

고강도 수도용 PVC관의 성능평가 연구

Evaluation Method of Plastic Pipe for High-Strength Water Supply

박종일(Jong-II Park)^{1†}, 이창석(Chang Suck Lee)²

¹동의대학교 건축공학과, ²PPI평화 기술연구소

¹Department of Architecture Engineering, Dong-Eui University, Busan, 47340, Korea

²R&D Center PPI Pyungwha, 1085-11, Beodlero, Jangan-myeon, Hwaseong-si Gyeonggi-do, 18510, Korea

(Received August 30, 2017; revision received September 18, 2017; Accepted: September 25, 2017)

Abstract High-strength plastic water supply pipe evaluation method was evaluated in this study. Up to date, high strength water supply pipes that we install are mostly ductile cast iron pipes. Sometimes, a few PVC pipes are installed. Metal pipes have rust problem on the surface, causing serious damage to metal pipes and reducing the expected life span of water piping system. Nowadays, depending on technology development, some companies have improved properties of general PVC pipe performance with remarkable properties that exceed KS and ASTM standard. Here, we suggest a new method of performance evaluation for high-strength water plastic pipes.

Key words Polyvinyl chloride pipe(PVC 파이프), High-strength water supply pipe(고강도수도관), Long term hydrostatic pressure test(장기 내수압 시험), Impact resistance(외부충격 시험)

† Corresponding author, E-mail: jipark@deu.ac.kr

기호설명

AWWA : 미국재료시험협회(American water works association)
ASTM : 미국수도협회(American society for test materials)
HIVP : 내충격관(High impact vinyl pressure)
DIN : 독일 공업 규격(Deutsche industrie normen)
ISO : 국제 표준화 기구(International standardization organization)
LPL : 최소 예측 기준(Lower prediction limit)
LTHS : 장기 내수압 평가 시험(Long term hydrostatic

pressure test)
Pa : 압력단위 파스칼(Pascal)
PVC : 폴리염화비닐(Polyvinyl chloride)
PVC-C : Chlorinated polyvinyl chloride
PVC-M : Modified polyvinyl chloride
PVC-O : Oriented polyvinyl chloride
PVC-U : Unplasticized polyvinyl chloride
TIR : 참 충격율(True impact)
TS : 본드 접합 이음관(Taper size pipe)
VP : 압력관(Vinyl pressure)

1. 서 론

상수도관의 배관재료는 금속관과 비금속관으로 구분되며, 과거에는 금속관의 사용비율이 높았으나, 최근 비금속관의 활용도가 증가하고 있다. 기존에 설치된 주철관 등의 금속관은 높은 강도를 지니고 있으나 관 부식 등으로 인하여 관의 내구성 저하 및 수질악화 등의 문제점을 가지고 있다. PVC 등의 비금속관은 인장강도, 내부식성 등의 장점으로 하수도관 및 소구경 상수도관에서 주로 사용되고 있으나, 금속관에 비해 강도가 약하다는 이유로 높은 수압이 가해지는 대구경 상수도관에는 적용이 제한적 이었다. 최근 내충격 보강재 등을 추가한 신소재가 개발되어 기존 PVC 소재에 비해 충격강도가 향상됨으로써 송수관과 이형관에도 고강도 PVC 소재를 활용하기 시작하고 있으나 금속재질에 비해 신뢰성 있는 데이터가 부족하여 상수관적용에 한계가 있다.⁽¹⁾ 따라서 본 연구는 고강도 상수도관을 대상으로 성능평가를 진행하여 상수도관으로의 적용성을 제시하고자 한다.

2.1 KS 표준규격

수도용 경질 폴리염화비닐관은 경질 폴리염화비닐관(VP, IWVP)과 내충격 경질 폴리염화비닐관(HIVP)으로 나뉜다. 관의 내·외면은 매끈하며, 사용상 해로운 흠, 갈라짐, 가로줄 및 비틀림 등의 결점이 없어야 하며 관은 일직선으로 되어 있고, 또한 실용적인 정원으로 그 양 끝면은 관측에 대하여 직각이어야 한다. 관의 끝부분은 슬리브 가공하여 접착형(TS관) 및 고무링형(편수 칼라관)의 소켓으로 성형하며, 필요에 따라 삽입관 끝을 모떼기 한다. 관의 시험은 KS M 3401에 제시된 인장 항복 강도 시험, 편평 시험, 내충격 시험, 비카트 연화 온도 시험, 열간 내압 크리프 시험, 불투명성 시험, 외부 충격 내구성 시험(회전법), 종축 복귀성 시험, 파괴 인성 시험을 실시하며 PVC 파이프의 종류와 그 성능은 다음 Table 1, Table 2와 같다.

2.2 국외 표준규격

2.2.1 미국 ASTM D1784

ASTM에서는 PVC 화합물별 11가지의 종류에 대하여 외부충격저항성, 인장강도, 탄성계수, 온도저항성성능을 제시하고 있으며 각각의 물성에 대하여 해당되는 특성을 표시하도록 되어있으며 그 내용은 Table 3에 제시하였다.^(2, 3)

Table 1 Requirement for plastic water pipe

characteristic	Requirement	Pipe classification symbol
Tensile strength	At 23°C tensile strength < 45 MPa	VP
	At 23°C tensile strength < 43 MPa	HIVP
Flattering test	No crack, burst and cavity	VP, HIVP
Impact resistance	No failure during test	HIVP
Vicat softening temperature	76°C	VP, HIVP
	80°C	IWVP
Thermal cycling creep test	No crack and burst	VP, HIVP, IWVP
Opacity	Visible ray transmissivity 0.2% <	VP, IWVP
Outside impact strength	At 0°C TIR 10% <	IWVP

Table 2 Types of PVC pipes

Types	PVC-U	PVC-C	PVC-M	PVC-O
Designation	Unplasticized polyvinyl chloride	Cholorinated polyvinyl chloride	Modified polyvinyl chloride	Oriented polyvinyl chloride
Standards	KS M 3401 ASTM D1785	KS M 3414 ASTM D2846	AS/NZS 4765	AWWA C909
Application	Potable water	Hot- and cold-water distribution	Pressure water	Water, Wastewater, Reclaimed water

Table 3 PVC pipe class requirement

No.	Property and Unit	Cell Limits												
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	Base resin	un-specified	poly (vinylchloridehomo-polymer)	Chlorinated poly (vinylchloride)	vinyl co-polymer									
2	Impact resistance (min : J/m of notch)	un-specified	< 34.7	34.7	80.1	266.9	533.8	800.7						
3	Tensile strength (min : MPa)	un-specified	< 34.5	34.5	41.4	48.3	55.2							
4	Modulus of elasticity in tension (min : MPa)	un-specified	< 1930	1930	2206	2482	2758	3034						
5	Deflection temperature under load (min : 1.82 MPa°C)	un-specified	< 55	55	60	70	80	90	100	110	120	130		
	Flammability	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A

2.2.2 미국 AWWA

배수, 송수 목적으로 사용되는 PVC 압력관에 대한 미국수도협회에서는, 관경 및 관 두께 따른 기준과 압력 테스트를 통한 내압 요구조건을 제시하고 있으며 그 내용은 Table 4와 같다.⁽⁴⁾

2.2.3 독일 DIN 8062

PVC관에 대한 기준을 설명하는 독일공업규격으로, 직경 및 관 두께별 허용오차와 온도별, 사용연도별 허용압력에 대해 제시하고 있으며 그 내용은 Table 5와 같다.⁽⁶⁾

Table 4 PVC pipe pressure condition(kPa)

DR	Pressure class	Sustained-test pressure	Burst-test pressure	Hydrostatic-Test Pressure
25	1,140	2,420	3,690	2,280
18	1,620	3,450	5,210	3,240
14	2,100	4,490	6,800	4,210

Table 5 PVC pipe condition for temperature, years of service and diameter 54

Temperature ℃	Years of service	Pipe series S									
		63	25	20	16.7	12.5	10	8	6,3	5	4
		Standard dimension ratio									
		127	51	41	34,4	26	21	17	13,6	11	9
		Allowable working pressure a bar									
10	5	2, 1	5, 2	6, 5	7, 8	10, 4	13, 0	16, 3	20, 9	26, 0	32, 8
	10	2, 0	5, 1	6, 4	7, 6	10, 2	12, 7	15, 9	20, 4	25, 4	32, 0
	25	2, 0	4, 9	6, 2	7, 4	9, 9	12, 3	15, 4	19, 7	24, 6	30, 9
	50	1, 9	4, 8	6, 0	7, 2	9, 6	12, 0	15, 1	19, 3	24, 0	30, 2
	100	1, 9	4, 7	5, 9	7, 1	9, 4	11, 8	14, 7	18, 8	23, 5	29, 5
20	5	1, 7	4, 4	5, 5	6, 6	8, 8	11, 0	13, 7	17, 5	21, 9	27, 5
	10	1, 7	4, 3	5, 3	6, 4	8, 5	10, 7	13, 4	17, 1	21, 3	26, 8
	25	1, 6	4, 1	5, 1	6, 2	8, 2	10, 3	12, 9	16, 4	20, 5	25, 8
	50	1, 6	4, 0	5, 0	6, 0	8, 0	10, 0	12, 5	16, 0	20, 0	25, 0
	100	1, 5	3, 9	4, 9	5, 8	7, 8	9, 7	12, 2	15, 6	19, 4	24, 4
30	5	1, 4	3, 5	4, 4	5, 3	7, 1	8, 8	11, 1	14, 1	17, 6	22, 2
	10	1, 4	3, 4	4, 3	5, 1	6, 8	8, 6	10, 7	13, 7	17, 1	21, 5
	25	1, 3	3, 3	4, 1	4, 9	6, 6	8, 2	10, 3	13, 2	16, 4	20, 7
	50	1, 3	3, 2	4, 0	4, 8	6, 4	8, 0	10, 0	12, 7	15, 9	20, 0
40	5	1, 1	2, 7	3, 4	4, 1	5, 4	6, 8	8, 5	10, 8	13, 5	17, 0
	10	1, 0	2, 6	3, 3	3, 9	5, 2	6, 5	8, 2	10, 4	13, 0	16, 4
	25	1, 0	2, 5	3, 1	3, 7	5, 0	6, 2	7, 8	9, 9	12, 4	15, 6
	50		2, 4	3, 0	3, 6	4, 8	6, 0	7, 5	9, 6	12, 0	15, 1
50	5		1, 9	2, 4	2, 9	3, 8	4, 8	6, 0	7, 6	9, 5	12, 0
	10		1, 8	2, 3	2, 7	3, 6	4, 6	5, 7	7, 3	9, 1	11, 5
	25		1, 7	2, 2	2, 6	3, 5	4, 3	5, 4	6, 9	8, 6	10, 9
60	5		1, 2	1, 5	1, 8	2, 4	3, 0	3, 8	4, 8	6, 0	7, 5
	10		1, 1	1, 4	1, 7	2, 3	2, 8	3, 6	4, 5	5, 7	7, 1
	25		1, 1	1, 3	1, 6	2, 1	2, 6	3, 3	4, 2	5, 3	6, 6

3. 성능평가방법과 결과

3.1 장기내수압 평가시험

장기내수압 평가시험은 관 내에 일정한 압력을 장기간 가할 경우 관의 변화 등을 확인하여 관의 수명을 예측하는 평가기법이다. ISO 1167에서 제시한 기준에는 시험편은 공칭 바깥지름 250~315 mm인 관은 최소한 바깥지름 3배 이상의 길이, 공칭 바깥지름 315 mm 이상은 길이 1,000 mm 이상으로 한다. 시험 절차는 ISO 3126의 기준에 의해 온도, 압력, 시간 조정 등을 실시한다. 새로 개발된 고강도 수도용 PVC관에 대하여 ISO 1167-1⁽⁶⁾에서 제시한 50년 기준압력(25 MPa)과 100년 기준압력(24.32 MPa)에 대하여 시험결과를 바탕으로 한 예측결과, 최소예측기준(LPL)은 50년 기준 25.55 MPa, 100년 기준 24.76 MPa로 내수압에 대한 100년 수명을 검증하였다.⁽⁷⁾

3.2 외부충격 시험

파이프에 가해지는 외부충격에 대한 안정성을 확인하기 위한 시험으로서 미국의 ASTM D1785 및 AWWA C900 기준에 따라 낙추충격실험을 진행하였으나 고강도 상수도관은 파손이 일어나지 않았다. 미국 기준보다 2배 이상의 무게인 195 ft/lbs(26 m/kg), 끝이 뾰족한 TUP A형의 추를 규격 외로 제작하여 시험 결과 관에 아무런 손상이 없었으며, 이를 통하여 급격한 외부 충격에 대한 안전성을 확인하였다.⁽⁸⁾

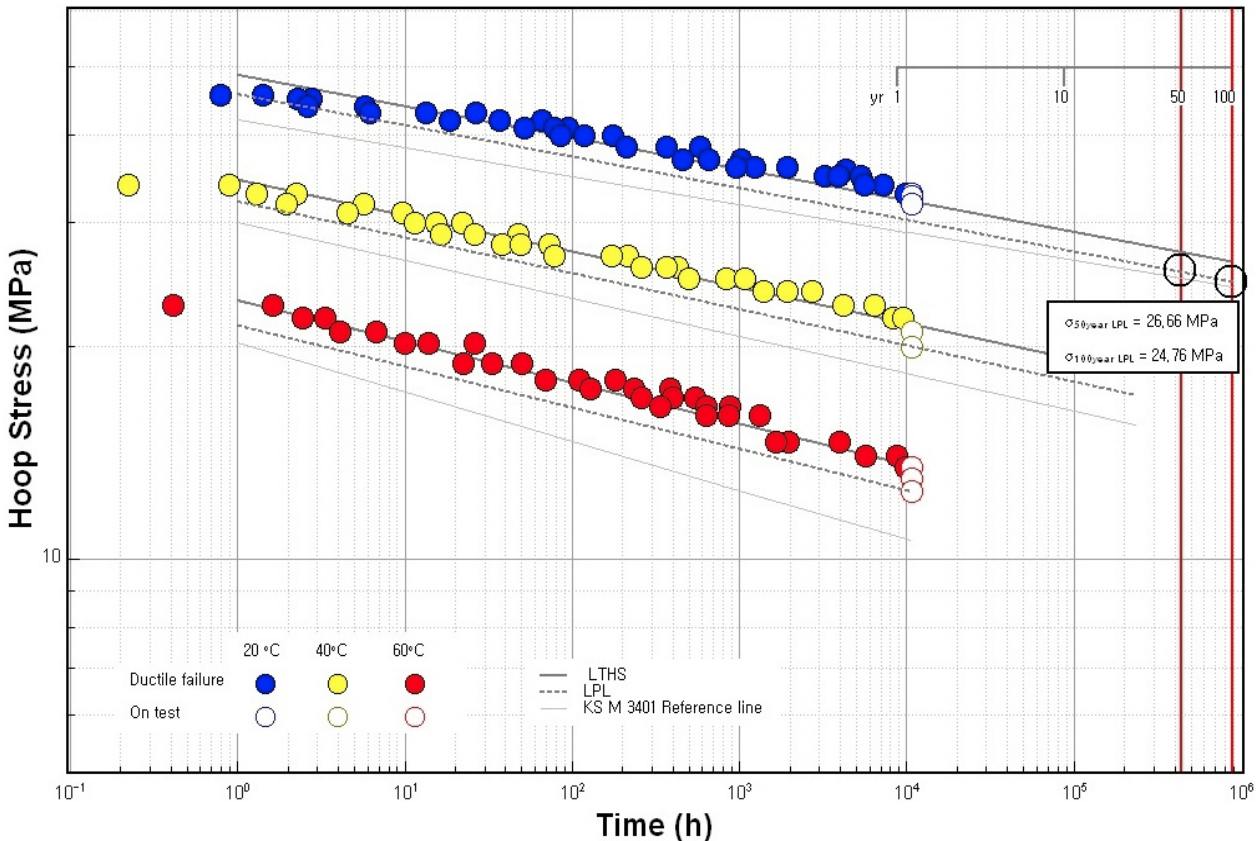


Fig. 1 100 years prediction test of high strength water pipe.

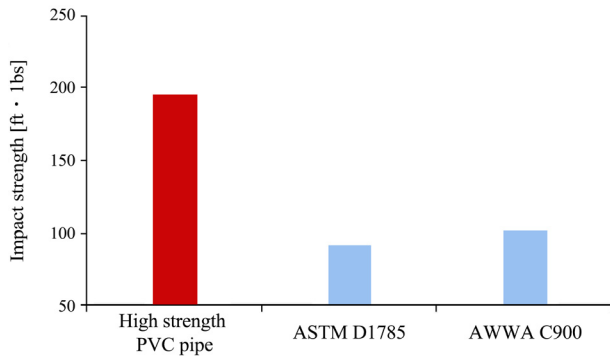


Fig. 2 Result of drop impact test.

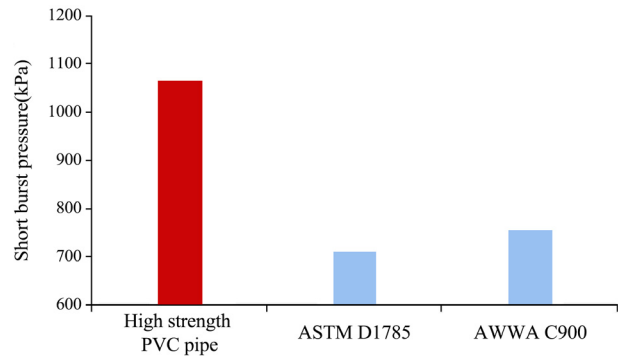


Fig. 3 Result of outside impact strength.

3.3 순간파괴압력 시험

토양 및 차량통행에 따른 외부하중의 영향을 확인하기 위하여 파괴압력시험을 수행하였다.⁽⁹⁾ 미국의 표준 규격인 ASTM D1785, AWWA C900에서 제시한 파괴압력강도 기준과 고강도 상수도관의 파괴압력시험을 한 결과, 고강도 상수도관의 파괴압력강도는 1,065 kPa로 미국 기준인 710 kPa, 755 kPa에 비해 40% 이상 강한 압력에도 파괴되지 않는 것으로 확인되었다.

4. 결 론

새로 개발된 고강도 수도관은 ISO 1167-1에서 제시한 기준에 의하여 장기 내 수압평가 결과 100년 수명을 확인 하였으며 외부 충격 시험은 ASTM, AWWA 기준대비 2배 이상의 안전성, 순간 파괴압 시험은 약 1.5배의 성능을 확인하였다. 이는 PVC 수도관의 문제점을 해결하고 또한 수명과 현재 사용빈도가 가장 많은 철제 수도관 보다 성능이 우수한 것으로 평가 되었다. 또한 국내에서는 아직 고강도 수도관의 성능 기준이 제시되고 있지 않고 있다. 따라서 국내에서는 고강도 수도관의 품질 기준을 제정하고 우수한 품질의 고강도 수도관의 적용에 의한 국가 경쟁력 향상을 가하여야 한다.

후 기

본 논문은 2017년도 동의대학교 연구년 수행에 의한 논문임.

References

- Alexandre, K. S., Covas, D. I., and Reis, L. F., 2008, Analysis of PVC Pipe-Wall Viscoelasticity during Water Hammer, Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 134, No. 9.
- ASTM(American Society for Testing and Materials), 2011, Standard Specification for Rigid Poly(Vinyl Chloride) (PVC) Compounds and Chlorinated Poly(Vinyl Chloride)(CPVC) Compounds(ASTM D1784).
- ASTM(American Society for Testing and Materials), 2015, Standard Classification for Chemical Resistance of Poly (Vinyl Chloride)(PVC) Homopolymer and Copolymer Compounds and Chlorinated Poly(Vinyl Chloride)(CPVC) Compounds(ASTM D 5260).
- AWWA(American Water Works Association), 2007, Polyvinyl Chloride(PVC) Pressure Pipe and Fabricated Fittings, 4IN. Through 12 In.(100mm Through 300mm), for Water Transmission and Distribution).
- ISO(International Organization for Standardization), Pipes and fittings made of unplasticized poly(vinylchloride) (PVC-U) for water supply-Specifications-Part 1.

6. DIN(Deutsches Institut für Normung e. V, Unplasticized polyvinyl chloride(PVC-U) pipes-Dimensions(DIN 8062), 2009.
7. Burn, S., Davis, P., and Schiller, T., 2005, Long-term performance prediction for PVC pipes, AWWA Research Foundation.
8. Lee, H. D., Kwak, P. J., and Lee, J. Y., 2010, Evaluating Durability and Burying Characteristic of PVC pipe, Materials Science Forum, Vol. 658, pp. 224-227.
9. Ahn, J. C., Lee, S. W., and Koo, J. Y., 2005, Predicting water pipe breaks using neural network, Water Science and Technology : Water Supply, Vol. 5, No. 3-4, pp. 159-172.