폴리머 모르터 원형관의 역학적 특성

Mechanical Property of Polymer Mortar Pipes

연 규석* 함 형길** 김 관호*** 김 성순***
Yeon, Kyu-Seok Ham, Hyung-Gil Kim, Kwan-Ho Kim, Sung-Soon

ABSTRACT

The circular pipe was developed using polymer mortar. Pipe (inside diameter=170 mm and length=1,000 mm) was made to evaluate structural performance. The average failure load for the pipes which were reduced its thickness by 41 to 44 % was 2,000 kg which was higher than that of conventional concrete pipe of the same size. Reinforcement using glass fiber fabric highly increased the failure load, up to 9,500 kg.

1. 서 론

최근 폴리머 콘크리트가 고성능 재료로 평가됨에 따라 건설산업 분야에서 많은 관심을 불러 일으키고 있을 뿐만 아니라, 그 이용기술 또한 비약적인 발전을 가져오고 있다.

특히, 폴리머와 골재를 조합시켜 제조되는 폴리머 콘크리트는 종래의 시멘트 콘크리트에 비해 용도에 따라 경화시간 및 가사시간을 제어할 수 있고, 조기에 고강도의 발현이 가능하다. 뿐만 아니라, 폴리머 콘크리트는 시멘트 콘크리트보다 수밀성, 접착성, 내식성, 내마모성 등 물리적 특성 및 압축, 인장 및 휨강도 등 역학적 특성도 대단히 뛰어나다. 이와 같은 장점 때문에 신건설재료인 폴리머 콘크리트를 이용한 제품의 실용화를 위한 연구가 다양하게 이루어지고 있다.

기존의 하수도용 관은 흄관, PVA관, 도관 등이 주류를 이루는데, 흄관은 산에 약하고, PVA관은 구부러지기 쉽고, 도관은 취성에 약한 문제점을 가지고 있다.

이에 비해 신소재인 폴리머 콘크리트는 내약품성이 좋고, 고강도이기 때문에 다목적용 원형관의 제조에 매우 유리하다.

본 실험연구에서는 폴리머 모르터를 이용하여 무보강 원형관과 직조 유리섬유 보강 원형관을 제작하여 각각의 역학적 특성을 구명코저 한다.

2. 실험계획

가. 재료 및 시험체 제작

폴리머 모르터의 배합은 소정의 워커빌리티와 강도를 얻을 수 있는 범위 내에서 골재와 충전재의 양을 최대로 하고 결합재인 폴리머의 양을 최소화 하는 것이 가장 이상적이다. 이와 같은 최적 배합비는 결정 방법이 시멘트 콘크리트와 같이 정립되어 있지 않으므로, 본 연구에서는 연구진이 개발한 결과를 이용하였다.

원형관 제작에 사용된 폴리머 모르터 제조에는 결합재로서 불포화 폴리에스터 수지, 골재는 홍천강에서 채취한 강모래, 충전재는 탄산칼슘 그리고 보강재는 직조유리섬유를 사용하였다. 배합비는 불포화 폴리에스터 수지 14.4

* 강원대학교 농공학과 교수
** 밀양산업대학 토목공학과 교수
*** 강원대학교 농공학과 대학원
*** 강원대학교 농공학과 대학원

%, 수축감소제 1.6 %, 충전재 12.6 %, 세골재 71.4 % 이었다.

비빔에는 소형 믹서를 사용하였고, 진동은 탁상식 바이브레이터(3,000 vpm)로 하였다. 진동시간은 기포를 최소화하기 위해 약 10분 정도로 하였으며, 온도 25±3℃, 습도 50~60 % 인 실험실에서 기건양생 하였다.

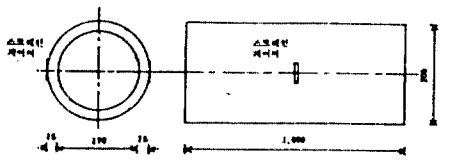

그림 1. 무보강 폴리머 모르터 원형관 시험체 (단위:mm)

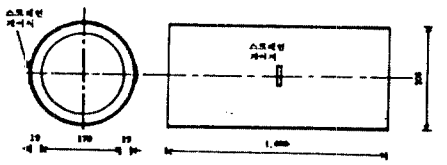

그림 2. 직조 유리섬유 보강 폴리머 모르터 원형관 시험체 (단위:mm)

본 실험에서는 그림 1, 그림 2와 같이 유효길이 1,000 mm, 내경 170 mm, 두께 15 mm인 무보강 원형관과 같은 치수에 직조유리섬유를 2층으로 보강함으로써 두께 4 mm를 추가한 두께 19 mm인 시험체를 제작하였다.

나. 실험방법

원형관의 강도시험은 KS F 4404(무근 콘크리트관)에 따라 외압강도 시험체를 받침대 위에 수평으로 놓고 상부 및 하부에 두께 2 mm인 고무판과 150×150 mm인 각목을 설치하여 외압강도를 측정하였다. 이 때 하중은 그림 3에 나타낸 바와 같이 시험체에 균일하게 분포되도록 하여 연직으로 시험체가 파괴될 때까지 20 kgf/sec의 속도로 가하였다.

원형관의 휨인장 변형도와 원형관 안쪽의 처짐은 하중이 500 kgf씩 증가할 때마다 LVDT와 연결된 Data Logger로 측정하였다.

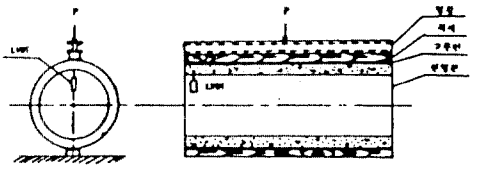

그림 3. 원형관의 외압강도 시험

3.실험결과 및 고찰

가. 무보강 원형관

(1) 외압하중-처짐 관계

외압하중에 대한 원형관의 변형을 알아보기 위해 원형관 안쪽에 LVDT를 설치하여 처짐을 측정 하였던 바, 그 결과는 그림 4와 같다.

이 결과에서 파괴하중까지의 처짐은 불과 0.8 mm 정도로 나타났으며, 처짐이 거의 없다가 갑자기 파괴를 일으키는 취성파괴 양상을 나타냈다. 즉, 극한하중 2,000 kgf에서 초기균열과 파괴가 거의 동시에 일어 났다. 이를 그림 4에서 살펴보면, 하중이 2,000 kgf 일 때 파괴가 발생하지 않고 1,900 kgf 으로 하중이 감소되면서 파괴됨을 알 수 있다. 이것은 파괴직전 모멘트가 A점보다 B점에서 더 크게 작용하므로, B점에서 균열이 발생하여 하중이 감소된 후 A점 바깥면에서 균열이 발생하여 파괴가 일어남을 보여주는 결과라 하겠다.

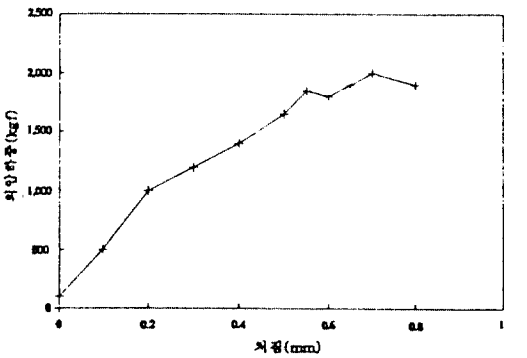

그림 4. 무보강 원형관 B점의 하중-처짐 관계

(2) 휨모멘트-변형도 관계

무보강 폴리머 모르터 원형관에 외압하중을 가했을 때, A점에서의 모멘트-변형도의 관계는 그림 5와 같다. 일반적으로 B점의 휨모멘트가 A점의 휨모멘트에 비해 더 크게 나타나지만 스

트레인 게인지의 부착에 문제가 있어 B점의 휨 모멘트-변형도의 관계를 나타내지 못하였다. A점의 휨모멘트는 그림 6과 같이 0.182 Pr 로 계산되었는데 극한 휨모멘트는 약 3,367 kg·cm/m 정도로 나타났다. 그림 5에서 알 수 있듯이 휨모멘트가 약 3,000 kg·cm/m 정도에서 변형도가 갑자기 커지는 것으로 보아 외압하중에 의해 상부에서 먼저 균열이 일어난후 계속해서 외압하중과 휨모멘트가 커지다가 3,367 kg·cm/m 에서 A점의 균열과 함께 곧 파괴가 일어났으며, 이 때의 변형도는 717×10^{-6}이었다.

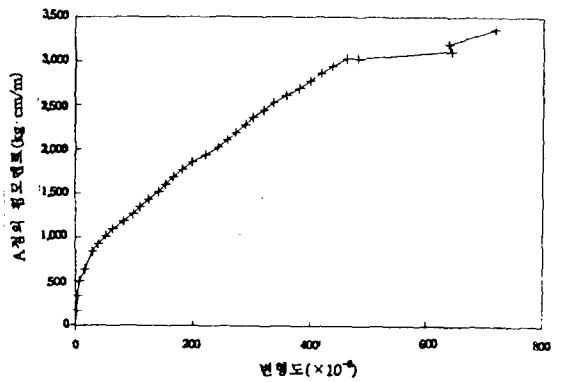

그림 5. 원형관에서 A점의 휨모멘트-변형도 관계

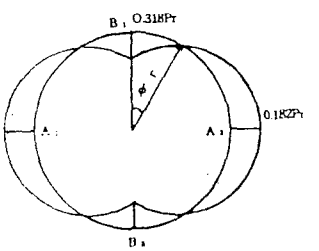

그림 6. 원형관에 작용하는 모멘트

(3) 외압강도

본 실험에서 제작한 무보강 폴리에스터 폴리머 모르터 원형관의 외압강도는 약 2,000 kgf/m 로 나타났다. 이는 KS F 4404(무근 콘크리트관)에 규정된 외압강도(내경 150 mm 일 때 2,500 kgf/m, 내경 200 mm 일 때 2,200 kgf/m)보다는 작았으나, 살 두께가 각각 26, 29 mm 임을 감안해 볼 때, 단위두께당 외압강도는 매우 높음을 알 수 있었다.

(4) 파괴 양상

무보강 폴리머 모르터 원형관의 파괴양상은 그림 7에서 볼 수 있듯이 B점에서 균열이 미리 발생한 후, 곧 A점에서도 균열이 발생하면서 파괴되는 것으로 나타났다. 파괴는 정확하게 원형관이 4조각이 나면서 일어났는데, 그 이유는 사용 재료가 인성이 강한 폴리머 모르터로 되어 있고, 최대 모멘트의 작용점이 B와 A점으로 되어있기 때문이라 사료된다.

초기균열이 B점에서 먼저 나타나는 이유는 B점의 모멘트가 A점보다 커서 B점에서 소성힌지가 형성된 후 A점에도 형성되기 때문이다. 그러나 초기균열과 파괴는 거의 동시에 발생되어 취성파괴 양상을 보였다.

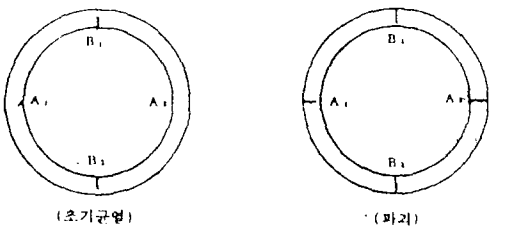

그림 7. 무보강 원형관의 파괴 양상

나. 직조유리섬유 보강 원형관

(1) 외압하중-처짐 관계

직조유리섬유를 2층으로 보강한 폴리머 모르터 원형관의 하중-처짐 관계는 그림 8과 같다. 보강 원형관의 하중-처짐 곡선에서 살펴보면 처짐량이 약 17 mm 정도로 상당히 컸으며, 외압강도는 약 9,500 kgf로 매우 높게 나타났다. 이와 같이 처짐과 외압강도가 큰 것은 균열이 발생 하더라도 폴리머 모르터 원형관의 외부를 직조유리 섬유로 보강하고 있기 때문에 서서히 인장측 직조유리섬유가 항복하면서 원형관의 파괴를 가져오기 때문이다.

또한 그림 8의 하중-처짐 관계에서 보면 외압하중 3,400 kgf 부근에서 항복됨을 알 수 있는데 이는 초기균열의 발생에 기인하는 것으로 생각된다.

%, 수축감소제 1.6 %, 충전재 12.6 %, 세골재 71.4 % 이었다.

비빔에는 소형 믹서를 사용하였고, 진동은 탁상식 바이브레이터(3,000 vpm)로 하였다. 진동시간은 기포를 최소화하기 위해 약 10분 정도로 하였으며, 온도 25±3℃, 습도 50~60 % 인 실험실에서 기건양생 하였다.

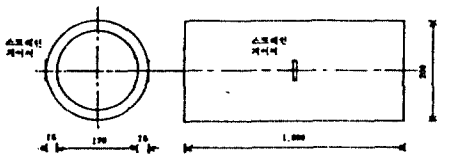

그림 1. 무보강 폴리머 모르터 원형관 시험체 (단위:mm)

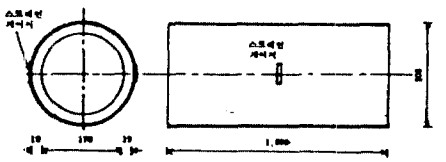

그림 2. 직조 유리섬유 보강 폴리머 모르터 원형관 시험체 (단위:mm)

본 실험에서는 그림 1, 그림 2와 같이 유효길이 1,000 mm, 내경 170 mm, 두께 15 mm인 무보강 원형관과 같은 치수에 직조유리섬유를 2층으로 보강함으로써 두께 4 mm를 추가한 두께 19 mm인 시험체를 제작하였다.

나. 실험방법

원형관의 강도시험은 KS F 4404(무근 콘크리트관)에 따라 외압강도 시험체를 받침대 위에 수평으로 놓고 상부 및 하부에 두께 2 mm인 고무판과 150×150 mm인 각목을 설치하여 외압강도를 측정하였다. 이 때 하중은 그림 3에 나타낸 바와 같이 시험체에 균일하게 분포되도록 하여 연직으로 시험체가 파괴될 때까지 20 kgf/sec의 속도로 가하였다.

원형관의 휨인장 변형도와 원형관 안쪽의 처짐은 하중이 500 kgf씩 증가할 때마다 LVDT와 연결된 Data Logger로 측정하였다.

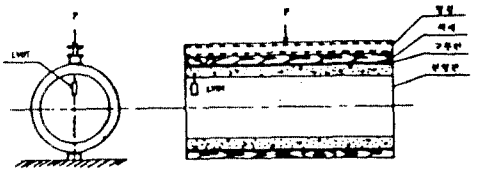

그림 3. 원형관의 외압강도 시험

3.실험결과 및 고찰

가. 무보강 원형관

(1) 외압하중-처짐 관계

외압하중에 대한 원형관의 변형을 알아보기 위해 원형관 안쪽에 LVDT를 설치하여 처짐을 측정 하였던 바, 그 결과는 그림 4와 같다.

이 결과에서 파괴하중까지의 처짐은 불과 0.8 mm 정도로 나타났으며, 처짐이 거의 없다가 갑자기 파괴를 일으키는 취성파괴 양상을 나타냈다. 즉, 극한하중 2,000 kgf에서 초기균열과 파괴가 거의 동시에 일어 났다. 이를 그림 4에서 살펴보면, 하중이 2,000 kgf 일 때 파괴가 발생하지 않고 1,900 kgf 으로 하중이 감소되면서 파괴됨을 알 수 있다. 이것은 파괴직전 모멘트가 A점보다 B점에서 더 크게 작용하므로, B점에서 균열이 발생하여 하중이 감소된 후 A점 바깥면에서 균열이 발생하여 파괴가 일어남을 보여주는 결과라 하겠다.

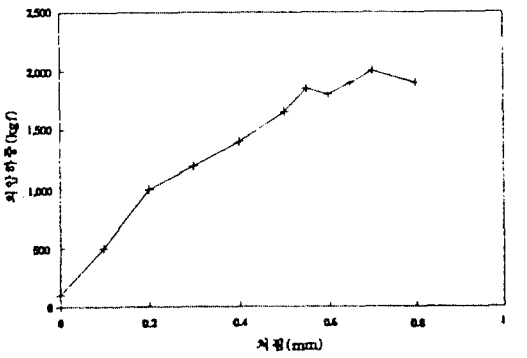

그림 4. 무보강 원형관 B점의 하중-처짐 관계

(2) 휨모멘트-변형도 관계

무보강 폴리머 모르터 원형관에 외압하중을 가했을 때, A점에서의 모멘트-변형도의 관계는 그림 5와 같다. 일반적으로 B점의 휨모멘트가 A점의 휨모멘트에 비해 더 크게 나타나지만 스

트레인 게인지의 부착에 문제가 있어 B점의 휨 모멘트-변형도의 관계를 나타내지 못하였다. A점의 휨모멘트는 그림 6과 같이 0.182 Pr 로 계산되었는데 극한 휨모멘트는 약 3,367 kg·cm/m 정도로 나타났다. 그림 5에서 알 수 있듯이 휨모멘트가 약 3,000 kg·cm/m 정도에서 변형도가 갑자기 커지는 것으로 보아 외압하중에 의해 상부에서 먼저 균열이 일어난후 계속해서 외압하중과 휨모멘트가 커지다가 3,367 kg·cm/m 에서 A점의 균열과 함께 곧 파괴가 일어났으며, 이 때의 변형도는 717×10^{-6}이었다.

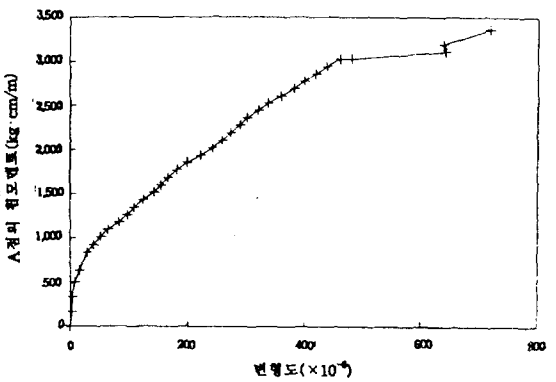

그림 5. 원형관에서 A점의 휨모멘트-변형도 관계

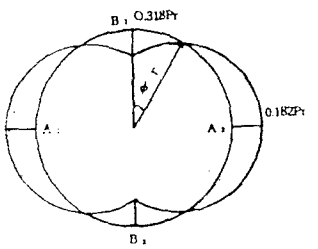

그림 6. 원형관에 작용하는 모멘트

(3) 외압강도

본 실험에서 제작한 무보강 폴리에스터 폴리머 모르터 원형관의 외압강도는 약 2,000 kgf/m 로 나타났다. 이는 KS F 4404(무근 콘크리트관)에 규정된 외압강도(내경 150 mm 일 때 2,500 kgf/m, 내경 200 mm 일 때 2,200 kgf/m)보다는 작았으나, 살 두께가 각각 26, 29 mm 임을 감안해 볼 때, 단위두께당 외압강도는 매우 높음을 알 수 있었다.

(4) 파괴 양상

무보강 폴리머 모르터 원형관의 파괴양상은 그림 7에서 볼 수 있듯이 B점에서 균열이 미리 발생한 후, 곧 A점에서도 균열이 발생하면서 파괴되는 것으로 나타났다. 파괴는 정확하게 원형관이 4조각이 나면서 일어났는데, 그 이유는 사용 재료가 인성이 강한 폴리머 모르터로 되어 있고, 최대 모멘트의 작용점이 B와 A점으로 되어있기 때문이라 사료된다.

초기균열이 B점에서 먼저 나타나는 이유는 B점의 모멘트가 A점보다 커서 B점에서 소성힌지가 형성된 후 A점에도 형성되기 때문이다. 그러나 초기균열과 파괴는 거의 동시에 발생되어 취성파괴 양상을 보였다.

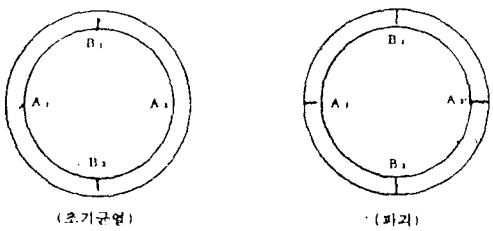

그림 7. 무보강 원형관의 파괴 양상

나. 직조유리섬유 보강 원형관

(1) 외압하중-처짐 관계

직조유리섬유를 2층으로 보강한 폴리머 모르터 원형관의 하중-처짐 관계는 그림 8과 같다. 보강 원형관의 하중-처짐 곡선에서 살펴보면 처짐량이 약 17 mm 정도로 상당히 컸으며, 외압강도는 약 9,500 kgf로 매우 높게 나타났다. 이와 같이 처짐과 외압강도가 큰 것은 균열이 발생 하더라도 폴리머 모르터 원형관의 외부를 직조유리 섬유로 보강하고 있기 때문에서서히 인장측 직조유리섬유가 항복하면서 원형관의 파괴를 가져오기 때문이다.

또한 그림 8의 하중-처짐 관계에서 보면 외압하중 3,400 kgf 부근에서 항복됨을 알 수 있는데 이는 초기균열의 발생에 기인하는 것으로 생각된다.

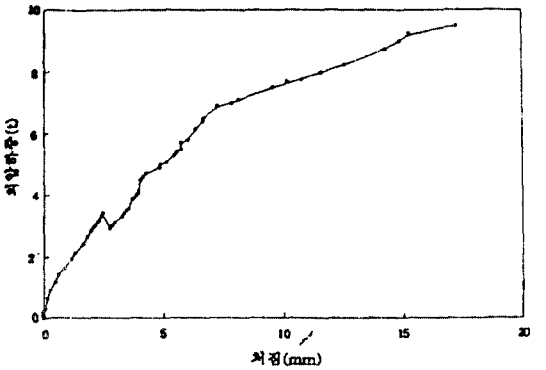

그림 8. 직조 유리섬유 보강 원형관에서 B점의 하중-처짐 관계

(2) 휨모멘트- 변형도 관계

직조유리섬유 보강 원형관의 휨모멘트-변형도 관계는 그림 9와 같다. 그림 9에서 알 수 있듯이 A점의 휨모멘트가 약 5,847 kg·cm/m일 때 항복이 일어났으며, 그 후 모멘트가 계속 증가해서 파괴점에 도달함을 알 수 있었다. 파괴시의 극한 변형도는 $9,750\times10^{-6}$으로서 비교적 크게 나타났다. 이 결과의 특징은 변형도가 무보강 원형관 보다 훨씬 크게 나타났다는 점으로서, 이것은 직조유리섬유 보강에 기인한 것이라 할 수 있다.

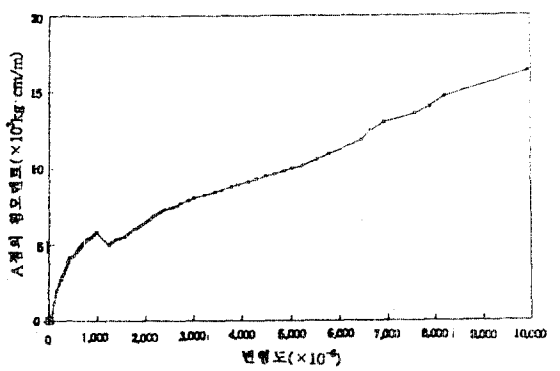

그림 9. 직조 유리섬유 보강 원형관에서 A점의 휨모멘트-변형도 관계

(3) 외압강도

직조유리섬유 보강 폴리머 모르터 원형관의 외압강도 시험은 KS F 4401(철근콘크리트 관), KS F 4403(원심력 철근콘크리트 관)에 제시된 규정에 준하여 실시 하였다. 철근콘크리트 관의 직경이 150, 200 mm(두께는 각각 24, 27 mm) 일 때 균열강도는 각각 900, 1,000 kgf/m 정도로 나타났다. 파괴강도는 위와 같은 칫수일 때 철근콘크리트 관이 1,700, 1,800 kgf/m이며, 원심력 철근콘크리트관(1종)이 4,800 kgf/m인데 비해, 본 연구에서 개발한 직조유리섬유 보강 폴리머 모르터 원형관의 파괴강도는 9,500 kgf/m 정도로 매우 높게 나타났다.

(4) 파괴양상

직조 유리섬유 보강 폴리머 모르터 원형관의 파괴양상은 그림 10과 같다. 여기서 B점의 초기균열은 외압하중이 약 3,400 kgf일 때 나타나며, 그 후 계속해서 하중을 증가시키면 직조유리섬유에 변형이 크게 일어나면서 파괴가 일어났다.

이 때 극한하중 즉, 외압강도는 약 9,500 kgf으로 나타났다. 그러나, 무보강 원형관에서와 달리 취성파괴가 발생하지 않고 처짐이 계속 증가하다가 B점 균열후 A점 바깥면의 직조유리섬유에 균열이 점차적으로 커지면서 파괴점에 도달하였다. 특히, 내부 콘크리트 부분이 파괴된 후에도 완전붕괴가 일어나지 않았으며, 하중을 제거하면 외형이 원상으로 회복 되었다. 그 이유는 원형관 외부에 직조유리섬유가 강하게 부착 되었을 뿐 아니라, 이것이 프리스트레스 효과를 발휘하기 때문인 것으로 판단된다.

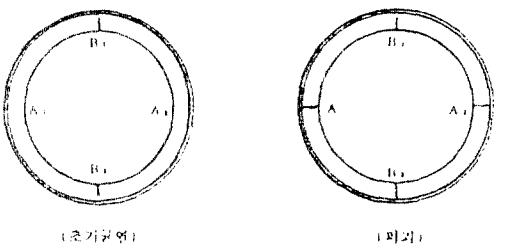

그림 10. 직조 유리섬유 보강 원형관의 파괴양상

4. 결 론

본 연구는 폴리머 모르터 원형관의 역학적 특성을 구명하기 위하여, 유효길이 1,000 mm, 내경 170 mm, 두께 15 mm인 폴리머 모르터 원형관을 제작하여 무보강의 경우와 직조유리섬유 보강의 경우에 대한 역학적 특성을 실험적으로 구명한 것으로서, 연구를 통해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 내경 150 mm, 두께 26 mm인 무근 콘크리트 원형관의 파괴강도가 2,500 kgf/m 인데

비해, 폴리머 모르터 원형관은 내경이 170 mm, 두께 15 mm 임에도 외압강도가 2,000 kgf/m에 달함으로써 폴리머 모르터 원형관은 강도가 매우 높은 것으로 나타났다.

2) 직조 유리섬유로 보강된 폴리머 모르터 원형관의 외압강도는 9,500 kgf/m로서 내경 200 mm, 두께 27 mm인 철근콘크리트 관의 파괴강도가 2,800 kgf/m인 것과 비교해 볼 때 3.3 배에 달하였다.

3) 폴리머 모르터 원형관의 저항 휨모멘트는 보강의 경우 무보강의 경우에 비해 약 4.8배 높아 직조유리섬유의 보강효과가 매우 큼을 알 수 있었다.

4) 앞으로 이 분야에 대한 연구가 꾸준히 이루어져 다양한 칫수의 원형관이 개발되고 공장 제품화도 이루어진다면, 공업용, 상·하수도용, 관개배수용 등은 물론 특히 도로나 철도횡단, 해안매립지에서와 같이 고도의 내구성이 요구되는 구조물에 효과적으로 이용될 수 있을 것이다.

참고 문헌

1) ACI Committee 548, "Guide for the Use of Polymers in Concrete", Journal of ACI, Vol. 83, No. 5, 1986, pp. 798-829.

2) Bentur. A, "Fiber Reinforced Cementitious Composites", Elsvier Applied Science, 1990, pp. 1-163.

3) Fowler. D. W, "Current Status of Polymers in Concrete", Proceedings of the ICPIC '87, PP. 3-7.

4) 전근표, "직조 유리섬유로 보강된 폴리에스터 폴리머 모르터 보의 휨파괴 거동", 강원대학교 대학원 석사학위 논문, 1993.

5) Kawakami, M., Tokuda, H. and Kagaya, M., "Design of Composite Pipe using Polymer Mortar and Expansive Concrete", Proceedings of the sixth ICPIC, Shanghai, China, 1990, pp. 548-555

6) Kawakami, M., Kagaya, M. and Tokuda, H.,"Ultimate Strength Design of Reinforced Concrete Curverd Members", Transactions of the Japan Concrete Institue, 1979.

7) 김득만 역저, "상하수도 공학", 기공사, 1992.

8) 김태경, "폴리에스터 폴리머 콘크리트의 파괴및 피로 거동", 강원대학교 대학원 석사학위 논문, 1993