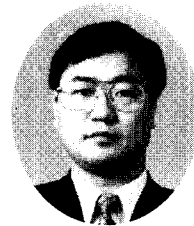


특집

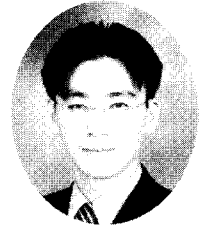
|| 노출 콘크리트 ||

노출 콘크리트 배합 설계 및 제조

- Mix Design and Manufacture of Exposed Concrete -



이한승*



유성현**

1. 서 언

노출 콘크리트란 철근 콘크리트 구조물을 시공한 후 콘크리트 표면에 마감 재료를 따로 시공하지 않고 콘크리트 자체의 색상 및 질감으로 콘크리트 표면을 마감하는 기술로서 골조 공사이면서 마감 공사를 병행하는 공법이다. 이러한, 노출 콘크리트는 설계자에 있어서는 예술성을, 시공자에 있어서는 철근 콘크리트 공사의 종합 기술성을, 발주자에 있어서는 유지 관리의 편리성을 부여한다. 따라서, 노출 콘크리트는 철근 콘크리트 공사 기술의 집대성으로 매우 높은 기술 축적이 필요한 공법이며 그 계획 및 시공에 있어서는 일반 철근 콘크리트 공사와 달리 유의할 점이 많이 있다. 또한, 노출 콘크리트 공사의 성패는 사용 재료 선택 뿐만 아니라 콘크리트 배합 및 제조 방법, 운반, 타설, 다짐, 양생에 크게 좌우되므로 시공자는 노출 콘크리트 공사에 있어 마감 공사를 실시한다는 자세로 임해야 한다.¹⁾

본고에서는 이러한 배경 하에 최근 설계자 및 발주자에 있어 기술 개발의 요구가 높아지고 있는 노출 콘크리트를 대상으로 노출 콘크리트의 요구 성능에 따라 시공의 성패를 크게 좌우하는 노출 콘크리트 사용 재료 선정, 배합 및 제조 방법에 대한 일반 사항을 살펴보고 노출 콘크리트에의 고유동 콘크리트 적용성을 검토함으로써 노출 콘크리트 공사 일반에 대한 기초적 자료를 제공하고자 한다.

* 정회원, 한양대 초대형구조시스템연구센터 연구조교수

** 정회원, 고려산업개발(주) 건축부

2. 노출 콘크리트 요구 성능 및 배합 설계 방안²⁾

일반적으로 노출 콘크리트에 요구되는 성능은 색채 균일 성능, 균열 발생 억제 성능, 충전 성능 및 재료 분리 저항 성능, 내구 성능 등을 들 수 있으며 이들 요구 성능에 따라 노출 콘크리트 배합 설계시 고려해야 할 사항은 다음과 같다.

1.1 색채 균일성

노출 콘크리트는 콘크리트 면 자체가 마감재로서 사용되기 때문에 같은 면이라면 동일한 질감 및 색채를 나타내는 것이 매우 중요하다. 일반적으로, 노출 콘크리트 색채에 영향을 미치는 요소는 ① 콘크리트 사용 재료 ② 배합 설계 및 제조 방법 ③ 거푸집 및 박리제 ④ 타설 방법 ⑤ 경화 중 콘크리트 상태 등이 있다. 따라서, 이들 영향 요인을 충분히 검토하여 색채 균일성을 맞추면 좋으나 현실적으로 매우 어려운 것이 실정이다. 특히, 노출 콘크리트 색채는 주로 시멘트 및 골재의 색에 크게 영향을 받는 것으로 알려져 있으므로 노출 콘크리트 색채를 균일하게 맞추기 위해서는 동일 회사 제품 시멘트, 골재, 혼화제 및 혼화제료를 사용하고 반드시 한 레미콘 공장에서 반입하는 것이 바람직하다. 또한, 콘크리트 강도는 동일 층이라고 하면 한가지 설계기준 강도로 하는 것이 좋으며, 조강 시멘트, 혼합 시멘트를 사용하는 경우는 색 차가 많이 발생하므로 선택에 주의가 필요하다. 즉, 현재 현장에서 많이 사용하고 있는 고로 슬래그 미분말 혼입

콘크리트의 경우는 콘크리트 색채가 약간 밝고 하얗게 되며, 단위시멘트량이 500 kg/cm³ 정도가 넘거나 실리카 폼 또는 플라이 애쉬를 혼합한 콘크리트의 경우는 색채가 탁하고 검게 되므로 노출 콘크리트 색채 균일성을 위해서는 이러한 점을 고려한 콘크리트 사용 재료의 선정이 매우 중요하다고 하겠다. 한편, 국내 월드컵경기장이나 대형 건물의 경우 PC 부재를 노출 콘크리트로 하고 현장 타설 노출 콘크리트와 조화시키는 건물이 많 있으므로 이들의 흡수율, 강도 및 밀도 차이에 따른 색채 불균일성이 발생할 수 있으므로 이에 대한 대책을 세우는 것이 필요하다.

1.2 균열 발생 억제 성능

콘크리트는 건조 수축하여 경화하는 특성상 균열 발생은 속명적 이므로 이를 최소한으로 억제하는 것이 중요하며, 특히, 노출 콘크리트는 표면 자체가 마감을 겸하므로 균열 발생을 억제하는 것이 공사의 성패를 좌우한다. 일반적으로 건조 수축 균열에 대한 콘크리트 배합 대책으로는 ① 양질 골재를 사용 ② 슬럼프값을 낮추어 단위수량 저감 ③ AE 감수제나 고성능 AE 감수제 사용으로 단위수량 저감 ④ 팽창재나 수축저감제를 사용하여 콘크리트 수축을 저감하는 등의 4가지 방법이 있다. 일반적으로 팽창재는 보통 30 kg/m³ 정도, 수축저감제는 단위수량의 일부로서 6 kg/m³ 정도 사용하며, 팽창재는 분말 상태로, 수축저감제는 액체 상태로 사용하므로 레미콘 공장에서 노출 콘크리트를 제조하는 경우에는 이들 재료의 투입 방법을 고려할 필요가 있다. 또한, 실제 노출 콘크리트를 적용하는 경우에는 사전에 시험체를 제작하여 그 효과를 확인하는 것이 바람직하다. 한편, 건조 수축 균열은 이 외에도 다짐이나 양생, 부재 형상 및 크기, 균열 유발 줄눈의 유무 등 설계·시공에 기인하는 것도 많으므로 이들에 대한 대책도 함께 고려해야 한다. 또한, 강풍 및 폭염에 의한 콘크리트 표면의 급격한 건조에 기인한 실 균열 발생, 전기 설비 및 배관 등에 따른 콘크리트 침하 균열, 개구부 및 설비 배관 주위의 건조 수축 균열 등은 미리 방지하는 대책을 세우는 것이 중요하다.

1.3 콘크리트 충전성 및 재료 분리 저항성

노출 콘크리트는 콘크리트 타설 시간 간격 지연에 따른 콜드 조인트 발생, 골재 분리 현상에 의한 허니콤 발생, 노출면 물곰보 발생 및 노출면 오염 등이 발생하기 쉬우므로 이에 대한 대책이 필요하다. 이러한 시공 성능 저하에 대한 콘크리트 배합상의 대책으로는 ① 현장 도착 콘크리트 품질 관리 시험시 규정된 콘크리트 슬럼프 준수 ② 지연제 또는 고성능 AE 감수제 사용에 의한 슬럼프 로스 방지 ③ 골재는 가능한 작은 치수를 사용하여 골재 폐색 방지 ④ 레이턴스 및 블리딩이 작게 발생하는 배합 설계 ⑤ 모르타르 충전성 향상 및 골재 분리 방지를 위한 잔골재율 증가 등을 들 수 있

다. 또한, 콜드 조인트를 방지하기 위해서는 일반적으로 현장과 가까운 레미콘 공장을 선정하는 것이 바람직하며, 콘크리트 운반 시간은 제조 후 타설시까지 기온이 25 ℃ 미만 일 경우 60분, 25 ℃ 이상인 경우 60분으로 하는 것이 바람직하다. 또한, 골재 분리 현상을 방지하기 위해서는 철근 피복 두께를 준수하고 콘크리트 타설 속도를 준수하여 모르타르가 충분히 충전되도록 하며 창문 및 개구부에는 공기 누출 구멍을 설치해야 한다.

1.4 내구 성능

노출 콘크리트는 콘크리트 면이 직접 외부 환경에 노출되기 때문에 내구성에 대한 검토가 반드시 이루어져야 한다. 노출 콘크리트에 일반적으로 문제가 되는 것은 중성화, 염해 및 동해에 의한 철근부식이다. 따라서, 콘크리트 배합 대책으로는 ① 가능한 물시멘트비를 낮추어 고강도의 밀실한 콘크리트 제조 ② 규정 공기량 확보로 동결 용해 저항성 향상 ③ 경화 전 콘크리트내 염소이온 총량 규제 준수로 철근 부식 발생 억제(Cl⁻ 이온이 0.3 kg/m³ 이하) 등을 들 수 있다. 한편, 일본 JASS 5(건축공사표준시방서 - 철근 콘크리트공사)에서는 콘크리트 표면 상태가 노출인 경우 고내구성 콘크리트(내용년수 : 100년)를 목표로 <표 1>과 같이 콘크리트 배합 규정을 나타내고 있다. 고내구성 콘크리트의 경우 일반 콘크리트 배합과 비교하여 물시멘트비 최대값과 단위수량 상한값이 적고 단위시멘트량 최소값이 크게 되어있으며 사용 골재는 품질이 좋은 것을 선정하도록 하고 있다. 한편, 이 시방에서는 설계 피복 두께를 통상보다 10 mm 증가시켜 철근 위치에서의 콘크리트 중성화 및 염분 침투를 늦추고 있다. 또한, 노출 콘크리트는 산소 및 수분 침투를 막고 시멘트 먼지의 발생을 줄이기 위하여 반드시 발수제나 침투성 흡수방지제 등 콘크리트 질감을 손상하지 않는 범위 내에서 표면 마감을 시공할 필요가 있다.

표 1. 콘크리트 배합(JASS 5)^{3,4)}

항 목	일반 콘크리트	고내구성 콘크리트	
설계기준 강도 범위(N/mm ²)	15 이상 24 이하	21 이상 36 이하	
콘크리트 슬럼프(cm)	18 이하	12 이하*	
단위수량 상한값(kg/m ³)	185	175	
단위시멘트량 최소값(kg/m ³)	270	290	
물시멘트비 최대값(%)	포틀랜드 시멘트 고로 시멘트 A종 실리카 시멘트 A종 플라이 애쉬 시멘트 A종	65	60
	고로 시멘트 B종 실리카 시멘트 B종 플라이 애쉬 시멘트 B종	60	55
염화물 이온량(kg/m ³)	0.3	0.2	

* 고성능 AE 감수제를 사용하는 경우는 18cm 이하, 유동화제를 사용하는 경우는 베이스 콘크리트가 12cm로 유동화 후 18cm 이하

3. 노출 콘크리트 사용 재료^{3, 5, 6)}

노출 콘크리트는 균질한 색상 및 질감을 표현하고 충분한 내구성 을 가지기 위해서는 사용 재료 선택이 매우 중요하며 사용 재 료의 성능이 노출 콘크리트의 성능을 크게 좌우하는 경우가 많으 므로 노출 콘크리트 제조시에는 사용 재료의 물성 및 특성을 잘 파악하여야 한다. 또한, 개개의 사용 재료 품질이 열악한 경우에 는 동일 배합이라도 ① 슬럼프나 공기량 변동 ② 소요 강도 발현 불충분 ③ 균열이 다수 발생할 우려가 있으므로 주의해야 한다.

3.1 시멘트

건축에 사용되는 시멘트 품질은 KS 규격에 정해져 있지만 노 출 콘크리트에 사용되는 것은 보통 포틀랜드 시멘트(1종)가 대부 분이다. 일반적으로 현장 시공자들은 레미콘 상태로 현장에 반입 되기 때문에 시멘트 물성을 간과하는 경우가 많으나 노출 콘크리 트에서는 시멘트 물성이 직접적으로 그 성능에 영향을 미치므로 반드시 시멘트 시험 성적서를 검토하는 것이 중요하며, 경우에 따라서는 현장 품질관리시험실에서 압축 강도, 안정성, 분말도 등 시멘트의 기본적인 시험을 실시하는 것이 바람직하다.

시멘트 자체의 색은 결코 일정하지가 않고 시멘트 중의 Al_2O_3 (알루미늄산)나 MgO (산화마그네슘) 등의 함유량에 따라 어느 정 도 변화가 있다. 일반적으로 Al_2O_3 가 증가하면 명도 및 노란색이 증가하고 MgO 나 Fe_2O_3 (산화제2철)이 증가하면 검은색이 증가 하며 노란색이 감소한다. 또한, 제조회사나 시멘트 종류에 따라 시멘트 색은 명확한 차이가 있으므로 노출 콘크리트의 제조에 있 어서는 반드시 동일 회사의 시멘트를 사용하는 것이 바람직하다. 일반적으로 시멘트 제조 메이커 지정은 레미콘 공장이 시멘트 계 열회사이거나 품질 관리상 동일 회사 시멘트만을 사용하므로 문 제가 없으나 가능한 동일 장소의 레미콘 공장에서 생산되는 노출 콘크리트를 사용하는 것이 바람직하다.

한편, 백시멘트를 사용하는 콘크리트 배합에서는 백색 보통 포 틀랜드 시멘트를 사용하는 경우와 보통 포틀랜드 시멘트에 백색 안료를 혼입하는 경우가 있다. 일반적으로는 전자가 채용되고 있 으나 경제적으로는 후자가 유리하다. 백시멘트는 재료 자체의 명 도가 매우 높고 잔골재의 색으로 색채의 미묘한 조정이 가능하 다. 한편, 백색 안료를 사용한 경우는 명도에 한계가 있으나 백 색 세골재를 사용하면 명도가 상당히 향상된다. 또한, 백시멘트 는 경제적으로 약간 비싸나 다른 칼라 콘크리트에 비하여 색채 불균일성이나 색채 차이, 폴드 조인트 등이 잘 나타나지 않으므 로 시공상 비교적 위험성이 적다고 판단된다. 최근에는 원가 절 감을 위하여 백색의 고로 슬래그 미분말을 사용하는 레미콘 공장 이 많으므로 그 혼입량을 조절하는 것에 의하여 노출 콘크리트 색채를 조정하는 것도 하나의 방법이라고 판단된다.

한편, 노출 콘크리트에 사용되는 칼라 콘크리트는 주로 보통 포틀랜드 시멘트에 각종 무기계의 안료를 혼합하여 사용하는 경 우가 많으나 제조 비용이 높고 제조 및 양생에 걸쳐 감리가 어려 워 채용에는 신중한 검토가 필요하다. 그러나, 칼라 콘크리트는 주위 경관과의 조화(특히, 토목 구조물)성이 우수하며, 도장 유 지 관리 비용(L.C.C)면에서 일반 도장보다는 저렴하고 도장에서 는 얻을 수 없는 색채 및 질감이 있으므로 이를 적극적으로 노출 콘크리트에 적용하는 것은 단순함과 지루함을 갖는 노출 콘크리 트 단점을 극복하는 하나의 방법이라고 판단된다.

3.2 골재

골재는 콘크리트 용적의 70%를 점유하고 있고 그 물성이 콘크 리트 품질에 크게 영향을 미친다. 따라서, 골재에 요구되는 물성은 매우 많지만 노출 콘크리트에 사용되는 골재는 보통 콘크리트에 사 용되는 골재와 같은 KS 규격을 적용해도 실용적으로 문제는 없다. 다만, 골재 분리 및 충전 불량에 기인한 허니컴을 방지하기 위해서 는 현재의 25 mm 골재보다는 19 mm 또는 13 mm를 사용하는 것도 바람직하나 레미콘 수급 문제 및 제조단가의 향상을 초래하므 로 다짐이 충실히 수행된다면 25 mm 골재를 사용해도 큰 무리는 없다고 판단된다. 골재에 요구되는 성질은 ① 견고할 것 ② 청정할 것 ③ 내구적·화학적으로 안정할 것 ④ 내화적일 것 ⑤ 적당한 크 기일 것 ⑥ 입형이 좋을 것 ⑦ 입도가 좋을 것 등을 들 수 있다. 근년에는 강자갈 및 강모래의 고갈로 인해 국내에서는 쇄석 및 해 사(세척사)가 주로 사용되고 있으며, 세척사에 일부 쇄사를 혼합하 여 사용하는 레미콘 공장도 있으므로 반드시 노출 콘크리트 제조시 에는 골재 종류에 대한 검토가 필요하다.

일반적으로 골재의 색은 SiO_2 (염기성)의 양에 따라 결정되며 이 양이 많으면 무색 광물이 증가하여 하얗게 되고(안산암, 화강 암 등) 역으로 적으면 유색 광물량이 증가하여 검게 된다(현무암 등). 잔골재는 위에서 언급한 골재 용적 70% 중 약 40%를 점 유하고 있으며 노출 콘크리트 품질만이 아니라 색채에도 큰 영향 을 미친다. 즉, 노출 콘크리트 색채에 큰 영향을 미치는 것은 잔 골재의 색이며 검은 골재보다 흰 골재의 영향력이 강하게 나타난 다. 또한, 잔골재율이 높은 콘크리트의 경우 잔골재의 색이 노출 콘크리트에 영향을 미치므로 이를 확인할 필요가 있으며, 레미콘 공장 잔골재 저장소는 같은 산지의 잔골재라도 모두 동일한 색이 라고 할 수 없으므로 미리 확인하고 레미콘 반입시는 골재 시험 성적서를 확인하는 것이 필요하다.

3.3 물

노출 콘크리트에 사용되는 물은 보통 콘크리트와 같이 KS 규정 에 따르며 일반적으로 상수도를 사용하지만 지하수, 하천수, 슬러

지수를 사용하는 경우는 노출 콘크리트에 악영향을 미치지 않는 것을 확인하고 시험 성적서를 반드시 검사하는 것이 바람직하다.

3.4 혼화제

콘크리트 품질을 개선하는 혼화재료에는 소량으로 화학적인 효과를 기대하는 혼화제(주로 액체)와 비교적 대량으로 사용되는 혼화제(주로 분말)가 있다. 이 중에서 혼화제는 현재 콘크리트 제조에 있어 필수 불가결한 것으로 주로 ① AE제 ② AE 감수제 ③ 고성능 AE 감수제가 있으며 콘크리트 워커빌리티 개선 및 단위수량의 저감 등에 사용된다. 또한 응결 시간 등의 조작을 위해서 ① 표준형 ② 하절기용 지연형 ③ 동절기용 촉진형이 있고 콜드 조인트 방지나 초기 콘크리트 강도를 높이기 위하여 사용되는 경우도 있다. 한편, 혼화제의 색은 주로 암갈색이 많아 색이 매우 짙으나 희석하여 사용하므로 노출 콘크리트의 색채에는 전혀 영향을 미치지 않는 것으로 보고되어 있어 노출 콘크리트 제조시 사용되는 혼화제는 색채보다는 콘크리트 운반 시간, 슬럼프 로스 방지, 응결 시간 조정 등 주로 콘크리트의 충전 성능 및 재료 분리 저항성을 향상시키는 용도로 검토하는 것이 좋다.

3.5 혼화재

콘크리트에 사용되는 혼화제는 주로 콘크리트 제조 원가를 절감하기 위한 목적으로 사용되는 플라이 애쉬 및 고로 슬래그 미분말과 고강도 콘크리트를 제조하기 위한 실리카 폼 등이 사용되고 있다. 이들은, 보통 콘크리트의 경우 경제성 향상 및 내구성 향상을 위하여 사용되나, 노출 콘크리트에 있어서는 이들 혼화제의 시멘트 대체 혼합률에 따라 노출 콘크리트 색채에 매우 큰 영향을 미치므로 이들 혼화제를 사용하는 경우에는 반드시 발주자 및 시공자와 충분한 협의를 거치고 시험 시공을 실시하여 사용하는 것이 바람직하다.

4. 노출 콘크리트 배합 설계

콘크리트는 물·시멘트·골재(세골재 및 조골재) 및 혼화재료(혼화제, 혼화재)등으로 구성된 복합 재료이다. 이들 재료의 혼합 비율을 배합이라 하며, 계산에 의하여 얻어진 배합을 계획 배합, 또한 배합 결정 과정을 배합 설계라 한다. 콘크리트의 제반 성질 중 아직 굳지않은 콘크리트에 있어서는 워커빌리티(시공 난이도), 공기량 및 골재 분리 저항성 등이, 경화한 콘크리트에 있어서는 강도·내구성·수밀성 등이 배합 설계에 따라 크게 변화한다. 한편, 콘크리트 배합 설계는 그 콘크리트를 사용하는 구조물 요구 성능(구조 안전성, 화재 안전성, 내구성, 거주성 등)에 대응하여 정해져야 하며 콘크리트 운반이나 타설 방법, 양생 방법 등의 시공 조

건, 콘크리트 타설 위치(기초·벽·기둥 등) 조건, 구조물 종류 및 시공시 기상 조건(특히 기온) 등 여러 가지 조건에 따라 달라진다. 그러나, 콘크리트 제반 성질과 배합 설계는 지금까지 많은 연구 결과에 의해서 거의 정해진 관계가 있으며 배합 설계는 이들 자료를 사용하여 일정 방침 아래 소요 성질을 갖는 콘크리트가 얻어지도록 하고 레미콘이 반제품이라는 특성을 고려하여 반드시 사전 실험을 통하여 결정하는 것이 필요하다. 노출 콘크리트 노출면이 마감재가 되므로 노출 콘크리트의 균질 색채 발현, 재료 분리 저항성 등을 특히 주의하면서 보통 콘크리트와 동일한 배합 설계를 실시하여도 실용상 문제는 없다고 판단된다.

4.1 배합 설계 방법^{2, 3, 5, 6)}

콘크리트 배합은 소요 강도, 내구성, 수밀성, 균열 저항성, 철근 또는 강재를 보호하는 성능 및 작업에 적합한 워커빌리티를 갖는 범위 내에서 단위수량을 될 수 있는 대로 최소로 하고 굵은 골재량을 최대로 하는(잔골재율을 낮춤) 것이 바람직하다. 굵은 골재량은 시험에 의하여 정하는 것이 가장 확실하지만 경험에 의하여 표준적인 지표도 참고로 하는 것이 좋다. 콘크리트 배합은 <그림 1>과 같이 1m³을 기준으로 하는 용적 배합을 기본으로 하며 요구 성능에 따라 사용 재료의 용적 비율을 맞추는 퍼즐게임과 같다고 할 수 있다. 일반적인 배합 설계 순서는 다음과 같으며 <표 2>에 콘크리트 배합 계산 예를 나타낸다.

- ① 배합강도 F를 산정한다.
- ② 물시멘트비 λ 를 구한다.
- ③ 단위수량 Wg를 구한다.
- ④ 단위시멘트량 Cg 및 그 절대용적 Cv를 구한다.
- ⑤ 단위굵은골재량 Gg 및 그 절대용적 Gv를 구한다.
- ⑥ 단위잔골재량 Sg 및 그 절대용적 Sv를 구한다.
- ⑦ 잔골재율 s/a을 구한다.
- ⑧ 혼화제 사용량을 구한다.
- ⑨ 계획 배합표를 완성한다.
- ⑩ 골재 조건에 따라 현장 배합표를 완성한다.

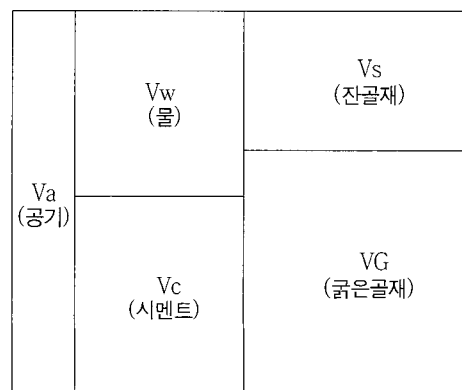


그림 1. 콘크리트 배합 설계를 나타내는 정방형(m³)

표 2 레미콘 배합 설계 예

호칭 방법	콘크리트 종류	조골재 최대 크기(mm)	호칭강도 f_{ck} (kgf/cm ²)	슬럼프 (cm)	시멘트 종류
	보통	25	240	15	보통 포틀랜드
표준편차	s	공장 실적에 따름. 또는 0.15 f_{ck}			35 kgf/cm ²
배합 강도	f_{cr}	$f_{cr}(1) \geq f_{ck} + 1.6s$ $f_{cr}(2) \geq 0.85 f_{ck} + 3s$ 둘 중 큰 값 선정			296 309 309 kgf/cm ²
물시멘트비	W/C	$m = a + b \cdot C/W$ $W/C = 225 / (309 + 120) = 52.4$ 물시멘트비 지정			52 % 50 %
단위수량	W	단위수량은 소요 성능 범위에서 작은 값 시험 배합 선정 또는 공장 실적 및 기존 배합표 참조			179 kgf/cm ² 179 ℓ/m^3
계산 물시멘트비	W/C	단위시멘트량 지정 있는 경우 계산			-
단위시멘트량	C Cv	$C_g = (179/50) \times 100$ $C_v = C/\text{비중} = 358/3.16$			358 kg/m ³ 114 ℓ/m^3
공기량 용적	A	$A = 1000 \times \text{공기량} = 1000 \times 4.5 \%$			45 ℓ/m^3
조골재 겹보기 용적	Gav	공장 실적 또는 기존 배합표 실적률(59.5%)			0.64 m ³ /m ³
조골재량	Gv G	$G_v(\ell/m^3) = Gav \times \text{실적률}/100$ $G_g(\text{kg}/m^3) = G_v \times \text{비중}$			381 ℓ/m^3 1006 kg/m ³
잔골재량	Sv S	$S_v = 1000 - (W_v + C_v + G_v + A_v)$ $S_g = S_v \times \text{세골재 비중}$			281 ℓ/m^3 719 kg/m ³
잔골재율	S/a	$S/a(\%) = S_v / (S_v + G_v) \times 100$			42.4 %
단위혼화제량	Ad	$Ad = C \times \text{첨가율} = 358 \times 0.1 \%$			0.358 kg/m ³

W/C (%)	잔골재율 (%)	공기량 (%)	단위수량 (kg/m ³)	절대용적(ℓ/m^3)			단위 중량 (kg/m ³)			혼화제 (g/m ³)
				시멘트	세골재	조골재	시멘트	세골재	조골재	
50	42.4	45.4	179	114	281	381	358	719	1006	358

● 콘크리트 배합 범례

물 kg	시멘트 kg (ℓ/m^3)	잔골재 kg (ℓ/m^3)	굵은골재 kg (ℓ/m^3)	공기
------	-----------------------	-----------------------	------------------------	----

● 세척사 및 쇄석을 사용한 콘크리트 배합 (예)

① 물시멘트비 : 55 %, 슬럼프 : 18 cm

◎ Plain 콘크리트

221	127 (402)	286 (744)	356 (926)	10
-----	-----------	-----------	-----------	----

잔골재율 : 45.9%, 단위굵은골재 겹보기 용적 : 0.60 m³/m³

◎ AE제

203	117 (369)	279 (725)	356 (926)	45
-----	-----------	-----------	-----------	----

잔골재율 : 43.9%, 단위굵은골재 겹보기 용적 : 0.60 m³/m³

◎ AE 감수제

192	110 (349)	291 (757)	362 (941)	45
-----	-----------	-----------	-----------	----

잔골재율 : 44.6%, 단위굵은골재 겹보기 용적 : 0.61 m³/m³

◎ 고성능 AE 감수제

181	104 (329)	302 (785)	368 (957)	45
-----	-----------	-----------	-----------	----

잔골재율 : 45.1%, 단위굵은골재 겹보기 용적 : 0.62 m³/m³

② 물시멘트비 : 55 %, AE 감수제

◎ 슬럼프 18 cm (표준)

192	110 (349)	291 (757)	362 (941)	45
-----	-----------	-----------	-----------	----

잔골재율 : 44.6%, 단위굵은골재 겹보기 용적 : 0.61 m³/m³

◎ 슬럼프 15 cm

181	104 (329)	284 (738)	386 (1004)	45
-----	-----------	-----------	------------	----

잔골재율 : 42.4%, 단위굵은골재 겹보기 용적 : 0.65 m³/m³

◎ 슬럼프 12 cm

175	101 (318)	287 (746)	392 (1019)	45
-----	-----------	-----------	------------	----

잔골재율 : 42.3%, 단위굵은골재 겹보기 용적 : 0.66 m³/m³

③ 슬럼프 18 cm, AE 감수제

◎ 물시멘트비 55 %(표준)

192	110 (349)	291 (757)	362 (941)	45
-----	-----------	-----------	-----------	----

잔골재율 : 44.6%, 단위굵은골재 겹보기 용적 : 0.61 m³/m³

◎ 물시멘트비 45 %

200	141 (444)	252 (655)	362 (941)	45
-----	-----------	-----------	-----------	----

잔골재율 : 41.0%, 단위굵은골재 겹보기 용적 : 0.61 m³/m³

◎ 물시멘트비 65 %

189	92 (291)	318 (827)	356 (926)	45
-----	----------	-----------	-----------	----

잔골재율 : 47.2%, 단위굵은골재 겹보기 용적 : 0.61 m³/m³

- * 균열 및 블리딩 억제를 위해 단위수량은 185 kg/m³, 고내구성 시방은 175 kg/m³으로 하고 있다.
- * 혼화제를 사용하는 경우, Plain 콘크리트와 비교하여 AE제에서 약 8%, AE 감수제에서 약 13%, 고성능 AE 감수제에서 약 18%의 단위수량을 저감하는 효과가 있다.
- * 고성능 AE 감수제를 사용하는 경우, 단위수량이 이상적이라도 물시멘트비가 큰 경우(60% 이상) 등, 단위시멘트량이 290 kg/m³ 이하로 되는 경우가 있어 반드시 고내구성이라고 말할 수 없다.
- * 고성능 AE 감수제를 사용하는 경우, 콘크리트에 모르타르가 많게 되지 않도록 굵은골재량을 약간 증가시키고 워커빌리티가 얻어지는 잔골재율을 유지하여야 한다.
- * 슬럼프가 작은 경우, 슬럼프 1cm당 단위수량을 2~3 kg/m³ 줄이고 모르타르가 많게 되지 않도록 굵은골재량을 약간 증가시키기 위해 잔골재율을 낮춘다.
- * 골재 형태가 각진 쇄석을 사용하는 경우나 헤시는 물량이 많이 필요하므로 혼화제나 골재의 종류 및 배합이 중요하다.
- * 물시멘트비를 낮추면 단위수량이 많이 필요하므로 잔골재율은 약간 낮게 된다.

4.4 노출 콘크리트 배합 설계 주의 사항²⁾

노출 콘크리트는 보통 콘크리트와 같은 배합 설계 방법에 준하여 배합 설계를 실시하여도 좋으나, 재료 분리 저항성 및 표면 품질을 확보하기 위해서는 <표 3>에 나타내는 배합 일반 유의 사항 뿐만 아니라 <표 4>에 나타내는 구조물 부위별 콘크리트의 배합과 타설에 유의하여 완벽한 콘크리트 구조물을 축조할 필요가 있다.

표 3. 배합 설계시 주의 사항

구 분	주의 사항
운반 시간, 타설 시간, 이어치기 시간 검토	타설시 문제 발생 방지, 콜드 조인트나 허니콤의 방지 → 외기온도 등을 고려하여 적절한 혼화제 적용, 레미콘 현장 반입시부터 타설 종료시까지 슬럼프나 공기량 변화가 최소한이 되도록 하고 다음 공정에 지장이 없는 응결 시간으로 한다.
타설·다짐시의 재료 분리 방지	콘크리트 품질 저하, 허니콤이나 모래 누수 발생, 콘크리트 침강에 의한 공극 발생 방지 → 블리딩수가 적은 콘크리트로 한다.
슬럼프 및 골재 최대 크기 검토	레미콘을 거푸집 구석구석 충전 → 배근이 밀실한 장소에 슬럼프가 작거나 골재 최대 크기가 큰 레미콘을 타설하지 않는다. 무리하여 타설해도 미충진 부분이 있어서는 무의미함. 부재 단면 피복 두께, 철근량, 철근 간격 등을 고려하여 배합 설계를 실시한다.
단위수량 검토	단위수량을 줄여 수축하기 어려운 콘크리트로 하거나 중성화나 염해 등에 대한 내구성을 높임 → 고성능 AE 감수제를 사용하면 적은 수량으로도 슬럼프를 18cm 정도로 하는 것이 가능하다.

4.5 노출 콘크리트에의 고유동 콘크리트 적용성^{2, 7)}

최근, 고유동 콘크리트라고 불리는 “유동성은 매우 높지만 재료 분리가 없는” 콘크리트가 현장 실용화되어 철근 배근이 밀실한 장소나 복잡한 형상의 부위, 강관 기둥 등 콘크리트가 충전되기 어려운 장소에 적용되고 있다. 현재로서는 고유동 콘크리트는 제조단가가 다소 비싸고 품질 관리에 주의 사항이 많으나 거푸집 구석구석까지 확실하게 충전할 수 있다는 장점이 있어 노출 콘크리트와 같이 콘크리트 노출면이 직접 나타나는 공법에는 매우 유효하다고 판단된다. 특히, <그림 2>와 같이 슬럼프가 있고, 개구부가 많으며 원형인 철근 콘크리트 구조물을 노출 콘크리트로 시공하는 경우에는 다짐이 필요 없고 충전 성능이 매우 높은 고유동 콘크리트의 적용이 매우 유효하다고 판단된다.

일반적으로 고유동 콘크리트의 슬럼프는 26 ~ 27 cm 정도이지만 슬럼프로 성능을 평가하기 어려워 <그림 3>에 나타난 것처럼 슬럼프 플로우로 표시하며 슬럼프 플로우는 약 65 ± 5 cm 정도로 높은 유동성과 함께 재료 분리 저항성을 가지고 있다. 이러한 유동성은 고성능 AE 감수제의 효과에 의한 것이지만 재료 분리 저항성에 대해서는 ① 시멘트나 석회석 미분말 등 분체를 이용한 것 ② 셀룰로우스 에테르계 등 분리저감제를 사용한 것으로

크게 다룰 수 있다. 배합에 있어 보통 콘크리트와 다른 점은 조골재량이 100 ~ 200 kg/m³ 정도 적고 고성능 AE 감수제가 다량으로 사용된다는 점이다. 참고로 <그림 4>에 고유동 콘크리트의 배합 예를 나타낸다.

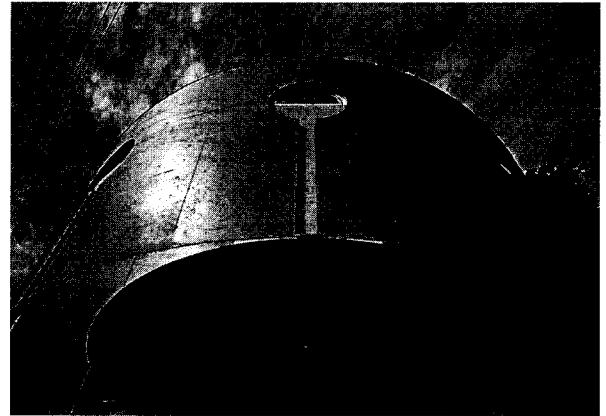


그림 2. 고유동 콘크리트를 적용한 노출 콘크리트 구조물

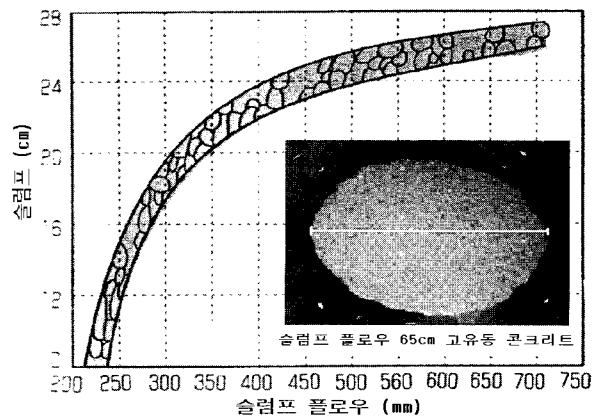


그림 3. 콘크리트 슬럼프 플로우와 슬럼프와의 관계

① W/C 50% 고유동 콘크리트, 분리저감제로 재료 분리 저항성 얻음.

170	108 (340)	368 (957)	309 (803)	45
-----	--------------	--------------	--------------	----

잔골재율 : 54.4%, 단위조골재 겉보기 용적 : 0.52 m³/m³

② W/C 35%, 고유동 콘크리트, 시멘트분체량으로 재료 분리 저항성 얻음.

170	154 (486)	337 (876)	309 (803)	45
-----	--------------	--------------	--------------	----

잔골재율 : 52.2%, 단위조골재 겉보기 용적 : 0.52 m³/m³

③ W/C 55% 일반 콘크리트(슬럼프 = 15cm, AE 감수제 사용)

181	104 (329)	284 (738)	386 (1004)	45
-----	--------------	--------------	---------------	----

잔골재율 : 42.4%, 단위조골재 겉보기 용적 : 0.65 m³/m³

그림 4. 고유동 콘크리트의 배합 설계 예

또한, 고유동 콘크리트 배합에서는 콘크리트가 다짐을 하지 않아도 충전이 가능하고 철근간을 콘크리트가 통과하여도 재료 분리가 없도록 배합하는 것이 매우 중요하다. <그림 5>는 철근이 밀실하게 버근된 모델 시험체로 고유동 콘크리트 유동성 및 충전 성능을 시뮬레이션한 것이다. 슬럼프 플로우가 65 cm 정도인 고

유동 콘크리트는 시간 경과에 따라 구석구석까지 콘크리트가 충전되는 것을 볼 수 있으며 이러한 콘크리트는 노출 콘크리트로서 그 사용 폭이 매우 넓을 것으로 판단된다. 그러나, 슬럼프 플로우가 50 cm인 콘크리트의 경우는 철근에 굵은골재가 걸려 콘크리트가 폐색되는 결과를 나타냈다. 따라서, 고유동 콘크리트를

표 4. 부위별 콘크리트 배합과 타설 방법의 유의점

구분	배합시 유의점	타설시 유의점	기타 유의점
SRC 조 기동·보	- 재료 분리가 없고 유동성이 높을 것	- 침강을 고려하여 보 아래서 일단 타설을 멈추고 보·슬래브를 타설 - 상부로부터 타설할 수 없는 경우 하부로부터 펌프 압입도 검토 - 펌프 배관 삽입 개소 사전 확인	- 이어치기 부분을 확실히 시공함. - 접합부는 미충진 부분이 발생하기 쉬우므로 충전성을 사전 검사 - 거푸집 강도, 강성이 충분한가 검사
경사 지붕	- 슬럼프 15 cm 이하가 바람직 함. - 단위수량 적게 함. - W/C 55 % 이하, 특히 수밀성을 높이는 경우 W/C 50 % 이하	- 진동 다짐시 하부에 콘크리트가 흘러내려 다짐한 콘크리트가 무너지지 않도록 함. - 마감시 정성 들어 펌핑을 함. - 타설 중 이어치기 시간 간격은 60분 이내가 바람직함.	- 이어치기 부분은 가능한 만들지 않음. - 충분한 습윤 양생(9일 이상) - 동바리 흔들림이나 처짐은 검토 - 허니컴이나 균열 방지 검토 - 방수층이나 충분한 두께 보호층을 설치함. - 콜드 조인트 발생을 방지함 - 콘크리트 충전 확인용 투명 거푸집 사용도 고려
곡면 형상(R)	-	- 콘크리트를 횡으로 흐르게 타설하지 않음. - 1층 타설 높이 60 cm 정도 - 펌프 선단은 2 m 이내에서 이동, 50 cm 간격으로 진동 다짐(망치, 거푸집 진동기 설치) - 수직 이어치면 결정	- 거푸집 강도·강성 - 거푸집 줄눈 차이 유의 - 균열 유발 줄눈과 이어치기 면의 일치
충고가 높은 경우	- 콘크리트가 자유낙하해도 재료 분리 발생 않도록 시멘트량 증가 - 수평 이어치기를 설치할 경우 팽창제나 지연제 사용 검토	- 콘크리트 자유낙하 높이는 재료 분리가 생기지 않는 높이로 함. - 발아래 다짐은 확실하게 함. - 이어치기 시간 간격을 준수함. - 수평 이어치기 면 결정, 이어치기 면 처리 방법 결정 - 압입 공법 채용도 검토 → 거푸집 측압 유의	- 타설 개구부 설치 → 타설 개구부 위치나 누름 거푸집 자유낙하 높이 제한 - 거푸집 강도·강성 → 콘크리트 응결 - 유발 줄눈과 이어치기 면 일치 → 응력 발생 적은 부분 설치 - 이어치기 면 개선 → 와이어 브러쉬, 칩핑, 슛브라스트 등 → 이어치기 면 지수판, 그라우트 재료 사용
긴 벽	-	- 횡 방향 흐름 방지 - 일층 타설 높이 60 cm - 펌프선단은 2 m 이내에서 이동, 50 cm 간격으로 진동 다짐 - 망치 다짐, 거푸집 진동기 설치 - 수직 이어치기 면 결정 - 이어치기 면 처리 방법 선정 유의	- 균열 유발 줄눈과 이어치기 면 일치
1회로 타설 가능한 벽이나 기둥	- 콘크리트 응결 시간	- 1층 타설 높이 60 cm 정도로 순차적 다짐 - 이어치기 시간 간격 확인 - 콘크리트 침하	-
부재 단면 80 cm 이상 대형 부재 (매스 콘크리트)	- 시멘트 종류 설정 → 발열량 적은 것(플라이 애쉬, 고로슬래그, 중용열) - AE 감수제 등 혼화제는 지연형 - 재료 온도는 낮을 것 - 단위시멘트량 적게, 슬럼프는 15 cm 이하	-	- 벽 두께 60 cm 이상에서도 주의 필요 - 온도 균열 발생 위험성을 검토함. - 내부 온도와 표면온도차가 적도록 보온 양생 검토 - 내부 온도와 표면온도차가 적게 되고 난 후 거푸집 탈형
계단실	-	- 인접하는 벽체 콘크리트 타설 높이에 주의하여 넘쳐 흐르는 것을 방지 - 누름 거푸집 검토 → 충전 확인(투명 거푸집, 공기 구멍 등)	- 인접하는 벽체의 콜드 조인트 발생에 주의 → 이어치기 시간 간격 관리
파라펫, 난간	-	- 슬래브 상면에서 일단 정지하고 수북히 타설, 타설 후 이어치기 - 또는 부재 위에서 뿔이 나오는 콘크리트를 누르는 거푸집을 설치하여 일체 타설함.	- 이어치기 거푸집 구분 → 메탈라스 등 사용 - 누름 거푸집에는 구멍 및 공기 구멍 설치
창 주위, 설비 관계, 매설물	-	- 창 하부 충전 확인 - 매설물 하부 충전 확인 (투명 거푸집, 구멍, 공기 구멍 등)	- 창 거푸집 사각 부분에 수축 줄눈 설치(폭이 넓은 경우) - 이어치기 거푸집에 의한 구분 - 구멍이나 투명 거푸집을 이용하여 확실하게 충전되었는가를 확인함.

노출 콘크리트에 적용하는 경우에는 철근 배근 간격을 고려한 고 유동 콘크리트의 유동성 및 충전성 시험을 실시하여 시공 불량 발생하지 않도록 사전 검토가 필요하다고 판단된다.

〈그림 6〉에 고유동 콘크리트 타설상 유의점을 나타낸다. 고유동 콘크리트는 유동성이 매우 높기 때문에 1/10 정도의 구배로 유동하여 흘러간다. 콘크리트가 유동할 때 철근 등에 굽은골재가 걸리면 하부에서는 서서히 굽은골재가 적어져 콘크리트 배합시 사용된 구성재료 비율과 다른 콘크리트로 채워질 우려가 있다. 따라서, 고유동 콘크리트를 타설할 때에는 이러한 것을 방지하기 위하여 콘크리트의 유동거리를 제한할 필요가 있으며, 일반적인 목표 유동거리로서는 기둥 1~2스판(10~15m) 정도로 생각하면 무리가 없다. 또한, 이 경우에 있어 1개 장소에서 노출 콘크리트를 계속 타설하면 콘크리트 색채 차이가 발생할 우려가 있으므로 콘크리트 타설 위치를 변경하면서 시공하는 것이 바람직하다. 한편, 노출 콘크리트는 굽은골재를 끌고 갈 정도로 점성이 높고 액체 상태에 가까운 거동을 하므로 콘크리트 액압에 의하여 경우에 따라서는 거푸집 이음부가 벌어져 물이나 모르타르가 새는 경우가 발생하므로 이를 방지하기 위하여 거푸집은 액압을 고려하여 견고하게 설치해야 한다. 즉, 고유동 콘크리트의 경우, 일단 거푸집이 벌어지게 되면 콘크리트가 거의 유출해 버리므로 특히 이점을 주의할 필요가 있다.

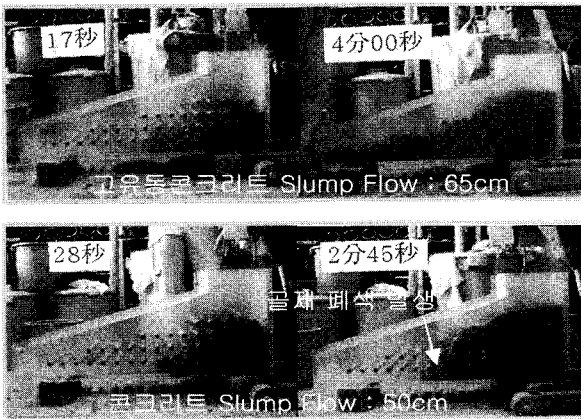


그림 5. 고유동 콘크리트의 유동성 및 충전 성능 시물레이션 실험

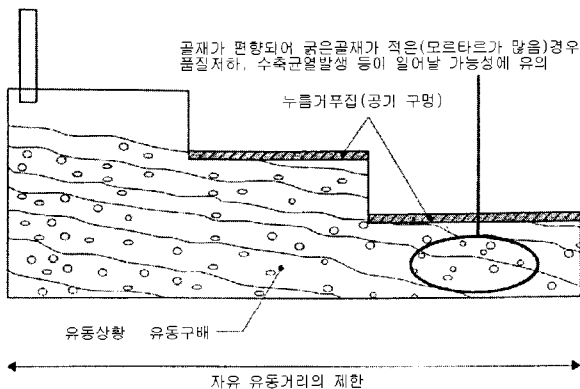


그림 6. 고유동 콘크리트 타설상의 유의점

5. 결 언

지금까지 최근 설계자 및 발주자에 있어 기술 개발 요구가 높아지고 있는 노출 콘크리트를 대상으로 노출 콘크리트 요구 성능에 따른 배합 설계 및 제조 방법에 대하여 살펴보았다.

노출 콘크리트 요구 성능에는 색채 균일성, 균열 발생 저항성, 충전성 및 재료 분리 저항성, 내구성이 있으며, 노출 콘크리트 배합 설계시 이들 요구 성능을 만족시키기 위해서는 특히 양질의 시멘트 및 골재 등의 사용 재료 선정과 함께 요구 성능에 대한 품질 관리가 가능한 레미콘 공장 선정이 매우 중요하다. 또한, 노출 콘크리트 배합 설계 방법 및 제조 방법은 기존 보통 레미콘 배합 및 제조 방법으로도 충분히 요구 성능을 만족시킬 수 있으므로 특별한 기술은 필요하지 않으나 콘크리트가 반제품이라는 특성상 적용에 앞서 반드시 시험 배합 및 Mock-up 실험 등을 통한 성능 평가가 이루어져야 한다. 한편, 노출 콘크리트 배합 설계 및 제조 방법은 물론 거푸집 계획 및 시공, 콘크리트 타설, 다짐, 양생 등 콘크리트 공사 전반에 걸쳐 하나라도 소홀히 한다면 완성된 노출 콘크리트가 얻어질 수 없다. 그러므로, 폴드 조인트, 허니컴 등 시공 허자를 줄이기 위한 노력과 함께 점차 다양화되고 있는 건물 디자인 요소 및 복잡한 철근 배근 상황을 고려한다면 이들 성능을 만족하는 콘크리트의 개발이 필요하며, 이러한 의미에서 유동성과 충전성이 매우 우수한 고유동 콘크리트를 노출 콘크리트 공사에 적용하는 것은 하나의 대안이라고 판단된다. 또한, 최근 콘크리트에 여러 가지 기능성을 부여하는 추세에 발맞추어 노출 콘크리트를 확대 보급하기 위해서는 색상·질감 및 충전성 뿐만 아니라 노출 콘크리트의 다양한 요구 성능에 대응한 제조 기술 개발과 이를 적극 현장에 적용하려는 실험 정신이 그 어느 때보다도 요구된다고 하겠다. □

참고문헌

1. 삼협종합건설(주), 노출 콘크리트 시공, 1998.
2. 建築知識, 特輯 RC打放し[現場監理] 重點チェック, 1996. 9.
3. 日本建築學會, 建築工事 標準仕様書・同解説 JASS 5 鐵筋コンクリート工事, 日本建築學會, 1997. 1.
4. 日本建築學會, 高耐久性 鐵筋コンクリート造 設計施工指針(案)・同解説, 1991. 7.
5. 日本建築學會, 建築材料實驗用教材, 1991.
6. 한국콘크리트학회, 콘크리트표준시방서, 1999.
7. 日本コンクリート工學協會, 超流動コンクリート 研究委員會 報告書 (I)(II), 1993, 1994.
8. 한국콘크리트학회, 콘크리트구조설계기준, 1999.
9. (財)日本建築センター, 外装仕上げおよび防水の補修・改修技術(打放しコンクリート外壁の補修・改修技術), 1992.
10. 建築文化, デザイナーのための内外装材チェックリスト(コンクリート仕上げ), 1991.