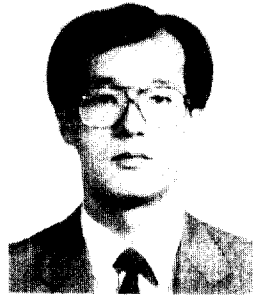


# 하이퍼포먼스 콘크리트의 가능성

## Possibility of High-Performance Concrete



장 일 영\*



박 희 민\*\*

### 1. 서 론

최근 하이퍼포먼스 콘크리트(High-Performance Concrete)가 화제가 되고 있다. 하이퍼포먼스 콘크리트란 고강도성, 고내구성 그리고 고시공성의 3박자를 갖춘 콘크리트로서 정의할 수 있으며 이러한 성능들은 필요 불가분의 상호 연관성을 갖고 있다. 즉 어느 한 성능만을 목적으로 콘크리트를 개발하였을 경우에도 다른 성능들도 같이 향상되거나 또는 성능향상을 필연적으로 요구하게 된다. 그러나 이러한 세가지 성능을 동시에 만족시키기는 쉽지 않으므로 접근방법에 있어서 미국에서는 고내구성을 갖는 고강도콘크리트를, 일본에서는 시공오차로 생기는 내구성문제에 대한 해결책으로 다짐이 필요없는 고시공성 콘크리트를 하이퍼포먼스 콘크리트로 정의하는 경향이 있으며 이러한 조건을 만족하는 콘크리트를 만들기 위해 재료 시공면에서의 연구개발이 진행되고 있다.

본문에서는 콘크리트의 고강도화, 고내구성화 그리고

고시공성화에 따른 각각의 경향에 대해서 논하고 특히 일본에서 활발히 연구가 진행되고 있는 고시공성 콘크리트의 개발현황과 가능성에 대해서 알아본다.

### 2. 고강도 콘크리트

최근에는 콘크리트 재료의 신소재 개발 및 시공기술 등의 향상에 힘입어 콘크리트의 고강도화가 급속히 진행되고 있다. 재료면에서는 일본 및 독일에서 개발된 고성능 감수제 그리고 유럽 및 미국에서 생산되고 있는 실리카흙에 대한 연구개발이, 시공기술면에서는 콘크리트 펌프성능 증대 등이 콘크리트의 고강도화를 가속시키고 있다. 물론 이것들을 이론적으로 뒷받침 시킬 수 있는 시멘트, 조골재, 화학혼화제 연구, 압축강도 등의 물리적 성질, 각종의 내구성, 구조역학적 특성 등의 연구도 많이 실행되고 있다(1,2,3,4).

고강도 콘크리트의 개발 및 실용화는 건축구조물의 초고층화, 교량의 장대교화, 프리캐스트 제품의 품질개선 및 프리스트레스 콘크리트 구조물의 사용성 증가 등을 가능하게 하고 있으며 이는 앞으로 고강도 콘크리트

\* 성희원, 삼성종합건설 기술연구소 선임연구원 공박

\*\* 삼성종합건설 기술연구소 시험실 과장

의 수요가 급증할 것을 예상되게 하고 있다. 북미지역에서는 고강도 콘크리트를 사용한 토목구조물, 특수구조물 및 고층건축물에의 적용이 일반화되어 있다. 또한 우리나라보다 어려운 환경조건하(재료 및 기후여건)에 있는 중동 및 동남아시아 일부 국가에서도 고강도 콘크리트가 실용화되어 있다. 실제로 북미지역의 경우 1960년대부터 압축강도 420kgf/cm<sup>2</sup> 이상의 콘크리트가 사용되어 현재는 철근콘크리트 구조물에 압축강도 900kgf/cm<sup>2</sup> 이상의 고강도 콘크리트를 적용하고 있으며 사용 최대 압축강도는 1330kgf/cm<sup>2</sup>까지 이르고 있다. 일본의 경우도 현장 직용가능한 압축강도가 600kgf/cm<sup>2</sup> 정도에 머물고 있으나 이것은 지진대라는 특수지역성에 따른 것이며 프리캐스트 제품에는 1000kgf/cm<sup>2</sup> 이상의 초고강도 콘크리트가 사용되고 있다. 석회질 또는 실트질로서 골재의 질이 좋지 않은 중동 및 동남아시아에서도 500kgf/cm<sup>2</sup>에서 600kgf/cm<sup>2</sup> 정도의 고강도 콘크리트가 사용되어 지고 있다. 국내의 경우는 토목공사에 최고 450kgf/cm<sup>2</sup> 정도가 최근에 사용되었으며 그나마 건축구조물의 경우에는 300kgf/cm<sup>2</sup>을 넘기지 못하고 있는 실정을 고려하면 외국과 상당한 차이를 나타내고 있다. 이것은 설계자의 인식, 현장 시공경험 부족 그리고 시공기술의 비전문성 등이 원인이 되고 있다. 그러나 강도발현을 위한 고강도 콘크리트의 제조는 그다지 어렵지 않으며 특히 프리캐스트 제품 및 프리스트레스 콘크리트구조물 등에서 빠른 발전이 있으리라 생각된다.

이러한 압축강도 증가를 위주로한 고강도 콘크리트와는 달리 콘크리트의 단점인 취성보완을 위한 인장강도 증가 위주의 섬유보강 콘크리트의 비약적인 연구발전도 콘크리트 고강도화의 한 부류라 할 수 있다.

고강도 콘크리트는 일반적으로 물 시멘트 비가 낮기 때문에 조적이 치밀하여 내구성이 양호하다는 사실이 많은 실험을 통해서 입증되고 있다<sup>(4)</sup>.

### 3. 고내구성 콘크리트

콘크리트 구조물의 내구성은 수화발열, 건조수축으로 인한 초기균열 발생, 알칼리 골재반응, 중성화, 철근부

식, 마모, 동결융해 등의 다양한 요인에 의해 좌우되며 이러한 문제해결을 위한 연구가 지속되어 왔다.

일본의 경우 고내구성 콘크리트는 "특히 고도의 내구성을 필요로 하는 철근콘크리트 구조물에 이용되는 콘크리트"로서 정의하고 있으며 품질, 재료, 배합 및 시공 시방에 대해서 높은 수준의 것이라고 규정하고 있다<sup>(5)</sup>. 일본에서는 철근콘크리트 구조물의 내구성이 문제가 되어 있고 특히 사회자본의 완성도가 높은 선진국에서는 철근콘크리트 구조물의 유지, 관리, 보수를 포함한 철근콘크리트 구조물의 내구성이 보다 큰 문제가 되어 국가적인 프로젝트가 진행되고 있다. 미국의 경우는 SHRP(Strategic Highway Research Program)라고 하는 연방도로국의 프로젝트가 있어서 ①기존구조물의 현상조사 기술, ②염화물이온의 제거방법, ③동결융해, ④알칼리 골재반응, ⑤High-Performance Concrete 등의 연구에 5년간 1500만 \$의 예산이 성립되어 있다. 또한 육군국의 Corps of Engineering에서는 REMR(Repair, Evaluation, Maintenance and Rehabilitation) 프로젝트가 발족되어 보수, 평가, 유지관리 그리고 새로운 콘크리트 기술의 연구 개발이 진행되고 있다. 미국의 철근부식 방지대책으로는 부분적으로 에폭시수지 도장철근의 사용을 강조하고 있지만 경제성등의 문제가 있다. 다만 중성화에 관해서는 습도가 낮은 지방에서는 그다지 문제삼지 않고 있다.

영국, 프랑스, 독일에서는 각각 교통부와 BRE(영국 건축기구), LCPC(프랑스중앙토목연구소), BAST(연방고속도로연구소) 등이 중심이 되어 産·學·官의 협력하에 RC구조물의 성능저하 대책에 힘을 쏟고 있다. 북유럽에서는 특히 동절기의 융설대책으로써 사용하는 방동제로 인한 염해와 알칼리 골재반응에 따른 성능저하가 큰 문제가 되고 있다. 아이슬랜드의 경우는 알칼리 골재반응 대책으로써 1979년 이래 전체 시멘트에 대해서 5%의 실리카흙을 혼합하고 있다.

이러한 노력과 더불어 고내구성 콘크리트를 위한 일반적인 경향은 미국의 경우 낮은 물 시멘트비를 사용하는 것을 원칙으로 하고 있으며 유럽의 경우에는 단위밀도 개념을 중요시하고 있다.

## 4. 고시공성 콘크리트

철근콘크리트 구조물은 사회 기반시설을 구축하기 위한 중요한 역할을 담당하고 있지만 콘크리트 시공상태에 따라서 그 내구성이 크게 영향을 받는 점이 최대결점이다. 특히 내구성을 떨어뜨리는 요인이 되고 있는 재료 분리(Rock Pocket) 및 곰보를 방지하기 위해서는 타설시의 다짐작업을 면밀하게 하지 않으면 안된다. 결국 일반적인 콘크리트를 이용해서 내구적이며 신뢰성이 높은 구조물을 만들기 위해서는 숙련된 작업원에 의해 적절한 타설작업이 필요 불가결하다. 일반적인 콘크리트를 사용해서 시공성을 높이는 방법으로서 수화반응에 필요한 양 이상의 물이나 유동화제를 첨가해 유동성과 충전성을 강화하며 진동기나 붓 등을 이용 별도의 다짐작업을 해왔다. 이러한 경우 그 사용량이 지나치면 블라인딩 증가, 재료분리, 콘크리트 밀도저하 등을 초래해 철근부식 등의 내구성과 강도발현에 심각한 영향을 주게 된다. 또한 벽체, 기둥 등의 높이가 큰 부재 및 배근이 복잡한 구조체의 경우에는 진동기 등의 장비를 사용하기 어렵기 때문에 진동다짐이 충분히 이루어지지 않으며 최근에는 숙련기술자마저 부족한 실정이어서 품질저하가 우려되고 있다. 따라서 다짐작업을 하지 않아도 밀실하게 충전되며 내구성에 문제가 생기지 않는다면 시공의 합리화 및 로봇화도 가능하게 된다. 이러한 고시공성 콘크리트 개발은 일본을 중심으로 활발하게 연구가 진행되고 있다. 제조과정 측면에서는 비빔방식을 개선하여 펌프압송 공법에 유효하게 사용할 수 있는 SEC 콘크리트<sup>(6)</sup> 등이 있으며, 재료개발 측면에서는 시멘트입자를 둥근형태로 미립화시켜 유동성, 강도, 내구성을 증가시킨 구상화(球狀化) 시멘트<sup>(7)</sup>가 개발되었다. 또한 가장 실용성이 강한 연구형태로서 새로운 배합비를 통한 고시공성 콘크리트의 개발이 이루어지고 있다<sup>(8,9)</sup>. 이하 4장에서는 일본에서 활발히 연구되어지고 있는 배합비를 통한 다짐 불필요 고시공성 콘크리트에 대해서 살펴보기로 한다.

## 4.1 콘크리트 충전 메카니즘의 고찰

### 1) 콘크리트 충전성

콘크리트가 재료로써 높은 충전성을 갖기 위해서는 유동성만이 아니고 우수한 폐쇄 저항성능도 같이 조화를 이뤄야 한다. 특히 철근이 조밀하게 배근된 상황이나 복잡한 형상의 거푸집내에 콘크리트를 충전하는 경우 낮은 슬럼프의 콘크리트로는 유동성 부족으로 충전이 되지 않으며 반대로 단위수량을 증가시킨 높은 슬럼프의 콘크리트로는 철근등의 장애물 간에 굽은골재가 막히는 폐쇄현상(굽은골재가 서로 맞물림)이 일어나 충전이 되지 않는다.

### 2) 유동중에 생기는 골재폐쇄 메카니즘

콘크리트 흐름이 좁혀지는 곳에서는 굽은골재가 응집하며 더욱이 굽은골재간의 아칭현상(Arching Action)에 의해 굽은골재는 막히기 쉽다. 이것은 모르타르의 점성이 낮은 경우에 특히 심하며 굽은골재가 부분적으로 서로 심하게 접촉 충돌하기 때문이다. 이러한 현상을 효과적으로 억제하기 위해서는 모르타르 또는 시멘트 페이스트의 점성을 증가시키는 것이 좋다.

### 3) 골재입자가 충전성에 미치는 영향

굽은골재의 아칭현상으로 인한 유동폐쇄는 골재입자간 평균거리가 어느 한계치보다 작기 때문이며 이 한계치는 골재입자간의 페이스트 성질에 따라 좌우된다. 즉 콘크리트가 충전되는 장소의 크기에 따라서 골재량의 한계가 존재하며 한계 골재량은 모르타르 및 페이스트 특성의 함수로서 존재한다.

### 4) 골재간 마찰저항에 미치는 페이스트의 효과

굽은골재간의 충돌 및 접촉마찰에 의한 응력전달 크기는 콘크리트 충전성에 크게 영향을 준다. 여기서 응력전달은 점착메카니즘과 마찰메카니즘에 의해 이루어지며 페이스트중의 자유수량과 점성이 양 메카니즘 성질을 지배한다. 즉 페이스트의 수 분말체비, 분말체의 종류, 고성능감수제 및 점증제의 첨가량 등에 따라 마찰메카니즘과 점착메카니즘의 분배상태는 변화하며 양메카니즘의 복합적인 효과로서 전단저항을 최소화시킬 수 있다.

이와 같이 콘크리트의 충전성은 콘크리트를 구성하

는 고체입자(굵은골재부터 분말체입자까지)의 구성비와 액체로서 움직이는 물의 양과 점성에 지배되며 이 두가지 인자에 크게 영향을 주는 것이 고성능감수제와 비빔방법이다. 다짐이 필요없는 고시공성 콘크리트는 타설되는 부재와 시공조건에 따라서 이것들을 어떻게 조합시킬 것인가가 중요하다.

#### 4.2 다짐이 필요없는 콘크리트의 개발

동경대학 岡村교수는 산학협동으로 다짐이 필요없는 자칭 하이퍼포먼스 콘크리트를 개발하였다<sup>(8,9)</sup>. 진동다짐 없이는 충전되기 어려운 프리스트레스 콘크리트 T형보의 하부단면을 실물크기로 모형화하여 충전실험한 결과 다짐을 안해도 충전성은 매우 뛰어났으며(그림 1) 굳은후의 콘크리트 특성도 매우 양호하였다. 또한 건조수축, 수화열 및 경화후의 치밀성 등에 관한 성질도 매우 양호하여 하이퍼포먼스 콘크리트는 다짐작업이 필요없고 초기결함이 적으며 경화후의 내구성도 우수한 콘크리트임을 알 수 있다.

경화후의 특성은 재료 배합에 의해서 조절하는 것이 가능하며 종래의 진동다짐에 의한 콘크리트와 같은 특성을 갖는다. 시판되는 재료만으로 제조 가능하며 압축강도는 표준양생 재령 7일에 277kgf/cm<sup>2</sup>, 재령 28일에 439kgf/cm<sup>2</sup>정도가 된다. 배합표를 표1에 나타낸 바와 같이 현재 사용되고 있는 일반적인 AE콘크리트의 배합과 비교하면 굵은골재량은 약간 작고 분말체의 양은 증가하고 있다. 수중콘크리트의 배합과 비교하면 골재량은 변하지 않지만 물의 양이 적은 것을 알 수 있다. 또한 고성능 AE감수제를 사용하여 비빔후 90분간은 슬럼프치가 변화하지 않는 것도 확인되었다.

기존의 콘크리트 배합을 변화시키지 않고 점성증가제, 고성능감수제 등의 첨가로 충전성이 큰 콘크리트를 제조할 수도 있지만 이것은 한계가 있다. 또한 일부에서

는 고시공성 콘크리트 개발을 목적으로 신재료 개발을 추진하고 있으나 보다 현실적인 방법으로서 이러한 배합설계 개발이 중요하다.

현재 일본에서는 이러한 다짐 불필요 콘크리트의 충전성을 검증하기 위한 시공실험이 많이 실시되고 있다. 일부 특수공사 및 프리캐스트 제품 등에서 실용화되기 시작했으며 가까운 장래에 다짐 불필요 콘크리트가 많이 생산될 것이라고 한다. 앞으로 이러한 사례는 강판과 콘크리트의 합성구조 등의 새로운 구조형식에의 적용을 포함해서 더욱 늘어날 것이다. 진정한 의미의 실용화를 위한 일부 문제는 남아있고 현재로는 그 적용에 있어서 시공실험등에 있어서 확인과정 및 굳지않은 콘크리트의 제조 품질관리 등을 실시하여 신중하게 취급할 필요가 있다.

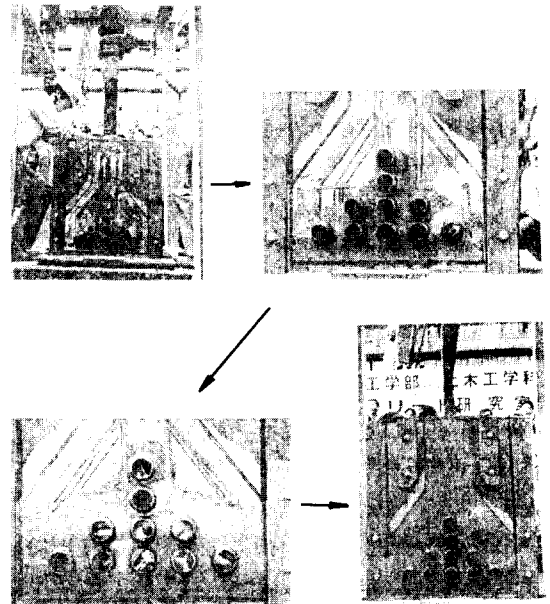


그림 1. 다짐이 필요없는 콘크리트의 충전실험 상황<sup>(9)</sup>

표 1. 하이퍼포먼스 콘크리트의 배합예(단위 : kg/cm<sup>3</sup>)

수량	보통시멘트	고로슬래그*1	플라이애쉬	산골재(강모래)	굵은골재(강자갈)*2	슬럼프플로우	공기량(%)	혼화제
159	155	171	202	760	874	57	2.0	*3

\*1 Blaine Fineness 5,400cm<sup>2</sup>/g \*2 굵은골재 최대치수 20mm \*3 고성능 감수제 5.544cc, Cellulose계 집중제 20g

### 4.3 콘크리트 공사의 현대화

건설업계를 둘러싼 환경은 크게 변화하기 시작했다. 건설기술자 및 숙련공 부족, 특수환경하에서의 건설공사 증가, 구조물의 고성능화 등의 추세에 있다. 다짐불필요라고 하는 특성은 시공편차의 영향을 받지않고 신뢰성이 큰 구조물을 만들 수 있을 뿐만 아니고 충전성이 탁월하다는 재료장점을 살려 건설현장의 시공시스템 합리화를 이룰 수 있다. 즉 타설시의 작업인원을 줄일 수 있을 뿐만 아니고 다짐작업에 따르는 소음 및 진동문제 해소, 그리고 시공시스템 개혁등의 콘크리트 공사의 현대화를 추진할 수 있는 재료로 사료된다.

#### 1) 시공시스템의 합리화

현재의 시공시스템은 콘크리트 타설시에 다짐작업을 필요로 하기 때문에 각종제약을 받는다. 1회 타설높이 제한, 다짐작업을 위한 비계 설치, 박스단면에서의 상판과 벽부분의 분리타설 등이 그에지만 다짐이 필요없다면 이러한 제약이 없어지므로 노동인력 감축 및 공사기간 단축효과를 얻을 수 있다. 또한 지금까지 시공적 어려움 때문에 실현이 힘들었던 강 콘크리트의 샌드위치 구조등의 구조형식도 가능하게 되며 기상조건(동결융해에 강한 고로슬래그를 다량 포함하고 있어서 한중공사에도 적합하다)에 큰 영향을 받지 않으므로 공사계획에도 합리적이다. 반면에 거푸집에 걸리는 축압, 펌프압송성 등은 일반 콘크리트와 다르기 때문에 주의할 필요로 한다. 그러나 이러한 문제점을 고려해도 다짐불필요 콘크리트의 유용성은 매우 크다. 콘크리트 타설작업의 합리화만이 아닌 거푸집, 철근공, 동바리공 등을 포함해 경우에 따라서는 구조설계도 포함한 종합적인 합리화시공 시스템 개발을 생각할 수 있다.

#### 2) 환경문제 개선

콘크리트 2차제품 공장 및 도심지역의 건설공사 현장 등에서는 다짐작업에 따른 진동 소음 문제가 발생한다. 주변 주민의 환경문제와 작업원의 작업 환경문제를 다짐이 필요없는 콘크리트는 어느 정도 해결할 수 있다.

### 4.4 실용에 따른 문제

#### 1) 시멘트의 품질 규격의 개선

분말체의 특성은 충전성에 큰 영향을 끼치며 경화후의 내구성을 지배하므로 하이퍼포먼스 전용의 시멘트를 새로이 규격화시켜 양산체제를 갖추는 것이 바람직하다.

#### 2) 초유동 콘크리트의 배합이론 확립

충전성에 바탕을 둔 배합이론의 확립과 실제 구조물에 대응하는 충전성의 평가작업이 필요하다.

#### 3) 콘크리트 요구성능의 사전 검토

구조물의 종류, 환경조건에 따라서 콘크리트의 요구성능을 명확하게 하고 이것을 확실히 실현하기 위한 사전 검토를 철저히 할 필요가 있다. 또한 여기서는 강도와 충전성만이 아닌 초기 결합정도와 내구성을 고려하지 않으면 안된다.

#### 4) 콘크리트의 제조 관리시스템의 개선

다짐불필요 콘크리트는 타설현장에서 흘러 넘기만 하면 되므로 콘크리트 제조시에 그 품질이 정해져 버린다. 따라서 요구한 품질이 콘크리트를 확실히 제조 관리하는 시스템을 구축할 필요가 있다. 다짐이 필요없는 콘크리트는 분말체가 많은 배합이 되기 때문에 그 성능을 충분히 발휘하여 안정시키기 위해서는 잔골재 표면수를 정확하게 제어하고 비빔효율을 개선하는 제조시스템이 필요하다. 재료(특히 잔골재의 표면수)의 변동 및 비빔작업의 변동을 기계로부터 자동적으로 관리하고 항상 같은 품질의 콘크리트가 제조 가능한 시스템의 구축이 희망되어 진다. 예를 들어 2단계 믹싱식 제조시스템을 도입하여 상단믹서에서 표면수등의 편차를 믹서에 걸리는 부하로서 감지하고 하단믹서에서 그 조정을 실시함으로써 최종적인 콘크리트 품질 안정을 꾀하는 방법도 생각할 수 있다. 또한 이 방법에 의해 비빔효율의 개선도 기대할 수 있다.

콘크리트 품질에 요구되는 성능은 일반적으로 안정성(강도), 내구성 및 사용성으로 구별되며 이러한 요구성능을 만족하도록 구조설계, 재료설계, 시공계획을 실시하여 구조물의 품질을 확보해야 한다. 지금까지 구조물의 내구성은 시공이라고 하는 불확정적인 요소

의 영향을 크게 받기 때문에 전체평가를 정확하게 하는 것은 힘들다. 그러나 다짐이 필요없는 콘크리트가 실용화된다면 콘크리트 타설시의 시공의 좋고 나쁨에 따른 편차가 없어지고 내구성 평가가 쉬어진다. 이러한 고시공성 콘크리트는 매우 큰 가능성을 가진 재료로써 콘크리트 공사를 현대화시킬 수 있는 기술로 인식할 수 있다.

### 5. 맺음말

하이퍼포먼스 콘크리트의 사용이 필요한 예를 살펴보면 북해 유전의 석유굴착용 콘크리트제 해양 플랫폼<sup>(10)</sup> 등을 생각할 수 있다. 이러한 구조물은 사하중 경감을 목적으로 부재단면 축소와 높은 파도압력 등의 외력에 저항하기 위해 고강도 콘크리트가 필요하며 필요 압축강도는 급세기중에 1000kgf/cm<sup>2</sup> 이상이 요구될 것이라고 한다. 저온의 해양상에서 가동하기 위해 내동해성과 염해에 대한 저항성 등이 요구되므로 고내구성 콘크리트의 사용은 필연적이라 하겠다. 또한 구조물 특성상 배근상태가 복잡하며 필요한 콘크리트양이 대용량이므로 고충전성과 급속시공이 가능한 고시공성 콘크리트가 필요하게 된다(표2에 해양플랫폼 구조물의 요구성능을 보여준다). 비단 이러한 예 뿐만이 아니라도 하이퍼포먼스 콘크리트는 인간사회에 기여할 수 있는 새로운 콘크리트로써 개발 실용화의 가치가 충분하다고 생각된다.

최근까지도 우리나라는 저임의 노동력과 풍부한 건설자원을 바탕으로 전근대적인 콘크리트 공사와 내구성을 소홀히 하는 콘크리트 구조물들을 건설해 왔으며 이러한 것이 거의 문제시 되지 않았다. 그러나 지금의 상황은 크게 변하여 건설현장 인부의 고임금화로 인한 원가상승, 그리고 해사 및 마사사용을 유발하는 건자재 부족문제 등은 새로운 구조형식, 시공시스템 및 신재료등을 요구하게 되었다. 이러한 노동력 및 자원의 부족 그리고 사회여건 성숙에 따른 사용자의 높은 요구등은 콘크리트의 고강도화, 고내구성화, 고시공성화를 필연적으로 요구하게 되었다.

표2. 해양플랫폼의 콘크리트에 대한 요구성능<sup>(10)</sup>

	Challenge	Requirements
Strength	Specified concrete grade Normal density concrete :	Comprehensive strength Modulus of elasticity Tensile strength
	1970s : 45 to 55 MPa 1980s : 55 to 70 MPa (1990s : 80 to 100 MPa ?) Lightweight aggregate concrete : 55 to 70 MPa	Stress-strain relations Ductility In-situ strength Density < 1900 kg/m <sup>3</sup>
Durability	Corrosion and chemical attack	Sound constituents Low permeability (K < 10 <sup>-18</sup> m/s) Low w/c (Submerged zone : <0.45) (Splash zone : <0.40) Minimum cement content(350kg/m <sup>3</sup> ) Adequate cover to reinforcement (Minimum : 50mm)
	Frost resistance(Splash zone)	Air-entrainment (A=3 to 5%, a>25mm <sup>3</sup> /mm <sup>3</sup> and L<0.25mm)
Constructibility	Dense reinforcement and embedments	High workability (Slump>220mm) No bleeding or segregation
	Slipforming	Adjustable and predictable setting time Revibration
	High production rates and advanced conveying systems	Consistent quality of constituents Control of batching and distribution
	High pressure pumping	High pumpability Concrete temperature Addition of CSF
	Large dimensions	Cement content Heat of hydration Cooling of fresh concrete Insulation of hardened concrete

### 참 고 문 헌

1. ACI-363, "State of the art report on high-strength concrete", Journal of ACI, Vol. 81, No.4, July-Aug., 1984.
2. Russel, H.G., "High-strength concrete", Korea Chapter of the ACI, 1990, pp.1-7.
3. FIP /CEB, "State of the Art Report on High Strength Concrete", Bulletin d'Information No. 197, August 1990.
4. 日本建築學會, "高強度コンクリートの技術の現狀", 1991.
5. 日本建築學會, "建築工事標準仕様書 JASS 5 鐵

- 筋コンクリートの工事”, 1986.
6. 山本康弘, 服部高重, “SEC コンクリートの實用化に関する研究”, 大成建設研究所報, 第15號, 1982, pp.35-44.
  7. 建築技術, “流動性, 強度, 耐久性に優れた球狀化セメントの開発”, 建築技術 TECHNICAL View, 1991.9, pp.80.
  8. 岡村甫, 小澤一雅, “締固め不要への挑戦”, セメント・コンクリート, No.539, Jan. 1992, pp. 2-9.
  9. 岡村甫, 小澤一雅, “締固め不要コンクリートの可能性と課題”, コンクリート工學, Vol.30, No.2, 1992.2, pp.5-14.
  10. Ronneberg, H., and Sandvik, M., “High strength concrete for north sea platforms,” Concrete International, Vol.12, No.1, January 1990, pp.29-34.

\* 도서 보급 안내 \*

## ACI 318-89 CODE 번역본

(철근콘크리트 구조계산규준)

- 4×6배판/192쪽
- 가격 : 10,000원

본 학회에서는 상기와 같은 도서를 보급하고 있사오니 필요하신 분은 학회사무국(545-0199, 543-1916)으로 문의하시기 바랍니다.