

고유동 콘크리트 기술의 현황과 전망

이 승 훈(삼성건설 기술연구소 선임연구원)

1. 서론

최근 건설현장은 3D 기피현상, 숙련공의 감소 및 노령화로 말미암아 성역화 시공 등 새로운 공법을 도입하여 경제적인 생산활동을 성취하는 방향으로 많은 투자와 노력을 기울이고 있다. 특히, 국내 건설업의 경우는 건설시장 개방에 따른 기술 경쟁력 강화라는 국내외적 환경 변화에 직면하고 있는 현실을 고려할 때 신기술, 신공법의 개발 및 실용화는 서둘러 대처해야 할 사안으로 인식되고 있다. 따라서, 구조재료로서 가장 널리 쓰이는 콘크리트의 경우에도 역시 신기술, 신공법에 의한 합리화가 요구되어져, 이미 일부 선진국에서는 고기능성 콘크리트에 대한 연구가 활발히 진행되어지고 있다.

미국 및 유럽의 경우는 고강도 및 고내구성 측면에서의 고성능 콘크리트에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 일본의 경우는 굳지 않은 상태에서 유동성이 좋고, 재료분리에 대한 저항성이 우수하며, 충전성이 양호한 즉, 다짐없이 자력만으로 아무리 복잡한 구조 부위라도 손쉽게 채워질 수 있는 고유동 콘크리트 (특히 무다짐 콘크리트)에 대하여 많은 연구가 진행되고 있으며, 그 실용화에도 큰 발전이 있어 왔다.

그러나, 국내의 경우 고강도 콘크리트에 대한 연구개발 및 현장적용은 10여 년 전 부터 상당 부분 진행되어왔으나, 고유동 콘크리트에 대한 연구개발은 연구실 수준을 벗어나지 못하고 있으며, 실용화에 대한 투자 및 노력도 미진한 상태일 뿐 만 아니라 여러 가지 주변 여건과 생산 시스템에 있어서도 아직까지 많은 문제점을 내포하고 있기 때문에 실용화를 위해서는 더 많은 투자와 노력이 필요할 것으로 생각된다.

따라서, 향후 고성능, 고기능 콘크리트의 보급 및 확산에 의해 보통콘크리트가 가지고 있는 저품질, 저성능을 어느 정도까지 대처해낼 수 있는가 하는 문제와 콘크리트가 가지고 있는 고품질, 고성능을 어느 정도까지 활용해 갈 것인가에 대한 고민은 당연한 과제가 아닐 수 없다.

2. 고유동 콘크리트 개발 현황

고유동 콘크리트의 개발은 1980년대 후반 일본의 동경대학 토목공학과와 오까무라 하지메(Okamura Hajime, 岡村 甫) 교수가 다짐이 필요없는 고성능 콘크리트로서 『High Performance Concrete』의 개념과 실례를 발표하면서 시작되었다. 즉, 콘크리트 공사에서 발생하는 여러 가지의 결함은 인력에 의한 타설 및 다짐으로부터 발생되기 시작하기 때문에 콘크리트의 유동성을 최대화하여 타설과 다짐에 있어서 인력에 의한 작업이 거의 필요가 없도록 함으로써 보통 콘크리트의 결함과 인력에 의한 결함을 일거에 해결하자는 데 그 목적이 있었다. <사진-1>은 고유동 콘크리트를 나타낸 것이다.

<사진-1> 고유동 콘크리트

다음은 콘크리트가 고유동 성능을 가지는 콘크리트가 되기까지의 개발 과정을 간략하게 나타낸 것이다.

가. 유동화 콘크리트의 개발(1970년대)

북유럽과 독일 등에서 시공성 개선의 목적으로 고성능 감수제를 후 첨가한 유동화 콘크리트가 실현되었다.

나. 낮은 물-시멘트 비의 고강도 콘크리트 개발(1980년대)

초고층 철근콘크리트조의 건축물용 고강도 콘크리트가 개발되었다. (미국, 유럽, 오스트레일리아, 싱가포르, 일본 등)

다. 낮은 물-분체 비의 고성능 콘크리트(1980년대)

고강도, 고내구성 및 고유동성을 가진 고성능 콘크리트가 주목을 받게 되었다. (미국, 캐나다, 북유럽 등)

라. 무다짐 콘크리트(1980년대 후반)

일본의 오까무라 하지메(Okamura Hajime, 岡村 甫) 교수에 의해 다짐이 필요하지

않는 고유동 콘크리트가 개발되었다.

마. 각종 고유동 콘크리트의 개발(1990년대)

일본과 한국에서 각종 시멘트계 혼합재료와 분리 저감제를 사용한 고유동 콘크리트가 개발되었다.

3. 고유동 콘크리트 기술 및 적용 분류

국내의 경우도 일본과 마찬가지로 고유동 콘크리트의 제조 비용이 보통 콘크리트에 비해서 비싸기 때문에 그 적용을 기피하고 있으며, 제조 및 생산기술 또한 보편화되지 않아서 기술 보급에도 상당한 어려움이 있다. 고유동 콘크리트의 제조 비용은 보통 콘크리트에 비해서 약 1.3~1.5배 정도가 소요되지만 사용 목적 및 품질의 요구 수준에 따라서 그 제조 비용은 상당한 차이를 나타내고 있다.

고유동 콘크리트 제조 기술은 그 사용 목적에 따라서 다음과 같이 크게 3단계로 분류할 수 있으며, 이러한 분류에 따라 제조 비용은 상당한 차이를 나타내므로 그 목적에 맞게 배합을 선정하는 것이 경제성 측면에서 매우 유리할 것으로 판단된다.

첫째는 다짐이 전혀 필요없으며, 유동성 및 충전성이 우수하며, 콘크리트 표면 또한 미려하여 마감 작업이 전혀 필요없고, 하자 또한 거의 발생하지 않아서 보수가 필요없는 최고급의 콘크리트 기술 수준을 말한다. 이것은 별도의 마감이 없는 노출 콘크리트 구조물이나 콘크리트 표면에 공기포가 많이 발생할 것으로 판단되는 구조물에 적합하다. 둘째는 다짐 작업없이도 콘크리트 구조물의 내부 구석구석까지 잘 채워지지만 별도의 마감 작업이 있기 때문에 콘크리트 표면이 미려하지 않아도 크게 문제가 없는 콘크리트 기술 수준으로써, 일반적으로 얇은 벽체 구조물이나 복잡한 형상의 토목 구조물에 적합하다. 마지막으로는 유동성능은 우수하지만 약간의 다짐 작업이 필요하며 복잡한 철근 사이로도 쉽게 채워질 수 있는 콘크리트 기술 수준을 말한다.

이와 같이 국내의 고유동 콘크리트 기술은 주로 무다짐 콘크리트를 중심으로 발전하여 왔으며, 점차적으로 그에 대한 관심이 커지고 있다. 고유동 콘크리트, 특히 무다짐 콘크리트는 다음과 같은 경우에 적용함으로써 그 효과와 가치를 크게 할 수 있다.

가. 철근 및 기타 간섭 시설이 많아서 다짐작업이 곤란한 경우

- 나. 다른 구조물의 간섭에 의해서 내부진동기의 사용이 어려운 경우
- 다. 벽체가 경사져서 내부진동기를 사용할 수 없는 경우
- 라. 벽체가 얇아서 콘크리트 타설 및 다짐작업이 어려운 경우
- 마. 벽체가 얇아서 트레미에 의한 시공이 어려워 콘크리트 낙하 높이가 커지게 되어 재료 분리가 예상되는 경우
- 바. 대규모 타설 시 타설 시간 및 타설 인력 증가, 품질유지 등이 어려운 경우

4. 외국의 고유동 콘크리트 현황

가. 각국의 고유동 콘크리트 보급 현황

고유동 콘크리트가 일본에서 개발 된지 14년이 지난 요즘 세계 각국에서는 5~6년 전부터 고유동 콘크리트의 보급이 활발히 진행되고 있다. 특히 <표-1>과 같이 스웨덴, 네덜란드, 대만의 3개국은 이미 일본보다도 보급률이 상회하고 있는 것으로 나타났다. 향후 수 년 후에는 일본의 생산량에 비해 크게 증가될 것으로 전망되고 있다.

<표-1> 각국의 고유동 콘크리트 보급현황 (1999년 자료)

국가명	레미콘	공장제품	인구
일본	0.1%	0.5%	1억 2,500만
대만	0.3%	-	2,100만
네덜란드	0.1%	4.0%	1,600만
스웨덴	5.0%	5.0%	900만

네덜란드는 일본의 기술자가 파견되어 기술 협조한 사례가 많은 경우이며, 레미콘 및 공장제품으로도 업계가 중심이 되어 고유동 콘크리트의 보급에 주력하고 있으며, 생산 현장에서도 보통 콘크리트를 대체하여 보통 콘크리트처럼 고유동 콘크리트를 적용하는 사례가 증가하는 추세에 있다. 또한, 콘크리트 공장제품 (2차 제품)에 대해서도 고유동 콘크리트만을 사용하는 공장도 상당히 많이 있으며, 생산 공장에서 진동기를 거의 사용하지 않아 진동에 의한 소음의 저감 및 작업환경 개선 등을 꾀하고 있다.

대만에서는 왕성한 건설수요와 최근 발생한 대지진에 의해 고강도 및 고유동의 고성능 콘크리트에 대한 관심이 높아지고 있으며, 특히 건축물에 대한 적용 사례가 크게 증가하고 있는 추세이다. 공장제품 (2차 제품)에 대한 적용은 아직 본격적인 보급이 이루어지고 있지 않지만, 전체적인 고유동 콘크리트의 보급률이 매년 증가 추세에 있으며 수년 후에는 일본의 고유동 콘크리트 적용 실적을 상회할 것으로 판단된다.

<표-1>에 나타난 나라의 경우를 보면, 각국의 인구수는 비교적 적은 경우에 해당되지만, 고유동 콘크리트의 보급률이 상당히 앞서 있으며, 향후 사용량은 계속적으로 증가될 것으로 추정되고 있다. 한편, 유럽의 영국, 프랑스, 독일 등에서의 고유동 콘크리트의 사용량 및 증가속도는 비교적 느린 편이다.

나. 일본의 고유동 콘크리트 생산 현황

고유동 콘크리트(무다짐 콘크리트)를 처음 제의한 일본의 실용화 및 보급 현황을 살펴보면, 고유동 콘크리트를 현장에 적용하고 있는 건설회사는 점차 증가하고 있는 추세이지만, 전체 타설량은 97년도의 25만^m 정도를 정점으로 98년도 및 99년도에는 감소하여 12만^m 전후로 추정된다. 그러나, 이것은 1만^m를 넘는 대형공사가 그 동안 감소되었던 것과 아울러 전체적인 건설 경기가 침체기에 들면서 나타난 현상으로 판단된다. <표-2>는 최근 5년간의 제조 방법에 따른 고유동 콘크리트의 생산 현황을 나타낸 것이다.

<표-2> 일본의 고유동 콘크리트 생산 현황 (최근 5년간)

(단위 : m³)

종류 \ 년도	95	96	97	98	99
분체계	90,485	130,717	164,511	41,396	51,327
증점계	22,118	28,073	36,759	23,188	22,277
병용계	92,918	29,704	43,543	59,781	41,336
기타	180	491	2,600	1,178	2,764
합 계	205,701	188,985	247,413	125,543	117,704

※ CFT 기둥용은 포함되지 않았음.

일본의 경우 각 건설사별 고유동 콘크리트의 타설량은 大林組가 전체의 25%인 42만^m, 熊谷組가 26만^m이며, 다음은 鹿島, 大成, 鐵建建設의 순으로 5개사가 전체 고유동 콘크리트 적용량의 75%에 해당하는 111만^m를 점유하고 있어 대부분 대형 건설사를 중심으로 편중되어 있는 실정이다.

한편, 건축분야에서 고유동 콘크리트가 대표적으로 사용되는 콘크리트 충전 강관 기둥 (CFT : Concrete Filled in Tube)에 대한 사용이 98년 전후로 급격히 증가하는 추세가 뚜렷하다. 이는 CFT 적용 사례의 증가와 CFT 구조의 특성상 콘크리트에 요구되는 성능이 고유동 성능을 필연적으로 요구하는 조건을 가지고 있기 때문으로 판단되며, 향후 계속적으로 사용량이 증가될 것으로 전망된다.

이와 같이 일본의 고유동 콘크리트 개발 및 현장 적용사례는 증가추세에 있지만, 대부분의 경우 대기업의 종합건설사를 중심으로 편중되어 있는 상황이며, 건설현장 전체에서 일반화되어 사용되기 위한 원활한 생산, 유통시스템이 전체적으로 구성되어 있는 상황은 아닌 것으로 지적할 수 있다.

5. 국내의 고유동 콘크리트 현황

가. 고유동 콘크리트 실용화 현황

국내에서 고유동 콘크리트가 연구 개발되기 시작한 것은 약 5년 전부터이지만 국내의 경우 고유동 콘크리트에 대한 관련 기준도 없을 뿐만 아니라 필요성 또한 크게 느끼지 못하고 있었다. 그러나, 최근 2~3년 전부터 고유동 콘크리트에 대한 관심이 증가하면서 학계에서부터 그에 대한 연구가 활발히 진행되었으며, 일부 건설회사에서도 많은 관심을 기울이고 있다.

삼성건설의 경우 1996년부터 고유동 콘크리트에 대한 연구개발을 시작하였고, 1998년부터는 현장 실용화에 노력해왔으며, 기술 수준 및 적용 실적이 동업 타사에 비하여 상당히 앞서 있다. 대우건설은 1995년부터 건설교통부 국책과제의 일환으로 고유동 콘크리트에 대한 연구개발을 시작하였으나, 그 적용 실적은 많지 않은 편이며, 그 외 대형 건설업체의 경우 연구개발 및 적용 사례는 거의 전무한 실정이다.

나. 삼성건설의 고유동 콘크리트 적용 실적

<표-3>은 삼성건설의 고유동 콘크리트 시공 실적을 나타낸 것이다.

<표-3> 삼성건설의 고유동 콘크리트 시공 실적

적용 현장	적용 년도	적용 부재	적용 목적
기술연구소 신축현장	1996	기둥	- CFT 강관 충전용
속초 관광박람회 주제관 현장	1998	외벽	- 수직 및 경사벽체 (H:5.3m, t=25cm)
서울 지하철 6-3공구 현장	1999	외벽	- 상부 박스구조물로 인한 다짐 불가
오산 호텔 FED 현장	2001	외벽	- 얇은 벽체(t:20cm) 타설 및 다짐 곤란
조선일보 부평사옥 현장	2001	노출 벽체	- 얇은 벽체(t:20cm) 타설 및 다짐 곤란 - 수직 벽체 (최고 H:6.0m), 노출 부재
도곡동 타워팰리스 3차 현장	2001	매트 기초	- 대형 매트기초 시공성 개선 (8000m ² /14H : 무다짐 콘크리트 시공)

<사진-2>는 도곡동 타워팰리스 3차 J.V 현장에서 다짐 작업없이 고유동 콘크리트 (무다짐 콘크리트)를 타설 하는 장면을 나타낸 것이다.

<사진-2> 다짐 작업없이 콘크리트를 타설 하는 모습

6. 결론

고유동 콘크리트가 건설 현장에 활발히 보급되기 위해서 가장 먼저 해결되어야 할 사항은 『고유동 콘크리트의 제조비용 절감』을 들 수 있다. 그러나, 고유동 콘크리트의 보급이 늦어지고 있는 또 다른 이유는 제조 비용 문제와 같은 경제적인 측면에만 국한되는 것이 아니라 건설산업 전체의 구조적인 측면에서도 다각적인 대책이 필요할 것으로 사료된다.

가. 고품질의 고유동 콘크리트 생산을 위한 기술적 대책

(1) 고품질의 고유동 콘크리트 생산을 위해서 시멘트, 골재, 혼화제 등 사용 재료 측면에서의 각각의 품질기준 및 기술 확보가 우선되어야 하며, 특히 시멘트의 경우에

는 지금까지 추구해온 강도 일변의 제품 개발에서 벗어나 유동성 증진 측면에서의 새로운 접근이 필요하다.

(2) 제조 비용을 최소화 할 수 있는 고유동 콘크리트의 개발에 초점을 맞추어야 하며, 플라이애쉬, 고로슬래그 미분말, LSP 등 다양한 혼화재료의 사용이 일반화 될 수 있도록 품질확보 및 제품 다양화가 우선적으로 선결되어야 한다.

나. 보급확대를 위한 제도적 대책

(1) 고유동 콘크리트의 특성을 살린 설계·시공방법의 개발과 라이프 사이클 코스트(Life Cycle Cost)의 개념을 중심으로 한 고내구성 콘크리트의 중요성을 발주자가 이해하도록 해야 한다.

(2) 건설관리 행정상 고유동 콘크리트와 같은 고성능의 콘크리트를 적극적으로 활용할 수 있도록 시공 적산에의 반영 등, 제도적인 장려기능이 필요하다

(3) 고유동 콘크리트가 가지고 있는 고내구성을 설계자가 적극 활용할 수 있도록 하고, 시공자가 적극적으로 제시한다.

(4) 고유동 콘크리트의 장점을 충분히 이용해 건설현장에서의 시공효율을 극대화할 수 있는 방안을 구체적으로 강구한다.

다. 레미콘 공급체계에 대한 대책

(1) 고유동 콘크리트를 레미콘공장의 일반 제품화하기 위하여 품질 등급별로 메뉴화하여 사용자가 언제든지 안정된 품질로 구입할 수 있는 공급체계를 갖추도록 한다.

(2) 레미콘업체가 고유동 콘크리트와 같은 고품질의 콘크리트 개발을 학교 및 대형 건설업체에만 의존하지 않고, 자체 기술력에 의해 개발할 수 있도록 중소기업 진흥차원에서 제도적 뒷받침이 마련되어야 한다.

(3) 이를 위하여 고유동 콘크리트에 대한 기술력이 축적되어 있는 대형 건설업체와 배합설계로부터 제조, 시공기술을 상호 교류, 협력하여 일정한 기술 수준까지는 제조의 주체가 레미콘업체가 될 수 있도록 제도적 장치가 마련되어야 한다.