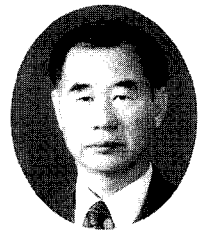


고유동 콘크리트의 제조 및 시공 기술 현황

- The Present Status on Mix Design Construction Technology of High-Fluidity Concrete -



강병희*

1. 서론

고유동콘크리트란 다짐작업을 하지 않거나 거의 하지 않고도 철근이 배근되어진 거푸집 속을 자기 스스로 흘러 밀실하게 충전되어지는 높은 유동성과 간극통과성을 가지며 또한 유동 중에 과도한 재료분리를 일으키지 않고도 필요로 하는 균질성을 확보할 수 있는 콘크리트를 말한다.

고유동콘크리트는 일반적으로 시멘트 혹은 시멘트와 광물질 분말인 혼화재를 다량 사용하며 고성능AE감수제를 다량 첨가하여 단위수량을 줄이고 필요에 따라 분리저감제(중점제 등)를 적당량 첨가함으로써 굳지 않은 상태에서의 재료분리저항성을 부여하고 슬럼프 23~27cm, 슬럼프 플로우(슬럼프 실험 후 콘크리트의 퍼짐)가 50~70cm정도이다. 또한 철근이나 거푸집 사이를 빠져나가는 간극통과성을 부여하기 위하여 굵은 골재량을 보통콘크리트보다도 상당히 적게 한 것이다.

고유동콘크리트는 위에서 설명한 것처럼 기본적으로 자기충진성을 가지기 위해서 원칙적으로 콘크리트를 진동을 할 필요

가 없고 콘크리트를 부어넣는 것만으로 작업이 간단히 완료된다. 따라서 콘크리트 공사를 대폭 생략화, 공기단축이 가능하며 또한 부어넣기 작업시의 결합도 생가지 않는다. 뿐만 아니라, 대규모 구조물의 콘크리트 부어넣기가 용이하며 금후 필요로 하는 콘크리트 공사의 기계화, 로봇화에도 대응할 수 있으리라 기대되어지므로 새로운 재료로서 주목이 되며 그 발전이 크게 기대되고 있다. 그러나, 현재로서는 아직 일부의 공사를 제외하고는 경제적인 면에서 종래의 콘크리트와 경쟁이 되지 않으며, 현재의 제조 및 시공 시스템에 적용시키는 데에는 각종 곤란한 점이 남아있기 때문에 특수한 예를 제외하고는 일반적인 보급이 이루어지지 않고 있는 것이 사실이다.

본 보고에서는 고유동콘크리트의 개발 배경, 경위, 성질, 품질평가, 국내외의 시공현황 등을 문헌조사를 통하여 정리함으로써 고유동콘크리트 기술을 종합적으로 검토하는 것을 목적으로 한다.

2. 개발 배경과 경위

고유동콘크리트의 개발 경위는 1980년 대 후반 일본 동경대학(東京大學) 토목공

학과의 오카무라(岡村) 교수가 다짐작업이 필요 없는 고내구성콘크리트로서 「하이 퍼포먼스 콘크리트 (High Performance Concrete)」의 개념을 발표한 것을 시작으로 하며⁽¹⁾, 콘크리트에 생기는 각종 품질결함은 사람의 수작업에 의한 부어넣기 시의 다짐에 있다고 생각하여 다짐작업을 하지 않는다면 이러한 문제는 해결될 것이라고 믿었다. 따라서 이러한 이유로 콘크리트 공사의 대폭적인 생략화가 가능하며 미래성 또한 크게 주목받아 많은 건설회사, 시멘트회사가 정력적으로 개발에 참여하게 되었다. 그 결과 일본시멘트신문의 조사에 따르면 일본 국내에서만 모두 28개의 건설회사가 각종 고유동콘크리트의 기술을 보유하게 되었다고 보고하고 있다⁽²⁾. 이러한 고유동콘크리트가 주목받고 기대되어지는 배경으로서 아래와 같은 사항을 들 수 있다.

- 건설현장 작업자의 고령화, 숙련작업자의 부족
- 부어넣기, 다짐작업의 생략화 요구
- 콘크리트 부어넣기 작업의 기계화, 자동화 요구
- 콘크리트 이용범위의 확대

* 정희원, 동아대학교 건축공학과 교수

- 콘크리트 구조물의 대규모화, 고층화
- 고밀도 배근되어진 구조물의 증가
- 부어넣기가 곤란한 곳이 있는 구조물의 증가
- 콘크리트의 고품질화, 고내구성의 요구
- 저물시멘트비, 고강도·고내구성 콘크리트 사용 요구

다짐작업의 불필요를 명확하게 제창한 것은 오카무라 교수의 하이 퍼포먼스 콘크리트였지만 고유동성을 가진 콘크리트의 현재에 이르기까지의 경위를 간단하게 정리하면 아래와 같다. 이와 같이 콘크리트의 기술은 일관적으로 시공성의 개선을 추구해 왔다고 할 수 있다.

① 고성능감수제의 개발 (1960년대)

저물시멘트비로 고유동성의 고강도 콘크리트가 실현되었다. 단, 슬럼프 로스가 크고 주로 공장제품용으로 사용되어 현장에서의 보급은 이루어지지 않았다.

② 유동화콘크리트의 개발 (1970년대)

북미나 독일 등에 있어서 고성능감수제에 의한 셀프 레벨링 콘크리트(Self Leveling Concrete)가 개발되었다. 이것은 종래의 된비빔콘크리트에 있어서 시공성의 단점을 한층 개선한 것이다. 그 후, 고성능감수제를 나중에 첨가하는 유동화콘크리트가 실현되었다.

③ 슬럼프로스 저감형

고성능AE감수제의 개발 (1980년대)

유동화콘크리트를 굳지 않은 콘크리트 플랜트에서 제조하는 것을 목적으로 일본에서 개발이 추진되었다. 이 혼화제의 개발이 현재의 고유동콘크리트를 가능하게 하였다.

④ 초저물시멘트비 고강도콘크리트의 개발

(1980년대)

초고층 철근콘크리트조 건축물용의 고강도콘크리트가 개발되어졌다(미국, 유럽, 일본, 오스트레일리아, 싱가포르 등).

⑤ 저물분체비 하이 퍼포먼스 콘크리트 (1980년대)

고강도콘크리트가 가진 고내구성이 주목되어져 하이 퍼포먼스 콘크리트로 불리어지게 되었다(미국, 캐나다, 유럽 등).

⑥ 수중불분리성 콘크리트의 개발

1970년대 독일에서 개발되어 1980년대 일본에 도입되었다.

⑦ 오카무라(岡村) 교수에 의한 하이 퍼포먼스 콘크리트 (1980년대 후반)

다짐이 불필요한 고성능콘크리트가 개발되었다.

⑧ 각종 고유동콘크리트의 개발 (1990년대)

일본에서 각종 분체재료나 분리저감제를 이용한 고유동콘크리트가 건설회사, 시멘트회사 등에 의해 개발되었다.

3. 고강도 콘크리트의 개발²⁾

1980년대 후반, 설계기준강도가 420~480kgf/cm²의 고강도콘크리트를 이용한 25~30층의 고층RC조 건축물이 건설되어

종래의 철근콘크리트조의 이미지를 새롭게 했다. 그 배경으로는 압축강도가 500~600kgf/cm², 슬럼프가 18~21cm정도로 시공성이 좋은 고강도콘크리트의 제조 및 시공기술의 개발을 들 수 있다.

물시멘트비를 낮추면 강도는 높아지지만, 된 비빔이 되므로 시공성이 저하된다. 굳지 않은 콘크리트가 압송펌프 내에서 막히기 쉬워지고 따라서 압송성은 떨어지게 되는 것이다. 그 때문에 공장에서 첨가하던 슬럼프로스 저감형 고성능AE감수제 등이 개발되어 고강도콘크리트의 현장 부어넣기 기술이 비약적으로 향상되었다. <그림 1>은 일본건축학회 표준시방서(JASS 5)에 있어서 슬럼프 치와 설계기준강도와 의 관계를 나타내는 것이다. 고강도의 범위는 360~600kgf/cm²이며 다짐이 불필요한 고유동콘크리트는 슬럼프플로우를 50~65cm로 하고 있다.

한편, <그림 2>는 일본토목학회 표준시방서에 규정하고 있는 것으로 일본에서의 토목구조물에서는 과거로부터 된비빔콘크리트가 채용되어 왔으며 보통강도(600kgf/cm² 이하)와 고강도(600~800kgf/cm²)에서 슬럼프 치는 다르지 않고 상한계와 모두 12cm 이다. 이것은 건축의 경우와 크게 다른 점이다. 그리고 수중불분리콘크리트로부터 힌트를 얻은 고유동콘크리트를 건축에서와 같이 50~65cm로 하고 있다.

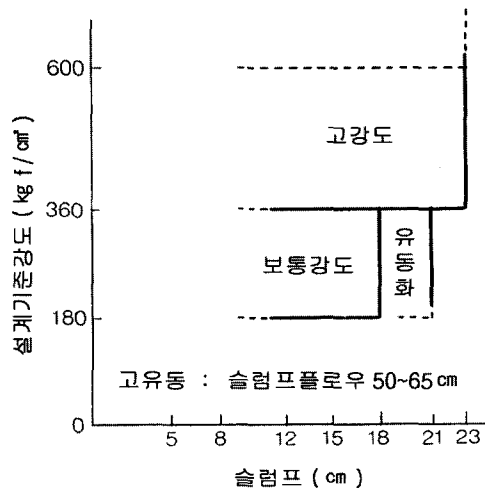


그림 1. 일본건축학회 표준시방서에 따른 유동성과 설계기준강도의 관계²⁾

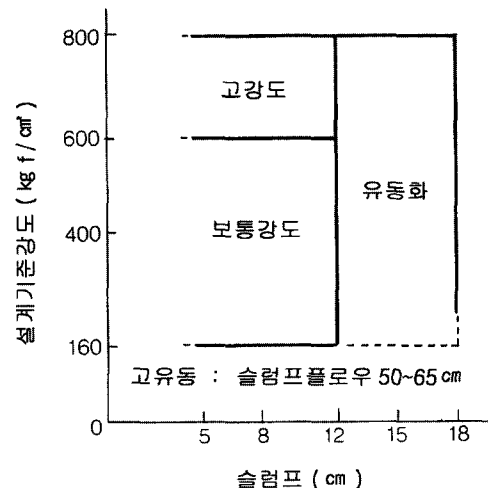


그림 2. 일본토목학회 표준시방서에 따른 유동성과 설계기준강도의 관계²⁾

4. 고유동 콘크리트의 품질

① 워커빌리티

고유동콘크리트는 굳지 않은 상태의 유동성을 슬럼프플로우치로 나타내며 50cm 이상 70cm이하를 목표로 한다. 70cm를 넘으면 압송중이나 부어넣기 중에 재료분리가 생길 가능성이 있으며, 이와 반대로 50cm를 밑돌면 부어넣기 시에 충전성에 지장이 생길 가능성이 있다. 굳지 않은 콘크리트의 재료분리저항성은 슬럼프플로우시험 후의 콘크리트 상태에 의해 아래와 같이 확인한다.

- 콘크리트의 중앙부에 굵은골재가 편재하고 있는가 <그림 3>³⁾
- 콘크리트의 주변부에 페이스트나 유리하고 있는 물이 편재하고 있는가 <그림 4>⁴⁾

굳지 않은 콘크리트의 재료분리저항성은 주로 슬럼프플로우 속도로 표현되어진다. 또한 원통관입시험 등의 신뢰성을 지닌 방법들에 의해 평가할 수 있으나, 아직 확실한 방법이 규정되지 않고 있으며 기본적으로 목시로 확인한다.

② 블리딩

굳지 않은 콘크리트의 블리딩량은 KS F 2414(콘크리트의 블리딩 시험방법)에 의해 시험하여 0.3cm/cm이하로 한다.

③ 침강

특히 프리캐스트콘크리트 구조의 접합부나 강관콘크리트의 충전에 이용하는 경우, 침강에 의한 결함이 생기기 쉽다. 굳

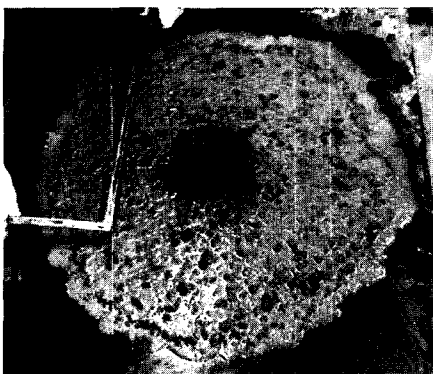


그림 3. 재료 분리에 의한 굵은골재의 편재

지 않은 콘크리트의 침강량은 규정되어진 시험방법이 없으나 높이 1m정도의 거푸집을 시험 제작하여 콘크리트의 부어넣고, 부어넣은 직후의 블리딩이 종료하고 응결이 시작할 때까지의 침강량을 측정하여 판단하는 방법이 있다.

④ 응결시간

응결시간 측정에는 고유동콘크리트만의 방법이 특별히 없으며 시발 20시간 이내를 목표로 하지만 특별한 시방이 규정되어 있으면 그것에 따른다.

굳지 않은 콘크리트의 응결시간은 시공성에 큰 영향을 미친다. 응결시간이 짧으면 마감작업에 지장이 있으며 길면 공정지연의 원인이 되므로 응결시간은 시공조건이나 시공계획에 맞추어 적절하게 설정할 필요가 있다. 혼화제의 종류나 사용량, 양생온도 등에 의해 조절하기도 하지만 일반적으로 고유동콘크리트에서는 응결시간이 길어지는 경향이 있으며 특히 겨울철 공사의 콘크리트 부어넣기에 있어서는 충분한 시공계획상의 배려가 요구되어진다.

⑤ 초기강도

콘크리트의 초기강도는 성형후에 온도 20℃로 보존한 공시체의 24시간 압축강도로 시험하여 50kgf/cm²이상의 강도를 목표로 하지만 특별히 시방이 정해져있는 경우에는 그에 따른다. 콘크리트의 강도발현은 주로 양생온도에 의해 좌우되며 특히 거푸집 동바리를 조기에 철거하는 공정을 세울 경우나 슬라이딩폼공법을 채용하는 경우 등은 초기강도의 발현이 매우 중요하다. 반대로 장기강도를 중시하여 저발열시멘트

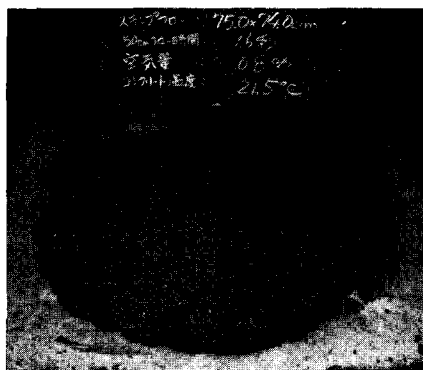


그림 4. 페이스트 혹은 결합수와 골재의 재료분리(슬럼프플로우 75.5cm)

등을 사용할 경우는 상기의 값을 만족하지 않을 수도 있으며 시공계획상의 충분한 검토가 필요하다.

⑥ 수화열

수화열의 상승은 콘크리트에 균열을 가져오므로 콘크리트구조체에 악영향을 미치지 않는 범위로 관리할 필요가 있다. 콘크리트의 수화열에 의한 온도상승을 좌우하는 요인은 시멘트의 종류나 배합, 부재의 크기, 환경조건 등 다양하나 주로 시멘트의 성분조성 및 분말도, 단위시멘트(결합재)량 등을 들 수 있다. 온도상승 추정치가 과대해 질 경우에는

- 저발열량의 시멘트를 선택한다.
- AE감수제 · 고성능AE감수제 지연형을 사용한다.
- 단위시멘트(결합재)량을 되도록 적게 한다.
- 단위수량 · 잔골재율을 되도록 작게 한다.
- 강도관리 재령을 길게 한다. 등의 방법이 있다.

⑦ 압축강도

표준양생한 콘크리트의 28일 압축강도는 250kgf/cm²이상으로 하고(최소한의 압축강도), 구조체콘크리트의 압축강도가 설계기준강도를 상회할 필요가 있다.

⑧ 영계수

고유동콘크리트에서는 단위굵은골재량이 적고 혼화제를 이용하므로 영계수가 작아지는 단점이 있다. 그 때문에 영계수는 표준양생한 재령28일에 있어서 200,000kgf/cm²이상, 또는 동일 골재를 이용한 비교용의 콘크리트에 대해서 90%이상으로 한다.

⑨ 건조수축 · 자기수축

i) 건조수축

고유동콘크리트는 재료분리저항성을 높이기 위해서 분체량을 증가시키든지 단위굵은골재량을 적게하는 경향이 있으므로 건조수축은 보통의 콘크리트에 비해 생기기 쉽다. 내구성상 유해한 균열의 발생을 피하지 않으면 안되지만 그를 위해서 건조

수축의 표준치는 구조형식이나 입지조건, 부재의 크기 등에 따라 다르므로 일단 목표를 정한다. 즉, 재령 7일까지 표준양생한 공시체를 온도 $20 \pm 2^\circ\text{C}$, 상대습도 $60 \pm 5\%$ 의 환경조건에서 건조기간 6개월간 모르타 및 콘크리트의 길이 변화 실험을 하여 8×10^{-4} 이하, 또는 동일 골재의 비교용 콘크리트에 대해 110%이하를 목표로 한다.

ii) 자기수축

분체량이 많은 콘크리트는 경화와 함께 자기수축이 비교적 크고 균열발생일수가 빨라지는 경향이 있다. 자기수축의 표준적인 시험방법은 아직 규정되어있지 않지만 일본콘크리트학회의 「고유동콘크리트의 자기수축 시험방법」이 자주 이용되어진다.

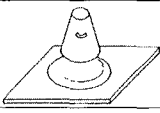
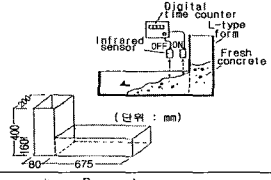
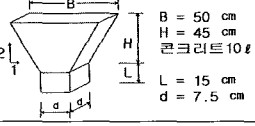
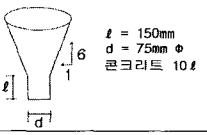
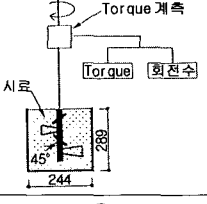
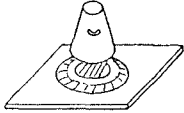
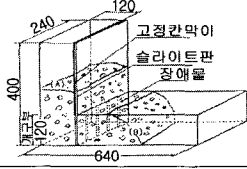
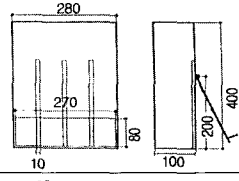
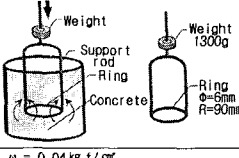
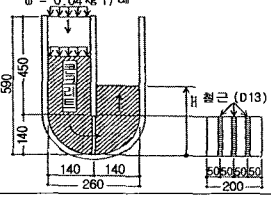
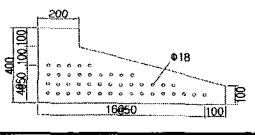
5. 컨시스턴시 평가 시험 방법⁴⁾

고유동콘크리트의 컨시스턴시에 관련되는 각종 성질 중 고유동콘크리트에 요구되어지는 본래의 성능으로부터 볼 때 유동성, 분리저항성, 간극통과성 및 충전성이 특히 중요시 되어진다. 고유동콘크리트의 컨시스턴시에 관련된 성질들을 평가하기 위해 지금까지 제안·시행되어진 대표적인 시험방법을 특성의 정의, 시험장치, 현장 적용성 등에 관해 <표 1>과 같이 정리할 수 있다.

6. 시공 현황

최근 수년간 건설회사의 개발연구 및 건축학회 위원회에서 연구 등을 통해 고유동콘크리트의 사용사례도 점점 증가되어 왔으나, 현재 그 이용은 대규모 토목공사가 중심이 되며 건축에서는 강관충전콘크리트(CFT, <그림 6>에 비교적 많이 이용되고 있고 극히 특수한 공사에 한해 일반 건축공사에 시험적으로 이용되어지고 있는 실정이다. 일본시멘트신문사의 조사에 의하면 지금까지 일본에서의 사용실적으로 80만 m^3 에 달하고 있으나, 그 대부분은 혼슈유 시코쿠 연락교의 거대한 앵커리지공

표 1. 대표적인 컨시스턴시 평가 시험 방법

특 성	시 험 명	시 험 장 치	현 장 적용성
유동성	슬럼프플로우시험 ⁹⁾		간편, 배합시험·현장관리시험에 적용가능
	L플로우시험 ⁶⁾		비교적간편, 배합시험에 적용가능
	V로트시험 ¹⁾		간편, 배합시험·현장관리 시험에 적용가능
	O로트시험 ⁸⁾		간편, 배합시험·현장관리 시험에 적용가능
분리저항성	회전날개형시험 ⁹⁾		장치가필요, 배합시험에 적용가능
	슬럼프플로우시험 ¹⁰⁾		배합시험에 적용가능
간극통과성	L플로우철근통과시험 ¹¹⁾		배합시험에 적용가능
	철근통과성 시험 ¹²⁾		질량측정 필요, 배합시험에 적용가능
	링관입시험 ¹³⁾		간편, 배합시험·현장관리시험에 적용가능
충전성	U형충전성시험 ¹⁴⁾		비교적 간편, 배합시험에 적용가능
	과밀배근 충전성시험 ¹⁵⁾		시료가 다량 필요, 배합시험에 적용가능

사(3기 40만㎡)이고 신간선 터널공사(7만㎡), 정수장공사(오오사카, 6만㎡), LNG 탱크 지하연속벽(1만㎡) 등의 순이다²⁾.

국내에서의 대표적인 고유동콘크리트 시공사례를 보면, 삼성건설에 의한 삼성건설 기술연구소 신축사옥(CFT, 1995-1996), 성대 600주년 기념관(기동, 1998-1999), 도곡동 타워펠리스(매트기초, 기동 및 코어, 1999-현재, <그림 6>), 대구종합경기장(기초부, 주각부, 1999), 부산 문현동 힐 타워(기동, 2000) 등과 현대건설에 의한 부산 현대 다이너스티21 아파트(CFT), 대우건설에 의한 인천지하철 1-10공구(1998, <그림 7>) 등을 들 수 있다.

7. 결 론

고유동콘크리트의 보급이 예상대로 진전되지 않는 이유는 지금까지는 없었던 새로운 콘크리트이므로 행정상 일반재료로서 인식되지 않았던 점도 있으나 최대의 요인으로 코스트와 굳지 않은 콘크리트로서의 원활한 공급을 들 수 있다. 시공의 생략화는 가능하지만 종래의 콘크리트를 사용할 때보다도 많은 코스트가 필요하므

로 일반적인 공사에서는 콘크리트 시공코스트만의 삭감으로 재료·제조코스트의 상승분을 보충할 수 없다. 따라서 어떻게 재료·제조에 필요한 코스트를 저감시킬 것인가 하는 것이 큰 문제로 남아있으며 이와 함께 내구성을 포함한 종합적인 고품질을 어떻게 보장할 수 있을 것인가도 큰 과제라 할 수 있다. 금후 콘크리트 공사의 생략화, 합리화를 위해서는 고유동콘크리트를 생각하지 않을 수 없으며 일반건축공사에의 이용이 실현되도록 더 많은 연구가 필요하다 하겠다. □

참고문헌

1. 岡村 甫 外2人, 하이퍼퍼포먼스콘크리트, 技報堂出版.
2. 建設技術, 高流動콘크리트の基本と實際, 1996. 4.
3. 吳 相均, 高流動콘크리트의레오로지評價および流動設計, 東京大學 博士學位論文, 1999. 1.
4. 超流動콘크리트研究委員會, 超流動콘크리트研究委員會 報告書(II), 1994. 5.
5. 万木正弘 外3人, 低熱slagセメントを用いた高強度콘크리트の施工性に關する検討,

土木學會 第46回 年次學術講演會 講演概要集, 1991. 9.

6. 宇野洋志城 外2人, 締固め不要コンクリートの充填性能および付着性能, 土木學會 第46回 年次學術講演會 講演概要集, 1991. 9.
7. 坂田 昇 外4人, フレッシュコンクリートの流動性評價のためのロート試験, 土木學會 第47回 年次學術講演會 講演概要集, 1992. 9.
8. 近松龍一 外2人, 超流動コンクリートの流動性と分離抵抗性に關する一考察, コンクリート工學年次論文報告集, Vol.14, No.1, 1992. 6.
9. 和美廣喜 外1人, 高強度コンクリートの流動特性に關する實驗的研究, Vol.4, No.1, 1993. 1.
10. 村田浩三 外1人, フレッシュコンクリートの各種コンシステンシ試験方法に關するレオロジー的考察, 日本建築學會 構造系 論文報告集, No.377, 1987. 7.
11. 福留和人 外2人, 増粘劑および高性能減水劑を用いた高流動化コンクリートの材料分離抵抗性について, 土木學會 第45回 年次學術講演會 講演概要集, 1990. 9.
12. 和泉登志志 外6人, 各種高流動コンクリートの特性評價および實大模型打設試験(その5), 日本建築學會大會 學術講演梗概集, A, 1993. 9.
13. 寺西浩司 外4人, リング貫入試験による高流動コンクリートの間隙通過性評價, 超流動コンクリートに關するシンポジウム論文報告書, 1993. 5.
14. 小野山貫造 外6人, 各種高流動コンクリートの特性評價および實大模型打設試験(その2), 日本建築學會大會 學術講演梗概集, A, 1993. 9.
15. 小澤一雅 外2人, 締固め不要コンクリートの充填性評價のためのロート試験, 超流動コンクリートに關するシンポジウム論文報告書, 1993. 5.

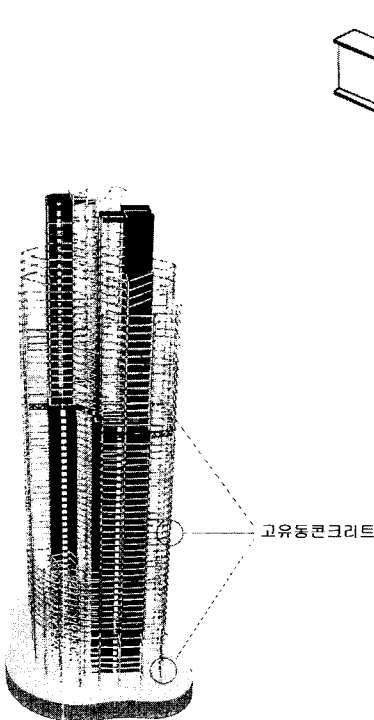


그림 6. 도곡동 타워펠리스

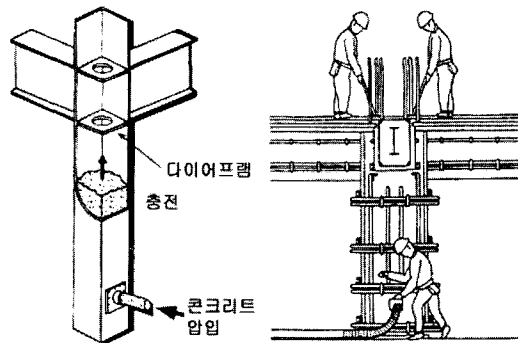


그림 5. 압입 시공의 개요(CFT)

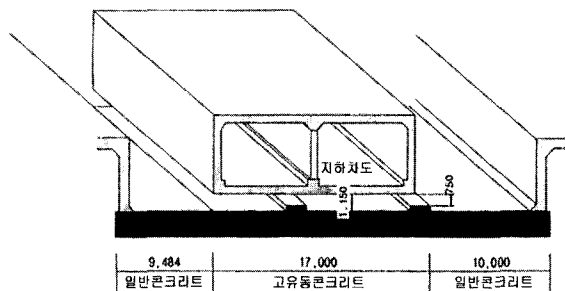


그림 7. 고유동 콘크리트 적용 구조물의 단면도