

대단면 터널용 고성능 콘크리트 라이닝의 개발

Development of High Performance Concrete Tunnel Linnig with Large Dimension

차 훈*
Cha, Hun

이 창 훈**
Lee, Chang Hoon

손 유 신***
Sohn, Yu Shin

윤영수****
Yoon, Young Soo

ABSTRACT

High flowable concrete was first developed in 1988 to achieve durable concrete structures. High flowable concrete can improve workability sharply reason why the concrete has properties of resistance to segregation , filling ability, passing ability without compacting. Therefore, as we apply a high flowable concrete to a large dimensional tunnel which constructed in special environment, we can get workability, strength and durability required. Tunnel lining concrete with a large dimension has to use necessarily fly ash and slag for the properties of high flowability and watertight. We can expect improvement of workability and durability, mitigation of hydration, reducing shrinkage, enhancement of watertight by using cementitious materials. This paper proposes investigations for establishing a mix-design method and high flowability-strength testing methods have been carried out from the viewpoint of making a standard concrete tunnel lining with large dimension a standard.

1. 서론

터널용 콘크리트 라이닝에 있어 그 단면이 광대해짐에 따라 과밀철근으로 인한 미충전상태라는 시공성 측면과 콘크리트 재료분리 현상 및 콘크리트 압축강도가 높은 콘크리트가 필요함에 따라 발생하는 경제성과 유지관리를 위한 내구성 측면을 고려하면 기존의 터널라이닝과는 다른 고강도, 고유동, 고수밀 특성을 지닌 콘크리트가 필요하다. 특히 이런 특성을 만족하기 위해서는 분체량이 증가하고, 슬럼프가 증대되는 콘크리트를 사용하게 되기 때문에 대단면 터널용 콘크리트를 연구함에 있어 고유동/고수밀 특성에 대해 규명함이 필요하며 더 나아가 터널라이닝 품질기준이 필요하다. 이에 본 연구에서는 대단면 터널용 고성능 콘크리트 라이닝의 재료적/역학적 특성을 검토하고, 대단면 터널에 적합한 고성능 콘크리트 라이닝의 최적 배합을 제안하며, 그 품질기준을 확립하는데 목적을 갖고 표준시방서와 선 실험을 통해 변수를 선정하였다.

*정회원, 현대엔지니어링 토건환경사업부 구조부

**정회원, 고려대학교 방재과학기술연구원 연구원

***정회원, 삼성물산(주) 건설부문 기술연구소 전임연구원

****정회원, 고려대학교 사회환경시스템공학과 교수

2. 실험 개요

콘크리트 표준시방서와 기존 연구자료에 의거 대단면 터널용 고성능 콘크리트의 개발에 있어 플라이 애쉬와 고로슬래그를 재료변수로 선정하였으며, 플라이 애쉬와 슬래그를 동시에 사용하는 삼성배합(Ternary Mixture)의 이상적인 조건으로 선행 실험을 통하여 「플라이애쉬 함유율/30 + 고로슬래그 함유율/70 ≤ 1」을 이용하여 배합을 실시하였다. 실험은 총 4개의 부분으로 나뉘어 실험을 실시하였다.

3. 실험 프로그램

3.1.1 Water-Powder Ratio For Zero Flow

Water-powder ratio for zero flow(구속수비)란 시멘트, 플라이애쉬, 슬래그 등의 고체 입자가 구속하는 단위수량으로 W/B용적비와 플로우콘의 상대 면적비는 비례한다는 이론이다. 그림1의 절편은 구속수비를 의미하며, 그 값이 낮을수록 유동성에 유리한 재료라 할 수 있다.

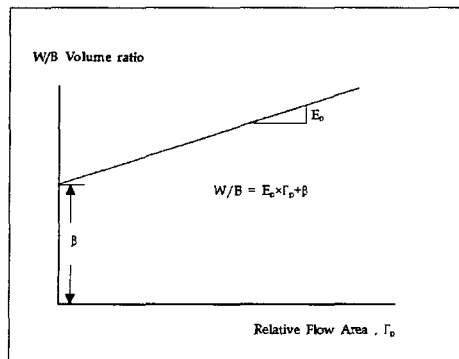


그림 1 구속수비 산정 그래프

3.1.2 시멘트페이스트 실험 계획 및 방법

콘크리트 표준시방서에 의거 보통 포틀랜드 시멘트(Type I, 비중 3.15)를 사용하였으며, 시멘트 대비 혼화재료의 치환율(플라이애쉬 치환율:5, 10, 15, 20%, 슬래그: 15, 30, 45%)을 변수로 사용하였다. 실험은 시멘트 시험용 플로우 콘(KS L 5111), 시멘트 시험용 플로우 시험대(KS L 5111), 모르타르 혼입용 믹서기(KS L 5109)에 의거 진행을 하였다.

3.2 시멘트페이스트 실험 결과

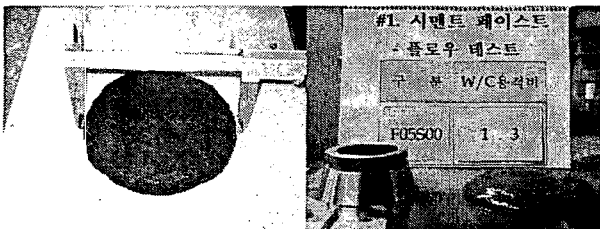


그림 2 시멘트Cone 실험

OPC(1.13) 대비해서 플라이애쉬를 치환한 시험 결과가 대체로 구속수비가 양호하게 나타났다. 특히 Ternary Mixture 배합의 시험결과가 전체적으로 가장 구속수비 결과가 가장 유리하게 나타났으며 이는 Ternary Mixture 콘크리트 결과의 유동성 특성과 밀접함을 알려주고 있다.

표 1 시멘트페이스트 실험 결과 및 구속수비

구분		페이스트 플로우값	상대flow 면적비	구속 수비
Type	W/B			
opc	1.2	132	0.7424	1.133
	1.3	163	1.6569	
	1.4	171	1.9241	
	1.5	210	3.41	
F05S00	1.2	134	0.7956	1.122
	1.3	164	1.6896	
	1.4	179	2.2041	
	1.5	213	3.5369	
F10S00	1.2	142	1.0164	1.108
	1.3	167	1.7889	
	1.4	185	2.4225	
	1.5	219	3.7961	
F15S00	1.2	119	0.4161	1.104
	1.3	146	1.1316	
	1.4	169	1.8561	
	1.5	187	2.4969	
F20S00	1.2	121	0.4641	1.104
	1.3	147	1.1609	
	1.4	172	1.9584	
	1.5	191	2.6481	
F00S15	1.2	132	0.7424	1.067
	1.3	155	1.4025	
	1.4	170	1.89	
F00S30	1.2	126	0.5876	1.128
	1.3	150	1.25	
	1.4	166	1.7556	
F00S45	1.2	120	0.44	1.136
	1.3	147	1.1609	
	1.4	166	1.7556	
	1.5	188	2.5344	
F10S45	1.1	119	0.4161	1.027
	1.2	140	0.96	
	1.3	154	1.3716	
	1.4	175	2.0625	
F15S35	1.2	141	0.9881	1.028
	1.3	155	1.4025	
F20S20	1.4	175	2.0625	1.027
	1.1	121	0.4641	
	1.3	176	2.0976	
	1.4	180	2.24	
	1.5	206	3.2436	

3.5 굳지않은 콘크리트 실험 계획 및 방법

모르타르 실험에서 유동성에 유리하게 영향을 미치는 W/B:36%, 혼화제:1.5%, 잔골재량:40% 굵은골재량:30%, S/a:50%, 공기량3%(시방서 기준)로 인자를 결정하고 OPC, F20S00, F00S45, F15S35로 4가지로 시험배합을 구성하였다.

3.3 모르타르 실험 계획 및 방법

Mortar 자기충진성 평가는 EFNARC 2002 'Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete' 및 JSCE 시험방침에 의해 Flow Mortar Cone 실험과 Mortar용 V-funnel test를 실시하였다. 배합에 사용되는 물/결합재 용적비는 표1에서 결정된 구속수비에 수비계수를 곱하여 적당한 36%로 결정을 하였다. 변수로는 잔골재율(35, 40, 45%)과 혼화제량(1.0, 1.5, 2.0%)을 선정하였다.

3.4 모르타르 실험 결과

실험결과 표2와 같이 나왔으며, 이를 fitting한 결과는 그림 3에서 볼 수 있다. 그림3에서 Y축(Rm)은 상대유하속도비(10/유하속도)이며 X축(Rs)은 (플로우/100)²-1이다. EFNARC과 JSCE에서는 Rm을 4.9~5.1, Rs를 0.9~1.1로써 추천하고 있다. 혼화제 변수에 의한 fitting값은 그림 4와 같이 나타났으며, 잔골재율이 40%, 혼화제량이 1.5% 일때 가장 유동적인 특성이 우수함을 알 수 있다.

표 2 V-funnel of Mortar 실험결과

변 수	유동성 실험	
	Flow(mm)	유하속도(sec)
OPC-35	228	8.5
OPC-40	219	10.8
OPC-45	211	12

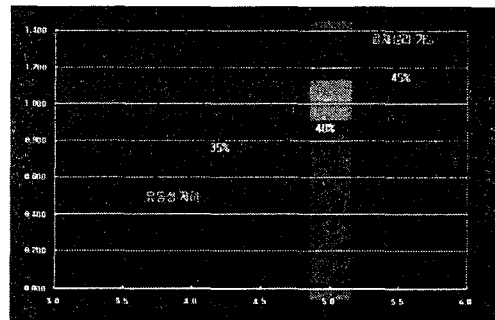


그림 3 잔골재율 변화에 따른 V-funnel Test 결과

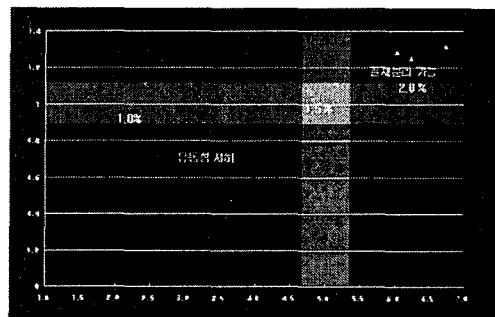


그림 4 혼화제량 변화에 따른 V-funnel Test 결과

각각에 대한 변수로 굵은 골재는 29.5~30.5%, S/a는 48~52%, W/B는 35~38%로 각각 3구분으로 선정하였다. 굳지않은 콘크리트 자기충전성 평가는 EFNARC 2002 'Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete' 및 JSCE 시험방침에 의해 Slump Test 및 T50, V-Lot 유하시간 및 T_{5min}, Box Test를 실시하였다. 각 실험에 대한 규준은 표 3과 같다.

표 3 EFNARC Code/ JSCE 시공지침의 Criteria

	Method	unit	Min	Max
1	Slump-flow	mm	650	850
2	T ₅₀ Slump-flow	sec	3	7
3	V-funnel	sec	6	12
4	V-funnel at T _{5min}	sec	0	+3
5	U-box	mm	0	30

3.6 굳지않은 콘크리트 실험 결과

OPC의 경우 V-lot 유하시간과 V-lot T_{5min}의 결과가 기준에 못미쳐 Passing능력이 양호하지 못했다. 하지만, 플라이애쉬와 슬래그의 함유시 그 양과 관계없이 유동적인 특성이 향상됨을 알 수 있었다. 하지만, 플라이애쉬의 경우 잔골재율별 특성이 상이해 플라이애쉬의 품질관리가 중요하다 하겠다. 특히 Ternary Mixture의

경우 배합과 관계없이 전체적으로 유동성이 우수하였으며, 변수에 대해 결과가 둔감한 것으로 나타나 품질에 안정성이 우수함을 알 수 있다.

3.7 굵은 콘크리트 실험 계획 및 방법

EFNARC 2002에 의해 3일, 7일, 28일 재령의 압축강도실험과 수밀성 실험으로 전위차 촉진시험에 의한 염소이온 확산계수를 통하여 평가하였다.

3.8 굵은 콘크리트 실험 결과

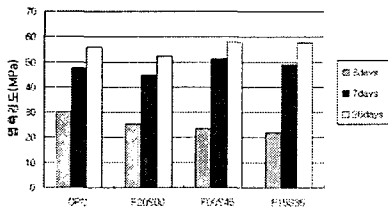


그림 5 5재령별-배합별 압축강도

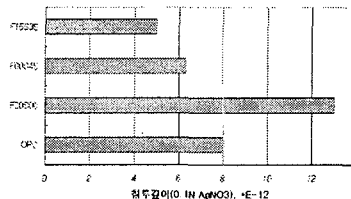


그림 6 결합재 종류별 급속이온 침투깊이(28days)

7일재령의 압축강도 결과는 고강도 특성을 나타냈으며, 28일 재령이 모두 50~58MPa범위에 분포해 고강도를 만족함을 알 수 있다. 수밀성 검증의 실험결과에서 Ternary Mixture인 F15S35경우가 가장 우수했으며, 슬래그 함유시 수밀성이 양호함을 알 수 있다.

4. 결론 및 고찰

- 1) 굵은 골재량이 30.5%일때 Passing Ability가 다소 떨어지는데 이는 적정량을 넘어섰을때 유동성을 방해 할 뿐만 아니라 철근사이를 통해 모르타르가 지나가는데 저해요소로 작용한다는 것이 알 수 있다.
- 2) Ternary Mixture의 배합은 Fresh 콘크리트의 유동적인 특성이나 Hardened 콘크리트의 수밀성에서 뛰어난 성능을 갖고 있음이 실험을 통해 입증되었고, 향후 수축특성과 구조적인 검토가 뒷받침 된다면 대단면 터널용 콘크리트 라이닝의 최적배합으로 제안될 수 있다.
- 3) 플라이애쉬의 품질편차가 크기 때문에 품질관리가 어렵고 플라이애쉬를 치환한 결합재의 염소이온 침투 면에서 불리하게 나타난 것으로 보아 대단면 터널용 콘크리트 라이닝에 적합한 결합재는 슬래그가 적당하다.

5. 감사의 글

본 논문은 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 2004년도 건설핵심기술 연구개발사업(C104A1010001-04A0201-00310)의 지원으로 이루어졌습니다.

참고문헌

1. EFNARC, Specification and Guidelines for Self-Compacting concrete, Feb. 2002
2. Ouchi, M. Applications of self-compacting concrete in Japan, Europe and the United States, ISHPC, 2003
3. Young-Soo Yoon; Yu Shin Sohn; Jong-Pil Won; Sang-Kyun Woo; Young-Chul Song, An Experimental Study on the Improvement of Durability of Dam concrete containing Fly Ash, KSCE, Vol.19, No. 1, Sep. 1999, pp. 707-714