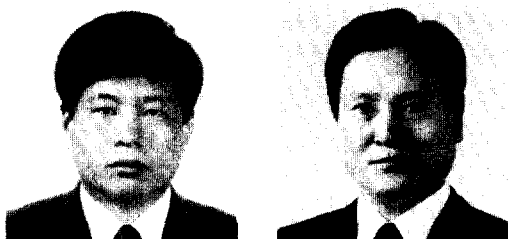


## 日本에서의 超流動 콘크리트의 實用化 動向

### The State-of-the-Art of High Performance Concrete in Japan



강 석 화\* 박 칠 림\*\*

#### 1. 서 론

최근에 콘크리트 구조물의 大型化, 複雜化에 따라 콘크리트 펌프를 이용한 급속 시공이 콘크리트 공사의 주류를 이루어 왔다. 이것은 工期 단축을 비롯해 콘크리트 공사의 인력 절감에 크게 공헌하고 있지만, 그 반면 펌프의 압송성이나 시공성만을 중요시해 단위 수량이 큰 콘크리트를 사용하는 경우가 많이 있어 구조물의 耐久性에 악영향을 미치는 경우가 흔히 발생하고 있다.

본질적으로 콘크리트는 시멘트, 물, 골재등 비중이 다른 여러 종류의 재료를 조합시켜 만든 複合材料이기 때문에 分離現象이 일어나기 쉽고, 또한 구조물 전체가 균등한 품질을 확보하는 것이 곤란한 재료라고 말할 수 있다. 콘크리트의 運搬, 打設, 다짐 등 일련의 시공단계 중에서 특히 다짐이 불충분할 경우에는 국부적인 결함이 생기기 쉽고, 또한 역으로 과도할 경우에는 材料分離를 유

발시키기 때문에 다짐작업의 실시에 있어서는 책임기술자의 신중한 施工管理가 요구된다고 할 수 있다. 그러나, 현실적으로 철저한 施工管理가 되도록 시공한다는 것이 매우 어렵고 또한 커다란 사회 문제가 되어가고 있는 고령화 및 고학력화에 따른 기능 노동자의 현저한 감소에 의해 콘크리트 공사의 능률이 저하되어 가는 것을 쉽게 예상할 수 있다.

그 결과 최근에 들어 콘크리트 분야에서는 인위적인 다짐이 필요없이 콘크리트 재료 자체의 流動性과 充塡性만에 의해 거푸집의 구석까지 채워지는 이른바 다짐 불필요 콘크리트에 대한 필요성이 크게 대두되어, 지금까지 일반적으로 이용되어 왔던 流動化 콘크리트(통상 슬럼프치 15-18cm정도)보다 더욱 流動性이 좋은 超流動 콘크리트(slump치 20cm이상)를 實用化하려고 하는 움직임이 활발히 진행되고 있다<sup>(1)</sup>.

따라서, 본 고에서는 최근에 특히 日本에서 활발히 연구가 진행되고 있는 超流動 콘크리트의 開發 經緯 및 實用化 動向 그리고 이에 따른 使用上의 문제점등에 대해서 검토하여 향후 본 학회에서

\* 정희원, (주)대우 건설기술연구소 과장, 공학박사

\*\* 정희원, (주)대우 건설기술연구소 소장, 전무이사

이 분야로 연구를 추진해 나아가는데 있어서의 방향을 제시하고자 한다.

## 2. 超流動 콘크리트의 主要特性

### 2.1 超流動 콘크리트

#### (1) 정의

일반적으로 ‘流動化 콘크리트’라는 명칭은 현재에 토목·건축분야에서 많이 통용이 되고 있어 특별히 설명이 필요 없으나, 최근에 ‘超流動 콘크리트’라는 명칭이 새롭게 사용되고 있어 그 정의부터 명확히 할 필요가 있다.

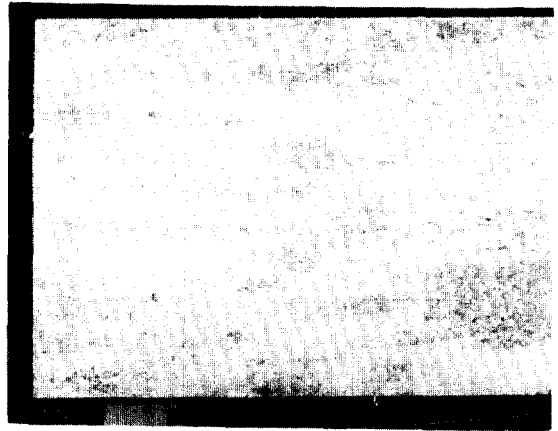
流動化 콘크리트는 日本 建築學會의 流動化 콘크리트指針<sup>(2)</sup>에 의하면 “미리 비벼놓은 비교적 된비빔 콘크리트에 流動化劑를 첨가하여 流動性を 일시적으로 증대시킨 콘크리트”라고 정의하고 있다.

한편, 超流動 콘크리트에 대해서는 명확한 정의는 없고, 狹義의 의미로서는 명칭 그대로 流動化 콘크리트보다 더욱 流動性を 증대시킨 콘크리트라고 이해할 수가 있다. 그러나, 실제로는 廣義의 의미로서 流動性만 증대시킨 것이 아니라 그 위에 變形性和 分離抵抗性이라는 다짐을 필요없게 하는 중요한 성질을 가진 콘크리트라는 의미로 사용되고 있다. 이와 같이 高流動性和 高充填性을 가진 콘크리트에 대해 일본에서는 High Performance Concrete, 다짐 불필요 콘크리트(締固め不要コンクリート), 그리고 High Workable Concrete등 개발자가 명명한 명칭에 따라 제각기 사용이 되어 왔다. 그러나 최근들어 일본 콘크리트 학회내에 “超流動 콘크리트 研究委員會”라는 기구가 구성되면서 이와 같은 종류의 콘크리트를 ‘超流動 콘크리트’로 통일하여 사용하고 있다.

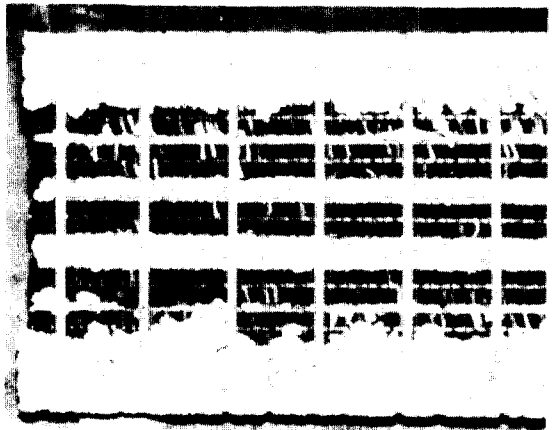
사진 1은 超流動 콘크리트와 종래의 콘크리트의 硬化後의 상태를 나타낸 사진으로서, 종래의 콘크리트는 다짐작업을 하여도 충분히 채워져 있지 않으나, 超流動 콘크리트는 다짐작업없이도 밀바닥까지 골고루 콘크리트가 채워져 있음을 잘 알 수가 있다.

#### (2) High Performance Concrete

최근에 High Performance Concrete(이하



(a) 超流動 콘크리트



(b) 종래의 콘크리트

사진 1 超流動 콘크리트와 종래의 콘크리트의 硬化後의 상태 비교

HPC로 약칭)는 콘크리트를 연구하고 있는 사람들 사이에 상당한 관심거리가 되고 있는 대상으로서, 우리나라에서는 원어를 그대로 직역하여 통상 ‘高性能 콘크리트’라는 명칭으로 통용되고 있다. HPC에 관해서는 일전에 본 학회지를 통해 개략적으로 소개된 바가 있으나<sup>(3)</sup>, ‘HPC’라는 명칭은 日本과 美國에 있어서 각기 그 의미상에 차이가 있어 구별을 할 필요가 있다. 前者의 日本에서 사용되는 HPC라는 명칭은 日本 東京大學의 岡村교수가 개발한 다짐이 필요없는 콘크리트를 당시 혼화제의 개발을 공동으로 수행해 왔던 東京大學 生産技術研究所의 爪生敏之교수가 명명한 데에서 그 유래가 된 것으로, 다음과 같은 3가지 상태에 대하여 정의되고 있다. 즉 “굳기 전의 상태에서는

변형성이 뛰어나고 材料分離 抵抗성이 풍부하여 다짐작업없이도 콘크리트가 거푸집내에 잘 충전되는 특성을 가지며, 타설 직후에는 硬化收縮이나 수화에 의한 發熱이 적고 乾燥收縮量도 억제되어 우수한 龜裂抵抗성을 가지고, 경화후에는 탄산가스나 염소이온등 構造物的 耐久性에 악영향을 미치는 요인에 대해서 충분한 抵抗성을 가진 콘크리트”로 정의 된다<sup>(4)</sup>.

반면에 後者の HPC의 경우는 당초 高強度 콘크리트가 주요 대상이 되어 그 명칭이 붙여졌는데, 1990년 미국의 NIST(National Institute of Standards and Technology : 국립표준기술연구소)와 ACI가 공동으로 개최한 Workshop에서 “다짐이 필요없고 早期強度 및 長期強度가 우수하며 耐久性이 뛰어나고 높은 靱性도 구비한, 콘크리트가 구비해야 할 모든 性能을 가진 콘크리트”라고 정의하고 있어<sup>(5), (6)</sup> 정의만으로 비교한다면 兩者가 모두 콘크리트가 구비해야 할 모든 性能을 갖춘 좋은 콘크리트(good concrete)를 그 대상으로 하고 있어 별다른 차이를 보이고 있지 않다. 그러나, 後者가 콘크리트가 구비해야 할 성능 중에 특히 高強度에 高耐久性을 겸비한 콘크리트를 주요 대상으로 하고 있다면, 前者는 그 중 다짐이 필요없는 高流動性 콘크리트를 그 대상으로 하고 있다는 점에 차이점이 있다.

### (3) 流動化 콘크리트와 超流動 콘크리트의 特性 比較

流動化 콘크리트와 超流動 콘크리트는 베이스 콘크리트의 流動性を 증대시켰다는 점에서는 공통점을 가지고 있지만, 베이스 콘크리트의 배합성분 및 요구성능등에 있어서 차이점을 가지고 있어 근본적으로 성능이 전혀 다른 콘크리트라고 할 수 있다. 流動化 콘크리트와 超流動 콘크리트의 特性의 차이점을 정리하면 표 1과 같다.

## 2.2 超流動 콘크리트의 개발 배경

다짐이 필요없는 超流動 콘크리트 개발의 필요성은 1986년 2월에 개최된 일본 시멘트協會 주최의 콘크리트 강습회에서 東京大學의 岡村교수에 의해 처음 제창이 되었다<sup>(7)</sup>. 이 강습회에서 岡村교수는 “콘크리트는 본래 耐久的인 재료임에도 불

표 1 流動化 콘크리트와 超流動 콘크리트의 特性 比較

비교항목	유동화 콘크리트	초유동 콘크리트
요구성능	유 동 성	-유동성 -분리 저항성
슬럼프치	15~18cm	-20cm 이상
시험항목	슬럼프 시험	-Slump flow 시험 -분리 저항성 시험 -U형 또는 L형 충전 시험
사용혼화제	A E 감수제	-고성능 감수제 -증점제
점 성	시멘트 페이스트의 점성이 낮아 재료분리가 일어나기 쉽다.	-점성이 높아 재료 분리가 거의 일어나지 않는다.
혼화제투입 방식	후 첨 가 방식	-동시 첨가 방식 -시간차 첨가 방식 -분할 첨가 방식
슬럼프치의 경시변화	슬럼프치의 경시변화가 매우 크다.	-경시 변화가 거의 없다.
블라이딩 현 상	블라이딩 현상이 발생한다.	-블라이딩 현상이 거의 없다.
결 합 제	포틀랜드 시멘트	-포틀랜드 시멘트 -고로 슬래그 -플라이 애쉬
배 합 성분	-	-유동화 콘크리트보다 잔골재율이 크고 시멘트량이 많다.

구하고 여러가지 耐久性이나 신뢰성에 문제가 발생하는 것은 人的要因이 크게 작용하는 다짐작업에서 그 첫째 요인으로 작용하게 되므로 다짐이 필요없는 콘크리트가 가능하어진다면 콘크리트 구조물의 신뢰성에는 상당한 향상을 가져올 수 있다”고 밝혀, 이러한 새로운 개념의 콘크리트 개발에 대한 가능성을 시사하였다. 그러나 당시에는 고성능감수제나 콘크리트의 粘性을 증가시키는데 사용하는 水中不分離 콘크리트용 增粘劑나 입도가 작은 고로 슬래그 미분말(이하 고로 슬래그로 약칭) 등의 混和材 등이 이미 개발되어 있는 상태였기 때문에, 다짐이 필요없는 콘크리트를 실현하는 데에 있어서 그 여건은 충분히 마련되어 있었다고 할 수 있겠다<sup>(8)</sup>. 그러나, 다짐이 필요없는 超流動 콘크리트의 개발은 단지 混和劑나 混和材 등의 혼입에 의해서만은 문제가 해결이 되는 것이 아니고 근본적으로 다짐을 필요없게 하는 메카니즘의 개발이 급선무였기 때문에, 개발에 있어서 많은 기간이 이러한 새로운 형태의 콘크리트에 대한 配合設計의 개념구축에 소요되었다.

### 2.3 다짐을 필요없게 하는 메카니즘의 규명

통상 철근이 치밀하게 배근되어 있는 곳에 콘크리트를 타설할 경우, 철근등의 장애물근처에는 골재끼리의 상호응집에 의한 흐름의 閉鎖現象이 일어나 진동기에 의한 진동작업이 없이는 타설이 곤란하게 된다. 이와 같은 골재상호간의 응집에 의한 閉鎖現象은 종래에는 콘크리트 타설시 불가피한 현상으로 받아들여져 왔으나, 이러한 골재의 材料分離 및 閉鎖現象을 유발시키는 주 요인을 규명하여 이것을 적절히 제어한다면 다짐이 필요없는 콘크리트를 만들 수가 있다는 발상으로부터 개발이 시작되었다.

材料分離 및 閉鎖現象을 야기시키는 주 요인을 규명하기 위해서는 다음과 같은 두가지 방법이 사용된다.

#### (1) 모델 콘크리트에 의한 可視化 實驗<sup>(9)</sup>

可視化 實驗이란 육안으로 볼 수 없는 흐름 현상을 눈으로 직접 확인할 수 있도록 흐름을 형상화시켜 수행하는 실험으로, 유체의 흐름현상을 규명하는 데는 最適의 實驗手法로 평가되고 있다. 다짐이 필요없는 콘크리트의 개발에 있어서도 사진-2와 같은 可視化 實驗手法의 도입을 통해 골재 상호간의 응집에 의한 閉鎖現象을 직접 관찰할 수가 있다.

可視化 實驗에 사용하는 재료의 모델링에 있어서는, 먼저 모르터의 경우 흡수성 고분자수지로

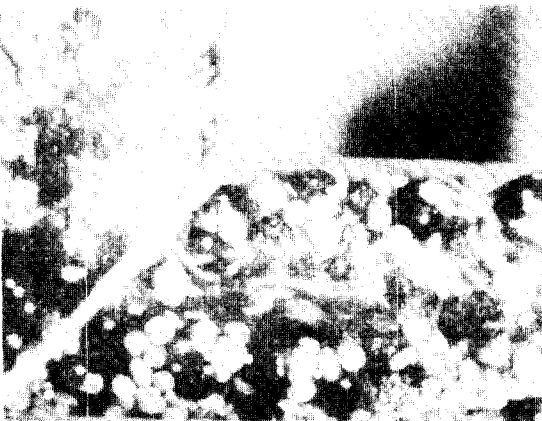


사진 2 모델 콘크리트를 이용한 可視化 實驗

모르터와 동일한 粘性을 가지도록 성분을 조정하여 모르터를 대체시키고, 굵은 골재는 인공 경량 골재를 이용하여, 그리고 입경이 큰 굵은 골재에 대해서는 코우크스를 아스팔트로 코팅시킨 아스팔트 모델로 각각 대체시켜 사용한다. 이와 같은 可視化 實驗을 통하여 閉鎖現象을 야기시키는 요인을 제거할 수 있는 最適 配合值를 찾아 낼 수가 있다.

#### (2) 직접전단시험

曲管部 또는 鐵筋등의 장애물이 존재하는 곳에서는 골재상호간 또는 벽면과의 接觸摩擦등에 의하여 應力傳達가 일어나 흐름의 閉鎖現象이 일어나기 때문에 그림 1과 같이 시멘트 페이스트 사이에 철관을 끼워 넣는 직접전단시험을 통하여 골재 상호간의 摩擦抵抗에 미치는 페이스트의 영향을 정량적으로 검토할 수 있다.

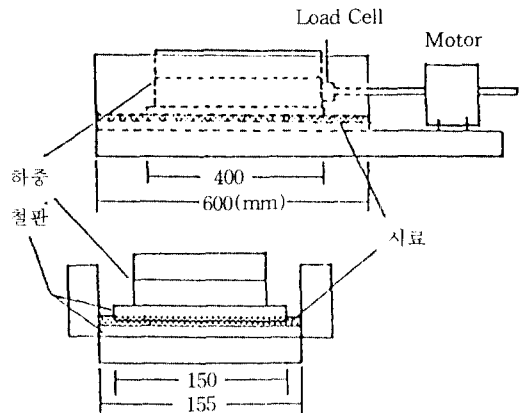
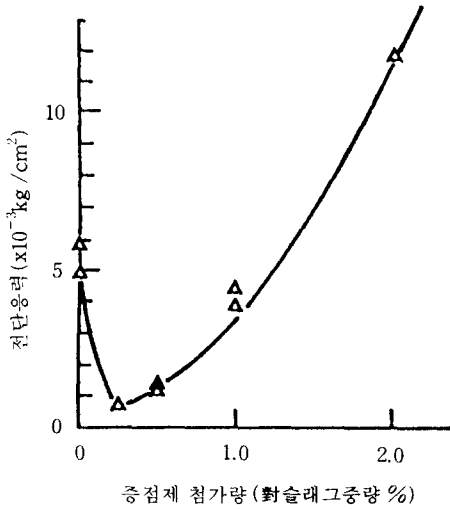


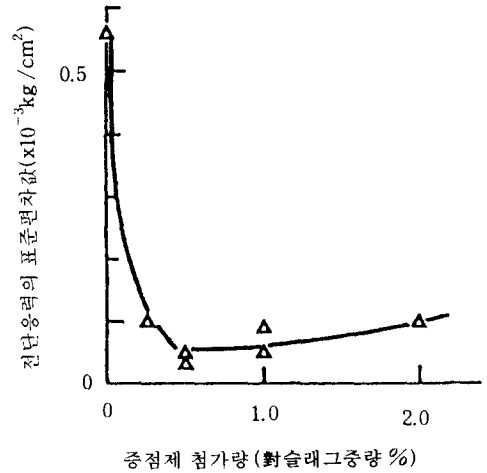
그림 1 直接剪斷試驗 장치

骨材相互間 또는 骨材·管壁間的 衝突, 接觸摩擦등에 의한 傳達剪斷力은 철판상호간의 접촉이나 結合材粒子的 접촉, 충돌로 전달되는 摩擦力( $\sigma \tan \phi$ )과 철판사이의 페이스트가 剪斷變形에 抵抗하려는 힘, 즉 粘着力(C)의 합으로 표현이 되는데, 직접전단시험을 통해 剪斷應力과 直應力을 측정하게 되면 그 값들을 이용하여 摩擦機構와 粘着機構의 適正值를 찾을 수가 있다.

그림 2는 增粘劑의 첨가에 따른 剪斷應力의 변화 양상을 보여주는 한 실험예로서<sup>(10)</sup>, 增粘劑의 첨가량에 따라 剪斷應力으로 표현되는 粘着機構



(a) 粘着機構



(b) 摩擦機構

그림 2 增粘劑의 혼입 효과

와 剪斷應力의 표준편차값으로 표현되는 摩擦機構가 어떻게 변화하는가를 잘 보여주고 있다.

이와 같이 摩擦機構와 粘着機構간의 상호 변화 양상을 각종 영향요인을 바꿔가면서 실험을 수행하게 되면 傳達剪斷力이 최소가 되는 점, 즉 콘크리트가 材料分離를 일으키지 않고 自重만에 의해서 타설부에 充填이 가능한 最適의 배합상태를 결정할 수가 있다.

## 2.4 超流動 콘크리트의 配合設計

### (1) 超流動콘크리트의 流動性和 分離抵抗性

超流動 콘크리트는 종래의 슬럼프시험만으로는 콘크리트의 워커빌리티를 평가하는 것이 부적당할 정도로 높은 流動性和 適정한 分離抵抗性을 갖춘 콘크리트이다. 그러나 콘크리트에 있어서 서로 상반되는 두 성질인 流動性和 分離抵抗性은 콘크리트 타설부위의 形狀이나 鐵筋의 配筋狀態, 그리고 施工法등에 따라 각각 다르기 때문에 流動性和 分離抵抗性을 어떻게 조절하여 소요의 充填性能을 얻느냐가 超流動 콘크리트의 配合設計 및 제조상의 중요한 관건이 된다. 그림 3은 이러한 요구되는 性能과 配合要因과의 관계를 개략적으로 나타낸 그림이다.

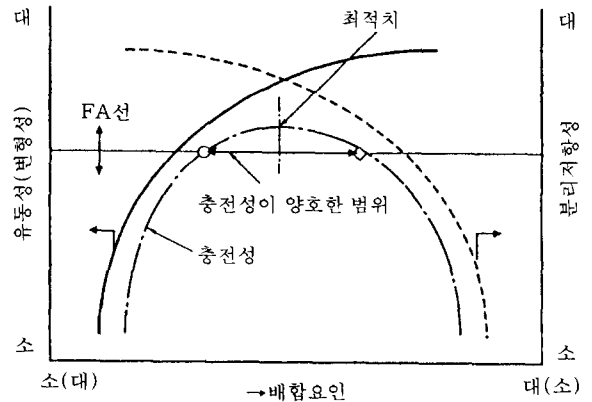


그림 3 요구성능과 배합요인과의 관계

流動性和 이에 상반되는 材料分離 抵抗性이 큰 超流動 콘크리트를 실현하기 위해서, 재료적인 면에서 해결하는 방법으로는 다음과 같은 두가지 방법이 있다.

① 시멘트나 플라이애쉬등과 같은 結合材量을 증가시키고 골재와 혼화제간의 배합에 관한 最適의 배합치를 결정하여 配合設計를 하는 방법.

② 종래의 배합 개념은 그대로 놔두고 고성능감수제 및 增粘劑만을 첨가시켜 재료성능을 증진시키는 방법.

여기서 두 방법의 특징을 살펴 보면, 첫번째 방

법은 材料分離 抵抗性을 얻기 위하여 增粘劑의 혼입보다는 잔골재율과 結合材量의 조절등을 통하여 요구 성능을 만족시키고 있는 방법으로서 이때 增粘劑는 그 효과를 더욱 극대화 시키는 역할 정도로만 사용되어 극소량만 첨가되고 있다. 현재로서는 이 방법은 東京大學에서만 配合이 가능한 것으로 알려져 있어 대부분의 건설회사가 岡村교수의 지도를 받아가면서 超流動 콘크리트를 제조하고 있는 실정이지만, 超流動 콘크리트의 보급을 위하여 조만간 배합법을 일반에게도 공개할 예정인 것으로 알려져 있다.

한편, 두번째의 방법은 제조의 편의성을 고려하여 레미콘회사등을 중심으로 사용하는 방법으로 기본적으로는 첫번째 方法의 配合原理에 그 기초를 두고 있다. 이 방법은 종래의 배합을 크게 바꿀 필요 없이 고성능 감수제나 增粘劑의 투입만에 의해 간편하게 소정의 품질을 얻을 수 있다는 장점을 가지고 있는데 반해, 요구성능을 만족시키기 위해서는 보다 많은 혼화제가 필요하여 이에 따른 재료비의 상승등으로 첫번째 방법보다는 재료비가 더 소요된다는 단점을 가지고 있다.

(2) 配合設計에 영향을 미치는 要因

앞에서도 기술한 바와 같이 超流動 콘크리트에 있어서 콘크리트의 流動性和 分離 抵抗性은 약간의 재료적 변화에도 요구성능이 크게 변하기 때문에 配合設計를 위한 개념 확립시 영향을 미치는 主要 因子의 特性에 관해서 검토를 해 놓을 필요가 있다.

① 結合材의 혼입 영향

超流動 콘크리트에 있어서 포틀랜드 시멘트에 結合材로 사용하는 재료에는 고로 슬래그, 플라이 애쉬 그리고 실리카 흙 등이 있는데, 각 재료 별로 가지고 있는 특성들을 살펴보면, 먼저 고로 슬래그는 초기재령의 강도증진 효과가 좋고 크리프나 건조수축량도 줄여주는 효과를 가지고 있으며, 플라이 애쉬는 長期材齡의 強度增進 效果가 좋으며 水和熱을 작게 하는 특성을 가지고 있고, 실리카 흙은 포틀랜드 시멘트보다 입자크기가 월등히 작기 때문에 강도를 크게 증진시키는 효과를 가지고 있다.

이러한 재료들은 모두 製鐵所 또는 發電所에서 나오는 부산물들로서 포틀랜드 시멘트보다는 모두 비표면적이 크고 각각 가지고 있는 특성이 다르기 때문에, 포틀랜드 시멘트와의 혼입시 포틀랜드 시멘트만을 단독적으로 사용하였을 경우보다 結合材 전체의 입도분포를 균등하게 해주어 강도를 증진시켜주고, 콘크리트가 본래 가지고 있는 재료적인 문제점을 상호 보완해 주어 성능이 우수한 콘크리트를 만들 수가 있다.

② 單位水量과 增粘劑의 혼입 영향

超流動 콘크리트에 있어서 材料의 流動性和 分離 抵抗性에 커다란 영향을 미치는 요인은 自由水量과 粘性으로서, 이 두 요인을 지배하는 투입재료는 單位水量과 고성능 감수제 그리고 增粘劑이다. 따라서 이러한 두가지 특성을 모두 증대시키기 위해서는 각 투입재료의 투입량에 따른 流動性和 分離 抵抗性의 변화 양상을 규명하여 두가지의 요구성능이 最適이 되는 사용량을 결정해야 한다.

그림 4는 單位水量과 增粘劑의 사용량에 따른 流動性和 分離 抵抗性의 변화 양상을 slump flow 値와 粘度로서 나타낸 실험결과이다<sup>(11~12)</sup>.

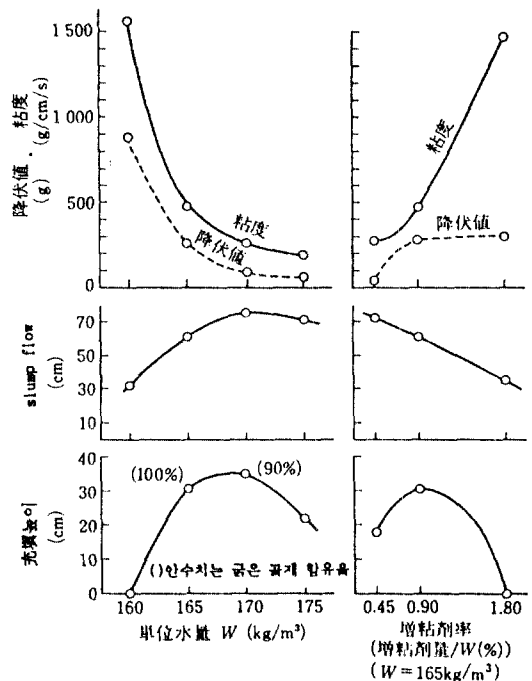


그림 4 單位水量 및 增粘劑의 혼입 영향

### (3) 배합 순서

超流動 콘크리트의 요구성능에 영향을 미치는 각종 배합요인에 대한 검토결과를 토대로 하여 超流動 콘크리트의 기본적인 배합 순서를 간단히 정리해 보면 다음과 같다(그림 5참조).

- ① 구조물의 설계·시공조건으로 부터 超流動 콘크리트의 요구성능을 결정한다.
- ② 單位結合材量, 單位水量, 增粘劑의 使用量, 高性能減水劑의 사용량 및 잔골재율을 설정한다.
- ③ 시험배합을 통해 이러한 배합요인이 最適值인가를 각종 性能 評價試驗을 통해 확인한다.
- ④ 요구 성능이 얻어지지 않은 경우 그 성능에 영향을 크게 미치는 배합요인을 수정하여 最適值가 얻어질 때까지 시간을 반복한다.

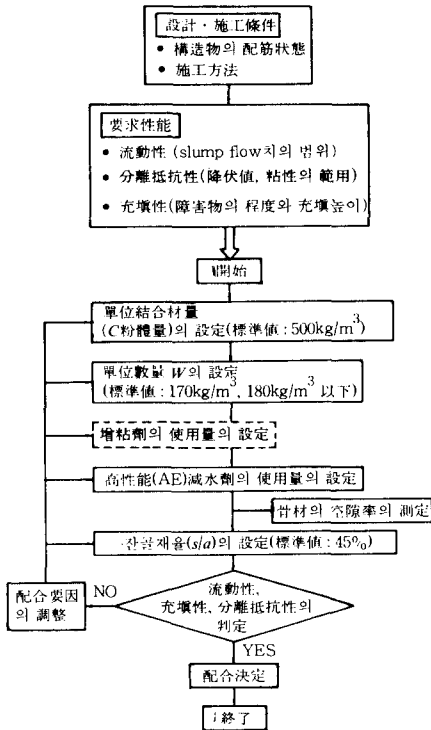


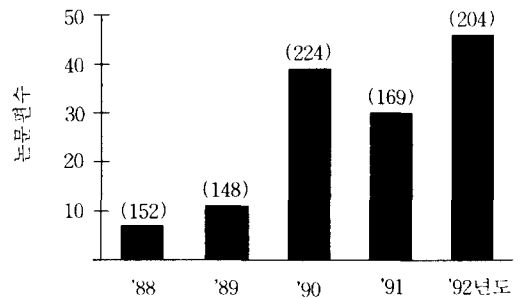
그림 5 超流動 콘크리트의 配合設計 순서

이 순서는 增粘劑의 사용을 고려하고 있는 경우로서 사용하지 않는 경우에 대해서도 기본적인 흐름은 동일하다.

### 3. 超流動 콘크리트의 現況

#### 3.1 연구 동향

일본에서는 1988년 超流動 콘크리트의 개발에 성공한 이래, 앞에서 기술한 岡村교수의 HPC의 개념하에 많은 건설회사에서 연구가 활발하게 진행되어 오고 있다. 매년 개최되고 있는 콘크리트 學術發表會의 論文發表 現況을 살펴보면, 그림 6에서도 알 수 있는 바와 같이 매년 이 분야에 대하여 연구논문 편수가 증가하여 최근의 연구의 관심사를 알 수 있다. 특히 지난해 콘크리트 학술발표회에서는 “시공개선기술”이라는 Session이 신설되어 주로 超流動 콘크리트를 중심으로 한 재료개발 및 시공법 개선에 관한 논문이 발표되었는데, 이것은 材料·施工分野에 관한 총 204편의 발표논문 중에 46편을 차지하여 전체 발표논문의 20%를 상회할 정도로 각 건설회사의 관심이 이 분야에 집중되어 있다<sup>(13)</sup>.



( ) 안 숫자는 재료, 시공분야의 전체 발표논문수

그림 6 超流動 콘크리트에 관한 研究 趨勢

콘크리트협회 산하의 위원회 활동도 대단히 활발하여, 1991년도에는 “콘크리트의 제조시스템 연구위원회”가 구성되어 콘크리트의 요구성능을 포함한 새로운 제조·관리시스템에 대한 논의가 행해지고 있다. 그리고 ‘超流動 콘크리트 研究委員會’, ‘超流動 콘크리트의 材料設計法에 관한 研究委員會’ 등이 구성되어, 매년 학술발표회때에 이러한 위원회 주관하에 超流動 콘크리트에 관련된 분야의 Panel Discussion이 진행되고 있다. 금년에

는 超流動 콘크리트에 관한 심포지움<sup>(14)</sup>이 개최되어 'Fresh Concrete의 特性 評價法', 'Fresh Concrete의 特性에 미치는 諸特性的의 要因' 과 '施工性 및 適用例' 등 3개 Session으로 나뉘어져 총 28여 편의 논문이 발표되는 등 각계에서 활발한 연구가 진행중에 있다.

### 3.2 超流動 콘크리트용 특수 시멘트의 개발 현황

본래 超流動 콘크리트는 콘크리트 타설시 다짐을 없애기 위한 것이 주 목적으로서 현장 여건에 맞추어 배합을 하기 때문에 주로 현장 배합을 우선으로 하고 있다. 그러나 배합원리 자체가 매우 까다롭기 때문에 시멘트 제조회사에서는 미리 배합이 되어 있는 超流動 콘크리트용 특수 시멘트를 개발해 놓고 있다. 특수 시멘트를 개발해 놓고 있는 곳은 小野田시멘트로서 두 종류를 개발하였다. 하나는 포틀랜드 시멘트에 고로슬래그와 플라이 애쉬를 혼합한 低發熱型 시멘트이고, 다른 하나는 清水建設과 공동으로 개발한 球狀化 시멘트이다. 여기서 前者는 특히 콘크리트를 대량으로 타설하는 경우 온도 수축에 의한 균열을 억제하기 위해 사용되고 있는데, 포틀랜드 시멘트와 플라이 애쉬 등 두 종류를 혼합한 2성분계 시멘트와, 포틀랜드 시멘트, 플라이 애쉬 및 고로 슬래그 등 세 종류를 혼합한 3성분계 시멘트의 형태로 생산되어 일부 실제 현장에 투입하여 사용한 예가 있고 현재도 꾸준히 개발에 박차를 가하고 있는 상태이다. 그리고 後者의 경우는 시멘트의 입자를 고속으로 상호간에 충돌시켜 입자를 가능한 한 球形에 가깝도록 만든 것으로서 높은 流動性을 얻을 수 있다는 특징을 가지고 있다.

### 3.3 增粘劑의 개발 현황

현재 개발되어 있는 增粘劑는 크게 셀룰로오스계, 아크릴계 그리고 多糖類 Polymer계등으로 나눌 수 있는데, 현재 增粘劑를 개발하여 공개를 하고 있는 곳은 네 곳으로서, Biopoly를 개발한 武田藥品工業외에, 아크릴계의 『아사노HF』를 판매하

는 日本시멘트, 무기질과 Polymer계의 增粘劑로 된 혼화제 『Filamic』을 三井建設과 공동개발한 小野田시멘트, 그리고 셀룰로오스계의 『SFCA 2000』을 건설회사를 상대로 시험 판매하고 있는 信越化學工業 등이 있다(표 2참조). 현재 增粘劑는 國內에서는 생산이 안되고 있으며, 일부 水中不分離 콘크리트용 혼화제가 수입이 되고 있는 정도이다.

표 2 增粘劑의 개발현황

명칭	개발자	성분	가격 (원/kg)*	표준첨가량 (kg/m³)
Biopoly	武田藥品工業	多糖類 Polymer계	29,200	1~1.5
小野田HF	日本시멘트	아크릴계	6,205	3~6
Filamic	小野田시멘트 三井建設	Polymer계	2,555	22
SFCA2000	新越化學工業	셀룰로오스계	21,900	0.3~0.6

\* : 1엔은 7.3원으로 환산

大成建設에서는 武田藥品工業에서 개발한 Biopoly라는 多糖類 Polymer계의 增粘劑를 사용하여 Biocrete21라는 高流動性 콘크리트를 개발해 놓고 있는데, 여기에 사용한 Biopoly라는 增粘劑는 발효기술에 의해 제조된 多糖類의 일종으로 포도당이 400~500의 直鎖狀으로 결합된 天然高分子의 粉末로서 화학적으로는 합성이 되지 않는 물질인 것으로 알려져 있다. 그 특징을 살펴보면 메틸셀룰로오스등 종래의 水中不分離性 혼화제와 마찬가지로 콘크리트의 粘性을 높여주는 기능은 가지고 있지만, 단위 수량을 증가시킬 필요가 없고 AE감수제와 어울려 적당한 독립공기포를 連行하도록 되어 있다. 즉 일반 콘크리트의 耐久性에 악영향을 미치지 않으면서 콘크리트의 分離抵抗性을 향상시키는 것이 Biopoly의 최대의 특징이라 할 수 있다. 현재 武田藥品工業에서 생산중인 Biopoly는 大成建設에서 독점적으로 사용하고 있으며, 현재로서는 일반 사용자에게는 시판이 되고 있지 않는 상태이지만, 향후 타 회사에도 판매할 계획인 것으로 알려져 있다.

또한 Biocrete21의 특성을 살펴보면 Biocrete21에는 포틀랜드 시멘트외에 고로 슬래그와 플라이 애쉬가 혼합되어 있기 때문에 일반 콘크리트



와 비교하여 볼 때 강도 발현속도가 약간 늦은 것으로 알려져 있으나 28일 강도는 450kg/cm<sup>2</sup>이나 발현되어 강도면에서는 별 문제가 없는 것으로 나타나 있다. 그러나 재료비면에서는 일반 콘크리트에 비해 특수한 재료들을 사용하고 있기 때문에 약간 증액이 되는 것으로 알려져 있다.

### 3.4 超流動 콘크리트의 施工事例

#### (1) 東京·木場公園의 PC 斜張橋架設工事

① 施工회사 : 大成建設

② 타설 부분 : PC斜張橋 主塔에 있어서 사장재 정착부가 있고 철근의 배근상태가 치밀한 7~17블럭 및 세로보 (6블럭 이하는 일반 콘크리트 타설).

③ 채용이유 : 콘크리트 타설시 시공의 합리화와 耐久性의 향상 및 콘크리트면의 미관 향상을 목적으로 폴리머 함침 콘크리트제의 프리캐스트 거푸집(PIC Form)을 채용하고 있기 때문에, 거

푸집 탈형작업이 없어 充填性의 확인이 곤란.

④ 총 타설량: 650m<sup>3</sup>

⑤ 배합 설계표 (표 3참조)

#### (2) 東京가스 LNG지하탱크 建設工事

① 施工회사 : 大林組

② 타설 부분 : 동경가스 LNG 지하탱크의 베이스 콘크리트의 외곽부

③ 채용이유 : 타설 위치가 탱크의 아랫면과 측벽이 일체로 되어 있고 많은 량의 철근이 배근되어 있어 다짐작업이 곤란.

④ 총 타설량: 800m<sup>3</sup>

⑤ 배합 설계표 (표 4 참조)

#### (3) 宇奈月댐의 調査用 터널 密閉工事

① 施工회사 : 前田建設工業, 佐藤工業

② 타설 부분 : 지질조사를 위하여 댐의 左岸 斜면에 뚫은 80m길이의 4개의 터널을 밀폐시킴.

③ 채용이유 : 조사용 터널은 地盤의 安定에도 큰 영향을 미치지 때문에 터널 길이방향으로 직경

표 3 Biocrete 21의 배합 설계표

설계 기준강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	굵은골재 최대치수 (mm)	물결합재비 (%)	잔골재율 (%)	단위량 (kg/m <sup>3</sup> )								
				물	결합재			굵은골재	잔골재	혼화제(결합재 X 중량%)		Biopoly (kg/m <sup>3</sup> )
					시멘트	고로 슬래그	fly ash			AE 감수제	고성능 감수제	
400	20	36	46	180	180	220	100	882	624	0.15	1.40	1.5

표 4 배합 설계표

	설계기준 강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	굵은골재 최대치수 (mm)	물시멘트 비(%)	단위량 (kg/m <sup>3</sup> )				고성능 AE 감수제 (단위시멘트량 X %)	AE 감수제 (시멘트 X %)
				물	시멘트	굵은골재	잔골재		
일반콘크리트 부분	300	20	47.0	150	319	1,076	742	-	0.25
초유동 콘크리트	300	20	33.9	165	487	930	717	2	-

\* 사용 시멘트는 고로 슬래그 시멘트에 플라이 애쉬를 첨가한 type

표 5 배합 설계표

설계 기준강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	굵은골재 최대치수 (mm)	물결합재비(%)	단위량 (kg/cm <sup>3</sup> )							
			물	결합재		굵은골재	잔골재	혼화제		
				시멘트	fly ash			AE감수제 (원액)	고성능 감수제	중점제
210	25	34.8	160	260	200	783	870	0.07	13.6	0.02

\* 사용 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트

51mm의 鐵筋이 156개 배치되어 있어 다짐작업이 곤란.

- ④ 총 타설량: 3200m<sup>3</sup>
- ⑤ 배합 설계표 (표 5참조)

#### 4. 超流動 콘크리트의 문제점 및 향후 전망

超流動 콘크리트는 다짐이 필요없다는 커다란 장점때문에, 각 건설회사에서는 개발 및 實用化에 착수하여 현재는 試驗施工段階를 거쳐 거의 실 시 공예의 단계에 와 있다<sup>(15)</sup>. 그러나, 超流動 콘크리트는 製造上, 그리고 施工上의 문제점을 가지고 있기 때문에, 超流動 콘크리트를 實用化해 나 가는데 있어서는 사전에 이 문제에 대한 충분한 검토가 필요하다.

##### 4.1 제조상의 문제점

超流動 콘크리트는 다짐작업 없이도 손쉽게 콘크리트를 타설할 수가 있기 때문에 현장에서는 큰 환영을 받고 있다. 그러나, 超流動 콘크리트는 요구성능을 얻기 위하여 增粘劑 등 특수 혼화제를 사용해야 하고 또한 약간의 성분 변화에도 성능이 크게 바뀌기 때문에 사용재료가 엄격한 품질기준을 가지고 있다. 특히 모래속에 포함되어 있는 표면수의 관리에 있어서는 크게 애를 먹고 있다. 따라서 현장에서는 엄격한 품질관리에 따른 材料의 수급이 매우 까다롭고 이에 따른 관리비의 상승으로 출하단가가 비싸다는 심각한 문제점 때문에 시 공업체와 발주자 측에서는 꺼려하는 경향이 있다.

이러한 사항들을 조금 더 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

① 통상, 레미콘 공장이 사이로에 저장하고 있는 것은 표준 가격의 보통 시멘트로서 超流動 콘크리트의 경우에는 고로 슬래그나 Fly Ash용의 별도의 저장용기를 새롭게 확보하지 않으면 안된다. 그러나, 현실적으로는 설치 부지에 충분한 여유가 없어, 이러한 材料를 사용하기 위해서는 사이로의 몸체 자체를 교체해야 되는 수고가 필요하다.

② 시멘트나 고로 슬래그 등의 結合材量이 많기

때문에 배합에 오랜시간이 소요되어 제품의 출하 능력이 떨어지고, 콘크리트가 粘性을 가지고 있기 때문에 믹서기의 날개에 콘크리트가 부착되어 세척에 시간이 오래 소요된다.

③ 2성분계, 3성분계를 사용한 超流動 콘크리트는 모래의 表面水나 입도 분포에 민감하게 영향을 받기 때문에 2단식 믹서를 사용하거나 모래의 表面水 管理用 설비등을 설치하지 않으면 안된다.

결국 현행의 제조시스템으로는 레미콘의 單價만 높아지고, 또한 品質面에서도 불안 요소가 남게 되기 때문에, 근본적으로 이러한 점을 해결하기 위해서는 궁극적으로 고성능 믹서나 모래의 표면수를 안정시키는 設備, 그리고 골재의 자동계량장비 등 새로운 設備를 도입하여 제조시스템에 再整備을 해야 할 필요가 있다.

그러나 레미콘 공장의 設備交換 및 製造시스템의 변경은 하루아침에 실현이 되기는 어려우므로 高品質의 콘크리트의 제조를 통해 주변에 超流動 콘크리트에 대한 인식을 확대해 나아가 레미콘 공장의 자발적인 설비투자를 유도해 나갈 필요가 있다.

##### 4.2 시공상의 유의사항

###### (1) 거푸집 설치시

超流動 콘크리트는 초기 콘크리트 타설시에는 거의 流體와 같은 高流動性を 가지고 있기 때문에

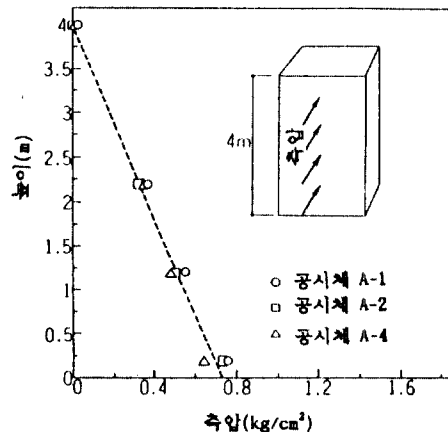


그림 7 타설직후의 側壓 分布

일반 콘크리트에 비해 거푸집에 작용하는 側壓이 크며, 측압분포도 流體壓의 分布와 거의 동일한 分布로 작용한다. 그림 7은 타설직후의 높이방향의 側壓分布를 나타낸 것으로 측압은 거의 流體壓 (單位重量 x 높이)의 크기로 작용하는 것을 알 수 있다. 따라서 超流動 콘크리트 타설시에는 이러한 側壓에 견딜 수 있도록 거푸집 주변을 鋼材등으로 보강해야 하는 경우가 있으므로, 거푸집의 설치시에는 이러한 側壓의 分布를 유의해야 한다.

(2) 펌프 압송시

超流動 콘크리트는 고성능 감수제와 增粘劑의 작용으로 多量의 礦物性 微粉末이 상호간에 반발하는 현상을 일으켜 액체상태를 유지하고 있는데, 結合材 상호간의 거리가 매우 가까워 自由水의 이동이 적기 때문에 압송시의 관내 압력손실이 일반 콘크리트에 비해 상당히 크다.

또한, 管內를 이동하는 콘크리트는 內壁과의 摩擦로 轉단변형이 억제되고 여기에 펌프에 의한 커다란 內壓變動으로 結合材간의 界面摩擦이 발생하여 결합재 조직간의 균형이 서서히 변화해 갈 우려가 있다. 그 결과 펌프로 압송된 超流動 콘크리트는 압송전보다 온도가 약간 상승하고, slump flow시험을 통해 확인한 값보다도 slump flow치가 저하하는 경향이 발생하기 때문에 이러한 점을 충분히 고려해야 할 필요가 있다.

(3) 콘크리트 타설시

超流動 콘크리트는 장시간의 운반이나 펌프 압송에 의해서도 流動性이 변화한다. 그 변화는 경화후의 콘크리트에는 거의 영향을 미치지 않지만, 현 단계에서는 아직 시공실적도 적고 반입시의 품질기준이나 현장에서의 再流動化 대책등이 확립되어 있지 않기 때문에 실 시공에서는 타설위치에서의 품질관리를 강화하고 예측치 못한 流動性의 변화에 대처할 수 있는 작업원이나 작업설비를 확보해 놓는 것이 바람직하다.

(4) 표면 마감시

超流動 콘크리트는 페이스트층의 自由水의 이동속도가 느려 블리이딩이 거의 발생하지 않기 때문에 천정부의 표면고르기등 마감작업시에 종래

의 콘크리트타설의 경우에 비해 작업능률이 떨어져 작업원의 증원이 필요하게 될 경우도 있다.

4.3 超流動 콘크리트의 普及 및 實用化

超流動 콘크리트의 보급 현황을 살펴보면 현재로서는 아직은 사용자측의 인식부족 및 재료비 상승등의 문제로 다짐작업이 곤란한 특수 현장에만 사용이 되고 있는 실정이다. 그러나, 超流動 콘크리트를 개발하는 업체측에서는 향후 새로운 배합 설계법의 확립 및 레미콘 공장의 시설 정비등을 통하여 5년뒤에는 콘크리트 전체 타설량중 50%를 超流動 콘크리트로 대체한다는 원대한 목표를 세우고 있다.

그러나, 앞서서도 언급한 바와 같은 여러가지 제약때문에 현재로서는 施工의 難易度가 매우 높아 다짐작업이 곤란한 장소나 콘크리트의 品質이 설계단계에서 高強度 콘크리트나 高耐久性 콘크리트로 되어 있어 재료비의 상승분이 압축되어 있는 장소, 그리고 터널공사에서 굴착과 복공을 동시에 수행해 가는 이른바 ECL(Extruded Concrete Lining)工法과 같은 特殊工法<sup>(16), (17)</sup> 등, 주로 附加價値가 높은 장소에 사용이 되고 있는 상태이지만, 超流動 콘크리트는 가격이 비싼 만큼 高品質의 콘크리트를 얻을 수 있다는 것이 수요자들에게 인식될 경우 적용대상의 폭은 더욱 넓어질 것으로 예상된다.

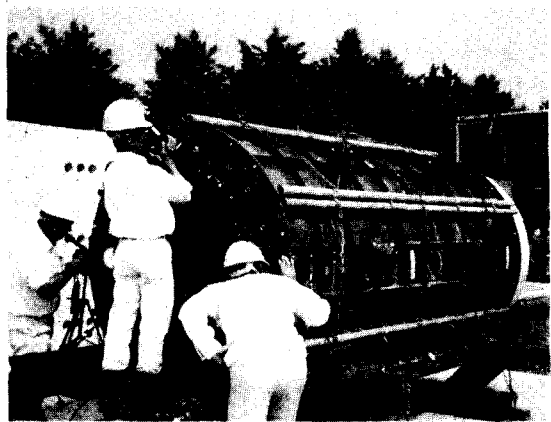


사진 3 超流動 콘크리트의 터널 覆工에 대한 適用性 實驗

## 5. 맺음말

超流動 콘크리트는 종래의 “單位水量이 작은 된 비빔 콘크리트는 다짐을 하지 않으면 안된다”라는 고정관념을 근본적으로 바꾼 새로운 개념의 콘크리트로서, 기존에 개발되어 있는 混和劑(고성능감수제, 增粘劑)나 混和材(고로슬래그, Fly Ash)의 적당한 配合외에도 다짐이 필요없는 最適의 配合狀態(골재간의 摩擦機構와 粘着機構의 balance)를 찾아낸 데에 그 의의가 있다고 할 수 있다.

앞에서도 언급한 바와 같이 岡村교수의 HPC제조원리에 따른 超流動 콘크리트는 다짐이 필요없다는 커다란 장점이 있는 반면에 일반 콘크리트에 비해 재료비가 비싸고 品質管理가 어렵다는 문제점 때문에 시공업체측에서 꺼려하는 경향이 있으나, 이것은 우선적으로 超流動 콘크리트를 출하할 수 있는 공장을 공인해주는 제도의 導入 및 콘크리트의 品質을 레미콘 공장이 保證해 주는 시스템의 構築등을 통하여 점차적으로 주변에 超流動 콘크리트를 實用化시킬수 있는 여건을 조성해 나가는 것이 필요하다.

한편, 日本을 비롯한 제외국에서 HPC의 개발에 박차를 가하고 있는 상황에 발맞추어, 國內에서도 지난해에 韓國 콘크리트學會 研究委員會 산하에 ‘高性能콘크리트 研究分科委員會’라는 조직이 구성되어 이 분야에 대한 관심이 집중되고 있다.

본고는 그동안 콘크리트에 관계되는 많은 사람의 관심대상이 되어 왔던 일본의 HPC, 즉 超流動 콘크리트에 관한 기존의 發表論文들을 취합·정리한 것으로서, 향후 國內에 超流動 콘크리트에 대한 연구가 활발해졌을 때에 참고자료로 활용될 수 있기를 기대한다.

## 참고 문헌

1. 松岡 康訓, 新藤 竹文, “超流動 콘크리트의 개발과 實用”, 施工, No. 302, 1990. 12, pp.48-53.
2. “流動化 콘크리트 施工指針案. 同解説”, 日本建築學會, 1983.
3. 장일영, 박희민, “하이퍼포먼스 콘크리트의 가능성”, 콘크리트학회지, Vol. 4, No.2, 1992. 6, pp. 45-51.

4. 岡村 甫, “締固め不要への挑戦”, セメントコンクリート, No. 539, 1992. 1, pp.2-9.
5. Nicolas J. Carino, James R. Clifton, “High-Performance Concrete : Research Needs to Enhance its Use”, Concrete International, 1991. 9, pp. 70-76.
6. Pierre-Claude Aitcin, Adam Neville, “High Performance Concrete Demystified”, Concrete International, 1993. 1, pp. 21-26.
7. 岡村 甫, 小澤 一雅, “締固め不要 콘크리트의 가능성과 課題”, 콘크리트工學, Vol. 30, No. 2, 1992. 2, pp.5-14.
8. 小澤 一雅, 前川 宏一, 岡村 甫, “ハイパフォーマンス 콘크리트의 개발”, 콘크리트工學年次論文報告集, Vol. 11, No.1, 1989. 6, pp.69-74.
9. 橋本 親典, 丸山 久一, 清水 敬二, “フレッシュ 콘크리트의 管内流動における閉鎖過程의 可視化에 關する 實驗手法”, 콘크리트工學, Vol. 26, No. 2, 1988. 2, pp. 119-127.
10. 泉 達男, 前川 宏一, 小澤 一雅, 國島 正彦, “固體間摩擦抵抗에 及ぼす베스트의 效果”, 콘크리트工學年次論文報告集, Vol. 10, No.1, 1988, pp. 309-314.
11. 小岡 康訓, “超流動 콘크리트”, 콘크리트工學, Vol. 31, No.3, 1993. 3, pp.79-82.
12. 牧野 英久, 渡部 正, 中島 良光, “高流動化 콘크리트의 워카빌리티와 材料分離性에 關する 研究”, 콘크리트工學年次論文報告集, Vol. 12, No. 1, 1990. 6, pp. 297-300.
13. 박칠림, “콘크리트의 실용화 연구를 위한 제언 (KCI, ACI, JCI의 주요 활동상황을 중심으로)”, 콘크리트학회지, Vol. 4, No. 3, 1992. 9, pp. 71-77.
14. “超流動 콘크리트에 關する シンポジウム”, 日本 콘크리트工學協會, 1993. 5.
15. 松岡 康訓, 新藤 竹文, 赤塚 一司, “超流動 콘크리트의 實構造物への 適用”, 콘크리트工學, Vol. 30, No. 5, 1992. 5, pp.53-62.
16. 岡村 甫, “ECL工法에 要求される 콘크리트의 特性”, ECLシンポジウム, 1989. 1, pp.1-5.
17. 青景 半昌, 渡邊 直樹, 神田 亨, 井野 公紀, “ECL工法에 關하여 콘크리트의 充塡性と テル部의 止水性에 關する 實驗研究”, ECL工法研究發表會, 1987. 11, pp. 36-39. □