

굵은골재의 최대치수가 콘크리트의 간극통과성에 미치는 영향

Effect of Maximum Size of Coarse Aggregate on Passing Performance of Concrete between Reinforcing Bars

백대현* 윤섭** 김정빈*** 이성연**** 윤기원***** 한천구*****
 Baik, Dae-Hyun Yoon, Seob Kim, Jung-Bin Lee, Seong-Yeun Yoon, Ki-Won Han, Cheon-Goo

Abstract

This study investigated filling performance of concrete which can pass between reinforcing bars and be fully filled, and examined fundamental properties of concrete which is before or after hardened state, in response to maximum size of coarse aggregate. This study was also originally intended to find out one of the method that can improve concrete quality, using crushed coarse aggregate. Test showed that passing ratio of concrete decreased as aggregate size increased and as space between reinforcing bars decreased. In addition concrete using bigger size of coarse aggregate exhibited slightly higher compressive strength and showed lower length change ratio of drying shrinkage.

키워드 : 굵은골재 최대치수, 간극통과성

Keywords : Maximum size of coarse aggregate, Passing performance between bars

1. 서론

최근 국내건설공사 현장에서 사용되는 콘크리트용 굵은골재는 하천골재의 대량채취에 따른 고갈현상이 심화됨에 따라 오래전부터 대부분 부순굵은골재가 이용되고 있다.

하지만 우리나라 실무의 부순골재 생산업체에서는 레미콘사에서 수요가 없다는 점, 생산과정에서의 관심부족 등으로 인하여 주로 최대치수 25mm의 골재만이 생산되어 보급되고 있는 실정이다. 이는 결국 20mm를 사용할 경우에 25mm를 사용하게 되면 굳지않은 콘크리트의 충전성 불량등 시공성 저하를 일으키고, 40mm를 사용해야 하는 경우에 25mm를 사용하는 경우는 단위수량 증대 및 수화열 증가로 균열발생등의 위험성을 초래하고 또한, 비경제적이 될 수 있는데, 보다 양호한 콘크리트의 품질확보라는 측면에서 최대치수를 다양화한 골재의 생산 및 사용을 적극 검토할 필요가 있다.

따라서, 본 연구에서는 부순굵은 골재를 사용한 콘크리트의 품질향상을 위한 방안 중 굵은골재 최대치수의 변화에 따른 철근과 철근사이를 통과하여 밀실하게 채워질 수 있는 충전능력과 경화 전후 콘크리트의 기초적 특성을 비교·분석하므로써 콘크리트 제조시 부순굵은골재를 사용할 경우 보다 높은 품질을 발휘할 수 있는 최적의 굵은골재 최대치수 결정에 한 참고 자료를 제시하고자 한다.

* 정회원, 청주대 대학원 석사과정

** 정회원, (주)삼표 기술연구소 연구원

*** 정회원, (주)삼표 기술연구소 책임연구원

**** 정회원, (주)삼표 기술연구소 소장, 공학박사

***** 정회원, 주성대 건축공학과 교수, 공학박사

***** 정회원, 청주대 건축공학부 교수, 공학박사

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같고, 배합사항은 표 2와 같다. 즉, W/C 50%의 1수준에 대하여, 굵은골재 최대치수를 20, 25, 40mm의 3수준으로 하여 총 3배치를 실험계획 하였다. 이때 목표 슬럼프 150±25mm, 목표공기량 4.5±1.5%를 만족하도록 단위수량과 잔골재율의 변동을 고려하여 배합설계하였다.

표 1. 실험계획

W/C (%)	목표 슬럼프 (mm)	목표 공기량 (%)	굵은골재 최대치수 (mm)	철근 간격	배근 방법	실험사항	
						굳지않은 콘크리트	경화 콘크리트
50	150±25	4.5±1.5	20	·25	1방향 2방향	·슬럼프	· 압축강도 · 길이 변화율
				·32		·슬럼프	
				·38		·플로우	
				·50		·공기량	
				·100		·단위용적 질량 ·간극통과 시험	

표 2. 콘크리트의 배합사항

W/C (%)	골재 최대치수 (mm)	단위수량 (kg/m ³)	S/a (%)	SP/C (%)	AE제 (%)	질량배합(kg/m ³)		
						C	S	G
50	20	174	46	0.10	0.0025	348	790	949
	25	170	45	0.10	0.0025	340	780	976
	40	169	44	0.10	0.0025	338	764	996

한편, 콘크리트의 충전성(간극통과성)을 평가하기 위한 실험으로는 일본 동경대학에서 제안한 시험체를 변형하여 제작하는 것으로 계획하는데, 구획재로서 철근 순간격을 수직방향으로 25, 32, 38, 50, 100mm 간격으로 배치하고, 수직수평교차방향으로 25, 32, 38, 50, 100mm 간격으로 배치하여 시간 경과에 따른 콘크리트의 충전성능을 분석하도록 하였다.

기타 실험사항으로는 균지않은 콘크리트에서 슬럼프, 슬럼프 플로우, 공기량 및 단위용적질량을 측정하고, 경화 콘크리트에서는 재령 3, 7, 28일에서 압축강도를 측정하는데, 굵은골재 최대치수가 20, 25mm인 경우는 $\phi 100 \times 200$ mm 공시체로, 40mm인 경우는 $\phi 150 \times 300$ mm 공시체로 제작하여 측정하며, 실험계획된 재령에서 건조수축 길이변화율을 측정하는 것으로 하였다.

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 국내산 A사의 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였고 그 물리적 성질은 표 3과 같다. 잔·굵은골재는 (주)삼표에서 제공해 준 부순모래 및 부순굵은골재를 사용하였는데, 그 물리적 성질 및 입도분포는 표 4 및 그림 1과 같다. 혼화제로서 일반 감수제로는 국내 K사의 나프탈렌제를 사용하였고, 고성능감수제는 국내 J사의 폴리칼본산제를 사용하였으며, AE제는 빈졸계를 사용하였는데, 각 혼화제의 물리적 성질은 표 5와 같다.

2.3 실험방법

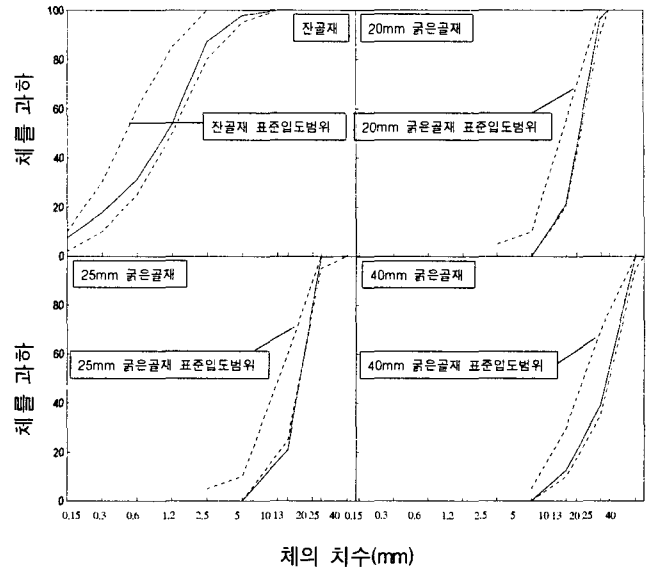
본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 팬타입믹서를 사용하여 혼합하였다. 균지 않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프플로우시험은 KS F 2594, 공기량은 KS F 2421, 단위용적질량은 KS F 2409에 의거 실시하였다. 경화 콘크리트의 실험으로 압축강도는 굵은골재 최대치수 20 및 25mm는 $\phi 100 \times 200$ mm 공시체, 굵은골재 최대치수 40mm는 $\phi 150 \times 300$ mm 공시체를 KS F 2403 규정에 의거 제작하여 계획된 재령에서 KS F 2405 규정에 의거 측정하였고, 건조수축의 길이변화는 KS F 2424 규정에 의거 측정하였다.

표 3. 시멘트의 물리적 성질

밀도 (g/cm ³)	분말도 (cm ² /g)	안정도 (%)	응결시간 (분)		압축강도 (MPa)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3,265	0.15	210	300	22.0	28.9	38.9

표 4. 골재의 물리적 성질

구분	밀도 (g/cm ³)	조립률	흡수율 (%)	단위용적질량 (kg/m ³)	0.08mm체 통과량 (%)	입형모양 판정 실적률	
잔골재	2.56	2.89	1.12	1,682	1.15	57.3	
굵은골재	20mm	2.62	6.83	0.67	1,554	0.10	59.4
	25mm	2.62	6.77	0.60	1,569	0.11	60.0
	40mm	2.62	7.48	0.56	1,578	0.08	60.3



체의 치수(mm)
그림 1. 골재의 입도분포곡선

표 5. 혼화제의 물리적 성질

구분	주 성분	형태	색상	밀도 (g/cm ³)
고성능감수제	폴리칼본산계	액상	연황색	1.05
일반감수제	나프탈렌계	액상	미황색	1.15
AE제	빈졸계	액체	미황색	1.18

3. 실험결과 및 분석

3.1 유동성 및 공기량

표 6은 균지않은 콘크리트의 슬럼프, 슬럼프플로우, 공기량 및 단위용적질량의 실험결과를 나타낸 것이다.

표 6. 균지않은 콘크리트의 실험결과

W/C	골재 최대치수	슬럼프 (mm)	슬럼프플로우 (mm)	공기량 (%)	단위용적질량 (kg/m ³)
50	20	149	245	4.9	2,332
	25	145	233	4.9	2,334
	40	145	238	5.2	2,321

먼저, 물시멘트비 및 골재최대치수 변화에 따른 유동성 및 공기량은 모두 배합설계로 결정하였으므로 목표 슬럼프 및 목표 공기량을 만족하는 것으로 나타났다. 한편, 그림 2와 3은 물시멘트비 및 골재조건별 목표슬럼프를 만족하기 위한 굵은골재 최대 치수의 변화에 따른 단위수량과 잔골재율을 나타낸 것이다.

물시멘트비별 골재최대치수에 따른 단위수량과 잔골재율은 골재최대치수가 증가할수록 일반적으로 알려진바와 같이 유동성이 증가되어, 목표 슬럼프를 만족시키기 위해서 단위수량과 잔골재율을 저감시켰다.

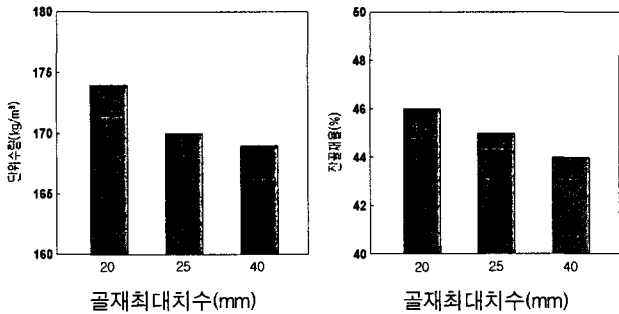


그림 2. 골재의 최대치수에 따른 단위수량

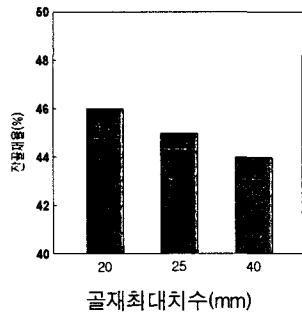


그림 3. 골재의 최대치수에 따른 잔골재율

3.2 간극통과성

그림 4는 골재의 치수 및 철근 간격별 진동시간 변화에 따른 통과율을 나타낸 것이다.

전반적으로 바이브레이터의 진동시간이 증가함에 따라 콘크리트의 통과율은 증가하는 것으로 나타났고, 굵은 골재최대치수에 상관없이 철근 간격이 증가함에 따라서 콘크리트 통과율은 급격히 증가함을 볼 수 있었다. 한편, 굵은 골재최대치수가 증가함에 따라서는 20mm 골재가 철근배근 방법 및 간격에 상관없이 통과성이 가장 우수한 것으로 나타났고, 25mm, 40mm 골재 순으로 통과율이 양호하게 나타났다. 하지만 40mm 골재의 경우, 철근 간격 100mm에서 25mm 골재보다 콘크리트 통과율이 높았는데, 이는 철근 간격이 넓을수록 콘크리트 차단성이 떨어져 굵은 골재최대치수가 증가함에 따라 골재의 자중과 골재주변의 모르터의 부피증가로 인해 진동에 의한 영향으로 콘크리트가 더 많이 통과되었기 때문으로 사료된다. 또한 당연한 결과이겠지만, 철근의 배근 방법별로는 수직배근이 수직수평배근에 비하여 콘크리트 통과성이 우수하였는데, 이는 콘크리트를 1방향으로 차단하는 것 보다 2방향으로 차단하는 것이 콘크리트 통과면적이 작아지기 때문인 것으로 분석된다. 단, 피복두께가 4cm인 500×500 기둥부재에 있어서 기둥부재 피복부분의 면적이 약30%인 것을 가정 통과량 30%를 상회하면 통과량이 양호한것으로 판정하여, 수직 배근일 경우, 골재최대치수에 상관없이 철근 간격 32mm이상, 수직수평 배근일 경우 철근간격 50mm이상일 때 통과성이 양호한 것으로 사료된다.

그림 5는 골재 조건 및 철근 배근 조건별 철근간격에 따른 바이브레이터 진동 종료후의 콘크리트 최종 통과율을 나타낸 것이다.

전반적으로 철근 간격이 넓을수록 콘크리트의 최종 통과율이 증가하는 것으로 나타났다. 먼저, 철근 배근 방법에 상관없이 골재최대치수가 작을수록 콘크리트 통과율이 증가하는 것으로 나타났는데, 20mm 골재의 경우, 25mm와 40mm 골재보다는 1~25% 증가한 것으로 나타났다. 이는 20mm 골재가 골재의 사이즈가 작고, 파쇄공정의 증가로 다른 조건의 골재보다도 입형이 양호하기 때문인 것으로 사료된다.

그림 6은 철근 간격별 골재의 치수 변화에 따른 10초 후의 콘크리트 통과량을 나타낸 것이다. 전반적으로 골재의치수가 작을수록 콘크리트의 통과량은 증가하는 것으로 나타났다. 한편 굵은골재의 최대치수에 따라서는 20mm 골재가 철근의 간격이나 배근방법에 상관없이 우수한 것으로 나타났으며, 25mm, 40mm

순으로 통과율이 양호하게 나타났다. 하지만 철근간격 100mm에서는 40mm 골재의 통과율이 좋은 것으로 나타났는데 이는 그림 4에서 40mm 골재가 철근간격 50mm와 100mm에서 많은 통과율을 나타낸 것과 같은 경향이라 사료된다.

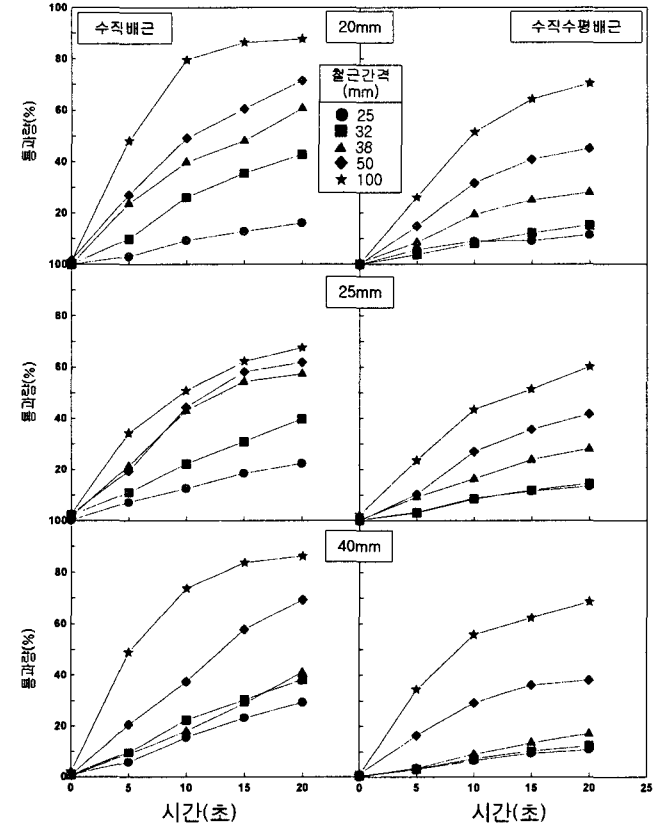


그림 4. 진동시간 변화에 따른 통과율

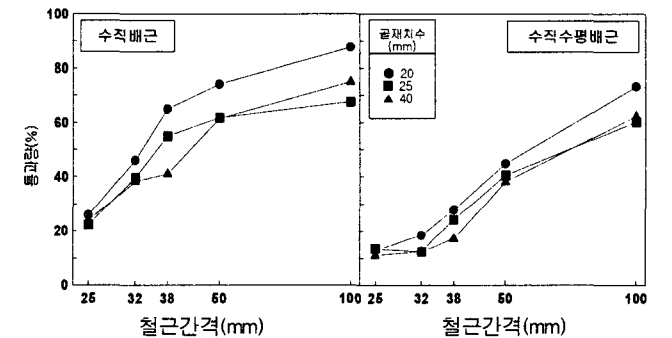


그림 5. 철근간격에 따른 20초 진동후의 콘크리트 통과량

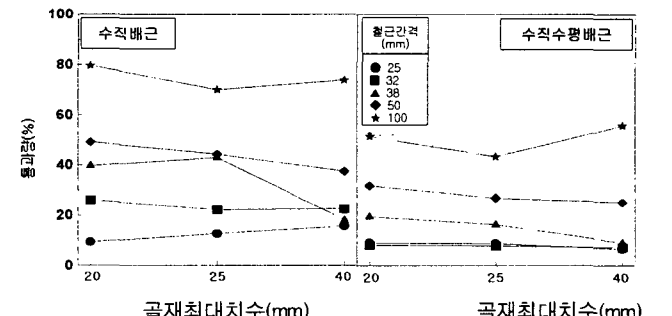


그림 6. 골재치수에 따른 10초 후의 콘크리트 통과량

3.3 경화 콘크리트의 특성

그림 7은 골재의 최대치수별 재령 경과에 따른 압축강도를 나타낸 것이다.

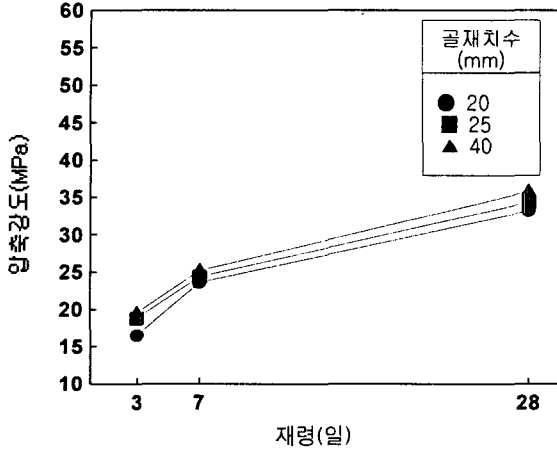


그림 7. 재령경과에 따른 압축강도

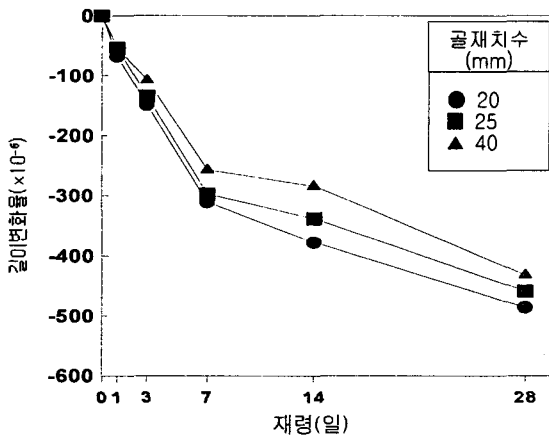


그림 8. 재령경과에 따른 길이변화율

먼저, 재령이 증가할수록 압축강도는 증가하는 것으로 나타났다. 골재최대치수별로는 큰 차이가 없는 것으로 판단되나, 40, 25, 20mm 순으로 약간 크게 발휘된 것으로 나타났다.

그림 8은 골재의 최대치수별 재령 경과에 따른 건조수축 길이변화율을 나타낸 것이다.

먼저, 재령이 증가할수록 건조수축이 증가하는 것으로 나타났다. 당연한 결과겠지만 굵은골재 최대치수별로는 골재의 사이즈가 작을수록 건조수축은 크게 발생하였는데, 이는 유동성 확보를 위한 단위수량의 증가에 기인한 결과로 사료된다. 따라서, 굵은 골재 최대치수가 클수록 건조수축 저감에는 유리한 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 부순 굵은골재를 사용한 콘크리트의 품질향상을 위한 방안으로 굵은골재 최대치수변화가 콘크리트의 간극통과성능 및 콘크리트의 제반품질에 미치는 영향에 관하여 분석하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 배합 특성으로 굵은골재 최대치수가 증가할수록 목표슬럼프를 확보하기 위한 단위수량 및 잔골재율을 감소시켜야 함을 알 수 있었다.
- 2) 콘크리트의 간극통과성 실험결과는 골재 최대치수가 클수록, 철근배근간격이 좁을수록 콘크리트의 통과량이 감소하는 것으로 나타났다.
- 3) 경화콘크리트의 특성으로 압축강도는 굵은골재 최대치수가 증가할수록 약간 증가하는 경향을 나타내었으나, 골재 최대치수 20, 25mm간에 압축강도의 차이는 없는 것으로 나타났고, 건조수축 길이변화율의 경우는 굵은골재 최대치수가 클수록 작게 나타나는 것을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 한천구 ; 콘크리트 원재료 일반, 레미콘기술교육(초급), 한국전자재 시험연구원, 1996.
2. 한천구 ; 콘크리트 특성, 레미콘기술교육(초급), 한국전자재 시험연구원, 1996.
3. 한천구 ; 레미콘 품질관리교육, 한국전자재 시험연구원, 1997.
4. 한천구 ; 콘크리트의 配合設計, 混合, 養生 및 굳지 않은 콘크리트의 物性試驗, 한국콘크리트학회 제3회 기술강좌, 1994.
5. 한천구 ; 콘크리트의 發展方向, 한국레미콘공업 협동조합연합회, 95 레미콘품질경영 세미나, 1995.
6. 한천구, 콘크리트의 특성과 배합설계, 기문당, 1999.
7. 한천구, 레미콘 품질관리, 기문당, 2002.
8. 한천구, 양성환, 류현기, 윤기원, 한민철, 황인성, 건축재료학, 청주대학교 출판부, 2003.