매설조건에 따른 연성관의 변형특성

Deformation Characteristics of Flexible Pipe with Variation of Buried Conditions

이 봉 직[†]

Bongjik Lee

Received: July 7th, 2014; Revised: July 28th, 2014; Accepted: September 11th, 2014

ABSTRACT : In Korea, the pipe type that has been well used as sewage pipe from the past is primarily a rigid pipe which is represented by concrete hump pipe, but the use of it is being decreased sharply because of the problems such as tube erosion and incomplete watertightness securing through the time. On the other hand, the use of flexible pipe has been increased because its construction ability is excellent on account of its light weight as well as it is resistant to corrosion. However, because there are lacks of market's confidence in flexible pipe and occurrence cases of partial damage incomplete caused by compaction control, cause analysis and management for them are needed. Therefore, this study tried to estimate the deformation characteristics of pipe caused by each condition through numerical analysis changing construction sequence, rigidity of pipe, strength of ground concrete under the pipe, relative compaction ratio of sand foundation under the pipe and relative compaction ratio of backfill material above the pipe. Evaluation result is that influence on each factor is confirmed and the quality control of sand around the pipe are turned up to be important.

Keywords : Buried pipe, Rigid pipe, Flexible pipe, Backfill, Sensitivity, Buried condition

요 지 : 국내의 경우 하수관으로 많이 사용되어 온 관종은 콘크리트 홈관으로 대표되는 강성관이 주를 이루고 있으나, 시간 경과에 따른 관 부식 및 수밀성 부족 등의 이유로 사용이 급격히 감소하고 있다. 반면에 연성관은 부식에 강할 뿐만 아니라 자재의 무게가 경량이어서 시공성이 우수한 장점이 있어 사용이 증가하고 있는 실정이다. 그러나 연성관에 대한 시장의 신뢰성 부족과 미흡한 다짐관리로 인한 국부적인 파손사례가 발생하고 있어 이에 대한 원인분석 및 관리방안이 필요한 실정이다. 이에 본 연구에서는 시공순서, 관의 강성, 관 하부 콘크리트 기초의 강도, 관 하부 모래기초의 다짐도, 관 주변 모래의 다짐도 및 관 상단 되메움재의 다짐도 등을 변화시켜 가며 각각의 조건에 따른 관의 변형특성을 수치해석을 통하여 평가하였다. 평가결과 각 인자에 대한 영향을 확인할 수 있었으며 특히 연성관의 경우 관 주변 모래의 품질관리가 중요한 것으로 나타났다.

주요어 : 매설관, 강성관, 연성관, 되메움, 민감도, 매설조건

1. 서 론

최근 우수 및 오수관에 대한 관심이 증가하고 있으며 각종 관로 관련 사업들이 활발하게 진행되고 있다. 이와 같은 매설관의 경우 각종 생활편익을 제공하는 기본 시설이지만 시설이 완료된 후 파손이나 변형이 발생할 경우 피해가 크고 복구 역시 많은 비용이 수반될 수 있어 설계 및 시공단계에서의 철저한 관리가 필요하다.

매설관은 강성관과 연성관으로 분류할 수 있으며 강성관과 연성관의 구분은 재료에 의한 분류방법과 구조적 거동에 의한 분류방법 등이 있다. 관을 구성하고 있는 구성재료에

따라 콘크리트 및 강재 등 강성재료를 사용하여 제작되는 관을 강성관으로 분류하고, 플라스틱이나 연철 등의 연성재료를 사용하여 제작하는 관은 연성관으로 분류하는 것이다.

그러나 이러한 분류 방법은 강성재료의 사용량이나 관의 치수에 따라 하중에 대한 저항성의 차이가 있기 때문에 외국의 경우 사용재료에 의해 관을 구분하는 방법을 사용하지 않고(Moser, 2001; Jeyapalan & Boldon, 1986), 관의 수직방향 변형을 기준으로 구분하는 구조적 거동에 따른 분류법이 널리 사용되고 있다.

국내의 경우 과거로부터 우수 및 오수관으로 많이 사용되어 온 관종은 콘크리트 홈관으로 대표되는 강성관이 주를

[†] Department of Civil Engineering, Korea National University of Transportation (Corresponding Author : bjlee@ut.ac.kr)

이루고 있으나, 시간 경과에 따른 관 부식 및 수밀능력 미확보 등의 문제점으로 인해 사용이 급격히 감소하고 있다.

이에 대한 대안으로 대체 관중에 대한 연구들이 진행되어 왔으며 상당수의 관들이 출시되어 시공되고 있다. 최근 사용이 증가하고 있는 유리섬유복합관, 파형강관, PE관 및 PVC 등이 대표적으로 이들 연성관은 부식에 강할 뿐만 아니라 자재의 무게가 경량이어서 시공성이 우수하다.

이와 같은 장점 때문에 흙관이 적용되고 있는 우수 및 오수관로가 각종 연성관으로 대체되고 있으며, 특히 부식 피해가 우려되는 오수관의 경우는 상대적으로 빠른 속도로 교체되고 있다. 그러나 연성관은 강성관에 비해 강도가 떨어지며 관 변형이 상대적으로 크게 나타나기 때문에 관 기초 및 뒷채움에 대한 품질 및 다짐관리가 필수적이다(Watkins & Anderson, 2000).

또한 연성관의 우수한 특성에도 불구하고 아직 시장에서 신뢰성 부족과 미흡한 다짐관리로 인한 국부적인 파손사례가 발생하고 있어(Kim, 2011) 유동성성토재 등 다짐을 효과적으로 할 수 있는 대안들이 제시되고 있는 실정이다(Lee, et al., 2001).

따라서 본 연구에서는 시공순서, 관의 강성, 관 하부 콘크리트 기초의 강도, 관 하부 모래기초의 다짐도, 관 주변 모래의 다짐도 및 관 상단 뒷채움재의 다짐도 등을 변화시켜가며 각각의 조건에 따른 관의 변형특성을 수치해석을 통하여 평가하였다.

2. 연성관의 변형특성

관의 구조적 거동은 외압의 종류에 따라 차이를 나타내며, 외부하중이 정하중인 경우 매설된 관에 작용하는 연직토압은 상부의 하중과 재하되는 면적에 따라 결정된다. 이때 지중에 매설된 관은 변형하여 수평방향의 수동토압을 유발시키게 되고, 하중으로부터 발생하는 연직토압은 관의 변형에 의해 발생하는 수평토압보다 크다. 따라서 지중에 매설된 관은 Fig. 1과 같이 타원형 모양으로 변형하게 되며, 이때 관의 변형은 관 자체의 원강성(Ring Stiffness)에 비례하여 변형을 일으킨다.

Fig. 1과 같이 연직하중 상태에서 관은 연직방향으로 δ_v 만큼 변형이 발생되고 수평방향으로 δ_h 만큼 변형이 발생되며, 각 방향에 대한 변형의 크기는 Eq. (1), (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\delta_v = 0.0149 \frac{r^3}{EI} w \quad (1)$$

Fig. 1. Pipe deformation with variation of load

$$\delta_h = 0.0136 \frac{r^3}{EI} w \quad (2)$$

여기서 w = 관길이 1 cm에 작용하는 선하중(N/cm)

$$r = \text{관두께 중심반경} (= \frac{D-t}{2}) (\text{cm})$$

$$t = \text{관두께} (\text{cm})$$

$$D = \text{관의 외경} (\text{cm})$$

$$E = \text{관의 휨탄성계수} (\text{N/cm}^2)$$

$$I = \text{단면 2차 모멘트} (\text{N/cm}^2)$$

Eq. (1), (2)와 같이 관의 두께가 두꺼우면 단면 2차 모멘트가 크므로 변형은 작게 발생되고, 두께가 얇으면 상대적으로 큰 변형이 발생된다. 또한 관의 탄성계수가 크면 변형은 작게 발생되며, 탄성계수가 작으면 변형은 크게 발생한다는 것을 알 수 있다.

지중에 매설된 관에 연직하중이 작용할 경우 관에 작용하는 토압은 연직토압보다 수평토압이 작다. 따라서 관의 변형은 Fig. 1과 같이 직경 A-B가 A'-B'로 수축하는 방향으로 변형되고, 수평방향에 대해 관은 직경 C-D에서 C'-D'로 팽창하는 방향으로 변형이 발생한다.

이와 같은 관의 변형특성을 이용하여 관을 강성관과 연성관으로 분류한다. Marston은 관경의 0.1 %, 3.0 %에 대한 변형을 기준으로 0.1 %까지 변형하여도 실질적으로 어떠한 손상이 없는 관을 강성관이라고 분류하였으며, 3.0 % 변형하여도 손상이 없는 관을 연성관으로 분류하였다. 또한 관의 변형이 0.1~3.0 % 범위에 있는 관에 대해서는 반강성관(Semi-rigid Pipe)으로 분류하였다(Marston, 1930).

일반적으로 연성관의 기초는 자유받침 모래기초를 원칙으로 하며 조건에 따라 Table 1과 같이 말뚝기초 등을 설치한다(Ministry of Environment, 2011).

Table 1. Foundation of flexible pipe

Pipe type \ Soil	Soil		
	Hard soil	Soft soil	Very soft soil
PVC pipe	Sand	Sand Geotextile Soil cement	Geotextile Soil cement Pile Concrete + sand
Steel pipe	Sand	Sand	Sand Wood Concrete + sand

지중에 매설된 관이 받는 토압은 매설 시 흙에 의한 토압(고정하중)과 매설 후 그 위를 통과하는 차량에 의한 활하중으로 구성되며, 이들을 합하여 매설된 관에 작용하는 토압을 결정한다. 지중매설관에 작용하는 토압의 산출방법은 매설형태 및 상재하중의 전달방식에 따라 다양한 방법이 있으나, 가장 일반적으로 광범위하게 사용하고 있는 방법은 Spangler와 Marston이 제안한 방법과 수직토압(Prism Load)공식 등이다(Ministry of Environment, 2011; Howard, 1977; Spangler & Handy, 1982; Marston, 1930).

3. 해석조건

관의 매립조건에 따른 변형특성을 평가하기 위하여 실제 시공된 구간에 대하여 Fig. 2와 같이 지반조사를 실시하였으며 그 결과를 이용하여 대표단면을 선정하였다.

관의 해석은 지반범용해석프로그램인 MIDAS-G.T.S를 이용하였으며, 시공조건에 따라 관의 변형이 변화할 수 있음을 감안하여 실제 시공순서를 반영하여 해석을 실시하였다.

해석모델링은 Fig. 3과 같이 초기상태(STEP-1), 슈트파일 시공(STEP-2), 1단 터파기(STEP-3), 1단 스트럿 시공(STEP-4), 2단 터파기(STEP-5), 2단 스트럿 시공(STEP-6), 최종굴착(STEP-7), 관기초 및 관시공(STEP-8), 스트럿 2단 제거 및 되메우기(STEP-9), 스트럿 1단 제거 및 되메우기(STEP-10), 되메움완료(STEP-11), 슈트파일제거(STEP-12) 및 차량하중 재하(STEP-13)의 순서로 하였으며, 해석 시 경계조건은 좌우 측면은 연직 롤라조건을 하부는 수직, 수평 모두를 고정으로 설정하였다.

또한 되메움 토사, 관 주변 및 관 하부 모래의 다짐상태에 따른 유한요소해석을 수행하기 위하여 다짐도를 80 %, 85 %, 90 %로 가정하여 토질정수를 산정하였으며, 되메움 토사, 관 주변 및 관 하부 모래의 다짐상태에 따른 단위중량은 Table 2와 같이 직접전단시험 시 산정한 다짐도별 습윤 단위중량을 적용하였다.

되메움 토사, 관 주변 및 관 하부 모래의 다짐도별 탄성

Fig. 2. The result of geotechnical investigation

Fig. 3. Modeling with variation of construction flow

Table 2. Unit weight with variation of relative compaction

	Relative compaction (%)	Internal friction angle (°)	Dry unit weight (kN/m ³)
Backfill soil	80	26	13.4
	85	27	15.4
	90	28	17.3
Sand around pipe	80	28	13.3
	85	29	15.2
	90	30	17.2

Table 3. Modulus of elasticity with variation of relative compaction (Jun, 2003)

R_d (%)	N-value (blow/cm)	Modulus of elasticity (Em, kN/m ²)					Average value
		Schmertmann	Bowles	Schmen	Domestic criteria	Hisat-ake	
80	0/30 ~ 4/30 (2/30)	2,000	8,500	4,800	5,600	8,000	5,780
85	4/30 ~ 10/30 (6/30)	6,000	10,500	6,600	16,800	10,000	9,980
90	10/30 ~ 30/30 (20/30)	20,000	17,500	12,900	56,000	17,000	24,680

Table 4. Analysis series

Case	Concrete strength (MPa)	Relative density (%)			Rigidity of pipe (MPa)	Backfill height (m)
		Sand below pipe	Backfill soil	Sand around pipe		
1	18	90	90	90	15,000	5
2	14	90	90	90	15,000	5
3	16	90	90	90	15,000	5
4	18	85	90	90	15,000	5
5	18	80	90	90	15,000	5
6	18	90	85	90	15,000	5
7	18	90	80	90	15,000	5
8	18	90	90	85	15,000	5
9	18	90	90	80	15,000	5
10	18	90	90	90	12,750	5
11	18	90	90	90	7,500	5

계수를 산정하기 위하여 경험식을 이용한 다짐 정도에 따른 탄성계수를 평가하였으며 그 결과는 Table 3과 같다.

해석은 연성관에 대하여 관에 영향이 미칠 수 있는 요소들을 종합적으로 고려하여 평가하였으며, 구체적으로 Table 4와 같이 관 하부의 콘크리트 기초의 강성(Case 1~3), 관 하부에 분포하는 모래기초의 다짐도(Case 1, 4, 5), 매립토의 다짐도(Case 1, 6, 7), 관 주변 토사의 다짐도(Case 8, 9) 및 관의 강성(Case 1, 10, 11)을 변화시켜 가며 해석을 실시하였다.

Fig. 4. Measuring point of pipe deformation

수치해석에서 발생하는 변위는 총 4개소에서 측정하였으며, Fig. 4와 같이 발생변위의 방향은 수직 상부방향이 (+), 하부방향이 (-), 수평은 우측방향 (+), 좌측방향이 (-)로 정의하였다. 즉 Fig. 4와 같이 X방향은 C에서 D로 발생하는 변위를 (+)로 표기하였으며, D에서 C로 발생하는 변위를 (-)로 표기하였다. Y방향의 경우에는 A에서 B로 발생하는 변위를 (-)로 표기하였으며, B에서 A로 발생하는 변위를 (+)로 표기하였다.

또한 관의 변형에 미치는 영향 정도를 정량적으로 평가하기 위하여 민감도 분석을 실시하였다. 민감도(S)는 모든 조건, 즉 관 하부 콘크리트, 관 하부 모래기초, 관 주변 모래, 되메움재 및 관 강성조건 등이 시방서에서 규정하는 조건을 만족할 경우에 발생된 내공변위를 기준으로 Eq. (3)과 같이 각 조건별 내공변위의 비로 평가하였다.

$$S = \frac{\delta_s}{\delta_a} \times 100 \quad (3)$$

여기서 S : 민감도

δ_s : 표준조건에서의 내공변위

δ_a : 해석결과에 따른 내공변위

4. 결과 및 분석

4.1 시공순서에 따른 관의 변형특성

시공순서에 따른 관의 변형특성을 평가하기 위하여 실제 시공단계별로 유한요소해석을 실시하였으며 해석 시 기반 조건은 국내의 다짐기준에 의한 다짐도 90 %를 만족하는 조건에 대해서 실시하였다.

해석결과 지점별 최대변위는 Table 5와 같이 Step-11 A지점에서 -10.420 mm가 발생하였으며, 최대 내공변위는 Step-13 최종단계에서 수직방향 2.80 mm, 수평방향 2.81 mm 발생

Fig. 5. Deformation with variation of construction stage

Table 5. Analysis result with variation of construction stage

	Deformation value (mm)				Convergence (mm)	
	A	B	C	D	Vertical motion	Horizontal motion
Step-10	-8.51	-7.46	-0.50	0.50	1.05	1.00
Step-11	-10.42	-9.07	-0.66	0.66	1.35	1.31
Step-12	-6.78	-4.59	-1.09	1.10	2.19	2.20
Step-13	-10.07	-7.27	-1.23	1.58	2.80	2.81

한 것으로 나타났다.

지점별 발생변위는 되메움 시 최대가 되고 다음 단계에 변위가 감소하는 양상을 보이고 있는데, 이는 쉬트파일 제거 시 수평토압 증가로 인한 지중응력상태의 변화로 변위 감소현상이 발생한 것으로 판단된다.

또한 최대 내공변위가 발생된 단계는 최종단계이며 관 변형율은 수직방향 0.273 %, 수평방향 0.275 %로 평가되었다.

4.2 콘크리트 압축강도에 따른 관 변형특성

관 하부의 콘크리트 압축강도 변화가 관의 변형에 미치는 영향 정도를 평가하고자 압축강도가 14, 16, 18 MPa일 때 수치해석을 수행하였다.

해석결과 Y방향의 지점별 변위는 Fig. 6, X방향의 지점별 변위는 Fig. 7과 같다. 그림에서처럼 콘크리트의 압축강도 변화에 따른 관의 변위는 유효 값 범위 내에서 차이가 나타나지 않는 것으로 분석되었다.

Fig. 6. Y-direction displacement with variation of bed concrete strength

Fig. 7. X-direction displacement with variation of bed concrete strength

Fig. 8. Convergence with variation of bed concrete strength

Table 6. Convergence with variation of bed concrete strength

Case-1 (18 MPa)	Case-2 (14 MPa)		Case-3 (16 MPa)	
Convergence (mm)	Convergence (mm)	S (%)	Convergence (mm)	S (%)
2.80103	2.8009	99.996 %	2.8010	99.998 %

Fig. 8은 콘크리트 압축강도의 변화에 따른 내공변위를 나타낸 것으로 의미 있는 변화는 나타나지 않았으며, Table 6은 콘크리트 압축강도에 따른 민감도를 나타낸 결과로서 압축강도 14 MPa일 경우 최종단계에서 민감도는 99.996 %, 압축강도 16 MPa일 경우 민감도는 99.998 %로 나타나 압축강도 18 MPa에 비해 0.01 % 이내인 것으로 나타났다.

따라서 관 하부의 콘크리트 압축강도가 관에 미치는 영향은 작은 것으로 평가되었다. 수치해석 결과 압축강도가 낮아지면 탄성계수 또한 작아져 관의 변위량이 감소할 것으로 예상되었지만, 결과적으로 주위 지반에 비해 탄성계수가 1,600~2,600배 이상 높은 콘크리트 기초의 경우 탄성계수의 작은 변화가 관 변형에 미치는 영향은 미소함을 알 수 있다.

4.3 관 하부 모래의 다짐도에 따른 관 변형특성

관 하부 모래의 다짐도에 따른 변형특성을 평가하기 위하여 관 하부 모래의 다짐도를 80 %, 85 % 및 90 %로 변화시켜 가며 해석을 수행하였으며, 그 외의 조건들 즉 콘크리트강도, 관 주변의 모래 및 되메움재의 품질 및 다짐도는 표준시방서에 부합되는 조건으로 검토하였다.

Fig. 9는 관 하부 모래의 다짐도에 따른 지점별 수직변위를 Fig. 10은 지점별 관의 수평변위를 나타낸 결과로 관 하부 모래기초의 상대다짐도가 증가함에 따라 관의 수직변형률은 감소하며, 수평변형률은 큰 변화가 나타나지 않는 것으로 분석되었다. 상대다짐도의 증가 시 수직변형률이 감소

Fig. 9. Y-direction displacement with variation of relative compaction (sand below pipe)

Fig. 10. X-direction displacement with variation of relative compaction (sand below pipe)

Fig. 11. Convergence with variation of relative compaction (sand below pipe)

하는 경향은 관 하부의 모래기초의 탄성계수 증가로 관 침하가 감소한 결과이며, 하부 모래기초가 수평변형률에 미치는 영향은 제한적인 것으로 분석되었다.

Fig. 11은 관 하부 모래기초의 상대다짐도에 따른 내공변

Table 7. Convergence with variation of relative compaction (sand below pipe)

Case-1 (90 %)			Case-4 (85 %)		Case-5 (80 %)	
Convergence (mm)	Convergence (mm)	S (%)	Convergence (mm)	S (%)	Convergence (mm)	S (%)
2.801	3.123	112 %	3.282	117 %		

위를 나타낸 것으로 다짐도가 증가할수록 내공변위는 감소하는 경향을 보이는 것으로 분석되었다. 특히 다짐도 90 %의 변위와 비교한 결과는 Table 7과 같이 다짐도 85 % 시 민감도는 112 %, 80 % 시 민감도는 117 %로 평가되어, 모래기초(관 하부)의 다짐도가 낮을수록 내공변위의 민감도가 더욱 커지는 것으로 나타났다.

4.4 되메우기 토사의 다짐도에 따른 관 변형특성

되메우기 토사의 다짐도에 따른 관의 변형특성을 평가하기 위하여 토사의 다짐도를 80 %, 85 %, 90 %로 변화시켜 가며 해석을 수행하였으며, 그 외의 콘크리트강도, 관 하부 및 관 주변의 모래는 표준시방서에 부합되는 조건으로 하였다.

Fig. 12는 되메움 토사의 다짐도에 따른 지점별 수직변위를 나타낸 것으로 되메우기 토사의 상대다짐도가 증가함에 따라 관의 수직변위는 지속적으로 증가하는 것으로 나타났으며, 이는 되메우기 토사의 상대다짐도 증가에 따른 단위중량 증가효과에 의한 것으로 판단된다.

Fig. 13은 지점별 수평변위를 나타낸 결과로, 수평변형률은 측정위치별로 상이하게 나타났으며 상대다짐도 85 %일 경우 관로가 좌우방향으로 소폭 확장되다가 상대다짐도 90 % 증가 시 관이 소폭 축소되는 것으로 나타났다.

상대다짐도가 80 %에서 85 %로 증가 시 관의 횡방향 변위가 소폭 확장되는 원인은 상부 되메움재의 단위중량이 증가함에 따라 발생하는 응력증가에 기인한 것으로 판단되며, 85 %에서 90 %로 증가 시 횡방향으로 소폭 축소되는 원인은 단위중량이 증가하는 영향보다 탄성계수 증가에 의한 관의 횡방향 변형감소 효과가 더 큰 것에 기인한 것으로 판단된다.

Fig. 14는 되메움 토사의 상대다짐도에 따른 관의 내공변위를 나타낸 것으로 상대다짐도 80 %에서 85 % 증가 시 관의 내공변위가 감소하다가 85 %에서 90 %로 증가 시 내공변위가 증가하는 경향이 나타났다. 이는 지점별 수직변위와 수평변위의 경향이 종합적으로 반영된 결과로 판단된다.

또한 Table 8과 같이 되메우기 토사의 다짐도가 85 %일 경우 민감도는 117 %, 80 %일 경우에는 106 %로 평가되어 토사의 다짐도가 90 % 이하일 경우 관 변형이 증가한 것으로 나타났다. 민감도가 다짐도 80 %에 비해 다짐도 85 %에

Fig. 12. Y-direction displacement with variation of relative compaction (backfill soil)

Fig. 13. X-direction displacement with variation of relative compaction (backfill soil)

Fig. 14. Convergence with variation of relative compaction (backfill soil)

Table 8. Convergence with variation of relative compaction (backfill soil)

Case-1 (90 %)		Case-6 (85 %)		Case-7 (80 %)	
Convergence (mm)	Convergence (mm)	S (%)	Convergence (mm)	S (%)	
2.801	3.275	117 %	2.977	106 %	

서 큰 이유는 단위중량 증가로 인해 관 상부에 미치는 수직 토압의 증가가 원인인 것으로 판단된다.

이와 같은 결과에서 되메움 토사보다는 관 하부 모래의 다짐도에 따른 민감도가 더욱 크게 평가됨을 알 수 있다. 따라서 연성관의 경우 되메움 토사보다는 관 하부 모래에 대한 다짐관리가 관 변형에 더 많은 영향을 미침을 알 수 있다.

4.5 관 주변 모래의 다짐도에 따른 관 변형특성

관 주변 모래의 다짐도에 따른 변형특성을 평가하기 위하여 관 주변 모래의 다짐도를 80 %, 85 %, 90 %로 변화시켜 가며 해석을 수행하였으며, 그 외의 콘크리트강도, 관 하부 및 되메움기 토사의 다짐도는 표준시방서에 부합되는 조건으로 하였다.

Fig. 15는 관 주변 모래의 다짐도에 따른 지점별 수직변위를 나타낸 것으로 관 주변 모래의 상대다짐도가 증가함에

Fig. 15. Y-direction displacement with variation of relative compaction (soil around pipe)

Fig. 16. X-direction displacement with variation of relative compaction (soil around pipe)

따라 관의 수직변형률은 감소하는 것으로 나타났다.

Fig. 16은 관 주변 모래의 다짐도에 따른 지점별 수평변위를 나타낸 결과이며, 관 주변 모래의 상대다짐도가 증가함에 따라 관의 수평변형률도 감소하는 것으로 나타났다.

이처럼 상대다짐도 증가 시 관의 변형률이 감소되는 원인은 관 주변 모래의 탄성계수가 커짐에 따라 변위가 감소하는 것으로 판단되며, 따라서 연성관의 경우 관 주변 모래의 품질 및 다짐관리가 중요한 것으로 나타났다.

Fig. 17. Convergence with variation of relative compaction (soil around pipe)

Table 9. Convergence with variation of relative compaction (soil around pipe)

Case-1 (90 %)	Case-8 (85 %)		Case-9 (80 %)	
Convergence (mm)	Convergence (mm)	S (%)	Convergence (mm)	S (%)
2.801	3.528	126 %	4.070	145 %

Fig. 17은 관 주변 모래기초의 다짐도에 따른 관의 내공변위를 나타낸 것으로 관 주변 모래의 다짐도가 증가할수록 내공변위는 감소하는 것으로 나타났다.

Table 9는 관 주변 모래기초의 다짐도에 따른 민감도를 나타낸 것으로 상대다짐도 85 %일 경우 민감도는 126 %, 상대다짐도 80 %일 경우 민감도는 145 %로 평가되어, 모래기초(관 주변)의 다짐도가 낮을수록 관 변형이 증가함을 알 수 있다.

또한 관 하부 모래기초의 상대다짐도에 따른 민감도 평가결과(112~117 %)와 비교하면 관 주변 모래의 경우에는 126~145 %로 나타나 관 주변 모래가 관 하부 모래보다 변위에 미치는 영향이 더욱 큰 것을 알 수 있다.

4.6 관 강성에 따른 관 변형특성

관 강성에 따른 관의 변형특성을 평가하기 위하여 모든

Fig. 18. Y-direction displacement with variation of modulus of elasticity (pipe)

Fig. 19. X-direction displacement with variation of modulus of elasticity (pipe)

Fig. 20. Convergence with variation of modulus of elasticity (pipe)

시공조건을 표준시방서를 만족시키는 조건으로 고정시키고 관의 강성을 변화시켜가며 해석을 실시하였다.

Fig. 18, 19는 각각 관의 강성에 따른 지점별 수직변위와 수평변위를 나타낸 것으로 관 강성이 증가할수록 연직 및

Table 10. Convergence with variation of relative compaction (soil around pipe)

Case-1 (15,000 MPa)	Case-10 (12,750 MPa)		Case-11 (7,500 MPa)	
Convergence (mm)	Convergence (mm)	S (%)	Convergence (mm)	S (%)
2.801	2.851	102 %	2.963	106 %

수평변위가 다소 감소함을 알 수 있다. Fig. 20은 관 강성에 따른 내공변위로 지점별 변형특성 결과와 유사하게 관 강성이 증가할수록 내공변위는 감소하는 것으로 평가되었다.

Table 10은 관 강성에 따른 민감도를 분석한 결과로 관의 탄성계수가 12,750(MPa)일 경우 민감도는 102 %, 7,500(MPa)일 경우 106 %로 평가되어 관 강성이 클수록 관의 변형은 감소하는 것으로 나타났다.

5. 결 론

본 연구는 관의 강성, 관 하부 콘크리트 기초의 강성, 관 하부 모래기초의 다짐도, 관 주변 모래의 다짐도 및 관 상단 되메움재의 다짐도 등을 변화시켜 가며 관의 변형특성들을 수치해석을 통하여 평가하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

- (1) 시공순서에 따른 관의 지점별 발생변위는 최종 복토단계에서 최대값이 발생되고 내공변위는 복토 후 공용단계에서 최대값이 발생함에 따라 관의 변형평가 시 시공단계에 대한 고려가 필요함을 알 수 있다.
- (2) 콘크리트의 압축강도 변화에 따른 관의 변위는 유효 값 범위 내에서 차이가 발생되지 않는 것으로 분석되었으며, 관의 강성이 클수록 발생하는 변위는 감소하는 것으로 나타났다.
- (3) 되메움 토사의 다짐도 변화에 따른 민감도는 전반적으로 관 하부 및 관 주변모래의 다짐도에 따른 민감도 보다 작게 평가되었다. 따라서 연성관의 경우 되메움 토사 보다는 관 하부 및 주변의 모래에 대한 다짐관리가 관 변형에 더욱 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.
- (4) 관 하부 모래기초의 상대다짐도에 따른 관의 변위특성은 다짐도가 증가할수록 변위는 감소하는 경향을 보였으며, 민감도 평가결과 관 하부의 경우 112~117 %, 관 주변 모래의 경우에는 126~145 %로 평가되어 관 주변 모래의 다짐도가 관 하부 모래의 다짐도보다 변위에 미치는 영향이 더욱 큰 것으로 나타났다.

References

1. Howard, A. K. (1977), Modulus of Soil reaction values for buried flexible pipe, *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, Vol. 103, No. 1, pp. 33~43.
2. Jeyapalan, J. K. and Boldon, B. A. (1986), Performance and selection of rigid and flexible pipes, *Journal of Transportation Engineering*, American Society of Civil Engineers, Vol. 112, Issue 5, pp. 507~524.
3. Jun, S. K. (2003), *Foundation design handbook for engineer*, 1th, Science technology, Seoul, pp. 10~69 (in Korean).
4. Kim, S. H. (2011), A study on the ring deflection of buried flexible sewer pipe, Master's thesis, Hongik University, pp. 1~15 (in Korean).
5. Lee, K. H., Cho, J. Y., Rodrigo, S. and Lee, I. M. (2001), Retaining wall model test with waste foundry sand mixture backfill, *Geotechnical Testing Journal*, Vol. 24, No. 4, pp. 401~408.
6. Marston, A. (1930), The theory of external loads on closed conduits, Bulletin No. 96, Iowa Engineering Experimental Station, pp. 5~8.
7. Ministry of Environment (2011), Design criteria of sewerage facilities, pp. 107~140 (in Korean).
8. Moser, A. P. (2001), *Buried pipe design*, 2th, McGraw -Hill, New York, pp. 285~299.
9. Spangler, M. G. and Handy, R. L. (1982), *Soil engineering*, Harper & Row, New York, pp. 764~798.
10. Watkins, R. and Anderson, L. R. (2000), *Structural mechanics of buried pipe*, CRC Press, New York, pp. 269~282.