

프리캐스트 프리스트레스트 콘크리트 교량 구조물의 정착부 설계에 관한 연구

Anchorage Zone Design of Precast Prestressed Concrete Bridges

임동환* 오병환** 김수석***
Lim, Dong Hwan Oh, Byung Hwan Kim, Soo Seok

요 약

프리캐스트 프리스트레스트 콘크리트 구조물의 정착부에 프리스트레스 힘이 도입되면, 과도한 국부 집중 하중으로 인하여 균열이 발생할 수 있으며, 최근 이러한 구조물 건설시 텐던을 따라가며 심각한 균열이 발생한 경우가 있다. 본 논문은 프리캐스트 프리스트레스트 콘크리트 구조물의 정착부에 발생하는 국부집중응력의 분포 특성을 규명하고, 정착부 보강 형태에 따른 국부응력 효과를 규명하여 합리적인 정착부 설계 개념을 제시함에 목적이 있다. 이를 위하여 정착부 형태에 따른 역학적 거동 실험 및 해석 연구가 수행되었다. 위의 연구 결과 나선형 보강철근이 극한 및 균열하중에 대한 저항능력이 가장 우수함이 집중응력 분포 특성을 고찰함으로써 나타났으며, 정착부의 파괴기구, 정착부 보강 설계를 위한 기본 개념 및 그 방법이 제시되었다.

Abstract

The purpose of the present study is to explore the effects of local reinforced type and to suggest reliable failure mechanism and the design criteria on the anchorage zones of the precast prestressed concrete bridges. To accomplish these objectives, a comprehensive experimental and analytical study has been conducted. From this study, the cracking and ultimate load capacities for spirally reinforced anchorage zone are found to be larger than those for orthogonal reinforced anchorage zone. This indicate the effectiveness of spiral reinforcement in controlling the cracking. And realistic failure mechanism and design criteria of prestressed anchorage zones based on the present study are suggested.

Keywords : Design criteria of prestressed anchorage zones, Failure mechanism, Stress distributions of Prestressed anchorage zones

* 정희원, 동서대학교 도시공학부 토목공학과 전임강사, 공학박사

** 정희원, 서울대학교 공과대학 토목공학과 교수

*** 정희원, 동서대학교 도시공학부 토목공학과 교수, 공박

• 본 논문에 대한 토의를 1996년 8월 30일까지 학회로 보내 주시면 1996년 10월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

1. 서 론

프리캐스트 세그멘탈 콘크리트 구조물의 정착관에 프리스트레스 힘이 도입될 때 발생하는 가장 큰 문제는 균열의 발생이다. 실제로 1973년 미국 Texas주의 Corpus Christi 프리캐스트 프리스트레스트 콘크리트 박스거더 세그멘탈 교량에 텐던을 따라가며 심한 균열이 발생하여 한때 공사가 중단된 경우가 있었으며, 몬트리얼 올림픽 경기장 시공 시에도 슬래브와 얇은 복부에서 비슷한 형태의 균열이 발생하였다. 우리 나라에서도 서울 도시 순환도로 시공시 이러한 균열이 발견되었다.

이러한 균열은 실제 구조물의 강도 감소 뿐 아니라, 염분 및 수분 침투의 통로가 되어 부식 및 동결 손상의 주원인이 되기 때문에 구조물에 심각한 손상을 줄 수 있다. 그러나 AASHTO, ACI 및 PCI 등의 프리스트레스 정착부 설계 규준은 비교적 큰 정착부를 갖는 직선텐던 콘크리트 구조물에 있어서는 그 적용이 가능하지만 얇은 복부에 포스트 텐션을 가할 경우, 또한 텐던의 편심 및 경사가 많은 경우에는 기존의 설계 규준은 미흡함이 여러 연구에서 나타났으며, 최근 많은 현장경험 및 연구를 토대로 기존의 설계 규준이 개정·보완되어야 할 필요가 있음이 밝혀졌다. 또한 위의 기준들은 주로 프리스트레스 힘에 의한 지압응력을 근거로 한 것으로서, 정착부 내부에서 발생하는 인장응력을 고려하고 있지 않으며, 미국 Texas Austin 대학등 일부에서는 이에 대한 연구를 수행하였으나 현재까지 국부 집중응력으로 인한 내부응력들의 발생 및 그 상호관계 등이 명확히 밝혀지고 있지 않은 실정이다.

일반적으로 프리스트레싱의 방법은 외부프리스트레싱(External Prestressing) 및 내부프리스트레싱(Internal Prestressing)으로 분류되며, 내부프리스트레싱의 경우 텐던은 2차원 혹은 3차원적으로 배치되기 때문에 균열이 텐던의 곡률로 인하여 급격하게 전파하는 특성을 가지게 된다.

따라서 본 연구에서는 내부프리스트레스 정착부의 역학적 응력상태를 규명하고, 프리스트레스 정착부에 대한 광범위한 실험 및 이론 연구를 토대로 정착부 보강 형태에 따른 국부응력 분포특

성, 균열의 발생 및 이로 인한 정착부의 파괴 양상, 파괴기구 개념 제시 및 정착부 설계기법등을 규명하고자 한다.

2. 정착부의 역학적 응력상태

2.1 파열응력 (bursting stress)

프리스트레스 힘이 정착관에 도입되면 정착관 선단에서는 높은 압축응력이 유발되며, 부재 내부로 들어가면서 인장응력이 발생한다. 이와같이 재하방향을 따라서 이 재하방향에 직각으로 작용하는 응력의 분포를 '파열응력'이라 부른다. 이러한 파열응력은 텐던의 반경 방향으로 발생하는 응력과 텐던반경방향의 직각 방향으로 발생하는 응력으로 구분할 수 있으며, 본 연구에서는 전자를 반경 방향 파열응력(Radial bursting stress), 후자를 접선방향 파열응력(Tangential bursting stress)으로 정의하였다. 그림1은 이들의 응력의 분포상태를 도시한 것으로서 지금까지의 대부분의 연구자들은 반경방향 파열응력에 관심을 가져 접선방향 파열응력을 전혀 고려하지 못하였으며, 따라서 정착부의 역학적 기구 등을 명확히 설명할 수가 없었다.

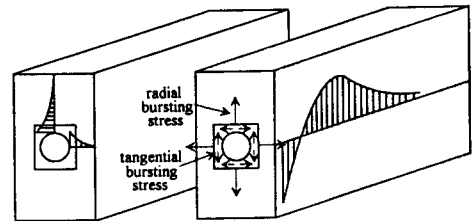


그림 1 반경방향 파열응력(Radial bursting stress) 및 접선방향 파열응력(Tangential bursting stress)분포상태

2.2 박리응력(spalling stress)

프리스트레스 정착부에 높은 프리스트레스 힘이 도입되면, 재하방향에 직각으로 콘크리트의 단부에서 인장응력이 발생하며, 이러한 인장응력을 박리응력이라 부른다. 이 박리인장응력은 하중재

하면에서 최대이고, 재하면에서 내부로 들어갈 수록 급격히 감소하는 경향이 있다. 이러한 박리 인장응력 크기의 합은 파열 인장응력에 비해 상대적으로 작고 국부적으로 발생하기에 정착부설계에서 종종 무시되어 왔다. 그러나 최대 박리응력 값은 파열응력에 비해 상대적으로 클 수 있으며 박리응력은 파열응력과 조합하여 또다른 형태의 균열을 유발할 수도 있다.

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 검토해 볼 필요가 있다고 하는 정도로만 막연한 규정을 두고 있으나, 지압응력에 대해서는 허용지압응력을 설정하여 엄격히 규제하고 있다.

3. 프리스트레스 정착부의 국부응력 특성 및 보강 방안을 위한 실험

3.1 실험변수

본 실험에서 채택된 실험변수는 텐던의 형상(직선텐던, 곡선텐던), 국부보강방식, 구조보강 철근

표 1 실험변수 및 부재의 기호

Identification of Test Member	Number of Tendon	Tendon Shape	Type of Anchorage Reinforcement	Arrangement of Structural Reinforcement
W-SC A0-R0	Single	Curved	None	None
W-SS A0-R1	Single	Straight	None	Ordinary
W-SC A0-R1	Single	Curved	None	Ordinary
W-SS A1-R1	Single	Straight	Orthogonal	Ordinary
W-SC A1-R1	Single	Curved	Orthogonal	Ordinary
W-SS A1-R2	Single	Straight	Orthogonal	Dense
W-SC A1-R2	Single	Curved	Orthogonal	Dense
W-SS A2-R0	Single	Straight	Spiral	None
W-SC A2-R0	Single	Curved	Spiral	None
W-SS A2-R1	Single	Straight	Spiral	Ordinary
W-SC A2-R1	Single	Curved	Spiral	Ordinary

량 등이며, 위의 각 변수에 따른 균열 및 극한하중, 인장 변형도(strain), 철근의 변형도 및 국부보강 철근 효과 등을 규명하였으며 본 논문에서는 텐던의 경사각 및 국부보강 형태에 따른 위의 효과등을 구체적으로 서술하고자 한다. 또한 국부 집중 응력 분포특성 및 변형도의 분포를 파악하여, 균열발생 기구를 명확히 규명하고, 국부 집중 하중으로 인한 균열의 제어 및 균열발생 방지 방안을 찾고자 하였다. 표 1은 위의 실험변수 및 부재 기호를 도시한 것이다.

3.2 실험재료

(1) 콘크리트

본 연구에서 사용된 콘크리트는 현재 일반적으로 프리스트레스트 구조물에 널리 사용하고 있는 콘크리트를 사용하였으며, 28일 압축강도는 520kg/cm^2 이며, 시멘트는 3종시멘트를 사용하였다. 그리고 최대 골재 치수는 18mm이며 그 구체적인 배합비는 표 2와 같다.

표 2 콘크리트 배합표

Water Cement ratio(%)	Water (kg/m ³)	Cement (kg/m ³)	Sand (kg/m ³)	Aggregate (kg/m ³)	Migthy-150 (kg/m ³)
38	196	516	612	1,082	5.16

(2) Post Tensioning Anchors

본 실험에서 사용된 정착구는 VSL에서 시판 제도되는 EC type을 사용하였고 한개의 텐던에 19개의 seven-wire strand가 들어가는 19다발 텐던을 사용하였다. 쉬스는 직경 9cm인 철재금속쉬스를 사용하였다. 또한 anchor head는 직경 180mm인 VSL 제품을 사용하였다.

3.3 실험부재의 설계

그림 2는 본 시험에서 사용된 실험부재의 형상 및 매설개이지 위치를 도시한 그림으로서 본 실험 부재는 폭 40cm, 높이 120cm의 단면형상을 하는 직사각형 부재로서 부재의 길이는 정착부위 양단(dead end, live end)의 영향이 서로 교차되지 않게 하기 위하여 2.43m로 결정되었다.

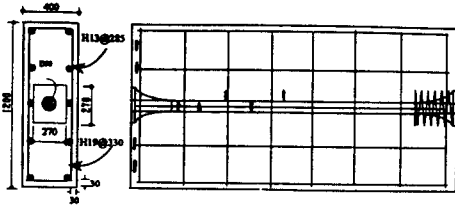


그림 2 본 시험에서 사용된 실험부재의 형상 및 게이지 매설위치

본 연구에서는 콘크리트 내부에서 발생하는 파열 변형도 및 박리 변형도를 명확히 규명하기 위하여 그림 2에서 보는 바와 같이 매설 게이지를 파열 응력이 가장 크게 발생하는 부위 즉 텐던을 따라가며 설치하였고, 특히 반경 방향 및 접선방향 파열응력을 동시에 측정하여 초기균열 발생의 절대적 인자를 고찰하고자 파열인장응력 측정을 위한 매설게이지를 그림에서와 같이 교대로 설치하였다. 그리고 프리스트레스 도입 힘에 직각방향으로 단부에서 발생하는 박리응력을 측정하기 위하여 그림에서 보는 바와 같이 설치하였다. 또한 프리스트레스 도입힘에 주철근으로 작용하는 도입 하중에 직각 방향의 철근에 철근 게이지를 부착하여 균열이 발생하기 전뿐 아니라, 균열 이후에 철근이 부담하는 응력의 정도를 측정하였고, 위에서 측정된 응력을 기초하여 균열 및 파괴하중을 규명하고자 하였다.

3.4 실험수행방법

본 실험 연구에서는 VSL ZPE-460/31 인장기로 하중을 단계별로 증진시켜 가며 콘크리트 내부의 응력 및 철근의 응력을 Data Acquisition System을 통하여 조사하였으며, 균열의 양상, 균열폭 및 균열 간격을 단계별로 조사하였다. 프리스트레스 힘의 도입은 균열이 발생하기 전 약 180t까지는 20t씩 단계적으로 증진시키다가, 균열 발생 이후 8t씩 증가시켜 극한 상태까지 가함으로써 프리스트레스 국부 집중하중으로 인한 정착부의 파괴 거동을 고찰하였다.

재하 시스템 및 재하방식은 고정단(dead end) 부분은 정착머리(Anchor Head)에 쐐기(Wedge)

를 꼽아 장치하고, 긴장단(live end)에서 위에서 서술한 바와 같이 단계적으로 하중을 증진시켰다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 정착부의 파괴 양상

정착부의 균열 발생 양상은 여러 가지 변수 등에도 불구하고 거의 일정한 양상을 보여주고 있다. 즉 직선 텐던 및 곡선텐던 등 텐던의 형상에 관계없이 텐던의 경로(Path)를 따라가며 균열이 발생하고, 대부분의 경우, 정착판의 폭만큼 떨어진 곳에서 초기 균열이 발생하여 텐던의 경로를 따라 점진적으로 발전하고 있다. 또한 프리스트레스 힘이 증가함에 따라 사인장 균열이 발생하며, 정착부 선단부가 취성파괴가 일어난다는 사실이 밝혀졌다.(그림 3)



그림 3 정착부의 파괴양상

4.2 텐던의 배치 형태에 따른 결과 비교 분석

4.2.1 균열 하중

표 3은 본 실험에서 사용된 직선텐던 및 곡선 단일 텐던부재의 균열하중을 나타낸 표로서 직선텐던 및 곡선텐던이 설치된 경우 직선텐던 보다 균열 하중이 80t 정도 낮게 나타나고 있다. 직선텐던의 경우 균열하중은 약 300t가까이에서 균열이 발생하지만, 곡선텐던의 경우는 220t가까이에서 균열이 발생함을 알 수 있다. 이는 곡선텐던 설치시

프리스트레스 도입힘이 경사로 들어가므로 수직 방향의 분력이 발생하여 인장응력의 발생이 상대적으로 많아지게 되고 따라서 더욱더 낮은 하중에서 균열을 발생시키게 된다.

표 3 텐던의 경사각에 따른 균열하중

Degree \ Case	0°	20°	Decrease (%)
No Anchorage Reinforcement	280	205	26.8
Orthogonal Anchorage Reinforcement	296	220	25.7
Spiral Anchorage Reinforcement	300	226	24.7

국부 보강 방식에 따른 텐던의 형상에 대한 균열하중의 변화가 그림 4에 도시되어 있으며, 이 그림으로부터 텐던의 각도 10가 증가함에 따라 직선 텐던부재의 균열하중의 1.3%가 떨어짐이 밝혀졌으며, 이것은 미국의 Breen의 실험 결과보다 약간 높게 나오고 있다.

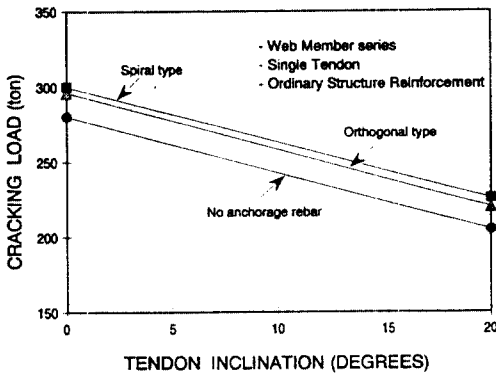


그림 4 국부보강 방식에 따른 텐던의 형상에 대한 균열하중의 변화

4.2.2 파열 변형도

그림 5는 직선텐던부재(W-SS-R1-A1)와 곡선 텐던 부재(W-SC-R1-A1)의 파열인장 변형도의 분포특성을 보여주고 있는 것으로서, 파열인장 변형도의 최대값은 정착단에서 20-30cm 떨어진 곳 즉 정착판의 폭만큼 떨어진 곳에서 나타나며, 부

재 내부로 갈수록 점 차 감소하는 경향을 보이고 있다. 이는 기존의 많은 연구 결과와 일치하며, 최대 인장변형도가 정착부의 균열에 절대적인 영향을 미치고 있음을 설명해 준다. 그림 5(a)는 정착판에서부터의 거리에 따른 반경방향 파열인장 변형도를 나타내고 있으며, 그림 5(b)는 접선방향 파열인장 변형도를 나타내고 있는데 이 두 그림을 비교해 볼 때 반경방향 파열인장 변형도 보다 접선방향 파열인장 변형도가 훨씬 크게 나타나며, 정착부 균열 발생의 직접적인 원인은 접선방향 파열인장 응력임을 알 수 있다. 기존의 많은 연구에서는 이러한 접선방향 파열인장응력을 전혀 고려하지 않고 정착부의 파괴를 설명하고자 하였기 때문에 정착부의 파괴 기구를 적절히 설명하지 못하였다.

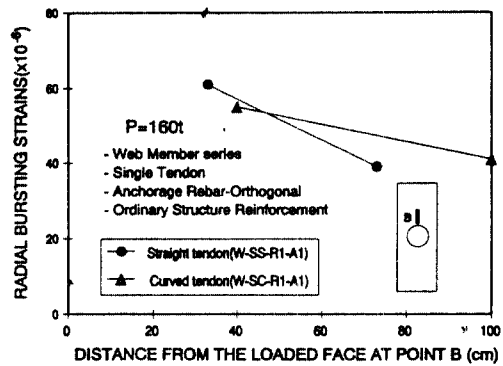


그림 5(a) 텐던의 경사각에 따른 반경방향 파열인장 변형도의 분포

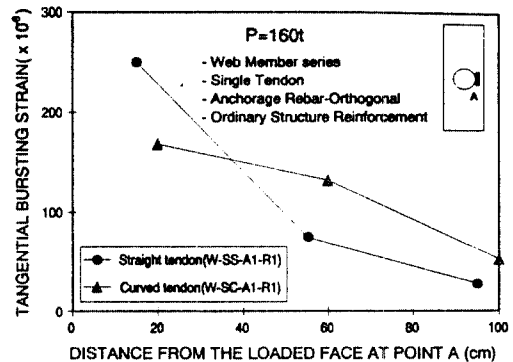


그림 5(b) 텐던의 경사각에 따른 반경방향 파열인장 변형도의 분포

4.3 국부보강 방식에 따른 결과 비교 및 분석

표 4는 구조보강철근이 없는 경우와 구조 계산에 의해 채택된 구조철근이 배근되었을때의 국부보강 형태에 따른 균열하중을 나타낸 것으로서, 나선형 철근이 균열의 제어 및 균열의 초기균열을 억제하는데 효과가 가장 좋음이 입증되었다. 구조철근이 보강된 경우에는 직선텐던의 경우는 약 1%, 곡선텐던의 경우는 10%의 증진 효과를 보이고 있으며, 나선형 보강철근은 직선텐던 부재보다는 곡선텐던의 경우 효과가 더 좋은 것으로 나타났다. 이것은 곡선텐던부재의 경우 텐던의 곡률로 인해 발생하는 응력을 나선형 철근이 적절히 제어하고 있기 때문인 것으로 사료된다.

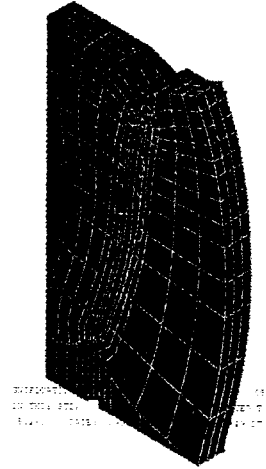


그림 6 곡선편심텐던부재의 유한요소망

표 4 국부보강 형태에 따른 균열하중의 변화

Members	Case	
	0°	20°
No anchorage reinforcement	280	205
Orthogonal anchorage reinforcement	296	220
Spiral reinforcement	300	226
Increase(%)	7.1	10

5. 프리스트레스 정착부의 비선형유한요소 해석 및 파괴기구

5.1 프리스트레스 정착부의 비선형 유한요소 해석

본 해석 연구에서는 현재 널리 사용되고 있는 구조해석 프로그램인 ABAQUS를 사용하여 3차원 비선형 해석을 수행하였다. 본 해석에서 사용된 부재는 실험 연구의 부재 크기와 같은 치수를 사용하여 실험치와 비교 분석도 동시에 행해졌으며 사용된 유한요소는 20절점을 가지는 3차원 솔리드요소(Solid Element)이다.

그림 6은 곡선편심텐던부재의 유한요소망을 보여주고 있는 것으로서, 정착부의 응력상태를 면밀하게 관찰하기 위하여 정착부위 및 텐던설치 부위의 요소망을 잘게 채택하였으며 프리스트레스 하중은 정착부에 등분포하중으로 작용하도록 해석하였다.

5.2 유한요소 해석 결과 및 분석

5.2.1 균열하중

본 해석에서 사용된 텐던의 배치 형상은 직선텐던, 5°-20°의 경사각을 갖는 곡선텐던이며, 표 5는 이러한 형상의 균열하중의 해석결과를 나타내고 있다.

표 5 텐던의 경사각에 따른 균열하중의 변화

Cover thickness t. (cm)	Width of anchor 2a'(cm)	Compressive stress σ_{ck} (kg/cm ²)	Width of section 2a(cm)	Eccentricity of tendon e. (cm)	Inclination of tendon θ . (degrees)	Cracking load P_{cr} (ton)
40	26.5	500	120	0	0	302
40	26.5	500	120	0	5	271
40	26.5	500	120	0	10	238
40	26.5	500	120	0	15	210
40	26.5	500	120	0	20	186

이 표에서 알수 있듯이, 균열하중은 텐던의 경사각이 커질수록 감소하는 것으로 나타났으며 직선텐던의 경우 균열하중은 302ton으로 나타났지만 경사각 20°의 곡선텐던부재의 경우 186ton의 균열하중을 보이고 있다. 이것은 전술한 바와 같이 텐던의 곡률로 인한 내부 인장응력의 발생때문인 것으로 사료된다.

그림 7은 본 연구에서 행한 실험결과와 유한요소해석으로 도출된 균열하중을 비교한 것으로서, 텐던이 경사각에 따른 균열하중의 변화를 나타내

고 있다. 이 결과로부터 실험결과 및 해석결과는 잘 일치하고 있음을 알 수 있으며, 해석 결과 텐던의 경사각도가 1°증가함에 따라 직선텐던부재 균열하중의 약 1.9%가 감소하는 것으로 나타났으며 이는 Breen의 결과보다 다소 큰 값이다.

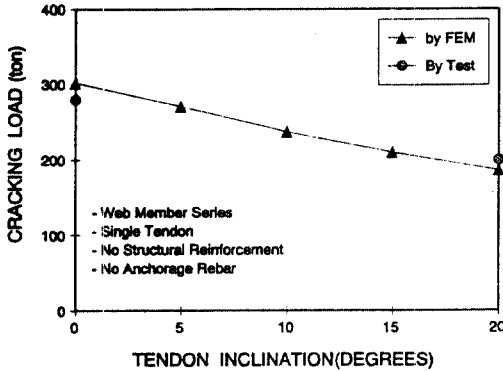


그림 7 실험결과와 유한요소해석으로 도출된 균열하중의 비교

5.2.2 국부응력 분포특성

그림 8은 텐던의 경사각에 따른 반경방향 파열인장응력의 분포를 도시한 그림으로서 최대응력은 모든 경우 공히 긴장단으로부터 25cm 부근에서 가장 크게 나타나며 이는 정착부의 초기균열의 위치와 잘 일치하고 있다(실험 결과 참조). 그림 9는 텐던의 경사각에 따른 접선방향 파열인장응력의 분포로서 접선 방향의 응력이 반경방향보다 크게 나타나며 이로부터 접선방향 파열인장응력이

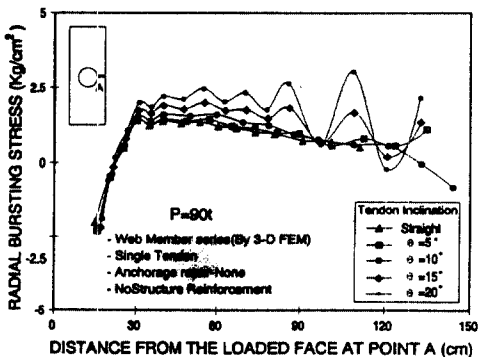


그림 8 텐던의 경사각에 따른 반경방향 파열인장 변형도의 분포(해석치)

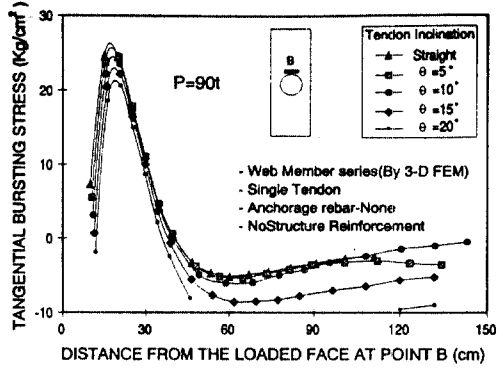


그림 9 텐던의 경사각에 따른 접선방향 파열인장 변형도의 분포(해석치)

초기균열의 결정적인 인자임이 밝혀졌다. 또한 텐던의 경사각이 커질수록 인장응력이 적게 나타나는 사실을 알 수 있다.

5.3 정착부의 파괴기구

5.3.1 정착부의 초기균열

표 6은 3차원 유한요소 해석에서 도출된 최대접선 및 반경방향파열인장 응력의 크기를 도시한 것으로서, 최대접선방향응력은 반경방향응력보다 훨씬 크게 나타나며, 이로부터 초기균열의 발생은 최대접선 파열응력으로 기인된다는 사실을 알 수 있다.

표 6 텐던의 경사각에 따른 3D 유한요소 해석결과

		Maximum values at p=90t tangential stress radial stress						
Geometric	Variables							
		t	2a	e	2a'	θ	$\sigma_{xx,B}$	$\sigma_{xx,A}$
20	120	0	26.5	0	24.69	16.98	3.51	1.42
-	-	-	-	5	24.45	17.06	2.81	1.44
-	-	-	-	10	23.54	17.55	0.63	1.06
-	-	-	-	15	22.24	20.72	1.59	2.00
-	-	-	-	20	20.64	30.19	-1.68	3.08

그러나 지금까지의 대부분의 연구자들은 접선방향 파열응력을 발견하지 못하고 반경방향파열응력이 텐던의 경로를 따라가는 초기균열의 원인이라 생각하여 정착부 초기균열 발생 원인을 설명할 수 없었으며, 미국의 Texas Austin대학에서는

파열인장응력이 정착부의 파괴의 직접적인 인자가 되지않는다고 지적하였다. 또한 Texas Austin 대학에서는 초기 균열에 대한 최종 파괴 원인 제공 인자는 파열인장응력에 의한 것이 아니라 박리응력(Spalling stress)이며, 파열응력은 균열의 부가적인 원인이라고 결론을 내리고 있다. 그러나 이는 본 연구와 일치되지 않으며, 본 연구결과 초기균열은 접선방향파열응력(Tangential Bursting Stress)에 의하여 발생하고 있으며, 이는 실험결과와 잘 일치하고 있다.

5.3.2 전단균열

프리스트레스 하중이 증가함에 따라 그림 10과 같이 정착부 인접부위에서는 높은 지압응력이 발생하고, 포와송(Poisson)의 효과로 인하여 하중의 수직 방향으로 압축응력이 발생하게 된다. 그러나 하중이 증가할수록 박리인장응력이 크게 발생하여 구속력이 급격하게 감소되어 최대전단응력면을 따라 그림과 같이 전단균열이 발생한다.

이러한 균열의 발생으로 인하여 정착부 선단에서는 썩기모양의 Shear Cone이 형성되며, 계속되는 압축응력으로 인한 경사균열이 발생한다. 최종적으로 이러한 경사균열을 포함한 정착부의 선단부가 취성파괴를 일으키게 된다.

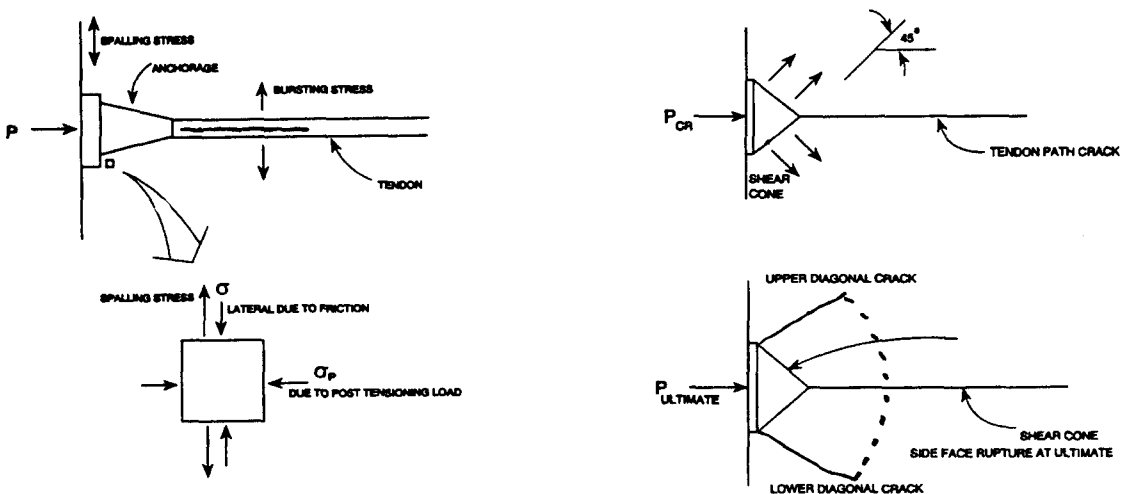


그림 10 정착부 파괴기구 개념

5. 프리스트레스 정착부 보강 설계기법

프리스트레스 정착부의 보강은 정착부 주변에서 발생하는 인장응력을 충분히 제어하므로써 초기균열을 제어하고, 균열에 대한 저항성을 높이도록 설계되어야 한다. 따라서 이러한 여러 제반 조건을 충분히 만족하기 위해서는 나선형 철근으로 보강하는 것이 다른 경우에 비해 유리함이 본 연구에서 밝혀졌으며, 본 장에서는 나선형 철근을 사용한 정착부 보강 설계 기법을 서술하고자 한다.

전술한 바와 같이 프리스트레스 힘이 정착판에 도입되면 텐던의 경로를 따라서 텐던반경 방향 및 접선방향으로 파열인장응력이 발생한다. 따라서 이러한 현상은 콘크리트 내부에서 내압이 발생하여 부재 내부에서 인장응력이 발생하는 경우와 동일한 경우로 취급할 수 있으며, 프리스트레스 정착부는 나선형 철근으로 보강된 콘크리트 기둥으로 생각할 수 있다. 그림 11은 일반적인 나선형 보강철근 기둥의 설계기법을 도시한 것으로서 내압에 의하여 발생된 콘크리트의 인장응력은 나선형 철근으로 충분히 저항하도록 설계되어야 한다. 이러한 인장응력 발생 양상은 정착부의 상태와 일치하며, 나선형 철근의 보강 방향은 접선방향 파열인장응력의 발생위치와도 일치하여 기존의 기둥

설계를 충분히 활용함으로써 정착부 보강방식을 결정할 수 있다.

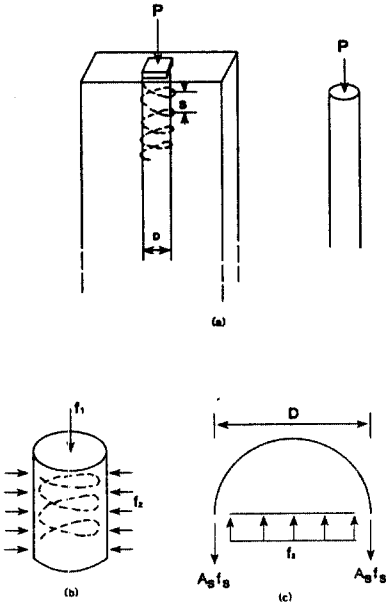


그림 11 정착부 보강설계기법

즉 내부에서 발생한 인장응력은 그림에서 보는 바와 같은 횡방향 구속응력 f_2 에 의하여 구속될 수 있으며, 다음의 식이 성립된다.

$$f_1 = 0.85f'_{ci} + 4.1f_2 \quad (1)$$

위의 횡방향 구속응력 f_2 는 나선형 보강철근에 의하여 얻어지며, 따라서 나선형 철근의 직경 D , 피치 s 를 포함하는 다음의 식이 성립된다.

$$f_2 D_s = 2A_{SP} f_s \quad (2)$$

따라서,

$$f_2 = 2A_{SP} \frac{f_s}{D_s} \quad (3)$$

가 된다. 여기서 f_2 는 프리스트레스 힘에 의한 집선방향 좌열인장응력의 크기로 생각할 수 있으며 또한 프리스트레스 힘이 도입될 때 좌열인장응력

은 텐던에 가장 인접한 부분에서 가장 크게 발생하며, 내부로 들어갈수록 급격하게 감소하는 경향이 있으므로, 나선철근의 직경은 피복두께가 허용하는 최소의 수치가 되어야 한다.

식 3은 식 1과 결합하여 다음의 식이 된다.

$$f_1 = 0.85f'_{ci} + 8.2A_{sp} \frac{f_s}{D_s} \quad (4)$$

이식을 프리스트레스 정착부에 적용하면, f_1 은 프리스트레스 힘을 정착판의 면적으로 나눈 지압응력이 되며, 따라서 설계 프리스트레스 도입률이 결정되면 정착부 보강 철근의 설계가 이루어진다.

위의 식에 한계 극한 설계 기본 개념을 도입하여, 강도감소계수를 도입하여 서술하면.

$$A_{sp} \geq \frac{f_1 - \phi(0.85f'_{ci})}{8.2f_s} D_s \quad (5)$$

가 되며, 설계를 위해서는 다음의 간략식이 유용하다.

$$A_{sp} \geq \frac{f_1 - 0.6f'_c}{5f_y} D_s \quad (6)$$

현재 정착부 보강 나선철근의 직경은 정착판의 대각선 길이 $2a'\sqrt{2}$ 로 설계하고 있으나, 본 연구 결과 좌열인장응력은 텐던 인접 부위에서 가장 크게 발생하며 텐던에서 떨어질수록 급격하게 감소하는 경향을 보이므로 나선철근을 콘크리트의 피복을 고려한 텐던 인접 부위에 설치하여 집선좌열인장응력을 제어할 필요가 있다. 또한 나선형 보강철근은 지압판 인접부위에서 부터 설치되는 것이 좋으며, 좌열인장 응력이 비교적 높게 발생하는 영역 즉 정착판 폭의 2배 위치($4a'$)까지 보강하는 것이 좋다.

6. 결 론

본 논문은 프리캐스트 프리스트레스트 콘크리트 구조물의 정착부에 발생하는 국부집중응력의 분포 특성을 규명하고, 정착부 보강설계 형태에 따른 국부응력 효과를 규명하여 합리적인 정착부

파괴기구 개념 및 설계 개념을 제시함에 목적이 있으며, 이를 위하여 정착부 형태에 따른 역학적 거동 실험 및 이론 연구가 수행되었다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 정착부의 파괴는 먼저 정착판의 폭 만큼 떨어진 위치에서 초기균열이 발생하고 이 균열은 텐던 경로를 따라가며 진전되는 것으로 나타났다. 또한 박리응력으로 인한 사인장 균열이 발생하고 정착부 선단이 완전히 파괴되는 취성파괴임이 밝혀졌다.

2. 나선형 철근으로 보강된 정착부는 사각띠 철근으로 보강된 경우보다 극한 및 균열하중이 높게 나타났으며, 보강효과가 아주 우수한 것으로 나타났다. 또한 이러한 증진효과가 정량적으로 제시되었다.

3. 정착부의 초기균열은 접선방향 파열인장응력으로 발생하며, 다음으로 박리응력으로 인한 전단 파괴 및 전단쇄기로 인한 경사균열 발생과 함께 취성파괴가 일어난다는 합리적인 파괴기구를 제시하였다.

4. 정착부 내부에서 발생하는 파열인장응력을 충분히 고려한 합리적인 정착부 보강설계 기법이 제시되었다.

감사의 글

본 논문은 1994년도 한국학술진흥재단 신진연구인력 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. Guyon, Y., "The Limit State Design of Prestressed Concrete," John Wiley & Sons, 1974.

2. Gergely, P., and Sozen, M. A., "Design of Anchorage Zone Reinforcement in Prestressed Concrete Beams," Journal of The Prestressed Concrete Institute, Vol.12, No.2, April 1967, pp.63-75.

3. 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.

4. 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.

5. Lim, D.H., "Anchorage Zone Behavior and Analysis of Precast Prestressed Concrete Box-Girder Bridges," Ph.D Thesis, Seoul National University, March 1994.

6. Oh, B.H., and D.H.Lim, "Analysis and Design of Local Anchorage Stresses in Prestressed Concrete Box-Girder Bridges," EASEC-5, Vol. 1, Sep. 1995, pp.585-590.

7. 임동환, 오병환, "프리스트레스트 콘크리트 박스 거더 교량부재의 정착부 균열하중 및 극한하중의 예측," 한국콘크리트학회 논문집 제16권 15호, 1994.10, pp.171-182.

8. 임동환, 오병환, "프리스트레스트 콘크리트 박스 거더 교량부재의 정착부 응력분포 특성과 균열제어 연구," 대한토목학회 논문집 제15권 2호, 1995. 3, pp.325-336.

9. 임동환, 오병환, 유승운, "단일텐던 및 복수텐던이 설치된 프리스트레스트 콘크리트 부재의 정착부 거동연구," 대한토목학회 논문집 제14권 6호, 1994.11, pp.1329-1339.

(접수일자 : 1996. 3. 27)