

분체의 종류에 따른 고유동 콘크리트의 품질성능에 관한 연구

A study on the quality performances of the high flowing concrete for binder types

권 영 호*
Yeong-Ho Kwon

이 현 호*
Hyun-Ho Lee

하 재 담**
Jae-Dam Ha

ABSTRACT

This research investigates experimentally an effect on the quality performances of the high flowing concrete according to binder types. The purpose of this study is to determine the optimum mix proportion of the high flowing concrete having good flowability, viscosity and no-segregation. For this purpose, two types using belite cement+lime stone powder(LSP) and furnace slag cement+lime stone powder are selected and tested by design factors including water cement ratio, fine and coarse aggregate volume ratio.

As test results of this study, the optimum mix proportion for binder types is as followings. 1) One type based belite cement ; water cement ratio 51%, fine aggregate volume ratio 43% and coarse aggregate volume ratio 53%, replacement ratio of LSP 42.7%. 2) Another type based slag cement ; water cement ratio 41%, fine aggregate volume ratio 47% and coarse aggregate volume ratio 53%, replacement ratio of LSP 13.5%.

1. 서 론

일반적으로 분체계 고유동 콘크리트는 보통 포틀랜드 시멘트에 잠재수경성을 갖는 고로슬래그 미분말, 플라이애쉬, 실리카 흙 또는 잠재수경성을 갖지 않는 석회석 미분말을 사용한다. 그러나, 이는 콘크리트에 요구되는 소성점도를 부여하기 위하여 다량의 시멘트와 분체를 사용하기 때문에, 재료의 종류와 치환율 및 환경조건의 변화에 따라 유동성, 충전성, 재료분리 저항성뿐만 아니라 압축강도, 수화열, 건조수축 등과 같은 콘크리트의 특성에 민감하게 작용하는 것으로 나타났다.⁽¹⁾

이에 비하여 병용계 고유동 콘크리트의 경우, 콘크리트에 증점효과를 부여하여 재료분리 저항성을 확보하고 현장에서의 품질을 안정적으로 관리할 뿐만 아니라 분체량을 감소시킬 목적으로 증점제를 사용한다. 특히, 20만kl의 대용량 LNG 저장탱크의 지하연속벽의 경우,掘鑿深度가 깊을 뿐만 아니라 트레미 관을 통해 자유낙하로 타설되고, 타설된 콘크리트가 자기충전성에 의해 상부로 逆充填되는 특징 및 콘크리트의 상부면이 콘크리트의 타설종료까지 벤토나이트 안정액 및 슬러지와 접하기 때문에, 고유동 콘크리트의 고점성 및 유지성능을 위하여 병용계 고유동 콘크리트가 사용되어야 한다.

* 정회원, 동양대학교 건축공학과 교수

** 정회원, 상용중앙연구소 책임연구원

본 연구에서는 사용되는 분체의 종류에 따른 병용계 고유동 콘크리트의 배합조건에 따른 유동성, 충전성, 재료분리 저항성 및 강도발현 성상에 대한 실험적 고찰을 통해 최적배합 조건을 도출하고자 한다. 따라서, 이러한 목적을 위하여 슬래그 시멘트 및 벨라이트 시멘트를 각각 사용하고, 여기에 석회석 미분말과 증점제를 사용한 병용계 고유동 콘크리트의 배합요인에 따른 영향을 평가하였다.

2. 실험개요 및 요구성능

2.1 사용재료

사용재료는 타설조건 및 자기충전성을 고려하여 Table 1과 같이 선정하였다.

Table 1 Material properties used in the combined high flowing concrete

Cement Type	Lime stone powder	Coarse aggregate	Fine aggregate	H.R.W.R	Viscosity
-Slag cement	-C-140(W) -Blaine(7,975cm ² /g)	-19mm(crushed) -F.M(6.70)	-River sand -F.M(2.50)	-PHOENIX-HPC -Poly-carbone	-PHOENIX-V (J) -Poly saccharide
-Belite cement	-Spe. gravity(2.64) -Particle size(9.7μm)	-Spec. gravity(2.60) -Absorption(1.05%)	-Spe. gravity(2.62) -Absorption(0.71%)	-Solid(36.4%) -Spe. gravity(1.2)	+HPMC -Viscosity(800cp)

고로슬래그 시멘트(B종)는 분말도 3,750cm²/g, 비중 3.05, 슬래그 미분말의 치환율이 평균 46.5%이며, 벨라이트 시멘트는 분말도 3,500cm²/g, 비중 3.22, C₂S 51.4%, C₃S 28.6%, C₃A 1.1%이다. 분말도 3,150cm²/g, 비중 2.21인 제품을 사용하였다. 또한, 굵은골재는 용원석산의 19mm쇄석을 사용하였으며, 잔골재는 금강의 강모래를 사용하였다. 특히, 고성능 감수제(High range water reducing agent)는 경시변화 90분까지의 요구성능을 유지하기 위해 액상형 폴리-카르본계를 사용하였고, 증점제는 고성능 감수제와의 적합성을 고려하여 분말형 폴리-싸카라이드계를 사용하였다.

2.2 요구성능

병용계 고유동 콘크리트의 평가방법 및 요구성능은 Table 2와 같다.

Table 2 Evaluation items and required performance of the combined high flowing concrete

Spec.	Slump flow(cm)	SF 50cm time(sec)	V-funnel time(sec)	U-box height(mm)	Air content(%)	Comp. strength(kgf/cm ²)
JSCE	65±5	7±3	15±5	min. 300	4±1	400

고유동 콘크리트의 시험 및 평가방법은 일본토목학회 표준(JSCE)⁽²⁾을 적용하였으며, 요구성능의 범위는 지하식 LNG 지하탱크의 현장조건을 고려하여 결정한 것이다. 이를 통하여 고유동 콘크리트의 유동성, 충전성 및 재료분리 저항성을 평가하였으며, 모든 성능은 경시변화 90분을 기본으로 하였다.

2.3 배합변수 및 범위

병용계 고유동 콘크리트의 배합변수 및 범위는 Table 3과 같다.

Table 3 Test range for design factors and materials of the combined high flowing concrete

Sr(%)	Gv(%)	W/C(%)	Lime stone powder (C×%)	H.R.W.R (B×%)	Viscosity agent (W×%)
41~49	51~55	38~54	42.6 (Belite)	1.25 (Belite)	0.09 (Belite)
			13.5 (Slag)	2.3 (Slag)	0.136 (Slag)

배합변수는 잔골재 용적비(Sr), 굵은골재 용적비(Gv), 물/시멘트비(W/C)이며, 석회석 미분말의 치환율 · 고성능 감수제 및 증점제의 사용량은 구속수비 시험을 통해 선정하였다.⁽³⁾

3. 실험결과 및 분석

3.1 잔골재 용적비에 따른 영향분석

병용계 고유동 콘크리트는 증점제를 사용하여 점성이 어느 정도 안정적이기 때문에, 분체계 고유동 콘크리트에 비해 배합변수의 영향을 상대적으로 덜 받을 것으로 예상된다. 잔골재 용적비의 변동에 따른 영향을 평가하기 위해 유동성, 충전성, 재료분리 저항성 시험을 실시하였으며, 결과는 다음과 같다.

1) 유동성 분석

잔골재 용적비의 범위는 41~49%이며, 고로슬래그계 및 벨라이트계 시멘트를 각각 사용한 병용계 고유동 콘크리트의 잔골재 용적비에 따른 50cm 플로우 도달시간 및 깔대기 유하시간의 측정결과는 Fig. 1 및 Fig. 2에 나타난 바와 같다

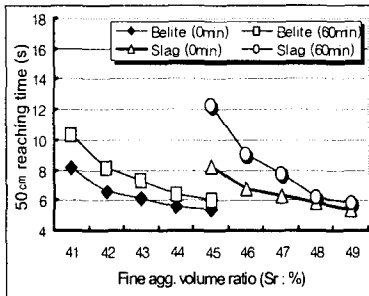


Fig. 1 50cm flowing time for Sr

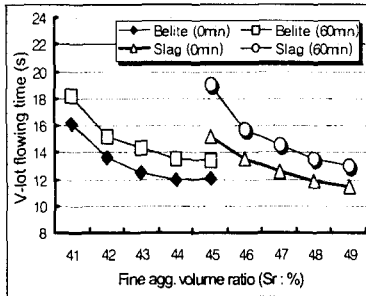


Fig. 2 V-funneling time for Sr

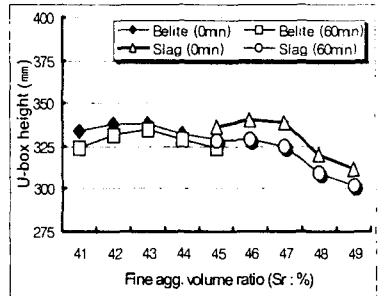


Fig. 3 U-box height for Sr

슬럼프 플로우의 측정결과와 달리 잔골재 용적비는 50cm 플로우 도달시간 및 깔대기 유하시간에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 즉, 잔골재 용적비가 감소할수록 50cm 플로우 도달시간 및 깔대기 유하시간이 증대되는 것으로 나타났다. 이는 잔골재의 용적비가 감소할수록 단위 결합재량이 증가하고 이에 따라 콘크리트의 점성이 증대되기 때문으로 사료된다. 또한, 슬래그계에 비해 벨라이트계 시멘트를 사용한 병용계 고유동 콘크리트의 경우가 안정적인 경향을 나타내었는데, 이는 벨라이트 시멘트의 흡착 및 分散作用의 차이 외에도 증점제와 석회석 미분말의 사용량에 따른 영향으로 사료된다.

2) 충전성 분석

Fig. 3은 잔골재 용적비에 따른 U-box 충전성 높이의 실험결과를 나타낸 것으로, 실험결과, 벨라이트계의 경우에는 잔골재 용적비 43%를 정점으로 충전성 높이가 감소하였으며, 슬래그계의 경우에는 잔골재 용적비가 증가할수록 S형 곡선으로 충전성 높이가 감소하는 경향을 나타내었다.

따라서, 병용계 고유동 콘크리트에서 잔골재 용적비에 따른 영향은 크지 않지만, 작업성 및 경제성을 고려하여 슬래그계 고유동 콘크리트의 경우에는 $47 \pm 1\%$ (잔골재율 환산 $50.8 \pm 0.4\%$), 벨라이트계의 경우에는 $43 \pm 1\%$ (잔골재율 환산 $48.8 \pm 0.8\%$) 범위에서 잔골재 용적비를 선정하는 것이 바람직하다.

3.2 굵은골재 용적비에 따른 영향분석

일반적으로 굵은골재 용적비는 고유동 콘크리트의 충전성 및 간극통과성에 큰 영향을 미치며, 증점제를 사용한 병용계 고유동 콘크리트에서도 유사한 영향이 나타날 것으로 사료된다. 병용계 고유동 콘크리트의 굵은골재 용적비에 따른 영향을 고찰하였으며, 실험결과는 다음과 같다.

1) 유동성 분석

굵은골재 용적비의 범위는 51, 53, 55%로, 이를 콘크리트의 전체체적에서 차지하는 단위골재량의 비율로 나타내면 각각 290, 300, 310 ℓ/m^3 이다. Fig. 4는 굵은골재 용적비에 따른 50cm 플로우 도달시간

의 측정결과를 각각 나타낸 것이다.

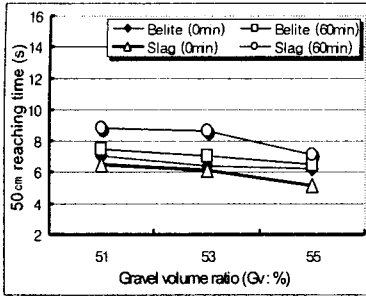


Fig. 4 50cm flowing time for Gv

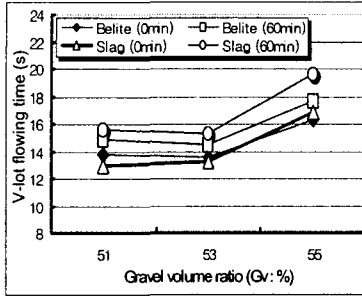


Fig. 5 V-funneling time for Gv

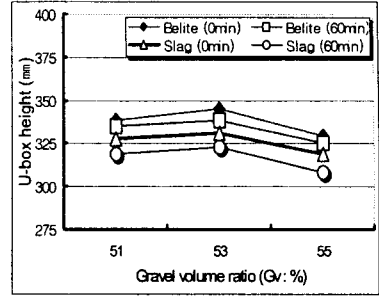


Fig. 6 U-box height for Gv

실험결과, 굵은골재 용적비가 증가할수록 슬럼프 플로우 및 50cm 플로우 도달시간이 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 굵은골재 용적비가 증가함에 따라 페이스트 및 모르타르의 체적이 감소하고 이에 따라 콘크리트의 점성이 감소되기 때문으로 사료된다.

또한, 굵은골재의 용적이 증가할수록 유동성 측면에서 굵은골재에 의한 변형저항성이 증대되는 영향도 작용한 것으로 사료된다. 그러나, 대부분의 실험결과는 본 연구에서 정한 슬럼프 플로우의 관리기준(65±5cm) 및 50cm 플로우 도달시간의 관리기준(7±3초)을 만족하였으며, 벨라이트계 시멘트를 사용한 병용계 고유동 콘크리트가 비교적 경시변화에 안정적인 경향을 나타내었다.

Fig. 5는 굵은골재 용적비에 따른 깔대기 유하시간을 측정한 결과로, 굵은골재 용적비가 51~53%인 경우에는 초기의 깔대기 유하시간이 거의 유사하게 나타났지만, 55%인 경우에는 유하시간이 매우 증대되는 것으로 나타났다. 물론, 경시변화 60분에서는 굵은골재 용적비 51%가 53%인 고유동 콘크리트보다 유하시간이 약간 증대되는 경향을 보였다. 이는 굵은골재 용적비가 증대될수록 골자입자간의 맞물림 저항이 증대되기 때문이며, 51%인 경우에는 점성의 증대에 따른 附着力의 영향으로 사료된다. 경시변화에 대한 안정성은 벨라이트계 시멘트가 3성분계에 비해 우수한 것으로 나타났다.

2) 충전성 분석

Fig. 6은 굵은골재 용적비에 따른 U-box 충전성 높이를 측정한 결과로, 굵은골재 용적비 53%를 기준으로, 굵은골재 용적비가 변화됨에 따라 U-box 충전성 높이가 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 부착력 증대 및 골재입자의 맞물림 저항에 따른 것으로 사료된다. 따라서, 병용계 고유동 콘크리트에서 굵은골재 용적비는 사용하는 시멘트의 종류에 관계없이 53±1%(굵은골재의 단위용적 300±5kg/m³)의 범위로 선정하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

3.3 물/시멘트비에 따른 영향분석

분체계 고유동 콘크리트의 경우에는 굳지 않은 콘크리트의 성상에 초점을 두었기 때문에, 물/결합재비로 배합조건을 선정하는 경우가 있으나, 이는 강도와외 상관관계가 매우 적기 때문에 강도발현을 평가하기 위해서는 물/시멘트비로 평가하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

따라서, 앞에서 선정된 최적 잔골재 용적비 및 굵은골재 용적비를 대상으로 물/시멘트비에 따른 병용계 고유동 콘크리트의 유동성, 충전성, 재료분리 저항성 및 재령에 따른 강도발현을 실험적으로 비교하였다.

이때, 물/결합재비는 고로슬래그계 시멘트의 경우 35.5%, 벨라이트계의 경우 29.2%로 일정하게 하였으며, 석회석 미분말의 치환율을 조정하여 물/시멘트비의 범위를 38~54%로 하였다.

1) 유동성

Fig. 7, Fig. 8 및 Fig. 9는 물/시멘트비에 따른 슬럼프 플로우, 50cm 플로우 도달시간 및 깔대기 유하시간의 측정결과를 각각 나타낸 것으로, 물/시멘트비가 증가할수록 슬럼프 플로우는 약간 증가하는 반면에 50cm 플로우 도달시간 및 깔대기 유하시간은 약간 감소하는 경향을 보였다. 이는 단위수량이 일정한 조건에서 물과 반응하는 단위시멘트량이 감소되어 유동성·점성에 기여하는 剩餘水는 증가하였기 때문으로 사료된다.

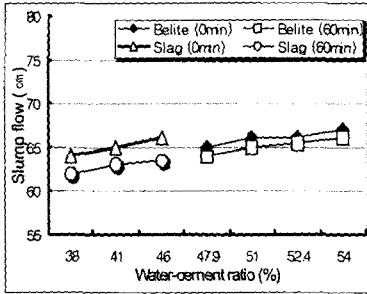


Fig. 7 Slump flow for W/C

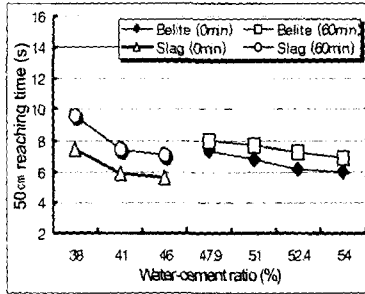


Fig. 8 50cm flowing time for W/C

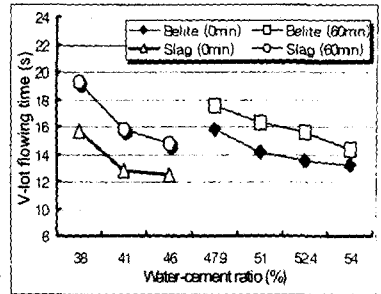


Fig. 9 V-funneling time for W/C

2) 충전성 분석

Fig. 9는 물/시멘트비에 따른 U-box 충전성 높이의 실험결과를 나타낸 것이다. 실험결과, 고로슬래그계 시멘트의 경우에는 물/시멘트비가 41%일 때 충전성 높이의 정점을 나타내었으며, 벨라이트계 시멘트의 경우에는 물/시멘트비가 51%일 때 정점을 나타내었다. 동일한 잔골재 및 굵은골재 용적비에서 이러한 현상은 결합재-페이스트 또는 모르타르의 점성과 관련된 결과로 사료되지만, 대부분의 실험결과와는 본 연구의 관리기준(300mm 이상)을 만족하는 것으로 나타났다.

굳지 않은 콘크리트의 실험결과로 볼 때, 대부분의 실험결과가 관리기준을 만족하고 있기 때문에, 재령별 압축강도 및 경제성을 고려하여 물/시멘트비를 선정하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

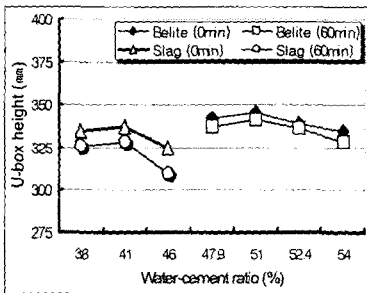


Fig. 10 U-box height for W/C

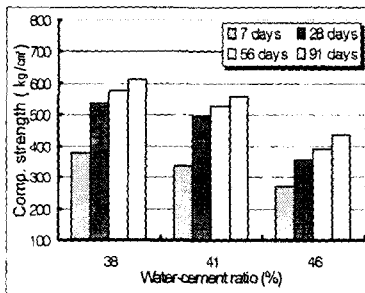


Fig. 11 Comp. strength for W/C(Slag)

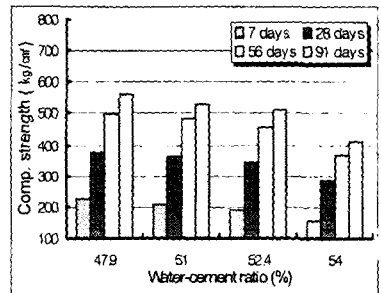


Fig. 12 Comp. strength for W/C(Belite)

3) 강도특성 분석

Fig. 10 및 Fig. 11은 고로슬래그계 및 벨라이트계 시멘트를 각각 사용한 병용계 고유동 콘크리트의 물/시멘트비에 따른 재령별 압축강도의 발현경향에 대한 실험결과를 나타낸 것이다.

재령별 압축강도 실험결과, 일반 콘크리트와 마찬가지로 병용계 고유동 콘크리트에서도 물/시멘트비는 압축강도와 상관관계를 갖는 것으로 나타났다. 즉, 재령에 관계없이 물/시멘트비가 증가할수록 압축강도는 감소하는 것으로 나타났다.

Fig. 10에서 보듯이 고로슬래그계 시멘트(보통포틀랜드 시멘트+슬래그 미분말+석회석 미분말)를

사용한 경우에는 초기강도 발현율이 매우 높은 것으로 나타났다. 91일 강도를 기준으로 할 때, 물/시멘트비에 따라 약간의 차이는 있지만, 재령 7일에 61~62%, 재령 28일에 82~88%, 재령 56일에 90~94%의 강도 발현율을 보이고 있다. 이는 고로슬래그 시멘트의 수화속도가 초기에 급격히 일어난다는 것과 석회석 미분말의 치환율이 낮다는 것 등의 원인으로 사료된다.

그러나, Fig. 11에 나타난 바와 같이 벨라이트계 시멘트(벨라이트 시멘트+석회석 미분말)를 사용한 경우에는 초기강도 발현율이 매우 서서히 일어나는 것을 알 수 있다. 즉, 91일 강도를 기준으로 할 때, 재령 7일에 37~41%, 재령 28일에 67~69%, 재령 56일에 88~92%의 강도 발현율을 나타내었다.

이는 수화속도가 매우 느린 벨라이트(C_2S)의 함량이 평균 51.4%인 시멘트의 특성 및 석회석 미분말의 치환율이 상대적으로 높기 때문으로 사료된다. 따라서, 일반 콘크리트와 마찬가지로 설계기준강도에 따라 병용계 콘크리트의 물/시멘트비를 선정할 수 있으며, 강도수준에 맞는 고유동 콘크리트를 경제적으로 설계할 수 있는 가능성도 확인하였다.

3.4 병용계 고유동 콘크리트의 최적배합 선정

LNG 저장탱크의 지하연속벽 시공사례⁽⁴⁾ 및 본 연구의 배합변수에 따른 유동성, 충전성, 재료분리 저항성 및 재령별 강도발현의 실험결과에 근거하여 Table 4와 같이 고로슬래그계 및 벨라이트계 시멘트를 사용한 병용계 고유동 콘크리트의 최적배합 조건을 각각 제시하였다.

Table 4 The optimum mix proportion for the combined high flowing concrete

Mix design factors (%)				Unit weight of materials (kg/m ³)						Remark	
W/C	W/B	G _v (ℓ/m ³)	S _r (S/a)	W	C	L.S.P (%)	S	G	A.D		V.A
41.0	35.5	53.0 (300)	47 (50.8)	180	439	69 (13.5)	812	789	11.7	0.245	Slag base
51.0	29.2	53.0 (298)	43 (48.8)	174	341	254 (42.7)	745	785	7.44	0.16	Belite base

4. 결 론

본 연구에서는 고로슬래그계 및 벨라이트계 시멘트를 각각 사용한 병용계 고유동 콘크리트에서 배합요인이 콘크리트의 성상에 미치는 영향을 분석하여 얻어진 결론을 정리하면 다음과 같다.

- (1) 석회석 미분말의 치환율 : 페이스트의 구속수비 및 모르타르의 수정배합 시험결과를 고려하여, 고로슬래그계는 시멘트 중량비(내할)의 13.5%로, 벨라이트계는 42.7%로 사용하는 것이 가장 적합하다.
- (2) 잔골재 용적비(S_r) : 작업성 및 경제성을 고려하여, 고로슬래그계는 47±1%(잔골재율 환산 50.8±0.3%), 벨라이트계는 43±1%(48.8±0.8%) 범위에서 잔골재 용적비를 선정하는 것이 바람직하다.
- (3) 굵은골재 용적비(G_v) : 충전성 및 간극통과성을 확보하기 위하여, 굵은골재 용적비의 범위를 53±1%(골재용적 300±5 ℓ/m³) 범위에서 배합요인을 관리하는 것이 바람직하다.
- (4) 물/시멘트비(W/C) : 설계기준강도 400kg/cm²를 대상으로, 고로슬래그계는 41±1%, 벨라이트계는 51±2%를 최적조건으로 선정하는 것이 가장 적합하다.

참고문헌

1. 河井徹・吉川章三・村上邦夫, “タイプ別高流動コンクリートの特性比較に關する實驗的研究,” 高流動コンクリートシンポジウム論文報告集, 土木學會コンクリート技術シリーズ No.10, pp.77~80, 1996.
2. 日本土木學會, “高流動コンクリート施工指針”, 93コンクリートライブラリー.
3. 權寧鎬, 金武漢, 全成根, “사용재료의 품질변동이 高流動 콘크리트의 특성에 미치는 영향,” 한국콘크리트학회 논문집 제12권2호, 2000.4 pp.99~107.
4. 青木茂他, “國內最高域の高強度コンクリートによる連續地中壁の施工,” セメント・コンクリート, No. 655, 2001.9, pp.24~30.