

수치해석을 적용한 복합재관의 원강성 예측 연구 Study on Prediction of Ring Flexural Modulus for GRP Pipe using Numerical Analysis

*오진오¹, #윤성호¹, 황영은¹

*J. O. Oh¹, #S. H. Yoon(shyoon@kumoh.ac.kr)¹, Y. E. Hwang¹

¹금오공과대학교 기계공학과

Key words : Ortho-based Unsaturated Polyester, GRP pipe, Ring Flexural Test

1. 서론

기존의 널리 사용되고 있는 강관, 주철관, 시멘트관 등은 시간이 경과됨에 따라 필연적으로 노화가 발생하게 된다. 특히 금속관은 부식으로 인한 수질 악화가 가장 심각하며 수자원 보존과 활용에 있어서도 예기치 않은 문제를 유발하게 된다. 이러한 문제들로 인해 교체되어야 할 상하수도관이 엄청나며 교체에 따른 환경문제 및 비용부담은 매우 심각한 지경에 이르고 있다. 최근에는 기존관이 갖는 한계를 극복할 수 있는 새로운 개념의 관으로 GRP 복합재관이 개발되어 기존관을 빠르게 대체해 나가고 있다. 이러한 GRP 복합재관은 다층 및 다상의 복잡한 구조로 되어 있기 때문에 정량적인 기계적 특성 평가와 거동 예측에 어려움이 있어 적용에 제한을 받고 있다.

따라서 본 연구에서는 GRP 복합재관을 구성하고 있는 각 구조층들의 기계적 특성들을 정량적으로 평가하고 평가되어진 자료들을 근거하여 수치해석 프로그램인 Matlab을 통해 외력하에서 GRP 복합재관의 거동을 예측하였다. 또한 원강성 평가를 수행하여 수치해석 결과를 검증하였다.

2. 시편제작

Fig. 1에는 본 연구에서 적용된 GRP 복합재관의 단면 형상이 나타나 있다. GRP 복합재관은 내부 라이너층, 내부 강화층, 코아층, 외부 강화층, 외부 보호층으로 구성되며 CFW(Continuous Filament Winding)공법을 적용하여 제작 하였다[1]. 여기에서 맨드릴 직경, 보강층 두께, 코아층 두께를 적절히 조절하여 용도에 맞는 직경, 압력등급, 강성등급의 복합관을 제작하게 된다.

본 연구에서는 내경이 400mm, 압력등급이 1bar, 강성등급이 10000N/m²인 GRP 복합재관을 300mm

길이를 절단하여 시편을 제작하였다.

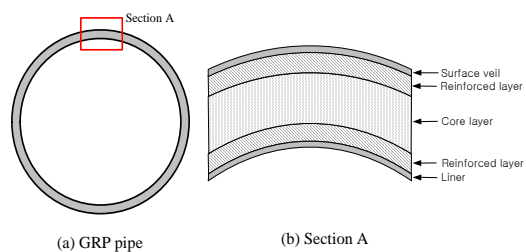


Fig. 1 Configuration of GRP pipe.

3. 수치해석

복합재 관은 내부에서부터 라이너층, 내부 강화층, 코아층, 외부 강화층, 외부 보호층으로 구성되지만 이론적 구조해석을 위해 역학적 특성에 가장 영향을 미치는 내부 강화층, 코아층, 외부 강화층만으로 구성된 것으로 가정하였다. 내부 강화층 및 외부 강화층은 Ortho-based 불포화 폴리에스터 수지에 함침된 유리섬유가 와인딩 공법에 의해 원주 방향을 배향되어 있기 때문에 직교이방성을 나타내며 코아층도 마찬가지로 모래, 단섬유 형태의 유리섬유, 불포화 폴리에스터 수지의 혼합물로 구성되어 직교이방성을 갖는 것으로 단순화하였다. 본 연구에서는 GRP 복합재관에 대한 복합적층관 이론식이 적용된 수치해석을 통해 GRP 복합재관의 공학상수를 도출하고 하중-변형 선도를 예측하였다[2].

4. 원강성 평가

Fig. 2에는 GRP 복합재관의 원강성을 평가하기 위한 시험장치 및 시험방법이 나타나 있다. 여기에서 하중은 만능재료시험기(Z100/Zwick, Germany)를 이용하여 12.3mm/min로 변위제어방식으로 가

하게 된다. 원강성 평가는 ISO 9969와 ASTM 2412에 의거하여 수행하였다[3].

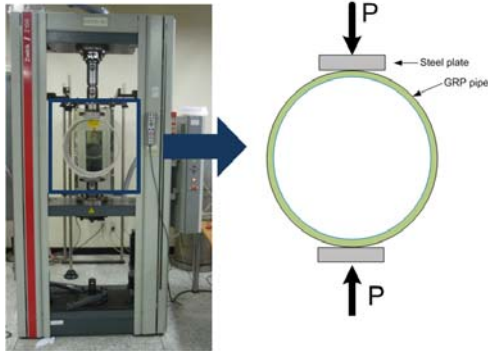


Fig. 2 Test set up of ring flexural test for GRP pipe.

5. 결과 및 종합

Fig. 3에는 GRP 복합재관의 원강성 시험과 이론에 의한 하중-변형 선도가 나타나 있다. 이론해석 결과는 적층판 이론을 적용하여 수치해석을 통해 계산되었으며 입력 데이터로 시편의 형상 및 탄성계수를 적용하였다. 이때 R은 내부 강화층과 외부 강화층의 두께, C는 코아층의 두께이다. 이론에 의해 변형에 따른 하중을 예측하기 위해 수치해석을 통해 얻은 GRP 복합재관의 공학상수 중 파이프의 원주방향 굽힘 탄성계수를 적용하였다. 이론에 의한 하중-변형 선도는 원강성 시험결과에 대해 3가지 경우를 고려하였다. 이는 GRP 복합재관의 두께층 단면을 보면 내부 강화층, 코아층, 외부 강화층 그리고 코아 사이의 층간이 명확하게 구분되지 않아서 총 두께를 고정하고 내부 강화층, 코아층, 외부 강화층의 각 두께를 3가지 경우로 설정하여 계산하였다. 하중-변형 선도를 살펴 보면 내부 강화층과 외부 강화층의 두께가 커질수록 변형에 대한 하중이 점차적으로 증가함을 알 수 있다. 마찬가지로 코아층의 두께가 작아질수록 변형에 대한 하중이 점차적으로 감소함을 알 수 있다. 시험 결과와 비교해 보면 초기 변형 구간에서 이론 결과는 실제 거동과 유사한 결과를 나타내지만 큰 변형에서는 다소 큰 편차를 나타냄을 알 수 있다. 이는 이론결과가 복합적층판의 특성이 선형적이라고 가정하였지만 원강성 시험 결과에서는 강화층에 비해 작은 강성을 가진 코아층이 큰 변형에서 강화층보다 먼저 파손이 일어나기 때문에 초기 변형

구간을 지나면 하중-변형 선도가 비선형적으로 나타나 이론에 의한 선도와 차이를 나타내는 것으로 판단된다.

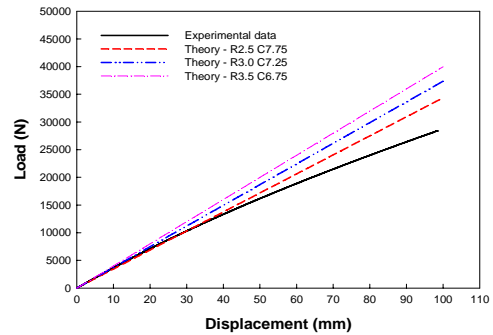


Fig. 3 Experimental and theoretical results of ring flexural test.

6. 결론

GRP 복합재관에 대해 고전적층판 이론을 적용하여 작용하는 외력에 따른 변형을 이론적으로 구하고 원강성 시험을 통해 얻은 하중-변형 결과와 비교하였다. GRP 복합재관에 비교적 큰 하중이 작용하면 코아층의 파손으로 인해 이론에 의한 결과와 오차가 있지만 적은 변형 범위에서는 시험 결과와 유사한 양상을 나타내었다. 따라서 GRP 복합재관을 구성하는 내부 강화층, 코아층, 외부 강화층이 각각 다양한 두께를 가지더라도 이론적 접근을 통해 GRP 복합재관의 원강성을 쉽게 예측할 수 있다.

참고문헌

1. American Water Works Association, "Manual of water works supply practices M45", Second Edition, Fiberglass Pipe Design, 2004.
2. ASME, "2007 ASME boiler and pressure vessel code", American Society of Mechanical Engineers, 2007.
3. ASTM D2412-02, "Standard test methods for determination of external loading characteristics plastic pipe by parallel-plate loading", Annual Book of ASTM Standards, Vol.08.03, 2002.