

영구지보재로서 고성능 슛크리트의 적정 배합비 도출

Mix Proportions of High Performance Shotcrete for Permanent Support

원종필* 김황희** 김정훈** 박경훈** 장창일** 이상우**

Won, Jong-Pil Kim, Hwang-Hee Kim, Jung-Hoon Park, Kyoung-Hoon Jang, Chang-Il Lee, Sang-Woo

ABSTRACT

Recently, single shell lining method of construction is studied by economical method of construction to make use of high-performance shotcrete of permanent shotcrete lining concept in the UStA, Europe, Japan etc. High-performance shotcrete use is essential as permanent support that single shell lining method of construction has two functions of lining and support to shotcrete. In this research, optimum accelerator amount was decided after setting time test using alkai-free and cement mineral accelerator. Also replacement ratio of silica fume and fly-ash was determined.

1. 서론

최근 미국, 유럽, 일본 등에서는 영구지보재로서 슛크리트 라이닝의 경제적인 공법으로 1차 지보재에서의 고품질을 전제로 2차 라이닝을 생략하고 단층 또는 다층의 고성능 슛크리트로 싱글셸 라이닝 공법이 연구되고 있다. 싱글 셸 공법은 슛크리트에 지보와 복공 두가지 기능을 갖는 영구지보재로서 고강도 슛크리트 사용이 필수적이다.⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾ 본 연구에서는 영구지보재로서 고성능 슛크리트의 적정배합비를 도출하기 위하여 장기강도 저하가 적은 시멘트 광물계 및 알칼리 프리계 급결제의 응결시간 시험 실시 후 적정급결제량을 결정하고 실리카폼과 플라이애쉬의 치환율을 변수로 하여 고성능 슛크리트의 적정배합비를 도출하였다.

2. 사용 재료 및 시험방법

2.1.1 시멘트 및 골재

시멘트는 H사의 1종 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 물리적 성질은 표 1과 같다. 굵은골재는 최대 치수 13mm 쇄석을 사용하였으며, 잔골재 비중은 2.61, 조립률은 2.65의 강사를 사용하였다.

표 1 시멘트의 물리적 성질

물리적 특성	분말도(cm ² /g)	비중	안정도(%)	압축강도(MPa)		
				3일	7일	28일
	3,449	3.15	0.07	23.0	30.5	39.4

2.1.2 혼화재료

본 연구에서는 광물질 혼화재인 실리카폼과 플라이애쉬가 사용되었다. 국내의 문헌을 토대로 혼화제 사용량을 참고로 하여 실리카폼(3%, 5%, 7%)과 플라이 애쉬(5%, 10%, 15%, 20%)를 변수로 하여 사용하였다.

2.1.3 급결제

급결제는 현재 국내에서 시판되고 있는 장기강도 저하가 적은 알칼리 프리계 급결제와 시멘트 광물계 급

* 정희원, 건국대학교 사회환경시스템공학과 교수

** 정희원, 건국대학교 사회환경시스템공학과 석사과정

결제를 사용하였다.

2.2 배합설계

고성능 슛크리트의 적정배합비를 도출을 위하여 급결제 첨가량 및 잔골재율과 물/시멘트-비에 따른 예비 시험을 거쳐 목표압축강도를 재령 3시간 : 1MPa, 1일: 10MPa, 28일: 36MPa이상의 표 2와 같이 배합설계를 실시하였다.

표 2 슛크리트 배합표

배합명	급결제 (kg/m ³)	G _{max} (mm)	Slump (cm)	W/C (%)	S/a (%)	Air (%)	단위재료량 (kg/m ³)							
							W	C	SF	FA	S	G	SP (g/m ³)	
plain								475	-	-				2375
1								460.75	14.25(3%)	-				3325
2								451.25	23.75(5%)	-				3325
3								441.75	33.25(7%)	-				3325
4								451.25	-	23.75(5%)				2850
5								427.5	-	47.5(10%)				2850
6	알칼리 급결제 47.5 (10%) 시멘트 광물계 19 (5%)	13	10±2	40	65	4±1	190	403.75	-	71.25(15%)				2850
7								380	-	95(20%)				2850
8								437	14.25(3%)	23.75(5%)				2375
9								413.25	14.25(3%)	47.5(10%)	1046	574		2375
10								389.5	14.25(3%)	71.25(15%)				2375
11								365.75	14.25(3%)	95(20%)				2375
12								427.5	23.75(5%)	23.75(5%)				2375
13								403.75	23.75(5%)	47.5(10%)				2375
14								380	23.75(5%)	71.25(15%)				2375
15								356.25	23.75(5%)	95(20%)				2375
16								418	33.25(7%)	23.75(5%)				3325
17								394.25	33.25(7%)	47.5(10%)				3325
18								370.5	33.25(7%)	71.25(15%)				3325
19								346.75	33.25(7%)	95(20%)				3325

2.3 시험 방법

2.3.1 응결시간

적정급결제량을 결정하기 위하여 알칼리 프리계는 5%, 10%를 시멘트 광물계 3%, 4%, 5%를 첨가하여 KS F 2436 「관입저항침에 의한 콘크리트의 응결시간 시험방법」을 바탕으로 수정하여 굵은 골재를 제외한 한국콘크리트학회 기준(KCI SC 102)의해 모르타르 샘플을 만들어 2회 반복 실측정하였다.⁽⁵⁾

2.3.2 압축강도

실리카폼과 플라이애쉬를 사용한 슛크리트의 압축강도 특성을 알아보기 위하여 KS F 2405 「콘크리트 압축강도 시험방법」에 의하여 실시하였다. Φ 100×200mm의 실린더형 공시체를 재령 3시간, 1일, 28일에 각각 3개씩 제작하여 압축강도를 측정하였다.⁽⁴⁾

3. 시험결과

3.1 응결시간 결과

영구지보재로서 고성능 슛크리트를 위한 적당한 급결제량을 결정하기 위해서 급결제별 응결시간 시험결과는 그림 1과 같다. 시멘트 광물계 급결제의 경우 4%, 5%, 알칼리프리계 급결제의 경우 10%를 사용한 경우가 한국콘크리트학회기준(KCI SC-102) “스�크리트용 급결제 품질규격” 초결 5분 이내, 종결 15분 이내를 만족하였다. 이 결과를 토대로 고성능 슛크리트 제조를 위한 적당한 급결제량은 알칼리 프리계는 10%를 사

용하고 시멘트 광물계는 5%의 경우 급결성능이 너무 우수하여 오히려 압박층과 슛크리트 층간에 부착과 리바운드에 영향을 미칠 수 있어 경제성을 고려하여 4%를 사용하여 표 2와 같은 배합설계에 사용하였다.

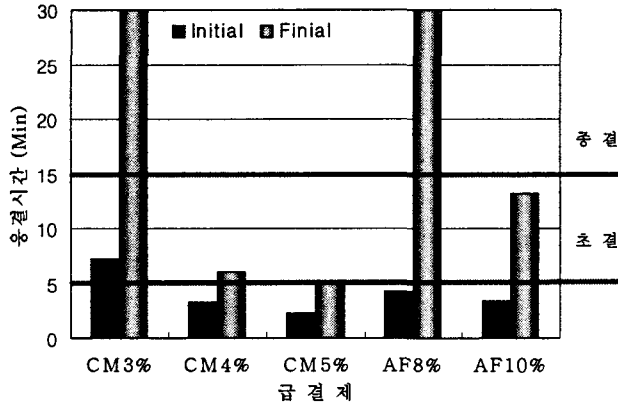


그림 1 급결제별 응결시간

3.2 압축강도 결과

장기강도가 적은 알칼리 프리계 및 시멘트 광물계 급결제를 사용한 콘크리트의 재령에 따른 압축강도 결과는 그림 2 및 3과 같다. 실리카폼과 플라이애쉬를 사용한 재령 28일에서의 배합별 압축강도는 거의 모든 배합에서 30MPa를 넘는 강도를 보였지만 재령28일 목표강도인 36MPa에는 도달하지 못하였다. 재령 3시간과 1일 압축강도를 보면 Plain 배합과 실리카폼을 사용한 배합에서는 대체로 각각 목표강도 1MPa와 10MPa를 넘는 양호한 강도를 보여 주었지만 플라이애쉬를 사용한 배합에서는 강도 발현이 지연되는 결과를 나타내었다. 이것은 플라이애쉬의 화학조성 중에서 미연탄소함량은 시멘트 수화에서 생성된 $Ca(OH)_2$ 의 농도가 낮아져 CaS의 수화반응을 억제하기 때문에 이러한 이유로 인한 지연결과로 사료되고 실리카폼은 비표면적이 커서 수산화칼슘과 매우 짧은 시간에 반응하고 젤상의 물질을 생성하여 점성이 커짐으로 인한 결과로 사료된다. 재령28일에서도 압축강도 결과를 보면 실리카폼 혼입량의 증가에 따라 높은 강도 발현을 나타내었지만 플라이애쉬 혼입량이 증가할수록 대체로 강도가 낮아지는 결과를 나타내었다.

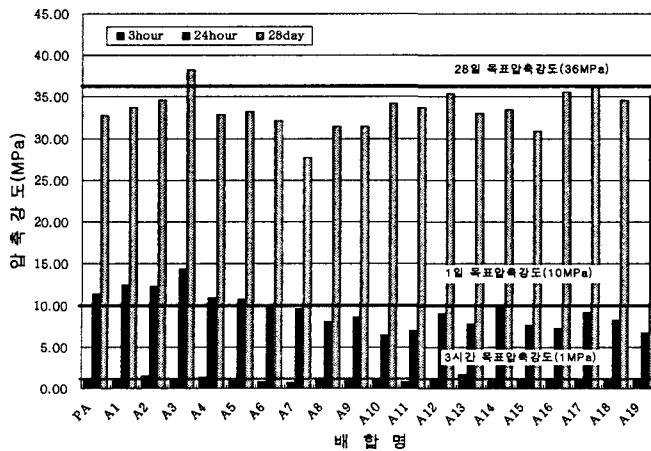


그림 2 알칼리 프리계 급결제를 사용한 압축강도

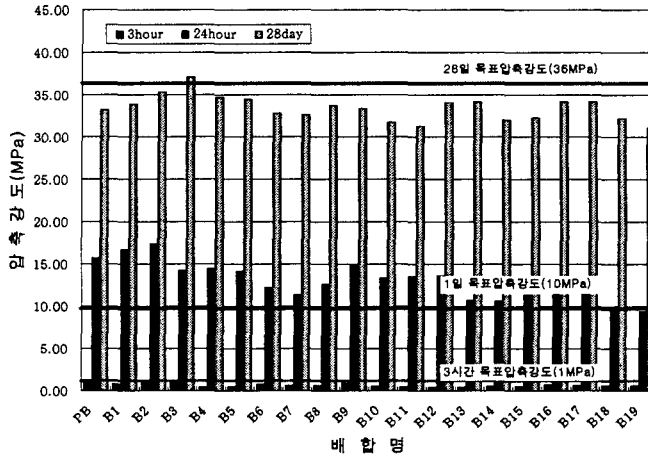


그림 3 시멘트 광물계 급결제를 사용한 압축강도

4. 결론

알칼리 프리계 및 시멘트 광물계 급결제를 사용한 고성능 슛크리트의 적정배합비를 도출하기 위하여 실리카폼과 플라이애쉬를 사용하여 응결시간, 압축강도 시험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수가 있었다. 시멘트 광물계 4% 및 알칼리 프리계 급결제 10%를 사용한 경우가 초결 5분 이내, 종결 15분 이내를 만족하였다. 압축강도 시험결과 알칼리 프리계 및 시멘트 광물계 급결제 모두 실리카폼 7%를 사용하였을 때 재령 3시간, 1일, 28일에서 목표강도에 도달하였다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부의 건설기술핵심연구개발(04핵심 기술 C01)의 일환으로 수행되었으며 이에 감사합니다

참고문헌

1. 원종필, 정상경, "C12A7계 급결제를 사용한 슛크리트의 내구특성" 대한토목학회 논문집 Vol.25 No.3C pp. 235-240, 2005. 5
2. Dr. Wolfgang Kusterle, "High-grade shotcrete for the single permanent shotcrete lining method", Shotcrete for underground support V :proceedings of the Engineering Foundation Conference, Uppsala, Sweden, June 3-7, 1990
3. Geo-front 연구회, Single Shell 분과회, 슛크리트 설계 SWG, "스�크리트 복공에 의한 Single shell의 설계에 관한 검토 보고서
4. KS F 2405 "Method of test for compressive strength of concrete", 2002
5. KS F 2436 "Method of test for time of setting of concrete mixture by pressure method", 2002
6. Knut F. Garshol, "Single shell sprayed concrete linings, why and how" MBT International Underground Construction Group, Switzerland, 1997
7. Tetsuji Shimizu, Masahiro Ichige, "Durability of spraying concrete using a liquid accelerator" Shotcrete fo underground support IX conference held in Kyoto, Japan, November 17-20, 2002