

일반강도 영역의 고슬럼프 콘크리트 현장적용사례

The Application of High-Slump Concrete of Normal Compressive Strength



정양희*
Yang-Hee Jung



김용로**
Yong-Ro Kim



최석윤***
Suk-Yoon Choi



이도범****
Do-Bum Lee



김성수*****
Sung-Soo Kim

1. 머리말

최근 공동주택공사의 경우 얇은 벽식구조 및 내진설계 도입에 따른 철근량 증대와 더불어 고층화, 대단지화에 따른 대량 펌프 타설이 일반화되면서 건설회사에서 원활한 타설을 위해 작업성이 우수한 콘크리트에 대한 요구가 증대되고 있는 추세이다. 그러나 잔골재 수급 불균형으로 인한 부순모래 사용 급증 및 레미콘 원자재의 가격 상승으로 인해 레미콘의 품질 저하가 우려되고 있는 실정에서 이러한 시공사의 요구에 대해 레미콘 제조회사는 근본적인 콘크리트 배합 조정이 아닌 단순한 잔골재 표면수를 임의의 변동을 통해 유동성을 증대시키는 방법으로 주로 대응하고 있는 실정이므로 콘크리트 강도 및 내구성 등의 품질저하가 우려되고 있는 상황이다.

따라서 당사는 이와 같은 레미콘 품질저하를 사전에 예방하는 방법으로서 2004년부터 기술연구소 주관 하에 레미콘 공장 점검을 실시하여 품질관리 실태를 조사함으로써 비교평가를 통해 우열순위를 정하여 현장에서 참고하여 사용할 수 있도록 유도하고 있다. 그러나 실제 실사 결과 대부분 공장의 제조시설 수준과 원자재 품질 및 관리현황에 있어 정량적 평가가 어려우며 콘크리트 자체의 품질과 직결시키기에는 다소 무리가 있는 것으로 나타났다. 이에 대해 당사에서는 2005년 연구과제로 수행한 단위수량기법^{1,2)} 이용한 평가를 통해 각 공장별 품질관리 수준을 정량적으로 평가하고자 하였으나, 그 결과 대다수 공장의 단위수량이 실제 설계수량에 비해 20 kg/m³ 이상을 상회하고 있는 실정이었다³⁾. 또한 실제 납품되고 있는 레미콘의 배합도 이와 같이 단위수량이 변동되더라도 강도가 소요의 설계기준강도

를 하회하지 않도록 물시멘트비에 여유를 두어 설계하는 사례가 빈번함을 확인할 수 있었다. 따라서 당사에서는 레미콘의 품질 관리에 대한 보다 적극적이고 근본적인 대책 수립의 일환으로서 시공성, 강도 및 내구성에 대한 신뢰성이 높은 콘크리트 배합을 개발하여 그 성능 및 적용성을 검토한 사례를 소개하고자 한다.

2. 현장 개요

계룡 e-편한세상 신축공사 현장의 개요는 다음과 같고, 조감도는 <그림 1>과 같다.

- 공사명 : 계룡 e-편한세상 신축공사
- 발주처 : (주)매직리선
- 설계사 : (주)일건건축사무소
- 공사기간 : 2005. 9. ~ 2007. 12.
- 대지위치 : 충청남도 계룡시 두마면 117번지 일대
- 연면적 : 135,942 m²(41,122평)
- 구조 : 철근콘크리트 벽식구조
- 규모 : 지하 1층, 지상 18층, 15개동, 918세대
- 콘크리트 압축강도
 - 고층(지상11층 이상) : 21 MPa
 - 저층(지하1층 ~ 지상10층) : 24 MPa



그림 1. 현장 조감도

* 정회원, 대림산업(주) 기술연구소 건축연구지원팀. 대리 heeyaa55@hotmail.com

** 정회원, 대림산업(주) 기술연구소 건축연구지원팀. 주임연구원

*** 정회원, 대림산업(주) 기술연구소 건축연구지원팀. 부장

**** 정회원, 대림산업(주) 계룡e-편한세상신축공사. 공사과장

***** 정회원, 대림산업(주) 계룡e-편한세상신축공사. 현장소장

표 1. 일반 콘크리트(25-21-15) 배합수준

규격	항목	레미콘 공장명				
		A	B	C	D	E
25-21-15	물결합제비(%)	54.7	54.9	54.6	54.1	52.6
	단위시멘트량(kg/m ³)	290	301	311	291	300
	플라이애쉬(kg/m ³)	32	16	-	32	33
	단위수량(kg/m ³)	176	174	170	175	175

3. 레미콘 공장 실사

당사는 레미콘 품질저하를 사전에 예방하기 위하여 신규현장에 대해서 착공 초기에 레미콘 공장 실사를 기술연구소 주관 하에 실시함으로써 각 공장별 생산설비, 사용 원재료의 상태 및 품질관리 현황 등을 조사 및 비교·평가하여 보다 나은 품질의 레미콘을 현장에 적용할 수 있도록 유도하고 있다. 또한 레미콘 품질의 정량적 평가를 위해 <그림 2>와 같은 단위수량 측정기법을 이용하여 각 공장에서 납품되고 있는 규격 레미콘(25-21-15; 이하 일반 콘크리트)의 단위수량 및 슬럼프(초기, 60분후) 등을 조사하였다.

그 결과로서 <그림 3>과 같이 굳지 않은 콘크리트 특성 중 하나인 초기 슬럼프는 최소 15cm, 최대 17cm이었으며, 60분 경시변화 후 슬럼프는 최소 11.5cm, 최대 13.5cm로 측정되어 슬럼프 로스가 최소 3cm, 최대 5cm 임을 확인할 수 있었다.

슬럼프 초기 값은 각 공장의 배치 플랜트 생산 직후 측정한 것으로서 운반 및 기타 지연에 따른 시간경과가 1시간 이상일 경우 현장에서 원활히 타설할 수 있는 시공성을 기대하기 힘든 수준으로 작업성이 저하됨을 확인할 수 있었다.

한편 단위수량 측정 결과 5개의 공장 A~E의 단위수량이 설계수량에 비해 최소 20.9kg/m³, 최대 41.3kg/m³로 높게 측정되었으며, 이는 당사에서 자체 연구를 통해 도출한 제한값인 설계수량±20kg/m³를 모두 상회하는 값을 확인할 수 있었다.

이처럼 콘크리트의 단위수량이 과도하게 증가되면 재료분리 발생, 건조수축 증대, 블리딩 증가, 타설 후 침하균열, 수분 증발에 따른 콘크리트 표면 성상 불량 및 내부 자유수의 증가로 인한 염분, 물, 기체 등에 대한 침투저항성이 저하되는 등의 콘크리트 성능 결함이 발생하게 된다.

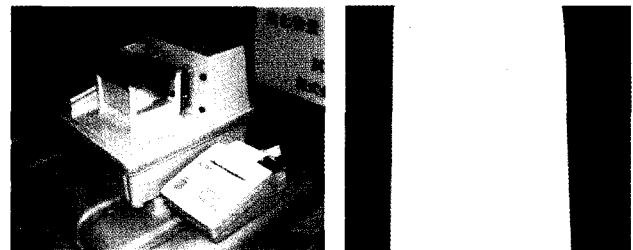
그럼에도 불구하고 건설현장의 작업성 증대 요구에 대해서 레미콘 제조사들은 골재의 표면수율을 임의로 변동시킴으로써 배합수의 투입량을 조정하고 있는 실정이므로 단위수량의 변동 폭은 더욱 증가되고 있는 실정이며 이에 따른 강도, 내구성에 대한 신뢰성이 저하되고 있다^{4,5)}.

따라서 당사 기술연구소에서는 작업성이 우수하고 단위수량을 저감하여 강도 및 내구성 면에서 신뢰성이 높고, 또한 고로

슬래그미분말⁶⁾ 및 플라이애쉬 등과 같은 혼화재 대체율을 증대시켜 경제성을 확보한 고슬럼프 콘크리트를 <그림 4>의 흐름에 따라 현장 적용성을 검토하고자 하였다.

4. 고슬럼프 콘크리트 성능검토

당사 기술연구소에서 자체연구를 통해 규정한 압축강도 21~27MPa 영역의 단위수량을 저감한 고슬럼프 콘크리트 배



(a) 단위수량 측정 (b) 단위수량 측정 결과
그림 2. 레미콘의 단위수량 측정 방법

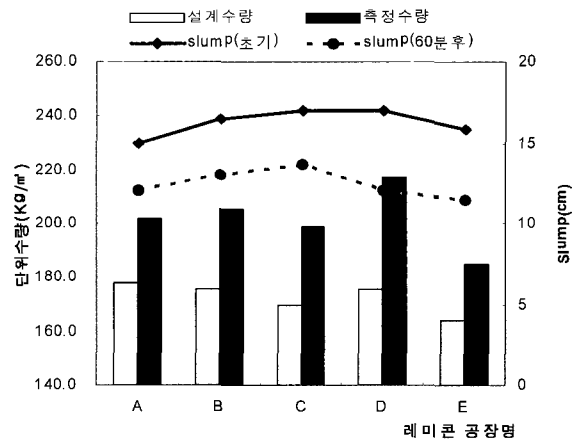


그림 3. 일반 콘크리트(25-21-15) 단위수량 및 슬럼프 측정 결과

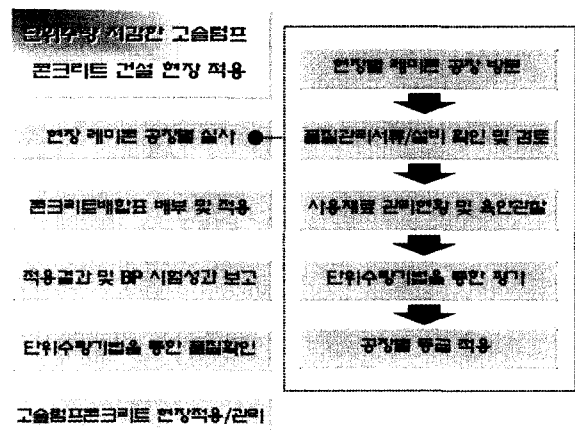


그림 4. 고슬럼프 콘크리트 적용 흐름도

합기준은 <표 2>에서 제시하는 것과 같다. 먼저 시공성은 현장의 작업성을 고려하여 당 현장 설계규격인 슬럼프 15 ± 2.5 cm보다 높은 수준인 21 ± 2.5 cm으로 규정하였으며, 공기량은 같은 기준을 적용시켰다. 압축강도는 규격 이상으로 발현되는 것을 원칙으로 하며, 단위수량은 최대 165 kg/m³ 이상을 넘지 않도록 하였고 물결합재비도 균일한 압축강도를 확보하기 위하여 규격별로 그 설계 범위를 지정하였다.

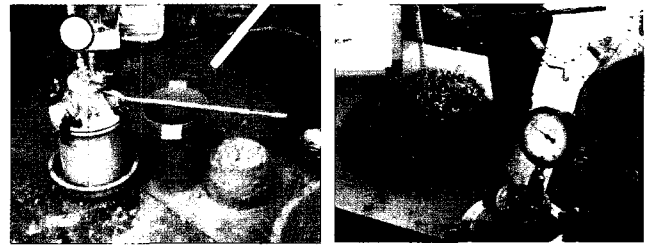
시멘트는 1종 보통 포틀랜드시멘트 또는 슬래그시멘트를 사용하도록 하였으며, 슬래그시멘트를 사용할 경우 고로슬래그미분말의 대체율이 30% 이상을 넘지 않도록 하였다. 시멘트 이외의 결합재로서 고로슬래그미분말 3종과 플라이애쉬를 최대 30%까지 혼입하도록 하였으며, 고로슬래그미분말의 경우 무수 석고 등에 의해 SO₃가 보정되어 조기에 강도발현이 지연되지 않는 제품을 사용하도록 제한하였다⁷⁾. 또한 플라이애쉬의 경우 감열감량에 의한 품질 변동이 심한 혼화재이므로 정제된 제품을 사용하고 강열감량을 반드시 확인하도록 하였다.

혼화제의 경우 현재 일반적으로 사용하고 있는 나프탈렌계 고성능 AE감수제에 비하여 감수율이 높고 슬럼프 로스도 거의 없는 것으로 보고되고 있는 폴리카르본산(PC)계 고성능 AE감수제를 사용하였다. 또한, 회수수를 사용할 경우 배합수내에 나프탈렌 성분이 잔류하게 되면 본 배합에서 슬럼프 로스를 유발하게 되므로 레미콘 공장에서 두 혼화제를 모두 사용할 경우 회수수는 사용하지 않는 것을 원칙으로 하였다.

A ~ E 5개의 레미콘 제조공장 별로 고슬럼프 콘크리트 배합 기준에 맞추어 개별적으로 배합설계를 한 후 공장 배처 플랜트에서 직접 생산하여 <그림 5>와 같이 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프, 공기량, 단위수량을 측정하였으며 재령 1, 3, 7, 28일에

대해 압축강도 시험을 실시하였다. 고슬럼프 콘크리트의 경우 <그림 6>에서처럼 A ~ E 5개 측정된 단위수량의 값이 설계수량에 비해 최소 1.9 kg/m³, 최대 14.4 kg/m³ 높았으나 당사의 제한값인 설계수량 ± 20 kg/m³을 만족함을 확인할 수 있었다.

<그림 7>의 재령 1, 3, 7, 28일의 압축강도 측정 결과, 모든 재령에 대해 고슬럼프 콘크리트의 압축강도 발현율이 높았으며,



(a) 일반 콘크리트 (b) 고슬럼프 콘크리트

그림 5. 굳지않은 콘크리트 특성

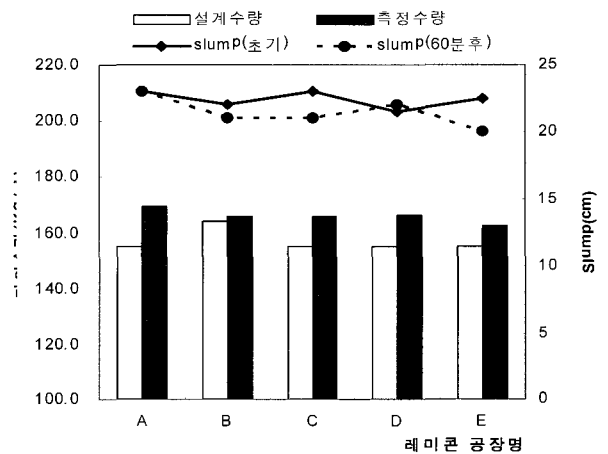


그림 6. 고슬럼프 콘크리트(25-21-21) 단위수량 및 슬럼프 측정 결과

표 2. 고슬럼프 콘크리트 배합기준

배합설계방안 : 레미콘 제조사별 재료 상태에 따른 배합설계		
요구성능	시공성	Slump 21 ± 2.5 cm (KS F 4009)
	압축강도	기존 일반 규격 이상
물결합재비 (W/B)	21 MPa : W/B = 50 ± 1 %	
	24 MPa : W/B = 47 ± 1 %	
	27 MPa : W/B = 43 ± 1 %	
배합조건	단위수량	165 kg/m ³ 이하
혼화제 대체율	일평균 기온 10 °C 이하 : 20 % 이하	
	일평균 기온 10 ~ 20 °C : 25 % 이하	
	일평균 기온 20 °C 이상 : 30 % 이하	
	(단, F/A는 5 ~ 10 % 이하 사용)	
사용재료	시멘트	1종 보통포틀랜드시멘트 또는 슬래그시멘트
	혼화제	고로슬래그미분말 3종(단, SO ₃ 보정된 제품) 플라이애쉬(단 정제된 제품, 강열감량 확인)
	골재	잔골재 조립률 2.6 ~ 2.9
	혼화제	폴리카르본산(PC)계, 고성능 AE 감수제
	배합수	회수수 사용 금지

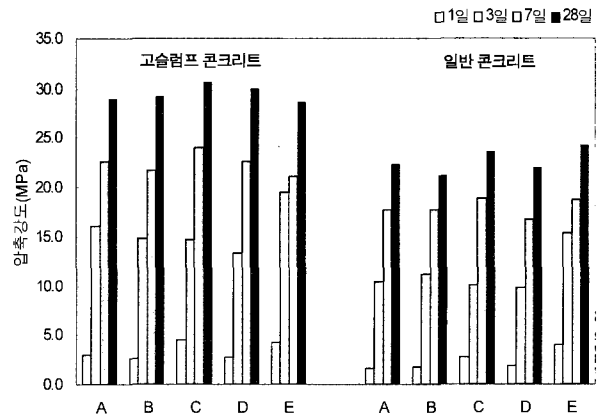


그림 7. 압축강도 시험 결과

표 3. 고슬럼프 콘크리트(25-21-21) 배합수준

규격	항목	레미콘 공장명				
		A	B	C	D	E
25-21-21	물결합재비(%)	50.0	50.7	50.0	50.0	50.0
	단위시멘트량(kg/m ³)	233	260	233	233	233
	고로슬래그미분말(kg/m ³)	62	49	62	62	62
	플라이애쉬(kg/m ³)	15	16	15	15	15
	단위수량(kg/m ³)	155	165	155	155	155

재령 7일에서 설계강도의 100% 이상 발현되었다. 이는 <표 1>과 <표 3>에서 단위수량 감소에 따른 물-결합재비 감소에 기인한 것이며, 설계수량과 실제 비빔수량의 차이가 크게 발생하지 않았기 때문인 것으로 판단된다.

5. 현장 적용

<그림 8>은 각 레미콘 제조회사별로 공장 배척 플랜트 시험을 완료한 고로슬래그미분말을 혼입한 고슬럼프 콘크리트를 당 현장 저수조 시설의 기초 부위에 적용하여 타설한 사례이다. 콘크리트 총 물량은 약 1,800m³이며 43M 펌프카 1대를 사용하여 타설한 시간은 펌프카 이동시간 및 식사 시간 등을 포함하여 총 10시간이 소요되었다.

현장 반입 시 품질관리 시험, 즉 슬럼프, 공기량 및 염화물량



(a) 타설 부위 전경



(b) 타설 장면

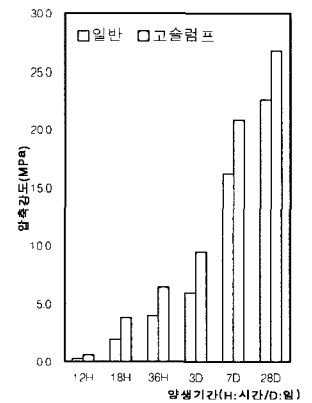
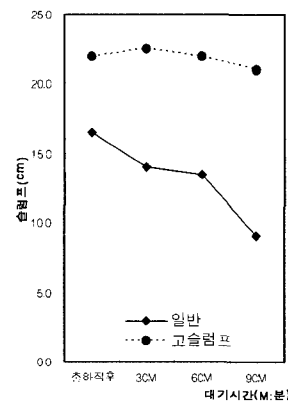
(c) 슬럼프 측정

그림 8. 현장 콘크리트 타설 현장

을 측정하고 결과 초기 슬럼프는 22.0cm였으며 그 외 공기량과 염화물량은 현장 반입 규정에 모두 합격하였다. 또한 대기시간 별 경시변화 및 양생기간 별 압축강도를 관찰하기 위해서 일반 콘크리트(25-21-15)와 고슬럼프 콘크리트를 비교한 결과는 각각 <그림 9>에서 확인할 수 있다. 고슬럼프 콘크리트의 경우 대기시간이 90분 이상 소요되어도 슬럼프 로스가 거의 발생하지 않는 반면 일반 콘크리트의 경우 급격한 로스가 발생하였다.

한편 양생기간별 압축강도를 측정하여 비교한 결과, 고슬럼프 콘크리트의 경우 타설 12시간 만에 0.6 MPa가 발현되었으며 타설 36시간 경과 후에는 6.4 MPa, 7일 경과 후에는 20.8 MPa로 측정됨으로써 재령 7일에 28일 압축강도 100%가 발현됨을 확인할 수 있었다. 또한 28일 강도 역시 고슬럼프 콘크리트가 더 높은 수준으로 발현되었다.

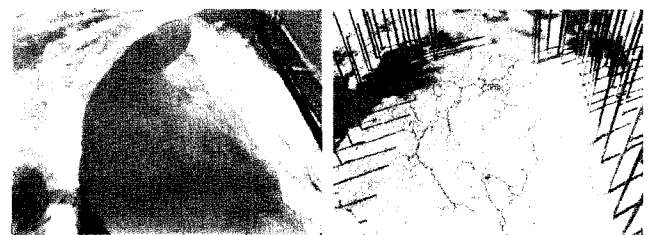
단위수량을 저감한 고슬럼프 콘크리트의 경우 단위수량이 기존 배합에 비해 매우 낮아 블리딩수가 거의 떠오르지 않는 특성 때문에 초기 양생을 철저히 하지 않을 경우 <그림 10>에서 보는 바와 같이 표면에 소성수축에 의한 미세균열이 발생할 여지가 크다. 따라서 당 현장에서는 <그림 11, 12>와 같이 초기 양생방법으로서 표면에 청탁지와 PE 필름을 모두 보양지로 사용하여 그 결과를 비교하였다. 두 방법 모두 표면의 미세균열을 제어하는데 우수한 효과를 보였으나 청탁지의 경우 보양지 자



(a) 대기시간별 슬럼프 로스

(b) 양생기간별 압축강도

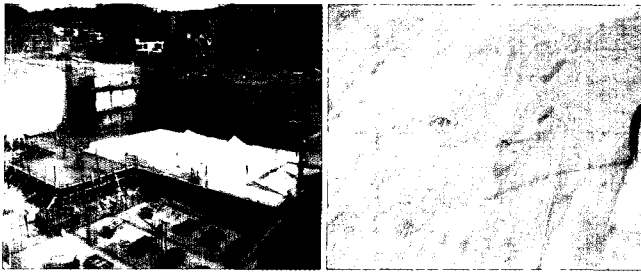
그림 9. 콘크리트 특성 비교



(a) 초기 양생 실시

(b) 초기 양생 미실시

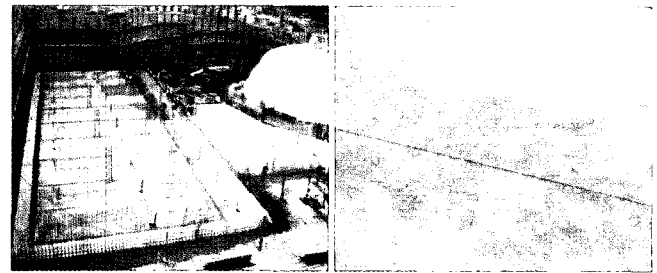
그림 10. 양생 실시 여부에 따른 표면 차이



(a) 청타지 양생

(b) 양생 후 표면

그림 11. 청타지 양생 장면 및 양생 후 표면



(a) PE 필름 양생

(b) 양생 후 표면

그림 12. PE 필름 양생 장면 및 양생 후 표면

체의 무게로 인해 표면에 눌림이 발생하여 자국이 발생한 단점이 있는 반면, PE 필름지보다는 전용 횡수가 많아 경제적인 장점이 있었다. 그러나 두 방법 모두 타설 후 추가적으로 작업을 수행해야 하는 번거로움이 있어 차후 양생제 도포 등 다양한 방법을 비교·검토하여 가장 경제적이면서도 효율적인 양생 방법을 채택할 필요가 있는 것으로 확인되었다. 현장에서는 저수조 벽체 및 주민공동시설에도 고슬럼프 콘크리트를 적용하여 일반 콘크리트와 그 성능을 비교하여 그 장·단점을 추가적으로 검토한 후, 전체 콘크리트 구조물에 대해 확대 적용하고자 한다.

6. 맺음말

현장에서의 안정적인 콘크리트 품질관리를 위해 제조회사의 품질관리 실태를 정확히 파악하여 이에 대응할 필요가 있다. 특히 당사에서는 국내 실정과 유사한 일본에서 체계적인 레미콘 품질관리 및 강도·내구성 확보를 위해 활용하고 있는 단위수량평가 기법을 도입하여 레미콘 공장 점검 시 정량적 평가 자료로 활용하고 있다. 당 현장의 경우 납품하는 레미콘 제조 회사를 상대로 공장검수 및 단위수량 측정기법을 통해 조사한 결과, 현재 각 공장별로 사용하고 있는 배합에 대해서는 현장에서 만족하는 시공성을 맞추기 위해 단위수량이 설계수량 대비 20 kg/m³ 이상 상회하는 경우가 다수 발생하고 있어 강도 및 내구성에 대한 건축구조물의 신뢰성이 저하될 우려가 있을 것으로 사료된다. 따라서 건축 구조물에 대한 품질에 신뢰성을 확보하기 위해 당사에서 제시하는 단위수량을 저감한 고슬럼프 콘크리트 배합을 적용하고자 각 제조 공장별 배치 플랜트 생산 시험을 수행한 후 시공성, 강도 등에 대한 성능검토를 수행하였다.

또한 현장에 적용한 결과, 많은 물량의 콘크리트를 펌프타설 하기에 적합한 시공성을 확보하면서도 강도 확보, 블리딩 감소 및 균열 저감 등 우수한 품질을 확보할 수 있음을 확인할 수 있었다. 따라서 국내의 골재 수급불균형 및 부순 모래 사용 급증, 원자재 가격 상승 등에 기인한 레미콘의 품질 저하에 대응하기 위한 한 방법으로서 당사에서 현장적용한 시공성, 강도 및 내구성에 대한 신뢰성이 높으면서 경제성을 확보한 일반강도 영역의 단위수량을 저감한 고슬럼프 콘크리트와 같은 배합을 지속적으로 개발·적용하여 현장에 실용화할 필요가 있는 것으로 판단된다. □

참고문헌

1. 김용로, 최일호, 정양희, 김효락, 이도범, “굳지않은 콘크리트의 단위수량 측정기술 개발 및 활용현황”, 콘크리트학회지, 17권, 5호, 2003, pp.58~64.
2. 김용로, 최일호, 정양희, 김효락, 이도범, “굳지않은 콘크리트 단위수량 측정기법의 정밀성에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회 학술발표논문집, 25권 1호, 2005, 10, pp.113~116.
3. 정양희, 김용로, 최일호, 김옥중, 이도범, “국내 레미콘 플랜트의 단위수량관리 현황 검토에 관한 연구”, 한국콘크리트학회 학술발표논문집, 2006, 02, 18권 1호, pp.606~609.
4. 日本コンクリート工學協會,フレッシュコンクリートの單位水量迅速測定及び管理システム調査研究委員會報告書, 2004, 6.
5. 日本建築學會 材料施工委員會 콘크리트試驗法小委員會, 콘크리트의試驗方法에關するシンポジウム報告集, 2003, 11.
6. 小林一輔, “高爐セメントとその特性”, 콘크리트工學, Vol.14, No.9, 1976, pp.23~30.
7. Uchida, “高爐セメントの製造と用途”, 小野田研究報告, 43卷, 124号, 1991, pp.56~79.