

## 도로유실 복구를 위한 골재 충전 고흐름도 모르타르의 기초 배합 연구

### Fundamental Study of Mix Proportions of High-Flow Cement-Based Mortar for Gravel-Fill Used in Restoration of Collapsed Roads

조 현 명	Cho, Hyun Myung	정회원 · 강원대학교 토목건설공학과 석사과정 (E-mail : inncomshot@naver.com)
전 상 표	Jeon, Sang Pyo	정회원 · 강원대학교 토목건설공학과 연구원 (E-mail : marin1040@naver.com)
김 승 원	Kim, Seung Won	정회원 · 강원대학교 토목공학과 박사과정 (E-mail : inncoms@naver.com)
윤 경 구	Yun, Kyong Ku	정회원 · 강원대학교 토목공학과 교수 (E-mail : kkyun@kangwon.ac.kr)
박 철 우	Park, Cheol Woo	정회원 · 강원대학교 사회기반시스템공학과 교수 · 교신저자 (E-mail : tigerpark@kangwon.ac.kr)

#### ABSTRACT

**PURPOSES :** As a part of our research into repair techniques for roads that have collapsed as a result of a natural disaster, this study set out to find the optimum mix proportion for gravels to be used to restore a damaged area.

**METHODS :** This study considered flow and strength-development characteristics. The experimental variables were the W/C ratio, the usage of the admixture, the types of cement, and the quantity of fine aggregate over three different experimental stages. The compressive strength was measured at 12 hours, one day, three days, and seven days.

**RESULTS :** The flow varied with the amount of fine aggregate and the use of a high-range water-reducing (HRWR) admixture. The compressive strength also varied with respect to the type of cement and the W/C ratios. The strength satisfied the expected requirement of 21 MPa after one day, provided the mix proportion was appropriate.

**CONCLUSIONS :** A gravel-filling high-flow cement-based mortar exhibited strength and consistency with a W/C ratio in the range of 0.40 to 0.45, assuming the use of HRWR at 0.5 to 0.7% and a fine aggregate/cement ratio of 1.0 to 1.5.

#### Keywords

*high-flow cement-based mortar, collapsed road, restoration, consistency, compressive strength*

Corresponding Author : Park, Cheolwoo, Associate Professor  
Department of Civil Engineering, Kangwon National University,  
#346 Joongang-ro Samcheok-si, Kangwon-do, 245-711, Korea  
Tel : +82.33.570.6518 Fax : +82.33.570.6517  
E-mail : tigerpark@kangwon.ac.kr

International Journal of Highway Engineering

<http://www.ksre.or.kr/>

ISSN 1738-7159 (Print)

ISSN 2287-3678 (Online)

Received Jan. 21, 2015 Revised Jan. 21, 2015 Accepted Feb. 4, 2015

## 1. 서론

최근 자연재해로 인한 사회기반시설물의 유실 및 피해 발생 빈도가 증가하고 있으며, 이에 따른 도로파단 및 교통망 두절에 따른 고립 등과 같은 생활안전의 위협 요소가 증가하고 있다. 또한 기존 복구기술의 지속사용 불가능 및 사용 위험성의 문제가 대두되고 있으며, 효율적인 긴급복구 기술의 부재와 재래식 복구기술의 한계로 인한 문제가 발생하고 있다. 기후변화의 영향으로 인하

여 최근 전 세계적으로 폭우 및 폭염 등과 같은 자연재해의 발생빈도 및 심각성이 점차 증대되고 있으며, 국내에서도 여름철 태풍과 집중호우로 인한 각종 피해가 발생하고 있다. 강우형태와 강우의 지속시간 및 강우강도 등이 기존의 재해형태와 비교하여 설계예상수준을 벗어 나는 경우가 발생하여 전반적인 사회기반시설물의 예기치 못한 재해의 발생빈도가 증가하고 있는 실정이다. 이와 같은 재해로 인하여 매년 도로 및 비탈면 등의 도로

시설물의 붕괴 또는 손상으로 발생하는 주거지 훼손 및 도로 폐쇄와 같은 사례가 반복되고 있으며 이는 심각한 인명피해 및 재산의 손실뿐만 아니라 교통두절에 의한 주민들의 고립과 생활안전의 치명적인 위협요소로 나타나고 있다. Fig. 1과 Fig. 2는 최근 10년간 원인별 인명피해 및 피해액 현황을 나타내고 있다 (소방방재청, 2013).

Fig. 1 및 Fig. 2에서 볼 수 있듯이 인명 피해 및 피해액의 가장 많은 부분은 태풍과 호우로 인한 것이다. Fig. 3은 이러한 태풍이나 호우 피해로 인한 도로 및 제

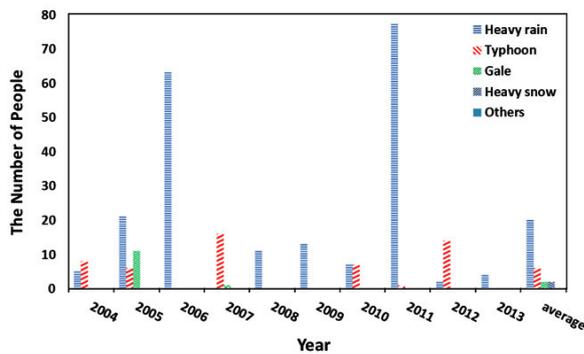


Fig. 1 Causes for Damage of Human Life in Past 10 Years

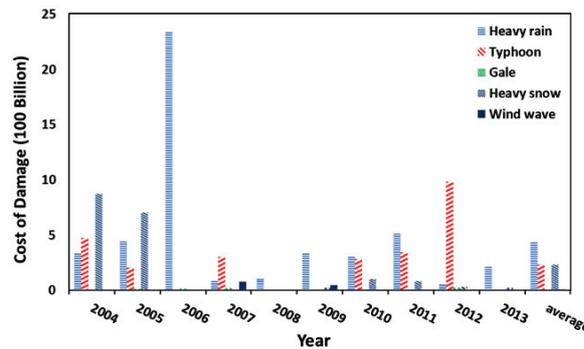


Fig. 2 Cost of Damages in Past 10 Years



Fig. 3 Damage of Road and Embankment due to Heavy Rain and Typhoon

방의 피해 사례를 보여주고 있다. 따라서 이와 같은 자연재해로 야기되는 피해가 발생하였을 때 유실된 도로 및 비탈면의 신속하고 안전한 긴급복구 기술개발의 필요성이 증대되고 있는 실정이다. 우리나라는 약 80%가 산지로 형성되어 있는 지리적 특성을 나타내고 있으며 산지의 경우, 지역적 특성상 주민들의 분포가 상대적으로 넓으며 도로 및 비탈면의 유실에 따른 재해가 발생하였을 때 신속한 복구를 위한 복구장비의 접근성이 떨어지는 경우가 많은 것으로 나타나고 있다(김승원 외, 2013; 조현명 외, 2014). 이와 같은 지역적 특성으로 발생하는 긴급복구의 애로사항을 해결하고 주민들의 접근 및 교통유지를 위한 장비와 시공인력을 최소화하며 안전하고 신속한 복구기술의 개발 필요성이 부각되고 있는 실정이다.

또한 지형적으로 강원권역 도로의 대부분이 산지와 하천이 인접하여 위치하고 있음에 따라 하천과 도로의 상호작용이 크다. 지형적 특성상 산악지역 도로 유실 발생 시, 우회도로의 부재로 인하여 물동량 수송에 어려움이 있어 단시간에 교통개방이 가능한 복구기술 개발이 필요하다.

본 연구는 이러한 기술개발의 일환으로 유실된 부분에 대하여 골재 채움을 실시하고, 이의 내부공극을 충전할 수 있는 고희름도 모르타르의 기초배합 개발을 위한 연구로서 최적 배합을 단계별 실험을 통하여 구하고자 한다.

## 2. 사용재료 및 실험내용

### 2.1. 사용재료

유실된 도로의 신속한 복구를 위하여 투입된 골재 사이의 공극을 효율적으로 충전하고 빠른 시간 내에 경화하여 구조적인 안전성을 유도하기 위해서는 모르타르의 적절한 흐름도와 강도의 발현이 필요하다. 따라서 본 연구에서 고려한 시멘트는 국내 S사에서 생산하는 1종 보통포틀랜드시멘트와 A사에서 생산하는 1종 조강형 시멘트를 사용하였다. Table 1은 사용한 시멘트의 물리적 특성 및 화학적 조성을 나타내고 있다.

또한 적정수준 이상의 흐름도와 충전성을 위하여 폴리카본산계 고성능감수제의 사용을 고려하였으며, Table 2는 사용한 고성능감수제의 특성을 정리하고 있다. 고희름도 모르타르에 사용한 잔골재의 입도분포는 Fig. 4와 같이 KS F 2502를 만족하는 잔골재를 사용하였다.

Table 1. Physical Properties and Chemical Composition of Cement

Category	Physical properties						Chemical compositions				
	Specific gravity	Fineness	Stability	Setting time		lg-loss	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
				Initial	Final						
Unit	-	cm <sup>2</sup> /g	%	min	min	%	%	%	%	%	%
Ordinary portland cement	3.15	3,400	0.10	230	410	2.58	21.95	60.12	3.32	2.11	6.59
Early strength cement	3.15	4,960	0.04	180	260	1.80	21.40	63.28	2.04	2.96	4.66

Table 2. Properties of Polycarboxylate HRWR (High Range Water Reducer)

Principal component	Specific gravity	pH	Alkali content(%)	Chloride content(%)
Polycarboxylate	1.05±0.05	5.0±1.5	less than 0.01	less than 0.01

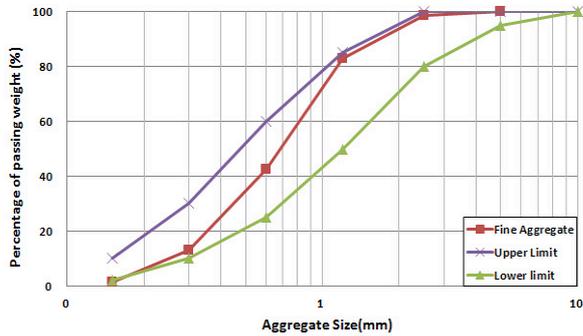


Fig. 4 Grading Curve of Fine Aggregate

## 2.2. 실험내용

유실된 도로 및 제방 등의 복구를 위해 투입된 굵은골재의 공극을 충전하기 위해 활용하는 모르타르로서 우선적으로 필요한 특성인 흐름도와 강도발현 특성을 검증하기 위하여 본 연구에서는 KS F 2432 주입 모르타르의 컨시스턴스 시험 방법과 KS L 5105 수경성 시멘트 모르타르의 압축강도 시험 방법에 의거하여 각 재료 변수의 기초특성을 검증하였다.

컨시스턴스 특성은 Fig. 5(a)와 같이 윗면의 안지름 70mm, 아랫면의 안지름 10mm, 높이 420mm의 황동제 깔때기를 이용하였다. 깔대기의 유출구를 막고 모르타르를 투입하여 유출관으로 연속 유출시킨 후 처음 끊어질 때까지의 시간을 초 단위로 측정하였다.

모르타르의 압축강도는 50×50×50mm<sup>3</sup> 크기의 모르타르 공시체를 제작하여 압축강도를 측정하였으며, 복구현장의 적용성을 분석하기 위하여 재령 12시간, 1일, 3일 및 7일에 조기강도를 우선적으로 측정하였다. Fig. 6은 압축강도 측정 전경을 나타내고 있다.



(a) Injection of mortar (b) Spill of mortar

Fig. 5 Test for Consistency of Mortar



Fig. 6 Test for Compressive Strength of Mortar

## 3. 실험 및 결과분석

### 3.1. 1단계 배합변수 및 실험결과

배합의 결정을 위하여 본 연구에서는 총 3단계의 모르타르 배합변수를 고려하였다. 1단계 기초 배합에서는 국내·외에서 무다짐 고희름도 콘크리트 배합을 기준으로 물-시멘트비(W/C비)를 다음의 Table 3과 같이 0.5~0.8로 변화하여 설정하였고, 잔골재를 시멘트중량 대비 1:1.0으로 설정하였다(Smith, 1991; Ramme et al, 1991; Naik et al, 1991).

Fig. 7은 1단계 배합변수별 측정된 컨시스턴스를 나타내고 있다. 전반적으로 컨시스턴스 값이 높은 것으로 분석되었으며, 물-시멘트비가 증가할수록 컨시스턴스는 증가하였다. 하지만 물-시멘트비가 가장 낮은 W50SP0SA1.0 변수에서는 상대적으로 낮은 유동성으로 인하여 혼합한 잔골재와 페이스트간의 원활한 배합이 되지 않고 재료분리현상이 발생하였다.

Table 3. 1<sup>st</sup> Stage Mix Variables

Variables	W/C	C (kg/m <sup>3</sup> )	W (kg/m <sup>3</sup> )	F.A. (kg/m <sup>3</sup> )	HRWR (wt., %)
W50SP0SA1.0	0.50	823.53	411.77	823.53	0.0
W50SP0.5SA1.0	0.50	823.53	411.77	823.53	0.5
W50SP0.7SA1.0	0.50	823.53	411.77	823.53	0.7
W55SP0SA1.0	0.55	790.96	435.03	790.96	0.0
W60SP0SA1.0	0.60	760.87	456.52	760.87	0.0
W70SP0SA1.0	0.70	707.07	494.95	707.07	0.0
W80SP0SA1.0	0.80	660.38	528.30	660.38	0.0

W00 : W/C 00%, SP00: HRWR 00%, SA00: Cement:Fine Aggregate.

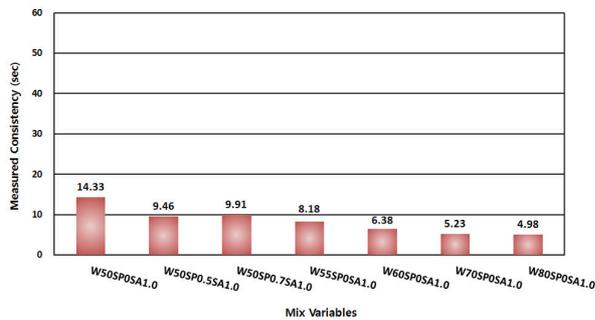


Fig. 7 Measured Consistency Results of 1<sup>st</sup> Stage Mixes

이후 고성능감수제를 사용한 변수에서 물-시멘트비가 0.5를 초과한 경우와 고성능감수제의 사용량이 시멘트 중량대비 0.5% 초과인 모든 경우에 재료분리현상이 발생하였다. 하지만 이때 발생한 재료분리현상은 W50SP0SA1.0 변수 때와는 그 현상이 다른 것으로 판단된다. 이는 주어진 잔골재 사용량(시멘트 중량 대비 1:1.0)에 대하여 고성능감수제 또는 단위수량이 과도하여 발생하는 재료분리로 판단된다. Fig. 8은 Table 3의 배합에 대해서 재령별 압축강도를 나타내고 있다.

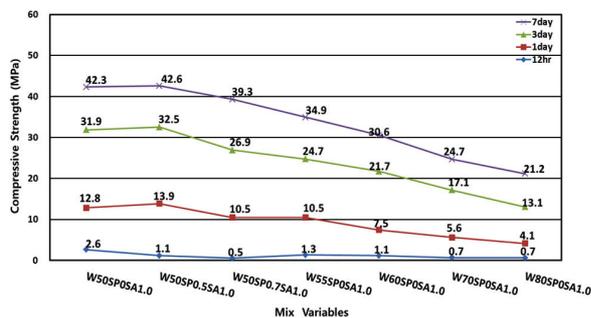


Fig. 8 Measured Compressive Strength of 1<sup>st</sup> Stage Mixes

재령 12시간에서는 강도 발현이 매우 미미하지만 재령 1일에서는 물-시멘트비가 0.50와 0.55인 경우,

10MPa 이상의 압축강도를 나타내었다. 하지만 물-시멘트비가 0.6 이상인 경우는 급격히 감소하였다. 재령 3일에서는 물-시멘트비가 0.55 이하인 경우, 강도가 21MPa 이상의 값을 나타내었으나 목표로 하는 재령 1일에서의 강도 21MPa는 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 이후 재령 7일에 측정된 값은 재령 3일의 값에 비해 전반적으로 약 30% 이상의 강도 증진을 나타내었다.

1단계 배합은 고흥도 충전 모르타르의 배합도출을 위한 기준 배합으로서, 물-시멘트비 및 잔골재량 등을 결정하기 위해 상기 컨시스턴시 및 압축강도 실험결과에 따라 물-시멘트비는 0.5 수준으로, 고성능감수제의 사용을 시멘트 중량 대비 0.5% 수준으로 고려하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

### 3.2. 2단계 배합변수 및 실험결과

1단계 배합변수에 관한 실험결과를 활용하여 2단계에서는 물-시멘트비를 제한하고 고성능감수제를 사용하며 대신 활용가능한 잔골재의 양을 확보하기 위한 검토를 수행하였다. 다음의 Table 4는 2단계 배합변수를 설명하고 있다.

Fig. 9는 2단계 배합변수에 대하여 측정된 컨시스턴시를 나타내고 있다. 2단계 배합에서는 1단계 배합에서보다 컨시스턴시가 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 1

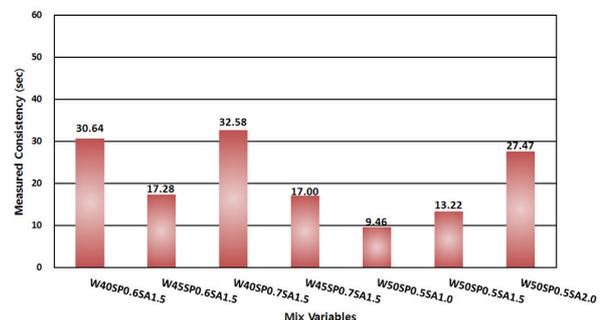


Fig. 9 Measured Consistency of 2<sup>nd</sup> Stage Mixes

Table 4. 2<sup>nd</sup> Stage Mix Variables

Variables	W/C	C (kg/m <sup>3</sup> )	W (kg/m <sup>3</sup> )	F.A. (kg/m <sup>3</sup> )	HRWR (wt., %)
W40SP0.6SA1.5	0.40	761.79	304.72	1142.69	0.6
W45SP0.6SA1.5	0.45	733.84	330.23	1100.76	0.6
W40SP0.7SA1.5	0.40	761.79	304.72	1142.69	0.7
W45SP0.7SA1.5	0.45	733.84	330.23	1100.76	0.7
W50SP0.5SA1.5	0.50	707.87	353.94	1061.81	0.5
W50SP0.5SA2.0	0.50	620.69	310.35	931.04	0.5

W00 : W/C 00%, SP00 : HRWR 00%, SA00 : Cement:Fine Aggregate.

단계배합에서 사용하였던 잔골재 비 1.0보다 다소 높은 잔골재 비 1.5 및 2.0을 사용한 것에 기인한 것으로 판단된다. 1단계 배합을 통해 도출한 물-시멘트비 0.5, 고성능감수제 사용 0.5% 변수의 잔골재 비를 1.0에서 2.0 까지 0.5씩 증가시켜 실험을 수행하였다. 잔골재 비 변화에 따른 컨시스턴시 실험결과, W50SP0.5SA1.0 변수의 경우 약 9.46초의 상대적으로 높은 컨시스턴시 값을 나타내었으며, W50SP0.5SA1.5 변수에서는 유출시간이 약 39.7% 증가한 13.22초의 컨시스턴시 값을 나타내었다. W50SP0.5SA2.0 변수의 경우 W50SP0.5SA1.0 변수의 약 190% 수준 감소된 컨시스턴시 값을 나타내었다. 이는 사용 잔골재의 증가로 인하여 재료분리가 발생하였으며, 이러한 재료분리 발생으로 충전 모르타르의 흐름에 영향을 미친 것으로 판단된다. 또한 동일한 배합 조건에서 물-시멘트비를 0.40에서 0.45로 증가한 변수의 경우, 약 45% 전·후 수준에서 컨시스턴시 값이 증가하는 것으로 분석되었다.

고성능감수제의 사용량이 시멘트 중량 대비 0.6%를 초과한 W40SP0.7SA1.5 및 W45SP0.7SA1.5 변수에서 재료분리가 발생하였다. 고흡수도 충전 모르타르의 배합에 있어 재료분리를 억제함과 동시에 충전성능을 확보할 수 있는 고성능감수제의 사용량은 시멘트 중량 대비 0.6% 이하를 사용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

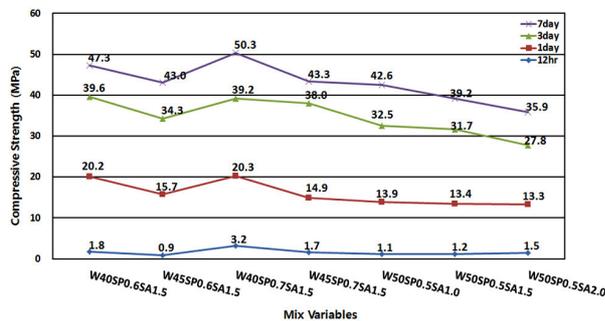


Fig. 10 Measured Compressive Strength of 2<sup>nd</sup> Stage Mixes

Fig. 10은 2단계 배합변수에 대하여 측정된 압축강도를 나타내고 있다. 재령 12시간에서의 압축강도 측정결과 1단계 배합에서와 같이 강도발현이 매우 미미한 수준으로 분석되었다. 반면 재령 1일에서의 압축강도 실험결과, 물-시멘트비 0.40인 경우 20MPa 이상의 압축강도를 나타내었으며, 물-시멘트비 0.45의 경우 약 15MPa 전·후의 압축강도를 나타내었다. 이는 다소 높은 물-시멘트비로 인하여 압축강도의 감소를 초래한 것으로 판단된다. 재령 3일에서의 압축강도 실험결과 물-시멘트비 0.45 이하인 경우 21MPa 이상의 값을 나타내었으나 재령 1일에서의 목표강도에 미치지 못하는 것으로 분석되었다. 이후 재령 7일에 측정된 압축강도는 재령 3일 압축강도에 비해 약 30% 이상의 강도 증진을 나타내었다. 2단계 배합은 1단계 배합을 통한 고흡수도 충전 모르타르의 배합도출을 위한 과정으로 상기 컨시스턴시 및 압축강도 실험결과 재령 1일의 목표로 하는 강도를 만족하지 못함에 따라 1종 조강형 시멘트를 사용하여 조기강도 확보 및 충전성능 개선을 위한 고흡수도 충전 모르타르의 개발이 필요할 것으로 판단된다.

### 3.3. 3단계 배합변수 및 실험결과

2단계 배합결과 도로 및 제방의 유실구간에 대한 복구를 위해 굵은골재를 투입한 경우에 활용하기 위한 모르타르의 배합은 물-시멘트비 0.5, 고성능감수제 사용량은 시멘트 중량 대비 0.5%, 그리고 잔골재 사용량은 시멘트 중량 대비 1.5배까지 가능한 것으로 분석되었다. 하지만, 본 연구 개발의 중요한 목표가 조기강도의 확보이므로 이러한 배합에 대하여 경제성을 확보할 수 있는 수준에서 활용가능하고, 조기강도발현을 위한 시멘트를 활용하기 위하여 3단계 배합에서는 Table 1의 1종 조강형 시멘트를 고려하였다. Table 5는 3단계 배합의 변수를 설명하고 있다. 여기서, EW는 1종 조강형 시멘트의 물-시멘트비를 뜻한다.

Table 5. 3<sup>rd</sup> Stage Mix Variables

Variables	W/C	C (kg/m <sup>3</sup> )	W (kg/m <sup>3</sup> )	F.A. (kg/m <sup>3</sup> )	HRWR (wt., %)
EW40SP0.5SA1.0	0.40	897.44	358.98	897.44	0.5
EW50SP0.5SA1.0	0.50	823.53	411.77	823.53	0.5
EW40SP0.5SA1.5	0.40	761.79	304.72	1142.69	0.5
EW50SP0.5SA1.5	0.50	707.87	353.94	1061.81	0.5
EW40SP0.6SA1.5	0.40	761.79	304.72	1142.69	0.6
EW45SP0.6SA1.5	0.45	707.87	353.94	1061.81	0.6
EW40SP0.7SA1.5	0.40	761.79	304.72	1142.69	0.7
EW45SP0.7SA1.5	0.45	707.87	353.94	1061.81	0.7

W00 : W/C 00%, SP00: HRWR 00%, SA00: Cement:Fine Aggregate.

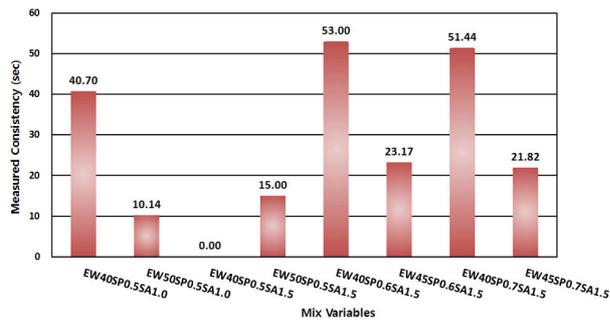


Fig. 11 Measured Consistency of 3<sup>rd</sup> Stage Mixes

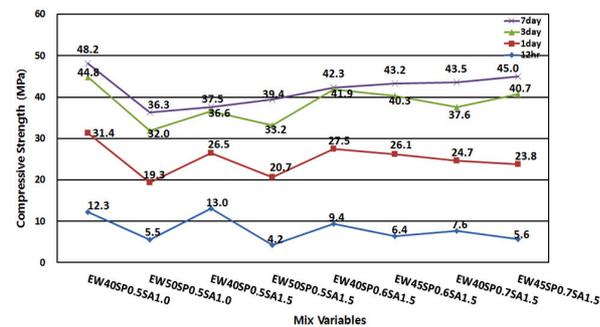


Fig. 12 Measured Compressive Strength of 3<sup>rd</sup> Stage Mixes

Fig. 11은 3단계 배합변수에 대한 컨시스턴시 측정결과를 나타내고 있다. EW40SP0.5SA1.0 변수의 경우, 40.70초의 다소 낮은 컨시스턴시 값을 나타내었다. 이는 상대적으로 낮은 물-시멘트비와 1종 조강형 시멘트의 높은 분말도로 인하여 충전 모르타르의 점성이 높아진 것에 기인한 것으로 판단된다. 하지만 점성이 높아짐에 따라 재료분리에 대한 저항성 역시 높아지는 것을 실험을 통해 알 수 있었다. 반면 EW50SP0.5SA1.0 변수의 경우, EW40SP0.5SA1.0 변수에 비해 약 75% 증가한 수준의 컨시스턴시 값을 나타내었다. 이는 상대적으로 많은 물-시멘트비가 유동성능에 영향을 미친 것으로 판단된다.

EW40SP0.5SA1.5 변수의 컨시스턴시 실험결과 많은 잔골재량과 낮은 물-시멘트비로 인하여 충전 모르타르의 점착성이 부족하여 컨시스턴시 측정 깔대기 유출구를 막는 된비빔 모르타르의 형태를 나타내었다. 반면, 동일 조건에서 물-시멘트비를 10% 증가시킨 EW50SP0.5SA1.5 변수의 경우 15초 수준의 상당히 높은 컨시스턴시 값을 나타내었다. 또한 EW40SP0.6SA1.5 변수의 컨시스턴시 실험결과 53초 수준의 낮은 값을 나타내었다. 반면, EW45SP0.6SA1.5 변수는 EW40SP0.6SA1.5 변수의 약 56% 증가한 수준의 컨시스턴시 값을 나타내었다.

Fig. 12는 3단계 배합변수에 대한 압축강도 측정결과를 나타내고 있다. 재령 12시간에서의 압축강도 실험결과 1단계 및 2단계 배합에서의 압축강도에 비해 상당히 높은 수준의 압축강도를 나타내었다. 이는 높은 분말도와 빠른 응결특성을 갖는 1종 조강형 시멘트 사용에 기인한 것으로 판단된다(김종백 외, 2012). 또한 재령 1일에서의 압축강도 실험결과 EW50SP0.5SA1.0 변수 및 EW50SP0.5SA1.5 변수를 제외한 모든 변수에서 재령 1일 목표 압축강도인 21MPa를 상회하는 수준으로 분석되었다.

재령 3일 이후의 압축강도 실험결과 낮은 물-시멘트비에서 상대적으로 높은 압축강도를 나타내었다. 이는 충전 모르타르의 활용에 있어 물-시멘트비는 0.40~0.45, 고성능감수제는 시멘트 중량 대비 0.5~0.7% 수준으로 사용하고 잔골재 사용량은 시멘트 중량 대비 1.0~1.5배까지 사용이 가능할 것으로 판단된다. 또한 조기강도 확보와 동시에 유동성능 개선을 목적으로 하는 고흡로도 충전 모르타르에 1종 조강형 시멘트의 사용은 바람직할 것으로 사료된다.

## 4. 결론

본 연구는 도로유실에 따른 긴급복구를 위한 골재 충전 고흡름도 모르타르 개발을 위한 연구의 일환으로 고흡름도 충전 모르타르의 기초 배합을 도출하기 위해 재료변수를 통한 유동성능 및 압축강도 특성에 관한 실험을 수행하였으며, 그에 따른 결론은 다음과 같다.

1. 1단계 배합변수 실험결과 물-시멘트비 0.5를 초과한 변수와 고성능감수제의 사용량이 시멘트 중량 대비 0.5% 초과인 모든 변수에서 재료분리 현상이 발생한 것을 알 수 있었다. 또한 모든 변수에서 재령 1일 목표 강도인 21MPa에 미치지 못하는 것을 알 수 있었다. 하지만 1단계 배합은 고흡름도 충전 모르타르의 배합도출을 위한 기초 배합으로서, 유동성능 및 압축강도 실험결과에 따라 물-시멘트비는 0.5 수준으로 사용하고 고성능감수제의 사용을 시멘트 중량 대비 0.5% 수준으로 고려하는 것이 바람직함을 알 수 있었다.
2. 1단계 배합변수 실험을 통해 도출된 물-시멘트비 및 고성능감수제 사용 수준을 기초로 2단계 배합변수별 컨시스턴시 실험결과 1단계 배합에서보다 컨시스턴시가 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 1단계 배합에서 사용하였던 잔골재 비 1:1.0 보다 다소 높은 잔골재 비 1.5 및 2.0을 사용한 것에 기인한 것으로 판단된다. 또한 잔골재 사용량 증가와 고성능감수제의 사용량이 시멘트 중량 대비 0.6%를 초과한 변수에서 재료분리가 발생하는 것을 알 수 있었다. 고흡름도 충전 모르타르의 개발에 있어 재료분리를 억제함과 동시에 충전성능을 확보할 수 있는 고성능감수제의 사용량은 시멘트 중량 대비 0.6% 이하를 사용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.
3. 2단계 배합변수별 압축강도 실험결과 1단계 압축강도 실험결과와 마찬가지로 재령 1일에 목표강도에 미치지 못하는 것을 알 수 있었다. 물-시멘트비 0.4를 활용한 변수에서는 충전성능은 확보가 되었으나 목표로 하는 압축강도에 미치지 못하여 본 연구에서 개발하고자 하는 고흡름도 충전 모르타르에 1종 보통포틀랜드시멘트의 활용은 힘들 것으로 판단된다. 따라서 필요로 하는 소요강도 및 충전성능을 만족시키기 위하여 1종 조강형 시멘트의 사용이 가능할 것으로 판단된다.
4. 3단계 배합변수별 컨시스턴시 실험결과 1종 조강형 시멘트의 높은 분말도로 인하여 낮은 컨시스턴시 값을 나타내었다. 하지만 점성이 높아짐에 따라 재료분

리에 대한 저항성 역시 높아지는 것을 실험을 통해 알 수 있었다. 또한 충전 모르타르의 유하시간은 상대적으로 길었지만 충전성능에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

5. 3단계 배합변수별 압축강도 실험결과 물-시멘트비 0.5를 사용한 변수를 제외한 모든 변수에서 재령 1일에서 21MPa를 상회하는 수준의 압축강도를 나타내었다. 이는 높은 분말도와 빠른 응결특성을 갖는 1종 조강형 시멘트 사용에 기인한 것으로 판단된다.
6. 상기 1~3단계 배합변수에 대한 실험을 종합한 결과 고흡름도 충전 모르타르의 소요강도 및 충전성능을 동시에 확보함에 있어 물-시멘트비는 0.40~0.45, 고성능 감수제는 시멘트 중량 대비 0.5~0.7% 수준과 잔골재 사용량은 시멘트 중량 대비 1.0~1.5배까지 사용이 가능할 것으로 판단된다. 또한 조기강도 확보와 유동성능 개선을 목적으로 하는 고흡름도 충전 모르타르 개발에 있어 1종 조강형 시멘트의 사용은 필수적일 것으로 사료된다.

## 감사의 글

본 연구는 국토교통부 건설교통기술지역특성화사업 연구개발사업의 연구비지원(13RDRP-B066780)에 의해 수행되었습니다.

## BIBLIOGRAPHY

- A. Smith (1991), "A cementitious backfill that flows like a liquid, supports like a solid, and self-levels without tamping or compacting(Controlled low strength material)", The Aberdeen Group, Publication # C910389.
- B. W. Ramme and T. R. Naik (1997), "Controlled Low-Strength Materials(CLSM) State-of-the-Art New Innovations", Supplementary Proceedings of Third CANMET/ACI International Symposium in Concrete Technology, Report # CBU-1996-13.
- Cho, Hyun Myung., Kim, Seung Won., Jeon, Sang Pyo., Shin, Sang Min., Suman Uprety, and Park, Cheol Woo (2014), "Comparison of Setting Properties and Compressive Strength of Cement Paste for Emergency Restoration of Collapsed Road and Slope", 2014 Korean Recycled Construction Resource Institute Conference, KOREC, pp. 31-36.
- Kim, Jong Baek., Jung, Eun Hye., Kwon, In Pyo., Park, Chan Hoon and Jeon, Yong Hee (2012), "Strength Development and Durability Properties of Concrete using Early Strength Type Cement", 2012 Korea Concrete Institute Conference, KCI, pp. 267-268.
- Kim, Seung Won., Cho, Hyun Myung., Ju, Min Kwan., Oh, Ji Hyeon and Park, Cheol Woo (2013), "Damage Cases of Road

and Surface of Slope due to Heavy Rainfall”, 2013 Korean Recycled Construction Resource Institute Conference, KOREC, pp. 148-151.

The National Emergency Management Agency (2013), “2013 Yearbook of Disasters(2013 재해연보)”, Recovery Support Division in the National Emergency Management Agency, Publication # 11-1660000-000032-10, pp. 5-84.

T. R. Naik, B. W. Ramme, and H. J. Kolbeck (1991), “Controlled Low-strength Material (CLSM) Produced with High-Lime Fly Ash”, Shanghai 1991 Ash Utilization Conference, Electric Power Research Institute Publication Gs-7388, V.3, pp. 110-1 through 110-11.