

고유동콘크리트의 유동특성에 미치는 굽은골재 최대치수 및 용적비의 영향에 관한 연구

최 세 진 (주)삼표 기술연구소 책임연구원 · 공박

이 성 연 (주)삼표 R/C본부장 전무 · 공박

여 병 철 (주)삼표 R/C부문대표 전무 · 공박

1. 서론

고유동콘크리트는 종래의 보통 및 유동화 콘크리트에 비하여 높은 유동성, 충전성 및 재료분리 저항성을 가지고 있기 때문에, 건설 생산현장에서 노동력 절감효과와 고품질의 콘크리트를 제조할 수 있는 기술로 주목되고 있다.¹⁾²⁾ 국내에서도 고유동콘크리트에 관련된 연구를 건설관련 대학 및 기업 연구소 등에서 활발히 진행하고 있으나, 아직까지는 시공실적이 적고 경제성 및 품질확보에 대한 건설현장에서의 의식부족으로 선진외국과 같은 수준의 실용화는 되고 있지 않은 실정이다.³⁾

일반적으로 고유동콘크리트의 유동특성에는 유동성, 충전성, 재료분리저항성 및 간극통과성 등이 있으며, 이러한 고유동콘크리트의 각종 유동특성에 영향을 주는 여러 가지 영향요인 중에서 골재는 콘크리트 체적의 상당부분을 차지하고 있어 그 품질 및 구성조건에 따라 고유동콘크리트의 유동특성이 크게 달라지게 된다. 즉, 골재의 특성 중 골재입자

의 크기 및 입형은 철근과 철근사이, 철근과 거푸집 사이를 통과하는 간극통과성 및 충전성에 크게 영향을 주고 있으며, 양호한 유동성 및 재료분리저항성을 확보하기 위하여 단위 굽은골재용적의 적정범위에 대한 고려도 필요하다.⁵⁾⁶⁾⁷⁾

일본의 경우 일본건축학회 『건축공사표준시방서·동해설(JASS 5 철근콘크리트공사)』에서 고유동콘크리트의 충전성, 간극통과성 및 건조수축을 고려하여 단위 굽은골재용적을 0.500~0.550m³/m³의 범위로 권장하고 있으나⁴⁾, 국내의 경우에는 고유동콘크리트에 대한 지침은 물론, 굽은골재량 등에 대한 세부 규정이 명시되어 있지 않은 실정이다.

따라서, 본 연구는 굽은골재 최대치수와 굽은골재용적비(G/Glim : 굽은골재의 실적율에 대한 콘크리트 용적중의 굽은골재의 용적비)를 변화시켜 고유동콘크리트를 제조한 후, 각종 유동특성을 실험적으로 비교·분석하여 고유동콘크리트의 유동특성에 미치는 굽은골재 크기 및 용적비의 영향을 파악함으로써,

건설생산 현장에서 고유동콘크리트의 실용화를 위한 참고자료를 제시하고자 하였다.

2. 실험계획 및 방법

2-1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같이 굵은골재의 크기 및 용적비 수준에 따른 고유동콘크리트의 유동특성을 비교·분석하기 위한 것으로 물결합재비의 수준을 0.35, 혼화재로서 플라이애시 대체율을 30%로 고정하고, 굵은골재의 크기를 20, 25mm의 2수준, 콘크리트 중의 굵은골재용적비를 0.45, 0.50, 0.55, 0.60의 4수준으로 설정하였다. 또한, 모르타중에서 잔골재가 차지하는 용적을 모든 배합에서 동일하게 고정하여 고유동콘크리트의 유동특성에 미치는 잔골재의 영향을 가급적 줄이고자 하였다.

고유동콘크리트의 측정항목으로는 굳지

[표 2] 사용재료의 물리적 특성

사용재료	물리적 특성
잔골재	강모래, 입경 2.5mm, FM 2.60, 비중 2.55
굵은골재	부순자갈, Gmax20mm : FM 6.61, 비중 2.62, 실적율 56.2 Gmax25mm : FM 6.70, 비중 2.62, 실적율 58.3
시멘트	4종 저열(비라이트)시멘트, 비중 3.20, 분말도 4,130(cm ² /g)
플라이애시	분말도 3,228(cm ² /g), 비중 2.13, 강열감량 2.44(%)
고성능 AE감수제	폴리카르본산계, 비중 1.04~1.06

않은 콘크리트의 경우, 공기량, 단위용적중량, 슬럼프-플로우, V형깔때기, L형간극 통과시험 및 박스충전성 시험을 행하였고, 경화콘크리트의 경우 각 요인에 따른 재령별 압축강도 특성을 비교·검토하였다.

[표 1] 실험계획 및 측정항목

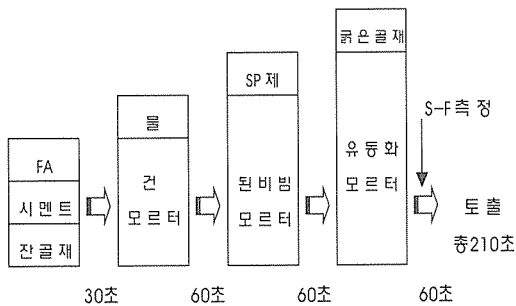
W/B	FA 대체율 (%)	시멘트 종류	Sc* (%)	굵은골재 최대치수 (mm)	굵은골재 용적비 (%)	단위 결합재량 (kg/m ³)	목표 S-F (cm)	SP제** 첨가율 (%)	측정항목	
									굳지않은 콘크리트	경화콘크리트
0.35	30	4종 저열 시멘트	40	25	45	600	65±5	소정의 첨가량	· 공기량, 단위용적중량 · 유동성 : 슬럼프-플로우(cm) · 간극통과성 : V형깔때기시험(sec), L형간극통과시험(L형 슬럼프) · 충전성 : 박스형충전시험(높이차) · 분리저항성 : L형간극통과시험(굵은골재중량비)	· 압축강도(kgf/cm ²) (재령 7일, 28일, 56일)
					50	586				
					55	563				
					60	540				
				20	45	600				
					50	574				
					55	546				
					60	529				

주)* : 모르타중의 잔골재용적비, ** : 고성능AE감수제

2-2 사용재료 및 비빔방법

본 연구에 사용된 각 재료의 특성은 [표 2]와 같이 시멘트는 4종 저열시멘트, 잔골재는 강모래, 굵은골재는 부순자갈로 최대치수 20, 25mm를 사용하였고, 혼화재료로서 플라이애시와 폴리카르보산계 고성능AE감수제를 사용하였다.

또한, 콘크리트의 비빔은 [그림 1]과 같은 방식으로 강제식 팬타입 믹서(용량 100ℓ)를 사용하여 (시멘트+플라이애시+잔골재)→(물+고성능AE감수제)→(굵은골재)의 단계별로 균질하게 구성재료를 분할투입하는 방법을 채택하였고, 총 비빔시간은 210초 정도가 소요되었다.



[그림 1] 콘크리트의 비빔방법

2-3 실험방법

콘크리트의 시험은 각종 KS 규준에 준하여 실시하였으며, 고유동콘크리트의 유동특성을 평가하기 위하여 각종 문헌¹²⁾을 참고하여 슬럼프-플로우, V형깔때기, L형간극 통과시험 및 박스형 충전시험 등을 행하였다. 고유동콘크리트의 유동특성을 평가하기 위한 측정항

목을 살펴보면 다음과 같다.

- (1) 유동성 : 슬럼프-플로우(cm)
- (2) 간극통과성 : V형깔때기(상대유하속도), L형간극 통과시험(L형슬럼프)
- (3) 충전성 : 박스형 충전시험(전·후실 높이차)
- (4) 재료분리저항성 : L형간극 통과시험(전·후실 콘크리트중의 굵은골재량 비교)

3. 실험결과 및 분석

[표 3]은 고유동콘크리트의 각종 실험결과를 나타낸 것이다.

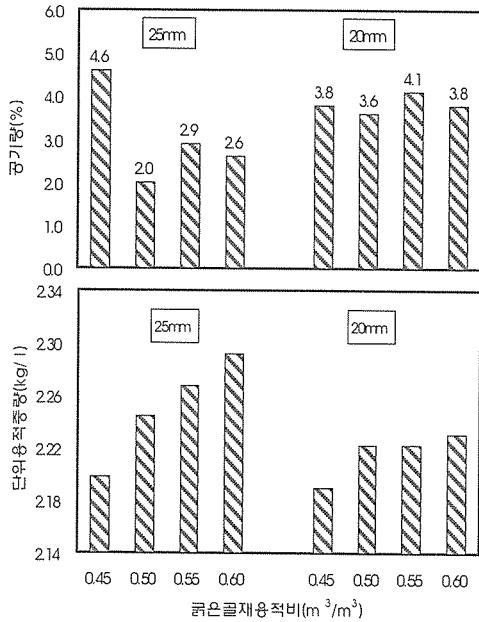
3-1 굳지않은 고유동콘크리트의 특성검토 및 분석

3-1-1 공기량 및 단위용적중량의 변화

굵은골재 최대치수 및 용적비에 따른 공기량과 단위용적중량의 변화를 나타낸 [그림 2]에서 보는 바와 같이 공기량은 20mm가, 단위용적중량은 25mm가 상대적으로 크게 나타나고 있으며, 단위용적중량의 경우 굵은골재용적비가 증가함에 따라 콘크리트중의 굵은골재량이 많아짐으로써 20, 25mm 모두 증가하는 경향을 볼 수 있다. 특히, 공기량의 경우 굵은골재용적비 0.45를 제외하고는 최대치수 20mm가 3.6~4.1%로 최대치수 25mm보다 다소 크게 나타나고 있는데, 이는 목표 슬럼프-플로우를 만족시키기 위한 SP제 첨가율이 최

[표 3] 고유동콘크리트의 각종 실험결과

Gmax (mm)	G/Glim (m ³ /m ³)	SP제 첨가율 (%)	공기량 (%)	단위용적 중량 (kg/l)	슬럼프 플로우 (cm)	V형깔때기		L형간극 통과시험		박스시험 높이차 (cm)	압축강도(kgf/cm ²)		
						유하 시간 (sec)	상대 유하 속도	슬럼프 (cm)	굵은골재 중량비차 (%)		1주	4주	8주
25	0.45	0.70	4.6	2.198	67.0	4.08	1.23	30.0	9	2.0	266	437	533
	0.50	0.70	2.0	2.244	70.0	4.68	1.07	26.0	5	6.0	262	502	572
	0.55	0.70	2.9	2.267	58.5	5.97	0.84	16.0	9	10.0	238	458	586
	0.60	0.80	2.6	2.292	61.0	4.44	1.13	10.0	13	26.0	245	437	495
20	0.45	0.75	3.8	2.190	62.0	4.16	1.20	31.0	4	2.0	255	451	646
	0.50	0.75	3.6	2.222	63.0	4.91	1.02	28.0	0	2.0	234	435	618
	0.55	0.75	4.1	2.222	60.5	6.47	0.77	17.0	1	4.0	263	390	577
	0.60	0.80	3.8	2.231	60.5	4.38	1.14	10.0	6	12.0	248	458	554

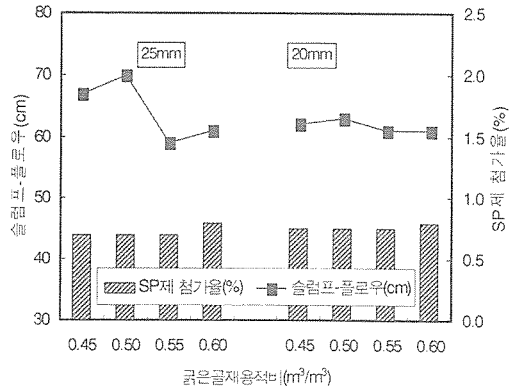


[그림 2] 공기량과 단위용적중량의 변화

대치수 20mm에서 0.05%~0.1%정도 많았기 때문으로 생각된다.

3-1-2 유동성 평가시험에 대한 고찰

굵은골재 최대치수 및 용적비에 따른 슬럼프-플로우와 SP제 첨가율의 관계를 나타낸 그림 3에서 보는 바와 같이, 굵은골재 최대치수와 용적비에 관계없이 유사하게 나타나고 있으며, 슬럼프-플로우는 최대치수 25mm에서 다소 변화는 있으나 목표 슬럼프-플로우값을 대부분 만족하고 있다.



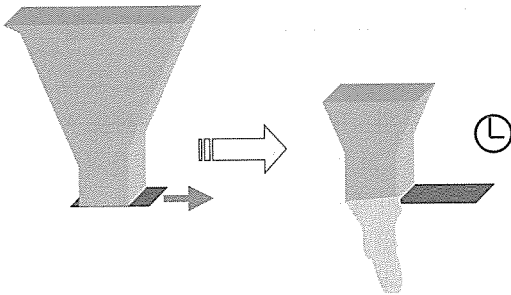
[그림 3] 슬럼프-플로우와 SP제 첨가율의 관계

3-1-3 간극통과성 평가시험에 대한 고찰

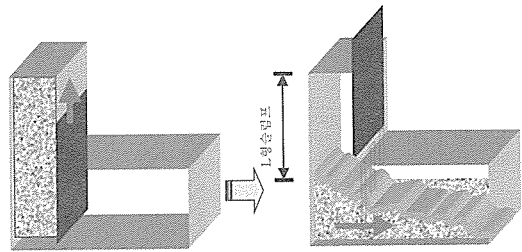
[그림 4] 및 [그림 5]는 V형깔때기 시험방법과 굽은골재 최대치수 및 용적비에 따른 V형깔때기 상대유하속도와 모르타르용적비(콘크리트중의 모르타르용적비율, 공기량제외)의 변화를 나타낸 것으로, 배합요인에 관계없이 모두 일본 콘크리트 공학협회 『초유동콘크리트 연구위원회 논문보고집』에서 제시하고 있는 V형깔때기 상대유하속도 범위인 0.5~1.5의 수준을 만족하고 있음을 알 수 있다. 특히, 그림에서 알 수 있듯이 최대치수 20, 25mm 모두 굽은골재용적비가 증가함에 따라 0.55까

지는 V형깔때기 상대유하속도가 조금씩 감소하다가, 굽은골재용적비가 0.55를 넘어 0.60이 되면 다시 증가하는 경향을 볼 수 있는데 이는, 굽은골재용적비 0.45~0.55까지는 콘크리트중의 모르타르량이 상대적으로 감소함에 따라 굽은골재간의 상호마찰이 증가함으로서 콘크리트의 간극통과성이 저하한 것으로 사료되며, 이후 굽은골재용적비 0.60에서는 굽은골재와 모르타르의 재료분리 현상이 다소 발생하여 모르타르부분이 먼저 통과되면서 속도가 빠르게 나타난 것으로 판단된다.

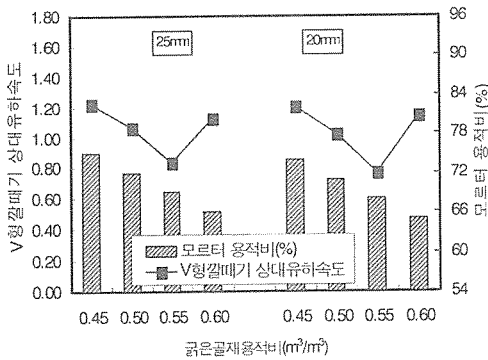
[그림 7]은 [그림 6]과 같은 방법으로 굽은골재최대치수 및 용적비에 따른 L형 슬럼프



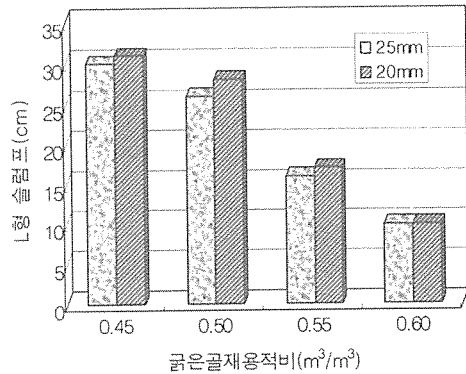
[그림 4] V형 깔때기 시험방법



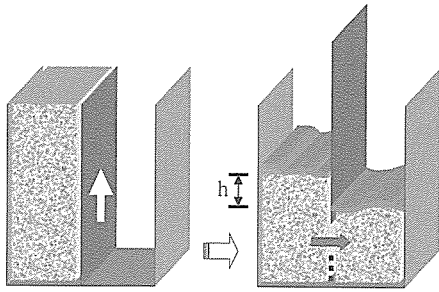
[그림 6] L형간극 통과시험방법



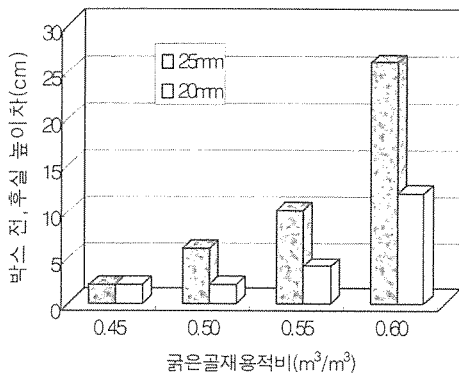
[그림 5] V형깔때기 상대유하속도와 모르타르용적비의 변화



[그림 7] L형슬럼프의 변화



[그림 8] 박스형 충전시험방법



[그림 9] 박스충전시험 전·후 높이차의 변화

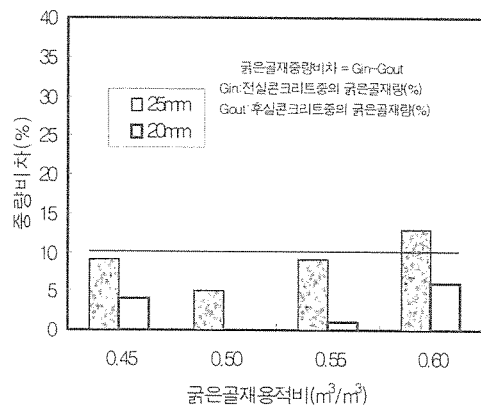
(낙하높이)의 변화를 나타낸 것으로, 굵은골재 최대치수 20, 25mm 모두 굵은골재용적비가 증가함에 따라 L형 간극슬럼프치가 감소하고 있는데, 이는 굵은골재량이 많아짐으로써 굵은골재간의 상호 간섭으로 인해 시험기의 철근간극을 상대적으로 통과하지 못한 것으로 판단되며, 굵은골재용적비 0.60의 경우는 L형 간극슬럼프치가 10cm로 콘크리트의 상당부분이 장애물을 통과하지 못하고 있다. 따라서, 일본건축학회 『건축공사표준시방서·동해설(JASS 5 철근콘크리트공사)』에서 제시하고 있는 굵은골재용적비 0.55를 넘어 서게 되면 과밀한 철근구간에서의 타설시 콘

크리트 폐색현상 등의 문제가 발생할 것으로 예상되므로, 고유동콘크리트를 현장에 적용할 경우 간극통과성을 고려하여 굵은골재용적비는 0.55이하로 배합설계를 하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

3-1-4 충전성 및 재료분리저항성에 대한 평가

[그림 9]는 [그림 8]과 같은 박스형 충전시험방법으로 굵은골재 최대치수 및 용적비에 따른 박스형 충전시험 전·후실 높이차(h)의 변화를 나타낸 것으로, 굵은골재 최대치수 25mm보다는 20mm가 상대적으로 높이차가 적게 나타나고 있으며, 굵은골재용적비가 증가함에 따라 높이차도 증가하고 있어 충전성이 저하하고 있음을 알 수 있다.

특히, 굵은골재용적비 0.45~0.55까지는 큰 차이를 보이지 않고 있으나, 굵은골재용적비 0.60에서는 L형 간극 통과시험에서와 동일한 경향으로 충전성이 급격히 감소하고 있음을 볼 수 있다.



[그림 10] L형 간극시험 전·후실 굵은골재중량비차의 변화

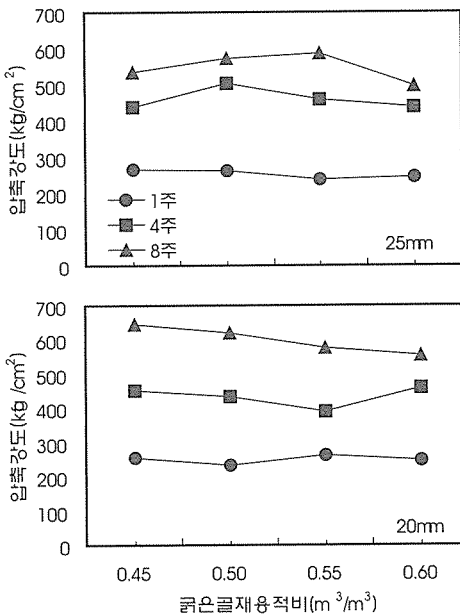
또한, [그림 10]은 L형간극 통과시험에 의해 구한 굽은골재 최대치수 및 용적비에 따른 전·후실 굽은골재 중량비차의 변화를 나타낸 것이다. 굽은골재 중량비차는 유동전실과 유동후실의 콘크리트 시료를 채취한 후 No.4 체를 이용하여 Wet-screening을 행하고 남은 굽은골재량을 측정하는 방법으로, 다음과 같은 식에 의하여 산출하였다.

$$\text{굽은골재 중량비차} = G_{in} - G_{out}$$

단, G_{in} : 전실의 콘크리트중의 굽은골재중량(%)

G_{out} : 후실의 콘크리트중의 굽은골재중량(%)

[그림 10]에서 알 수 있듯이, 굽은골재 최대치수에 따른 변화를 살펴보면, 최대치수 20mm의 경우가 25mm보다 중량비차가 적



[그림 11] 굽은골재 최대치수 및 용적비에 따른 압축강도의 변화

게 나타나고 있으며, 굽은골재 용적비 0.50에서 가장 양호한 성상을 보이고 있다. 특히, 굽은골재크기 25mm의 굽은골재용적비 0.60을 제외하고는 굽은골재중량비차가 10% 이내로 나타나 일본 『초유동콘크리트연구위원회 논문보고집』에서 제시하고 있는 0~10%의 수준을 만족하여 대체적으로 양호한 성상을 보이고 있다.

3-2 압축강도의 검토 및 분석

[그림 11]은 굽은골재 최대치수 및 용적비에 따른 각 재령별 압축강도의 변화를 나타낸 것으로, 모든 배합에서 28일 압축강도가 400~500kgf/cm² 수준으로 고강도를 발현하고 있으며, 굽은골재 크기와 용적비에 따른 유의할 만한 변화는 나타나지 않고 있다.

4. 결론

굽은골재 최대치수 및 용적비에 따른 고유동콘크리트의 각종 유동특성을 검토·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) V형깔때기의 경우 배합요인에 관계없이 모두 일본 콘크리트 공학협회 『초유동콘크리트연구위원회 논문보고집』에서 제시하고 있는 V형깔때기 상대유하속도 범위인 0.5~1.5의 수준을 만족하였다. 그러나, L형간극 통과시험을 이용한 L형슬럼프의 경우는 굽은골재의 최대치수 및 용적비에 따라 큰 차이를 보이고 있으며 이러한 경향은 박스충전성시험에서도 뚜렷하게 나타나, 간극통과성 및 충전성의 평가시 주의가 필요할 것으로 사료된다.
- 2) 충전성 시험결과 모든 수준에서 굽은골재 크기 20mm가 25mm보다 충전성이

동등이상의 수준을 보였고, 굵은골재용적비가 증가함에 따라 충전성이 저하하는 것으로 나타났으며, 그러한 경향은 굵은골재크기 25mm에서 더 뚜렷하게 나타났다.

- 3) 박스충전성 시험을 이용한 재료분리 저항성 평가에서 굵은골재 최대치수 25mm의 굵은골재용적비 0.60을 제외하고는 모든 배합에서 굵은골재 중량비 차이가 10% 이내로 나타나 일본 『초유동 콘크리트연구위원회 논문보고집』에서 제시하고 있는 0~10%의 수준을 만족하며 대체적으로 양호하게 나타났다.
- 4) 본 연구결과, 굵은골재 용적비가 0.55를 넘을 경우 간극통과성, 충전성 및 재료분리저항성이 열악한 것으로 나타나 고유동콘크리트의 배합설계시 굵은골재 용적비의 수준을 0.55이하로 선정하는 것이 유리할 것으로 사료되며, 굵은골재 최대치수에 있어서도 25mm 보다는 20mm의 골재를 사용하는 것이 고유동 콘크리트의 제조시에 유리할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 日本建築學會編；高流動コンクリートの材料・調合・製造・施工指針(案), 日本建築學會, 1997, 1.
2. 超流動コンクリート研究委員會；コンクリートシンポジウム論文報告集, 日本コンクリート工學協會, 1993.5.21
3. 金武漢；高流動콘크리트의 콘시스텐시 特性 및 各種 影響要因에 關한 考察, 레미콘지, 1996, 4
4. 日本建築學會；建築工事標準仕様書・同解説 (JASS5 鐵筋コンクリート工事), 1997, 3, pp 404~405
5. 岩崎訓明；コンクリート配合の原點, セメントコンクリート No.564, 1994, 4, pp.20~27
6. 十河茂幸ほか3；高流動コンクリートのフレッシュ性狀に及ぼす骨材粒度の影響, 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.17, No.1, 1995, pp.11~16
7. 佐?正一ほか3；細骨材の粒度の相違が高流動コンクリートの性狀に及ぼす影響について, 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.17, No.1, 1995, pp.111~116
8. 谷川?雄ほか2；超流動コンクリートにおける粗骨材連行性に関するレオロジー的考察, 超流動コンクリートに関するシンポジウム論文報告集, 1993, pp.79~83
9. 名和豊春ほか；高ビーライト系セメントを用いた高流動・高強度コンクリートに関する研究, 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.15, No.1, pp.143~148, 1993
10. 西本好克ほか3；高流動コンクリートのフレッシュ性狀に關する基礎的研究, 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.16, No.1, pp.119~124, 1994
11. 西林新藏ほか3；フレッシュコンクリートの流動性評價に關する研究, 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.14, No.1, pp.375~380, 1992
12. 金武漢ほか3；細骨材の種類による高流動コンクリートの流動特性及びその評價に關する實驗的研究, 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.19, No.1, pp.67~71, 1997
13. 김무한 외；초유동콘크리트의 제조시스템 및 개발에 관한 실험적연구, 대한건축학회논문집, 제13권, 제5호, 통권103호, pp.279~288, 1997