

병용계 고유동 자기충전 라이닝콘크리트의 현장 타설에 관한 연구

Study of The Combined High Flowing Self-Compacting Concrete's Cast in Place

최 욱* 박현묘** 최연왕*** 이광명**** 김기범***** 윤태정*****
Choi, Wook Park, Hyun Myo Choi, Yun Wang Lee, Kwang Myong Kim, Gi Beom Yoon, Tae Jung

ABSTRACT

Recently, the study on the application of SCC(Self-Compacting Concrete) is actively underway, in order to solve the lack of flowability and the poor compacting which is one of the chronic problems of tunnel lining concrete. The aim of this study is that to verify the validity of the application of SCLC(Self-Compacting Lining Concrete) for tunnel lining concrete and to examine the characteristic of flowing and mechanics of SCLC in term of comparing before and after casting. SCLC was developed by Packing Factor mix method and casted in field mix-design according to the condition of site and the characteristic of aggregate.

Before casting, the tests of the capability of flowability and durability was performed by slump flow, air void and so on.

Additionally, the slump flow loss is measured to evaluated the possibility of cast-in-place.

Furthermore, considering on the first time SCLC casting applied to the tunnel lining in Korea, it is provided that the careful items and the correct way for construction when applied the SCLC on site.

요 약

최근 터널 라이닝콘크리트의 고질적인 문제점 중에서 유동성 부족 및 충전 불량을 해결하기 위해 자기충전 콘크리트를 적용하고자 하는 연구가 활발하게 진행되고 있다. 본 연구에서는 최근 다년간에 걸친 연구 결과인 개발한 자기충전 라이닝콘크리트(이하 SCLC로 약함)를 타설 전·후의 유동 특성 및 역학적 특성을 검토하여 현장적용 타당성을 검증하고자 하였다.

Packing Factor 배합법에 의해 개발된 SCLC를 현장여건과 골재특성에 따라 현장배합으로 변경하여 타설하였으며 타설 전 SCLC의 Slump flow, 공기량 등을 통하여 유동성능과 내구성능을 검토하였다. 또한, 시간경과에 따른 Slump flow loss를 측정하여 현장타설 가능성을 평가하고자 하였다.

나아가 국내 터널 라이닝에 적용된 첫 번째 타설임을 감안하여 차후 자기충전 라이닝콘크리트를 현장 적용할 때 주의해야할 사항 등과 시공방법을 제시하고자 하였다.

- * 정회원, 한국시설안전공단 팀장
- ** 정회원, 한국시설안전공단 연구원
- *** 정회원, 세명대학교 토목공학과 부교수
- **** 정회원, 성균관대학교 토목공학과 교수
- ***** 정회원, 동부건설(주) 기술지원팀 차장
- ***** 정회원, 동부건설(주) 기술지원팀 차장

1. 서론

현행 일반 라이닝콘크리트에 발생하는 주요 결함으로 재료분리, 내부공동 등을 들 수 있다. 이러한 문제점의 주요 원인은 라이닝콘크리트의 유동성이 부족해서 발생되며 터널의 경우 압송관의 길이가 길기 때문에 유동성이 부족한 콘크리트를 타설할 때 불가피하게 발생하는 문제점이다. 때문에 현장에서는 유동성 부족문제를 해결하기 위해서 임의적인 가수(加水)를 행하는 일이 발생하고 이는 다시 거푸집의 낙차에 의한 재료분리와 라이닝콘크리트의 품질저하가 발생되어 초기 품질관리를 어렵게 하는 원인이 된다. 또한, 저 유동성 라이닝콘크리트는 터널 공사의 진행을 더디게 하여 공기 지연 현상을 초래하고 결국 경제적인 손실로 이어지게 된다. 이러한 문제점이 산재해 있음에도 불구하고 근본적인 콘크리트의 품질향상을 통한 해결책을 찾기 위한 노력은 미비한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 다년간에 걸친 연구를 통해 터널 라이닝에 적합한 자기충전 라이닝콘크리트를 개발하였으며 국내 터널 라이닝에 타설하여 SCLC의 시공성능 및 물리적 특성을 검토하여 현장 적용의 타당성을 입증하고자 한 동시에 현장여건을 고려한 SCLC의 시공방법을 제시하고자 하였다.

2. 타설 개요

2.1 현장개요

SCLC가 적용된 현장은 교통이 혼잡한 서울시내의 중심가에 위치하고 있으며 상·하의 복층구간 중 하단부에 타설되었다. 타설 일시는 2007년 12월로서 계절적으로 겨울에 해당되어 양생은 보온 양생을 실시하였다. 레미콘사에서 현장까지의 이동거리를 고려하여 타설 시간은 늦어도 1시간 30분 이내에 연속 타설할 수 있도록 배차하였다.

SCLC가 타설된 구간은 폭 5.6m 단선터널구간이며 타설 공법은 일반 라이닝과 동일하게 압송법에 의한 타설을 실시하였다. 타설 현장 전경과 타설 구간 단면도는 그림 1과 그림 2에 나타내었다.



그림 1. 타설 현장 전경

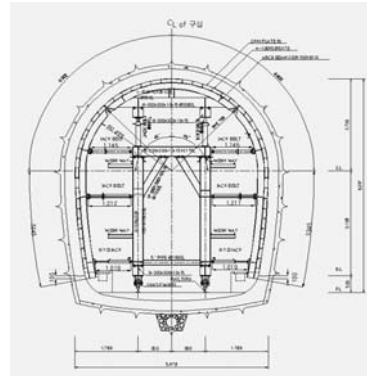


그림 2. 타설 구간 단면도

2.2 배합설계

2.2.1 분체 및 골재

시멘트는 밀도 3.15g/cm³의 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 분체는 석회석 미분말(이하 LSP로 약함)과 플라이애시(이하 FA로 약함)를 사용하였다. 골재는 밀도 2.60의 세척사를 사용하였으며 최대 치수 20mm, 밀도 2.63g/cm³의 양주 석산의 부순 골재를 사용하였으며 표 1에 자세히 나타내었다.

표 1. 사용골재의 물리적 성질

Items Types	Gmax (mm)	Density (g/cm ³)	Absorption (%)	F.M.
G	20	2.63	0.58	6.61
S-1	-	2.60	1.04	2.58
S-2	-	2.60	1.11	2.73

2.2.2 화학혼화제

SCLC의 유동성 조절을 위하여 국내 H사에서 생산되는 폴리카본산계 고성능AE감수제(이하, SP로 약함)를 사용하였다. SCLC의 점성 확보를 위한 증점제는 폴리-싸카라이드계의 황색 분말형을 사용하였으며 갇힌 공기를 분산시키기 위해서 수중에서 분산효과가 높은 백색 분말형 소포제를 사용하였다.

2.2.3 배합설계

SCLC의 시방배합은 골재채움률(이하 PF로 약함)을 고려한 Packing Factor법에 근거하여 PF 1.12, 잔골재율은 48%로 결정하였다. 골재의 입도와 표면수, 조립률 등 현장 골재 특성을 고려하여 보정을 실시한 후 현장배합을 결정하여 타설하였으며 표3에 자세히 나타내었다.

표 2. 시방배합과 현장배합

Type	PF	W/C (kg/cm ³)	W/P (%)	S/a (Vol.%)	LSP/P (Wt. %)	FA/P (Wt. %)	Unit mass(kg/m ³)				S	G
							W	P				
								C	LSP	FA		
시방배합	1.12	46	35	48	13.5	5.7	170	372	62	26	793	856
현장배합	1.12	46	35	48	13.5	5.7	158	372	62	26	825	847

2.3 현장 타설 시공성 평가 및 성능평가

현장 타설에 적용된 SCLC는 일반 라이닝콘크리트와는 달리 굵은골재최대치수 20mm, Slump flow 600mm이상의 초유동성을 가지므로 강제거푸집 설치 시 반드시 양측 거푸집 마구리면을 완전히 밀폐시켜야 모르타르의 누출을 방지했으며 고성능AE감수제의 증점효과로 인하여 정치시간이 길어지면 점성이 증대되어 압송관이 막힐 수 있으므로 연속타설을 실시하는 것을 기본으로 하였다.

현장에 도착한 SCLC를 라이닝에 타설하기 전에 시료를 채취하여 유동성능평가와 공기량 시험을 실시하였다. 유동 성능평가방법으로는 일본토목학회에서 제시한 “자기충전형 고유동 콘크리트의 시험방법”중 2등급을 채택하였으며 Slump flow, Slump flow 500mm 도달시간을 측정하였으며 경화 후의 강도 특성을 검토하기 위해 $\Phi 100*200$ mm의 원형 몰드에 다짐을 하지 않고 공시체를 제작하여 국가공인인증기관을 통하여 압축강도, 인장강도 및 휨강도를 측정하였다. 강도특성의 재령은 강제거푸집의 탈형 시기를 고려하여 18시간 강도를 현장에서 측정하고 3일, 7일 28일로 나누어 국가공인시험기관에 의뢰하였다.

3. 타설 결과 및 고찰

SCLC의 현장 타설은 1개 스펀에 대하여 실시하였으며, SCLC의 연속타설 기준은 전 타설 후 1시간 30분 이내로 결정하였다. 총 타설 물량은 약 60m³로 총 10대의 레미콘(용량 6m³)을 이용하여 타설하였다.

3.1 경화 전 성능평가

현장에 도착한 SCLC에서 타설 전 시료를 채취하여 성능평가를 실시한 결과 Slump flow 평균값은 660mm로서 모두 일본 JSCE 2등급 기준을 만족하는 초유동성을 띄고 있었으며 Slump flow 편차는 ± 20 mm로 나타났다. Slump flow 500mm 도달시간은 평균 6sec로서 자기충전의 요구 성능을 만족하였다. 이는 압송관의 막힘없이 연속타설을 가능하게 할 것으로 판단되며 1시간 30분이 경과한 SCLC의 Slump flow 경시변화를 측정해본 결과 655mm(-25mm)로 나타났다. 내구성에 영향을 미치는 공기량은 평균 4.0 \pm 3%로 측정되었으며 실험결과 내구성이 우수할 것으로 생각된다.

3.2 시공현황

3.2.1 SCLC의 타설

예비 타설에서 강제거푸집의 측면부에서 SCLC의 모르타르가 누출되었으나 부직포를 이용하여 밀폐 후 재 타설한 결과 모르타르의 누출현상이 없는 타설이 가능하였다. 이는 SCLC의 초유동성을 감안하지 않은 채 일반 라이닝콘크리트를 타설할 때와 같은 방법으로 측부를 밀폐하면 거푸집 측면부에서

모르타르의 누출이 발생할 수 있으나 현장에서 부직포 혹은 경질의 고무판의 설치만으로도 막을 수 있을 것으로 생각된다.

3.2.2 SCLC의 충전

본 타설 구간은 대단면에서 단면이 축소되는 철근이 배근되어 있는 구간으로 전체 계산 타설량은 58.6m³ 며 실제 타설량 약 60m³정도로 우수한 충전성으로 인하여 방수포와 맞닿은 부분까지 충전이 이루어져 배면 그라우팅이 필요 없을 것으로 판단된다. 이는 거푸집내의 밀폐 공기가 미세 공동을 이룰 수 있다고 판단되어 그라우팅 주입구에 공기제거장치를 설치한 후 공기를 제거한 결과로 생각된다.

3.3 타설 후 성능평가

그림 3과 그림 4는 SCLC의 압축강도와 인장강도를 나타낸 것이며 현장 타설 후 거푸집 탈형 시기를 결정하기 위해서 18시간 압축강도는 현장 시험실에서 실시하였으며 3일이상의 강도특성은 국가공인시험기관에서 시험한 값이다. 실험결과, 18시간 압축강도는 5.1MPa로서 우수한 강도를 나타내었으며, 28일 강도는 35MPa로서 고강도를 요구하지 않는 라이닝콘크리트에 적합한 것으로 생각된다.

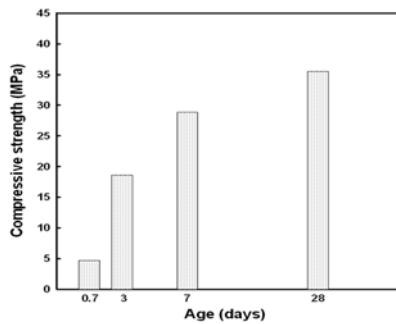


그림 3. SCLC의 재령별 압축강도

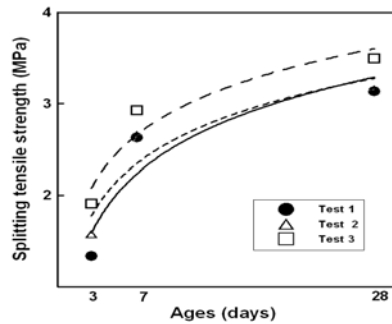


그림 4. SCLC의 재령별 인장강도

4. 결론

- (1) SCLC는 초 유동성을 띄므로 강재거푸집 설치 시 반드시 측면부 마구리면을 부직포 등을 이용하여 충분히 밀폐하여야 할 것으로 생각된다.
- (2) 본 라이닝 타설 물량은 60m³로서 계산된 타설 물량 58.6m³을 넘어선 충전 양상을 보였다. 이는 방수포와 거푸집 간의 여울간격을 메워 미세 공동까지도 제거된 완전한 충전이 된 것으로 판단된다.
- (3) SCLC를 이용하여 라이닝 타설을 실시하면 배면 그라우팅 비용을 절감할 수 있으며 타설 후 시간경과에 따른 유지관리 및 하자보수 비용까지 고려할 때 경제성이 우수하다고 생각된다.

감사의글

본 연구는 동부건설로부터 발주된 「배면그라우팅이 필요 없는 자기충전 라이닝콘크리트의 시공기술 연구개발」에 관한 일련의 연구로 세명대학교와 공동으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1. 최연왕 외 4인, “터널라이닝 적용을 위한 자기충전 콘크리트의 유동 특성,” 대한토목학회 학술발표회 논문집, Vol A, 2006, pp.331
2. 김상환외 2인, “대단면 터널 라이닝콘크리트 타설 기법 개선에 관한 연구”, 터널기술 제8권 제1호, 2006. 3, PP. 77-86.