

부순모래를 사용한 초유동 콘크리트의 現場適用

The Practical Application on the Super Flowing Concrete using Manufactured Sand

朴 沘 林*
Park, Chil Lim

權 寧 鎬**
Kwon, Yeong Ho

李 相 洙***
Lee, Sang Soo

元 澈***
Won, Cheol

Abstract

In this paper, we described the basic elements(flowability, fillingability, elapsed time, pumpability, no-vibrating effects, and etc.) required for the application and quality control of the super flowing concrete(SFC) in Top Down site. Also, manufactured sand and fly ash were used for investigating characteristics of SFC through various experiments(mix design, optimum mix condition) before placing the concrete in site.

As a result of this project, the developed SFC shown high flowability and self-fillingability in the joint good enough for the requirement. Furthermore, inner uniformity of the no-vibrated concrete was verified by testing reformed space. Therefore, quality control and compressive strength(360kg/cm²) can be secured by using SFC even without vibrating.

1. 序 言

국내에 고성능 콘크리트⁽¹⁾가 소개된 이래, 기초물성에 관한 연구⁽²⁾가 진행되고 있으며, 특히 1996년에 완료된 건설교통부의 국책과제인 "초유동 콘크리트의 개발 및 실용화 연구"의 성과로 몇차례의 현장적용이 시도된 바 있다.^{(3),(4)} 본 연구에서는 실용화 일환으로 大宇建設이 Top Down공법으로 시공중인 都心地 高層의 地下構造物에 초유동 콘크리트를 시공한 결과를 서술하고자 한다. 특히, 이번에 적용된 초유동 콘크리트는 잔골재로 부순모래, 결합재로 플라이애쉬를 사용한 것과 도심지 교통혼잡에 따른 품질관리 및 Top Down공법에 적합한 유동성·충전성·재료분리 저항성 등의 요구로, 지금까지 레미콘業界에서도 생산경험이 없는 상태에서 基本的인 材料特性, 配合設計, 配合強度의 算定, 最適配合條件 및 現場에서의 品質管理事項을 수행하였으며, 이를 중심으로 시공결과를 분석·정리하고자 한다.

2. 現場概要

적용현장은 도심지의 중심부에 위치한 관계로 교통혼잡을 고려한 운반시간에 따른 품질관리가 중요한 요구사항이며, 초유동 콘크리트를 적용한 부위는 地上2層, 地下7層의 高層建物에서 지하 2~3층까지의 Slurry wall(두께 35cm), 코아부 및 기둥(100×100cm) 등이다. 사진 1은 構造物의 全景을 나타낸 것이다. 특히, Top Down工法을 채용하고 있기 때문에 地盤掘削과 콘크리트의 타설작업을 동시에 실시해야 할 뿐만 아니라, 각층을 2단계로 나누어 콘크리트를 충전시켜야 한다. 따라서, 거푸집을 설치할 때, 적용되는 초유동 콘크리트의 유동구배에 적합한 거리의 투입구를 설치하도록 하였다.

* (株)大宇建設技術研究所 所長(副社長·工學博士)

** (株)大宇建設技術研究所 建築研究室 先任研究員

*** (株)大宇建設技術研究所 建築研究室 主任研究員

3. 使用材料의 평가 및 배합설계

3.1 使用材料의 評價

二成分系 초유동 콘크리트의 材料로 F급 플라이애쉬를 사용하였으며, 기타 재료는 레미콘 工場에서 使用하고 있는 재료를 사용하였다. 플라이애쉬는 保寧火力發電所에서 生産되는 것으로 비표면적이 3,124 cm²/g, 비중이 2.23이었다. 굵은골재는 議政府産 25mm 碎石이며, 잔골재는 南洋灣의 세척모래 및 議政府産 부순모래를 사용하였다. 골재의 품질시험 결과, 표 1에 나타난 바와 같이 KS 및 JIS規準에 규정된 品質規準 을만족하였다.

부순모래가 초유동 콘크리트의 성능에 미치는 영향을 평가하기 위하여, 기존에 제안된 試驗裝置를 사용하여 표 2에 나타난 항목에 대해 부순모래의 置換率에 따른 재료특성, 모르타르 및 콘크리트 특성을 측정하였다.

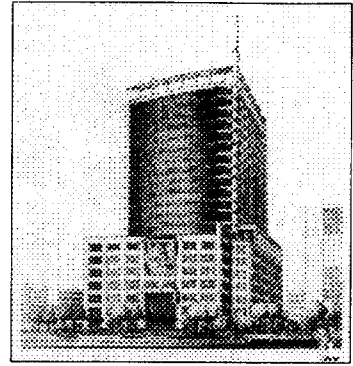


사진 1 현상적용 구조물 전경

표 1 골재의 품질시험 결과

골재종류 품질항목	세척 모래	부순모래			굵은골재 (25mm)
		결과	KS규준	JIS규준	
絶乾比重	2.60	2.64	2.5以上	2.5以上	2.61
粗粒率(F.M)	2.58	2.90	-	-	6.71
吸水率(%)	0.93	0.48	3.0以下	3.0以下	1.12
입형판정實積率	58.1	54.6	53以上	53以上	58.2
單位重量(kg/m ³)	1,498	1,710	-	-	1,525
安定性(%)	-	1.56	10以下	10以下	-

표 2 부순모래의 성능평가 방법

재료특성 (置換率)	모르타르 특성 (置換率)	콘크리트 특성 (品質性能)
- 粒度	- 相對폴로우 面積比	- 슬럼프 폴로우 (60±5cm)
	- 相對갈대기 速度比	- 流下時間 (10±5秒)
- 粗粒率	- 流動性評價 - 粘性評價	- 間隙通過性 (5cm以下)

3.2 超流動 콘크리트의 配合設計

초유동 콘크리트의 配合設計는 기존연구⁽⁵⁾에 따라 流動性·充填性·材料分離 抵抗性을 만족하는 배합수, 시멘트, 잔·굵은골재, 공기량의 비율, 高性能 減水劑 및 AE劑 使用量을 결정하기 위한 변수로 물/結合材比(W/B), 拘束水比(β_p), 잔골재 容積比(S_r) 및 굵은골재 容積比(G_v) 등을 측정하였으며, 이에 따른 재료량 결정은 다음식에 따른다. 여기서, K_p는 결합재에 따른 水比係數이다.

$$A = \text{目標空氣量}(Air) \text{ ----- (식1)} \quad G = G_v \times G_d \times (1-A) \text{ ----- (식2)} \quad S = S_r \times (1-A-G) \text{ ----- (식3)}$$

$$W = (1-A-G) \times (1-S_r) \times \frac{K_p \times \beta_p}{1+(K_p \times \beta_p)} \text{ ----- (식4)} \quad C = (1-A-G) \times (1-S_r) \times \frac{1}{1+(K_p \times \beta_p)} \text{ ----- (식5)}$$

또한, 이성분계 초유동 콘크리트의 경우에는 粉体の 置換率에 따른 結合材(C+FA)式 또는 각각의 산정식에 따라 산정하는 방안이 필요하며, 이때 각각의 비중 및 구속수비를 고려해야 한다.

3.3 배합강도 산정

초유동 콘크리트의 배합강도는 다음식에 의해 산정된 값중에서 큰 값을 사용한다.

$$F \geq 0.85 \cdot (F_q + T) + 3 \cdot \sigma \text{ ----- (식6)} \quad F \geq F_q + T + 1.73 \cdot \sigma \text{ ----- (식7)}$$

여기서, F는 배합강도, F_q는 品質基準強度로 設計基準強度에 30kg/cm²을 더한 값이다. 또한, 強度의 最小補正値은 品質基準強度와 溫度補正値(T)의 85%로, 正規偏差는 1.73(不良率 4%)을 적용하였으며, 표준편차(σ)는 30kg/cm²(0.1F_q)로 하였다.

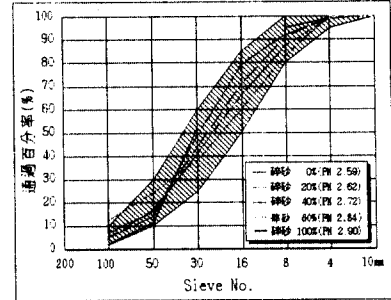
4. 시험배합 및 결과분석

4.1 부순모래의 치환율에 따른 特性變化

부순모래를 사용한 초유동 콘크리트의 流動性, 充填性, 材料分離 抵抗性을 만족하는 최적배합조건의 산정을 위해, 부순모래의 치환율에 따른 잔골재의 材料特性 및 이에 따른 모르타르, 콘크리트의 특성 변화를 실험적으로 검토한 결과는 다음과 같다.

(1) 부순모래의 치환율에 따른 材料特性

그림 1은 부순모래의 치환율에 따른 체가름 및 조립을 시험결과를 나타낸 것이다. 시험결과, 부순모래의 치환율이 증가할수록 微粒粉(F.M)이 증대하는 경향을 나타내었지만, 중간입자(#30~8)는 감소하는 것으로 나타났다. 따라서, 이러한 경향이 모르타르 및 콘크리트의 특성에 미치는 영향을 함께 검토하여 초유동 콘크리트의 요구성능을 만족하는 최적치환율의 산정이 필요하다.



(2) 부순모래 치환율에 따른 모르타르의 특성변화

표 3은 부순모래의 치환율에 따른 모르타르의 유동특성을 나타낸 것으로, F급 플라이애쉬를 30%치환한 결합재의 구속수비(β_p)는 0.96이다. 특히, 플라이애쉬의 치환율을 30%로 결정한 것은 치환율이 증가할수록 拘束水比가 減少되기 때문에 流動性 측면에서는 유리하지만, 初期強度發現을 고려한 것이다.

표 3 부순모래의 치환율에 따른 모르타르의 特性

碎砂 置換率 (%)	拘束 水比 (β_p)	W/B (%)	S _r (%)	單位材料量(g)				高性能 減水劑 (B×%)	測定結果				壓縮強度 (kg/cm ²)		
				W	C	FA	부순 모래		바닷 모래	플로우 (cm)	面積比 (Γ_p)	流下時間 (T _r , sec)	速度比 (R _m)	7日	28日
0	0.96	37	40	409	950	407	0	1566	1.6	27.2×27.3	6.43	7.5	1.33	440	611
20							313	940		26.5×26.1	5.92	9.0	1.11	486	626
40							626	1253		25.1×25.0	5.27	10.5	0.95	517	633
60							940	626		20.6×20.4	3.20	12.8	0.78	540	669
80							1253	313		16.2×16.0	1.59	21.4	0.47	512	631
100							1566	0		2.1	25.3×25.5	5.45	16.0	0.63	506

여기서, 물/결합재비는 페이스트의 相對플로우 面積比에서 산정한 拘束水比와 流動性을 고려하여 정한 값이며, 잔골재 용적비(S_r)는 모르타르에서 잔골재가 차지하는 容積比를 나타낸 것이다. 相對플로우 면적비(Γ_p) 및 流下速度比(R_m)는 기존의 제안식으로 산정하였다.^{(1),(5)}

實驗結果, 동일배합 조건에서 부순모래의 置換率이 증가될수록 相對플로우 面積比는 減少하는 것으로 나타났는데, 이는 부순모래의 粒形이 거칠고 각진 입자가 많기 때문에 流動性에 기여하지 못한 것으로 사료된다. 또한, 置換率이 증가하면 모르타르용 깔대기 流下速度比가 감소되는 경향을 보이는데, 이는 粘性의 변화보다 粒子間의 摩擦抵抗이 증대되었기 때문으로 사료된다. 압축강도 측정결과, 치환율 60%까지는 비례적으로 強度가 증가하는 경향을 나타내었다. 따라서, 高性能 減水劑의 첨가율을 1.6%로 할 때, 요구성능을 만족하는 부순모래의 치환율은 40~50%정도가 적합할 것으로 평가된다.

(3) 부순모래의 치환율에 따른 콘크리트의 特性

물/결합재비, 잔골재 용적비, 굵은골재 용적비(G_V)가 일정할 때, 부순모래 치환율에 따른 초유동 콘크리트의 배합조건 및 특성실험 결과는 표 4와 같다. 이때, 굵은골재의 實積率은 58.2%이다.

실험결과, 모르타르의 실험결과와 마찬가지로 부순모래의 치환율이 증가할수록 流動性은 저하되고, 流下時間은 증대되었지만, 最終流動速度, 空氣量 및 壓縮強度는 큰 차이가 없었다. 따라서, 부순모래

의 치환율을 50%이하로 결정하였다. 또한, 잔골재 용적비에 대한 실험결과, 46%일 때가 유동성, 충전성 측면에서 가장 우수한 것으로 나타났다.

표 4 부순모래의 치환율에 따른 초유동 콘크리트의 특성

배합조건(%)		單位材料量(kg/m ³)						S.P (%)	부순모래 置換率 (%)	슬럼프 플로우				空 氣 量 (%)	流下時間		Box 間隙 通過性 (cm)	壓縮強度 (kg/cm ²)	
W/B	Gv	Sr	C	F/A	W	S	G			플로우 (cm)	50cm 時間 (sec)	50cm 速度 (cm/s)	最終 速度 (cm/s)		○型 (sec)	□型 (sec)		7일	28일
37	50	40	392	168	207	709	727	1.5	0	64×61	5.6	2.7	1.6	4.0	7.2	9.4	2.2	245	360
								1.5	20	62×60	5.1	2.9	1.5	3.8	8.3	11.3	2.5	250	-
								1.6	50	65×64	4.9	3.1	1.0	4.2	14.2	15.6	2.0	254	-
								1.8	100	66×64	4.4	3.4	1.3	3.2	15.0	-	14.0	248	-

• S.P : 高性能 減水劑(나프탈렌계)

4.2 레미콘 공장의 시험배합

(1) 레미콘 공장選定 및 品質項目

초유동 콘크리트를 제조할 레미콘 공장은 현장에서 약 30분 거리에 있으며, 工場の 設備概要는 표 5와 같다.

본 공장은 低發熱 콘크리트의 製造經驗이 있을 뿐만 아니라, 二成分系 초유동 콘크리트의 제조에 필요한 플라이애쉬 사이로 및 自動制御裝置가 설치되어 있어서 초유동 콘크리트의 제조 및 品質管理에 적합한 것으로 평가되었다.

초유동 콘크리트의 品質項目은 슬럼프 플로우와 깔대기 유하 시간, Box 間隙通過性 및 過密配筋充實性 시험으로 하였다.

(2) 레미콘 공장의 시험배합 결과

실내실험 결과에 근거하여 잔골재 용적비 46%, 굵은골재 용적비 50% 및 부순모래의 조립율을 고려하여 물/결합재비 35, 37%로 레미콘 공장에서 시험배합을 실시하였다.

표 6은 시험배합 결과로 사용한 믹서는 용량이 180m³/hr인 one shaft형이며 배합방법은 一括投入方法, 배합시간은 50초로 하였다.

대부분 유동특성을 만족하였지만, 배합강도(360kg/cm²)를 고려하여 물/결합재비 35%를 선정하였다.

(3) 초유동 콘크리트의 경시변화

레미콘 공장에서 타설현장까지 운반시간을 고려한 經時變化 實驗을 실시하였다. 에지데이터에 4m³의 콘크리트를 적재한 후, 60분동안 15분 간격으로 流動特性 및 空氣量을 측정하였으며, 측정결과는 그림 2 및 그림 3과 같다.

측정결과, 運搬時間이 경과할수록 슬럼프 플로우 및 空氣量은 감소하지만, 流下時間 및 間隙通過性 높이는 증대하는 것으로 나타났다. 따라서, 목표성능을 유지하기 위해서는 제조에서 현장타설까지 소요되는 시간을 45~50분정도로 가정하여 初期 슬럼프 플로우를 증대하거나, 현장에서 고성능 감수제를 후첨가하는 방안이 필요하였다.

표 5 레미콘 공장의 設備概要

區分	工場設備 및 仕様
믹서형식	One Shaft (180, 150m ³ /hr) 배합용량 : 2m ³ /회
	Tilting Mixer (220m ³ /hr) 배합용량 : 6m ³ /회
사이로	시멘트 사이로(27) 플라이애쉬 사이로(17)
骨材호퍼	부순모래 + 세척모래 쇄석용(25mm)

표 6 공장의 시험배합 결과 (부순모래 50%, Sr = 46%)

區分	W/B (%)	S.P (%)	슬럼프 플로우			空 氣 量 (%)	流下 時間 (秒)	間隙 通過性 (cm)
			슬럼프 (cm)	50cm 速度 (cm/s)	最終 速度 (cm/s)			
배합명								
FA-37-G50	37	1.6	64×63	7.5	1.6	3.0	3.0	2.5
FA-35-G50	35	1.6	65×63	2.5	1.5	3.7	5.1	2.0

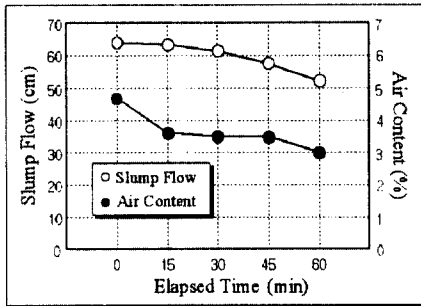


그림 2 經時變化에 따른 슬럼프 플로우 · 공기량

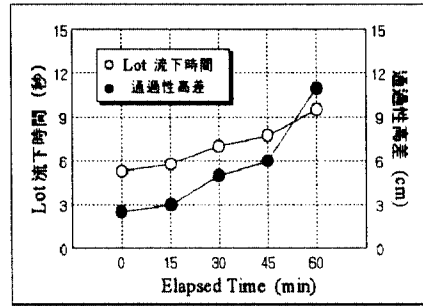


그림 3 經時變化에 따른 流下時間 · 間隙通過性

5. 현장시공 및 결과분석

5.1 適用個所 및 品質管理項目

이하의 掘削工事와 콘크리트의 타설계획은 그림 4와 같이 상부 기둥과 Slurry Wall의 경우, 슬래브에 설치된 管으로 타설하며 하부 기둥과 Wall의 경우, 미리 타설된 상부 콘크리트와의 접합부에 타설구를 설치하고 후타설하도록 하였다. 따라서, 바이브레이터에 의한 다짐이 불가능하였기 때문에, 표 7과 품질관리 항목을 설정하여 철저한 품질관리를 실시하였다.

여기서, 타설높이와 유동구배는 매우 밀접한 관계가 있기 때문에 거꾸집 조건에 대한 유동성, 충전성을 함께 고려하여 결정하도록 하였다. 또한, 압송전·후의 品質變動 및 騒音을 測定하였으며, 타설부재의 조건을 고려하여 타설속도는 24m/hr로 일정하게 하였다.

초유동 콘크리트의 제조는 3m³/회로 하였으며, 배합시간은 50秒, 운반은 에지테이터에 6m²씩 배차간격은 20분을 기본으로 하여, 연속타설 및 交通停滯를 고려한 대기시간을 最小化하였다.

현장 받아들이기에서 초유동 콘크리트의 검사항목은 슬럼프 플로우, 공기량, 깔대기 유하시간, Box 간극통과성 높이차를 중심으로 실시하였으며, 재령별 압축강도를 측정하기 위한 $\phi 100 \times 200\text{mm}$ 供試體를 제작하였다.

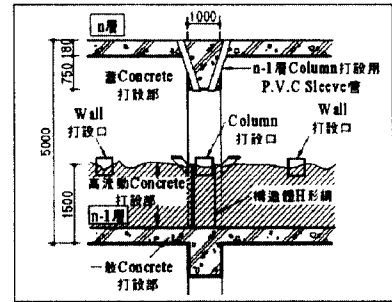


그림 4 콘크리트의 타설계획(상·하부)

연속타설 및 交通停滯를 고려한 대기

표 7 타설시의 콘크리트 품질관리 항목

타설 높이 (m)	流動 勾配 (m)	打設 速度 (m ³ /hr)	養生 方法	거꾸집 補強	備考
1未滿	4~5	24	濕潤	液壓 水密性	騒音 測定

5.2 現場施工의 結果考察

(1) 굳지않은 콘크리트의 특성결과

현장 받아들이기에서 콘크리트의 품질검사는 슬럼프 플로우의 경우 全車에 대해 실시하고, 기타 시험은 2車에 1회씩 실시하였다. 2차에 걸친 초유동 콘크리트의 타설에서 측정된 실험결과는 표 8과 같다. 슬럼프 플로우의 평균값은 목표값 (60±5cm)을 만족하였으며, 운반시간에 따른 슬럼프 플로우의 손실은 2~5cm 정도로 나타났다.

또한, 공기량의 경우, 목표값(4.5±1.5%)은 만족하였지만 운반에 따른 공기량 손실이 큰 것으로 나타났다기 때문에, 내구성을 요하는 구조물의 경우에는 공기량 관리에 유의해야 할 것으로 사료된다.

표 8 現場施工의 結果(流動性 및 充填性)

區分 檢査No.	S.P (%)	슬럼프 플로우		空 氣 量 (%)	流下 時間 (秒)	間 隙 通過性 (cm)	
		플로우 (cm)	最終 速度 (cm/s)				
1次 평균	1.8	62×61	3.06	1.43	3.6	6.7	4.13
2次 평균	1.7	59×57	3.18	1.25	3.3	6.9	3.80

슬럼프 플로우의 최종속도는 1.0~1.6cm/s의 범위로 流動勾配 및 타설구 설치계획에 적합한 것으로 평가된다. 또한, 流下時間 및 間隙通過性 높기차도 목표값을 만족하였다. 間隙通過性 시험후의 試料로 골재 체가름시험을 실시한 결과, 骨材容積差는 배합조건에 비해 3.2~4.8%정도로 양호하였다.

또한, 압송후의 슬럼프 플로우 손실은 거의 없었으며, 세척모래에 부순모래를 50%혼입한 콘크리트의 염분함유량은 0.117~0.158kg/m³범위였다.

(2) 強度測定 結果

그림 5는 強度試驗結果를 나타낸 것이다. 1차타설의 경우, 재령7일에서 220~250kg/cm², 28일에서 340~390kg/cm²이며, 2차타설의 경우, 7일에서 220~240kg/cm², 28일에서 350~380의 범위를 나타내어, 평균값이 배합강도(360kg/cm²)를 만족하였다. 또한, F₇/F₂₈은 약 65%정도로 플라이애쉬 치환(30%)이 초기강도 발현에 영향을 미친 것으로 평가된다.

(3) 기타특성

Top Down 공법에 초유동 콘크리트를 시공한 결과, 自己充填性만으로 다짐없이 過密配筋 및 형상이 복잡한 부재에 콘크리트를 원활히 타설하게 되어, 다짐작업에 필요한 인원을 대폭 줄일수 있었다. 또한, 무다짐 시공에 따라 현장소음도 70~85dB(일반 80~110dB)정도로 저감할 수 있었으며, 콘크리트 표면도 양호하여 보수가 불필요하였고 상·하부간의 접합부도 밀실한 충전성을 나타내었다.

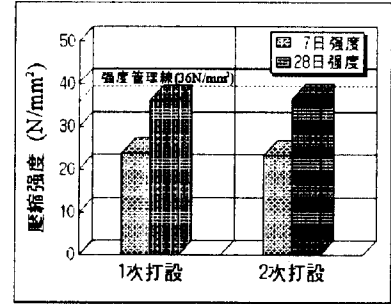


그림 5 압축강도의 평균값

6. 결론

부순모래 및 플라이애쉬를 사용한 초유동 콘크리트의 현장시공 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 초유동 콘크리트에 부순모래를 사용하여 양호한 결과를 얻었지만, 배합설계를 할 때 조립율에 대한 보완으로 결합재량을 약간 증대시켜야 한다.
- 2) 초유동 콘크리트의 제조경험이 없는 레미콘 공장과 공동실험을 실시한 결과, 초유동 콘크리트의 배합설계·제조 및 품질관리에 대해 원활한 기술이전이 가능하였다.
- 3) 실시공에 있어서 초유동 콘크리트의 목표성능인 슬럼프 플로우(60±5cm), 유하시간(10±5秒), 간극 통과성 높이차(5cm이하), 체가름 시험결과(5%이하) 등을 만족하였다.
- 4) 초유동 콘크리트의 배합강도는 불량률 4%, 표준편차 30kg/cm²로 규정한 개정 JASS 5의 배합강도식에 따라 실시하였으며, 실시공에서는 설계기준강도(270kg/cm²)에 따른 배합강도(360kg/cm²)를 확보할 수 있었다.
- 5) 콘크리트의 다짐작업이 필요없기 때문에 인력절감, 騒音低減 및 양호한 콘크리트의 표면상태, 접합부의 充填性 확보 등으로 일반 콘크리트에 비해 품질관리 및 경제성 측면에서 유리하며, Top Down공법에 확대적용할 수 있는 기회가 되었다.

참고문헌

- (1) 岡村 甫., “ハイパフォーマンスコンクリート”, 技報堂, 1992.
- (2) 金和中 外., “超流動 콘크리트의 개발에 관한 基礎的 研究”, 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 제 7권1호, pp.42~53, 1995.5
- (3) 朴泚林, 權寧鎭, 李相洙, 元澈., “超流動 콘크리트의 2차제품 적용에 관한 연구”, 한국콘크리트학회 봄학술 발표회 논문집, 제9권1호, pp.285~291, 1997.5
- (4) 朴泚林, 權寧鎭., “高性能 콘크리트 開發 및 實用化 研究”, 한국콘크리트학회, 논문집 제7권5호, 1995.10. pp.42~50
- (5) 朴泚林, 安宰鉉, 權寧鎭, 李相洙., “超流動 콘크리트의 配合設計에 관한 연구”, 한국콘크리트학회 가을학술 발표 논문집, 제8권2호, 1996.11, pp.283~289