

## iPVC 매립 상수도관의 내진 성능 및 내침하 성능 평가를 위한 시험적 연구

전법규<sup>1</sup>, 장성진<sup>2\*</sup>, 김재봉<sup>3</sup>, 주부석<sup>4</sup>

### Experimental Study for Earthquake and Subsidence-resistant Performance Evaluation of iPVC Buried Water Pipe

Bub-Gyu Jeon<sup>1</sup>, Sung-Jin Chang<sup>2\*</sup>, Jae-Bong Kim<sup>3</sup>, Bu-Seog Ju<sup>4</sup>

**Abstract:** Water pipes are important facilities and consist of pipes of various specifications and materials. The annual average number of earthquakes in Korea is steadily increasing. Therefore, in case of the water pipe, it is estimated necessary to prepare for earthquakes. Damages to the water pipe by the earthquake can cause problems such as water supply and fire suppression, and cause damage to life and property. In Korea, however, it is difficult to find examples of seismic performance evaluation of water pipes based on experimental study. Damage to the water pipes by the earthquake is caused by the displacement-controlled behavior of the ground which is the liquefaction and fault lines. Especially, The damage to the water pipes by the earthquake is concentrated on the joint of the pipe. In particular, piping less than 200mm in diameter was found to be dangerous. Thus, in this study, the seismic and settlement performance of iPVC buried water pipes with fixed joints with a clamp of 150mm was evaluated with a test approach.

**Keywords:** Buried water pipe, iPVC pipe, Earthquake-resistant, Subsidence-resistant

## 1. 서 론

자연재해 중 지진의 발생 추이를 보면 전 세계적으로 규모 5.0 이상의 지진이 1935년부터 2018년까지 꾸준히 증가하는 추세이다(Discovering Future World Events Through Scripture). 따라서 지진피해의 저감을 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 우리나라의 연평균 지진 발생 횟수는 디지털 관측을 시작한 1999년 이후 증가하는 추세이며(Ministry of the Interior and Safety, 2017), 최근 경주와 포항에서 규모 5를 초과하는 지진이 발생하여 주요 시설물의 피해가 보고된 바 있다(Eem et al., 2018). 2016년에 경주지역에서 연이어 발생한 규모 5.8과 5.1 수준의 지진으로 인하여 71건의 수도관 파열이 보고되었으며(Ministry of Public Safety and Security, 2016), 2017년 포항지역에서 발생한 규모 5.4의 지진으로 상수도관 누수 45건, 상·하수도관 10곳의 손상이 발생하였다(JoongAng Ilbo, 2017). 따라서 국내에서도 지진에 대한 대비와 피해저감기술의 확보가 필요할 것으

로 판단된다.

상수도관은 상수도 공급시스템에 있어 혈관과도 같은 중요한 시설이다. 현재 우리나라는 송배급수 각 과정의 상황과 여건에 따라 다양하고 세분화된 여러 종류의 상수도관을 이용해 각 공정을 성공적으로 수행하고 있다. 국내에서 수도물을 공급하기 시작하던 초창기에는 강철관과 주철관 등이 주로 쓰인 반면 현재는 스테인리스관, PVC(Polyvinyl Chloride)관 등 다양한 재질의 상수도관이 사용되고 있으며 구경도 다양해졌다. 상수도용으로 사용되는 수도관은 제조 원료에 따라 크게 주철관과 PVC관으로 구분할 수 있다. PVC관은 주철관과 비교하여 경제성이 우수하여 1990년대까지 널리 사용되었으나 사용 환경 조건에 따른 파손 및 누수에 대한 우려와 짧은 내구연한으로 유지보수의 어려움이 있었다. 이러한 문제점을 개선한 iPVC재질의 상수도관이 제작되기 시작하였으며, 다양한 시험검증을 통하여 국내외에서 품질을 인정받기 시작하고 있다(Dave et al., 2016). 하지만 오랜 기간 사용되고 개선된 주철관과 달리 시험검증 및 경험 등에 의해 지진의 진동과 지반변형 등에 대한 안전성이 증명된 예를 찾아보기 어렵다.

국내에서는 상수도관의 내진 성능을 확보하기 위해 국민안전처에서 공고한 내진설계기준 공통적용사항(Ministry of the Interior and Safety, 2017)에 기반하여 상수도 시설물의 내진설계기준 개선을 위한 연구를 수행하였으며(Korea Water and Wastewater Association, 2017), 매립 배관의 내진 성능 확보를

<sup>1</sup>정회원, 부산대학교 산학협력단 지진방재연구센터 책임연구원

<sup>2</sup>정회원, 부산대학교 산학협력단 지진방재연구센터 책임연구원

<sup>3</sup>정회원, 부산대학교 산학협력단 지진방재연구센터 수석연구원

<sup>4</sup>정회원, 경희대학교 사회기반시스템공학부 교수

\*Corresponding author: sjchang@pusan.ac.kr

Busandaehak-ro 49, Mulgeum, Yangsan, Kyungnam, 50612, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2020년 3월 31일까지 학회로 보내주시면 2020년 4월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

위한 시험의 예시 및 평가방법을 소개하였으나 시험평가 방법이 명확하게 제시된 것은 아니다. 이와 같이 국내에는 매립 상수도관의 내진 성능 및 내침하 성능을 적절히 평가할 수 있는 시험절차 또는 방법이 명확하게 정립되지 않았으며, 이를 평가하기 위한 성능 기준 또한 미흡한 실정이다. 그러므로 본 연구에서는 iPVC 매립 상수도관의 내진 성능 및 내침하 성능의 평가를 수행하기 위하여 매립 배관 내진 성능 평가와 관련한 선도연구기관인 NEESR과 Cornell대학교에서 수행하였던 시험과 Nobuhiro 등의 연구 내용을 참조하였다(Cornell University, 2009; Cornell University, 2018; Nobuhiro et al., 2017). 따라서 인장시험과 4점 굽힘시험을 통하여 iPVC 매립 상수도관의 인장특성과 이음부의 편향각을 도출하고, 주철관의 내진 및 내침하설계기준인 ISO 16134의 등급분류 방법을 바탕으로 시험결과를 정리하였다(ISO, 2006).

## 2. 지진에 의한 매립 배관의 피해

매립 및 지하 배관은 배관 내부의 유체와 외부의 토양으로부터 기계적, 화학적 손상을 동시에 받으며, 배관 누설의 발생 원인을 파악하기 어렵다. 현재까지 확인된 바에 의하면 지진에 의한 매립 배관의 파손은 지반 변동, 부등 침하, 액상화 및 구조물의 변형에 의한 이차적인 피해 등으로 정리될 수 있다. 매립 배관의 파손은 주로 피팅(fitting)과 이음부(joint)에서 발생하는 것으로 파악되고 있다. 그리고 지하에서 지상 구조물로 연결되는 요소에서 구조물과 지반 거동의 위상차에 의한 상대변위의 영향으로 파손되기도 한다.

대표적인 국외 매립 배관 피해사례는 Table 1과 같다(Park et. al, 200; Korea Water and Wastewater Association, 2017). 1989년 발생한 Loma Prieta 지진으로 4인치와 6인치 직경의 끼워넣기 이음(bell-and-spigot joint) 방식을 취한 주철 수도본관이 심각한 손상을 입었으며, 주거지역의 연결부에서 많은 파열이 있었다. 1994년 미국에서 발생한 Northridge 지진으로 No.1 상수도관 4곳이 손상되었으며, 콘크리트관의 파손이 발생하였다. 1995년 일본의 Kobe 지진의 영향으로 배관의 이음부, 고정부 등이 파손되었고 1,600곳 이상의 누수가 발생하였으며 110만 가구에 대한 급수가 중단되었다. 이로 인하여 화재진압 등에도 큰 영향을 미쳤다(Korea Water Resources Corporation, 2006). 2011년 동일본 대지진으로 인해 많은 배관이 손상되었으며, 배관의 피해는 주로 구조물의 변형 및 파손, 지반의 액상화, 지반과괴 등의 변위지배적인 거동에 의한 것으로 보고되고 있다(M. Miyajima, 2015).

Donald Ballantyne (2013)은 고베 지진으로 발생한 매립된 주철관과 PVC배관의 파손은 피팅(fitting)과 이음부(joint)에

집중되어있는 것으로 보고하였다. M. Miyajima (2015)의 조사에 의하면 동일본 대지진으로 인하여 발생한 매립 배관의 피해는 직경 200 mm이하의 매립 배관에서 집중되고 있는 것으로 확인되었다.

Fig.1은 지진에 의한 대표적인 매립 상수도관의 파손 현상을 나타낸 것이다. 앞서 서술한 바와 같이 지진에 의한 매립 상수도관 파손의 주된 원인은 지진가속도에 의한 관성력보다

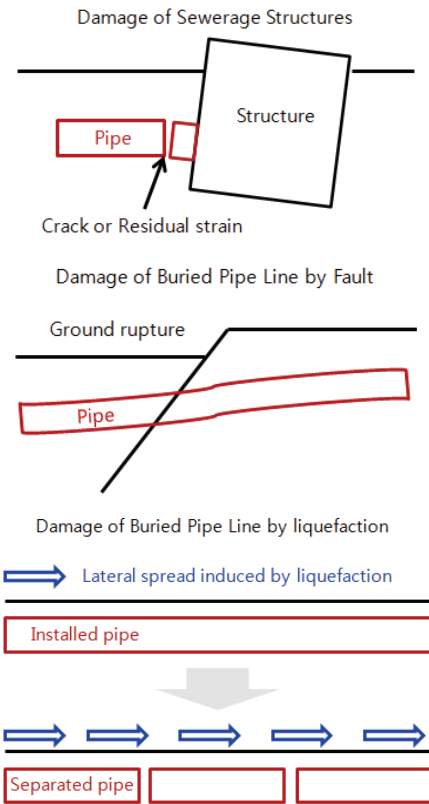


Fig. 1 Damage of buried pipe line by earthquake

Table 1 Examples of buried pipes damaged following earthquakes

Earthquake Name	Year	Magnitude (M)	Buried Pipe Damage
Mexico	1985	8.1	Damage to buried pipe - Components of underground buried pipe to building connection (ex : Tee, joint)
Loma Prieta	1989	7.1	Damage to buried pipe - Water pipe
Northridge	1994	6.7	Damage to buried pipe - Large size water pipe and branch pipe
Kobe	1995	7.2	Damage to buried pipe - Water pipe, - Pipe Joint Pull Out
Tohoku	2011	9.1	Damage to buried pipe - Failure of buried pipe by Fault and liquefaction

지진으로 인한 지하구조물의 파손 및 지반운동으로 인한 변위배적인 거동이며, 주로 200mm 이하의 배관에서 피팅 및 이음부의 분리 또는 손상이다. 따라서 본 논문에서는 배관의 분리 거동을 확인할 수 있는 인장실험과 지반운동으로 발생 가능한 편향각을 확인할 수 있는 4점 굽힘 시험을 수행하였다.

### 3. 내진 성능 및 내침하 성능 평가를 위한 iPVC 매립 상수도관의 구조시험

본 연구에서는 끼워넣기 이음으로 연결된 호칭 150 mm의 iPVC 재질의 매립 상수도관을 대상으로 하여 시험적인 방법으로 내진 성능 및 내침하 성능을 평가하고자 하였다. 2장에서 매립된 상수도관의 주요 파손은 지반 거동에 의한 배관 이음부의 분리 및 손상으로 정의하였다. 따라서 Fig. 2와 같이 끼워넣기 이음으로 연결되고 텍사스 휴스턴의 Star Pipe Products에서 제조한 Gen2 클램프로 축 방향으로 구속된 상수도관에 대하여 인장시험과 4점 굽힘 시험을 수행하였다. 이음부위가 늘어나는 것을 고려하기 위하여 Fig. 2와 같이 양쪽에 12.7 mm 여유를 주어 설치하였다. 모든 시험은 배관 내부에 물을 채우고 550kPa 내부수압을 가압한 후 0.5mm/sec 이하의 충분히 느린 속도로 가력 하였으며, ISO 17025 품질 요건을 만족하는 국제공인 시험인증기관인 명지대학교 하이브리드구조실험센터에서 수행하여 시험결과와 신뢰성을 확보하였다.

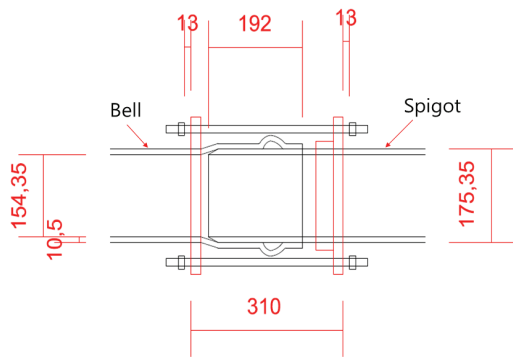


Fig. 2 Description of bell and spigot joint of a 150φ iPVC APPIZ pipe

#### 3.1 인장시험

인장시험에 사용한 액추에이터의 인장 하중은 250 kN이고 최대 변위는 750 mm이다. 액추에이터에 설치되어있는 변위 센서와 하중센서를 이용하여 변위와 하중을 계측하였다. 시험체에 인장하중을 작용시키기 위하여 시험체의 양 끝부분에

세 개의 클램프를 연결하여 배관의 이음 부분보다 큰 하중을 수용할 수 있도록 하여 슬립이 발생하지 않도록 하였다.

배관 이음부의 유동성을 허용하기 위하여 시험을 시작하기 전에 나사 막대의 너트와 구속 고리가 25 mm 이격이 있도록 설치하였다. 인장하중에 의한 축방향 변형을 관찰하기 위하여 strain gauge 4개를 Fig. 3과 같은 위치에 부착하였다. 이음부 고무링을 기준으로 축 방향 -736 mm와 +621 mm의 양측면에 설치하였다. Table 2는 인장시험에 설치된 계측기를 정리한 것이다. 전체적인 변위는 엔추에이터에 내장된 변위계(LVDT)를 이용하여 계측하였다. Fig 3은 시험 사진과 strain gage 설치 위치를 표시한 것이다.

Table 2 Sensor description and location for tension test

Item	Location	Sensor name
Force (load cell)	Actuator	LA
Displacement (LVDT)	Actuator	DA
Strain (strain gauge)	-736 mm from Joint O-ring, front (Bell)	L1
Strain (strain gauge)	-736 mm from Joint O-ring, rear (Bell)	L2
Strain (strain gauge)	+621 mm from Joint O-ring, front (Spigot)	R1
Strain (strain gauge)	+621 mm from Joint O-ring, rear (Spigot)	R2

#### 3.2 인장시험 결과

이음부위가 늘어나는 것을 고려하기 위하여 1인치 여유를 둔 부분이 압력펌프를 이용하여 배관 내부에 압력을 주입함에 따라 25mm의 여유도를 유지하지 못하고 빠져나오는 현상이 발생하였다. 따라서 이음부가 25mm 빠져나온 상태에서 시험을 진행하였다. 액추에이터의 축 방향 변위와 하중을 이용하여 하중-변위 곡선을 그리면 Fig. 4와 같다.

Bell이 있는 배관과 spigot이 있는 배관의 Strain gauge에서 변형률을 계측하였다. bell이 있는 배관과 spigot이 있는 배관에서 계측한 변형률 응답의 평균값은 Fig. 5와 같다. Fig. 5에서 최대하중 116.64 kN에서 bell 배관의 평균 변형률은 7,923  $\mu\epsilon$ 이고, spigot이 있는 배관의 평균 변형률은 8,246  $\mu\epsilon$ 이다.

최대하중 발생 시 Fig. 6과 같은 형상으로 배관이 파손되었다. 파손 위치는 클램프를 설치하여 배관을 고정하는 위치이다. 최대하중은 116.64 kN이고 이때 변위는 74.33 mm이다. 클램프는 볼트를 조여서 배관을 잡아주어 배관이 빠지는 것을 방지하는 구조이다. 따라서 배관을 고정하는 위치가 배관의 취약부가 될 수 있으므로 클램프가 연결되는 위치에 파손이

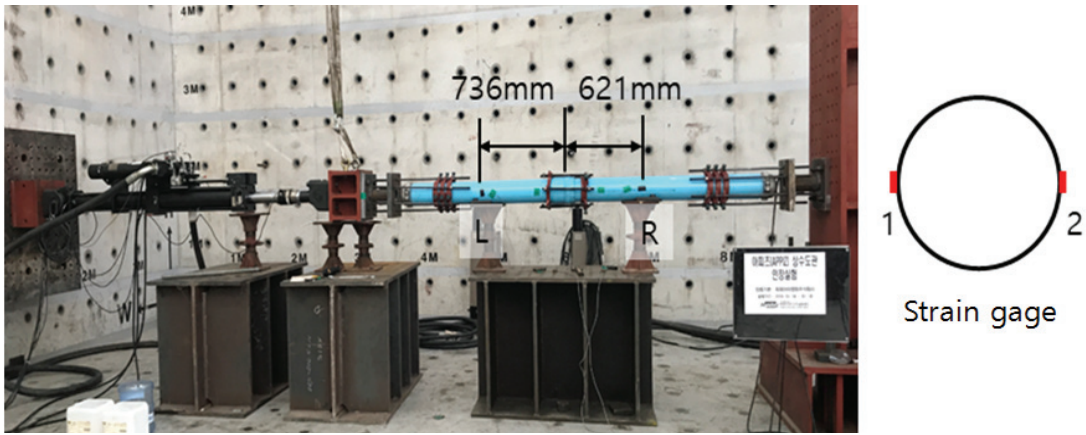


Fig. 3 Test set up photo and strain gage location of tension test

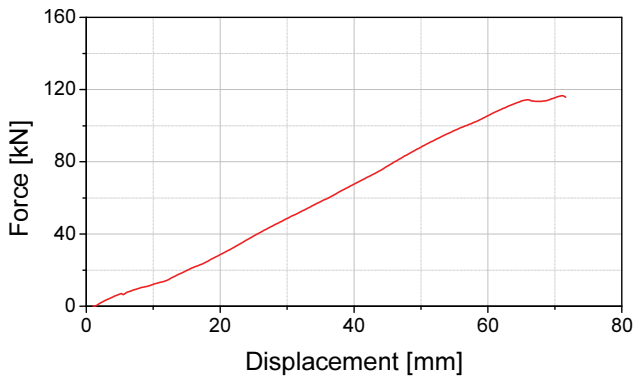


Fig. 4 Force-displacement relationship of tension test

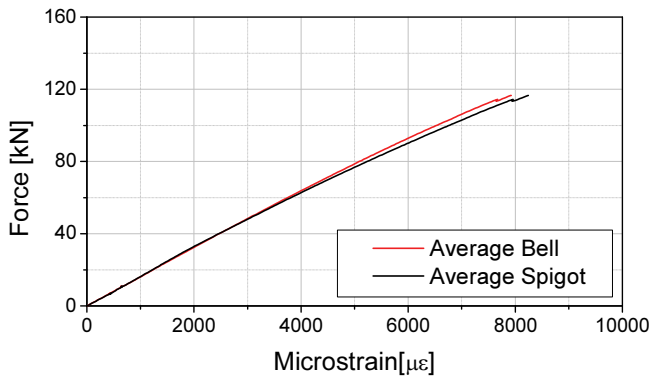


Fig. 5 Strain responses of tension test

발생한 것으로 판단된다.

### 3.3 4점 굽힘 시험

4점 굽힘 시험을 위하여 UTM(Universal Testing Machine)에 시험체를 설치하였다. 변위 및 하중은 UTM에 설치되어 있는 변위계와 하중센서를 이용하여 계측하였다. 시험체의 설

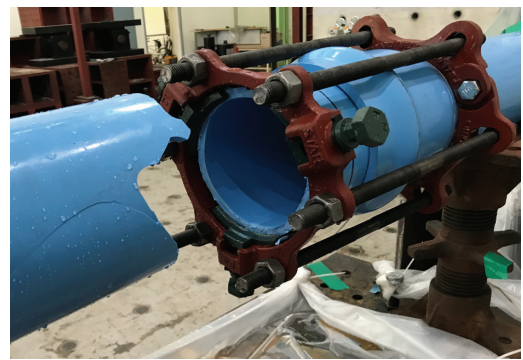


Fig. 6 Failure of test specimen by tension test

치 사진과 센서의 설치 위치는 Fig. 7 및 Table 3과 같으며, 인장시험과 동일하게 끼워넣기 이음에 있는 배관을 연결하였다. 4점 굽힘 시험에 사용한 UTM의 최대용량은 5,000 kN이며 최대 변위는 500 mm이다. 4점 굽힘 시험을 수행하기 위하여 중앙의 고무링이 설치된 위치를 기준으로 좌우로 2,286 mm 떨어진 위치에 지점을 형성하였다. 또한, 좌우로 762 mm 떨어진 위치에서 수직방향으로 배관을 눌러줄 수 있도록 가력조건을 설계하였으며, 자중에 의한 처짐이 발생하지 않도록 변위 제어 위치에 체인을 이용하여 배관을 고정하였다. 모든 지점은 회전과 이동이 가능하도록 구성하였으며, 국부 변형의 발생을 방지하기 위하여 배관을 보호하는 지그를 적용하였다. Table 3은 설치된 계측기를 정리한 것이다. 가력 변위는 UTM에 내장된 변위계를 이용하여 계측하였으며, 축 방향의 변형률은 strain gauge를 이용하였다. 수직 방향 변위는 DIC(Digital Image Processing) 기법을 이용하여 계측하였다 (Kim et al., 2019).

### 3.4 4점 굽힘 시험 결과

Fig. 8은 는 하중-변위 곡선을 나타내고 있으며, UTM의 최



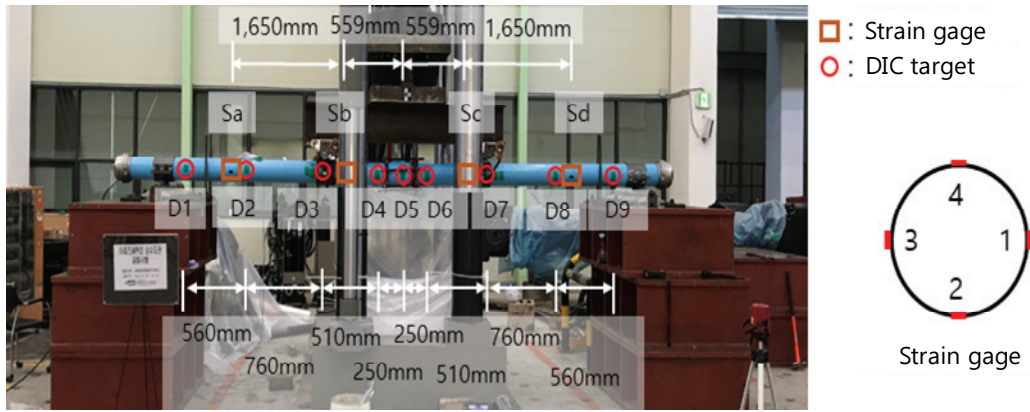


Fig. 7 Test set up photo and sensor location of 4 point bending test

Table 3 Sensor description and location for 4 point bending test

Item	Location	Sensor name
Force (load cell)	Actuator	LA
Disp. (LVDT)	Actuator	DA
Disp. (DIC)	-2,080 mm from center	D1
	-1,520 mm from center	D2
	-760 mm from center	D3
	-250 mm from center	D4
	Center of specimen	D5
	+250 mm from center	D6
	+760 mm from center	D7
	+1,520 mm from center	D8
	+2,080 mm from center	D9
Strain (strain gauge)	-1,650 mm from Joint O-ring, rear(Bell)	Sa1
	-1,650 mm from Joint O-ring, bottom(Bell)	Sa2
	-1,650 mm from Joint O-ring, front(Bell)	Sa3
	-1,650 mm from Joint O-ring, top(Bell)	Sa4
Strain (strain gauge)	-559 mm from Joint O-ring, rear(Bell)	Sb1
	-559 mm from Joint O-ring, bottom(Bell)	Sb2
	-559 mm from Joint O-ring, front(Bell)	Sb3
	-559 mm from Joint O-ring, top(Bell)	Sb4
	+559 mm from Joint O-ring, rear(Spigot)	Sc1
	+559 mm from Joint O-ring, bottom(Spigot)	Sc2
	+559 mm from Joint O-ring, front(Spigot)	Sc3
	+559 mm from Joint O-ring, top(Spigot)	Sc4
	+1,650 mm from Joint O-ring, rear(Spigot)	Sd1
	+1,650 mm from Joint O-ring, bottom(Spigot)	Sd2
	+1,650 mm from Joint O-ring, front(Spigot)	Sd3
	+1,650 mm from Joint O-ring, top(Spigot)	Sd4

대변위를 고려하여 최대 450mm 까지 수직변위를 가력 하였으며, 이때의 하중은 9.8kN이다. Fig. 9는 배관의 수직변위에 따른 형상 변화를 나타낸 것으로서 중립축을 중심으로 좌우가 대칭인 것을 확인 할 수 있다. Fig. 10은 배관의 하면에 설치된 strain gauge에서 측정한 변형률응답을 수직변위에 따라서 정리한 것이다. Fig. 10 에서 확인할 수 있듯이 수직변위가 커질수록 변형률응답이 커지며, 중립축의 좌우가 대칭인 것을 확인할 수 있다. Fig. 11은 굽힘 시험에 대한 모멘트-편향각 곡선을 나타낸 것이다. 4점모멘트는 수직하중과 하중작용점까지의 거리(1,524 mm)로부터 도출하였다. 편향각은 Fig. 12와 같이 양쪽 지점과 수직하중 작용점을 이은 선이 만나는 각도로 하였다. Fig. 11에서 확인할 수 있듯이 450mm 변위 발생 시 7.31 kN-m의 모멘트가 작용한다. 시험장비의 한계로 인하여 450 mm 까지 가력 하였으며, 최대 수직가력변위에서 시험체의 누수 또는 파손은 관찰되지 않았다. 편향각은 최대 가력 변위인 450 mm 수직변위 발생 시에 도출하였다. Fig. 12와 같이 하중점을 기준으로 편향각을 도출하면 32.9°이며, 중앙부의 처짐이 552.7 mm이므로 Fig. 13과 같이 하중점과 이음부를 기준으로 편향각을 도출하면 27.18°이다.

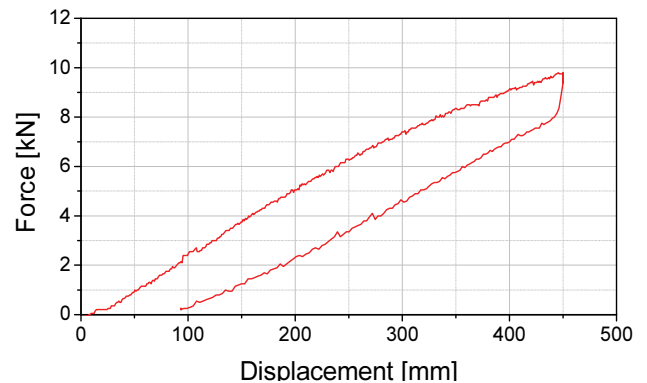


Fig. 8 Force-displacement relationship of 4 point bending test

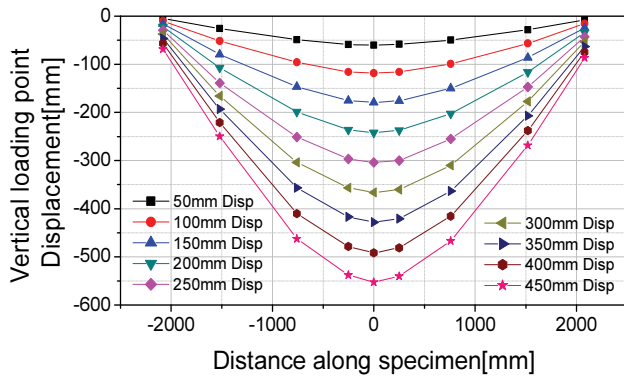


Fig. 9 Vertical loading point displacement of 4 point bending test

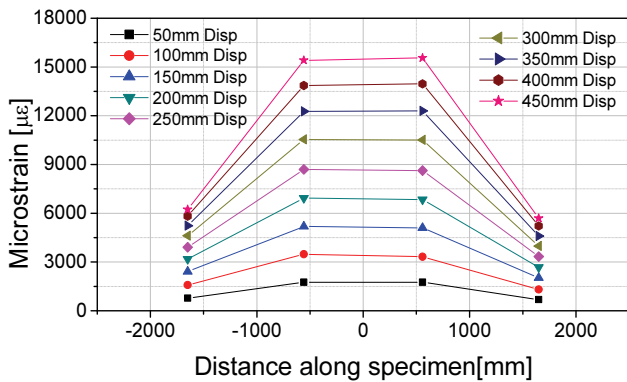


Fig. 10 Maximum strain responses of 4 point bending test (bottom strain gages)

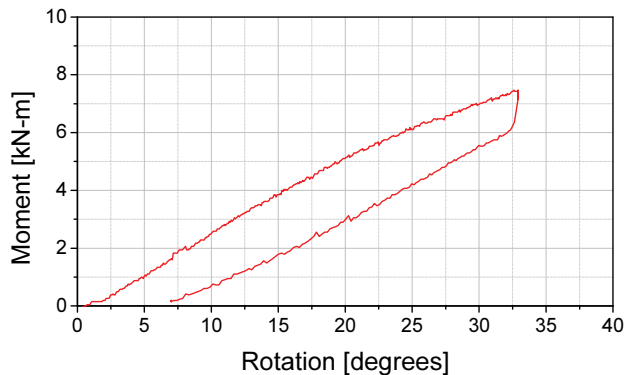


Fig. 11 Moment-rotation relationship of 4 point bending test

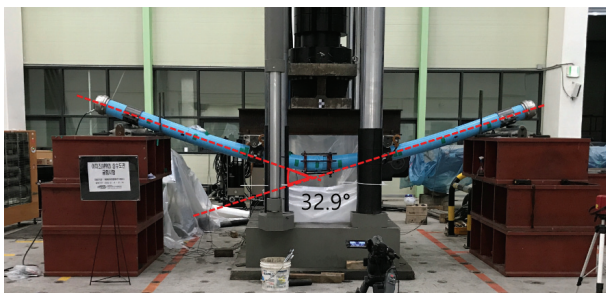


Fig. 12 Maximum rotation angle based on loading points

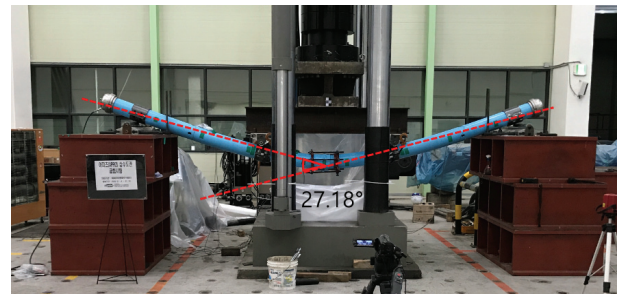


Fig. 13 Maximum rotation angle based on joint center

### 3.5 소결

본 연구에서는 클램프로 고정된 끼워넣기 이음을 가지는 iPVC 재질의 매립 상수도관에 대하여 인장시험과 4점 굽힘 시험을 수행하였으며 시험 중 하중, 변위, 변형률 등의 시험체의 거동을 관찰하였다. 그 결과, iPVC 매립 상수도관은 인장 시험에서 이음부를 결속하는 클램프가 연결된 관의 몸통에서 파손이 발생하였으며, 4점 굽힘 시험에서는 시험장비의 한계로 인하여 파손을 확인하지 못하였다. iPVC 배관은 모든 시험에서 이음부 뿐만 아니라 관 몸통에서도 변형률이 크게 증가하였으며, 특히 4점 굽힘 시험의 경우 Fig. 12, Fig. 13과 같이 관 몸통의 변형이 육안으로 확인 가능할 정도로 크게 발생하였다. 국외에서 수행되어진 지진분리이음으로 연결된 주철 상수도관의 4점 굽힘 시험 결과는 본 시험의 결과와 달리 관의 변형은 미미하며 이음부에서 변형 및 편향각이 발생하고 파손이 발생하였다(Cornell University, 2017; Keita et al. 2017). 주철과 비교하여 비교적 유연한 재료인 iPVC로 제작한 시험체는 이음부와 관 자체의 유연성에 의하여 뛰어난 변위 순응력을 발휘할 수 있는 것으로 사료된다.

## 4. ISO 16134에 의한 iPVC 매립 상수도관의 내진 성능 및 내침하 성능평가

본 연구에서는 클램프로 고정된 끼워넣기 이음으로 연결된 iPVC 매립 상수도관의 내진 성능 및 내침하 성능을 평가하고자 하였다. 하지만 국내에는 이음으로 연결된 매립 상수도관의 내진 성능 및 내침하 성능을 평가할 수 있는 기준이 별도로 존재하지 않으므로 주철관의 내진 설계를 위해 제시된 국제 기준인 ISO 16134을 참조하였다. Table 4는 ISO 16134의 배관 구성품에 대한 성능 기준이다. 본 연구에서는 iPVC 매립 상수도관의 팽창 성능, 이음부 편향각에 대한 성능을 구조시험을 통하여 확인하였다. 여기서 L은 관의 길이이다.

**Table 4** Basic earthquake- and subsidence- resistance check criteria (ISO 16134)

Parameter	class	Component performance
Expansion / contraction performance	S-1	±1 % of L or more
	S-1	±0.5 % to less than ±1 % of L
	S-1	Less than ±0.5 % of L
Joint deflection angle	M-1	±15° or more
	M-2	±7.5° to 15°
	M-3	Less than ±7.5°

**Table 5** Performance evaluation of iPVC buried water pipe

Parameter	Criteria of ISO 16134		Test results of iPVC pipe		
	Class	Component Performance (P)	Test results (R)	R / P	
Expansion performance	S-1	±1 % of L or more	2.49 %	2.49	
Joint deflection angle	M-1	±15° or more	Loading points base	32.9°	2.19
			Joint center base	27.18°	1.81

Table 5는 iPVC 매립상수도관의 성능등급을 ISO 16134에 따라 분류한 것이다. 팽창과 이음부 편향각은 각각 ISO 16134 내진 성능 및 내침하 성능분류에서 최고수준의 등급인 S-1과, M-1 등급에 해당함을 확인하였다. 이음부 편향각은 하중점 기준 편향각과 하중점과 이음부를 기준으로한 편향각 모두 M-1 등급에 해당하였다.

## 5. 요약 및 결론

문헌조사 및 피해사례조사 결과, 지진에 의한 매립 상수도관의 파손은 액상화, 단층 및 지하구조물의 이동 등의 영향으로 길이 방향 또는 길이 직각 방향으로 발생하는 상대변위에 의해 발생한다. 이때, 매립 상수도관의 주된 파손은 배관 이음부에 집중되며 특히 직경 200mm 이하 배관이 위험한 것으로 조사되었다. 따라서 본 연구에서는 호칭 150mm의 클램프로 고정된 끼워넣기 이음을 가지는 iPVC 재질의 매립 상수도관에 대하여 인장시험과 4점 굽힘 시험을 수행하고 내진 성능 및 내침하 성능을 ISO 16134 규격을 참조하여 평가 하였다. 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 클램프로 고정된 끼워넣기 이음을 가지는 iPVC 배관은 시험체 길이의 2.49 % 늘어날 수 있으므로 길이 방향의

변위에 대하여 우수한 성능을 가진다. ISO 16134 규격의 인장 최고수준 대비 2.49배의 성능이 시험을 통하여 확인되었다.

- 2) 4점 굽힘 시험 결과 iPVC 배관은 27.18° 이상 편향각을 발생시킬 수 있음을 확인하였다. 시험장비의 최대변위까지 시험을 수행하였으나, 장비의 한계로 인하여 파손 및 누수를 확인하지 못하였다. 하중점과 이음부 기준의 이음부 편향각 27.18° 는 ISO 16134 규격의 최대 허용 편향각과 비교하여 1.81배의 성능이다.
- 3) 비교적 유연한 플라스틱 재질인 iPVC 배관은 작용되는 외력에 의해 관 몸통에서 변형률이 크게 발생한다. 인장 시험에서는 관 몸통이 파괴되며, 4점 굽힘 시험에서는 관 몸통이 휘어지는 것을 계측된 strain gage의 변형률 값과 육안으로 확인하였다.
- 3) 본 연구에서는 iPVC 매립 상수도관의 내진 및 내침하 성능을 평가하기 위하여 주철관의 내진 설계를 위해 제시된 국제기준인 ISO 16134을 참조하였다. 주철관은 관의 변형이 미미하며 이음에서 손상이 발생하므로 본 시험 결과와 직접 비교하는 것은 곤란할 수 있다. 따라서 유연한 재질의 관에 대한 적절한 내진 성능 평가를 위하여 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.
- 4) 본 연구 결과는 iPVC 매립 상수도관의 정교한 해석모델 작성에 사용될 수 있으며 지반-배관 상호작용을 고려한 지진응답해석으로 매립 상수도관의 내진 성능 평가에 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

## 감사의 글

본 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비지원(과제번호 20CTAP-B132921-04)에 의해 수행되었습니다. 시험 시료(iPVC 배관)를 제공해주신 PPI평화에 감사드립니다.

## References

1. Discovering Future World Events Through Scripture, Significant Earthquakes 5.0+ since the Richter scale was developed in 1935: [http://trackingbibleprophecy.org/birthpangs\\_earthquakes.php](http://trackingbibleprophecy.org/birthpangs_earthquakes.php).
2. Ministry of the Interior and Safety. (2017), Pohang Earthquake White Paper.
3. Eem, S. H., Yang, B., & Jeon, H. (2018), Earthquake Damage Assessment of Buildings Using Opendata in the Pohang and the Gyeongju Earthquakes. Journal of the Earthquake Engineering

- Society of Korea, 22(3), 121-128.
4. Ministry of Public Safety and Security. (2019), Report of 9.12 Earthquake Occurrence and Response, Central Disaster and Safety Countermeasures Headquarters.
  5. JoongAng Ilbo. (2017), Pohang Earthquake, 80 people casualties, 9,560 cases of damage to facilities: <https://news.joins.com/article/22133798>.
  6. Dave H., Chandan V., Agnes H. J. L., Ameya B. P., (2016) Development, Evaluation, and Installation of a New Improved PVC (iPVC) Pipe for Water Applications, Kansas City.
  7. Ministry of the Interior and Safety. (2017), Common Application of Seismic Design Criteria.
  8. Korea Water and Wastewater Association. (2017), A Fundamental Study on the Improvement of Seismic Design Criteria for Major Water and Sewage, Ministry of Environment.
  9. Park D. S., Ha I. S., Lim J. Y. and Jung W. S. (2006) Case Report on Earthquake Damage of Waterworks, K-Water.
  10. Cornell University. (2009), NEESR-SG Final Report, Rensselaer Polytechnic Institute and The Sciencenter Discovery Center.
  11. Berger B. A., Wham B. P., O'Rourke T. D., Stewart H. E., (2018), Direct Tension and Cyclic Testing of JFE SPF Wave Feature, School of Civil and Environmental Engineering, Cornell University, Hollister Hall, Ithca, NY 14853.
  12. Nobuhiro H., Hayato N., Brad P. W., and Thomas D. O'R. (2017), Performance Test of Steel Pipe for Crossing Fault in United States, The 10th JWWA/WRF/CTWWA Water System Seismic Conference, Taiwan.
  13. ISO 16134. (2006), Earthquake- and subsidence-resistant design of ductile iron pipelines
  14. Korea Water Resources Corporation. (2006), Report on Earthquake Damage of Waterworks.
  15. Masakatsu M. (2015), Damage Analysis of Water Supply Facilities in the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami, Sixth China-Japan-US Trilateral Symposium on Lifeline Earthquake Engineering, Chengdu, China.
  16. Donald B. (2013), Understanding the Seismic Vulnerability of Water Systems.
  17. Kim, S.W., Choi, H.S., Jeon, B.G., Hahm, D.G. (2019), Low-cycle fatigue behaviors of the elbow in a nuclear power plant piping system using the moment and deformation angle, Engineering Failure Analysis, 96, 348-361.
  18. Pariya-Ekkasut C., Berger B.A., Wham B. P., Stewart H. E., O'Rourke T.D. and Bond T.K. , (2017), Four-Point Bending Testing of 6-in. (150-mm), 12-in. (300-mm), and 16-in. (400-mm)-Diameter Kubota Earthquake Resistant Ductile Iron Pipes, School of Civil and Environmental Engineering, Cornell University, Hollister Hall, Ithca, NY 14853.
  19. Keita O., Shozo K., Masakatsu M. (2017), Verification of Design Method of Pipeline Crossing Fault with Earthquake Resistant Ductile Iron Pipe using Large-scale Split-box Test, The 10th JWWA/WRF/CTWWA Water System Seismic Conference, Tainan, Taiwan.

Received : 09/02/2019

Revised : 09/25/2019

Accepted : 12/23/2019

---

**요 지** : 우리나라의 연평균 지진발생 횟수는 꾸준히 증가하는 추세이다. 최근경주와 포항에서 규모 5를 초과하는 지진이 발생하여 상수도관의 피해가 다수 보고된 바 있다. 따라서 국내에서도 상수도관의 지진에 대한 대비가 필요 할 것으로 판단된다. 상수도관은 상수도 공급시스템에 있어 혈관과도 같은 중요한 시설로서 다양한 규격과 재질의 배관으로 구성된다. 그러므로 지진에 의한 상수도관의 손상은 식수공급, 화재진압 등의 문제를 일으키게 되며, 인명 및 재산피해를 유발하게 된다. 하지만 국내에서는 시험 검증 및 경험에 의해 매립상수도관의 내진 성능이 평가된 예를 찾아보기 어렵다. 지진에 의한 상수도관의 손상은 액상화와 단층과 같은 지반의 변위지배적인 거동으로 인하여 발생한다. 지진에 의한 상수도관의 주된 파손은 배관 이음부에 집중되며 특히 직경 200mm 이하 배관이 위험한 것으로 조사되었다. 따라서 본 연구에서는 호칭 150mm의 클램프로 고정된 이음을 가지는 iPVC 매립 상수도관에 대하여 시험적인 접근으로 내진 성능 및 내침하 성능을 평가 하였다.

**핵심용어** : 매립 상수도관, iPVC 배관, 내진 성능평가, 내침하 성능 평가

---