

시공방법상의 현장콘크리트 품질향상 방안

Innovative Improvements of Concrete Quality at the Construction Site



신 성 우*

1. 머리말

1990년 이후 건설품질관리에 관한 관심이 신도시를 기점으로 하여 증대되고 있으며 특히 콘크리트 품질에 관한 관심은 콘크리트가 국내에 도입된 이후 가장 사회적 초점이 맞추어지고 있는 것 같다. 더욱이 현대구조물이 초고층화(아파트, 사무실), 대형화(장스팬 구조물), 특수화(원자력, 고속전철), 그리고 심층지하화하게 됨에 따라 이에 상응하는 콘크리트와 같은 건설재료의 발전에 관한 사회적 요구성과 콘크리트에 대한 기대가 맞물려 콘크리트 품질관리의 중요성이 증대되고 있다.

그러나 이러한 사회적 요구성과 기대성에 반하여 콘크리트 품질은 도리어 1990년 이전보다 더욱 저하되고 있으며, 콘크리트강도도 1970년대의 210~240kg/cm² 보다 절반 진보되지 않아 동남아시아 국가중에서도 가장 후진성을 면치 못하고 있다.

이렇게 콘크리트가 강도나 품질관리측면에서 사회적인 불신을 초래하고 있는 것은 골재의 고갈이나 시급한 타설불량 등의 외적인 요인도 있었으나 기술적 입장에서 품질관리의 소홀이 아마 보다

더 큰 이유일 수 있다. 따라서 본 내용에서는 실제 현장에서 발생되고 있는 요인에 대한 분석 및 대책과 새로운 기준(USD)에 대한 인식부족 등을 중심으로 콘크리트 품질관리의 원초적 확보라는 관점에서 레미콘을 제조한 후 운반, 타설, 그리고 양생에 이어지는 시공관리상에서의 콘크리트의 품질향상방안을 강구해 본다.

2. 시공과정상의 품질향상 방안

2.1 제조과정에서

레미콘 배합을 적절하게 한 경우에도 제조과정이나 운반, 타설중 그리고 시공공사중에 콘크리트관리를 소홀히 함으로써 품질저하요인이 되기도 한다. 다음은 일과정에서 발생하기 쉬운 경우를 기술하여 보았다.

(1) 레미콘 애지테이터내 남은 물의 관리

작업 후 레미콘 애지테이터내부를 세척하는데 물이 애지테이터내에 남은 경우가 있어 품질저하를 가중시키고 있다. 따라서 가능한 콘크리트를 레미콘 애지테이터에 붓기 전에 애지테이터내에 남은 물을(최고 40ℓ 이상 남을 수 있음) 배출하여

* 정회원, 한양대학교 건축공학과 부교수, 공학박사

야 한다.

(2) B/P 조정실내에서 전압(A)에 따른 슬럼프 관리

일반적으로 레미콘 B/P의 출하관리 조정실에는 슬럼프의 관리를 전압(A)으로 하는데 이는 일반적인 콘크리트에는 많은 경험 등과 함께 적절하게 관리, 조절될 수 있으나, 고성능감수제를 사용할 경우에는 점성(viscosity)이 커서 일반 콘크리트 전압에서는 낮은 슬럼프가 나오는 경우가 있으므로 세심한 주의를 요한다.

(3) 적절한 적재량

콘크리트가 레미콘 트럭의 애지테이터내에서 균일하게 혼합되기 위하여는 애지테이터 최대 용량의 80~85%이내의 적재량을 가져야 하며, 이러한 적재량은 B/P의 생산량과 관계가 될 수 있는데 특히 실리카 흙(silica fume)이나 플라이 애쉬(fly ash) 등과 같은 혼화재료를 사용하는 경우 최대 부여량과도 관계가 되므로 레미콘 트럭 애지테이터내 용량을 고려한 최대 적재량을 결정하여야 한다.

2.2 운반 및 타설중에

(1) 새로운 혼화제의 적절한 사용

레미콘이 배척플랜트(이하 : B/P)에서 제조된 이후 현장에 부리기까지 건설부 시방서^(5,3)에서 요구하는 시간은 90분 이내이며 이는 여건에 따라서 다르게 적용되고 있는데, 예를 들면 일산 신도시의 경우 60분 이내로 하고 있다. 그러나 이러한 기본적인 원칙은 운반시 시간경과에 따른 슬럼프나 성능저하를 중간에 두고 있는 것으로 콘크리트용 혼화제가 종류나 성능이 좋지 않은 과거 시점을 기준으로 하였다. 그러나 근래에는 혼화제로서 일반적으로 알려진 나프탈린, 멜라민계의 고성능 감수제뿐만 아니라 Co-Polymer나 고성능 AE감수제가 국내에서도 자체 개발되어 이들의 적절한 이용에 따라 운반 타설시의 슬럼프 상실(slump loss)나 타설시의 가수(加水)를 막을 수 있어 적극적으로 권장되는 분위기이다. 이러한 혼화제는 사용시

명심하여야 할 점은 제조회사의 일반적인 사용지침이외에도 반드시 현장상황에 따른 시험배합(trial batch)에 따라 결정되어야 한다.

이외에도 고성능감수제와 함께 여름에는 지연제, 그리고 겨울에는 촉진제 등을 혼입하므로 거꾸집 존치기간이나 수화열을 조절할 수 있다.

그러나 혼화제의 경우 과다한 사용은 응결의 지나친 지연 등을 초래하며, 일부 고성능 감수제와 공기연행제를 함께 사용할 경우에는 골재분리가 일어나는 사례⁽⁴⁾가 있으므로 혼화제내의 양립성에도 세심한 주의를 기울여야 한다.

(2) 고성능 감수제의 부여장치 설치

근래 고성능 감수제의 적절한 이용이 늘고 있으나 B/P내에 부여장치가 없거나, 있더라도 line이 적절하게 연결되어 있지 않은 경우가 많다. 더우기 고성능 감수제 부여후 수송이 장시간(12시간 이상) 소요되는 경우에는 수송중간에 부여하기 위하여는 레미콘 트럭에 부여장치가 설치되어야 하며, 이는 도착후에도 버킷으로 부여하는 것을 방지할 수 있다.

운송중이거나 현장에서 고성능장치를 부여하는 경우에는 콘크리트내부에 고성능 감수제가 균일하게 섞일 수 있도록 1~2분가량의 고속회전(8~16rpm)을 하는데 이때 소음이 작도록 회전하는 시기나 적절한 조치가 요망된다.

(3) 강도별 구분의 철저

한 현장에 콘크리트를 타설할 경우 여러 종류의 콘크리트나 여러회사에서 들어오게 되는 경우가 종종 있다. 따라서 이러한 경우에는 레미콘 B/P에서부터 미리 가능한 강도별로 색깔이 있는 스티커나 표시판을 운전석 앞에 부착하여 서로 다른 압축강도의 콘크리트가 혼용되는 것을 막아야 한다.

2.3 시공현장에서

(1) 공기량

콘크리트의 동결융해(freezing and thawing)에 대한 저항이나 유동성의 증진을 목적으로 공기량이 필요하여 건설부 시방서에는 3~6%를 요구하

고 있으며, 철근콘크리트 극한강도설계법에서는 대기 노출조건이 심한 경우 7.5%까지 요구하고 있으며, 특히 최대골재크기와 노출조건에 따라 요구 공기량을 3.5~7.5%까지 다르게 요구하고 있는 점은 일반 시방서와는 다르므로 주의가 요망된다(표 1). 특히 이 경우 콘크리트가 고강도화되면 표 1에서 1%씩 감할 수 있어 강도에 따라 저감할 수 있도록 규정하고 있다.

근래에는 콘크리트 압축강도가 초고강도화되고 있어 미국 ACI에서는 고강도 콘크리트인 $420\text{kg}/\text{cm}^2$ 이상인 경우에는 공기량의 요구사항을 완화하고 있어, 국내에서도 이러한 경향이 도입될 것으로 보인다. 그러나 공기량의 허용오차는 표 2에 있는 허용범위이내의 오차가 현재로서는 시방서나 극한강도설계법 모두에 적용되어야 할 것으로 보인다.

표 1 극한강도 설계법에 의한 소요공기량

골재 최대 골재 크기 (mm)	공기량 (%)	
	심한 노출	중간 정도 노출
10	7.5	6
13	7	5.5
19	6	5
25	6	4.5
40	5.5	4.5
50*	5	4
75*	4.5	3.5

* 이 경우에서의 공기량은 다른 골재크기의 경우가 같이 전체 혼합에 적용한다. 그러나 이러한 콘크리트를 시험할 때 40mm보다 큰 골재는 손이나 체로 걸러 제거하며 공기량은 배합시 40mm보다 큰 부분을 제거한 후 결정한다. (연행된 공기량에 대한 허용편차는 이 값을 적용한다. 전체 배합의 공기량은 40mm이상 부분을 제거한 부분에 따라 결정된 값으로부터 계산한다.)

표 2 공기량 허용오차

콘크리트 종류	허용오차 (%)
보통중량콘크리트	± 1.0
경량콘크리트	± 1.5

(2) 슬럼프

슬럼프 시험은 건설부 시방서에서 레미콘을 부리는 지점에서 하도록 규정하고 있으므로 원칙적으로 콘크리트 타설위치에서 실시하여야 한다. 요

구 슬럼프는 시방서²⁾ 5.4.3항에 따라 부어 넣는 위치별로 할 수 있으나 5.2.4항에 이전(1986년판)의 12cm에서 18cm이하로 상향조정되었으므로 주의할 요한다. 슬럼프의 허용오차는 시방서 (3)에 8cm미만을 $\pm 1.5\text{cm}$, 8cm이상 18cm이하는 $\pm 2.5\text{cm}$ 를 그리고 18cm를 초과하는 경우는 $\pm 1.5\text{cm}$ 를 허용오차로 두고 있다. 고성능 감수제를 사용하는 경우에는 별도의 허용조치가 필요한 것으로 보인다. 일본 등에서는 대개 8에서 18cm이하는 ± 2.5 , 그리고 21cm이하는 ± 3.0 까지 허용하고 있다.

(3) 염화이온량 조절

콘크리트내 철근의 부식방지를 위하여는 다음의 사항을 만족하여야 한다.

(가) 모래의 경우 : NaCl이 0.04% 이내

(나) 레미콘의 경우 : $0.3\text{kg}/\text{m}^3$ (단 구입자 승인시 $0.6\text{kg}/\text{m}^3$) 까지

(다) 극한강도 설계법 제한조치 : 다음의 염소이온(Cl^-) 이하여야 한다.(표 3)

표 3 극한강도설계법에 의한 최대 염소이온량(Cl^-)

부재의 종류	콘크리트속의 최대 수용성 염화이온(Cl^-), 시멘트의 선양에 의한 배분율
	프리스트레스트 콘크리트
염화물에 노출된 철근 콘크리트	0.15
건조상태이거나 또는 습기로부터 보존된 철근 콘크리트	1.00
기타 철근 콘크리트	0.30

(3) 펌핑 압송압 조절

콘크리트가 현장에 도착한 후 타설부위로 압송할 경우 슬럼프, 압송관 직경, 압송강도, 길이, 높이 등을 고려하여 제반시설을 결정하여야 한다. 특히 고성능감수제를 사용하는 경우는 집성의 증가때문에 압송관내의 압력이 증가¹⁾되므로 주의하여야 한다. 펌파의 경험에 의하면 콘크리트 압축강도가 $240\text{kg}/\text{cm}^2$ 인 경우에 비해 고성능감수제를 사용한 $500\text{kg}/\text{cm}^2$ 인 경우 1.3~1.6배까지의 추가압력이 걸림으로 집성을 고려한 대책이 필요하다. 또한 고층 압송라이프의 경우 오래된 하부

의 연결부위가 터지는 경우가 있으므로 정기적인 점검이 필요하다.

(4) 적절한 거푸집의 이용

콘크리트 자체의 품질이 양호하더라도 거푸집의 재질이 물을 흡수하거나 이미 변형되어 있는 거푸집 그리고 거푸집 자체의 강성(stiffness) 부족으로 콘크리트 타설에 의한 비틀림 등이 일어날 경우 양호한 콘크리트 품질관리는 어렵다. 더우기 접합부위가 많은 유로 폼(Euro-Form) 등의 경우에는 접합부분의 긴결 등에 많은 시간이 소요될 뿐 아니라 타설이후 고유동성에 의한 높은 측압이 발생할 경우 거푸집의 접합부위가 터져 공기(工期)에 막대한 지장을 초래할 수 있다. 따라서 가능한 거푸집 재질은 방수효과가 큰 코팅합판이 적절하며, 거푸집시스템의 강도(strength)와 강성(stiffness)이 높으며 접합부가 적은 대형거푸집 시스템의 도입이 되어야 한다.

(5) 적절한 양생

콘크리트 타설 후 적절한 양생은 양호한 품질관리와 강도발현을 위하여 무엇보다도 중요하다. 이를 위하여 충분한 수분공급과 온도조절이 제공되고, 진동 등으로부터는 보호가 되어야 한다.

(가) 충분한 수분

콘크리트가 굳기 시작한 후 필요한 수분은 수화 반응이외에도 콘크리트 표면의 건조수축균열을 막아주나, 내부온도가 높을 때에 지나치게 낮은 온도의 수분공급은 도리어 균열발생의 요인이 될 수 있으므로 주의를 요한다. 이외에도 수분증발 방지를 위하여 양생막으로 할 수 있으나 추가의 수분공급이 어렵거나 덧치기를 할 경우 단점이 있어 이에 대한 보완이 요구된다.

(나) 적절한 양생온도 조절

적절한 온도의 조절은 매우 중요한데 특히 단위 시멘트량이 많은 고강도 콘크리트나 두께가 1m 이상인 매스콘크리트는 콘크리트 내외의 온도차가 15~25℃가 되면 온도균열을 발생시키므로 가마나니 거직, 비닐 등으로 적절한 보호양생을 하여 균열발생을 억제하도록 하여야 한다. 이 중 거직과 비닐양생의 혼용은 수분유지와 수분 증발방지를

동시에 겸할 수 있어 국내에서도 근래에 많이 이용되어 효과를 보고 있는 방법이다.

일부 매스콘크리트와 고강도 콘크리트 경우 내부온도를 저하시키기 위하여 파이프 환링이 권장되고 있으나 경비가 고가이고, 어떤 경우는 구조적으로 유해한 경우도 있으므로 주의를 요한다.

(다) 진동으로부터의 보호

이외에도 주위에서 폭파나 차량 등에 의해 반복 진동 등이 올 경우 콘크리트 내부나 철근사이에 균열을 유발시키거나 강도저하를 발생시키므로 여건에 알맞은 대책수립이 요망된다.

(6) 수직부재 상·하부 콘크리트 품질관리

일부보고서⁽¹⁾에 의하면 수직부재인 경우 특히 벽체 콘크리트에서 상·하부의 콘크리트 강도가 다를 수 있는데 이는 하부에는 골재분리가 그리고 상부에는 블리딩 등에 따른 콘크리트 강도가 저하될 수 있으므로 슬럼프의 조절로서 가능한 균일한 콘크리트를 제조하여야 한다.

3. 품질시험

3.1 공시체 크기

대개 현장에서 사용하는 압축강도 측정용 공시체의 크기는 취급상의 문제때문에 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 를 사용하는 경우가 빈번하다. 그러나 이 경우 표준형 공시체의 크기가 $\phi 15 \times 30\text{cm}$ 이므로 0.94~0.97을 곱하여 강도를 보정한 후 품질관리를 하여야 한다.

3.2 실험실 양생공시체

압축강도 측정을 위한 샘플용으로 표준실험실에서 양생된 공시체는 극한강도설계법의 품질관리 2.2.7.2항에 따라야 하는데 강도수준은 다음을 만족하여야 한다.

(가) 3개의 연속강도 시험결과가 설계기준강도 초과

(나) 개개의 강도 시험값이 설계기준강도보다 35kg/cm^2 이상

3.3 현장 양생공시체

실제 구조물에서 콘크리트 보호와 양생의 직접함을 검토하기 위하여 현장에서 양생된 실린더 시험을 할 경우는 다음의 조건을 만족하여야 한다.

(가) KS F 2403에 따라 현장에서 양생하여야 한다.

(나) 현장 양생되는 시험실린더는 실험실에서 양생되는 시험 실린더와 동일한 시간에 같은 샘플로부터 물드를 만든다.

(다) 설계기준강도(f'_c)의 결정을 위해 지정된 시험 재령일에 행한 현장 양생된 실린더 강도가 동일 조건으로 실험실에서 양생된 실린더 강도의 85%보다 작을 때는 콘크리트의 양생과 보호질차를 개선하여야 한다. 만일 현장 양생된 것의 강도가 $35\text{kg}/\text{cm}^2$ 보다 f'_c 를 더 초과한다면 85%의 조항은 무시할 수 있다.

3.4 코아채취 시험

현장 구조물의 강도 판정을 위하여 코아를 채취할 경우 최소 10cm 직경을 선택하여야 하며, 또한 절단면은 수평 부위를 선택하여야 한다. 강도시험후 판정은 1개가 75%이상 그리고 3개의 평균이 85%이상이면 설계기준강도를 초과하는 것으로 국한강도설계법에서는 간주하므로 알고 있어야 한다. 코아 시험의 경우 채취부위의 습윤상태에 따라 시험과정이 다르므로 이에 대한 주의 또한 요망된다.

4. 종합정리

현재 국내에서 적용되는 콘크리트 품질관리규

정으로 KS와 건설부 시행서는 일반적으로 알려져 있으나, 철근콘크리트 국한강도설계법에 의한 품질관리개념과 고강도, 고유동화 콘크리트인 경우 구체적인 품질관리에 대한 인식을 부족한 상태이다. 더욱이 이러한 규정 이외에도 실제 현장에서 일어날 수 있는 콘크리트 부실화에 대한 개념의 정립이나 교육은 매우 미흡하다. 따라서 본 집필자는 가능한 현장성과 새로운 기준 등을 반영한 품질관리로 접근하려고 노력하였다. 본 원고에 서술한 내용이외에도 더욱 중요한 것은 각자의 세심한 계획과 노력이 항상 함께 되어야 하며, 이를 위하여 모든 요소와 시공단계에 품질지하요인을 배제시키는 원초적 품질관리 개념을 도입하고 이러한 품질관리는 이 분야에 종사하는 엔지니어로서 최소한의 자존심이라는 인식변화가 무엇보다도 필요한 시점인 것 같다.

참 고 문 헌

1. 신성우, '분당 삼성초고층 아파트에 $500\text{kg}/\text{cm}^2$ 이상의 고강도 콘크리트 시공 및 구조적 연구', 한국콘크리트학회지 제 2권 4호, 1990. 12
2. 대한건축학회, '건설부 제정 건축공사 표준시방서', 1994년 개정, 야정문화사, 1994. 8.
3. 대한토목학회, 콘크리트 표준시방서
4. 신성우외, '고강도콘크리트 시공지침서', 삼성종합건설 기술연구소, 기원-92006, 1992. 6
5. 대한건축학회, '국한강도설계법에 의한 철근콘크리트 구조계산 기준 및 해설', 1994년도 개정판, 대한건축학회, 기문당