

비굴착 전체보수용 라이너의 두께 설계식 및 말단부 처리에 따른 라이너의 안정성 검토 연구

박종섭^{1*}, 송호면²

Evaluation of Design Equation and Stability for Trenchless Pipe Liner System with Boundary Treatment

Jong-Sup Park^{1*} and Ho-Myeon Song²

요 약 비굴착 보수 공법에 의한 파이프 보강은 전체 파손관과 부분 파손관으로 구분되어 정의된다. 부분 파손된 관내에 사용된 라이너 관은 수압만이 작용되며, 상재 하중 및 토압, 지하수에 의한 압력에 대해서 기존의 관이 모두 저항하게 된다. 본 연구는 기존에 사용되고 있는 보강튜브경화공법 설계식에 대한 라이너 보수관 적용성을 평가하여 적용가능함을 확인하였다. 또한, 개발된 말단부 처리 공법이 적용된 라이너의 안정성을 유한요소해석을 통해 평가하였다.

Abstract Drainage pipeline system repaired by trenchless technology using liners can be defined between partial and entire collapse. The liners in the partial collapse pipeline are subjected to only uniform groundwater pressure on the surface. This research evaluates practical and useful cured-in-placed pipe (CIPP) design equations based on experimental results and finite element analysis results. Also, stability evaluation of pipe liner system with edge treatment is performed using finite element analysis. The CIPP equation should be used to design liner pipe system.

Key words : Pipe, Liner, Trenchless construction, Lining system, Stability

1. 서론

하수관거의 장기간 사용은 강도저하, 이음부 불량, 불량 시공 등으로 인해 관거의 균열, 파손, 부식, 이음부 이완 등이 발생하며 이러한 현상들은 하수관거의 구조 및 수리화학적 기능 상실로 이어지게 된다. 파손된 관거의 보수방법으로 굴착 후 신관으로 교체하는 방법이 주로 사용되고 있으나 이러한 방법에 의한 공사는 분진, 소음, 산업폐기물의 발생과 지하매설물에 대한 파괴위험, 교통장애 및 장기간 공사기간을 요함에 따라 주민 불편의 증가 등 경제적으로 많은 비용을 지불하게 된다[1]. 따라서 굴착 없이 하수관거를 보수하여 관거의 유효능력을 손실시키지 않고 연결 및 접합부에서 수밀성을 갖으며 보수 후 신관의 강도 이상을 발휘하는 비굴착 보수공법의 채택은 불가피한 실정이다.

비굴착 보수공법은 1981년 런던의 '하수도 시스템의 복구'라는 주제의 국제토목학회에서 처음 공식화 되었으며 1985년 공중보건 엔지니어협회에 의해 개최된 '관로의 비굴착 건설'에서 개념이 정립되기 시작하였다. 이후 하수도가 발달한 유럽 및 미국을 중심으로 발달하기 시작하여 1986년 국제비굴착기술학회(International Society for Trenchless Technology, ISTT)가 비굴착 개념의 시발지인 런던에서 개최되기에 이르러 많은 발전을 가져오게 되었다[2]. 근래에 국내에서도 노후하수관의 보수, 보강을 위한 여러 종류의 비굴착 공법이 외국으로부터 도입되고 있다. 그러나 이러한 공법들은 ASTM F 1216을 근거로 한 보강튜브경화공법(Cured-In-Placed Pipe, CIPP)으로서 판단차를 비롯한 관내 이음부 이탈과 이격 등이 심한 국내 하수관 상황하에서는 시공 후 주름 및 요철 등이 발생하고 있어 국내 실정에 적합한 변형관 삽입공법의 도입이 절실한 실정이다.

파손된 관내에 삽입되는 변형관인 라이너는 그 물성치를 고려하여 외압에 견딜 수 있도록 충분한 두께로 설계되어야 한다. 그러나 이러한 라이너의 구조적 안정성을

¹상명대학교 토목환경공학부

²한국건설기술연구원 국토환경연구부

*교신저자: 박종섭(jonpark@smu.ac.kr)

고려한 두께 설계식은 기존에 검토된 바가 없는 실정이다. 따라서 본 연구는 PE, PVC를 이용한 변형관 삽입공법에 사용되어지는 재료들의 특성을 고려한 라이너 설계를 위하여 기존 CIPP 공사에 사용되는 "비굴착공법에 의한 하수관 정비 품질관리 지침서[3]"의 제안식에 대한 적용성 검토와 말단부 처리된 라이너에 수압 작용시 라이너의 안전성을 평가하고자 한다.

2. 변형관 삽입 공법

변형관 삽입공법은 하수관거 내에 PE 또는 PVC 변형관을 인입시켜 가열 후 고온고압으로 팽창하는 공법이다. 그림 1은 변형관 삽입공법의 일반적인 공정을 보여주고 있다. 공장에서 PE 또는 PVC등의 파이프를 압출 성형한 후에 C-자 형태로 변형시킨 다음 100~150m 정도씩 릴에 감아 생산하여 현장으로 운반한다(그림 2). 시공현장에서 변형된 라이너를 증기로 가열하여 유연하게 한 다음 원치로 끌어 하수관에 삽입한다. 그 후 증기압을 이용하여 접혀진 형태를 원형으로 팽창하여 말단부에 누수가 발생하지 않도록 처리하고 연결관들은 로봇 절단기로 개봉시켜 마무리 하게 된다. 현재 국내 상수관에서 사용되고 있는 PE 라이너는 대립산업에서 제공되고 있는 TR-402수지이며 분자량과 공단량체의 함량에 따라 제품의 특성이 달라진다. 본 연구대상 라이너는 단일재료 수지이며, 장기적인 안정성은 우수한 것으로 보고되고 있다[4].

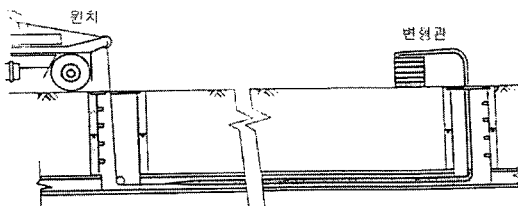


그림 1. 변형관 삽입공법

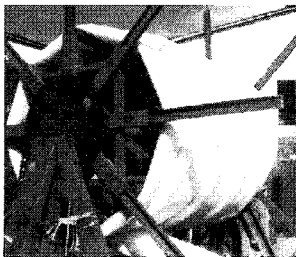


그림 2. 릴에 감긴 라이너

3. CIPP 설계 계산식 검토

CIPP는 그림 3과 같이, 기존의 관로가 부분 파손 또는 전체 파손 되었을 때, 굴착에 의한 전체 관로의 교체 공사를 수행하지 않고 기존의 파손관로 내부에 새로운 관로를 삽입하여 보수, 보강하는 공법이다. CIPP 공법의 적용 시, CIPP가 적용되는 기존 관의 파손 정도에 따라 두 가지 경우를 나누어 고려할 수 있다. 첫 번째는 기존의 관이 부분 파손된 경우이며, 두 번째는 기존의 관이 완전히 파괴되어 관로의 기능을 전혀 수행하지 못하는 경우이다. 첫 번째의 경우에는 기존의 관이 관로로서의 역할을 일부분 수행하며, 구조적으로는 안전한 상태라고 가정한다. 따라서 부분 파손관의 경우에는 상재 하중 및 토압, 지하수에 의한 압력에 대해서 기존의 관이 모두 저항하게 된다. 하지만 관의 파손으로 인해, 그림 4와 같이 기존의 관과 CIPP의 사이에 지하수가 존재하게 되며, 이 지하수는 그림 5와 같이 CIPP에 등분포 하중으로 작용하게 된다. 따라서 CIPP에서는 작용하중으로서, 그림 5와 같은 수압만을 고려한다.

원형관에 압축력이 작용할 경우, 관의 안전성 검토를 위해서는 관의 항복 강도와 좌굴 강도 두 가지를 고려하여, 두 경우 모두에 대해 안전하도록 설계를 수행하여야 한다. ASTM F 1216의 경우, Timoshenko와 Gere[5]의 원형관의 좌굴식을 기본으로 CIPP에 대해 좌굴 안정성을 검토하여, CIPP의 설계 두께를 제시하고 있다.

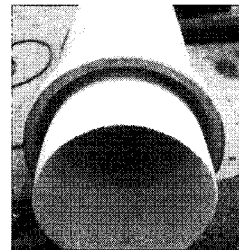


그림 3. CIPP의 형상

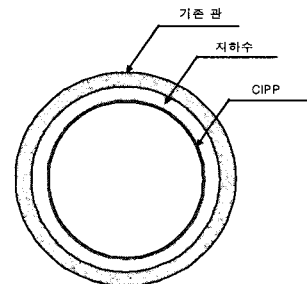


그림 4. 부분 파손관 내의 CIPP

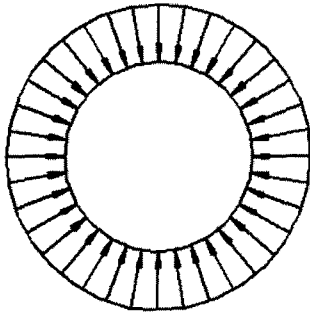


그림 5. CIPP에 작용하는 수압

$$P = \frac{2KE_L}{1-\nu^2} \frac{1}{\left(\frac{D_o}{t} - 1\right)^3} \frac{C}{N} = \frac{2KE_L}{1-\nu^2} \frac{1}{(SDR-1)^3} \frac{C}{N} \quad (1)$$

여기서 P =지하수 수압 (kg/cm^2), K =지지항상계수 (기존 관에 대한 전체지지의 경우 최소값=7.0), E_L =라이너의 장기 휨 탄성계수(kg/cm^2), ν =포아송 비(평균 0.3), SDR = 라이너의 표준 치수비(D/t), D =기존관의 직경(외경, mm), t =라이너 두께 (mm), C =형상 감소계수= $[(1 - \frac{q}{100}) / (1 + \frac{q}{100})^2]^3$, $q = 100 \frac{D_{i-Avg.} - D_{i-Mfn.}}{D_{i-Avg.}}$, N =안전계수이다. 식(1)은 원형관의 좌굴강도계산식에 장기간 맵피되는 관로 구조물의 특성을 고려하여 초기탄성계수를 이용하여 50년 후의 장기탄성계수(E_L)를 예측하여 사용하게 된다[6]. 본 연구에서는 PE, PE복합재질, PVC, PVC복합재질에 대해 다양한 물성시험을 실시하였는데, 그 중 인장강도, 휨강도, 단기 및 장기 탄성계수 시험결과를 표 1에 나타내었다[4]. 표 1에 나타난 단기 탄성계수를 살펴보면, PVC와 PVC복합재질의 단기 탄성계수는 CIPP기준을 만족하고 있다. PE, PE복합재질의 관은 기준값보다 작은 값을 나타내고 있기에 적용시 상세구조 해석을 통해 안정성에 대한 검토가 필요하다. 장기탄성계수의 경우 모든 종류의 관에 있어서 단기탄성계수 값의 10%이상을 보이고 있다. 특히, 작은 값의 단기탄성계수 값을 나타낸 PE 라이너의 경우 단기탄성계수의 31%에 해당하는 장기 탄성계수값을 보이고 있다.

CIPP 라이너가 삽입되는 기존관은 파손된 상태이기 때문에 완전한 원형을 유지한다고 볼 수 없다. 따라서 타 원형을 이루게 되는 라이너는 초기 변형으로 강도가 감소하게 되므로 이를 형상감소계수(C)를 적용하여 식(1)과 같이 고려할 필요가 있다.

표 1. 라이너 재료 특성 시험 결과

시험항목	시험규격	시험결과 (kgf/cm^2)		CIPP기준
인장강도	KS M 3006 (2002)	PE	237	210 kgf/cm^2
		PE복합재질	180	
		PVC	415	
		PVC복합재질	380	
휨강도	KS M ISO 178(2002)	PE	291	311 kgf/cm^2
		PE복합재질	254	
		PVC	783	
		PVC복합재질	816	
단기 탄성계수	KS M ISO 178(2002)	PE	5,780	17585 kgf/cm^2
		PE복합재질	5,855	
		PVC	23,970	
		PVC복합재질	26,010	
장기 탄성계수	ASTM D 2990, KS M ISO 899-2	PE	1,812	50년후 탄성계수 단기탄성계수의 0.1배 이상
		PE복합재질	4,803	
		PVC	9,341	
		PVC복합재질	14,729	

라이너가 사용된 CIPP 관은 내측 방향으로의 변위의 발생이 자유로우나, 외측 방향으로의 기존의 관이 존재하기 때문에 기존 관과 CIPP 라이너의 간격까지만 변위가 자유로우며, 그 이상은 기존 관에 의해 변위가 구속된다. 이렇게 변위가 구속될 때는 일방향으로 변위가 구속된 상태(unilaterally restrained)와 유사한 경계 조건을 가지며, 다만 변위 발생 간격까지는 자유로운 변위를 고려해야 한다. 현재까지 일방향 경계 조건(unilateral boundary condition)에 대한 좌굴 문제에 대해 많은 연구자들이 연구를 수행하였으며, 이와 같이 변위가 구속될 경우에는 좌굴 강도가 증가한다는 결과를 여러 연구자들이 제시하였다[7,8,9].

많은 연구자들이 수치해석방법을 통해 제안한 방법들은 CIPP 라이너에 적용하기에는 해석에 많은 시간이 소요되며, 라이너의 형상 및 라이너와 기존관의 간격에 따라 다른 결과를 보이기 때문에, 단순한 공식으로 제안하기에는 무리가 있다. CIPP는 외부의 기존 관에 의해 지지되므로, 지지력 항상계수(K) 값을 7.0이상으로 적용하고 있다[10]. 본 제안값은 검토결과 매우 안전측 설계를 유도하도록 제안되었다. CIPP 라이너에 대한 추가적인 구조실험이 수행되어 지지력 항상계수에 대한 실험적 검증이 수행되기까지 안전측으로 7.0 값의 사용을 제안한다.

4. 유한요소해석

수축/팽창 억제 및 말단부 처리 기법을 적용한 라이너관의 수압에 대한 안전성을 검토하고자 범용해석프로그램을 이용하여 유한요소해석이 실시되었다. 해석모델 구현을 위해 Timoshenko와 Gere의 이론식을 토대로 얻어진 값과 유한요소해석결과를 비교·검토하여 모델의 적정성을 평가하였다. 구현된 유한요소해석 모델은 라이너의 구조해석에 사용되며, 수축/팽창이 억제된 라이너에 등분포 수압 작용 시 안정성 분석에 사용되었다.

4.1 해석모델의 경계조건 및 요소수 결정

유한요소해석 프로그램인 ABAQUS(Version 6.5-1) [11]가 본 연구에 사용되었다. 해석시 S4R 4절점 쉘요소를 사용하였고, 해석에 사용된 대표적인 단면 및 등분포 외압하중은 다음 그림 6과 같다. 원형관의 반을 경계조건 처리하여 사용하였으며, 사용된 경계조건은 아치 모양관의 원주 방향 끝단은 수직, 수평으로 변위를 구속하였으며, 길이 방향 양끝단의 길이방향 변위도 구속되었다. 그림 6과 7은 경계조건과 작용시킨 등분포하중을 보여주고 있다.

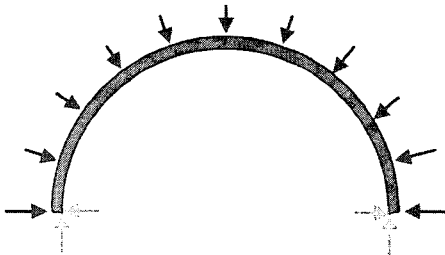


그림 6. 원주방향 변위구속 및 등분포하중

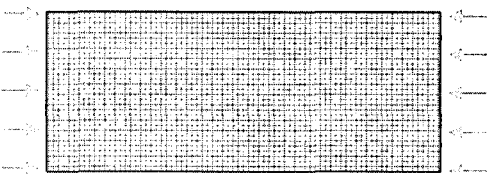


그림 7. 관의 양끝단 변위구속

유한요소해석 결과값은 해석모델의 유한요소 개수에 따라 상당한 차이를 보인다. 따라서 정해를 알고 있는 모델에 대하여 유한요소의 개수별 해석 치의 비교를 통하여 적절한 유한요소의 개수를 결정하는 것이 필요하다. 해석을 위한 기준단면으로는 $D=1000\text{mm}$, $t=2\text{mm}$ 강관을 사용하였다. 그림 8은 해석 후 얻어지는 좌굴모드를 보여주고 있다. 길이방향에 대해 단면형태가 일정하면서 양끝

단에 좌굴이 발생하는 2차원 평면 좌굴이 우선적으로 발생되며, 고차원 모드로 진행될수록 길이방향에 대해 변형이 발생되며, 유혹길이가 짧아지는 현상을 보이고 있다.

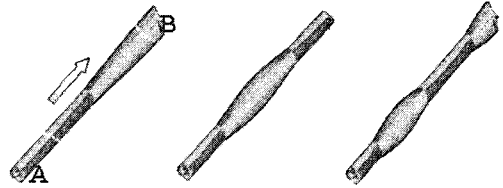


그림 8. 3차원 좌굴

그림 9와 10은 길이와 지름의 비(L/D), 원주방향 요소수를 변수로 정의하여 해석결과 수렴도를 보여주고 있다. 길이방향으로는 길이와 지름의 비(L/D)가 20정도부터 일정한 값으로 수렴됨을 알 수 있으며, 원주방향으로의 요소수의 경우 32개 이상이면 일정한 값으로 수렴됨을 알 수 있다. 해석모델의 Timoshenko와 Gere의 이론값은 2.5319kgf/cm^2 로서 근사해를 나타내는 유한요소해석 결과값 2.4953kgf/cm^2 와 매우 유사함을 확인 할 수 있다.

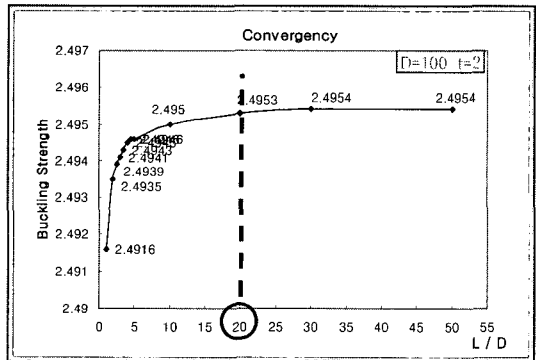


그림 9. 길이와 지름비에 따른 수렴도

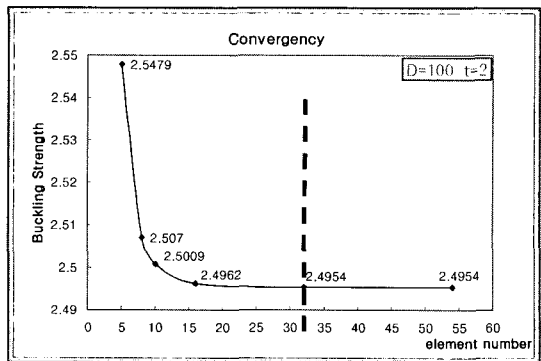


그림 10. 요소수에 따른 수렴도

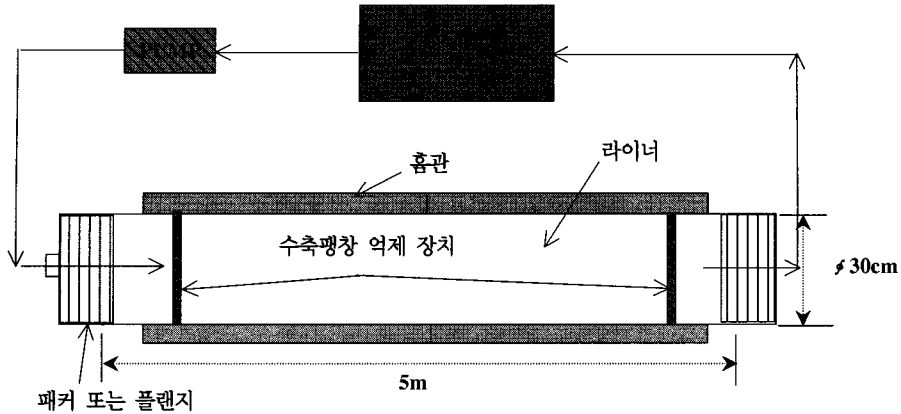


그림 12. 수축팽창시험체

4.2 말단부 처리된 라이너 거동 분석

부분 파손관에 비굴착 공법으로 시공된 라이너의 수축/팽창을 억제 하고자 말단부 처리 방법에 따른 수축량과 누수량을 그림 12의 실험체를 제작하여 실험을 수행하였다. 특히, 기존관과 라이너 사이에 수밀성이 양호한 수팽창 고무를 삽입하고, 라이너 내부에 스테인레스 링으로 압착하여 라이너의 종방향 수축/팽창을 억제하고 라이너와 기존관 사이의 수밀효과를 기대할 수 있는 방법을 제안하였다[4].

본 연구에서는 스테인레스 링과 수팽창 고무를 사용하여 말단부를 처리한 라이너에 수압이 작용할 때, 라이너에 발생하는 응력과 변위를 검토하여 거동을 분석하고자 한다. ABAQUS(Version 6.5-1)의 S4R 4절점 쉘요소를 사용하여 반원의 모델에 일정한 압력을 작용시켰다. 해석에 사용된 대표적인 단면 및 등분포 외압하중은 그림 13과 그림 14와 같다.

원형관의 반에 해당하는 반원 단면에 앞에서 제안된 경계조건을 적용하여 모델을 구성하였다. 특히, 수팽창 억제 고무가 사용된 길이 방향 말단부는 변위를 허용하지 않는다는 구속조건을 적용하여 변위를 길이방향으로 구속하였다. 원주방향으로 32개의 요소, 길이방향으로는 250개 총 8000개의 쉘 요소가 사용되었다. 전체길이는 5m이며, 직경은 30cm이다. 해석에 사용된 재료 특성값과 입력값을 재료시험결과 얻어진 PE 라이너 값을 사용하였다. 표 2는 사용된 입력값을 보여주고 있으며, 균질한 PE 라이너는 등방성 재료로 적용하였다. 작용하중은 각 수두에 맞게 압력으로 외부 표면에 균등하게 작용시켰다.

표 2. 재료 특성 및 작용하중

두께(cm)	탄성계수 (kgf/cm ²)	온도팽창계수 (cm/cm · C)	작용하중 (kgf/cm ²)
1	5780	1.3×10 ⁻⁴	0.1 ~ 1.0

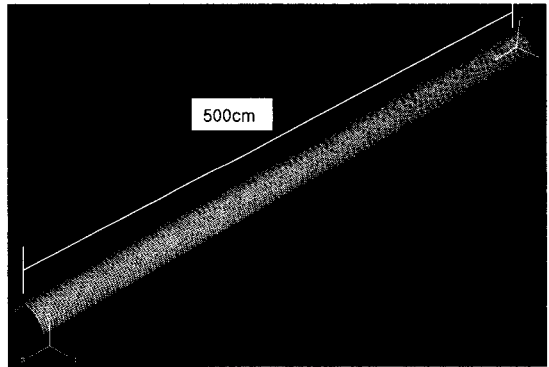


그림 13. 해석 모델

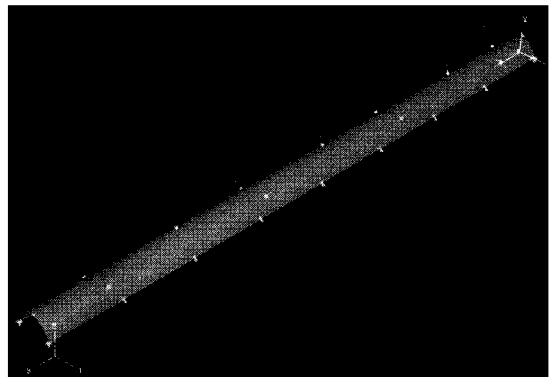


그림 14. 작용하중과 경계조건

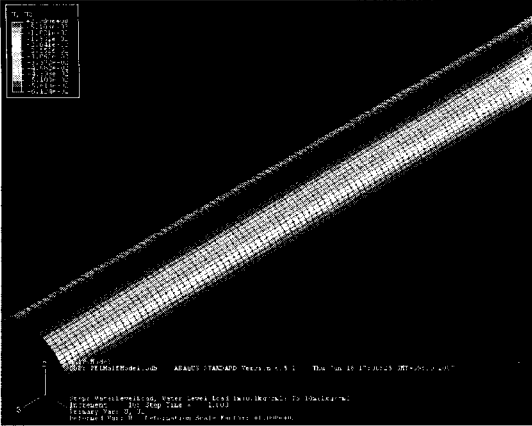


그림 15. 수직 침짐 (압력 1.0kgf/cm² 작용)

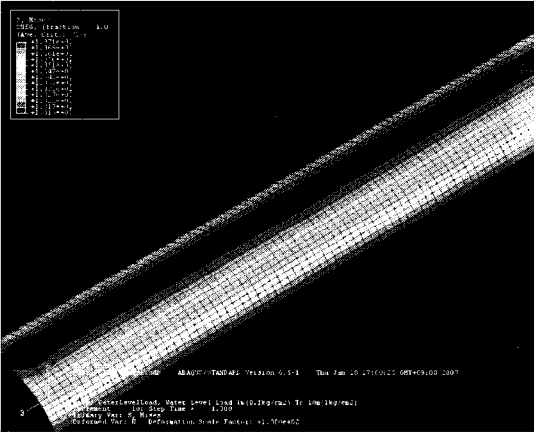


그림 16. 최대 주응력 (압력 1.0kgf/cm² 작용)

표 3. 작용하중에 따른 최대 침짐과 최대 주응력

작용하중(kgf/cm ²)	최대 침짐(cm)	최대 주응력(kgf/cm ²)
0.1	0.00612	1.496
0.2	0.01225	2.992
0.3	0.01837	4.487
0.4	0.02440	5.983
0.5	0.03062	7.479
0.6	0.03674	8.975
0.7	0.04287	10.47
0.8	0.04899	11.97
0.9	0.05511	13.46
1	0.06124	14.96

그림 15와 16은 1.0kgf/cm²의 압력이 표면에 작용할 때의 침짐과 주응력값(S11)의 결과를 보여주고 있다. 표 3은 수압을 0.1kgf/cm²에서 1.0kgf/cm²까지 변화를 주었

을 때 발생하는 최대 침짐과 최대 주응력 값을 보여주고 있다. 최대 침짐과 최대 주응력은 관의 지붕부분인 중앙 부분에서 발생되었다. 1.0kgf/cm²의 수압이 표면 전체에 작용할 때, 발생하는 최대 침짐은 0.6mm이며, 최대 응력은 15.0kgf/cm²이다. 해석을 통해 얻어진 최대 응력값은 실험을 통해 얻어진 단기휨강도 291kgf/cm²와 인장강도 237kgf/cm²보다 매우 작은 값을 나타내기 안전성에 큰 문제가 없음을 확인할 수 있었다.

5. 결론

부분 파손 CIPP 라이너는 기존의 관과 CIPP 라이너 사이에 지하수가 존재하게 되며, 이 지하수는 CIPP 라이너에 등분포 하중으로 작용하게 된다. 전체 파손관의 경우 모든 압력을 라이너가 저항하는 것으로 가정하여 설계가 이루어져야 한다. 이러한 전체 및 부분 파손관에 사용되는 라이너의 구조적 안정성 평가를 위한 본 연구를 통하여 다음의 결론을 도출하였다.

1. 부분 파손된 관의 CIPP 설계식은 Timoshenko와 Gere의 이론식을 토대로 제안되었으며, 원형관 좌굴의 역학적 거동을 근간으로 하고 있다. CIPP 설계 제안식은 재료의 특성치를 나타내는 장기탄성계수(E_L), 포아송비(ν) 등의 특성값을 PE 또는 PVC 라이너에 해당하는 값으로 적용하여 사용한다면, PE 또는 PVC 라이너의 두께 설계에 기존 식을 사용할 수 있다. 형상계수(C), 지지력항상계수(K)는 기존 제안값을 사용하는 것이 안전측이므로 기존값 사용을 권장한다.

2. 스테인레스 링과 수팽창 고무를 사용하여 말단부를 처리한 라이너에 수압이 작용할 때, 라이너에 발생하는 응력과 변위를 검토하여 유한요소해석 프로그램 ABAQUS (Version 6.5-1)의 S4R 4절점 쉘요소를 사용하여 반원의 모델에 일정한 압력을 작용하였다. 최대 침짐과 최대 주응력은 반원의 지붕부분인 중앙 부분에서 발생하였으며, 1 kgf/cm²의 수압이 표면 전체에 작용할 때, 발생하는 최대 침짐은 0.6mm이며, 최대 응력은 15.0kgf/cm²이다. 해석을 통해 얻어진 최대 응력값은 실험을 통해 얻어진 휨강도 291 kgf/cm²와 인장강도 237 kgf/cm²보다 작은 값을 나타내기 안전성에 큰 문제가 없음을 알 수 있었다. 따라서 개발된 말단부 처리 공법이 적용된 CIPP 라이너를 보수관으로 안전하게 사용할 수 있을 것이다.

3. 부분 파손관에 대한 기존의 라이너 두께 산정식은 외부에서 작용하는 하중에 의한 압력보다 기존관과 라이너 사이의 수압만 고려하면 되므로 재료 및 시공기술이 발전한다면 보다 작은 두께의 라이너로 시공이 가능할 것으로 보인다. 그러나, 전체 파손관의 경우, 오래전 매설되어 안정화된 관거의 응력분담에 대한 고려가 전혀 이루어지지 않고 있어 새로이 삽입되어지는 라이너가 전체 응력을 부담하는 것으로 산정되어진다. 따라서 기본적으로 과다설계가 이루어 질 수밖에 없는 상황이며, 여러 고려 계수에 추가적인 안전율이 고려되어 재원과 비용의 손실을 초래하고 있다. 기존 관거의 파손 형상에 따른 기존관거와 라이너의 응력 분담을 관계를 실험을 통해 정량적으로 분석하여 정립할 필요가 있다.

참고문헌

[1] 송호면, 정철권, 구자용, "하수관거 정비공법의 품질관리" 대한토목학회, 학회지 제47권, 11호, pp34-47, 1999년.
 [2] 김혁, *비굴착 하수관거 보수공법을 위한 최적 라이너두께 산정에 대한 연구*, 석사학위논문, 연세대학교, 2005년.
 [3] 서울특별시, *비굴착공법에 의한 하수관 정비 품질관리 지침서*, 1999년.
 [4] 송호면, *변형관 삽입에 의한 하수관 비굴착 보수공법 개발*, 한국건설기술연구원, 연구보고서, 2006년.
 [5] S.P. Timoshenko and James M. Gere, *Theory of Elastic Stability*, 2nd Ed., McGraw-Hill, Inc., 1961.
 [6] B. Falter, D. Lanvers, and J. Liebig, *Report about German and American short and long term buckling tests with close fit liners subjected to outer water pressure and their evaluation*. Report translated from German, Tiefbau Ingenieurbau Strassenbau H.6, S.10., 1996.
 [7] S.T. Smith, M.A. Bradford, and D.J. Oehlers, "Elastic Buckling of Unilaterally Constrained Rectangular Plates in Pure Shear", *Engineering Structures*, Vol. 21, pp.443~453, 1999.
 [8] S.M. Sun, and M.C. Natori, "Numerical Solution of Large Deformation Problems Involving Stability and Unilateral Constraints", *Computers and Structures*, Vol. 58, No. 6, pp.1245~1260, 1996.
 [9] M.A. Bradford, S.T. Smith, and D.J. Oehlers, "Semi-Compact Steel Plates with Unilateral Restraint Subjected to Bending, Compression, and Shear", *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 56, pp.47~67, 2000.

[10] S.C. Aggrawal, and M.J. Cooper, *External Pressure Testing of In-situ-form Lining*. Internal Report, Coventry Polytechnic, 1984
 [11] ABAQUS, *Analysis User's Manual*, Version 6.5-1, 2004.

박 종 섭(Park, Jong Sup)

[정회원]



- 1994년 2월 : 고려대학교 토목 환경공학과(공학사)
- 1996년 8월 : 고려대학교 토목 환경공학과(공학석사)
- 2002년 12월 : Auburn University (공학박사)
- 1996년 8월 ~ 1998년 8월 : 한국도로공사 도로연구소(연구원)

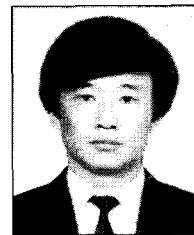
- 2003년 1월 ~ 2004년 6월 : Auburn University & 고려대학교 연구교수
- 2004년 7월 ~ 2005년 8월 : 삼성물산 건설부문(설계담당 과장)
- 2005년 9월 ~ 현재 : 상명대학교 토목환경공학부 전임 강사-조교수

<관심분야>

구조공학, 교량공학, 강구조좌굴, 유지보수

송 호 면(Song, Ho Myeon)

[정회원]



- 1982년 2월 : 전북대학교 토목 공학과(공학사)
- 1984년 2월 : 전북대학교 토목 공학과(공학석사)
- 2000년 3월 : 전북대학교 토목 공학과(공학박사)
- 1984년 ~ 1987년 : 삼안건설기술공사 대리

- 1987년 ~ 1997년 : 한국건설기술연구원 환경연구실 연구실장
- 1998년 ~ 2002년 : 한국건설기술연구원 수자원 환경연구부 수환경연구그룹 그룹장
- 2003년 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 국토환경연구부 책임연구원

<관심분야>

상하수도, 자연생태, 구조물 유지보수