

지속적인 내압을 이용한 GRP 복합관의 장기 수명예측

Long-term Life Prediction for GRP Pipe under Sustained Internal Pressure.

*오진오¹, #윤성호², 이창훈³, 김재영³, 배동우³

*J. O. Oh¹, #S. H. Yoon(shyoon@kumoh.ac.kr)², C. H. Lee³, J. Y. Kim³, D. W. Bae³

¹ 금오공과대학교 기계공학과, ² 금오공과대학교 기계공학부, ³ 코오롱 인더스트리

Key words : GRP pipe, Long-term Life Prediction, Sustained internal pressure,

1. 서론

GRP(Glass Reinforced Plastic) 복합관은 1948년에 등장하여 1960년대부터 상하수도 관에 적용되기 시작하였다. 이후 1971년 연속 필라멘트 와인딩(CFW)공법의 개발로 인해 급속한 보급이 이루어지고 있다.

강관, 콘크리트관, 주철관등과 같은 기존 파이프들이 부식에 의한 수질 악화와 교체시기가 짧는데 비해 GRP 복합관은 우수한 내부식성으로 수질 악화에 대한 염려가 없고 해수환경과 같은 부식 환경에서도 적용이 가능하다. 또한 기존의 관들에 비해 경량이고 유연성을 가지고 있어 연약지반에서 부등침하, 지진에 의한 파손에 강하며 이송 또는 설치 시 중장비가 필요 없어 공사기간의 단축이 가능하다. GRP 복합관은 50년이라는 긴 수명으로 인해 기존 파이프들에 비해 교체시기가 길고 뛰어난 수밀성으로 누수의 염려가 적어 유지 관리비가 적게 소요된다. 그리고 GRP 복합관은 내부 라이너층, 강화층, 코아층, 외부 보호층으로 구성되어 보강섬유의 배열형태와 코아층의 두께에 따라 다양한 역학적 특성을 만들어 낼 수 있기 때문에 원하는 요구조건을 충족할 수 있는 설계가 가능하다. 그러나 GRP 복합관은 콘크리트관이나 강관, 주철관들에 비해 상하수도의 적용 실적이 많지 않고 신뢰성 확보를 위한 연구 인프라가 미비하여 적용에 제한을 받고 있다.

본 연구에서는 GRP 복합관의 구조적 안전성에 대한 신뢰성을 확보하기 위한 방안으로 지속적인 내압환경 조건에서의 파손압력 변화를 평가하고 이를 통해 50년 이후의 복합관의 파손압력을 예측하고자 한다. GRP 복합관의 50년 이후의 파손압력 예측을 위해서는 몇 가지 방법이 제시되어 있지만 본 연구에서는 ASTM D2992를 근거하여 복합관의 장기 수명예측을 수행하였다[1].

2. 시험 방법

Fig. 1은 GRP 복합관의 구조로서 내부 라이너층과 구조층, 강화층, 외부 보호층으로 구성되어 있다. 내부 라이너는 수송 유체에 의한 부식을 방지하고 조도 계수가 높아 수송 효율을 향상시킨다. 강화층과 코아층은 GRP 복합관의 설계요구조건을 만족하는 구조적 강도와 비원강성을 제공한다. 본 연구에서 적용되어진 시편은 내경이 400mm이고 압력등급이 1.6MPa인 GRP 복합관을 1500mm 길이로 절단하여 제작하였다. GRP 복합관을 제작하기 위해 CFW(Continuous filament winding)공법을 적용하였다.

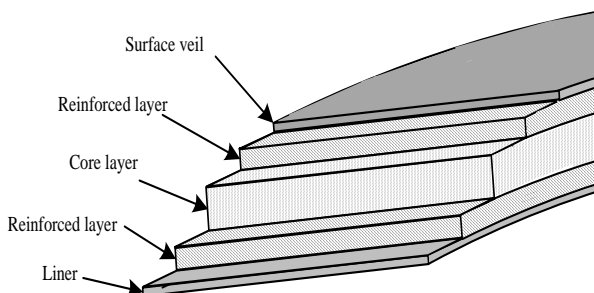


Fig. 1 Configuration of GRP pipe.

Fig. 2에는 GRP 복합관에 10000시간 동안 지속적인 내압을 가해 주는 시험 장치가 나타나 있다. 내압 시험장치의 관 끝은 3개의 O-Ring에 의해 수밀을 유지할 수 있도록 하였다. 그리고 관 내부에 스틸 파이프를 삽입하여 고압에서 파괴가 발생할 경우 적은 양의 물이 유출되어 위험을 줄일 수 있도록 하였으며 관의 양 끝단을 지지하여 원주방향으로만 압력이 작용하고 축방향으로는 압력이 작용되지 않도록 하여 일축 방향의 힘만 GRP 복합관에 전달되도록 하였다. 시편 내부에 압력을 올려주기 위해 가압펌프를 사용하여 물을 채웠다.



Fig. 2 Experimental set-up for long-term internal pressure test.

지속적인 내압을 받는 GRP 복합관의 수명예측을 위해서는 10000시간 동안 최소 18개 시편의 파손압력과 파손시간이 필요하다.[2]. 이때 파손시간의 분포는 Table 1에 제시된 조건을 만족하여야 한다. 본 연구에서는 시편들에 가해지는 압력을 달리하여 규정된 시간에 파손이 발생하도록 조절하였다. 파손시간의 분포를 조절하였다. 시험 진행 중 내부압력은 $\pm 1\%$ 내로 유지되어야 하며 내부 압력의 변화가 $\pm 2\%$ 이상이거나 육안으로 파손이 관측될 경우 파손으로 판정하였다. 그러나 복합관의 끝단 마개의 67mm 이내에서 누수가 발생하면 파손압력이 95% 하한 신뢰한도를 만족할 경우 파손 데이터에 포함시키고 이러한 조건을 만족하지 않으면 파손 데이터에 포함시키지 않았다. 모든 시편들의 파손시점은 40시간 이내의 오차한도를 가지도록 하였다.

Table 1 Failure time distribution.

Failure time (hr)	Min. number
10 to 1000	At least 4
1000 to 6000	At least 3
After 6000	At least 3
After 10000	At least 1
- At least 18 specimens	

본 연구에서는 시험을 통해 얻어진 결과들을 ASTM D2992의 Annex A1에 언급된 회귀분석법에 적용하여 GRP 복합관의 50년 이후의 파손압력을 예측하였다[2]. 이때 10000시간 이후에도 파손되지 않은 시편들을 파손압력 예측에 적용 할 경우에는 10000시간에서의 압력을 파손압력으로 가정하여 50년 이후의 파손압력을 예측한다. 이후 파손이 발생 할때까지 시험을 수행하

여 복합관에서 파손이 발생하면 이때의 파손시간을 적용하여 파손압력을 예측하여야 한다. 본 연구에서는 10000시간 이후에도 파손되지 않은 시편들의 데이터는 파손압력 예측에서 제외하였다.

3. 시험결과

Fig. 3에는 지속적인 내압조건에서 6950시간에 파손된 시편의 시간에 따른 압력선도가 나타나 있다. 여기에서보면 시편에 가해지는 내압은 파손 직전까지 2% 이내로 일정하게 유지되며 시편은 파손 시점에서 급작스럽게 파손된다. 이때 파손은 관의 좌측 끝단에서 200mm 떨어진 부분에서 발생하였다.

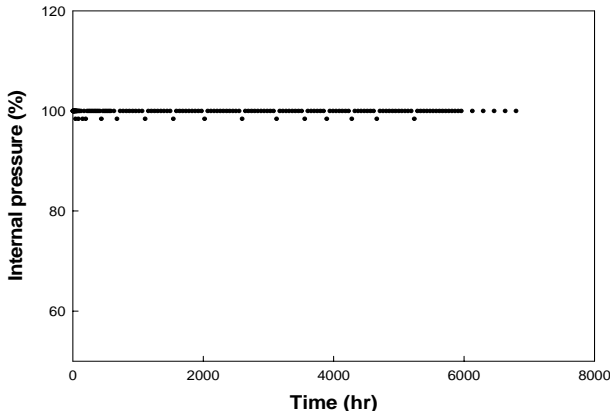


Fig. 3 Test result of sustained internal pressure test of failed specimen at 6954 hr.

Fig. 4에는 지속적인 내압조건에서 파손된 GRP 복합관의 시간에 따른 파손압력 변화가 나타나 있다. 여기에서보면 50년 이후의 파손압력을 예측하기 위해 적용되어진 시편의 갯수는 총 9개이며 파손시간의 분포는 1000시간 이하에서 4개의 시편이, 6000시간에서 10000시간 이내에서 5개의 시편이 파손되었다. 그리고 10000시간 이후 파손되지 않은 시편이 2개가 존재하며 이 결과들은 현시점에서 파손압력 예측에 포함시키지 않고 파손 후 기존의 예측 결과에 추가하게 된다. 1000시간에서 6000시간이내에서 파손된 시험결과들은 관 끝 마감부에서 누수가 발생하여 시험결과에서 제외하였다.

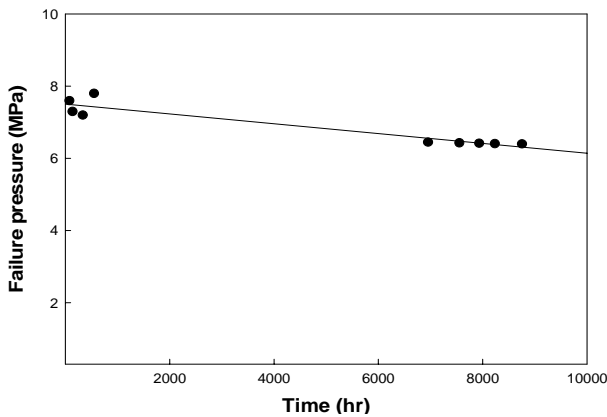


Fig. 4 Variations of failure pressure by varying exposure time in sustained internal pressure.

Fig. 5에는 지속적인 내압시험의 결과들과 회귀분석을 통해 구한 GRP 복합관의 50년 후의 파손압력이 나타나 있다. 여기에서 보면 파손시간과 파손압력을 로그스케일로 변환하고 회귀분석법을 통해 선형회귀직선을 구함으로써 50년 후의 파손압력을 예측하였다. 이때 회귀분석결과와 시험을 통해 얻은 데이터들의

적합도는 91.3%이다. 본 연구에서 예측한 50년 후에 GRP 복합관의 파손압력은 2.91MPa이다. 또한 외삽법으로 구한 초기 6분에서 파손압력에 대한 50년 후의 파손압력의 비인 회귀 비율은 26%이다.

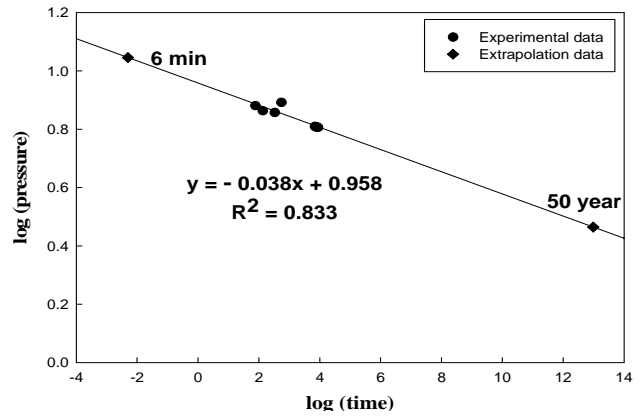


Fig. 5 Pressure at failure for sustained internal pressure test and the long-term extrapolation.

4. 결론

본 연구는 GRP 복합관의 수명 예측을 위한 연구로서 지속적인 내압조건에서 10000시간까지 시간에 따른 파손압력을 평가하여 50년 후의 파손압력을 예측하였다. 시험결과에 따르면 50년 후 파손압력은 2.91 MPa로 예측되었으며 국내 설치 규정집에서 제시하는 파손압력인 2.88 MPa를 만족한다. 또한 10000시간 이상의 시험결과들이 추가된다면 50년 후의 파손압력은 더 높아질 것으로 예측된다. 추후 재시험을 통해 1000시간에서 6000시간 사이에 파손 데이터들이 추가된다면 회귀분석을 통한 파손압력 예측값은 더 높은 신뢰도를 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. ASTM D 2992, "Standard Practice for Obtaining Hydrostatic of Pressure Design Basis for "Fiberglass"(Glass-Fiber-Reinforced Thermosetting-Resin) Pipe and Fittings," Annual Book of ASTM Standards, Vol.08.03, 1996.
2. KSM 3370, 수도용 플라스틱 배관계-불포화 폴리에스테르 수지 유리섬유 강화 플라스틱(GRP)-압력 및 비압력 배관, 한국표준협회, 2005.