

한국 및 일본의 Belite rich Cement를 사용한 자기충전형 콘크리트의 재료적 특성에 관한 연구

A Study on the material properties of Self-compacting concrete using Korean and Japanese Belite rich cement.

김종우* 하재담* 김기수* 신규연** 최웅*** Kenichiro Seto****
Kim, Jong Woo Ha, Jae Dam Kim, Ki Soo Shin, Kyu Yeun Choi, Woong

ABSTRACT

In this study, We compare material properties of Self-compacting concrete using Korean Belite cement with Japanese. Self-compacting concrete consolidates densely by virtue of its own weight at the location where concrete compaction cannot be carried out. Material properties of Korean and Japanese Belite cement are very similar but compatibility with superplasticizer and viscosity agent are some different. Before the batch mix, the compatibility must be checked as fresh concrete properties. For the concrete test results, Korean Belite cement is suitable to product High performance concrete.

1. 서론

일반적으로 자기충전, 고유동 또는 고성능콘크리트등으로 일컬어지는 다짐이 필요 없는 콘크리트는 일본을 중심으로 1980년대 후반부터 꾸준히 연구되어 왔고, 국내에서도 1990년대 초부터 학계나 연구기관에서 많은 연구가 이루어져 왔다. 그러나 이상의 콘크리트는 사용재료나 시공될 구조물의 요구성능에 따라 각각의 특성이 조금씩 다르다. 또한 일본의 고유동콘크리트와 국내의 것과는 그 특성에서 조금씩 차이가 있음을 알 수 있다. 일본의 고유동콘크리트는 국내의 것에 비해 고점성으로 수중콘크리트의 특성에서부터 발전되어 왔음을 짐작하게 한다. 본 연구에서는 매스콘크리트 구조물인 L.N.G. Tank의 Slurry wall에 타설하기 위하여 배합강도(재령 91일) 480kg/cm²의 중점제 및 혼화재를 사용한 병용계 고강도, 고유동콘크리트(이하 자기충전콘크리트)를 제작함에 있어 한국과 일본의 Belite rich Cement(이하 Belite시멘트)와 중점제등 사용재료에 따른 콘크리트 배합의 차이점과 재료적 특성을 분석하고, 물/분체 용적비, 잔골재/모르터비, 굵은골재용적등 각 배합인자가 굳지 않은 콘크리트의 특성에 미치는 영향을 규명하여 최적의 자기충전형 콘크리트배합을 선정하고자 한다.

*정회원, 쌍용양회공업(주) 중앙연구소 콘크리트연구실 연구원,

*정회원, 쌍용양회공업(주) 중앙연구소 콘크리트연구실, 선임연구원

*정회원, 쌍용양회공업(주) 중앙연구소 콘크리트연구실장

**쌍용양회공업(주) 전자재사업팀장

***현대건설(주) 연육교 제1공구 시험실장

****鹿島건설(주) 기술연구소 제2연구실 연구원

고성능 AE감수제는 Belite시멘트와 적합하다고 알려진 폴리카본산계를 사용하였는데 그 사용량은 시험에 의해서 1.5~2.0%범위에서 조정하여 사용하였다. 증점제는 국산 메틸셀룰로오스계와 일본산 폴리사카라이드계가 검토되었는데 각 시멘트등의 재료에 맞도록 사전 조정된 제품이므로 국내재료와의 적합성을 콘크리트의 경시변화특성을 통해 살펴보았다. 시험에 사용된 재료는 모두 국내재료이고 이중 시멘트는 K-B-2를 사용하였다.

표 3.2 증점제 검토에 사용된 콘크리트 배합

구분	W/C (%)	V _w /V _p (%)	S/M (%)	G _{vol} (l)	Air(%)	단위재료량(kg/m ³)					고성능 AE감수제 (P×%)	증점제 (W×%)
						W	C	LP	S	G		
콘크리트	51.5	72	40	320	4.0	161	315	343	660	890	2.0	0.1

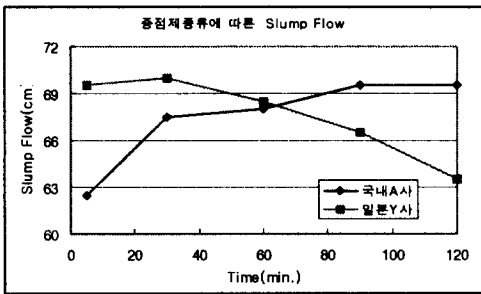


그림 3.4 증점제종류에 따른 슬럼프플로우

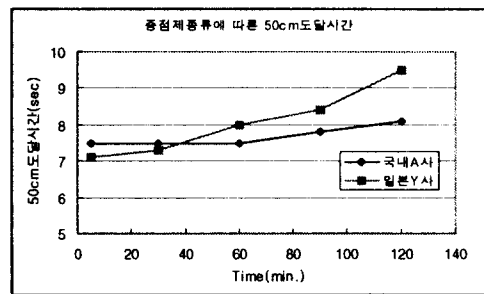


그림 3.5 증점제 종류에 따른 50cm도달시간

이상의 결과를 살펴보면 일본산 폴리사카라이드계 증점제는 시간이 지남에 따라 슬럼프 플로우는 감소하며 점성은 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 타설대기시간을 가능한 짧게 해줄 필요가 있다. 그러나 국내의 메틸셀룰로오스계 증점제의 경우에는 시간이 지남에 따라 슬럼프가 증가하며 점성은 120분까지 큰 변화없이 유지됨을 알 수 있다. 이는 물과의 반응에 다소의 시간이 소요됨을 알 수 있으며 타설까지 시간을 고려하여 초기 슬럼프를 조정해야 할 필요가 있다.

5. 실험결과

5.1 각 재료별 최적배합

이상의 실험을 통해 얻어진 각 시멘트종류별 자기충진콘크리트의 최적배합은 다음과 같다.

표 3.3 온도측정을 위해 사용된 콘크리트 배합

구분	W/C (%)	V _w /V _p (%)	S/M (%)	G _{vol} (l)	Air (%)	단위재료량(kg/m ³)					고성능 AE 감수제 (P×%)	증점제 (W×%)	S/F (cm)	50 cm (sec)	V -lot	Air (%)	압축강도 (kg/cm ²)	
						W	C	LP	S	G							7d	28d
						K-B-1	51.5	74	38	320							4.0	169
K-B-2	51.1	72	40	320	4.0	161	315	343	660	890	2.0	0.1(A)	62	10.2	21.0	4.4	308	561
J-B	51.5	74	38	320	4.0	169	330	343	627	787	2.0	0.1(Y)	67	10.8	20.7	4.3	292	520

2. 사용재료

2.1 시멘트

본 연구에 사용된 한국 및 일본 Belite 시멘트의 화학성분 및 광물조성은 아래의 표 2.1과 같다. 국산 Belite 시멘트의 경우는 두 가지 종류가 검토되었다.

표 2.1 각 시멘트의 특성

종 류	비 중	Blaine (cm ² /g)	화 학 성 분 (%)									광 물 조 성 (%)			
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	LOI	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
K-B*-1	3.22	3,340	26.60	3.59	3.54	61.95	1.88	0.42	0.07	1.93	1.02	23	56	3.5	10.7
K-B*-2	3.22	3,530	24.92	3.22	3.60	61.53	3.15	0.54	0.07	1.90	1.07	29	50	2.4	11.0
J-B**	3.22	3,270	26.36	2.75	2.65	64.02	0.48	0.48	0.22	1.94	1.00	32	51	2.8	8.1

*: 한국 Belite Cement, **: 일본 Belite Cement

2.2 골재 및 혼화재료

본 연구에서는 국산재료와 일본산 재료를 사용하였을 경우에 동일배합의 콘크리트가 가지는 특성을 살펴보고자 시멘트 이외에 석회석미분말과 증점제도 두 가지 경우를 사용하였다. 또한 고성능 AE감수제는 Belite 시멘트와 적합성이 있는 것으로 알려진 폴리카본산계를 검토하였다. 실험에 사용된 각 재료의 특성은 아래의 표 2.2와 같다.

표 2.2 사용재료의 특성

재 료	생 산 지	종 류	비 중	흡 수 율	조 립 율
석회석미분말	국내 B사	석회석 미분말	2.73	Blaine: 3,350cm ² /g	
	일본 K사	석회석 미분말	2.70	Blaine: 3,000cm ² /g	
굵은 골재	영종도	19mm	2.77	0.84	6.54
잔 골재	충남청양	#4미만	2.58	1.00	2.74
고성능 AE감수제	국내 K사	폴리카본산계(표준)	1.05±0.02	-	-
공기량 조정제	국내 K사	-	-	-	-
증 점 제	국내 A사	메틸셀룰로오스계	-	10,000cps	
	일본 Y사	폴리사카라이트계	-	10,000cps	

3. 실험방법

고유동콘크리트에서 모르터 및 콘크리트의 유동성을 평가하는 국내의 시험기준은 아직 정립되어 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 일본 JASS의 기준 및 기준(안)을 사용하여 굳지 않은 모르터 및 콘크리트의 특성을 검토하였다.

3.1 유동성 및 재료분리 저항성의 평가

자기충전 콘크리트는 적절한 유동성과 함께 재료분리에 저항할 수 있는 점성을 가지고 있어야 한다. 일반적으로 유동성은 슬럼프 플로우치로 재료분리 저항성은 V-Lot 유하시간 및 슬럼프 플로우가 50cm에 도달하기까지의 시간으로 평가할 수 있다.

본 연구에서는 아래의 표와 같은 평가기준을 만족하도록 콘크리트의 배합을 조정하였다.

표 3.1 Self-compacting concrete의 평가기준

항 목	기 준 치	
슬럼프 플로우	모 르 터	60±5 cm
	콘크리트	25±5 cm
50cm 도달시간	콘크리트	9±3 sec
V-Lot 유하시간	모 르 터	10±1 sec
	콘크리트	20±5 sec
공 기 량	공 동	4.0±1.0 sec

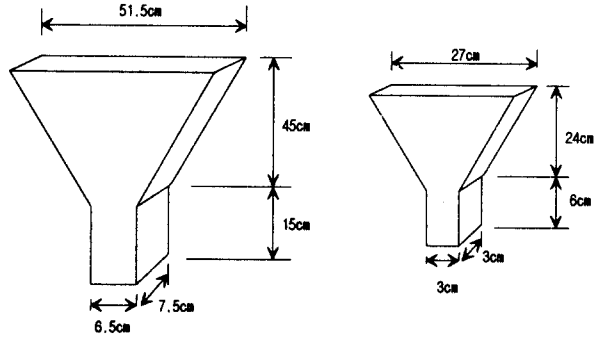
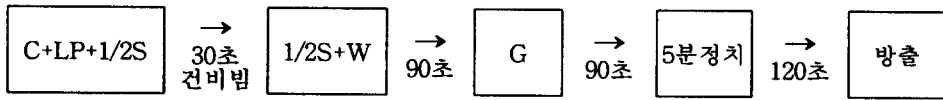


그림 3.1 콘크리트 및 모르터용 V-Lot 시험기

3.2 Mixing 순서

콘크리트를 제작하기 위한 재료의 투입순서 및 믹싱시간은 다음과 같다.



여기서 C;시멘트, LP;석회석 미분말, W;물, S;잔골재, G;굵은골재, 60rpm

3.3 콘크리트 시험

사용될 콘크리트의 91일 재령에서 배합강도는 480kg/cm²으로 w/c=51.1%로 고정하였고 굳지않은 콘크리트의 특성을 만족하는 배합을 선정하기 위해 최적의 물/분체용적비, 잔골재/모르터비, 굵은골재용적에 따른 영향을 검토하였다. 사용재료의 경우, 국산 시멘트는 국산 석회석 및 증점제를 일본산 시멘트는 일본산 석회석과 증점제를 사용하고 골재는 모두 국내재료를 사용하였다.

3.3.1 물/분체비(V_w/V_p)에 따른 영향

시멘트의 영향을 검토하기 위해 골재 및 혼화재료를 고정하고 국산 및 일본의 Belite시멘트, 석회석 미분말을 사용하였고 잔골재/모르터비, 굵은골재용적률 각각 40%, 32%로 고정한 후 물/분체비의 범위를 68~78%의 범위내에서 굳지않은 콘크리트의 특성을 검토한 결과는 아래와 같다.

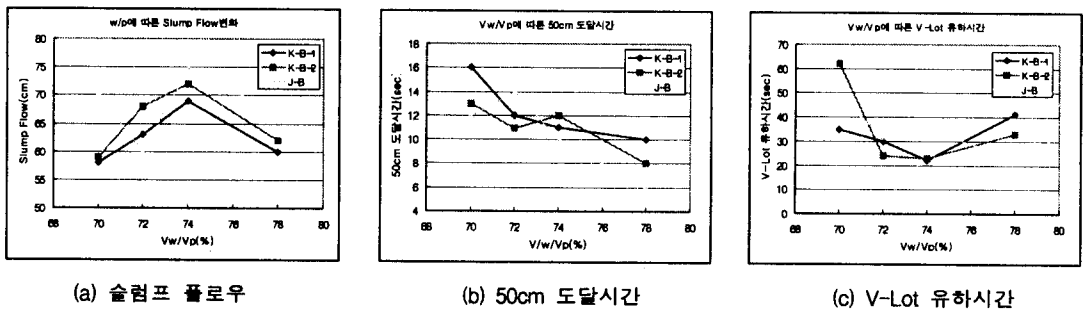


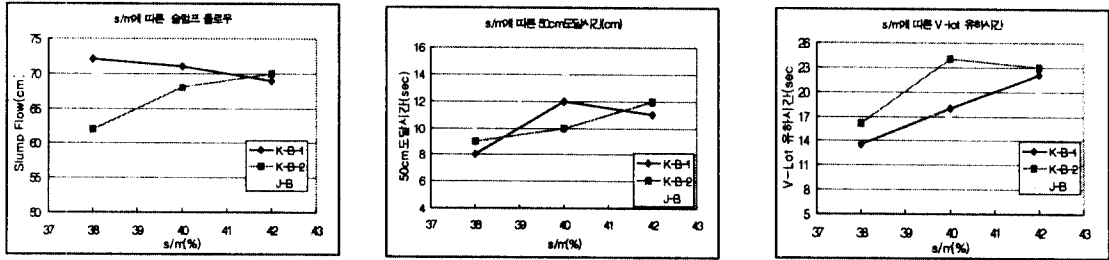
그림 3.2 물/분체비(V_w/V_p)에 따른 굳지않은 콘크리트의 특성

결과에 따르면 물/분체비가 낮아져 상대적으로 분체가 많아질수록 점성이 높아져 50cm도달시간은

느려짐을 알 수 있다. 그러나 V-Lot유하시간의 경우는 분체가 적어도 재료분리에 의해 폐색되므로 적절한 물/분체비가 존재함을 알 수 있다. 시멘트 종류에 따라서는 K-B-1과 J-B-1의 경우는 74%, K-B-2는 72%가 적합한 것으로 판단된다.

3.3.2 잔골재/모르터비(s/m)의 영향

여기서는 시멘트 종류에 따라 물/분체비를 72%, 굵은골재 용적을 320로 고정하여 굳지않은 콘크리트의 특성을 검토하였다.



(a) 슬럼프 플로우

(b) 50cm 도달시간

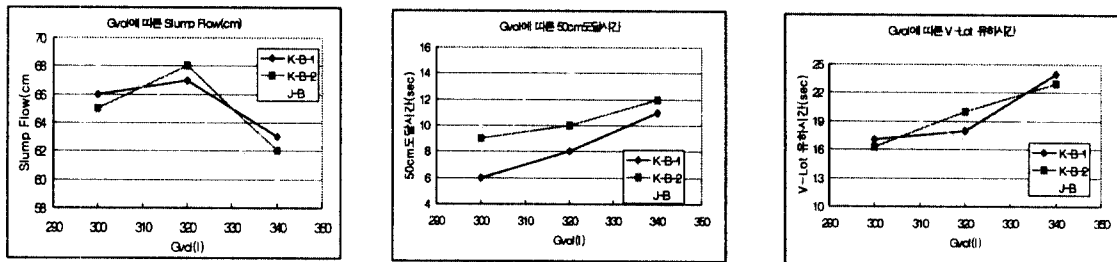
(c) V-Lot 유하시간

그림 3.3 잔골재/모르터비(s/m)에 따른 굳지않은 콘크리트의 특성

실험결과, 잔골재/모르터비 또한 콘크리트의 점성에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났다. 시멘트종류에 따라 최적의 s/m은 K-B-1, 2의 경우 40%, J-B의 경우 38%인 것으로 판단된다.

3.3.3 굵은골재의 용적(G_{vol})의 영향

굵은골재의 용적은 자기충진콘크리트가 충전될 때 간극사이를 통과할때의 골재간 상호폐색(Interlocking)특성에 큰 영향을 준다.



(a) 슬럼프 플로우

(b) 50cm 도달시간

(c) V-Lot 유하시간

그림 3.3 잔골재/모르터비(s/m)에 따른 굳지않은 콘크리트의 특성

굵은골재의 용적은 골재의 형상에 따라서 크게 영향을 받으므로 동일한 골재를 사용한 경우에는 시멘트나 가타재료에 관계없이 비슷한 경향을 가짐을 알 수 있다. 본 실험에서는 최적의 굵은골재의 용적은 K-B-1, 2의 경우 320, J-B의 경우 300인 것으로 판단된다.

3.3.4 고성능 AE감수제 및 증점제의 영향

5.2 간이단열온도시험

콘크리트의 열적특성을 검토하기 위해서는 단열온도상승시험을 수행하여야 하는데 현장의 여건상 아래의 그림 5.1과 같은 부재를 통해 간이단열온도 시험을 수행하였다. 간이단열온도시험에 사용된 콘크리트의 배합 및 시험결과는 아래와 같다.

표 3.3 온도측정을 위해 사용된 콘크리트 배합

구분	W/C (%)	V _w /V _p (%)	S/M (%)	G _{vol} (l)	Air(%)	단위재료량(kg/m ³)					고성능 AE감수제 (P×%)	증점제 (W×%)
						W	C	LP	S	G		
K-B-1	51.5	74	38	320	4.0	169	330	343	627	787	1.5	0.1
J-B	51.5	74	38	320	4.0	169	330	343	627	787	2.0	0.1

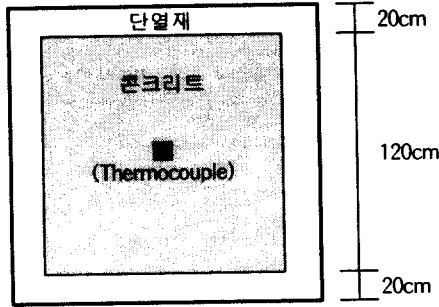


그림 5.1 간이 단열온도 시험체

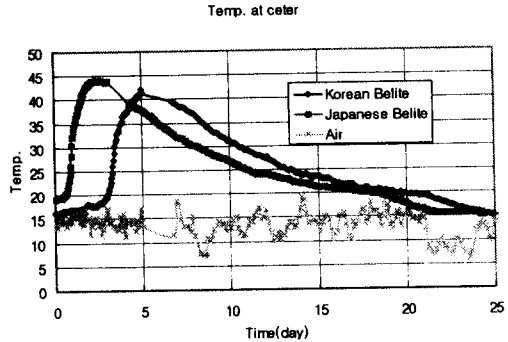


그림 5.2 각 시험체의 중앙부 온도이력

각 부재에서 측정된 온도측정결과에 따르면 일본산 Belite와 한국산 Belite시멘트의 온도이력은 거의 비슷하나 국내의 것이 약간이나마 최종상승온도가 낮음을 알 수 있다. 이는 C₂S의 양이 다소 많기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 온도의 최고온도의 발현시점이 다른 것은 일본시멘트에 맞춰진 혼화제를 사용하여 국내시멘트의 경우 다소의 용결지연이 나타난 것으로 판단된다. 따라서 일본의 폴리카본산계 혼화제를 사용하고자 할 경우에는 사전에 세심한 검토가 이루어져야 한다.

6. 결론

- 1) 국산 및 일본의 Belite시멘트는 거의 유사한 특성을 가지고 있으나 함께 사용되는 혼화재료는 각각의 특성에 맞추어 제조되므로 외국의 재료를 그대로 사용하는 데는 무리가 있는 것으로 나타났다.
- 2) 자기충전콘크리트의 제작을 위해서는 사전에 모든 재료에 대한 면밀한 검토가 이루어져야 하며 각 재료의 특성에 맞는 배합이 존재함을 알 수 있다.
- 3) Belite 시멘트는 우수한 유동성 및 저발열특성으로 저발열, 고강도 자기충전콘크리트의 제작에 매우 적합한 재료임을 알 수 있다.

참 고 문 헌

1. 岡村甫外 2人 “ハイパフォーマンス コンクリート”, 技報堂出版, 1993 pp. 35~58.
2. 魚本健人, “高流動コンクリートの 現況と展望”, 生コンクリート, 1997. 11. Vol. 16., No. 11, pp. 12~13.
3. 柵田佳寛, “高流動コンクリートの 材料, 組合, 製造, 施工指針(案)의 概要”, 1997. 11. Vol. 16., No. 11, pp. 28~38.