

超流動 콘크리트의 適用事例

The Practical Application on the Super Flowing Concrete (Inchon subway 1-10 section)

朴 沘 林^{*} 金 性 云^{**} 安 宰 賢^{**} 權 寧 鎬^{***} 李 相 洙^{****}
Park, Chil Lim Kim, Seong Woon Ahn, Jae Hyen, Kwon, Yeong Ho Lee, Sang Soo

Abstract

This study describes the result for the placement of the super flowing concrete(SFC) in under-pinning-top-slab which is located Incheon subway section 1-10 where, due to heavy re-inforcements and limited working space, it was difficult to place concrete.

After placing 600m³, smooth construction and quality control were possible due to the good flow-ability, self-fillingability, and the resistance of segregation of the SFC itself. Furthermore, economical efficiency was obtained through not only the reduction of the works, labors, and site noise but also the efficient construction control.

Because of the crack prevention, high strength, and a fine concrete surface, this study could be considered as a momentum to be adopted generally for applying the proposed method to the difficult subway construction area in the near future.

1. 序 言

본 연구는 언더피닝 공법으로 시공중인 인천지하철의 상부슬래브에 적용한 초유동 콘크리트의 제조, 배합설계 및 현장 품질관리에 관한 연구결과를 분석한 것으로, 지금까지의 적용사례^{1),2)}는 대부분 건축물에 국한되었지만, 본 연구를 통해 지하철 구조물에 적용하게 되므로서 적용범위를 한층 더 넓히는 계기가 되었다. 시공이 어렵고 중요한 국가 기간산업인 지하철 구조물인 본 공사에 초유동 콘크리트를 적용하게 된 배경은 다음과 같이 정리할 수 있다.

- (1) 실용화에 대한 자료 및 경험축적
 - (2) 구조물의 복잡화 및 시공의 어려움
 - (3) 발주처·감리단·시공사의 신기술 마인드 및 필요성
 - (4) 레미콘 제조설비 및 공급기술 확보
- 특히, 시공의 어려움과 공사관련 기관들의 적극적인 적용의지 및 품질관리에 대한 높은 의식은 초유동 콘크리트의 실용화에 매우 바람직한 현상으로 자리매김을 하는 계기가 되었다.

본 연구에서는 현장조건 및 레미콘의 사용재료와 제조시스템에 적합한 초유동 콘크리트의 최적배합비를 도출한 후, 현장에서 요구하는 성능을 만족하는 초유동 콘크리트의 제조·운반·타설·마감 및 품질관리 등을 대상으로 고품질 시공성에 대해 서술하고자 한다.

2. 공사개요 및 시공계획

*正會員 (株)大宇建設技術研究所 所長(副社長·工學博士) **正會員 (株)大宇建設技術研究所 土木研究室長
正會員 (株)大宇建設技術研究所 建築研究室長 *正會員 (株)大宇建設技術研究所 前任研究員
*****正會員 (株)大宇建設技術研究所 主任研究員

2.1 工事概要

적용현장은 인천시에서 건설중인 인천지하철 1-10공구로 공사개요는 표1.과 같다.

표1. 적용현장의 공사개요

구분	내용	구분	내용
현장명	인천지하철 1-10공구 (간석오거리)	구조물 특징	과밀배근, 작업공간 협소
타설부위	Under Pinning Top Slab(W17m×L40m×t1.2m)	발주처	인천광역시 지하철건설본부
적용기간	1998. 5.11 ~ 1998. 5.20	감리단/시공사	대우건설/동부건설

적용부위의 상세는 그림1. 및 그림2.와 같다.

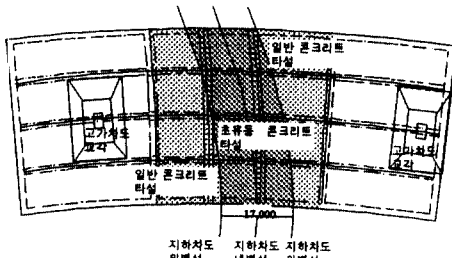


그림1. 적용구조물의 평면도

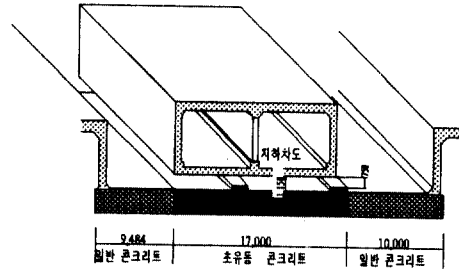


그림2. 적용구조물의 단면도

2.2 施工計劃

적용현장은 교통이 혼잡한 5거리일 뿐 아니라 타설부위인 지하차도와 상부슬래브와의 사이가 10~40cm 정도의 협소한 공간이기 때문에, 시공계획을 세밀히 세워야 한다. 그림3.은 초유동 콘크리트의 현장 시공계획을 나타낸 것이다.

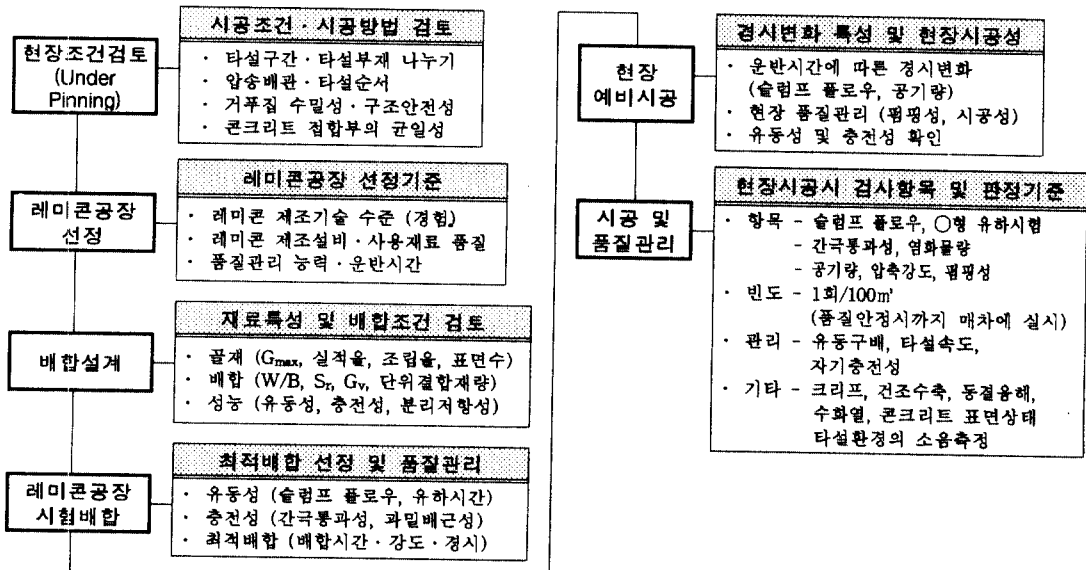


그림3. 초유동 콘크리트의 현장 시공계획

2.3 압송배관 및 타설계획

초유동 콘크리트의 압송배관 및 타설계획은 그림4와 같다. 현장조건에 따라 타설 작업이 곤란한 차도하부는 초유동 콘크리트로 타설하고, 양쪽은 일반 콘크리트로 타설하도록 계획하였다.

따라서, 일반 콘크리트를 이동식 펌프로 먼저타설하여 경계블록을 형성하면서 포터블 펌프로 초유동 콘크리트를 타설해 나가는 방안을 채택하였다.

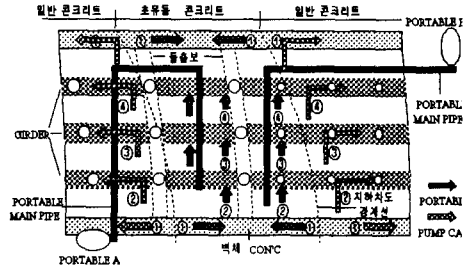


그림4. 압송배관 및 타설계획

3. 레미콘工場 選定 및 시험배합

3.1 레미콘공장 선정

인천지역에서 초유동 콘크리트의 제조경험이 있는 레미콘공장은 드물기 때문에, 제조설비 및 운반거리를 고려하여 공장을 선정한 후, 본 연구팀과 공장의 품질관리팀이 공동으로 제조·품질관리를 담당하도록 하였다.

표2. 레미콘 플랜트의 설비 및 재료사양

구분	설비사양	구분	재료사양
Mixer Type	· Twin Shaft 2기 (240m ³ /hr) · 배합용량 (4m ³ /회)	골재	· 잔골재 (세척모래) · 굵은골재 (19mm쇄석)
Silo	· 시멘트 사이로 (2기) · 플라이애쉬 사이로 (1기)	시멘트	· S社 (보통 포틀랜드 시멘트)
계량용량	· 플라이애쉬 (300kg/회) · 혼화제 (40kg/회)	혼화재료	· 플라이애쉬 (보령산 F급) · 고성능감수제 (J社 Phoenix)

이러한 조건에 적합한 레미콘공장을 조사한 결과, 현장에서 30분정도가 소요되며 비교적 제조설비 및 품질관리 능력이 있는 것으로 평가되는 경인레미콘 W.C공장을 공급처로 선정하였다. 배척 플랜트(이하, B/P)의 설비조건은 표2와 같다.

3.2 사용재료의 특성

레미콘공장에서 사용되는 시멘트와 플라이애쉬의 품질시험 결과는 표3과 같다. 또한, 굵은골재는 용원석산의 19mm쇄석이며, 잔골재는 남양만의 세척모래로 품질시험 결과는 표4와 같다. 그리고, 고성능 감수제는 J社의 나프탈렌제를 사용하였다.

표3. 시멘트의 품질시험 결과

구분 종류	강열감량 (%)	분말도 (cm/g)	안정도 (%)	용결시간 (hr:min)		압축강도 (kg/cm ²)		
				초결	중결	3일	7일	28일
시멘트	0.71	3,260	0.05	3:83	6:10	195	293	397
플라이애쉬	3.91	3,187	0.03	6:25	9:05	121	193	325

표4. 골재의 품질시험 결과

구분 종류	비중	흡수율 (%)	조립율 (F.M)	실적율 (%)	안정성 (%)	단위중량 (kg/m ³)
굵은골재	2.63	0.62	6.57	58.3	5.15	1,530

3.3 초유동 콘크리트의 평가항목

초유동 콘크리트의 성능은 표5의 항목으로 평가하였으며, 시험장치 및 규정값은 기존의 제안³⁾ 및 지금까지의 실적^{4),5)}을 근거로 정하였다. 유동성 평가는 슬럼프 플로우(65±5cm), 깔대기 유하시험(10±5초)을 대상으로 하였으며, 충전성 평가는 간극통과성 박스시험(5cm이하), 과밀배근 충전성을 대상으로 재료분리 저항성도 함께 검토하였다.

3.4 레미콘 시험배합

배합설계 방법에 따라 구속수비, 모르타의 특성을 검토한 후에 플라이애쉬 30%를 시멘트의 중량비(내할)로 치환하도록 결정하였다. 레미콘 시험배합을 실시하기 전에 사용재료에 대한 실내 시험배합을 실시하였으며, 결과는 표5와 같다. 이 때, 플라이애쉬 30%를 치환한 결합재의 구속수비(β_p)는

1.03, 변형계수(E_f)는 0.08로, 이를 배합설계에 반영하였다. 시험배합은 60ℓ용량의 강제식 믹서를 사용하였고, 배합방법은 일팔투입법, 배합시간은 2분으로 하였다.

고성능 감수제의 첨가량은 1.5%로 동일하였다. 실험결과, FA-35-177 및 FA-37-180조건이 우수한 유동성·충진성을 나타내어, 실내 최적배합으로 결정하였다. 실내 최적배합 조건을 대상으로 B/P의 시험배합을 실시하였으며, 실험결과는 표6.과 같다.

표5. 레미콘 공장의 실내시험 결과

배합명	배합조건(%)			슬럼프 플로우 (cm)	유동 속도 (cm/s)	유하 시간 (sec)	간극 통과성 (cm)
	W/B	Sr	Gv				
FA-35-177*	35	47	51	66.0	0.92	11.2	4.0
FA-35-184	35	47	52	67.0	0.34	8.0	6.0
FA-37-180	37	48	52	65.0	0.77	9.0	4.5

* FA-35-177 : 플라미에쉬-물/결합재비-단위수량 의미

표6. 배치 플랜트의 시험배합 결과

배합명	배합조건(%)			슬럼프 플로우 (cm)	유동 속도 (cm/s)	유하 시간 (sec)	간극 통과성 (cm)
	W/B	Sr	Gv				
FA-35-177	35	47	52	57.0	0.67	8.6	4.0
				68.5*			
FA-37-180	37	48	52	52.0	0.81	4.0	7.0

* 고성능 감수제 첨가율 : 1.8% (나머지는 1.5%), 배합시간 : 60초

실험결과, 고성능 감수제 첨가량을 0.3% 증대시킨 FA-35-177조건이 가장 우수한 것으로 나타났다. 이 때, 공기량은 배합조건에 관계없이 3.5% 정도를 나타내었다.

3.5 경시변화 및 최적배합

레미콘 시험배합 결과를 토대로 B/P에서 타설현장까지의 운반시간을 고려한 경시변화 특성을 실험하였으며, 결과는 표7.과 같다. 실험결과, 시간경과에 따라 슬럼프 플로우 및 공기량은 감소되는 반면에 유하시간은 증대되었는데, 이는 고성능 감수제의 분산성능 저하 및 상대적인 점성증대로 사료된다. 따라서, 타설시간을 1시간 이내로 설정하고 현장에서 고성능 감수제의 후첨가없이 타설하도록 결정하였으며, 최적배합 조건은 물/결합재비 35%, 잔골재 용적비 47%, 굵은골재 용적비 52%로 정하였다.

표7. 경시변화에 따른 특성결과

경과시간	결과	슬럼프 플로우 (cm)	공기량 (%)	유하 시간 (sec)	압축강도 (kg/cm ²)	
					7일	28일
직후 (0분)		68.0	7.0	7.6	325	448
경시 30분		67.5	3.0	8.1	317	435
경시 60분		63.0	3.0	8.8	317	439
경시 90분		60.5	3.0	9.0	323	430

4. 예비시공 및 품질관리

4.1 예비시공

본 구조물인 언더피닝 상부슬래브를 타설하기 전에 현장의 시공성을 확인하기 위하여 지하철 터널 라이닝 기초부위에 예비시공을 실시하였다. 레미콘 공장에서 현장 타설지점까지 소요되는 시간은 40분 정도였으며, 타설전의 품질시험 결과는 표8.과 같다. 이때, 운반시간에 따른 슬럼프 플로우의 손실은 약 2.2cm였으며, 대부분 현장에서 목표하는 품질규준을 만족하였다. 콘크리트 펌핑은 실시공과 마찬가지로 포터블 펌프로 실시하였다. 예비시공 부재는 폭50cm×높이30cm×길이800cm의 양쪽기초로 과밀배근 조건을 갖고 있다. 시공결과, 끝단에서 타설할 경우 자체 유동성으로 800cm까지 충전되고 셀프 레벨성능까지 나타내었으나, 균일한 콘크리트의 타설을 위해 유동구배를 조절하는 방안이 요구되었다. 따라서, 본 구조물 시공에서는 유동구배를 최소화하여 약 1/7정도로 제한하였다.

표8. 초유동 콘크리트의 품질시험 결과 (시험시공)

배합명	배합조건(%)			슬럼프 플로우 (cm)	공기량 (%)	유하 시간 (sec)	간극 통과성 (cm)
	W/B	Sr	Gv				
FA-35-177	35	47	52	66.5	3.2	5.8	4.3

4.2 현장 품질관리 방안

초유동 콘크리트의 품질관리는 레미콘공장에서 실시하는 항목과 현장 받아들이기 시점에서 실시하

는 항목으로 나누었으며, 품질관리 항목은 표9.와 같다.

표9. 초유동 콘크리트의 품질관리 항목

구분	관리항목	시험방법	기준값	시험빈도	구분	관리항목	시험방법	기준값	시험빈도
레미콘 공장	표면수	KS F 2509	5% 이하	수 시	현장 받아들이기	슬럼프 플로우	JASS 5T-503	65±5cm	1회/80m ²
	배합시간	-	60±10sec	배치당		유하시간	JASS 5	10±5sec	1회/100m ²
	에지데이터 관리	-	세척수 배출	매 차		Box 통과성	JASS 5	5cm 이하	1회/100m ²
	워커빌리티*	육안관찰	-	매 차		공기량	KS F 2409	4.5±1.5%	1회/100m ²
	슬럼프 플로우	JASS 5T-503	65±5cm	1회/80m ²		콘크리트 온도	디지털 봉형	35℃ 이하	1회/80m ²
					염화물	퀀타브법	0.3kg/m ³ 이하	1회/80m ²	

특히, 레미콘 공장에서 콘크리트를 적재하기 전에 트럭 에지데이터의 드럼에 잔류수가 있는지를 반드시 확인해야 한다. 또한, 현장의 거푸집 상태가 기밀성을 유지하고 있는 지도 검사해야 하며, 받침기둥은 소요하중을 견딜 수 있도록 견고하게 보강하였다. 압송배관의 직경은 125mm이며, 그림4.에서 보듯이 A펌프는 곡관부가 3개소(수평2, 수직1)에 총길이 70m이고, B펌프는 곡관부 2개소(수평1, 수직1)에 총길이 40m로 배관되어 있다. 포터블 펌프는 게이트 밸브식으로 토출량이 81m³/hr, 평균 타설속도는 40m³/hr이다.

4.3 초유동 콘크리트의 제조 및 운반

초유동 콘크리트의 제조는 일괄투입방법으로 1배치당 배합시간을 60초로 하였고, 운반량은 트럭 에지데이터당 6m³로 하였다. 레미콘 출하는 평균 8.5분에 1대로 하였으며, 현장 배차간격은 A, B펌프당 각각 15분에 1대로 배정하였다. 특히, 간석5거리의 교통체증을 고려하여 출·퇴근시간에는 배차간격을 조정하도록 하였다.

5. 현장시공 및 결과분석

5.1 현장시공

레미콘 공장에서 오전 5시 30분에 첫 배치를 시작하여 오후 5시까지 콘크리트를 출하하였다. 품질이 안정될 때까지 공장 출하전에 슬럼프 플로우 시험을 실시하였으며, 현장 받아들이기 검사에서도 초기에는 매차마다 슬럼프 플로우, 유하시간, 간극통과성 시험을 실시하였다.

콘크리트의 품질이 안정된 후에는 표9.에서 정한 빈도로 시험을 실시하였다. 초유동 콘크리트의 시공은 그림4.와 같이 ①⇒②⇒③⇒④의 순서로 실시하였으며, 일반 콘크리트를 미리 타설하면서 경계블록을 만들어 초유동 콘크리트가 지하차도 외부로 유동되는 것을 방지하였다.

초유동 콘크리트의 타설부위인 지하차도 하부 언더피닝 구간은 타설공간이 10~40cm밖에 안되기 때문에, 작업원 2명을 배치하여 유동구배(1/7)에 따라 배관을 해체하면서 타설해 나오도록 하였으며, 총 600m³의 초유동 콘크리트를 대체로 신속하게 시공할 수 있었다.

5.2 현장적용에 따른 결과분석

전체적인 현장 품질관리 시험결과는 표10.에 나타난 바와 같다.

잔골재의 표면수는 3±0.5%에서 안정된 값을 나타내었으며, 10회 평균값은 2.85%였다.

(1) 굳지않은 콘크리트의 시험결과

공장 출하시와 현장 받아들이기의 슬럼프 플로우 차이는 평균 1.8cm로 운반시간에 따른 손실을 최소화시킬 수 있었으며, 품질도 매우 균질하였다. 또한, 유하시간, 간극통과성 및 공기량도 목표값을 만족하였으며, 외기온이 32.2℃까지 상승하는 조건에서도 콘크리트의 온도관리가 가능하였다. 콘크리트의 염화물량도 평균 0.03kg/m³로 관리값(0.3kg/m³이하)을 만족하였다.

(2) 압축강도 및 탄성계수 시험결과

압축강도 시험결과, 28일 평균값이 467 kg/cm²으로 목표강도(340kg/cm²)를 초과하는 것으로 나타났다. 물론, 인천지하철은 중요한 구조물이기 때문에 강도확보가 중요하였으며, 19mm골재의 사용과 낮은 물/결합재비로 인해 강도발현이 우수한 것으로 평가된다.

(3) 기타특성

작업공간의 협소로 시공하기 어려웠던 언더피닝 상부슬래브에 초유동 콘크리트의 자체 충전성으로 과밀배근 조건에도 불구하고 우수한 품질을 얻을 수 있었으며, 타설에 소요되는 시간도 초기 48시간 정도로 예상한 구간을 12시간만에 완료하였기 때문에 작업시간 단축의 효과도 큰 것으로 평가된다. 인력절감 차원에서 볼 때, 일반 콘크리트를 타설하는데 필요한 작업원이 펌프카 1대당 9명인 것에 비해 초유동 콘크리트는 3명이 필요하였다. 따라서, 인력절감 효과도 매우 큰 것으로 나타났다.

특히, 타설·다짐시의 소음도 70~85dB(일반 80~110dB)정도로 저감하였으며, 탈령후 콘크리트의 마감면도 매우 우수한 것을 확인하였다.

표12. 초유동 콘크리트의 품질관리 시험결과

구분 항 목	범 위 (R)	평균 (x)	표준 편차 (S)	변동 계수 (V)	비 고
간골재 표면수(%)	2.5~3.5	2.85	0.3	10.5	n=10(레미콘)
슬럼프 플로우(cm)	60~67.5	63.8	2.9	4.5	n=7(타설현장)
깔대기 유하시간(s)	5.0~8.0	6.5	0.76	11.7	
Box 높이차(cm)	1~3	2	0.8	40	
공기량(%)	2.9~4.0	3.4	0.38	11.2	
압축강도 (kg/cm ²)	7 일	331~418	372	36.3	n=7(표준양생)
	28일	442~520	467	38.3	

5. 結 言

현장적용 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 초유동 콘크리트의 범용화 계기 : 현장시공이 어려운 지하철 구조물에 다짐이 필요없는 초유동 콘크리트의 시공으로 우수한 품질을 확보함으로써 범용화의 계기가 되었다.
- (2) 레미콘 공장의 기술이전 : 제조경험이 없는 레미콘 공장에 자연스런 기술이전이 가능하였다.
- (3) 초유동 콘크리트의 목표성능 만족 : 타설지점에서 슬럼프 플로우(65±5cm), 깔대기 유하시간(10±5sec), 간극통과성 높이차(5cm이하) 등의 목표성능을 만족하였으며, 설계기준강도(240kg/cm²)에 따라 선정된 배합강도(340kg/cm²)를 확보하였다.
- (4) 우수한 현장 품질관리 : 인력절감, 소음저감, 과밀배근부의 충전성, 우수한 콘크리트 표면 등을 확보하였으며, 효율적인 시공관리로 원가절감에 기여하게 되었다.
- (5) 향후과제 : 크리프, 건조수축, 동결융해 저항성 등과 같은 장기특성 시험이 진행중에 있으며, 구조설계에 반영하여 경제적인 강도반영이 필요하다.

참고문헌

- 1) 朴泚林, 權寧鎬, 李相洙, 元澈, “초유동 콘크리트의 2차제품 적용에 관한 연구”, 한국콘크리트학회 봄학술발표회 논문집, 제9권1호, pp.285~291, 1997.5
- 2) 朴泚林, 權寧鎬, 李相洙, 元澈, “Top Down工法에 超流動 콘크리트의 現場適用”, 대한건축학회 논문집, 제13권10호, 1997.10, pp.355~362
- 3) 小澤一雅, 前川宏一, 岡村 甫, “ハイパフォーマンスコンクリートの開発”, 콘크리트工學年次論文報告集, JCI, Vol.11, No.1, 1989.6
- 4) 金和中, 池南龍 外, “混和劑 종류에 따른 시멘트페이스트의 레올로지특성에 관한 실험적 연구”, 한국콘크리트학회 봄학술발표회 논문집, 제10권1호, pp.51~56, 1998.5
- 5) 金武漢, 金圭庸 外, “고유동 콘크리트의 유동특성 평가방법에 관한 연구”, 대한건축학회 춘계학술발표대회 논문집, 제17권1호, pp.707~710, 1997.4