

콘크리트용 20mm 골재의 사용타당성

변근주

(연세대학교 교수(工博) 대한토목학회 구조분과위원장)

1. 서 언

국내의 레미콘생산은 1970년 24만3천m³, 1980년 590만m³, 1990년 5,840만m³, 1992년 8,720만m³이었는데, 이런 추세는 앞으로도 계속될 전망이다. 콘크리트체적의 60~80%를 차지하는 것이 골재이고, 이러한 골재는 콘크리트에 만이 아니고, 도로포장등 여러곳에 사용되기 때문에 골재의 수요량도 계속 증가될 것으로 예상된다. 일반적으로 골재의 수요량은 연간 총레미콘생산량을 약간 상회할 정도이다.

현재 골재는 하천, 육지, 해안, 석산등지에서 공급되는데, 하천이나 육지골재는 고갈되어가고 있어서 향후 10여년이 경과하면 석산과 해안 골재의 사용이 확대되지 않으면 골재의 공급이 어려워질 것으로 예상된다. 서기 2001년에 가면 골재의 수요량이 1억8,000만m³에 이르게 되어 새로운 골재자원의 개발, 인공골재의 개발, 각종골재의 활용도제고, 폐골재의 재활용(RECYCLING)등이 시급한 과제로 부상하고 있다.

한편 콘크리트는 고품질, 고강도를 요구하는 추세에 있고, 굵은 골재는 작은 치수의 것이 요구되면서 과거에는 40mm골재의 사용에서 현재는 25mm, 20mm, 10mm골재로 점점 변화하는 추세이다. 따라서 본고에서는 20mm와 25mm골재를 콘크리트용으로 사용하는 문제에 대해서

논하기로 한다.

2. 콘크리트의 강도추세

현재 국내에서는 압축강도 180~300kg/cm² 정도의 콘크리트가 가장 많이 사용되고 있지만, 최근에는 건축현장에서 강도 300kg/cm² 이상의 콘크리트사용이 보편화되어가고 있고, 토목분야의 교량 및 콘크리트 도로포장현장에서는 이미 강도 300kg/cm²~450kg/cm²의 콘크리트가 사용된 지 약 15년이 지났다. 고품질 및 고강도콘크리트는 재료상 구조상으로 많은 장점이 있고, 특히 균열제어능력이 있기때문에, 사용압축강도가 증대될 전망이다.

미국, 캐나다, 프랑스, 영국, 독일, 노르웨이, 일본등의 국가에서는 이미 압축강도 600~1100kg/cm²의 콘크리트로 많은 고층건물, 도로 및 철도교량을 건설하였고, 계속 고품질, 고강도화를 추진하고 있다. 그러나 이러한 고품질의 콘크리트를 생산시공하려면, 재료개발과 함께 기능공의 숙련도등이 문제가 된다. 이 난제를 해결하기 위하여 선진국들은 기능공의 영향을 거의 받지않는 고성능 콘크리트(High Performance Concrete)의 개발에 중점을 두고 있다. 이들 연구결과로 시멘트의 고품질화가 필요하고, 굵은골재의 최대치수는 10mm까지 낮아져야 한다고 보고하고 있다.⁽²⁾⁽⁹⁾

3. 콘크리트용 골재의 추세

콘크리트 체적의 약 70%를 점유하는 골재 자원의 고갈, 저품질화가 가속되면서 콘크리트 품질에 대한 문제점이 나타나고 있다. 골재자원이 부족해지면서 골재품질의 불균질성, 비중, 흡수량 등의 물리적 성질의 열악화 등이 문제시되고 있다. 또한 과거 하천골재가 주종을 이루던 때와는 달리, 산, 육지, 바다 및 인공골재등 골재원이 다원화되면서, 특히 최근에는 부순돌의 사용이 필연적이 되었다.⁽¹⁰⁾ 이러한 현상은 일본에서도 나타나, 지난 10년사이의 부순돌의 점유율이 46%에서 60% 정도로 증가하였다.⁽¹¹⁾

이와같이 부순돌의 사용량이 증가하면서 강도추세에 따른 굵은골재의 최대치수의 감소화 추세, 부순돌 제조과정으로 인하여 일본에서는 지난 10년사이에 25mm골재의 사용은 59.5%에서 52.2%(1991년)로 감소하였고, 반면에 20mm골재는 40.6%에서 47.8%로 증가하는 추세이다.⁽¹¹⁾ 더우기 구미 각국에서는 고강도콘크리트의 사용증가로 10mm골재의 사용이 급증하고 있는 추세이다.⁽²⁾

4. 골재의 최대치수와 입도

굵은골재의 최대치수는 콘크리트의 소요시멘트풀량에 영향을 주고, 굵은골재의 최적입도는 굵은골재의 최대치수에 따라 결정된다. 소요성능을 가진 콘크리트를 만들기 위하여는 강도, 워커빌리티, 내구성, 경제성의 4조건을 고려해야 한다. 즉 시멘트, 잔골재, 굵은골재, 물, 혼화재와 공기량의 5개의 미지변수 또는 단위수량, W/C비, 잔골재율을 독립변수로 취하여 어떻게 조합하느냐에 따라 위의 4조건이 달라질 수 있다.

1) 강도를 기준으로한 굵은골재의 최대치수

그림 1에서 볼 수 있는 바와 같이 시멘트사

용량이 증가하고, 높은 강도의 콘크리트일수록 굵은골재의 최대치수는 감소하고, 시멘트사용량이 400kg/cm³ 이상이 되면 10mm까지 갈수록 강도가 증가한다. 따라서 25mm보다는 20mm에서 강도가 더 증가한다.⁽³⁾

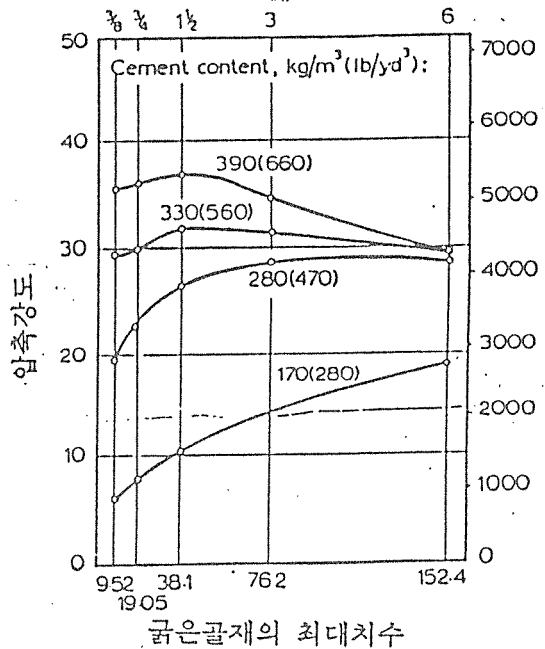


그림 1 최적 굵은골재의 최대치수

2) 굵은골재의 최대치수와 입도

이론적으로는 완전다짐된 콘크리트(fully compacted concrete)의 강도는 골재 입도의 영향을 받지 않는다. 입도는 주로 워커빌리티와 경제성의 문제이다. 입도의 영향을 주는 인자들은 소요단위수량과 관련되는 골재의 표면적, 골재의 체적, 배합의 워커빌리티, 재료분리 경향등이다. 따라서 골재입도에는 정해진 이상적인 입도가 존재하는 것이 아니라, 주어진 골재 크기에 대하여 소요강도, 워커빌리티, 경제성에 적합하도록 입도를 조정하여 사용하는 것이 가장 바람직하다. 그림 2와 같이 굵은골재의 최대치수에 따라 골재의 표면적이 상이하므로 소요수량은 변하게 된다.⁽³⁾ 또한 표 1과 같

이 굵은골재의 최대치수에 따라 단위중량과 실적율이 변한다. 25mm골재의 단위중량은 1.7 ton/m³, 실적율은 65.4%인데 반하여 20mm골재에서는 1.45~1.65ton/m³, 55~63.5%로

변한다.⁽⁴⁾ 여기서 실적율이란 $\frac{\text{절대용적중량}}{\text{절건비중}} (\%)$

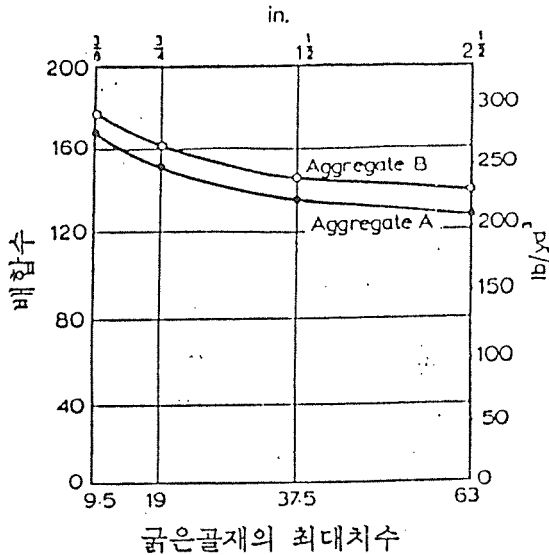


그림 2 굵은 골재의 최대치수가 주어진 슬럼프를 얻는데 필요한 배합수에 미치는 영향

표 1 골재의 단위용적량과 실적율의 표준값

골재의 종류		단위용적중량 (kg/l)	실적율 (%)
자갈	25mm	1.70	65.4
	20mm	1.65	63.5
쇄석	20mm	1.45~1.55	55~60
고로슬래그쇄석	20mm	1.40~1.55	55~60
	5mm(3.3)	1.75	67.3
	2.5mm(2.8)	1.70	65.3
모래(조립물)	1.2mm(2.2)	1.60	61.5
	20mm 굵은골재	0.7~0.8	60~55
	2.5mm 잔골재	0.9~1.2	50~59
인공경량골재	20mm 굵은골재	0.85~0.9	45~50
	20mm 굵은골재	0.5~0.55	50~53

표 2 굵은골재의 입도의 표준(건설부)

골재 번호	체의호칭 골재의크기	각 체를 통과하는 것의 중량 백분율												
		100	90	80	65	50	40	25	19	13	10	No.4	No.8	No.16
1	90~40	100	90~100		25~60		0~15		0~5					
2	65~40			100	90~100	35~70	0~15		0~5					
3	50~25				100	90~100	35~70	0~15		0~5				
357	50~No.4				100	95~100		35~70		10~30		0~5		
4	40~19					100	90~100	20~55	0~15		0~5			
467	40~No.4					100	95~100		35~70		10~30	0~5		
5	25~13						100	90~100	20~55	0~10	0~5			
56	25~10						100	90~100	40~75	15~35	0~15	0~5		
57	25~No.4						100	95~100		25~60		0~10	0~5	
6	19~10							100	90~100	20~55	0~15	0~5		
67	19~No.4							100	90~100		20~55	0~10	0~5	
7	13~No.4								100	90~100	40~70	0~15	0~5	
8	10~No.8									100	85~100	10~30	0~10	0~5

표 3 골재의 표준입도 (보통골재)

종 류	적용규격			체의 공칭치수 골재 크기 (mm)	각 체를 통과 하는 것 의 중량 백분율 (%)															
	J A S S 5	R C 示方 規	J I S		100	80	60	50	40	30	25	20	15	10	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15
細	○	○	○	5-0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	90-100	80-100	50-90	25-65	10-35	2-10 (2-15)
		○	○	50-5	-	-	100	95-100	-	-	35-70	-	10-30 (10-35)	-	0-5	-	-	-	-	-
粗	○	○	○	40-5	-	-	-	100	95-100	-	-	35-70	-	10-30	0-5	-	-	-	-	-
		○		30-5	-	-	-	-	100	95-100	-	40-75	-	10-35	0-10	0-5	-	-	-	-
骨		○	○	25-5	-	-	-	-	(100)	100 (-)	95-100	-	30-70 (25-50)	-	0-10	0-5	-	-	-	-
	○			25-5	-	-	-	-	100	-	95-100	60-90	-	20-50	0-10	0-5	-	-	-	-
材	○	○	○	20-5	-	-	-	-	-	-	100	90-100	(80-55)	20-55	0-10	0-5	-	-	-	-
		○		15-5	-	-	-	-	-	-	-	100	90-100	40-70	0-15	0-5	-	-	-	-
		○		10-5	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85-100	0-40	0-10	-	-	-	-
		○	○	80-40	100	90-100	45-70	-	0-15	-	-	0-5	-	-	-	-	-	-	-	-
		○	○	60-40	-	100	95-100	35-70	0-15	-	-	0-5	-	-	-	-	-	-	-	-
		○	○	50-25	-	-	100	95-100	35-70	-	0-15	-	0-5	-	-	-	-	-	-	-
		○	○	40-20	-	-	-	100	90-100	-	20-55	0-15	-	0-5	-	-	-	-	-	-
		○		30-15	-	-	-	-	100	90-100	-	20-55	0-15	0-10	-	-	-	-	-	-

*註() : JISS [] 碎石, 碎JIS, JASS5는 2급골재 범위표시

를 의미한다. 동일한 크기의 굵은골재에서도 입도에 따라 강도, 워커빌리티, 재료분리의 성

질이 변한다. 이 때문에 입도는 어떤 범위의 곡선으로 주어지게 된다. 건설부 콘크리트 표

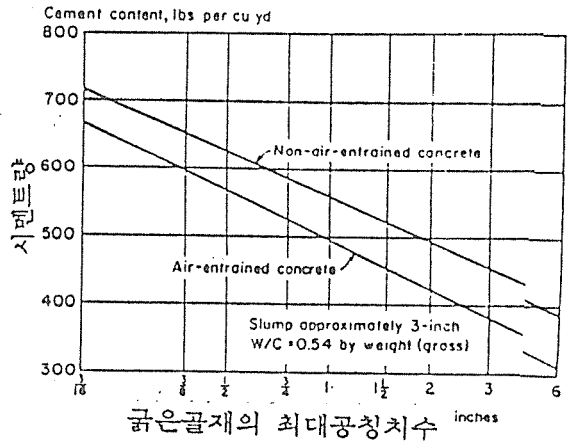
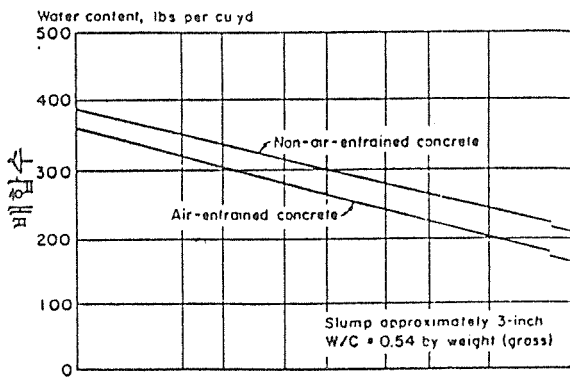


그림 3 굵은 골재의 최대치수가 배합수량과 시멘트량에 미치는 영향

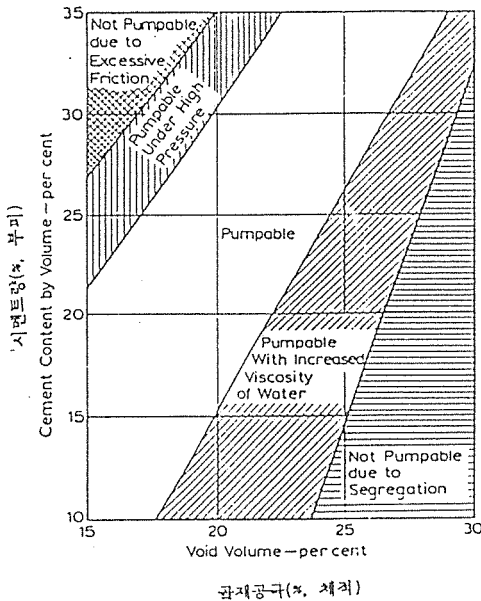


그림 4 골재공극(% 체적)

준시방서는 표 2와 같이 범위를 주고 있고,⁽⁵⁾ 일본의 규격은 표 3과 같다.⁽⁶⁾ 표 3에서 보면 일본의 JIS, 일본토목학회, 일본콘크리트학회의 규격에서 보면 20mm, 25mm골재의 사용이 보편적임을 알 수 있다.

3) 펌프압송성능(Pumpability)과 굵은골재 치수

그림 3에서 볼 수 있는 바와 같이 골재치수가 감소하면 소요수량이 증가하고, 단위시멘트량이 증가하게 된다.

그림 4와 같이 골재의 공극과 시멘트량에 따라 펌프압송능력이 변함을 알 수 있다. 시멘트량이 너무 적거나 높아도 문제가 됨을 알 수 있다. 시멘트사용량은 일반적으로 7~15%의 범위에서 사용되므로 20mm와 25mm골재에서는 아무런 문제가 되지 않는다.

5. 현행 표준시방서의 굵은골재의 최대치수

1) 건설부 콘크리트 표준시방서의 굵은골재 최대치수

그림 1에서 알 수 있듯이 골재의 최대치수

선정에 따라 소요강도, 워커빌리티, 재료분리가 변하므로, 현재국가규격에서는 최대치수의 한도를 다음과 같이 정하고 있다. 즉 가능한 한 큰 골재의 사용을 억제하고 작은골재의 사용을 권장하고 있다. 따라서 일반적인 구조에서 25mm이하로 정한것은 25mm까지 사용할 수 있고, 20mm, 15mm, 10mm등을 사용하여도 좋다는 뜻이다.

4. 6 굵은골재의 최대치수

굵은골재의 최대치수는 철근콘크리트 부재에서는 부재의 최소치수의 1/5 및 철근의 최소수평 순간격의 3/4을 넘어서는 안되며, 일반적인 구조물에서는 25mm, 단면이 큰 구조물에서는 40mm를 대체의 표준으로 하며, 50mm를 넘어서는 안된다.

또 무근콘크리트 부재에서는 부재의 최소치수의 1/4를 넘어서는 안되며, 40mm를 대체의 표준으로 하며, 100mm를 넘어서는 안된다.

2) 건설부 건축공사 표준시방서의 굵은골재의 최대치수⁽⁸⁾

건축공사에서는 표 4와 같이 일반구조에서는 10~25mm, 기초구조에서는 10~40mm의 굵은골재를 사용하도록 규정하고 있다.

표 4 사용장소에 따른 굵은 골재의 최대치수

사용장소	굵은 골재의 최대치수(mm)		
	자갈	부순돌·고로슬래그 골재	경량골재
기둥·보·바닥 슬래브·지붕슬 래브·벽	10, 20, 25	20	10, 15, 20
기초	10, 20, 25, 30, 40	20, 25, 30, 40	10, 15, 20

3) 검토의견

토목공사나 건축공사의 일반구조물에서는 굵

은골재의 최대치수를 20mm나 25mm중 어느것을 사용하여도 무방하다고 판단된다. 동일한 가격으로 공급될 수 있다면 오히려 20mm골재가 유리하다고 판단된다.

6. 콘크리트용 20mm 골재사용에 관한 제안

콘크리트 강도, 워커빌리티, 재료분리, 펌프압송성, 굵은골재치수의 국제적인 동향, 골재의 치수와 입도, 경제성등을 종합적으로 분석하여 얻어진 20mm골재사용에 관한 결론은 다음과 같다.

- 1) 국제적인 추세 : 콘크리트 구조에서는 콘크리트의 고강도화가 일반적인 추세이고, 고강도화로 추진하려면 굵은골재의 최대치수는 10mm나 20mm로 낮아져야 하는 것이 타당하다고 사료되고, 25mm까지도 가능하다고 판단된다.
- 2) 현행시방서의 기준 : 일반콘크리트 구조에서는 토목구조나 건축구조에 관계없이 굵은골재의 최대치수를 10~25mm, 기초구조에서는 10~40mm까지 사용하도록 규정하고 있으므로 20mm골재를 사용하여도 좋다고 판단되고, 향후 시방서 개정시 굵은골재의 최대치수는 하향조정될 것으로 예상된다.
- 3) 워커빌리티, 재료분리, 펌프압송성 : 현재 KS에서 규정하고 있는 입도에 따른다면, 20mm나 25mm를 동일한 수준에서 사용할 수 있고, 오히려 20mm골재가 유리할 것으로 판단된다.
- 4) 경제성 : 일반적으로는 20mm골재가 25mm골재에 비하여 골재생산비, 소요시멘트량 등이 다소 증가하여 경제성면에서 불리하지만, 골재의 생산과정과 관련하여 생산경비가 감소될 수 있다면 큰 문제점은 되지 않는다고 판단된다.

- 5) 20mm골재사용의 권장 : 여러 영향인자들을 종합적으로 평가할 때, 20mm와 25mm골재를 사용한 레디믹스트 콘크리트의 공급가가 동일하다면 당연히 20mm골재가 25mm골재에 비하여 유리하므로, 20mm골재의 사용을 적극 권장한다.

參 考 文 獻

1. 日本建築學會 骨材小委員會, “콘크리트용骨材에關する全國調査結果”, セメント・コンクリート, NO. 529, 1991. 3., PP. 20~33
2. National Research Council, “High Performance Concrete : A State-of-the-Art Report”, SHRP-C/FR-91-103, HRC, 1991. 1, PP. 2. 1~2. 23
3. Neville, A.M., Properties of Concrete, Pitman, 1981, pp. 118~202
4. JCI, 콘크리트技術の要點 '84, 日本콘크리트工學協會, 1984, pp. 7~17
5. 건설부, 콘크리트 표준시방서, 건설부, 1988. 12, pp. 402~404
6. 樋口芳郎, 最新콘크리트材料・工法ハンドブック, 建設産業調査會, 1986. 9, pp. 15~21
7. PCA, Design and Control of Concrete Mixtures, Portland Cement Association, 1990, pp. 30~46
8. 건설부, 건축공사표준시방서, 건설부, pp. 93~98
9. 岡村甫, 前川宏一, 小澤, 하이パフォーマンス콘크리트, 技報堂, 1993. 9, pp. 2~22
10. 한국콘크리트학회, 최신콘크리트공학총론, 한국콘크리트학회, 1993. 6, pp. 64~91

〈資料提供 : 三豆産業(株)〉