

현장중심형 하수도용 연성관의 거동특성에 대한 고찰 - 다짐도 · 변형률 · 강성 간의 관계정립 -

김영진¹

한국토지주택공사 토지주택연구원 수석연구원, 교신저자¹

A Case Study of Flexible Sewer Pipes Behaviors - Compaction Ratio · Inner Deflection Ratio · Ring Stiffness -

Kim, Young-Jin¹

¹Land & Housing Institute, Construction & Environment Research Department

Abstract: As the Sewer Pipe is transformed by the expansion of life cycle as a result of the technology development, flexible pipe is developed by the transformed environmental conditions. To change pipe design, three phases(compaction ration - inner deflection ratio - ring stiffness) should be considered in design conditions. The input data of pipe design were provided by compaction-inner deflection ratio-ring stiffness. Moreover, The guidelines of sewerage pipes should be considered by flexible pipes design criteria.

Keywords: sewer pipes, flexible pipes, compaction ratio, deflection ratio, pipe stiffness, ring stiffness

1. 서 론

1990년대 까지만 해도 하수도용 관거로는 흙관, PC관, VR관 등 강성 위주의 합류식 관거가 사용되었다. 2000년 초반 CCTV조사를 통하여 살펴본 합류식 관거의 문제는 관 파손, 오점시공, 단차발생, 철근노출 등 7.6m 당 한 개소의 이상 문제 발생으로 인하여 2002년 환경부에서는 “하수관거정비 원년의 해” 선포를 계기로 기존의 합류식위주의 관거에서 우수와 오수를 분류하는 선진화된 분류식 하수관거 정비사업을 시작하게 되었다. 합류식관거의 문제를 발생사례별로 살펴보면, 콘크리트 재료의 설계 및 시공 중에 발생하는 적정강도 제시미비로 인한 관 파손 및 부식 발생, 관 체결 부위의 누수로 인한 지하수 오염문제, 지하수위 변화로 인한 관 꺾임 발생 등 관과 지반간의 생태적 변화로 인하여 관거의 내

구성 확보에 막대한 영향을 미치고 있는 실정이다. 또한 과하중으로 인한 연결부의 누수 및 깨짐 현상 발생, 바닷가와 같은 지역에서의 조수간만으로 인한 부등침하 발생, 식당주변에 발생하는 유지(기름성분)로 인한 관거의 지속적인 세척문제, 연결부위에 나무뿌리의 유입으로 인한 관거 통수성능 저하 등도 발생하고 있는 실정이다. 시공관리 문제로는 염분으로 인한 강관과 흙관 등의 방식처리문제, 관거 자체 하중의 증대로 인한 운반 및 중장비 사용문제로 인한 관 침하현상 등으로 인한 내구수명의 확보문제, 연결부위나 접합부 등의 수밀성능 확보문제, 흙관의 고무링 이탈로 인한 지하수의 누수 등 환경문제, 구조 및 재료적 성질로 인한 다짐문제, 표면박리로 인한 강관의 코팅처리문제, 지하수위 상승으로 인한 관의 부력 문제 등 하수도 설계시 쉽게 간과한 면들도 발생하고 있다. 과거에 강성관은 장점을 많이 갖

주요어: 하수도관, 연성관, 다짐도, 파이프강성, 원강성

Corresponding author. Kim, Young-Jin
Land & Housing Institute, Construction & Environment Research Department, Expo-ro, Yuseong-gu, Daejeon City, 305-731, Korea.
Tel: +82-42-866-8682, Fax: +82-42-866-8431, E-mail: yjkim016@lh.or.kr

투고일: 2013년 4월 8일 / 수정일: 2013년 5월 20일 / 게재확정일: 2013년 6월 16일

고 있는 재료로 인식되어 사용되었으나, 최근에는 중량이 가볍고 내구수명이 길고 시공이 간편한 PE관, PVC관, 수지파형강관, 유리섬유복합관 등 플라스틱계통의 관들이 많이 적용되고 있으며, 본 논고에서는 플라스틱계통의 연성관에 대한 다짐도-변형-강성 3가지 요소에 대하여 상관관계에 대하여 고찰하여 보았다.

2. 연성관 허용변형률에 대한 조사

2.1 관 변형에 대한 사례조사

‘하수도시설기준(2005)’에는 연성관의 허용변형률에 대하여 “관 내경의 5% 이내로 한다.”라는 다소 애매한 규정을 가지고 있다. 따라서 제조회사별로 각기 다른 제품사양 및 규격에 대한 차이가 발생하고 있으며, 각 제조회사는 하중재하에 따른 변위에 대한 상관관계에 대한 자체 시험성적서를 갖추고 있어야 하나 동일한 제품군이라고 해도 서로 다른 규격에 대한 허용변형률을 제시하고 있고, 지반조건별 관거의 안정성 확보에 대한 실증적 자료를 근거로 하수도용 연성관에 대한 국내 기준에 대한 새로운 규격을 제시하여 적절한 관거 시공에 대한 방법을 제시하고자 한다(Kang, 2013).

국내에서 연성관에 대한 허용변형률의 관련규정은 ‘하수도 시설기준(2005)’이나 ‘하수관거공사 표준시방서(2010)’ 등에 나타나 있다. 외국에서는 변형률에 대한 조사가 거의 없으나 국내에서는 변형과 관련된 사례가 최근에서야 밝혀지고 있는 상황이고, CCTV 조사시 관측된 자료의 정성적인 판단에 의하여 결정되는 사례가 빈번하여 관거의 변형과 관련해서는 제대로 된 조사가 이루어지지 않고 있다. 따라서 본고에서는 CCTV 자주차에 연결하여 변형률을 측정할 수 있는 변형률 측정 장비를 Fig. 1과 같이 세계 최초로 제작하게 되었고 그 조사장비를 활용하여 변형측정에 대한 국내의 기준정립에 한 획을 긋는 조사를 수행하였다.

Fig. 1 하단에 보이는 변형측정장비는 자주차에 연결하여 견인식으로 이동시키며, 측정지점에서 날개를 펼쳐 측정장치를 하수관의 정중앙에 고정시킨 후, 상·하로 동일하게 늘어나는 측정장치를 이용하여 관의 변형률을 측정하는 시스템으로 구성하였다. 하지만 최근에는 장비의 추가 개발로 환경신기술을 획득한 장비들로부터 일본의 내경측정장비까지도 나오고 있는 실정이다(Korea Land Corporation, 2004).

국내 연성용 하수관거에 대한 전국적인 실태조사 및 현장측정을 통하여 과거의 CCTV를 통한 정성적인 측정방법에서 변형측정장비를 통한 정량적인 조사를 수행할 수 있게 되었으며, 그 결과 어떤 관중

에 대하여는 설계와 시공 차이가 발생(변형)하고 있다는 것을 파악할 수 있었다. 이와 같은 상태를 진단해본 결과, Fig. 2와 같은 결과를 찾을 수 있었으며, 제조회사별 평균변형률 및 최대 변형률 값을 측정할 수 있었다. 이에 대한 원인별 사인을 분석해보면, 다음과 같이 몇 가지로 구분할 수가 있었다. 첫째로 지반의 조건에 부응하는 다짐정도를 충분히 확보하지 못하거나 적절한 층 다짐간격 이행부족을 둘 수가 있다. 둘째로 적절한 층 다짐과 더불어 연성관의 강성부족은 지나친 관의 변형을 야기 시킨다는 것이다. 셋째로 관거의 되메움후 발생하는 급속한 변형을 둘 수가 있는데 이는 허용변형률을 초과하게 되는 계기가 된다. 이러한 변형을 방지하기 위한 노력에도 불구하고 충분한 관의 강성확보 및 층 다짐정도에 따른 관종별 적절한 허용변형률에 대한 연구가 국내에는 없다는 것이다. 또한 국내에서 연성관의 기준은 2005년까지만 해도 PE관 및 PVC관만 규정하고 있었고, 최근에서야 유리섬유복합관 및 수지파형강관까지도 확대 적용하고 있는 실정이다. 그러나 이마저도 각 관종별 특성을 제대로 살리지 못하고 있는 실정이며, 관재질별 강성값, 기초조건, 토 피고, 항복하중에 따른 적절한 허용변형률 기준제시 등 연성관의 강점을 충분히 살리지 못하다 보니까 현장 조사시 발생하는 다양한 양상의 변형들이 발생하고 있는 실정이다.

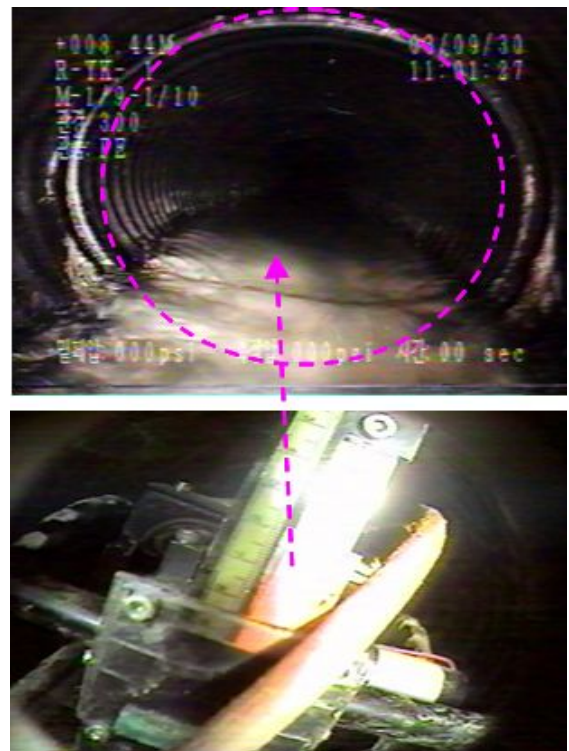


Fig. 1 Strain Meter (Domestic Product)

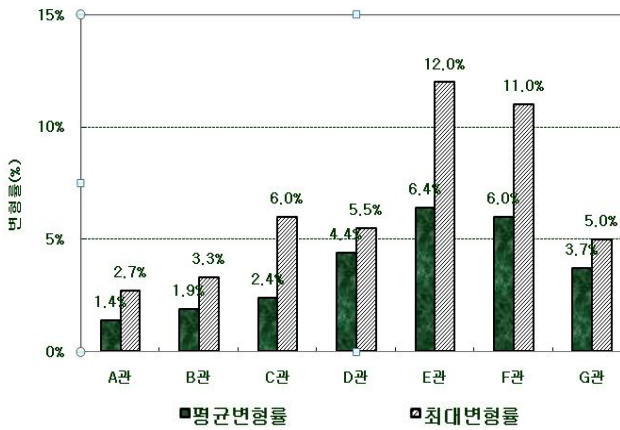


Fig. 2 Pipe Strains of 7-Companies (Domestic)

본 조사 결과는, 경과년수가 1년에서 3년이 지난 것으로서 부설년도와 지반조건에 따른 관거의 변형에 대한 정확한 상관관계에 대한 원인규명을 파악하기는 어려웠지만, 경과년수가 지속될 수록 외압(정하중과 동하중)의 영향에 의하여 관 변형은 계속 진행할 것으로 판단된다.

Fig. 2에서 E관과 F관의 경우에는 평균변형률과 최대변형률을 초과하였으며, 지속적인 관거의 상태를 지켜보아야 할 상황이다. G관의 경우 강성이 매우 약한 관인 경우임에도 불구하고 콘크리트기초(270°)를 적용하여 변형이 적었다는 사실을 알 수 있었고, 그 외 나머지 관들의 기초는 모래기초를 적용하였다. 설계에 따른 시공 상태를 직접 확인하기에는 다소 어려움이 있어서 상대적으로 모래기초보다는 콘크리트기초를 사용하는 것이 변형 방지에 효과적임을 알 수 있었다. 또한, 토피가 2.0m를 넘는 곳에서 관 변형 발생률이 높은 것으로 조사되었다.

본 조사 결과를 종합해 보았을 때, 경과년수가 3년 미만인 연성관에서 변형이 발생한 원인은 시간에 따른 장기적인 토압의 영향보다는 관 기초의 적용 및 관 매설 후 다짐 시 층별 다짐조건의 영향에 따른 단기적인 관 시공상의 문제에 영향을 받은 것으로 나타났다.

2.2 관거의 원강성-파이프강성과의 비교

국내에서 제조되는 관거 제조회사들에 대한 샘플 조사를 통하여 파이프 강성(KS 기준)값과 원강성(ISO 기준)값들에 대한 실험적 증명을 통하여 상호 관련성에 대한 기준을 정립하고자 하였으며, 파이프 강성값 하나를 알면 원강성 값도 알 수 있도록 하는 제도적 근거 마련을 확보하였다. 일반적으로 강성 시험방법은 두 가지로 구별하여 시험을 하게 되는데 원강성은 일정한 속도로 관에 변형을 가할 경우, 하

중과 변형을 측정하여 ISO 9969 (Thermoplastics pipes - Determination of ring stiffness), ISO 13966 (Thermoplastics pipes and fittings - Nominal ring stiffness) 를 준용하여 시험을 하게 된다. 원강성은 관을 지름방향에 대해 0.03di(diameter)의 변형을 생기게 하는데 필요한 하중의 함수로써 계산된다. 파이프강성은 ASTM D 2412 (Standards test method for determination of external loading characteristics of plastic pipe by parallel-plate loading)에 따라 측정되며 ASTM에서 파이프강성은 0.05di의 변형률을 기준으로 한다. 따라서 본 고에서는 시중에서 판매되는 제품들에 대한 원강성 값과 파이프강성 값과의 차이점과 상관관계에 대한 그래프를 작성하기 위해서 비교 시험을 수행하였으며, 이들 값을 통하여 시중에서 판매되는 제품들에 대한 원강성 또는 파이프강성에 대한 한 번의 실험으로 손쉽게 나머지 강성값을 상관관계 그래프를 통하여 손쉽게 구할 수 있도록 표기하였다. 국내에서 생산되는 제품을 수거하여 각사 제품에 대한 파이프강성 값과 원강성 값을 각각 측정하여 그 결과치를 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Pipe Stiffness(PS) & Ring Stiffness(SD) from Manufactured Company (Domestic)

제조사	관경 (mm)	파이프 강성	원강성	
		PS (kgf/cm ²)	SD (kN/m ²)	SN(공칭 원 강성)
A사	200	6.9	12.5	12.5
	250	5.0	10.6	8
	300	5.3	11.6	8
	350	5.8	11.6	8
	400	5.5	12.0	8
	450	4.3	10.3	8
B사	500	5.1	12.1	8
	300	6.5	14.1	12.5
C사	500	5.6	13.1	12.5
	300	8.2	16.9	16
D사	400	6.6	13.2	12.5
	300	4.8	10.2	8
E사	400	6.2	13.9	12.5
	500	5.7	12.9	12.5
	300	2.5	4.9	4
	300	2.1	4.1	4

관련 기준에 의하면 원강성 값은 다음 식(1)과 같이 나타낼 수 있으며,

$$S = [0.0186 + 0.025 \frac{y}{d_i}] \frac{F}{Ly} \tag{1}$$

이를 3%변형과 5%변형의 비로 나타내면 다음 식(2)와 같이 표기할 수 있고,

$$\frac{3\% \text{ 변형}}{5\% \text{ 변형}} = \frac{[0.0186 + 0.025 \frac{y_{3\%}}{d_i}] \frac{F_{3\%}}{Ly_{3\%}}}{[0.0186 + 0.025 \frac{y_{5\%}}{d_i}] \frac{F_{5\%}}{Ly_{5\%}}} \quad (2)$$

위 (2)식에 각각 파이프강성과 원강성을 대입하고 단위를 kN/m²로 나타내면 다음과 같은 식(3)으로 표현된다.

$$\frac{3\% \text{ 변형}}{5\% \text{ 변형}} = \frac{S_D}{[0.0186 + 0.025 \times 0.05] PS \times 98} \quad (3)$$

즉, 상수에 해당되는

$$\frac{1}{(0.0186 + 0.025 \times 0.05) \times 98}$$

의 값이 1.9453이 된다.

따라서 파이프강성을 X축, 원강성을 Y축으로 하는 그래프로 나타내었을 때 최소자승법에 의한 기울기를 구하면 2.037이 되므로 Fig. 3에서와 같이 파이프강성과 원강성에 대한 상관관계를 비교 시험을 통하여 제시하였다.

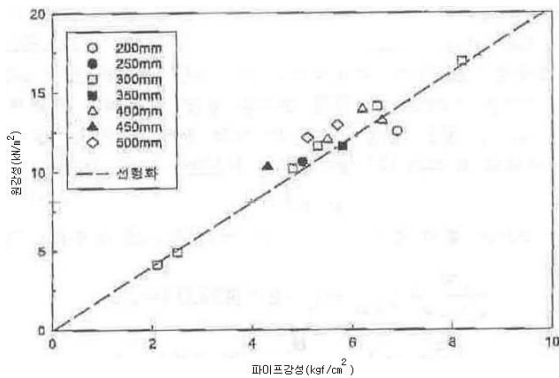


Fig. 3 Relationships of Pipe Stiffness & Ring Stiffness

이를 근거로 판단하였을 경우 국내에서 제조되는 제품들에 대한 원강성값은 파이프강성의 대략 2배임을 알 수 있었다. 이는 두 가지 시험을 다 수행하는 불편을 줄이고 국내에서 생산되고 있는 제조사들의 제품에 대한 규격제정 및 활용에 대한 편리성을 제시하였다.

2.3 현장 시험 시공

현장 시험 시공은 터파기 수행, 베딩재 조성, 관의 설치, 단계별 되메우기 및 다짐 순으로 실시한다. 이때 다짐 장비는 관의 주변 다짐의 경우 소형컴팩터를 사용하였고, 관의 상부층 경우에는 1ton 롤러를 사용하였다. 해당되는 관종은 유리섬유복합관, PE삼

중벽관, PVC이중벽관, PE적층관으로 구성되었으며, 관경은 가장 일반적으로 많이 사용하고 있는 400mm와 한 본의 길이가 6m인 관을 선정하였다. 매설심도는 1.5m와 5m에 대하여 두 가지 조건으로 구분하였으며, 기초 조건으로는 현장발생토사, 일반모래를 사용하되 베딩조건을 90도와 180도로 구분하였고, 쏘일시멘트인 4가지 기초 조건을 설정하였으며, 제품들은 국내에서 가장 많이 설계 및 시공되고 있는 관들을 기준으로 선정하였다. 차량재하는 매설심도별로 대형롤러와 약 30톤의 덤프트럭하중을 하루 종일 관 상단부를 통과하도록 하였다. 노상은 A다짐으로 95%이상 요구하는 수준으로 다졌고, 노체(관 주변)는 D다짐의 수준으로 90%이상을 요구하고 있으나 현장상황에 가장 가까운 수준으로 평가를 하고자 하였다. 그 결과 Fig. 4와 같은 거동특성을 얻을 수 있었다(Kim, 2008).

현장 변형측정 시험을 완료한 후, 매설된 관의 스프링(Spring) 구간 및 크라운(Crown)부에 대한 주변의 현장 들밀도 시험을 통한 다짐도를 측정하였는데 이때 다짐도는 대략 72%에서 84% 정도로 나타남을 알 수 있었다. 이는 열악한 국내의 관거시공 조건을 전제로 수행하였으며, 관거의 변형상태를 통한 연구적인 차원에서 수행되었음을 밝혀두고자 한다.

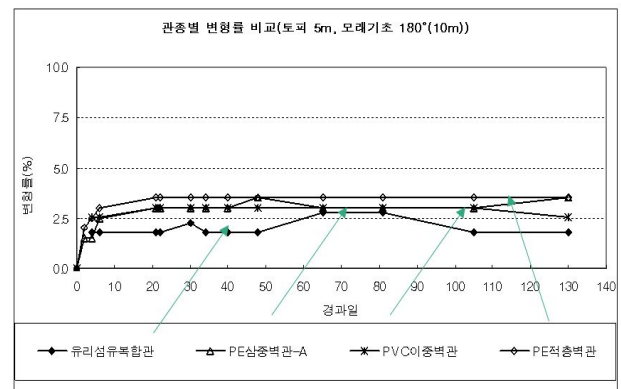
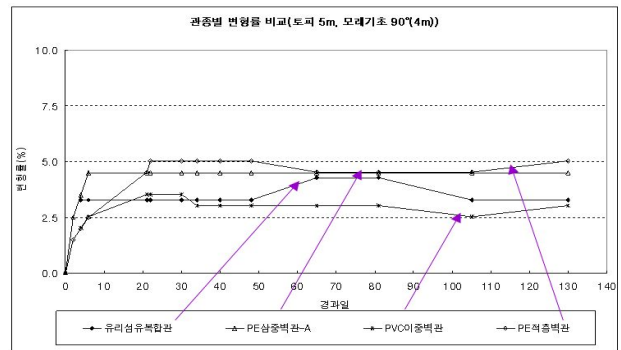


Fig. 4 Comparison Tests of Soil Depth-Backfill Condition-Strain-Test Day

2.4 연성관의 허용변형률에 대한 검토

유리섬유복합관에 대한 외국의 허용변형률에 대한 설계기준을 살펴보면 일본 JSWAS(일본하수도협회 기준)에 의하면 기초별로 관거의 변형상태를 구분 짓고 있으며, 쇠석기초시 5%, 모래기초시 4%로 규정하고 있다. 하지만 국내 ‘하수도시설기준(2005)’에서는 기초조건에 대한 별도의 허용변형률 기준이 없이 획일적으로 “5% 이내”로 규정하여 관종별 차별화된 규정이 없는 실정이므로 여기에서는 현재 국내 4개 제조사별로 각각의 허용변형률에 대한 하중-변형 그래프를 통하여 각각의 기준 제시가 이루어져야 한다고 판단된다. PE관과 관련해서는 CPPA (Canadian Plastic Pipe Association)에서 제시하고 있는 7.5%를 일부 준용하여 국내에서도 자체적인 허용변형률에 대한 기준을 재정립할 필요가 있어야 할 것으로 판단되며, 경우에 따라서는 허용변형률에 대한 기준을 현재의 5%에서 7.5%정도로 완화해줄 필요가 있다고 판단되며 국내 제조회사별로 각각의 제품성적서를 납품받아서 허용변형률에 대한 규격에 대하여 일부 조정이 필요하다고 판단된다. 그 사유로는 관거의 강성값과 시공조건에 따른 다양한 조건을 고려하여 설계 및 시공의 다양성을 인정해주어야 한다는 것이다. Table 2에서도 볼 수 있듯이 일본 하수도협회에서는 관경별, 관종별, 관기초 등의 조건으로 세분화하고 있으므로, 국내에서도 PE관과 PVC관에 대하여 “내경의 5%”라고 하는 하수도시설기준(2005)을 개정하여 관중에 따른 변형, 지반조건 및 강성값에 대한 세가지 조건에 맞는 보다 더 합리적인 자료 및 설계 기준이 제시되어야 할 것으로 판단된다(Kim, 2007).

또한, PE관에 대해서는 ASTM, ASTM Newsletter, PPI Technical Note Series, PPI Technical Report Series, Rinker Information Series 등의 규격에서도 모두 7.5%의 최대 허용변형률을 기준으로 삼고 있다. ASTM F 894 및 ASTM D 2321에서는 플라스틱 파이프의 시공방법에 대한 규격으로 토양의 종류에 따른 시공 방법 및 다짐, 변형에 따른 기준을 나타내고 있으며, 이러한 규격은 모두 “관을 94% 이상 다짐했을 경우의 최대 허용변형률이 7.5%라는 것을 의미한다.” 라고 명기하고 있다.

ISO 국제 표준의 working draft의 근간이 되는 prCEN 13476 series 중 prCEN/TS 13476-3은 Guidance for Installation으로서 시방에 대한 내용을 다루고 있다. 이 기준에 따르면, Table 3의 Recommended design deflection limits에서는 SN 2의 경우 초기 평균 변형률은 5%, 장기 평균변형률은 8%로 구분하고 있고, SN 4, 8, 16의 경우 초기 평균변형률은 8%, 장기 평균변형률은 10%로 규정하고 있다.

Table 2. Allowed Strain Conditions of Japan (JSWAS)

관종	허용변형률		
PE관(관경 50~300) JSWAS K-14-2000	4%		
PE(Rib)관(관경 200~1,000) JSWAS K-15-2001	4%		
강화플라스틱 복합관(FRP) (관경 200~3,000) JSWAS K-2-1987	·관로 기능 보수면에서 : 5%		
	·설계용 :		
	관경 (mm)	기초재료	
		모래	쇠석
200~350	4%	-	
400~3,000		5%	
고강성 PVC관(관경 200~500) JSWAS K-5-1985	4%		
PVC관(관경 75~800) JSWAS K-1-1985	5%		
PVC(Rib)관(관경 150~500) JSWAS K-13-1999	4%		

Table 3. Allowed Strain of Recommended Design (ISO)

강성 계수 (SN)	평균 초기 변형	평균 장기 변형
SN 2	5%	8%
SN 4, 8, 16	8%	10%

2.5 관의 다짐도에 대한 사료 검토

시공 시 관의 다짐 정도는 원지반상태의 토질다짐 정도에 대한 시공 후 되메우기에 대한 다짐 정도라고 볼 수 있다. 연성용 하수관의 경우 시공시 그 다짐의 정도가 94% 이상이 되어야 한다는 근거는 다음과 같은 국제 규격 및 관련 문헌을 통하여 알 수 있다(Korea Land Corporation, 2006).

① prCEN/TS 13476-3 : 2002

이 규격은 연성관에 대한 유럽 규격이며, 현재 본 규격을 하수관에 대한 ISO 규격으로 만드는 작업이 진행되고 있다.

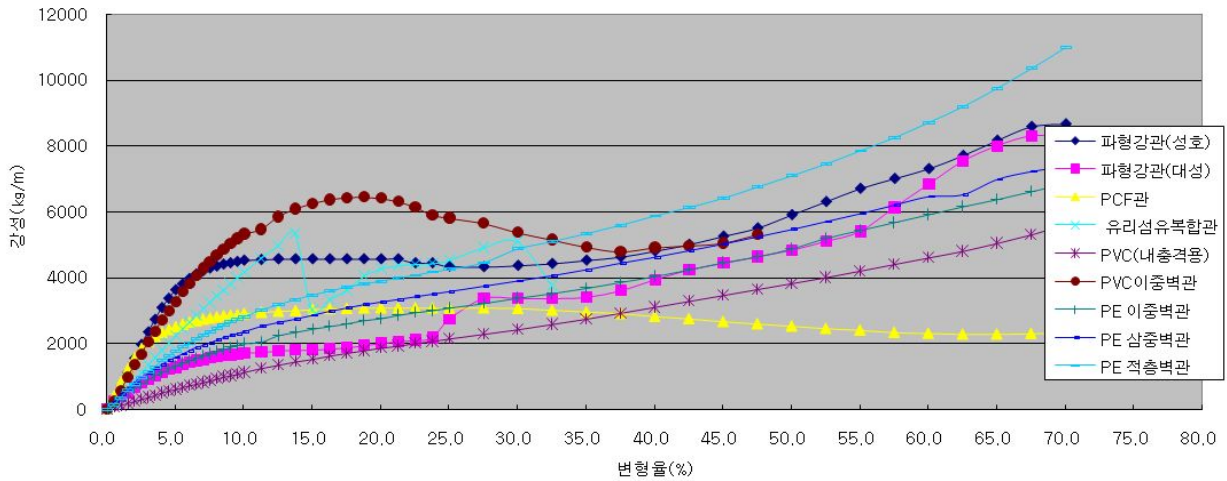


Fig. 5 Pipe Stiffness & Strain of 9-Company Products

② ASTM D 2321

이 규격은 지하 매설용 열가소성수지(PE, PVC 등)로 만들어진 플라스틱 하수관의 시공에 대한 내용으로서, 토질의 종류에 따른 시공 방법을 규정한 규격이며, 지반의 강성과 다짐의 정도를 다루고 있다. 일반적으로 최소 요구 밀도는 지반반력계수(E')이 1,000psi 이상이 되도록 다짐할 것을 요구하고 있으며, 관련 규격 등을 종합해 보면 토질의 종류에 따라 다짐의 정도를 저밀도 다짐(85%), 중간(90%), 고밀도 다짐(95% 이상)의 3가지로 분류하고 있다.

③ ASTM F 894

“Underground Installation of Pipe의 Guide Specification for HDPE Gravity- Drain Pipe(F-894 Pipe)”는 하수관의 시공에 대한 기준 시방서 자료로 많이 인용되는 자료이며, 주요 내용으로는 토질의 종류에 따라서 최소 95% 이상의 다짐이 필요하다는 것을 의미하고 있다.

2.6 실내시험을 통한 관종별 응력-변형률 비교 시험

변형률에 대한 현장조사 및 자료조사를 통하여 실제적으로 현장에서 사용되는 관종들에 대한 샘플링 조사를 바탕으로 실내에서 Fig. 5와 같이 응력-변형률 비교 시험을 수행하였다. 국내에서 제한하고 있는 “허용변형률은 관 내경의 5% 이내”에 도달하였을 경우에 관의 거동특성을 분석하고자 하였으며 이는 제조사별 관의 탄성계수값을 통하여 설계기준값을 제시하고, 탄성한계값을 초과했을 경우에 관의

강성값과 변형률에 따른 파괴거동 값을 알고자 하였다. 관종에 따라서는 초기에 탄성거동을 보이는 관들이 있었고, 어떤 관들은 초기에 항복하여 소성거동이 지배적임을 알 수 있었으며, 이를 통하여 관 제조회사별로 재료적 거동을 분석 해보면 관종별 항복상태에 이르는 값을 결정하고 허용변형률을 제시하면 관종별 적절한 변형률을 통한 50년 관종별 수명예측에도 도움이 될 것으로 판단된다. 관종에 따라서는 4% 변형 상태에서 항복점에 도달하기도 하고, 10%를 넘는 관종도 나타났다. 따라서 이러한 결과를 통하여 PE관에 대한 상태를 살펴보았을 때, 외국에서 제시하는 “허용변형률 7.5%”는 제조회사에 따라서 일부 타당성이 있다는 것을 알 수 있었다 (Kim, 2007).

하지만 외국의 관들과 국내에서 사용하고 있는 관들의 강성값에 대한 정확한 기준을 제조회사별로 규정을 정해야 하고 이를 바탕으로 허용변형률에 대한 기준을 마련하는 것이 무엇보다 시급하다고 판단된다. 관종별 비교 시험을 통하여 국내에서 생산되는 관종들로 설계를 할 시 시험성적서를 반드시 제출받아서 설계를 수행해야 된다고 판단되며, 이에 대한 연구가 집중적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다.

2.7 변형률-원강성-다짐도의 삼각관계

앞에서 언급했던바와 같이 전체적인 내용들을 정리해 보면 국내실정에 맞는 관의 변형률과 원강성 및 다짐도의 삼각관계를 다음 Fig. 6과 같이 정리할 수가 있다.

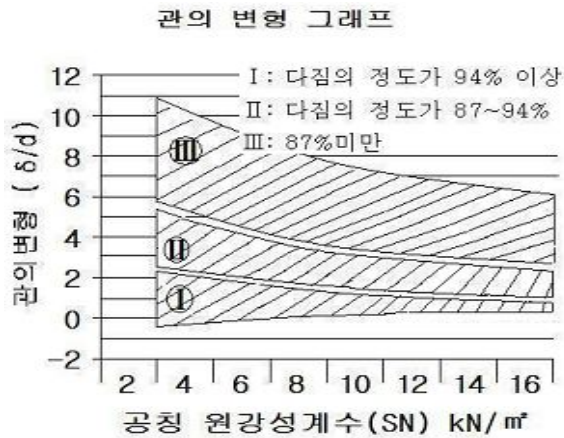


Fig. 6 Relationships of Strain-Pipe Stiffness-Compaction Ratio

이것을 다시 정리하여 수치화하면 Table 4와 같이 표현할 수 있다.

Table 4. Coefficients of Compaction Ratio, Ring Stiffness & Strain

다짐도		원강성	원강성 (원강성은 파이프 강성의 약 2배)			
			2	4	8	16
다 짐 도 (%)	94 초과시 변형률		0~2.1	0~1.5	0.5~1.3	0.6~1.0
	87~94시 변형률		2.4~5.3	1.8~4.2	1.6~3.0	1.2~2.0
	87미만시 변형률		5.6~11.2	4.5~9	3.1~6.5	1.4~4.4

지금까지 현장조사 및 관종별 자재시험을 통하여 현장시험시공을 실시하였으며, 국내에서 다짐도 95%를 요구한다는 것은 국내여건상 무리라고 판단되며, 관의 강성값을 상향해주거나, 변형률에 대한 조건을 같이 고려해주면 연성용 하수관거의 안정성을 높일 수 있음을 알 수 있었다.

3. 결론

하수관으로 연성관을 사용한 경우에 대하여 실내 시험, 현장조사, 현장시험 및 외국의 문헌 등 조사를 통하여 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1) 관의 허용변형률은 관 제조회사별 기준을 환경별 관종의 강성값에 따른 지반상태와의 조건을 검토하고 Table 1과 같이 설계시 제조회사별 강성값(파이프강성과 원강성)에 대한 규격 제시가 필요하다.

2) 국내 여건에 맞는 설계 및 시공을 위해서는 변형률-원강성-다짐도에 대한 삼각관계를 고려하여야 하며, Fig. 6에서 제시한 바와 같이 설계자는 지반조건에 맞게 검토를 하고 국내 현장여건에 맞는 대안을 제시해야 한다.

3) 장기적인 내구성을 확보하기 위해서는 지속적인 관의 변형상태를 관찰해야만 하고, 다짐도에 따른 관의 강성값과 변형률에 대한 장기적인 거동에 대한 데이터를 축적할 필요가 있다.

4) 설계자가 선정한 관종이 허용변형률 이내에 들지 않는 경우를 대비하기 위하여 현장지반조건 및 관을 제조하는 회사의 강성값을 반드시 확인하여 설계에 반영하여야 하면, 필요시 변형률 측정장비를 활용하여 지속적으로 조사를 하여 관의 안정성 확보에 노력을 기울여야 한다.

5) 본 조사 결과를 종합해 보았을 때, 연성관에서 변형이 발생한 원인은 시간에 따른 장기적인 토압의 영향보다는 관 기초의 설계조건 및 관 매설 후 다짐시 층별 다짐조건의 영향에 따른 단기적인 관 시공상의 문제에 영향을 받은 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 LH공사 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

References

ASTM D 2321 (2000), Practice for Underground Installation of Thermoplastic Pipe for Sewers and Other Gravity-Flow Applications.

ASTM D 2412 (2011), Standards test method for determination of external loading characteristics of plastic pipe by parallel-plate loading.

ASTM F 894-98a (1998), Specification for Polyethylene (PE) Large Diameter Profile Wall Sewer and Drain Pipe.

Kang, J. S., Davidson, James, Lim, J. H., and Kang, Y. J. (2013), "Cover Requirements for Corrugated HDPE and PVC Pipes Used for Cross-drains in Highway Construction," *J. Korean Soc. Adv. Comp. Strus.* Vol. 4 No. 1, pp. 15-24. (in Korean).

Kim, Y. J. and Lee, J. M. (2007), "A Case Study of Characteristic and Device for Variation on Flexible

sewerage Pipe,” *Korean Society of Water and Wastewater Conference*, pp. 17-20. (in Korean).

Kim, Y. J., Lee, J. M., Jin, K. N., and Choi, Y. C. (2008), “A Case Study on The BTL Sewage Pipe,” *34th Korean Society of Civil Engineers Conference*, pp. 771-774. (in Korean).

Korea Land Corporation (2004), *The Research of Qualitative materials in Sewer Pipe*, pp. IV(1)-IV(50). (in Korean).

Korea Land Corporation (2006), *The Characteristic Study of Flexible pipe for underground Pipe Deformation*, pp. 30-35. (in Korean).

Ministry of Environment (2005), *Sewer Facility Standards*, pp. 113-147. (in Korean).

Ministry of Environment (2006), *Guideline of Sewer Construction Management*, pp. 161-237. (in Korean).