폴리머 콘크리트를 적용한 하수암거의 공학적 특성

Engineering Properties of Sewage Polymer Concrete Culvert

권 성 준¹⁾ 민 병 윤²⁾ 박 상 순^{3)*}

Kwon, Seung Jun Min, Byung Yoon Park, Sang Soon

Abstract

Concrete sewage culvert shows degradation with time since it is always exposed to various harmful ions, and deterioration of concrete culvert propagates to structural safety problems. After reclamation, maintenance for concrete sewage culvert is very difficult so that high durable and structural performance are essential for the sewage concrete culvert. Recently polymer concrete has been used to improve mechanical properties and durability performance.

In this paper, engineering properties are evaluated for sewage culvert made with polymer concrete, and leakage and adhesive strength between joints are evaluated with small-scale models. The polymer sewage culvert shows high compressive strength over 100MPa with low water permeability and chloride penetration. Furthermore, high resistances to chemical and biological attack are evaluated. Through tests for leakage and adhesive, unification of joints is verified with evaluation of no leakage and high adhesive strength. Precast polymer sewage culvert in this paper can be actively used for severe conditions like sewage lines.

Keywords : Sewage culvert, Polymer concrete, High strength, Durability, Permeability

1. 서 론

콘크리트의 단점을 개선하기 하여 폴리머 콘크리트가 다양하게 사용되고 있다. 주로 내구적인 문제인 방수성, 내화학성 등에 큰 저항을 가지고 있으며, 다양한 공장제품의 개발을 통하여 그 적용 영역이 확대되고 있는 실정이다. 최근 들어 환경부하에 대한 영향을 감소시키기 위하여 PET(polyethylene terephthalate)를 재활용하고, 재생골재를 첨가하여 환경부하 저감과 내구성을 동시에 확보한 연구도 진행되고 있다(Jo et al., 2005; Joo et al., 2006). 또한 부식방지를 위하여 철근의 방청코팅에 사용되기도 하였는데(Song et al., 2008), 수산화칼슘 작용을 이용하여 pH 저하를 유도함으로써 방청효과를 유지시키는 폴리머 코팅에 대한 연구도 진행되었다. 또한 부식방지를 위하여 폴리머 시멘트 슬러리를 활용한 연구도

수행되었다(Jo, 2008).

폴리머 콘크리트와 함께 폴리머 시멘트에 대한 연구도 진행되었는데, 표면의 미세한 균열이 감소하고 폴리머 필름의 실링효과로 방수성, 흡수성, 염화물 이온 침투 저항성 등이 뛰어나게 개선되므로, 보수재료로 다양하게 활용되고 있다(Hyung et al., 2005). 폴리머 시멘트는 양생 조건에 민감하게 반응하게 되는데, 외부 양생조건 등의 환경조건을 고려하여 공학적 특성을 분석하려는 연구 역시 활발하게 진행되었다(Jo, 2006; Kim et al., 2007). 콘크리트-시멘트의 폴리머 적용은 구조체 또는 시편 제작에 직접적으로 사용되는 경우도 있으나, 주로 방식, 방수용 보수재료에 적극적으로 사용되고 있다(Bae et al., 2005; Song et al., 2007; Park et al., 2010).

콘크리트 하수암거는 사회기반 시설물로서 까다로운 작업환경과 매립이후 보수를 할 경우 많은 문제점을 야기

1) 정회원, 한남대학교 건설시스템공학과 조교수

2) 정회원, (주)계림폴리콘 대표이사

3) 정회원, 상명대학교 건설시스템공학과 조교수, 교신저자

* Corresponding author : parkss87@smu.ac.kr 041-550-5317

• 본 논문에 대한 토의를 2012년 12월 31일까지 학회로 보내주시면 2013년 1월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

한다. 또한 특유의 오염물질로 인해 유지관리가 어려운 구조물로 고려된다. 특히 물리적인 침해 및 화학적 침해가 동시에 발생하며, 내부에서 생성된 황산염 침해로 인해 에트린자이트가 생성되어 균열을 야기하게 된다(Song et al., 2002). 그로인해 국내의 하수암거의 70%를 차지하는 콘크리트涵管에서는 이음부 이완, 모르터 박락 등 많은 문제점이 나타나고 있다(Song et al., 2006; Japan Sewage Works Agency, 2002). 다양한 PC(Precast Concrete) 제품에 폴리머 콘크리트가 사용되고 있으나, 하수암거에 직접적으로 적용된 예는 현재까지 없는 실정이다.

본 연구는 하수암거와 같이 극한환경에서 소요성능을 유지해야 하는 폴리머 콘크리트 하수암거에 대하여 공학적 특성을 분석한 연구이다. 실내실험을 통한 내구적 및 역학적 특성 분석 뿐 아니라, 축소모형을 제작하여 이음부의 누수 및 접착력을 평가하였다. Fig. 1에서는 폴리머 콘크리트 하수암거의 사진을 나타내고 있으며, Table 1에서는 제작가능한 제품의 규격을 나타내고 있다. 또한 보통 콘크리트와 폴리머 콘크리트의 역학적 특성을 Table 2에 정리하였다.

2. 하수암거에서의 콘크리트 열화

생 · 화학적인 부식반응에서는 최종적으로 생성된 황산

Fig. 1 Photo for polymer sewage culvert

Table 1 Size of polymer culvert prototype

Size	Thickness	Weight	Steel
B, H, L (mm)	t1, t2, t3 (mm)	(kg)	diameter(mm)
1,500×1,500×2,000	100×100×80	2,832	∅ 10
2,000×2,000×2,000	100×100×80	4,128	∅ 10
3,000×3,000×2,000	150×150×120	8,218	∅ 13

이 콘크리트를 침식시키는데, 반응의 원인물질은 하수암거 내의 황산이온 및 BOD(Biochemical Oxygen Demand)로 표현할 수 있는 유기물이다. 반응의 주요과정은 식 (1) ~ (3)에 나타내었다.

1단계 반응은 혐기성 미생물이 황산이온과 유기물을 이용하여, 황화수소를 생성시키는 반응이다. 2단계 반응은 1단계에서 생성된 황화수소를 호기성 미생물이 황산으로 전환시키는 반응이며, 3단계에서는 2단계에서 생성된 황산이 시멘트내의 수화물(수산화칼슘)과 반응함으로써 콘크리트의 침식이 야기된다. 1,2단계의 반응은 용존 산소의 유무에 따라 생존여부가 상반되는 미생물에 의하여 이루어지므로, 이와 부합되는 환경조건을 만족시키는 하수암거에서만 콘크리트 열화가 발생하게 된다.

한편, 생성된 황산염은 식 (4)와 같이 수산화칼슘과 반응하여, 에트린자이트를 생성하므로써, 콘크리트의 팽창에 의한 침식을 야기한다.

식 (1) ~ (4)와 같은 반응은 2회의 미생물 반응과 2회의 화학반응이 유기적으로 발생하는 매우 복잡한 반응기구를 가지고 있다. 또한 이들 반응의 영향인자는 물리적, 화학적, 생물학적 요소가 포함되어 매우 다양하며, 복합적으로 작용한다. 이외에도 함수암거는 바닥이 고정된 장

Table 2 Typical mechanical properties of polymer concrete

Types	Unit	Polymer concrete	Normal concrete
Density	g/cm ³	2.3	2.3
Compressive strength	MPa	100~150	20~40
Flexural strength	MPa	20~35	4~10
Tensile strength	MPa	10~15	1~3
Shear strength	MPa	10~30	2~4
Impact strength	MPa	1.8~2.4	0.15~0.20
Absorption	%	0.05~0.2	4.0~6.0

선구조이므로, 건습반복으로 인해 벽체 및 천장에 국부적인 인장응력이 발생되어 수평 및 수직균열이 발생하기도 한다. 이렇게 발생한 균열은 외부 열화인자의 직접적인 유입원이 되며, 열화를 더욱 가속화 시킨다(Korea Conformity Laboratories, 2009). Fig. 2에서는 콘크리트 하수암거의 생화학적 부식 발생기구를 나타내고 있으며, Fig. 3에서는 대표적인 열화 및 손상의 사례를 나타내고 있다.

본 논문에서 다루는 폴리머 콘크리트가 하수암거에 적용될 경우, 기존 콘크리트 암거와는 다른 열화환경이 발생할 것이다. 일단 황산염 침해에 따른 에트린자이트의 생성 및 팽창으로 인한 균열은 없어질 것으로 예상되며, 내부에 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 가 없으므로 탄산화에 따른 내부 철근부식도 없을 것으로 예상된다. 그러나 시공시 결함이 발생할 경우, 오염물질로 인한 내부 철근의 부식, 결합부의 누수로 인한 철근부식 등이 발생할 수 있다. 또한 황산염에 따른 침투가 발생할 경우, 폴리머 구체의 강도저하를 예상할 수 있다.

Fig. 2 Biochemical corrosion in concrete sewage culvert

(a) Steel exposure and corrosion (b) Wall pit and corrosion

Fig. 3 Representative damages in concrete sewage culvert

3. 폴리머 콘크리트의 재료물성 평가

3.1 배합

폴리머 콘크리트란 시멘트와 물을 사용하지 않고 합성수지인 불포화폴리에스테르 수지(UP: Unsaturated Polyester Resin)를 결합재로 하여 굵은 골재, 잔골재, 충전재 등을 혼합한 콘크리트를 의미한다.

폴리머 콘크리트 시편의 배합비는 Table 3과 같으며, Table 4에는 굵은 골재 및 잔골재의 특성을 나타내었다. 한편 Table 5 및 6에서는 수축저감제 및 수지의 특성을 나타내었다.

3.2 역학적 특성 평가

3.2.1 강도 평가

압축강도는 KS F 2481에 따른 압축 강도 시험 방법을, 인장강도는 KS F 2480에 따른 방법을, 그리고 휨강도는 KS F 2482에 따른 휨강도 방법을 참조하여 시험을

Table 3 Mix proportions for polymer concrete

Mix proportions							note
Gravel	Sand	Filler	Resin	SRA*	Hardner	A-174	
47	20	22	9	2	0.5	1	Weight ratio (%)

* Shrinkage reducing agent

Table 4 Properties of gravel and sand

Type	Specific gravity	Absorption ratio (%)	F.M.
Sand	2.56	2.18	2.85
Gravel	2.60	0.94	6.51

Table 5 Properties of SRA

Main constituent	Density (g/cm ³)	Solid ratio (%)	Shape	Color	Solubility
Glycol-type	3.18	31	Powder	White	Soluble powder

Table 6 Properties of UP resin

Density (25℃)	Viscosity (25℃, mpa.s)	Acid value	Styrene content (%)
1.12	325	16.9	38.0

Fig. 4 Splitting tes

Fig. 5 Flexural test

(a) test setup

(b) broken specimen after weight drop

Fig. 6 Drop-weight impact Test

Table 7 Results for strength test

Compressive strength (MPa)	Split tensile strength (MPa)	Flexural strength (MPa)
100.1	12.2	25.3

수행하였다. KS F 2419인 공시체 제작 방법에 준하여, 각 시험별로 3개 이상을 제작, 시험하여 평균값을 취하였다. 양생은 온도 $20 \pm 2^\circ\text{C}$, 습도 55~60%의 실험에서 2일간 건조양생 한 후 70°C 고온에서 3일간 양생하였다.

Fig. 4와 5는 쪼갬인장시험 및 휨강도 시험을 나타내었으며, 그 결과는 Table 7에 나타내었다. 실험결과 압축강도는 일반 콘크리트의 3배 수준인 100.1MPa를 나타내었으며, 휨강도 및 인장강도는 각각 25.3MPa, 12.2MPa으로 매우 높은 수준을 나타내었다.

3.2.2 내충격성 평가

프리캐스트 제품의 특성상 이동이나 시공 중에 예기치 못한 충격하중이 가해질 가능성이 높으며 설계수명 동안 이러한 충격하중에 대한 급작스러운 취성파괴는 방지되어야 한다. 이에 폴리머 콘크리트 시편의 낙하충격에 대한 충격 및 파괴 인성시험을 통해 재료의 취성에 대한 평가를 수행하였다. 인성(toughness)은 재료가 파괴에 이를 때까지의 에너지흡수 능력으로 정의되며, 하중-변위(또는 응력-변형)곡선으로 평가할 수 있다. 내충격성 평가방법은 ACI Committee 544를 적용하였는데, $300 \times 300 \times 60\text{mm}$ 크기의 폴리머 콘크리트 시편을 제작하여 총 18번의 낙구충격시험을 수행하였다. 3kg의 낙구를 바닥면에 위치한 폴리머 콘크리트 충격시편에 높이를 변화시키면서 낙하시켜 시편의 파괴 유무를 확인하였다. Fig. 6에서는 낙구충격시험 및 시험 후 파괴된 시편을 나타내고 있다. 폴리머 콘크리트는 3kg의 낙구가 1.3m 높이에서 떨어질 경우 파괴가 발생하였으며, 1.2m에서는 파괴가 발생하지 않았으므로, 충격 에너지 흡수량은 35.28J로 평가되었다.

(a) test setup

(b) broken specimen after test

Fig. 7 Test for flexural toughness

Fig. 8 Results for flexural toughness

휨인성 시험은 KS F 2566를 참조하여, 총 5개의 시편에 대하여 수행하였으며, 등가휨강도와 휨강도의 비율인 인성계수를 도출하여 파괴인성을 평가하였다. Fig. 7에서는 폴리머 콘크리트의 휨 인성 시험모습을 나타내었으며, Fig. 8에서는 휨인성 실험결과를 나타내고 있다. 시험 결과 폴리머 콘크리트는 하중이 최고점을 지나면서 급속하게 파괴되는 취성을 나타내었다.

3.3 내구성 평가

내구성 평가에서는 투수계수, 염소이온 침투성, 내화학적, 생물학적 저항성, 길이변화를 등이 평가되었다. 하수

암거는 화학적 침식과 이에 따른 철근부식이 매우 중요한 인자로 작용하므로, 이를 고려하여 실험항목을 설정하였다.

3.3.1 수밀성 평가

일정한 수압 하에서 일정높이를 지닌 시험체를 통과하는 물의 평균속도를 확인할 수 있는 투수계수를 측정하기 위하여 ASTM D 5084에 따라 폴리머 콘크리트의 투수량을 측정하였다. 투수계수를 구하는 이론식은 Darcy의 법칙을 이용하여 식 (5)와 같이 투수계수를 측정하였다.

$$k = \frac{\Delta Q L}{A h \Delta t} \quad (5)$$

여기서, k 는 투수계수 (m/s), ΔQ 는 주어진 시간간격 Δt 에 해당하는 수량 (m^3), L 은 시편의 길이(m), A 는 시험체의 단면적 (m^2), h 는 평균수두손실(m)을 나타내고 있다. 1.0psi ($0.0703kgf/cm^2$)을 가압하여 투수계수 실험을 수행하였으며, 실험개요도를 Fig. 9에 나타내었다.

투수시험용 공시체는 $\Phi 100 \times 50$ mm의 원주형 몰드를 사용하였다. 타설 후 48시간 지나서 탈형하였으며 70°C에서 3일 동안 양생하였다. 폴리머 콘크리트 공시체를 투수시험기에 설치한 후 3일 동안 가압하여 시험을 수행하였으나 투수를 확인할 수 없었으므로 사실상 투수계수가 0.0에 가까운 결과를 나타내었다. 일반적인 콘크리트의 투수계수는 $10 \times 10^{-10} \sim 30 \times 10^{-10} cm/sec$ 수준으로 알려져 있다(Metha et al., 1993). 기존의 폴리머콘크리트의 투수성 실험결과에서도 본 실험과 비슷하게 투수량이 평가되지 않았으며, 매우 낮은 투수성을 확보하고 있음을

알 수 있다(Bae et al., 2005).

3.3.2 염소이온 침투저항성

지하수에 해수가 유입될 수 있는 지역에서는 염해에 대한 저항성을 필요로 한다. 염해에 대한 저항성을 콘크리트와 비교하기 위해 염소이온 침투저항성 실험을 KS F 2711에 의거하여 콘크리트의 염소이온 침투 저항성 시험을 수행하였다. 염화물이온 침투저항성 시험은 제작된 공시체를 시험셀에 장착한 후 60V의 직류를 $\pm 0.1V$ 정도로 안정적으로 공급하고, 전류의 측정은 전압을 측정함으로써 얻을 수 있다. 확산셀에 들어가는 전해질 용액은 Applied Voltage Cell의 (-)전극에 3.0%의 NaCl 용액이, (+)전극에는 0.3N의 NaOH 용액이 사용되었다. 시험 중 30분마다 저항에 걸리는 전압을 6시간까지 측정하였으며, 식 (6)을 통하여 전체 전하량을 측정하였다.

$$Q = 900 \times (I_0 + 2I_{30} + 2I_{60} + \dots + 2I_{330} + I_{360}) \quad (6)$$

여기서, Q 는 회로를 통한 전하량 (Coulombs), I_N 은 실험개시후 N 분 경과시의 전류 (A)를 나타낸다.

시험결과 통과전하량의 평균은 0.67(C)로 평가되었는데, KS F2711에 의하면 이는 매우 낮은 값이며 100C 이하의 값은 염소이온 침투성을 무시할 수 있다. 일반적인 콘크리트가 300~800(C) 정도의 염소이온 침투성을 나타내는데, 이에 비하여 매우 뛰어난 염소 침투저항성을 가지고 있음을 알 수 있다. 폴리머 층을 통과하는 모재의 투수성이 매우 낮으므로 이에 따라 염소이온 침투성도 낮게 평가 되었다. Fig. 10에서는 염화물 이온 침투저항성 시험 사진을 나타내고 있다.

Fig. 9 Test setup for water permeability

Fig. 10 Photos for chloride penetration test

3.3.3 내화학적 평가

하수암거는 밀폐된 공간에서 생활하수와 산업체 오폐수에 의한 화학작용을 받는 열악한 환경에 위치에 있기 때문에 내구성능 평가를 위해서는 내화학적능의 평가가

Table 8 Test results for resistance to chemical acid

Type	Compressive strength (MPa)		strength reduction (%)
	before	after (16weeks)	
H ₂ SO ₄ (5%)	101.1	100.0	-1.1
HNO ₃ (5%)	101.1	93.3	-7.7
CH ₃ COOH (5%)	101.1	99.6	-1.5
HCl (5%)	101.1	92.9	-8.1

필수적인 요소이다(Song et al., 2006). 하수암거는 독성의 폐수로 인한 화학적 침식작용을 심하게 받는데, 시멘트 페이스트와 골재사이의 경계영역에 주로 생성되는 에트린자이트와 유리 수산화칼슘 조직체의 화학적 파괴가 발생한다. 본 연구에서는 ASTM C 267에 기초하여 5% H₂SO₄, 5% HCl, 5% HNO₃ 및 5% CH₃COOH 수용액에서 16주간 침지한 시편에 대한 압축강도시험을 실시하여 강도변화비를 측정하였다.

내산성 시험결과는 Table 8에 나타내었는데, 압축강도 저하율은 -1.1(%)~ -8.1(%) 수준으로 낮게 평가되었다. 실험결과 HCl(5%)에 비교적 큰 강도감소를 (8.1%) 이 평가되었는데, 이는 강산에 따른 표면 폴리머 층의 파괴로 인해, 표면에 구속되는 힘이 감소되어 강도감소가 발생한 것으로 평가되었다. 정량적인 화학적 침식에 대한 저항성을 평가하기 위해서는 화학적 침식에 따른 공극구조변화 및 내부화합물 변화에 대한 분석이 추가적으로 요구된다.

3.3.4 생물학적 저항성 평가

하수암거의 장기거동 특성에 있어 고려하여야 할 중요한 특성으로는 하수암거내에 있는 생물체나 암거내로 들어오는 생물체에 의해 경화된 암거의 특성저하가 나타날 수 있는데, 특히 유기 고화매질을 사용한 고화체의 경우 이러한 열화가 발생할 수 있다(Song et al., 2006; Korea Conformity Laboratories, 2009).

생물학적 저항성 시험은 ASTM G21에 준거하여, *Aspergillus niger*, *Penicillium pinophilum*, *Chaetomium globosum*, *Gliosidium virens*, *Aureobasidium pullulans* 균주를 사용하여 4주후 균사의 발육여부를 관찰하였다. 생물학적 저항성 시험 판독 결과는 4주간 5cm×5cm 시험편의 접중부분에 균사의 발육이 확인되지 않았다. Fig. 11에서는 4주 균사에 노출된 시편의 압축강도를 나타내고 있는데, 일반조건의 폴리머 공시체와 큰 차이가 없는

Fig. 11 Compressive strength test after test for resistance of synthetic polymeric materials to fungi

Fig. 12 Compressive strength after Bio test (8 weeks)

강도특성을 보여주고 있다.

또한 보통포틀랜드 시멘트를 사용한 콘크리트 시편을 이용하여 동일한 시험을 수행하였다. 균사의 번식은 8.2% 정도 증가하였으나, 4주간 균사에 도출된 시편의 강도변화는 크게 나타나지 않았다. 그러나 균사의 번식이 계속 증가할 것이므로 장기간의 노출에 대해서는 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다. Fig. 12에서는 4주 양생 후, 4주 균사에 노출된 폴리머 콘크리트와 일반 콘크리트의 강도변화를 나타내고 있다.

3.3.5 길이변화 평가

길이변화 측정은 KS F 2424의 조항을 참고하여 시험체의 길이 변화를 평가하였다. 측정은 시험용 공시체를 온도 20±2℃, 상대습도 80% 이상에서 48시간 경과한 후 탈형하고, 온도 20±2℃의 물 속에서 5일간 양생 후

Fig. 13 Test for length change polymer concrete

즉시 바탕길이를 측정하였다. 이어서 공시체를 온도 $20 \pm 2^\circ\text{C}$, 습도 $60 \pm 10\%$ 에서 28일간 양생한 후에 길이를 측정하였다. 길이변화율은 식 (7)과 같다.

$$\delta(\%) = \frac{(X_{01} - X_{02}) - (X_{i1} - X_{i2})}{L_0} \quad (7)$$

여기서, L_0 는 기준길이, X_{01} , X_{02} 는 각 기준시점에서의 측정치, X_{i1} , X_{i2} 는 시점 I 에서의 측정치이다. 세 시편에 대한 길이변화율은 모두 0.01%로 평가되었다. Fig. 13에서는 길이변화 측정 시험사진을 나타내고 있다.

콘크리트의 길이변화율은 일반적인 양생조건의 경우, 0.04~0.08% 수준으로 평가되었는데(Lee et al., 2011) 폴리머 콘크리트의 경우, 이보다 1/4~1/8 수준으로 측정되었다. 양생과정에서의 균열 발생이 일반 콘크리트에 비하여 낮을 것으로 예상된다.

4. 폴리머 콘크리트 하수암거의 이음부 평가

이음부의 일체성능 평가를 위하여, 이음부의 수밀성 및 접착강도를 평가하였다. 실제 크기의 하수암거의 이음부에 휨하중을 재하하기가 어려우므로, 1/100 크기로 시편을 제작하여, 이음부의 누수 및 접착강도를 수행하였다. 일반적인 시공에서는 접착 및 텐버클을 이용하여 암거를 접착하는데, 본 축소모형에서는 에폭시 접착만 수행하였다.

4.1 이음부 누수평가

접착된 암거 한쪽면을 물이 세지 않도록 제작된 단면으로 밀폐한 후 2개의 암거를 연결시켰다. 연결된 암거에 2/3 이상 물을 채운 후 제작된 마개를 막은 후 압력게이지를 설치하였으며, 설치된 압력게이지에 1기압의 압력을 가하여, 암거 이음 부분의 누수를 확인하였다. 30분 간격으로 총 2시간동안 이음부분 및 압력의 감소여부를 측정

Fig. 14 Test for leakage in joint

하였다. Fig. 14에서는 축소 시험체 시편과 이음부 단면의 누수여부를 나타내고 있다.

실험결과, 정수압을 받은 이후 추가적인 1기압을 받는 총 90분의 시간동안, 이음부의 누수는 발생하지 않았다. 일반적으로 하수암거의 수압은 자유수면이 있으므로 실험보다 낮은 수압을 가지게 되며, 폴리머 에폭시 접착만으로도 우수한 수밀성을 확보하고 있었다.

4.2 이음부의 접착강도 평가

프리캐스트 암거의 연결은 폴리머계열의 접착제를 이용하여 시공하였으며, 휨시험을 이용하여 시공이음부에서의 접착강도를 평가하였다. 실제로 하수암거에서는 이음부의 접착성 부족으로 인해, 누수 또는 탈락 등이 발생하는데(Song et al., 2006) 본 시험에서는 접착후 일체거동성을 일반 에폭시의 접착강도와 비교하였다.

접착강도의 평가는 구조물 보수용 에폭시의 접착강도를 평가하는 KS F 4923를 참조하였는데, Fig. 15와 같이 보시편의 중앙을 접착제로 접착시킨 후 휨강도 시험과 동일한 방법으로 시험을 실시하여 접착강도를 도출하였다.

총 3개의 시편에 대하여 시험을 수행한 결과, 16.1~18.1MPa의 접착강도를 확보하고 있었다. 일반적인 보수용 에폭시의 경우, 6.0MPa 수준을 확보하는 것에 비하여 2배 이상의 높은 강도를 확보하고 있었다(Korea Conformity Laboratories, 2009).

하수암거용 폴리머 콘크리트는 높은 화학적 저항성, 고강도화에 따른 단면제작과 자중감소를 통한 운반 및 시공의 용이성 등 많은 장점을 가지고 있음을 본 실험과 관련 문헌조사를 통하여 확인할 수 있었다(Korea Conformity Laboratories, 2009; Joo et al., 2006). 그러나 폴리머

Fig. 15 Specimen for joint adhesive

하수암거는 제작시 워커빌리티가 좋지 않으므로 현장타설이 거의 불가능하고, 골재의 함수율 조절이 필요하다. 또한 제조원가가 높은 단점을 가지고 있고, 취성재료이므로 충격에 대해 연성이 부족하다. 현재의 조건에서는 경제성이 뛰어나지는 않지만, 화학적 침해가 우려되는 하수암거 밀집 지역, 작은 단면으로 큰 하중을 지지할 필요가 있는 지역 등에 매립될 하수암거에는 효과적으로 사용될 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 프리캐스트 폴리머 콘크리트 하수암거를 제조하여, 공학적 특성을 분석하였다. 폴리머 콘크리트를 적용한 하수암거의 공학적 특성에 대한 연구를 통하여 도출한 결론은 다음과 같다.

- (1) 본 연구에서는 압축강도 100Mpa를 상회하는 폴리머 콘크리트를 제작하였는데, 취성적인 특성을 보이고 있으나, 콘크리트에 비하여 매우 높은 인장강도 및 휨강도를 가지고 있었다.
- (2) 수밀성 및 염소이온 침투저항성에서 매우 높은 침투저항성을 나타내고 있었으며, 내산성, 생물학적 저항성에서도 높은 저항성을 확보하였다. 이는 제작된 폴리머 콘크리트를 하수환경에 적극적으로 사용할 수 있음을 나타내고 있다.
- (3) 실제크기의 1/100으로 제조된 시편에 대하여, 이음부의 수밀성과 접착면의 접착강도를 평가하였다. 평가결과, 1기압으로 90분을 가압하여도 이음부의 누수는 발생하지 않았으며, 평균 17.1MPa의 접착강도를 확보함으로써 이음부의 일체거동을 확인하였다.

참고문헌

1. ACI committee 544, Modified ACI Drop-Weight Impact Test for Concrete, 2005, pp.1-6.
2. ASTM C267 - 01, Standard Test Methods for Chemical Resistance of Mortars, Grouts, and Monolithic Surfacing and Polymer Concretes, 2006, pp.1-23.
3. ASTM D5084 - 10 Standard Test Methods for Measurement of Hydraulic Conductivity of Saturated Porous Materials Using a Flexible Wall Permeameter, 2010, pp.1-18.
4. ASTM G21, Standard Practice for Determining Resistance of Synthetic Polymeric Materials to Fungi, 2009, pp.1-15.
5. Bae, K.-S., Jang, S.-J., Oh, S. K., "A Study on the Properties of Composite System Using Polymer-Modified Mortar and Epoxy Resins for Waterproofing and Znti-Corrosion of Concrete Structures", Journal of Korea Concrete Institute, vol. 17, No. 1, 2005, pp.3-10.
6. Hyung, W.-G., Kim, W.-K., Soh, Y.-S., "Durability of Polymer-Modified Mortars Using Acrylic Latexes with Methyl Methacrylate", Journal of Korea Concrete Institute, vol. 17, No. 3, 2005, pp.411-418.
7. Japan Sewage Works Agency, Guidelines and Technical Manuals for Corrosion Control Technology of Concrete Sewer Structures, 2002, pp.7-16.
8. Jo, B.-W., Lee, D.-W., Park, S.-K., "Mechanical Characteristics of Recycled PET Polymer Concrete with Demolished Concrete Aggregate", Journal of Korea Concrete Institute, vol. 17, No. 3, 2005, pp.335-342.
9. Jo, Y.-K., "Tensile Properties and Adhesion of Hybrid-Type Anti-Corrosion Polymer Cement Slurry", Journal

-
- of Korea Concrete Institute, vol. 20, No. 5, 2008, pp.635-642.
10. Jo, Y.-K., "Properties of Polymer Cement Mortars Under Combined Cures", Journal of Korea Concrete Institute, vol. 18, No. 5, 2006, pp.667-675.
 11. Joo, M.-K., Lee, Y.-S., Kim, M.-C., Kim, Y.-H., "Strength Properties and Durability of Polymer Concrete Using Mixed Waste Plastics", Journal of Korea Concrete Institute, vol. 18, No. 2, 2006, pp.219-226.
 12. Kim, W.-K., Jo, Y.-K., "Strength Properties of Polymer-Modified Repair Mortar According to Curing Conditions and Repair Methods", Journal of Korea Concrete Institute, vol. 19, No. 4, 2007, pp.457-465.
 13. Korea Conformity Laboratories, Development of Polymer Concrete Culvert for Extreme Environment, Technical Report, 2009, 2, pp.1-28.
 14. Korean Standards, Epoxy Adhesives for Repairing in Concrete Structure, KS F 4923, 2005, pp.1-14.
 15. Korean Standards, Method of Test for Flexural Strength of Polyester Resin Concrete, KS F 2482, 2009, pp.1-8.
 16. Korean Standards, Method of Test for Splitting Tensile Strength of Polyester Resin Concrete, KS F 2480, 2009, pp.1-9.
 17. Korean Standards, Standard Test Method for Compressive Strength of Polyester Resin Concrete, KS F 2481, 2009, pp.1-8.
 18. Korean Standards, Standard Test Method for Making Polyester Resin Concrete Specimens for Strength Test, KS F 2419, 2007, pp.1-12.
 19. Korean Standards, Test Method for Flexural Toughness of Steel Fiber Reinforced Concrete, KS F 2566, 2007, pp.1-12.
 20. Korean Standards, Testing Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration, KS F 2711, 2002, pp.1-15.
 21. Korean Standards, Testing Method for Length Change of Mortar and Concrete, KS F 2424, 2010, pp.1-6.
 22. Lee, B.-C., Jung, S. H., Chae, S.-T., Kwon, S.-J., "Evaluation for Applicability of Reinforced Concrete Structure with Domestic Pond Ash", Journal of Korea Concrete Institute, vol. 23, No. 5, 2011, pp.541-550.
 23. Metha, P. K., Monteiro, P. J. M., Concrete-Structure, Properties, and Materials, 1993, pp.117-120.
 24. Park, S.-S., Kim, J. H., "Study on Adhesive Strength of Polymer Modified Cement Mortar for Maintenance in Concrete Structure", Journal of Korea Institute for Structural Maintenance Inspection, vol. 14, No. 5, 2010, pp.128-135.
 25. Song, H.-M., A Study on Bio-chemical Corrosion of Sewer Pipe, Chonbuk University, Doctoral Thesis, 2000, 2, pp.1-64.
 26. Song, H.-M., Hwang H.-K., Cho, J.-I., "Properties of Concrete Pipe by Biochemical Corrosion and Performance Deterioration in Domestic", Magazine of Korea Concrete Institute, Special Articles, vol. 18, No. 2, 2006, pp.16-21.
 27. Song, H.-S., Lee, J.-Y., Min, C.-S., "Effects of Admixtures in Properties of Polymer Cement Mortar for Concrete Repair", Journal of Korea Institute for Structural Maintenance Inspection, vol. 11, No. 1, 2007, pp.85-94.
 28. Song, H.-W., Lee, C.-H., Lee, K.-C., Ann, K.-Y., "A Study on Chloride Threshold Level of Polymer Inhibitive Coating Containing Calcium Hydroxide", Journal of Korea Concrete Institute, vol. 20, No. 6, 2008, pp.713-719.
- Received : 11/11/2011
Revised : 10/05/2012
Accepted : 10/18/2012
-

요 지

콘크리트 하수 암거는 항상 유해이온에 노출되어 있으므로 사용기간의 증가에 따라 내구적인 문제점을 보이며, 이러한 열화는 구조적인 문제로 진전된다. 콘크리트 하수암거는 일단 매립 후 유지관리가 어려우므로 초기에 높은 내구성 및 안전성을 요구한다. 최근 들어 역학적 특성과 내구적 성능의 개선을 위하여 폴리머 콘크리트가 사용되고 있다.

본 논문에서는 폴리머 콘크리트를 이용한 하수암거에 대한 공학적 성능을 평가하였으며, 축소 모형을 통하여 이음부의 누수와 접착강도를 평가하였다. 제작된 폴리머 하수암거는 100MPa 이상의 높은 압축강도를 확보하였으며, 낮은 투수성 및 염소이온 침투성을 확보하고 있었다. 또한 내화학적 및 생물학적 시험 등에서도 우수한 저항성을 확보하고 있었다. 축소모형실험을 통하여, 이음부 누수가 없고 높은 접착강도를 확보하고 있음을 평가하였으며 연결부의 일체거동을 확인하였다. 본 연구에서 제작된 프리캐스트 폴리머 하수암거는 하수도관과 같이 열악한 환경조건에 적극적으로 사용될 수 있다고 판단된다.

핵심 용어 : 하수암거, 폴리머 콘크리트, 고강도, 내구성, 투수성