

## 콘크리트 하수관거 보수용 초속경 수중불분리 모르타르의 재료적 특성

이병재<sup>1</sup>, 이선목<sup>2</sup>, 방진욱<sup>3</sup>, 김윤용<sup>4\*</sup>

# Material Properties of Ultra Rapid Hardening Mortar for Repairing Sewage Treatment Concrete Pipes

Byungjae Lee<sup>1</sup>, Sunmok Lee<sup>2</sup>, Jin-wook Bang<sup>3</sup>, Yun-yong Kim<sup>4\*</sup>

**Abstract:** Among the sewage pipes installed in Korea, the length of concrete pipes exceeding 20 years is 66,334 km (42.5%). Deteriorated concrete sewer pipes need to be repaired due to the leakage of internal sewage, which causes problems such as sink holes by expanding the cavity around the pipeline. In this study, we tried to apply anti-washout underwater mortar with ultra rapid hardening cement and segregation reducing agent to sewage pipe repair. As a result of the setting time test, the final set time was delayed by up to 172% by incorporating segregation reducing agent. In the test for measuring the degree of mortar segregation in water, it was measured at pH 12 or less under all mixing conditions. In addition, the suspension amount was measured to be 50 mg / l or less to satisfy the KCI-AD102 standard by incorporating a segregation reducing agent. In terms of the average value of mortar compressive strength, by incorporating segregation reducing agent, the strength of the specimens produced in air was more than 80% of that of the specimens produced in water. Conversely, the bond strengths of the specimens produced in water were measured to be higher than those of the specimens produced in air. Water resistance was evaluated by measuring water absorption and water permeability. Water absorption and water permeability were reduced by 42.6% and 36.6%, respectively, by mixing segregation reducing agent.

**Keywords:** Sewer pipe, Repair mortar, Anti-washout, Ultra rapid hardening, Segregation reducing agent

## 1. 서론

2019년 국가하수도 통계에 따르면 2018년도 기준 전국에 매설된 공공하수도 관거의 총연장은 156,257 km이며 원심력관 및 철근콘크리트관 등 콘크리트로 제작된 관거의 비중은 44%이다. 특히, 콘크리트 관의 내구연한 20년을 초과하여 1997년 이전 매설된 콘크리트관은 42.5%(66,334km)로서 이에 대한 성능개선 및 수명증대에 대한 관심이 높아지고 있다. 사회기반시설 중 도시의 정맥과 같은 역할을 하는 콘크리트 하수관거의 내구성 저하 및 수명단축에 영향을 미치는 요인으로는, 폐수의 황하물 산화에 의해 생성된 황산이 콘크리트 표면을 열화시키는 것으로 보고되고 있다.

한편, 최근 사회적 문제로 야기되고 있는 도심지 땅꺼짐(싱크홀) 문제의 주요 원인은 하수관거의 열화로 내부 하수의 유출이

관로 주변의 동공을 확장시키고 상부의 하중을 견디지 못하게 됨으로서 침하 및 붕괴가 발생하는 것으로 보고되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 하수관거의 점검 및 보수를 통하여 유지관리를 하고 있다. 주요 보수 공법으로서는 도심지 교통통제, 주변환경오염, 지장물의 파손 등의 문제를 방지하기 위해 비굴착 전체보수 및 부분보수 공법이 적용되고 있다. 이때, 하수관거 내부의 수분을 대부분 제거한 상태에서 보수를 수행하고 있지만 하수관거 상부 및 측면에 대해서는 충분히 양호한 보수효과를 나타내지만 하부에 남아 있는 수분으로 인해 보수재의 성능을 충분히 발휘하지 못하는 문제점을 가지고 있는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 하수관거 보수시 수분이 남아 있는 바닥부 적용을 위한 초속경 수중불분리 모르타르의 성능을 검토하여 단면보수재 개발을 위한 기초 연구를 수행하였다.

## 2. 실험계획

### 2.1 실험계획 및 연구방법

본 연구에서는 단면복구용 수중불분리 초속경 보수재 개발을 위해 초속경시멘트를 적용하고, 분리저감제의 최적 배합을 도출하고자, 물리적 성능 및 역학적 성능을 검토하였다.

<sup>1</sup>정회원, 대전대학교 토목공학과 조교수

<sup>2</sup>정회원, 충남대학교 토목공학과 박사과정

<sup>3</sup>정회원, (주)동양 기술연구소 팀장

<sup>4</sup>정회원, 충남대학교 토목공학과 교수

\*Corresponding author: yunkim@cnu.ac.kr

Department of Civil Engineering, Chungnam National University, Daejeon, 34134, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2020년 7월 31일까지 학회로 보내주시면 2020년 8월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

**Table 1** Experimental variables

Items		Condition
Binder		URHC (ultra hardening cement)
Test items	Physical properties	- Setting time - Separation resistance (pH, suspension)
	Mechanical properties	- Compressive strength, Flexural strength, Bond strength - Water resistance

## 2.2 사용재료

### 2.2.1 시멘트

본 연구에 사용된 시멘트는 국내 S사에서 생산된 1종 보통 포틀랜드 시멘트(Ordinary Portland Cement 이하 OPC)와 국내 J사에서 생산된 초속경시멘트 (ultra hardening cement, 이하 URHC)를 사용하였으며, 물리·역학적 특성은 Table 2에 나타내었다.

**Table 2** Physical properties of binder

Type	Setting time		Soundness (%)	Fineness (cm <sup>2</sup> /g)	Density (g/cm <sup>3</sup> )
	initial set (m)	final set (s)			
OPC	59	6:39	0.070	3,300	3.15
URHC	30	45	0.060	5,722	2.94

### 2.2.2 골재

본 연구에서는 펠러(석분)와 규사를 사용하였으며, 사용된 재료의 특성은 Table 3 및 Table 4에 나타내었다.

**Table 3** Physical properties of filler

Fineness (cm <sup>2</sup> /g)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Ig-loss
3,124	2.67	0.76	0.29	0.2	54.4	0.84	-	-	-

**Table 4** Physical properties of sand

Density (g/cm <sup>3</sup> )	Absorption (%)	Unit mass (kg/L)	Organic impurities
2.61	0.10	1,641	-

### 2.2.3 혼화제

시멘트 분산작용에 의해 콘크리트의 성질을 개선시키는 혼화제로서, 국내 J사제품의 폴리카본산계 유동화제를 사용하

였으며, 수중불분리 성능 향상을 위해 폴리아크릴아마이드계 열의 분리저감제를 적용하였다. 사용된 혼화제의 특성은 Table 5 및 Table 6에 나타내었다.

**Table 5** Physical properties of superplasticizer

Type	Appearance	Density (g/cm <sup>3</sup> )	pH
Polycarbonate	Light brown powder	0.5	5.5

**Table 6** Physical properties of segregation reducing agent

Type	Appearance	Gading (μm)	Water content (%)	Viscosity (cps)
Poly acrylamide	White powder	98.1% < 250	0.8	50,000

## 2.3 시험체 제작

하수관거 보수용 초속경 모르타르의 배합설계는 사전실험을 통해 도출된 결과를 바탕으로 Table 7과 같이 선정하였으며, 초속경 시멘트 적용 및 분리저감제의 혼입을 변화에 따라 배합설계를 수행하였다. 모르타르의 배합은 KS F 4042 ‘콘크리트 구조물 보수용 폴리머 시멘트 모르타르’에 준하여 배합하여 시험체를 제작하였다.

**Table 7** Mix proportions

Mix.	W/M (%)	Unit weight(%)					Ad. (B×%)	
		OPC	URHC	Filler	Sand	PAA	PC	
OPC		35	-	15	50	-	0.4	
URHC-0		-	35	15	50	-	0.4	
URHC-0.2	20	-	35	15	50	0.2	0.4	
URHC-0.3		-	35	15	50	0.3	0.4	
URHC-0.4		-	35	15	50	0.4	0.4	
URHC-0.5		-	35	15	50	0.5	0.4	

URHC : ultra hardening cement,

PC.: polycarbonate superplasticizer, PAA : Poly acryl amide

## 2.4 실험방법

### 2.4.1 응결시험

응결시간은 KS L 5103 비카트 침에 의한 수경성 시멘트의 응결 시간 시험방법에 준하여 측정하여 비교·검토하였다.

### 2.4.2 수중분리도

습윤 경화형 시멘트 모르타르의 타설시 발생하는 시멘트 유실에 따른 재료분리도를 측정하기 위하여 한국콘크리트학회 제규준 KCI-AD 102 ‘콘크리트용 수중불분리성혼화제 품질 규격’(2010)에 준하여 분리저항성을 평가하였다. 동일 기준 부속서 2 ‘수중불분리콘크리트의 수중분리도 시험방법’으로 시험체를 제작하여 pH를 측정하고, 식(1)에 제시한 방법으로 현탁물질량을 계산하였다.

$$S = (a - b) \times \frac{1,000}{V} \quad (1)$$

여기서,  $S$ : 현탁물질량 (mg/l)

$a$ : 현탁물질을 포함한 여과재 및 시계저울의 질량 (mg)

$b$ : 여과재 및 시계저울의 질량(mg)

$V$ : 매스실린더로 계량하여 채취한 피검수의 물(m)

### 2.4.3 압축강도

기건 제작 공시체는 KS L ISO 679 ‘시멘트 강도 시험방법’에 따라 40×40×160mm인 빔형 몰드를 이용하여 제작하였다. 제작된 공시체를 재령 2일에 탈형을 하고 각 재령까지 기건 상태에서 양생을 한 후 휨 및 압축강도를 측정하였다. 수중제작 공시체는 기건 제작 공시체와 동일 몰드를 사용하고, KCI CT102 ‘수중불분리콘크리트의 압축강도 시험용 수중제작 공시체의 제작 방법’에 준하여 공시체를 제작하였다.

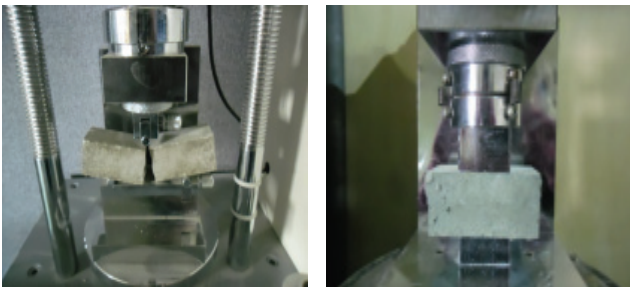


Fig. 1 Compressive strength test

### 2.4.4 부착강도

부착강도 시험체는 KS F 4042 ‘콘크리트 구조물 보수용 폴리머 시멘트 모르타르’에 준하여 시험체를 제작하였으며, 기건과 수중으로 구분하여 시험체를 제작하였다. 시험은 만능시험기를 이용해서 크로스벡터 속도 1 mm/min로 강제 축을 접착한 공시체의 인장접착강도 시험을 실시하였다.

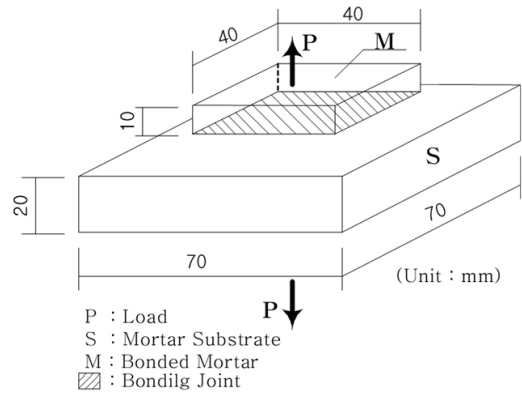


Fig. 2 Bond strength test

### 2.4.5 내수성

내수성 평가는 KS F 2476 ‘폴리머 시멘트 모르타르의 시험 방법’에 준하여 흡수율과 투수량을 측정하여 실시하였고, 70×70×20mm의 모르타르판에 시료를 최후순, 슬롤러 등으로 평탄하게 도포한 후 양생실 온도20±3℃, 습도(90±5)%의 양생조건하에서 재령 14일까지 양생하여 도포면을 제외한 4 측면을 수지로 완전히 밀봉한 것을 시험체로 하였다.



Fig. 3 Water resistance test

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 응결시험

Fig. 4는 배합조건에 따른 응결시험 결과이다. 초속경 시멘트 보수제의 비교군으로 실험한 OPC의 경우, 초결 70분, 종결 8시간으로 측정되었다. 이에 비해 초속경 시멘트를 적용한 배합의 경우 초결 38~65분, 종결 55~95분으로 측정되었으며, 분리저감제의 혼입율이 증가함에 따라 초결 및 종결이 지연되는 것으로 확인되었다. 이는 수중 불분리성 혼화제인 분리저감제를 적용하였을 때, 시멘트 입자에 흡착되어 응결지연이 발생된 것으로 판단되며 기존 연구결과와도 유사한 경향을 나타내었다.

### 3.2 수중분리도

하수관거 보수를 위한 초속경 수중불분리 모르타르 배합조건에 따른 수중분리도를 평가한 결과는 Fig. 5에 나타내었다. 일반적으로 분리저감제는 보수용 시멘트 모르타르의 혼합수에 용해되어 혼합수의 점성을 높여주고, 시멘트 입자에 흡착되어 입자간 가교역할을 함으로서 시멘트 입자가 수중에서 희석·유실되는 것을 방지하여 보수용 시멘트 모르타르의 재료분리를 줄여준다. OPC 및 URHC의 사용에 따른 pH 측정결과, OPC가 URHC 보다 높은 알칼리도를 나타내었다. 이는 URHC의 경우 결합재 내부에 포틀랜드시멘트의 함량이 낮기 때문에 판단된다. 분리저감제의 혼입을 증가에 따라서는 pH값이 낮아지는 경향을 보였다. 이는 분리저감제의 혼입으로 인하여 결합력이 증가되었기 때문에 판단된다. 분리저감제 혼입에 따른 수중분리도의 평가기준인 현탁물질량 측정결과, 분리저감제를 혼입하지 않은 경우에는 결합재 종류에 상관없이 현탁물질량 200mg/l 이상으로 측정되어 분리성이 큰 것으로 나타났으며, 분리저감제 혼입시 현탁물질량이 현저히 감소되어 50mg/l 이하로 관측되었다. 이는 pH측정결과와 유사한 경향으로서, 분리저감제의 혼입에 따라 모르타르

내부의 결합력이 증가되었기 때문에 판단된다.

한편, 분리저감제 0.2% 이상 적용시 한국콘크리트학회에서 제시하는 KCI-AD102 제규정에서 제시하는 수중분리도 (pH 12 이하, 현탁물질량 50mg/l) 규준을 만족하는 것으로 확인되었다.

### 3.3 압축강도

시멘트 모르타르의 강도는 시멘트 콘크리트와 같이 배합방법, 공기량, 시공방법, 양생조건, 시험방법 등 다양한 조건에 따라 영향을 받는다. 특히, 타설조건 및 양생조건은 모르타르 강도 조건에 많은 영향을 미친다. 본 연구에서는 공기중 및 수중에서 타설하고, 양생한 보수용 초속경 수중불분리 모르타르의 배합조건에 따라 시험체를 제작하여 압축강도를 측정하였으며 그 결과는 Fig 6에 나타내었다.

타설 조건에 상관없이 OPC의 경우 4시간 강도 측정은 불가하였으며, 강도 역시 가장 낮은 범위를 나타내었다. URHC의 경우, 재령 4시간부터 강도측정이 가능하였으며, 재령 7일에서 28일 강도의 80%이상 발현되는 것으로 나타났다. 하지만 분리저감제 혼입을 증가에 따라 강도는 저하되는 경향을 나

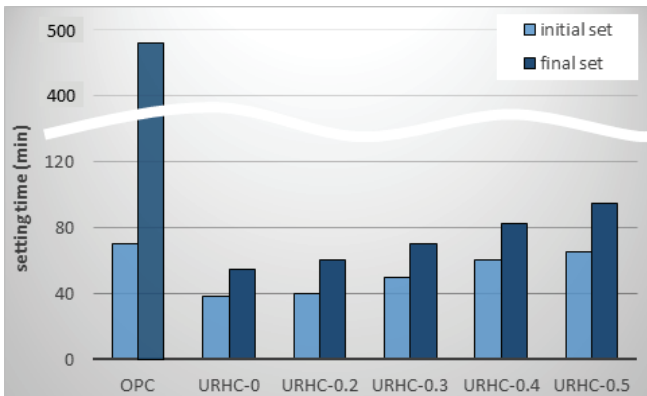


Fig. 4 Result of setting time

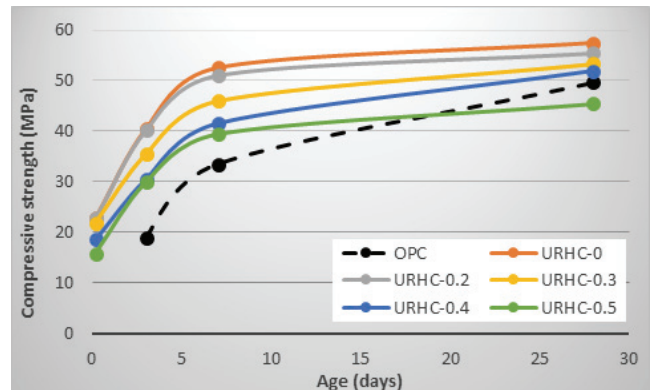


Fig. 6 Result of compressive strength (under-air)

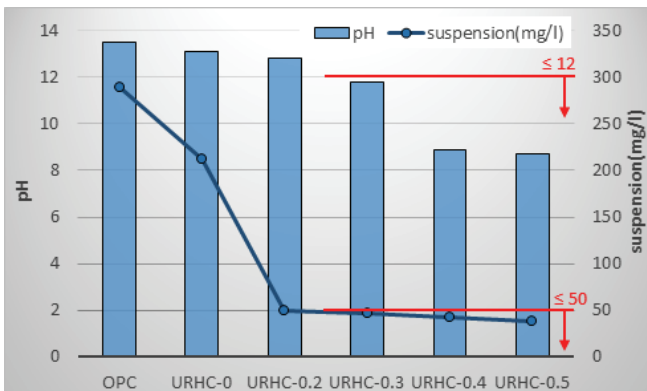


Fig. 5 Result of separation resistance

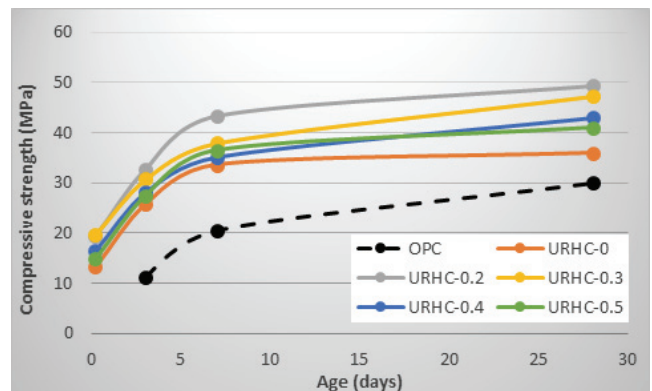


Fig. 7 Result of compressive strength (under-water)

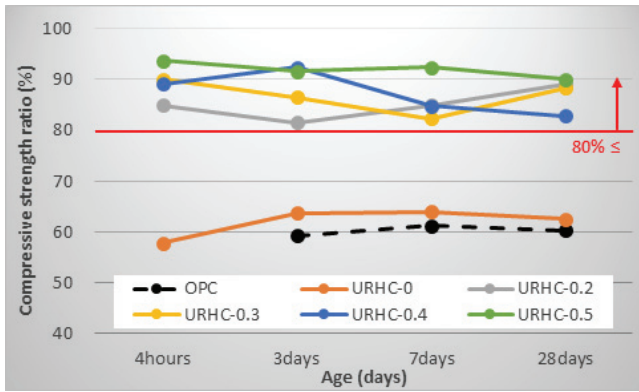


Fig. 8 Result of compressive strength ratio

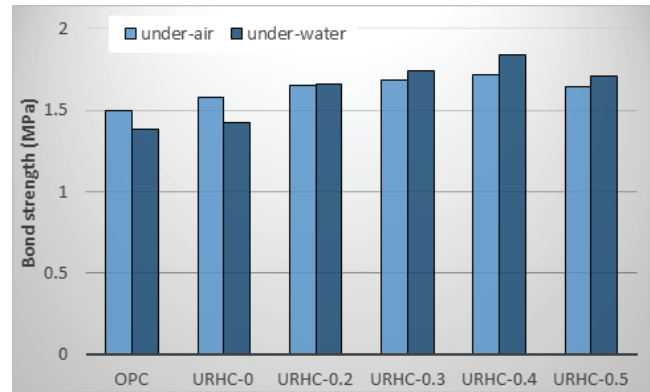


Fig. 9 Result of bond strength

타내어 0.8% 혼입시 혼입하지 않은 경우에 비하여 20.7% ~ 30.7% 정도 감소되는 경향을 나타내었다. 타설조건에 따른 경향을 검토해 보면, 수중 타설시 분리저감제를 적용하지 않으면 강도 감소경향이 59%~64%로 현저하게 나타났으나, 분리저감제 사용시 강도 비가 80% 이상으로 측정되어 분리저감제 효과가 있는 것으로 확인되었다. 또한, 기건타설조건에서 분리저감제 0.8% 혼입시 강도저하가 있었지만, 수중타설시에는 오히려 8.6%~14.1%의 강도 증가 경향을 나타내었다. 이는 수중 타설시 분리저감제의 우수한 수중불분리 효과를 나타내어 모르타르가 수중이 해리되지 않고 밀실한 시험체를 제작할 수 있었기 때문으로 판단된다. 강도시험결과에서도 수중불분리용 혼화제의 규정에서 제시하는 강도 및 강도비를 모두 만족하는 것으로 확인되었다.

### 3.4 부착강도

Fig. 9는 기건 상태 및 수중 상태에서 제작된 보수용 초속경 수중불분리 모르타르의 부착강도 시험결과를 나타낸 것이다. 타설 상태 및 혼화제 첨가에 관계없이 습윤 경화형 시멘트 모르타르의 접착강도는 초속경 시멘트를 사용하였을 때, 높은 강도를 나타내었다. 이 같은 접착강도의 증가는 초속경시멘트에 혼합되어 있는 분말형 폴리머가 모르타르 내부에서 페이스트의 접착면에 형성된 폴리머 필름에 의해 바탕 모르타르의 피착체와 페이스트 사이에 치밀한 조직이 형성됨과 더불어 페이스트의 양호한 보수성에 의해 모르타르로부터 피착체로의 흡수가 감소하여 드라이아웃이 방지되기 때문이라 사료된다. 또한 타설 조건에 관계없이, 분리저감제의 혼입율이 0.4%까지 증가함에 따라 강도가 증가하였으나 0.5%에서는 다소 감소되는 경향을 나타내었다.

한편, 타설 조건에 따른 부착강도 평가 결과, 분리저감제를 혼입하지 않은 경우, 공기중 상태에서 부착강도가 높았지만 분리저감제를 혼입한 경우 수중에서 타설하였을 때, 오히려 강도가 더 높은 경향을 나타내었다. 이는 일반 모르타르나 콘

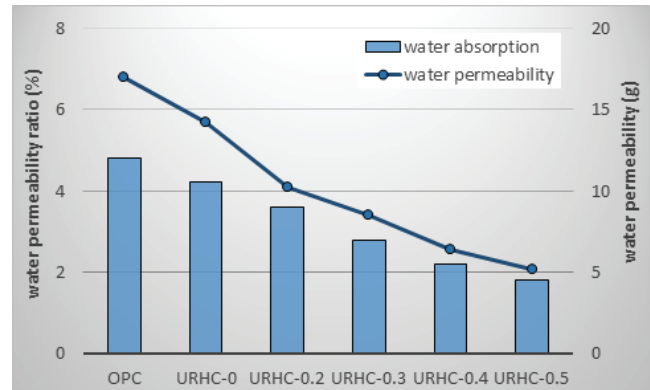


Fig. 10 Result of water resistance

크리트 제작시 발생하는 레이턴스나 재료분리 등의 문제가 수중 타설시 개선되어 강도가 증가한 것으로 판단되며 기존의 연구문헌에서와 동일한 경향을 나타내어 실험이 적절히 수행된 것으로 판단된다. 타설 조건에 따른 부착강도 차이는 약 10%정도로서 많은 차이를 나타내지는 않았다.

### 3.5 내수성

수중불분리 콘크리트의 경우 동결융해저항성이 낮은 것으로 보고되고 있다. 따라서, 수중불분리 모르타르 제작에 있어 내수성에 대한 성능개선이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 흡수율 및 투수량을 측정하여 내수성을 평가하였으며, 그 결과는 Fig. 10에 나타내었다.

하수관거 보수용 초속경 수중불분리 모르타르의 수중조건에서 타설된 시험체에 대한 흡수율 평가결과, 초속경시멘트 적용시 흡수율이 개선되는 경향을 나타내었으며, 분리저감제의 혼입율이 증가함에 따라 흡수율이 42.6%정도 개선되는 경향을 나타내었다. 이는 분리저감제 적용시 초기 타설시 밀실한 콘크리트 제작이 가능했던 것으로 판단되며 기존 연구결과에서와 마찬가지로 분리저감제의 높은 보수성이 영향을 미

친 것으로 사료된다. 투수량 시험결과 역시 흡수율과 동일한 경향을 나타내어 분리저감제 혼입을 증가에 따라 투수량이 급격히 저하된 것으로 나타났다.

감제의 적정 혼입율은 본 실험 범위에서는 0.3% 정도가 적절할 것으로 판단되며, 향후, 현장 적용을 위한 시공성 평가로 내구성 검토가 필요할 것으로 판단된다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 하수관거 보수시 수분이 남아 있는 바닥부 적용을 위한 초속경 수중불분리 모르타르의 성능을 검토하여 단면보수재 개발을 위한 기초 연구를 수행하였다. 본 연구범위에서의 결과는 다음과 같다.

- 1) 응결시험 결과, 초속경시멘트 적용시 초결65분이하, 종결 95분 이하로 나타났으며, 분리저감제의 혼입에 따라 종결시간이 약 172% 정도 지연되는 것으로 나타났다.
- 2) 수중분리도 시험결과, 분리저감제 0.3% 이상 혼입시 pH가 12 이하로 측정되었으며, 현탁액량은 분리저감제 0.2% 이상 혼입시 50mg/l 이하로 측정되어 국내 수중불분리 콘크리트 규정을 만족하였다.
- 3) 압축강도는 분리저감제 혼입시 기건 타설조건에서 최대 30.7%의 강도저하를 나타내었지만, 수중타설시 최대 14.1%의 강도가 향상되는 결과를 나타내었다.
- 4) 부착강도는 분리저감제 혼입시 수중타설 조건에서 기건 타설보다 우수한 강도를 나타내었다. 하지만, 분리저감제 혼입을 0.5%에서는 오히려 강도가 감소되는 것으로 나타나 0.4% 이하로 사용하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 5) 내수성 평가결과, 수중타설 조건에서 분리저감제 적용시 흡수율 42.6%, 투수량 36.6% 개선되는 것으로 나타내어 분리저감제의 성능이 우수함을 확인하였다.
- 6) 하수관거 보수용 초속경 모르타르 적용을 위한 분리저

## 감사의 글

이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. 2015R1A5A1037548).

## References

1. National Sewerage Information System, (2020) “<https://www.hasudoinfo.or.kr/>”
2. Kim, J.Y., Kang, J.M., Choi, C.H., Park, D.H., (2017) Correlation Analysis of Sewer Integrity and Ground Subsidence, Journal of the Korean Geotechnical Society, 18(6), 31-37.
3. Kim, Y. R. (2014), Subsidence occurrence and countermeasure by sewer, Water Journal, 11.
4. Kim, Y. S., Park, J. I., Lee, D. J. and Jeon, M. G. (2007), Evaluation of risk factors and decision making for rehabilitation of water supply network using AHP, KFIS Spring Conference 2007, 17(1).
5. Lee, H. H., Lee, E. J. and Hyoun, C. K. (2015), Analysis of risk factors on water and sewage pipeline causing the ground pore, Korea Concrete Institute Conference, 711-712 (in Korean).
6. Lee, D. Y., (2018), Analysis of Sewer Pipe Defect and Ground Subsidence Risk by Using CCTV and GPR Monitoring Results, Journal of Korean Geosynthetics Society, 17(3), 47-55.

Received : 04/01/2020

Revised : 04/14/2020

Accepted : 05/12/2020

**요 지 :** 국내에 설치된 하수관거 중에서 20년을 초과한 콘크리트관의 연장은 66,334km로서 전체의 42.5%를 차지한다. 열화된 콘크리트 하수관거에서는 내부 하수의 유출로 인해 관로 주변의 동공을 확장시켜 땅꺼짐 등의 문제도 발생시키기 때문에 이에 대한 보수를 통한 유지관리가 필요한 실정이다. 본 연구에서는 초속경시멘트 및 분리저감제를 적용한 수중불분리성 모르타르를 하수관거 보수에 적용하기 위한 기초연구를 수행하였다. 배합조건에 따른 응결시험 결과와 분리저감제 혼입에 따라 종결이 최대 172%정도 지연되는 것으로 나타났다. 수중분리도는 분리저감제 0.3% 이상 혼입시 pH 12 이하로 측정되었고, 현탁액량은 분리저감제 0.2% 이상 혼입시 50mg/l이하로 측정되어 국내 KCI-AD102 기준을 만족하였다. 기건조건과 수중조건에서 타설하였을 때의 강도비 평가 결과, 분리저감제 혼입시 80% 이상의 강도비를 나타내어 국내 KCI-AD102 기준을 만족하였다. 부착강도는 분리저감제 혼입시 기건조건보다 수중조건에서 타설하였을 때 높은 강도로 측정되었다. 내수성 검토는 분리저감제 혼입량에 따른 흡수율과 투수성으로 평가하였고, 각각 42.6%, 36.6%의 성능개선을 확인하였다.

**핵심용어:** 하수관거, 보수 모르타르, 수중불분리, 초속경, 분리저감제