

지지력과 침하량을 고려한 강성관용 하수관거 설계

김성겸, 오승식, 이관호*
국립공주대학교 건설환경공학부

Design of Rigid Sewer Pipe by Bearing Capacity and Settlement

Seong-Kyum Kim, Seung-Sik Oh, Kwan-Ho Lee*
Department of Civil & Environmental Engineering, Kongju National University

요약 본 연구에서는 강성관용 하수관거 설계 시 주로 관에 작용하는 모멘트를 기준으로 관의 파손여부를 결정하는 기존 설계법의 개선을 위해 하수관거 기초의 지지력 및 침하량을 추가로 평가하는 개선안을 제시하였다. 동일한 조건에서 쇄석기초의 안전성이 가장 낮게 나타났고, 콘크리트 VR관 및 조립식 플라스틱 기초는 굴착 깊이가 대부분에서 안전한 것으로 나타났다. 강성관용 하수관거 기초의 지지력은 기초의 종류에 상관없이 기초의 형상, 지반조건 및 지하수위에 따라 지지력이 결정되었다. 기초의 지지력은 지하수위가 높은 경우 작게 평가되었고, 동일 깊이에서 기초의 폭이 작을수록 크게 나타났다. 전체적으로 근입 깊이가 깊어짐에 따라 발생하는 즉시침하량은 작아지는 경향을 보이고, 관의 직경이 커짐에 따라 동일깊이에서 즉시침하량은 커지는 경향을 보여주고 있다. 강성관용 하수관거 설계 시 기존의 관에 작용하는 모멘트를 기준으로 하는 관의 파손 여부에 본 연구 결과에서 얻어진 지지력 및 즉시침하량을 고려하는 것이 강성관용 하수관거의 침하 등으로 인한 문제 해결에 합리적인 것으로 판단된다.

Abstract This study proposes an improvement plan for the evaluation of the bearing capacity and settlement of sewer pipe bases for the improvement of design methods for determining pipe breakage. Under the same conditions, the safety of crushed stone foundation was the lowest. Concrete VR pipe and prefabricated plastic foundations were found to be safe at most excavation depths. The bearing capacity of a rigid pipe foundation was determined by the shape of the foundation, soil conditions, and groundwater, irrespective of the type of foundation. As the depth of the excavation increases, the settlement tends to decrease immediately, and as the diameter of the pipe increases, the settlement tends to increase immediately at the same depth. It is thus reasonable to consider the bearing capacity and the instant settlement amount to solve the problems caused by the settlement of a rigid sewer pipe.

Keywords : Bearing Capacity, Concrete VR Pipe, Foundation, Rigid Pipe, Settlement

1. 서론

우리나라의 하수도 정책은 기본적으로 국가가 정한 환규규제를 효율적으로 달성할 수 있도록 설계되었다. 기술적 측면에서 보면 하수처리 기술은 생물학적 처리를 근간으로 하며, 하수처리장의 운전과 운영이 복잡하고 기

술주기가 짧고, 기술혁신 속도도 매우 빠른 편이다. 국내에서 하수도 정책에서 논란이 많았던 주제는 하수관망 체계, 즉 합류식과 분류식에 관한 것이다. 또한, 연계처리수와 처리된 산업폐수 형태로 하수관에 유입되는 연계수량에 대한 기술적 문제와 비용정산 제도의 보완 역시 지속적으로 논의가 되고 있는 주제이다[1].

*Corresponding Author : Kwan-Ho Lee(Kongju National Univ.)

email: kholee@kongju.ac.kr

Received February 27, 2020

Accepted June 5, 2020

Revised April 20, 2020

Published June 30, 2020

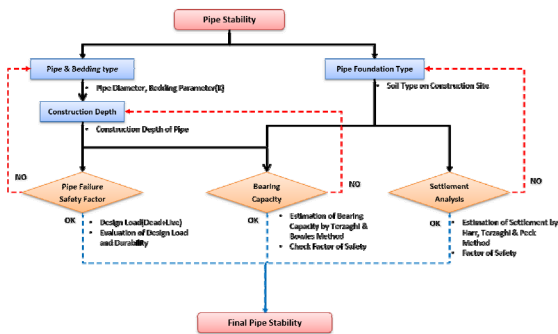


Fig. 1. Flow Chart of Design Process

최근 기후변화 등으로 인한 집중호우 및 태풍 등의 영향으로 도시침수, 싱크홀, 지반침하 등이 사회적 이슈로 대두되고 있고, 이러한 문제들은 대부분이 노후된 하수관거 시스템과 상당히 밀접한 관계를 가지고 있다. 우리나라의 연도별 하수도예산은 Table 1과 같으며, 주요 구성요소로는 하수관거, BTL사업, 침수대응, 농어촌하수관 개선 등이 있고, 관련 예산은 2011년 1.9조원에서 2016년 2.19조원으로 꾸준히 증가하는 경향을 보여주고 있다. 특히, 이중 침수대응 관련 예산은 2014년부터 편성되었고, 연간 약 2천억원 내외로 운영되고 있다[2].

Table 1. Budget for Sewer System (unit : billion won)

item	11	12	13	14	15	16
Sewer Treatment Plant	0.80	0.72	0.64	0.50	0.47	0.41
Sewer Pipe	0.66	0.65	0.86	0.74	0.96	0.82
BTL	0.05	0.21	0.25	0.35	0.36	0.36
Flooding	-	-	-	0.18	0.24	0.20
Rural Area	0.39	0.25	0.34	0.34	0.36	0.40
Sum	1.90	1.83	2.09	2.11	2.39	2.19

2017년 개정된 국가건설기준에 KDS 61 10 00 : 하수도설계 일반사항으로 설계기준이 표준화되어 제시되었다. 2014년 환경부에서 발간한 공공하수도시설 설치사업 업무지침 개정안은 공공하수도 설치 시 사업계획 수립 시 유의사항, 고도처리시설 설치, 하수관거 정비사업 추진 시 유의사항, 하수처리시설 설치 등이 명시되어 있다[3]

하수관거 정비 사업은 일반적으로 계획수립단계와 설계단계로 구분할 수 있다. 계획수립단계에서는 하수관거 정비사업 기본방향결정, 기존 하수관거 현황, 문제점 및 개선방향 수립, 하수배제 방식 산정계획, 사업 우선순위

수립, 하수관거의 개량 및 신설계획 수립, 배수설비 정비 계획, 부대시설 계획, 침입수, 유입수 및 누수처리 계획, 월류수 오염도 및 강우관리계획, 하수관거 악취관리계획, 유지관리 계획 수립 등을 고려한다. 설계단계에서는 하수관거 설계 시 일반 및 유의사항 검토, 관중 선택, 관 기초 설계, 관거의 접합 및 연결, 가시설 계획, 비굴착, 지장물, 배수설비 설계, 오점 방지 대책 등이 검토된다.

국내에서 사용하고 있는 하수도시설기준(2013)상의 강성관 하수관로 설계절차는 다음과 같은 항목들을 반영하고 있다. 사하중인 토피고에 의한 연직도압, 활하중으로 매설된 하수관로 상부의 교통(차량)하중을 고려하여 설계하중을 결정한다. 설계하중을 고려하여 관에 작용하는 휨모멘트를 계산하여 안전율을 계산하는 방법을 제시하고 있다[4, 5]. 강성관용 하수관거 설계 시 상위 시방서에는 기초의 지지력 및 침하량(부등침하) 등에 대한 검토가 명시되어 있으나, 실무적으로 사용하는 하수도시설기준에는 이러한 내용이 빠져있는 상태이다. 또한, 안전율을 결정하기 까지 필요한 상세한 설계과정에 대한 내용이 충분히 제시되지 못하고 있다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 강성관용 하수관거 설계프로세스를 Fig. 1과 같이 제시하고자 한다. 제시된 설계프로세스는 현재 하수관거 설계 시 주로 이용하는 관 파괴 안전율과 새로이 하수관거 기초 및 기초의 침하량을 고려한 안전율을 결정할 수 있도록 개선하고자 한다. 이를 반영하여 콘크리트 VR관을 이용한 설계를 실시하여 제시된 설계 프로세스의 타당성을 검토해 보았다.

2. 강성관용 하수관거 설계

일반적으로 하수관거는 연성관과 강성관으로 구분한다. 연성관은 관의 구조적 파괴없이 상부하중에 의해 변형 또는 변위가 발생할 수 있고, 상부하중을 관주변의 뒤채움재를 통해 하부기초(베딩)에 전달하는 형식을 가진다. 이에 반해 강성관은 관의 파손 또는 균열이 없으면 관에 변형 및 변위가 없는 것으로, 상부하중을 관자체의 강성을 통해 하부기초로 전달하는 구조이다. 즉, 상부하중 전달방식의 차이가 연성관과 강성관을 구분하는 대표적인 특징이라 할 수 있다[6]. 연성관은 Fig. 2와 같이 관과 주변뒤채움재의 아칭효과 때문에 강성관에 비해 좀더 깊게 굴착된 지반에 시공이 가능한 장점을 가지고 있다.

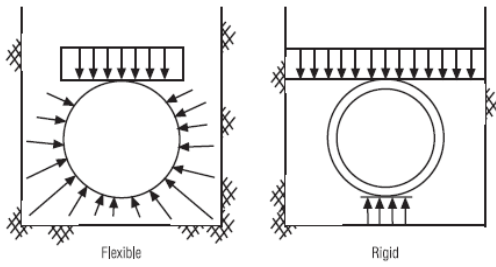


Fig. 2. Pipe and Backfill Interaction of Flexible and Rigid Pipe

하수도시설기준에 제시된 강성관(콘크리트 및 강관)용 기초는 Table 2와 같다.

Table 2. Foundation of pipe for soil type

item	hard	regular	soft
Concrete Pipe	plantation tree foundation, crushed stone, sand	concrete foundation, crushed stone, concrete	pile foundation, concrete
Steel Pipe		concrete	reinforced concrete

설계하중은 사하중과 활하중으로 구성된다[7-10]. 사하중은 하수관거 매설깊이에 따른 토피고에 의한 연직토압으로 (1) 및 (2)와 같은 마스톤 공식을 이용하여 결정한다.

$$W = C_d \times r \times B^2 \quad (1)$$

$$C_d = \frac{1 - \exp[-2K_a\mu \times \frac{H}{B_d}]}{2K_a\mu} \quad (2)$$

Where, W denotes a load per unit length of pipe, C_d is load factor, γ is unit weight of soil, B is unit width of excavation, K_a is active earth pressure coefficient.

활하중은 매설된 하수관거 상부를 통과하는 차량하중을 고려하며, 차량하중은 전륜하중은 무시하고, 더 큰 후륜하중을 이용한다. 도로의 종방향에 타이어 접지폭 20cm, 접촉면에서 하단 45도 방향으로 분산되고, 횡방향으로는 차체 점유 폭 2.75m를 고려하여 활하중을 식 (3)과 같이 결정한다.

$$W_r = \frac{2p(1+i)}{C(a+2H\tan\theta)} \quad (3)$$

Where, W_r denotes live load(N/m^2), p is rear

wheel load(DB-24, 9,600N), a & c denote ground length(0.2m) & width of wheel occupancy(2.75m), θ is distribution angle, I is impact factor on depth, H is buried depth.

매설된 강성관 하수관거의 안전율은 외압강도를 이용하여 결정하는데, 콘크리트관은 균열하중을 도관의 경우 파괴하중을 이용한다. 매설관에 등분포하중이 작용할 때 매설관에 작용하는 휨모멘트는 $M_{max} = kqR^2$ 와 같다. 여기서, k는 매설관의 받침조건에 따라 변하는 계수, q는 매설관에 작용하는 설계하중(kN/m^2), R은 매설관 두께 중심반경을 의미한다. 또한, 하수관의 자중 및 하수관내의 물의 중량, 수직토압 등에 의해 휨모멘트가 발생할 수 있으나 이는 매설관 측면에서 작용하는 주동토압과 상쇄되는 것으로 해석한다. 이때 발생하는 휨모멘트는 하수관거의 기초형식, 지반조건 및 시공품질에 의해 크게 영향을 받게 된다. Fig. 3은 하수관 기초의 받침형태이고, Table 3은 받침각에 따른 받침계수 k값을 나타내고 있다. 매설관 자체의 강성에 의해 저항할 수 있는 저항모멘트(M_r)는 접촉각 120도인 콘크리트기초 이용 시 $k=0.243$ 및 $M_r = 0.318QR + 0.239WR$ 로 결정할 수 있다. 안전율은 $FS = \frac{M_r}{M_{max}}$ 로 결정된다. Table 4는 우리나라의 하수관거 설계 시 사용하는 기초형상 및 받침계수를 나타내고 있다.

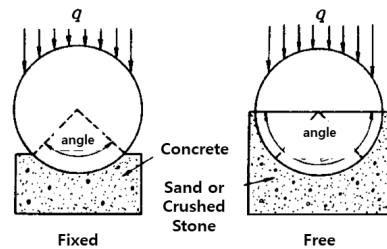


Fig. 3. Contact type of foundation

Table 3. Bedding factor (k)

angle	fixed	free
30	-	0.470
60	-	0.377
90	0.303	0.314
120	0.243	0.275
180	0.220	-

3. 제안된 설계과정을 이용한 설계평가

3.1 베딩재 및 뒤채움재

본 연구에서는 하수관 기초로 쇄석기초(60°), 콘크리트기초(120°), 콘크리트기초(180°), 유동성 뒤채움재 및 조립식플라스틱기초 (180°) 등 총 4가지 기초 형식을 이용하였다. 관 주변 뒤채움재는 현장발생토사(사질토 및 점성토)와 유동성 뒤채움재(모래 및 현장발생토 재활용) 등 총 4가지 재료이고, 재료별 내부마찰각 및 단위중량은 Table 5와 같다. 기초의 안전성 해석에 사용한 받침계수 (k)는 쇄석기초 0.377, 콘크리트기초 120도는 0.243, 180도는 0.220, 유동성 뒤채움재 및 조립식플라스틱기초는 0.231을 적용하였다.

Table 4. Foundation Type and Bedding Factor

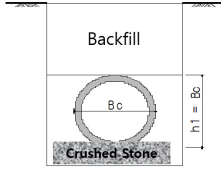
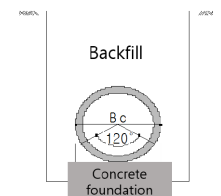
Type	K
	0.275
	0.243

Table 5. Material properties of backfill

materials	soil	internal friction angle	unit weight
recycled insitu soil	granular soil	30	1.80
	clayed soil	28	1.60
controlled low strength materials	sand	33	1.83
	insitu soil	30	1.56

3.2 콘크리트 VR관 기본물성

본 연구에 사용된 강성관은 페로니켈 슬래그 미분말을 재활용해서 제작된 콘크리트 VR관 300mm, 400mm 및 600mm를 적용하였다. 관의 기본 물성값은 Table 6과 같다.

Table 6. Concrete Pipe Properties

property	300mm	400mm	600mm
Excavation Width(mm), B _d	982	1236	1800
Pipe Thickness(mm), t	30	35	50
Pipe Diameter(mm), D _c	360	470	700
Pipe Weight (kg)	211	323	700

3.3 설계하중 및 하수관로 안전율

설계하중은 하중계수를 이용하여 관상단부의 지반 및 뒤채움재로 인해 발생하는 사하중과 교통하중을 이용한 활하중의 합으로 결정된다. Table 7은 깊이 5m에서 강성관 기초종류 및 직경변화에 따른 설계 하중값을 나타낸다. 굴착 후 뒤채움재는 모래 및 시멘트를 이용한 가장 기본적인 유동성 뒤채움재를 이용하였다. 여기서, C_d는 하중계수, W_d는 사하중인 상재하중(t/m²), W_r는 활하중인 교통하중(t/m²), q는 설계하중(t/m²)을 의미한다.

Table 7. Design parameter of concrete pipe with sand backfill

foundation item		300mm	400mm	600mm
Crushed Stone (60°)	C _d	2.235	2.053	1.794
	W _d	9.58	10.67	11.08
	W _r	0.78	0.78	0.78
Concrete (120°)	q	10.37	11.46	11.87
	C _d	2.232	2.050	1.792
	W _d	10.76	11.99	12.45
Concrete (180°)	W _r	0.78	0.78	0.78
	q	11.54	12.78	13.24
	C _d	2.240	2.056	1.796
Plastic (180°)	W _d	10.98	12.23	12.69
	q	11.76	13.02	13.48
	C _d	2.232	2.050	1.792
	W _d	9.32	10.39	10.97
	W _r	0.78	0.78	0.78
	q	10.11	11.18	11.58

Table 8은 깊이 5m에서 강성관 기초종류, 직경변화 및 뒤채움재에 따른 안전율 변화를 보여주고 있다. A는 사질토, B는 점성토, C는 모래를 이용한 유동성 뒤채움재, D는 현장발생토사를 이용한 유동성 뒤채움재를 이용하였다. 강성관 기초의 파손은 안전율 1.1을 기준으로 설정하였다. 전체적으로 쇄석기초의 사용 시 안전율이 가장 낮게 나타났고, 받침각이 클수록 안전율이 높은 것으로 나타났다. 현장발생토사를 이용한 유동성 뒤채움재와 현

장조립식 경량플라스틱 기초의 조합을 이용하면 깊이 5m 시공 시 하수관의 안전율이 1.1보다 크게 나타났다. 일반적으로 하수관 시공 시 버림콘크리트 기초를 사용하지만, 관전체(받침각 180도)를 버림콘크리트로 타설하여 사용하지 않는다. 이러한 현장에서의 시공관행을 고려하면 현장발생토사를 이용한 유동성 뒤채움재와 현장조립식 경량플라스틱 기초 조합은 하수관의 안전율을 증가시킬 수 있는 대안 공법으로 사용할 수 있을 것이다.

Table 8. Safety Factor of Concrete VR Pipe

foundation item		300mm	400mm	600mm
Crushed Stone (60°)	A	0.92	0.78	0.70
	B	0.82	0.70	0.63
	C	0.81	0.68	0.62
	D	0.94	0.79	0.72
Concrete (120°)	A	1.42	1.20	1.09
	B	1.28	1.08	0.98
	C	1.26	1.06	0.96
	D	1.46	1.23	1.12
Concrete (180°)	A	1.57	1.33	1.20
	B	1.41	1.19	1.08
	C	1.39	1.17	1.06
	D	1.61	1.36	1.23
Plastic Foundation (180°)	A	1.50	1.26	1.15
	B	1.35	1.13	1.03
	C	1.32	1.11	1.01
	D	1.54	1.30	1.17

3.4 기초의 지지력 및 침하량 평가

기초의 지지력은 Terzaghi공식과 Bowles이 제안한 공식을 이용하였다. 해석에 사용된 기초의 폭은 관의 직경을 이용하였고, 길이는 현장조건을 반영하여 맨홀과 맨홀의 평균거리 25m를 적용하였다. 기초의 형상은 길이가 긴 연속기초를 이용하였다. 지반조건은 표준관입시험 결과 N값을 4, 8, 12 및 16으로 각각 적용하였다. 기초 하부 지반의 내부마찰각은 Peck의 공식을 이용하였고, 각각의 N값에 따라 28.2도, 29.4도, 30.6도, 및 31.8도이고, 점착력이 없는 사질토 지반을 적용하였다. 흙의 단위중량은 $1.83 t/m^3$ 이고, 지하수가 없는 경우와 지하수위가 지표면 1m 깊이에 있는 두 가지 조건을 이용하였다. Table 9는 기초하부 지반조건 중 가장 연약한 지반을 의미하는 N값 4를 적용하였고, 기초의 안전율 3 적용 시 허용지지력을 평가한 것이다.

강성관 기초의 지지력은 기초의 근입 깊이에 비례하여 커지는 경향을 보인다. 동일깊이에서 강성관의 직경이 작을수록 큰 지지력을 나타냈으나, 실질적으로 관 직경에

크기에 따른 허용지지력의 변화는 미미한 것으로 나타났다. 일반적인 구조물기초와는 달리 하수관거에 작용하는 하중은 활하중인 교통하중과 사하중인 상재하중 등 두 가지이고, 이를 하수관거에 작용하는 설계하중으로 적용한다. Table 7에 제시된 설계하중과 Table 9의 허용지지력을 동일깊이 5m에서 비교해보면 지하수위가 없는 경우는 약 5배, 지하수위 있는 경우는 약 2.7배 수준으로 안전한 것으로 평가되었다. 지지력을 고려하여 설계하는 경우 지하수위가 높고, 굴착깊이가 작은 경우 설계하중에 비해 허용지지력이 작을 수 있으므로 얇은 굴착 후 강성관 하수관거 설계 시 유용한 지표로 사용할 수 있을 것이다.

Table 10은 지반의 N값에 따른 즉시침하량을 보여주고 있다. 전체적으로 근입 깊이가 깊어짐에 따라 발생하는 즉시침하량은 작아지는 경향을 보이고, 관의 직경이 커짐에 따라 동일깊이에서 즉시침하량은 커지는 경향을 보여주고 있다. 근입 깊이가 2m에서 관직경 300mm와 600mm의 즉시침하량은 각각 1.87mm와 4.04mm로 나타났다. 설계 시방서상의 허용 즉시침하량이 25.4mm임을 고려하면, 지반조건이 가장 나쁜 N값 4인 근입 깊이가 1m, 강성관 직경 600mm를 제외한 모든 조건에서 즉시침하량을 만족하는 것으로 나타났다. 이는 강성관의 직경이 크고, 근입 깊이가 상대적으로 작은 굴착 및 시공 시 즉시침하량이 설계 기준값(25.4mm)을 넘을 수 있으므로 설계 시 주의해야한다.

Table 9. Allowable Bearing Capacity (t/m^2) of Pipe Foundation

saturation depth	300mm	400mm	600mm	
dry	1	11.6	11.8	12.3
	2	22.4	22.7	23.1
	3	33.3	33.5	34.0
	4	44.2	44.4	44.9
	5	55.0	55.3	55.7
	6	65.9	66.1	66.6
	7	76.7	77.0	77.4
	8	87.6	87.8	88.3
	9	98.5	98.7	99.2
	10	109.3	109.6	110.0
fully saturation	1	6.2	6.5	6.9
	2	11.7	12.0	12.4
	3	17.3	17.5	18.0
	4	22.8	23.0	23.5
	5	28.3	28.5	29.0
	6	33.8	34.1	34.5
	7	39.3	39.6	40.1
	8	44.9	45.1	45.6
	9	50.4	50.6	51.1
	10	55.9	56.1	56.6

Table 10. Immediate Settlement of Foundation (max. 25.4mm) with N Values

diameter	depth	4	8	12	16
300mm	1	12.78	6.39	4.26	3.20
	2	5.61	2.80	1.87	1.40
	3	3.36	1.68	1.12	0.84
	4	2.30	1.15	0.77	0.57
	5	1.68	0.84	0.56	0.42
	6	1.27	0.63	0.42	0.32
	7	1.00	0.50	0.33	0.25
	8	0.87	0.44	0.29	0.22
	9	0.77	0.39	0.26	0.16
	10	0.70	0.35	0.23	0.17
400mm	1	19.08	9.54	6.36	4.77
	2	7.81	3.90	2.60	1.95
	3	4.58	2.29	1.53	1.15
	4	3.10	1.55	1.03	0.78
	5	2.25	1.13	0.75	0.56
	6	1.70	0.85	0.57	0.43
	7	1.33	0.66	0.44	0.33
	8	1.16	0.58	0.39	0.29
	9	1.02	0.51	0.34	0.26
	10	0.92	0.46	0.31	0.23
600mm	1	39.27	18.18	12.12	9.09
	2	13.09	6.06	4.04	3.03
	3	7.38	3.42	2.28	1.71
	4	4.90	2.27	1.51	1.13
	5	3.52	1.63	1.09	0.81
	6	2.64	1.22	0.82	0.61
	7	2.03	0.94	0.63	0.47
	8	1.75	0.81	0.54	0.40
	9	1.54	0.71	0.48	0.36
	10	1.38	0.64	0.43	0.32

4. 결론

4가지 다른 기초 형식(받침각 60° 쇄석기초, 받침각 120° 및 180° 버림 콘크리트 기초, 받침각 120° 현장조립식 플라스틱기초)과 4종의 뒤채움재(사질토, 점성토, 모래 및 현장발생토사)를 이용하여 강성관의 시공 시 침하량 및 안전율을 결정하였고, 다음과 같은 결과를 도출하였다.

본 논문은 기존의 강성관을 이용한 하수관거 설계 프로세스 개선을 위해 기초의 지지력과 침하량을 추가로 고려한 설계프로세스를 평가해 보았다. 제한된 조건에서의 설계 및 결과를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 기초의 종류에 따른 하수관거 설계 자료를 비교한 결과, 동일한 조건에서 쇄석기초의 안전성이 가장 낮은 것으로 나타났다. 콘크리트기초의 경우 받침

각 120도 및 180도 모두 일부 조건 외에 안전한 것으로 평가되었다. 현장발생토사와 조립식 플라스틱기초의 경우 받침각 및 받침계수에 대한 규정이 없어서, 기존에 발표된 플라스틱 기초에 대한 하중-변형특성 자료를 검토하여 받침계수를 콘크리트기초 120도 및 180도의 중간정도에 해당하는 값을 적용하였고, 안전율 역시 5m 굴착 깊이까지 대부분의 조건에서 1.1 이상으로 평가되었다.

- (2) 강성관용 하수관거 기초의 지지력은 기초의 종류에 상관없이 기초의 형상, 지반조건 및 지하수위에 따라 지지력이 결정되었다. 지지력을 고려하여 설계하는 경우 지하수위가 높고, 굴착 깊이가 작은 경우 설계하중에 비해 허용지지력이 작을 수 있으므로 얕은 굴착 후 강성관 하수관거 설계 시 유용한 지표로 사용할 수 있을 것이다.
- (3) 전체적으로 근입 깊이가 깊어짐에 따라 발생하는 즉시침하량은 작아지는 경향을 보이고, 관의 직경이 커짐에 따라 동일깊이에서 즉시침하량은 커지는 경향을 보여주고 있다. 설계시방서상의 허용 즉시침하량이 25.4mm임을 고려하면, 지반조건이 가장 나쁜 N값 4인 근입깊이 1m, 강성관 직경 600mm를 제외한 모든 조건에서 즉시침하량을 만족하는 것으로 나타났다.
- (4) 강성관용 하수관거 설계 시 기존의 관에 작용하는 모멘트를 기준으로 하는 관의 파손 여부에 본 연구 결과에서 얻어진 지지력 및 즉시침하량을 고려하는 것이 강성관용 하수관거의 침하 등으로 인한 문제해결에 합리적인 것으로 판단된다.

References

- [1] Environmental Subcommittee, "National Financial Operation Plan", Environmental Sector Report, pp. 182, 2016
- [2] Lee, D. H., "A Research on Recycled Plastic Foundation for Sewer Pipeline", Master Thesis, Kongju National University, pp. 86, 2014. <http://www.riss.kr/link?id=T13374104&outLink=K>
- [3] Ministry of Environment, "Sewerage Facility Standard", Korea Waterworks Association, pp. 1109, 2011
- [4] Kim, D.R., Park, E.S., & Yoo, H.K. (2006), "A Study on the Deformation Behavior Characteristics of the Underground Pipe Using Large Soil Box", 2006 KSCE Conference, pp. 3529-3532

- [5] Kang, S.Y., J.S. Park, K.H. Lee, "Study on Basement Modeling of Sewage Pipeline Based on Comparison of Finite Element Analysis Results with Experimental Data", The Korea Academia Industrial Cooperation Society: Cheonan, Korea, Vol. 13, No. 5, pp. 593-596, 2013.
DOI : <http://dx.doi.org/10.9798/KOSHAM.2013.13.5.067>
- [6] Bolson, P.S. (1985), "Buried Structures (Static and Dynamic Strength)", Chapman and Hall, London, New York, <http://dx.doi.org/10.4324/978020332443>
- [7] American Concrete Pipe Association, "Lateral Concrete Pipe and Bedding Factors", ACPA, Conference Paper, Virginia, pp. 15, 1991
- [8] American Concrete Pipe Association, "Design Data 9 : Standard Installations and Bedding Factors for the Indirect Design Method", ACPA, pp. 13, 2013
- [9] CEPA Foundation, "A Practical Guide for Pipeline Construction Inspectors", The INGAA Foundation Inc., pp. 131, 2016.
- [10] Petersen, D.L., G. Le, C.R. Nelson, T.J. McGrath, "Analysis of live loads on culverts", In Proceeding of the 2008 Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, DC, USA, 13-17 January 2008; pp. 3-5.

김 성 겸(Seong-Kyum Kim)

[정회원]



- 2010년 2월 : 국립공주대학교 건설환경공학부 (공학사)
- 2012년 2월 : 국립공주대학교 건설환경공학과 (공학석사)
- 2017년 2월 : 국립공주대학교 건설환경공학과 (공학박사)
- 2017년 3월 ~ 현재 : 국립공주대학교 방재연구센터 전임연구원

<관심분야>

도로공학, 지반공학

오 승 식(Seong-Sik Oh)

[정회원]



- 1991년 2월 : 고려대학교 토목공학과 (공학사)
- 2019년 12월 : 국립공주대학교 건설환경공학과 (공학박사수료)
- 2019년 12월 ~ 현재 : LH공사 서울지역본부장

<관심분야>

도로공학, 지반공학

이 관 호(Seong-Sik Oh)

[중신회원]



- 1991년 2월 : 고려대학교 토목공학과 (공학석사)
- 1996년 12월 : 미국 Purdue Univ. Civil Eng., (공학박사)
- 2006년 9월 ~ 현재 : 국립공주대학교 건설환경공학부 교수

<관심분야>

도로공학, 지반공학