

프리캐스트 프리스트레스트 콘크리트 부재의 정착부 국부응력 특성에 관한 실험 연구

(A Study on the Anchorage Local Stress Characteristics
of Precast Prestressed Concrete Beams)

오 병 환* 임 동 환** 양 인 환*** 박 상 현***
Oh, Byung Hoan Lim, Dong Hoan Yang, In Hoan Park, Sang Hyun
장 석 훈*** 유 승 운**** 김 종 한****
Jang, Seok Hun Yu, Seung Woon Kim, Jong Han

요 약

세그멘탈 교량에 포스트 텐서닝 힘을 도입할때 발생하는 가장 큰 문제는 균열의 발생이다. 이러한 균열은 실제 구조물의 강도감소 뿐 아니라, 이 균열은 염분 및 수분 침투의 통로가 되어, 부식 및 동결손상의 주원인이 되어 구조안전도에 큰 문제를 유발한다.

본 연구는 국부 집중 하중을 받는 프리스트레스트 정착부의 응력분포 특성을 규명하고, 국부집중응력으로 인한 균열 발생 요인을 규명하여, 균열발생방지방안 및 그 대책을 강구함에 그 근본 목적이 있다. 이를 위하여 텐던에 대한 형상, 국부보강방식, 단일 및 복수텐던의 영향, 구조보강 철근량에 따른 콘크리트 내부 변형도 및 균열양상을 도출하기 위해, 부재를 제작하여 실험을 실시하여 균열의 양상 및 균열발생 원인을 조사하고, 그 구체적 보강방안을 찾고자 한다.

ABSTRACT

Several precast prestressed concrete bridges with post-tensioning anchorage zones have experienced large cracks along the tendon path in the anchorage zones at the design stressing loads. Cracking of this nature provides a path for penetration of moisture and salts and thus presents a potential corrosion and frost damage threat.

This study was performed to investigate the local stress distribution characteristics of precast prestressed concrete beams. For this purpose, Experimental study has been conducted and the primary variables are tendon shape, arrangement of structural reinforcement and the types of anchorage zone reinforcement. The local stress distributions and cracking behavior at anchorage zones are explored and characterized.

- * 서울대학교 토목공학과 부교수
- ** 서울대학교 대학원 박사과정 수료
- *** 서울대학교 대학원 석사과정
- **** 삼성종합건설 기술연구소

투의 통로가 되어, 부식 및 동결손상의 주원인이 된다. 그리고 균열로 인한 프리스트레스트 힘의 손실이 유발되어 교량의 장기처짐을 초래할수 있다. AASHTO, ACI, PCI 등의 정착부 설계규준은 공표된 자료가 아닌 독점적 자료에 근거하고 있으며, 최근 많은 현장경험 및 연구를 토대로 기존의 설계규준이 개정·보완되어야 한다는 보고가 있다. 특히 얇은 복부에 포스트 텐션을 가할경우, 또한 텐던의 편심 및 경사가 많은 경우에는 기존의 설계규준은 미흡함이 여러 연구에서 나타났다. 따

1. 서론

세그멘탈 교량에 포스트 텐서닝 힘을 도입할때 발생하는 가장 큰 문제는 균열의 발생이다. 이러한 균열은 실제 구조물의 강도감소 뿐 아니라, 이 균열은 염분 및 수분 침

라서 정착부의 응력집중 현상을 파악·검토하여 균열방지 보강방안을 수립하고, 시공시 발생하는 정착부의 균열을 사전에 방지할 필요가 있다.

본 연구에서는 프리스트레스 정착구의 역학적 응력상태를 규명하고, 정착부 국부응력 해석에 관한 기존의 연구내용을 고찰하며, 프리스트레스 정착구의 광범위한 실험을 통하여 정착부의 응력의 분포특성, 균열의 발생 및 이로 인한 정착부의 파괴 양상, 정착부의 보강방안 등을 규명하고자 한다.

이를 위하여, 현재 시공중인 북부간선도로의 실제 세그먼트의 상부 플랜지와 하부 버트레스를 실제 크기로 모델링 하여 부재를 제작 하였으며, 정착부 파괴거동에 직접적인 영향을 미치는 실험변수를 선정하여 실험을 실시하고, 유한요소 해석 프로그램을 이용하여 본 실험에서 얻은 결과와 비교·검토하였다. 위의 실험적 연구와 이론적 방법으로 정착부의 구체적인 파괴양상 및 이에 대한 보강방안 등이 수립될 것으로 사료된다.

2 정착부의 역학적 응력상태

2.1 파열응력(bursting stress)

프리캐스트 프리스트레스 콘크리트 세그멘탈 교량의 정착부에 프리스트레스 힘이 도입되면, 텐던의 경로를 따라서 갑작스런 균열이 발생하며, 이 균열을 발생시키는 하중의 크기는 정착판의 크기 즉 하중 재하면적의 크기 뿐만 아니라, 텐던의 편심, 경사도, 곡률등에 의해서도 영향을 받는다. 또한 정착구의 형상과 정착구의 국부보강 철근 및 구조보강 철근등도 균열을 발생시키는 하중의 크기에 크게 영향을 미친다.

유한 직사각형 평면에 국부집중 하중이 도입되면 하중 재하점 바로 아래에서는 높은 압축응력이 발생하지만, 하중작용점에서 조금 떨어진 곳에서는 인장응력이 발생한다. 위와같이 하중재하 방향으로 수직으로 작용하는 응력의 분포를 파열응력의 분포라

2.2 박리응력(spalling stress)

프리스트레스 정착부에 높은 프리스트레스 힘이 도입되면, 재하방향에 직각으로 콘크리트의 단부에서 인장응력이 발생하며, 이러한 인장응력을 박리응력이라 부른다. 이 박리인장응력은 하중재하면에서 최대이고, 재하면에서 내부로 들어갈 수록 급격히 감소하는 경향이 있다. 이러한 박리 인장응력의 크기가 합은 파열 인장응력에 비해 상대적으로 작고 국부적으로 발생하기에 정착부설계에서 종종 무시되어 왔다. 그러나 최대 박리응력 값은 파열응력보다 클수 있고, 때에 따라서는 파열인장 응력이 콘크리트 허용응력 이하인데도, 박리인장응력의 작용에 의해 텐던경로를 따라 균열이 발생할 수 있는 것으로 밝혀졌다. 파열인장 응력과 마찬가지로 박리 인장응력의 분포도 텐던의 편심, 경사도, 단면비등의 기하학적인 인자에 의해 많이 좌우된다.

2.3 지압응력 (bearing stress)

정착부에서의 최대압축응력은 정착판 아래에서 발생하며, 평균지압응력은 하중을 정착판의 순단면적으로 나누면 되고, 이때 순단면적은 지압판의 면적에서 텐던덕트의 면적을 뺀 면적이다.

미국이나 우리나라 시방서에서는 파열인장응력이나 박리인장응력에 대해서는 이들을 검토해볼 필요가 있다고 하는 정도로만 막연한 규정을 두고 있으나, 지압응력에 대해서는 허용지압응력을 설정하여 엄격히 규제하고 있다. 또한 미국시방서는 대부분의 유럽시방서에 비해 허용지압응력값이 상당히 낮았는데, 우리나라의 경우도 미국과 같은 규정을 두고 있다. 이는 매우 안전측이므로 앞으로 연구해야할 문제라고 사료된다.

3. 프리스트레스 정착부의 국부응력 특성 및 보강방안을 위한 실험

본 실험은 국부 집중 하중을 받은 프리스트레스 정착부의 응력분포 특성을 규명하고, 국부집중응력으로 인한 균열 발생 요인을 규명하여, 균열발생방지방안 및 그 대책을 강구함에 그 근본 목적이 있다. 이를 위하여 텐던에 대한 형상, 국부보강방식, 단일 및 복수텐던의 영향, 구조보강 철근량에 따른 콘크리트 내부 변형도 및 균열양상을 도출하기 위해, 부재를 제작하여 실험을 실시하여 균열의 양상 및 균열발생 원인을 조사하고, 그 구체적 보강방안을 찾고자 한다.

실험방법은 VSL ZPE-460/31 인장기로 하중을 단계별로 증진시켜가며 콘크리트 내부의 응력 및 철근의 응력을 Data Acquisition System을 통하여 조사하며, 균열의 양상 및 균열폭, 균열 간격을 단계별로 조사해간다. 프리스트레스 힘의 도입은 균열이 발생하기 전 약 180t까지는 20t씩 단계적으로 증진시키다가, 균열 발생이후 8t씩 증가시켜 극한 상태까지 가함으로써, 프리스트레스 국부 집중하중으로 인한 정착부의 파괴거동을 고찰한다.

본 연구에서는 콘크리트 내부에서 발생하는 변형도 및 응력도를 명확히 규명하기 위하여, 그림1과 같이 매설 게이지를 파열 인장응력(Bursting Stress)이 가장 크게 발생하는 부위 즉 텐던을 따라가며 설치하였고, 프리스트레스 도입 힘에 직각방향으로 단부에서 발생하는 박리 인장응력(Spalling Stress)을 측정하기 위하여 설치 하였다.

또한 그림 2와 같이 프리스트레스 도입 힘에 주철근으로 작용하는 도입하중에 직각 방향의 철근에 철근 게이지를 부착하여 균열이 발생하기 전뿐 아니라, 균열이후에 철근이 부담하는 응력의 정도를 측정하였고, 위에서 측정된 응력을 기초하여, 균열 및 파괴 하중을 규명하고자 한다. 그리고 표면의 콘크리트 게이지를 부착하고, 콘크리트의 내부 게이지로부터 얻어지는 스트레인과 비교 분석하여, 내, 외부간의 응력 및 변형도차이를 검토하였다. 이렇게 함으로서 균열의 내, 외

부전과 양상을 규명 할 수 있다.

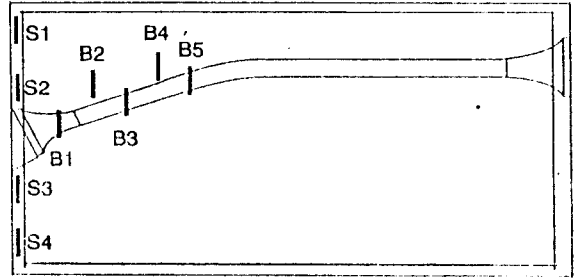


그림 1 매설게이지 설치도

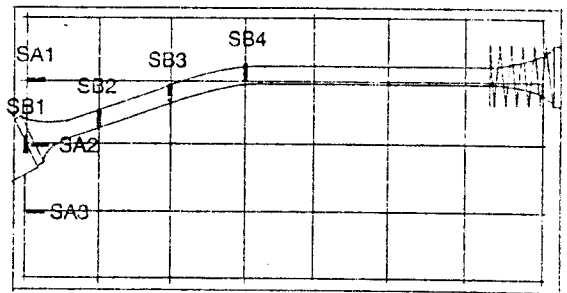


그림 2 철근게이지 부착도

4. 실험결과

정착부의 국부집중 하중으로 인한 정착부의 파괴양상은, 직선 곡선 공히 텐던의 경로를 따라가며 균열이 발생하며 하중이 증가하면서 단부의 측면에서 경사균열(Diagonal Crack)이 발생한다. 초기 균열이 출발점은 정착판의 폭만큼 떨어진 곳에서 발생하며, 충분히 보강이 안된 곡선텐던 부재의 경우 텐던의 최대 곡률점까지 균열은 급격하게 진전한다.

또한 직선텐던 부재인 경우, 300t내외에서 곡선텐던 부재의 경우 약 210t정도에서 초기균열이 발생하였으며(그림3) 내부 파열 인장 변형도 및 박리인장 변형도 역시 곡선텐던 부재인 경우 크게 발생하며, 최대 파

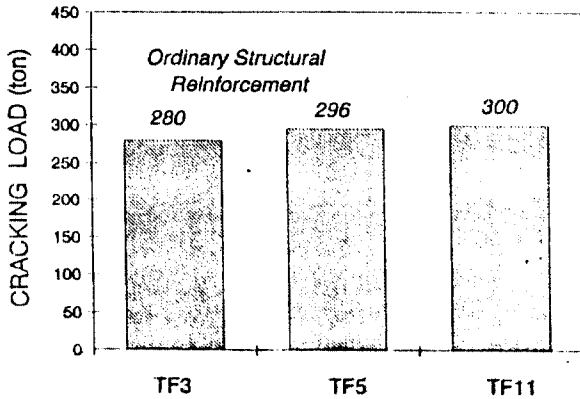


그림 3 직선텐던 부재의 초기 균열하중

열 인장 변형도는 곡선텐던 부재가 직선텐던 부재의 경우보다 약 2배 이상 크게 발생하는 것으로 나타나 곡선텐던의 경우 텐던 설치 각도가 작아야 하며, 이러한 경우 균열하중에 대한 고려를 하여야 한다.

국부보강의 형태는 나선형이 가장 좋으며, 나선형 국부보강 철근의 길이는 최대 파열 인장응력이 발생하는 지점 즉 정착판에서 약 30cm 이상의 길이로 보강되어야 한다. 또한 국부집중 하중은 정착판에 분포되어 전달되기 때문에 나선보강 철근의 직경은 정착판 폭의 길이와 같은 것이 좋으며, 이때에 집중 하중을 구속하는 효과가 크다.

구조보강 철근이 전혀 보강되지 않은 경우에, 균열하중은 국부보강이 전혀 안된 직선 부재보다 Spiral 국부보강이 된 경우에 약 10%가 증진되었고, 곡선텐던 부재의 경우 약 5%내외의 증진효과가 발생하였다. 따라서 Spiral 국부보강 효과는 곡선 텐던의 경우보다 직선 텐던이 설치된 경우 더욱 큰 것으로 사료된다.

또한 내부의 구조보강 철근 역시 국부보강에 상당한 효과가 있으며, 직선텐던 부재의 경우 균열하중에 대해 17%의 증진효과가 있으며, 곡선텐던 부재의 경우 14.3%의 증진효과가 발생하였다. 따라서 실제로 활하중 및 사하중에 저항하기 위한 구조보강 철근은 국부보강에 상당한 효과가 있으며, 구조보강 철근비 및 국부보강 방식을 적절히 혼용함으로써 국부 정착부위의 균열을 적절히 제어할 수 있다.

5. 결론

1. 프리스트레스 정착부에 프리스트레스 힘이 도입되면, 정착부 내부의 응력분포는 파열인장, 발리인장응력 및 지압응력 등에 의해 지배된다.

2. 국부집중 하중으로 인한 정착부의 파괴양상은 직선 곡선 공히 텐던의 경로를 따라가며 균열이 발생하며 하이 증가하면서 단부의 측면에서 경사균열(Diagonal Crack)이 발생한다. 초기 균열이 출발점은 정착판의 폭만큼 떨어진 곳에서 발생하며, 충분히 보강이 안된 곡선텐던 부재의 경우 텐던의 최대 곡률점까지 균열은 급격하게 진전한다.

3. 국부보강의 형태는 나선형이 가장 좋으며, 나선형 국부보강 철근의 길이는 최대 Bursting 인장응력이 발생하는 지점 즉 정착판에서 약 30cm 이상의 길이로 보강되어야 한다.

4. 구조보강 철근은 국부집중 하중으로 인한 균열의 제어에 유용하며, 구조보강 철근비 및 국부보강 방식을 적절히 혼용함으로써 국부 정착부위의 균열을 적절히 제어할 수 있다.

참고 문헌

1. Stone, W.C., and Breen, J.E., "Analysis of Post-tensioned Girder Anchorage Zones," Research Report 208-1, Center for Transportation Research, The University of Texas, Austin, April 1981.
2. Stone, W.C., Paes-Filho, W. and Breen, J.E., "Behavior of Post-tensioned Girder Anchorage Zones," Research Report 208-2, Center for Transportation Research, The University of Texas, Austin, April 1981.
3. Stone, W.C., and Breen, J.E., "Design of Post-tensioned Girder Anchorage Zones," Research Report 208-3F, Center for Transportation Research, The University of Texas, Austin, June 1981.