

비굴착 하수관로용 PVC 프로파일 보수재 특성 평가

박준하, 전상렬¹, 이관호^{*}
¹국립공주대학교 건설환경공학부

Characterization of Repairing PVC profile for Trenchless Sewer Pipeline

Joon-Ha Park¹, Sang-Ryeol Jeon¹, Kwan-Ho Lee^{*}

¹Dept. of Civil Engineering, Kongju National University

요약 개착식 공법은 도로의 굴착에 따른 시간과 비용의 증가, 교통통제로 인한 민원발생 및 교통지정체 등 많은 문제점을 발생시키고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 비굴착공법에 사용 가능한 하수관거 보수재에 대한 실험을 시행하였다. 사용한 재료는 PVC프로파일이며, 국가표준시험 방법을 적용하여 기본 물성 평가를 시행하였다. 본 기술은 SPR(Sekisui Pipe Rehabilitation) 기술에 적용되는 프로파일보다 구조적 안정성이 높고, pipe integrity를 높일 수 있는 SWP(Spirally Wound Pipe)용 프로파일 구조를 적용하였다. 복합안정제의 함량을 5 phr을 이용하여 배합을 하였다. 시험 결과 복합안정제와 충격보강제를 투입한 경우에도 인장강도, 충격강도 및 연화온도가 표준의 물성을 만족함을 알 수 있었고, 가공시 부하가 없이 가공할 수 있었다. 접착 수지로 단부마감을 한 프로파일은 같은 압력에서 누수가 발생하지 않았다.

Abstract The full depth excavation induces couple of technical and social problems like increase of construction cost and time for excavation and backfill, increase of public complains and delay of traffic, and so force. In order to overcome these problems, lots of laboratory tests were carried out for sewer pipeline of maintenance materials with trenchless methods. The testing materials are PVC strip and then the lab tests were followed by Korean Standard. We will treat the structure safety and pipe integrity of PVC profile more excellent than the profile have application to SPR. There is no side-effect to process and to satisfy the criteria of tensile strength, impact strength and softening temperature. The profile with resin adhesive showed no leakage of water at specific pressure.

Keywords : Full depth excavation, Maintenance, PVC strip, Sewer pipeline, Trenchless

1. 서론

우리나라에서 사회 간접자본의 대표적인 구조물(infrastructure)인 하수관거의 설계 수명이 지정되어 있으나, 하수관거가 사용되는 조건에 따라 설계 수명을 채우지 못하는 경우가 발생하고 있다. 이러한 하수관거를 개선(renovation)하기 위하여 전면 굴착에 의한 하수관거 교체, 파쇄공법, 연속관 삽입 공법 등 다양한 기술의 발전과 시행이 이루어 졌다. 하지만 이러한 공법은 모두

땅을 파서 시공하는 개착 공법으로 개착 및 굴착에 따른 많은 시간과 비용 및 시공 시 교통 통제 및 불편에 따른 민원 발생 등의 수많은 단점이 발생한 바 있다. 이러한 문제점을 인지한 후 하수관거 선진국인 영국에서 하수관거의 갱생에 대한 기술 개발이 이루어 졌고, 1980년대 후반 국내에 기술이 도입되기 시작하였으며, 국내에 적용되기 시작한 하수관거 갱생(rehabilitation) 공법은 상기의 여러 문제들을 개선할 수 있도록 하여 발전기를 맞이하게 되었다[1][2].

본 논문은 환경부 2014년 “하수관거연구단” 연구과제로 수행되었음.

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

Tel: +82-41-521-9313, email: kholee@kongju.ac.kr

Received April 9, 2015

Revised (1st June 9, 2015, 2nd June 22, 2015)

Accepted July 16, 2015

Published July 31, 2015

다양한 개선 공법 중 특히 비굴착(trenchless) 공법은 많은 사회적 비용을 절감할 수 있도록 하여 주었다. 비굴착 공법은 가스관, 수도관과 같은 압력관 갱생과 저압 및 중력의 하수관거 갱생에 적용되었다. 초기의 단순한 갱생에서 상당한 기간의 현장 적용 연구 및 시행에 따라 현재는 연속관 삽입, 변형관 삽입에 의한 close fit 공법, 현장경화관(cured in place pipe, CIPP), discrete 관 삽입에 의한 추진공법, 나선 회전 제관 공법 등이 사용되고 있다. 하수관거의 보수길이에 따라 부분 보수, 전체보수 등의 보수공법이 선택되어 시행하도록 되어 있다. 그러나 우리나라에서는 현재 CIPP(ISO 21196-4)와 PE 변형관 삽입(ISO 21196-2) 및 PVC 제관 공법(ISO 21196-7) 등의 관련 시공법 등이 이용되고 있는 실정이다[3][4][5].

본 연구에서는 나선형 제관(Spiral wound pipe) 방식의 PVC제관 보수재에 관한 것으로 시험배합을 통해 제관에 적합한 PVC프로파일 물성을 연구하고, PVC 스트립 디자인의 개선으로 locking system design, 강성 보강용 스틸구조 디자인의 설계를 수행한다. 또한 개선된 보수재는 향후 물성시험을 통해 현장시험시공시 실무에 사용할 수 있는 근거를 제시하고자 한다.

2. 공법에 따른 보수재 사용성

사용 가능한 보수재는 공법의 종류에 따라 바뀌기 때문에 공법 별로 가능성을 살펴보았다. 변형관 삽입 공법(Lining with continuous pipe)은 변형관의 삽입시 기존의 열경화성 수지가 아닌 열가소성 수지의 연성(flexibility)을 활용하는 공법으로 주로 연성이 좋은 PE 수지가 가장 널리 사용되고 있으며 가끔 PP 또는 PVC 수지가 사용되기도 한다.

현장경화관 공법(Cured in Place Pipe)은 열경화성 수지를 사용하여 갱생하는 공법으로 역사가 가장 오래되었으며 아직도 가장 널리 사용되는 공법이다. 견인식이나 반전식 공법일 경우에는 펠트에 수지를 함침시켜 사용해야 하기 때문에 사용 가능한 수지는 액상의 저점도인 불포화폴리에스테르 수지, 에폭시 수지, 우레탄 수지 등이 가능하지만 국내에서는 우레탄 수지의 사용이 없었던 현실이다. 이는 우레탄 수지와 관련된 국가표준의 부재와도 관계가 있으며 외국의 우레탄 수지 사용 기술이 아직 국내에 들어오지 않은 이유가 있는 것으로 판단된다.

제관 공법(Spirally wound pipe)은 주로 PVC strip에

의한 제관, ABS strip에 의한 제관 등이 가능하지만 가격과 치수 안정성 및 내충격성을 고려할 때 PVC strip에 의한 제관이 가장 적합한 것으로 판단된다.

3. PVC Strip 개발

3.1 제관에 필요한 PVC 물성 연구

본 연구의 프로파일은 염화비닐수지(Poly vinyl chloride)로써 국가표준인 KS M 3550-2의 프로파일의 특성에 제시되어 있는 기계적, 열적 그리고 내화학성을 만족하여야한다 [Table 1].

Table 1. Characteristics of Poly Vinyl Chloride

Items	Content	Unit	Specification
Thermal	coef. of thermal expansion	1/℃	6.5(±0.5)×10 ⁻⁵
	vicat softening point	℃	> 80
	tolerance	-	incombustibility
Mechanical	tensile strength	MPa	> 40
	elongation at failure	%	50-150 (100)
Chemical	Distilled water	mg/cm ²	< 0.2
	sodium chloride (30%)	mg/cm ²	< 0.2
	latic acid (40%)	mg/cm ²	< 0.2
	sodium hydroxide (40%)	mg/cm ²	< 0.2

상기의 물성을 만족하기 위하여 첨가제의 함량을 변화하면서 인장강도, 충격강도 및 비카트 연화온도를 살펴보았다. 시험에 사용한 레진은 중합도 1000의 PVC 수지(이하 P라 함)를 사용하였으며 첨가제의 종류 및 함량을 아래의 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Mixing Ratio and Properties

No	Identification	Impact Strength(I ZOD) (kJ/m ²)	Vicat Softening Point (KS M ISO 306)	Tensile Strength (MPa)
1	P	5.5	83.9	47.4
2	P + stabilizer 1 phr	7.3	83.8	43.4
3	P + stabilizer 2 phr	3.0	83.3	35.2
4	P + stabilizer 3 phr	2.7	83.2	36.5
5	P + stabilizer 3 phr+CaCO ₃ 5 phr	6.0	83.0	40.9
6	P + stabilizer 3 phr+CaCO ₃ 15 phr	3.4	83.2	33.7

상기의 시험 결과 중 인장강도의 경우 시료번호 1, 2, 5에서만 표준에서 요구하는 40 MPa를 만족하는 결과를 나타내었고, 충격강도 역시 시료 1, 2, 5에서만 만족할 만한 수준으로 나타났다. 반면 연화온도는 모든 시료가 만족하는 결과를 나타내었다.

Fig. 1은 첨가제 함량에 따른 충격 강도 시험 후 파단면의 전자주사현미경(SEM) 사진이다. 안정제의 함량이 증가할수록 파단면의 co-continuous phase가 증가함을 알 수 있었고 따라서 충격강도가 낮아짐을 알 수 있었다.

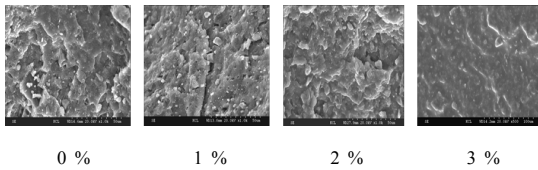


Fig. 1. Morphology at Failure with Stabilizer %

하지만 일반적으로 PVC 압출을 하는 경우 안정제의 양이 최소한 5 phr 정도가 되어야 가능하기 때문에 복합 안정제의 함량을 증가한 Table 3에 나타난 배합비로 다시 시험을 하였다.

Table 3. Test Samples

Item	Mix Ratio (phr)
P	100
Composite Stabilizer	5
MBS reinforcing agent for impact	8
Processing material	2
inert filler	2

상기의 formulation에 의하여 배합을 하였으며 가공 조건은 아래의 Tabel 4와 같이 하였다. Fig. 2는 시험용 시편 제작 원료 및 가공 후 시편을 보여주고 있다. 제작된 시편의 충격강도는 47.9 kJ/m², 비카드온도는 92.1℃, 인장강도는 532 MPa로 측정되었다. 시험 결과 복합안정제와 충격보강제를 투입한 경우에도 인장강도, 충격강도 및 연화온도가 표준의 물성을 만족함을 알 수 있었고, 가공시 부하가 없이 가공할 수 있었다.

Table 4. Process Condition for Specimen

Henchel Mixer	2100 rpm, 120 ℃
Mixing Roll	6 min, 190 ℃
Mold Press	3 min, 195 ℃

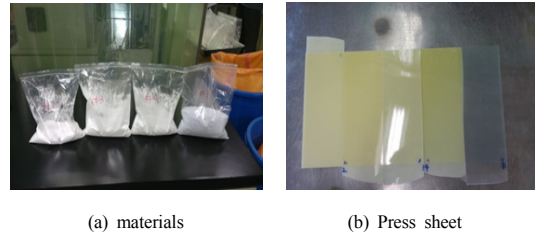


Fig. 2. Processed Specimen

3.2 Strip 장간 Modulus 및 체결 Integrity

3.2.1 프로파일의 특징

라이닝 프로파일이란, 보수가 필요한 기설 하수관로 내에서 보수/보강이 필요한 부분에 프로파일을 관과 일체화 시키면서 제관을 실시하는 것으로 프로파일의 형상은 기설 관로의 단면 형상 또는 단면의 크기 등에 따라 변경되는 특징을 지니고 있다. 본 연구에서는 강도를 복원하면서 갱생을 하는 스트립에 관한 장간의 modulus와 체결의 일체성을 확보하기 위한 연구를 수행하는 것으로써, 스틸보강재에 의해 지지되면서 강성을 확보하는 프로파일을 고려하였다. 즉, 일반적인 강성의 formulation에 의한 프로파일 제작을 하였으며 이는 프로파일 설치 후 충전 모르타르와 일체화 되어 내하성능을 증진시키는 공법의 특성이 있기 때문에 가능하고, modulus가 너무 높을 경우 충격에 의해 파괴가 일어날 수 있으므로 Table 3의 배합에 의한 프로파일 제작으로 유연성이 높은 프로파일을 적용하게 되었다.

3.2.2 프로파일의 형상

강도보강 및 방식·지수를 위한 목적과 체결 시 프로파일 간의 체결의 완전성을 확보하기 위하여 inter-locking이 가능한 프로파일을 사용한다. 프로파일은 드럼에 코일모양을 하고 있고, 형상적으로는 I빔의 연속체로써 양단에는 제관 시 인접하는 프로파일과 완전한 접합을 하기 위한 체결 구조를 지니고 있으며, 이를 Fig. 3에 나타내었다. 그림에서 ① T type rib, ② Main lock A, ③ Main lock B, ④ Sublock A, ⑤ Sublock B를 의

미한다.

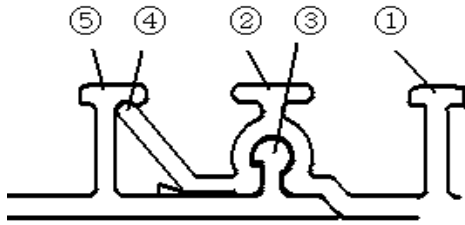


Fig. 3. Connection of Profile

프로파일의 main lock(②)은 보수하고자 하는 하수관 거의 벽면을 따라 들어가면서 이웃하는 프로파일의 sub lock(③)과 연결되면서 제관을 완성하게 된다. 이 연결 방식에서 프로파일이 spiral 하게 진입을 하게 됨으로써 연결 부위가 90°로 연결되는 것이 아니고 spiral 진입 각도로 연결되게 된다. 따라서 프로파일의 강도 및 modulus가 높을 경우 연결이 일어나지 않고 파괴가 일어나게 된다. 또한 진입각도의 차이로 인해 프로파일이 뒤틀리게 연결되면서 main lock과 sub lock이 연결된 부분이 뒤틀리면서 누수가 발생할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 프로파일의 뒤틀림을 막아 누수를 방지할 수 있도록 steel 보강재를 삽입하여 프로파일의 연결 integrity를 확보할 수 있도록 하였다. 보강재는 제관하는 관径의 크기에 따라 Table 5와 같이 형상을 다르게 하였다.

Table 5. Steel Reinforcement Material

Profile	Height		Width	Depth
	H ₁	H ₂	W ₁	t
#87SW	11.0±0.5	7.7±0.5	27.3±0.5	0.8±0.1
#87FW	-1.0	-1.0	-1.0	
#80SW	13.8±0.3	11.0±0.3	15.2±0.3	1.0±0.1
#80FW	-0.8	-0.8	-0.8	
#79SW	17.2±0.5	13.5±0.5	25±0.5	1.2±0.1
#79FW	-1.0	-1.0	-1.0	
shape of reinforcement				

4. Strip 디자인 및 특성

4.1 Locking system 디자인 연구

본 연구의 주된 목적은 프로파일의 locking system 개발에 관한 것으로 기존의 프로파일 locking system을 개선하여 체결의 integrity를 높이고자 하였다. 기존에 사용되는 체결장치는 mechanical locking system이 주로 사용되어 왔고, 체결이 간단히 이루어지고 시간이 짧은 장점은 있지만 spiral 공급에 의한 shear stress에 의해 체결이 이탈되는 단점과 누수가 일어날 수 있다는 단점이 존재하였다. 따라서 본 연구에서는 기존의 체결 장치를 그대로 이용하되 main locking과 sub locking의 결합력을 향상 시켜 누수를 방지할 수 있는 디자인을 구상하였다.

Fig. 4는 기존의 locking system에 magnetic force를 더하여 결합력을 향상 시키는 디자인으로 붉은 색으로 표시된 부분에 magnetic ferrite powder 혹은 magnetic ferrite powder compound를 도포하여 결합력을 향상 시키려는 디자인으로 인접한 프로파일 끝단과 중첩되는 부분에 magnetic ferrite powder 혹은 magnetic ferrite powder compound 층을 성형하는 것이다.



Fig. 4. Magnetic Ferrite Compound Profile

Fig. 5는 기존의 locking system의 내부에 접착수지가 들어 있는 캡슐을 설치하여 체결시 체결압력에 의해 캡슐이 파괴되면서 내부의 접착체가 main locking 수구와 sub locking 삽구가 접착시킬 수 있도록 하는 프로파일 디자인이다.

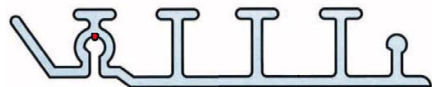


Fig. 5. Adhesion Capsule Profile

Fig. 6은 기존의 locking system은 그대로 유지하되, 두 개의 프로파일이 중첩되는 부위(그림의 빨간 부분)를 (1) 프로파일의 측면 돌기(홈과 홈사이 돌출부)가 끼워져서 지퍼 형태로 측면이 결합되는 구조 또는 (2) 프로

파일의 측면 돌기(홈과 홈사이 돌출부)를 벨크로 형태로 성형하여 중첩부위가 체결되는 원리로써, 이 시스템은 main 및 sub locking system으로 1차 체결이 된 후 지퍼 또는 벨크로 형식으로 좌우 측면도 결합을 하여 수밀성을 향상 시키는 체결시스템이다.

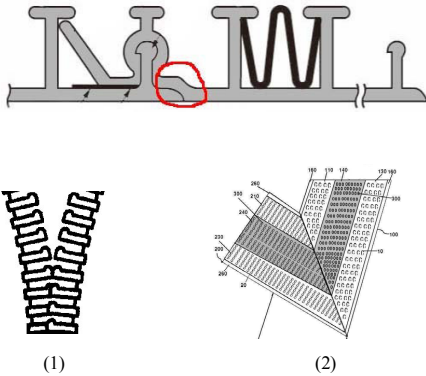


Fig. 6. Zipper and Velcro Adhesion Profile

4.2 프로파일 누수 시험

Fig. 7은 누수 방지 효과를 살펴보기 위하여 기존에 사용되는 프로파일을 사용하여 mock up 시험을 실시하였다. 시험은 기존에 사용되는 main locking과 sub locking system에 의해 체결된 프로파일의 양단면을 접착제를 사용하여 단부 마감한 후 수압을 측정하기 위한 치구로 마감한 후 수압 시험을 수행하였다.

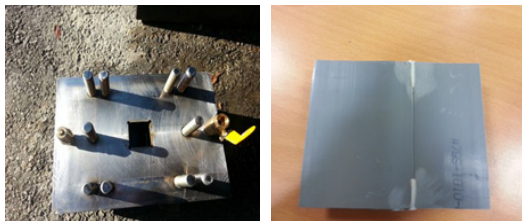


Fig. 7. Hydrostatic Test

수압치구의 전체 용량은 6리터(30 cm x 20 cm x 10 cm)이고, 수압치구의 중앙 홈 부분은 (4x4) cm의 크기로 제작을 하였다. 시험편의 내면의 접합 부분의 일부(4 x 4 cm)가 수압에 노출되어 내수압 성능을 측정할 수 있도록 하였다.

Fig. 8는 시험에 사용된 프로파일로써 (1)은 기존의

방식으로 체결된 프로파일이고 (2)는 빈 공간을 접착수지를 이용하여 단부마감 처리를 한 프로파일로써 누수 시험에 적용한 프로파일이다.

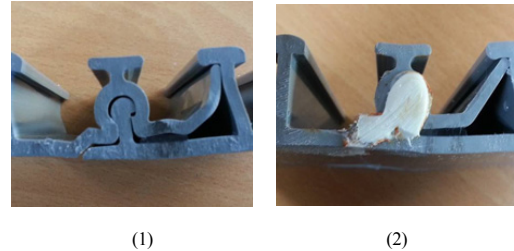


Fig. 8. Test Profile

Fig. 9는 시험편을 거치한 수압 치구로써 시험편을 거치한 후 시험편의 파손을 막기 위한 고무판을 깔은 후 덮개를 덮고 볼트로 프로파일을 고정하여 시험 준비가 된 상태를 나타낸 그림이다.



Fig. 9. Test Setup for Profile

Fig. 10은 수압시험 그림으로써 수압 치구를 수압 시험기에 연결한 후 0.5 MPa (5.1 kgf/cm²) 까지 가압하면서 프로파일의 누수 여부를 확인하였다.



Fig. 10. Hydrostatic Test

Fig. 11은 수압시험 결과로써 기존의 방식으로 접합된 프로파일은 0.5 MPa로 가압하였을 경우 빈 공간을 통한 누수가 발생하였으나, 접착 수지로 단부마감을 한 프로파일은 같은 압력에서 누수가 발생하지 않았다. 따라서 접착 수지를 사용하여 단부마감을 하여야 완벽한 누수 차단이 가능함을 알 수 있었다.

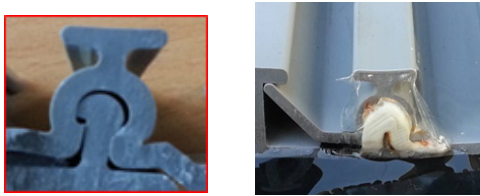


Fig. 11. Leakage Test

5. 결론

제한된 조건의 실험을 이용하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 일반적으로 PVC 압출을 하는 경우 안정제의 양이 최소한 5 phr 정도가 되어야 가능하기 때문에 복합안정제의 함량을 5 phr을 이용하여 배합을 하였다. 제작된 시편의 충격강도는 47.9 kJ/m^2 , 비카드온도는 92.1°C , 인장강도는 532 MPa로 측정되었다. 시험 결과 복합안정제와 충격보강제를 투입한 경우에도 인장강도, 충격강도 및 연화온도가 표준의 물성을 만족함을 알 수 있었고, 가공시 부하가 없이 가공할 수 있었다.
- (2) 수압 치구를 수압 시험기에 연결한 후 0.5 MPa (5.1 kgf/cm^2) 까지 가압하면서 프로파일의 누수 여부를 확인하였다. 수압시험 결과로써 기존의 방식으로 접합된 프로파일은 0.5 MPa로 가압하였을 경우 빈 공간을 통한 누수가 발생하였으나, 접착 수지로 단부마감을 한 프로파일은 같은 압력에서 누수가 발생하지 않았다. 따라서 접착 수지를 사용하여 단부마감을 하여야 완벽한 누수 차단이 가능함을 알 수 있었다.

References

- [1] Korea Institute of Civil Engineering (2001), Research on Development of Repairing Technology for Underground Facilities, Report, pp. 35-49
- [2] Song, H.M., Kim, S.H, Lee, K.C. and Jeong, C.K. (1999), "A Study on the Cost Anlysis for No-Dig Sewer Rehabilitation", Korean Society of Environmental Engineers, Fall Conference (1), pp. 183-184
- [3] Ministry of Environment (2005), Front Rebuilding Process using High Viscosity Mortal of Vinyl Chloride, Special Canning, and Filling Facility, New Environmental Technology, pp. 75-90
- [4] Jo, J.I., Song, H.M. and Kim, Y.T. (2006), "Application of Trenchless Pipe Lining System by Close-Fit Pipe Lining", Korean Society of Water and Wastewater, Fall Conference, B-1, pp. 6
- [5] Choi, S.Y., Lee, S.W., Kim, Y.G., and Yun, K.K. (2006), "Field Application of New Trenchless Process for Sewer Pipe", 2006 Conference, Korean Society of Civil Engineers, pp. 3611-3614.

박 준 하(Jun-Ha Park)

[정회원]



- 2013년 3월 ~ 현재 : 국립공주대학교 건설환경공학부 (석사과정)

<관심분야>
지반환경분야

전 상 열(Sang-Yeol Jeon)

[정회원]



- 2006년 2월 : 연세대학교 토목공학전공 (공학석사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 국립공주대학교 건설환경공학부 (박사과정)

<관심분야>
지반환경공학

이 관 호(Kwan-Ho Lee)

[정회원]



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

<관심분야>
지반환경공학