지역에서 이용할 수 있는 콘크리트 재료나 콘크리트 생산장비에 주의를 기울여야만 한다. 예를 들어 시애틀에서는 그 지역의 양호한 골재와 시멘트를 사용하여 28일 압축강도가 16,000psi를 상회하는 콘크리트를 만들 수 있었지만 다른 지역에서는 양호한 골재를 얻기가 쉬운일이 아니다. 따라서 고강도 콘크리트를 만들기 위해서는 특수한 혼화재료와 양질의 골재 및 시멘트를 사용해야 한다. 표3은 본 연구자가 사용한 콘크리트재료의 선택 및 배합의 가이드 라인이다. 이 가이드라인을 따라 콘크리트를 만들때 어느 주어진 강도수준에 대해서 상업적으로 경제적인 콘크리트가 5-10회의 시험 배치후에 만들어질 수 있다.

콘크리트의 재료의 선택 및 배합을 아래 다섯단계로 요약할 수 있다. 어느 특별한 건설공사를 위해 필요한 조건이나 재료의 범위를 아래단계에 맞추어 콘크리트를 제작하면 좋은 콘크리트를 얻을 수 있을 것이다.

(1) 굳지 않는 콘크리트의 요구되는 반죽 질기와 공기량을 결정하고, 굳은 콘크리트

의 압축 및 기타 특성을 규정한다.

(2) 주어진 강도를 낼 수 있도록 우선 그 지역에서 이용할 수 있는 재료와 배합을 결정한다. 전에 배합할 때보다 강도가 훨씬 클 경우에는 그 강도차를 계산한다.

(3) 콘크리트 배합에 있어서 가장 제약을 주는 재료를 밝혀낸다. 만일 시멘트는 1~2 종류만 이용가능하고 골재는 여러곳에서 채취 가능한 골재원이 있을때에는 시멘트가 그 배합을 좌우할 것이다.

(4) 콘크리트 생산을 가장 제약하는 재료부터 선정한다. 시험배치와 생산배치를 결정하기 위하여 한번에 하나의 재료씩 변화시키면서 성능을 비교한다.

(5) 결정된 배합내용에 대하여 대체적인 배합설계를 평가해 본다. 즉 비용, 이용성, 콘크리트의 특성등을 상호평가하여 배합결정의 자료로 이용한다.

4.2. 콘크리트의 요구특성 결정

시방서에 콘크리트에 필요한 모든 요구조건들이 있는 것은 아니다. 시방서는 28일, 56일 압축강도와 슬럼프 허용치를 규정하고 있지만 시공자들은 펴핑할 수 있고 고온이나 저온에서 균일한 콘크리트를 보이는 성능을 요구할 지도 모른다. 또한 포스트 텐

션을 하기 위해 초기에 고강도를 발현할 수 있는 콘크리트라든지 빠른 시일에 거푸집을 제거할 수 있고 공정을 앞당길 수 있는 콘크리트를 요구하게 된다. 많은 경우에 있어서 도급자들의 요구는 계약서상에 있는 것보다도 많기 때문에 압축강도이외의 최소 탄성계수, 마모 저항성 등 다른 여러 특성에 세심한 주의를 기울여야 한다. 강도를 내는데 필요한 모든 요건들은 ACI 318 철근 콘크리트 시방서와 ACI 301 콘크리트 시방서에 자세하게 나와있다. 대부분의 생산자들은 공칭강도보다 1,500-2,000psi정도 높은 강도로 하여 콘크리트를 배합설계한다.

설계자들은 ASTM C 469 압축콘크리트의 포아슨비와 정적 탄성계수 측정 방법에 의해 측정된 탄성계수의 최소값을 규정하게 된다. 탄성계수가 큰 경우 힘을 받는 보나 거더의 처짐이 적고 건물의 탄성침하가 적으며 PS부재의 프리스트레스 손실이 적어진다. 이렇게 규정된 탄성계수는 콘크리트 시공시 얻어지는 값보다 크므로 재료의 선택이나 비율에 세심한 주의를 기울여 적정의 탄성계수가 나올 수 있도록 해야 한다. 염분에 노출된 건축물이나 교량, 편의 시설등은 콘크리트의 균열이나 염분의 침투를 제한하는 규정이 포함되어야 한다. 염분 흡수

표 3. 재료의 선택 및 배합 가이드라인

28일 공칭강도 (ksi)	최대골재 치수 (inch)	시멘트량 (lb/yd ³)	물-시멘트비	포졸란
6 - 10	3/4	700 - 800	0.40 - 0.45	플라이애쉬
10 - 12	1/2 - 3/4	750 - 850	0.30 - 0.40	플라이애쉬 실리카폼
12 - 16	3/8 - 1/2	800 - 900	0.25 - 0.35	"
16 - 20	3/8 - 1/2	800 - 950	0.20 - 0.30	"

(주 : 1ksi = 70kg/cm², 1inch = 2.54cm, 1b/yd³ = 0.5931kg/m³)

시험에서 400-800 Couloum값 이내가 적당한 것으로 알려져 있다. 콘크리트 생산자들은 콘크리트의 강도를 증가시키는 것과 관계없이 이러한 염분침투에 대한 요구조건을 만족시키기 위해서 실리카폼을 사용하기도 한다.

4.3 그 지역에서 이용가능한 재료 결정

어떤 지역에서 고강도 콘크리트를 전에 생산하지 않았다 하더라도 다른 실험결과와 자료를 이용하여 고강도콘크리트를 제조 생산할 수 있다. 이 경우 생산된 콘크리트를 비교함으로써 더 높은 강도나 일정한 강도

를 내는 시멘트량이나 골재의 양을 결정할 수 있다. 또한 여러가지 재료를 사용하거나 다른 환경에서 콘크리트를 제조함으로써 그것들이 콘크리트의 압축강도에 미치는 영향들을 알아낼 수 있다.

필요한 콘크리트의 강도가 전에 생산된 것보다 1,000~3,000psi를 증가시켜야 할 경우 시멘트량을 증가시키고 물-시멘트비를 줄이면 된다. 3,000~6,000psi 또는 그 이상을 증가시켜야 할 경우에는 시멘트량, 물-시멘트비의 조정이 필요하고 특수 골재나 혼화재를 사용해야 한다. <계속>

投稿를 환영합니다

「레미콘」誌는 讀者 여러분을 筆者로 招待합니다. 많은 投稿로서 本誌를 빛내주시기 바랍니다.

內 容

1. 레미콘工業 및 관련分野의 品質·技術研究
2. 經濟, 經營 및 法律關係論文
3. 國內外業界消息, 動靜, 提言 등
4. 海外技術情報 및 論文翻譯

○原稿枚數

200字 원고지로 自由

○마 감 일

수시

○기 타

관련 사진, 도표 등봉 요망
 掲載된 원고는 協會所定の 稿料支給.

○제 출 처

서울·江南區 驛三洞 832-2
 한국레미콘工業協會 企劃課