

# 포스트텐션용 정착구의 하중전달 특성에 관한 연구

## Load Transfer Characteristics of Post-Tensioning Anchorage

김민수\*      김진근\*\*      유영섭\*\*\*      이상순\*\*\*\*  
Kim, Min Su      Kim, Jin Keun      Ryoo, Young Sup      Lee, Sang Soon

### ABSTRACT

This paper presents the results from experimental study that investigated to explore the load transfer characteristics of post-tensioning anchorage zones. The experimental program investigated the primary variables which affect the ultimate load, lateral strains and crack widths: concrete compressive strength, details of reinforcement and shape of anchorage. Through this research, it was found that the governing factor of the ultimate load was not compressive cylinder strength but tensile splitting strength. Ultimate load was increased and lateral strain was decreased as the ratio of spiral increased because the lateral expansion of the concrete inside the spiral was restrained by the spiral. Furthermore, the shape of anchorage which can diminish the wedge effect of anchorage and disperse the anchorage force in various depths was more effective.

### 1. 서론

포스트텐셔닝 시스템이란 경화된 콘크리트에 압축력을 미리 도입하여 하중저항을 증대시킬 목적으로 사용되는 장치를 말하는 것으로, 교량의 경간을 보다 길게 할 수 있고 얇은 단면으로 처짐을 줄이고 또한 균열을 억제할 수 있어 주로 콘크리트 교량에 사용되어 왔으나 최근에는 다른 구조물에도 점차 확대되어 적용되고 있다. 그런데 정착부는 매우 큰 집중하중이 작용하는 부위로서 정착구 바로 앞에서는 매우 큰 압축응력과 긴장재와 나란한 방향의 인장응력이 발생된다. 따라서 종종 예상치 못한 균열이 발생하여 구조물의 사용성 및 안전성에 심각한 결과를 초래하는 경우도 있다. 그러나 국내의 경우에는 정착부 설계에 대한 연구가 미미하고 대부분 경험에 의존하고 있다.

본 연구에서는 국내에서 사용되고 있거나 사용 예정인 정착구에 대해 철근의 배근상세 및 정착구의 형상을 변수로 하여 하중전달 실험을 수행하여 정착부의 하중전달 특성에 대해 언급하고자 한다.

### 2. 실험계획 및 방법

#### 2.1 실험체

표 1과 그림 1은 실험변수에 따른 실험체명과 배근상세를 나타낸 것이다. 정착부의 강도와 균열의 크기는 철근의 배근상세에 따라 크게 영향을 받으므로 나선철근과 띠철근의 간격과 직경을 변화시키고,

\* 정회원, 한국과학기술원 토목공학과, 박사과정

\*\* 정회원, 한국과학기술원 토목공학과, 교수

\*\*\* 정회원, VSL KOREA 기술부, 이사

\*\*\*\* 정회원, 한국도로공사 선임연구원

정착구의 형상의 변화에 대해서 어떠한 거동을 보일지 규명하기 위해서 그림 2와 같이 정착구의 형상을 변화시켜 실험을 수행하였다. 각각의 실험변수에 대하여 2개의 실험체를 제작하였으며, 콘크리트의 압축강도는  $272\sim 348 \text{ kg/cm}^2$ 로 하였다. 모든 실험체는 직경 8 mm의 주철근을 4개씩 배근하였으며 75 mm 간격의 직경 6 mm 띠철근과 50 mm 간격의 직경 13 mm 나선철근을 기준으로 하고 띠철근과 나선철근량을 변화시켜 가며 배근하였다. 실험체 제작시에 원주공시체를 함께 제작하여 압축강도와 조감인장강도를 측정하였다.

표 1 하중전달 실험편의 배근상세

Specimen no.	Test variable	Ratio of spiral (%)	Diameter of spiral (%)	Spacing of spiral (mm)	Ratio of stirrup (%)	Compressive strength ( $\text{kg/cm}^2$ )	Tensile strength ( $\text{kg/cm}^2$ )	Loading condition	Ultimate load (ton)
D13-50-1	Standard	5.05	13	50	0.77	342	36	cyclic	134
D13-50-2		5.05	13	50	0.77	272	30	cyclic	125
D0-50-1	Ratio of spiral reinforcement	0.00	-	-	0.77	342	36	monotonic*	95
D0-50-2		0.00	-	-	0.77	272	30	monotonic*	94
D6-50-1		1.08	6	50	0.77	330	36	cyclic	121
D6-50-2		1.08	6	50	0.77	286	33	cyclic	115
D10-50-1		2.99	10	50	0.77	336	35	cyclic	130
D10-50-2		2.99	10	50	0.77	289	33	cyclic	125
D16-50-1		7.65	16	50	0.77	336	35	cyclic	129
D16-50-2		7.65	16	50	0.77	289	33	cyclic	123
D16-75-1	Spacing and diameter of spiral	5.10	16	75	0.77	288	38	cyclic	128
D16-75-2		5.10	16	75	0.77	348	40	cyclic	136
D19-100-1		5.39	19	100	0.77	288	38	cyclic	125
D19-100-1		5.39	19	100	0.77	348	40	cyclic	130
D13(2)-50-1	Type of anchorage	5.05	13	50	0.77	342	37	cyclic	141
D13(2)-50-2†		5.05	13	50	0.77	336	36	cyclic	-
D13(3)-50-1		5.05	13	50	0.77	342	37	cyclic	139
D13(3)-50-2		5.05	13	50	0.77	299	33	cyclic	131
D13S10†-1	Ratio and spacing of stirrup	5.05	13	50	2.38	296	34	cyclic	146
D13S10-2		5.05	13	50	2.38	296	34	cyclic	147

\* : Failure below  $0.8F_{pk}$  ( $F_{pk} = 130\text{ton}$ )

† : Unfinished for the trouble in the instrument

\* Size :  $250 \times 250 \times 560(\text{mm})$

\* DA-B(C)-D: A=Diameter of spiral, B=Spacing of spiral,

C=Type of anchorage(Type 1 is not contain C), D=Serial no.

† : Diameter of stirrup

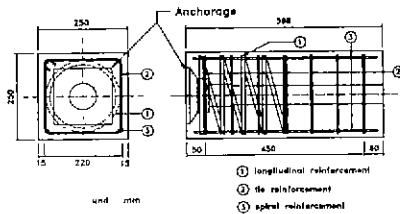
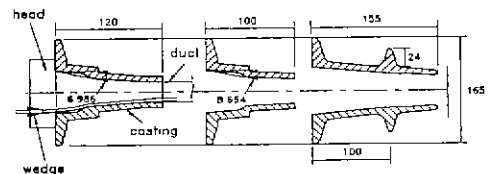


그림 1 실험체의 형상 및

배근상세(D13-50)



(a) Type 1 (b) Type 2 (c) Type 3

그림 2 정착구의 형상

## 2.2 실험방법

하중가력 방법은 250톤 용량의 만능재료시험기를 사용하였으며, 실험방법은 FIP Recommendations<sup>(2)</sup>의 규정을 따랐다. 긴장재의 인장강도가  $f_{pk}$ 이고 단면적이  $A_{pk}$ 일 때, 긴장재의 극한저항력  $F_{pk}$ 는  $f_{pk} \times A_{pk}$ 이다. 하중은 그림 3에서 보는 바와 같이  $F_{pk}$ 의 80%까지 단계별로 20%씩 증가시킨 다음  $0.12 F_{pk}$ 까지 서서히 감소시키는 과정을 응력과 균열진전이 안정화될 때까지 최소 10회 이상 계속해서 반복하중을 재하하였다. 응력과 균열진전이 안정화된 뒤에 천천히 하중을 증가시켜 파괴시의 실험체의 거동을 관찰하였다. 이러한 실험을 수행한 후 균열폭은 그림 4와 같은 요구조건을 만족하여야 하며, 극한하중은  $1.1 F_{pk}$  이상이어야 한다.

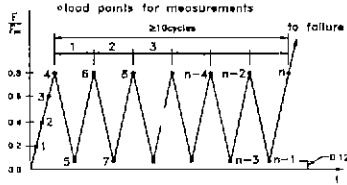


그림 3 하중전달 실험과정

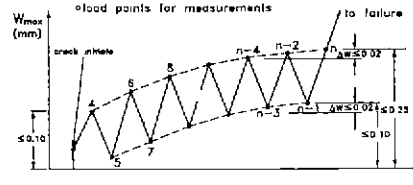


그림 4 균열폭에 대한 요구조건

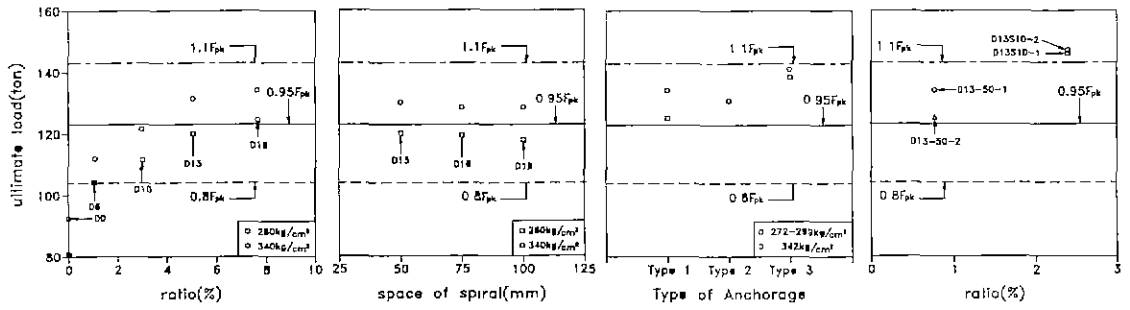
### 3. 실험 결과 및 분석

#### 3.1 극한강도

그림 5는 배근상세와 정착구 형상의 변화에 따른 극한하중의 결과이다. FIP Recommendations에서 규정하고 있는 극한하중  $1.1 F_{pk}$ 에 배근상세를 조절하여 도달할 수 있었다. 나선철근량을 변화시키면 철근비가 증가함에 따라 극한하중이 급격히 증가하다가 3% 이후에는 증가량이 크지 않으며[그림 5(a)], 나선철근비를 어느 정도 일정하게 유지하면서 간격을 변화시키면 큰 차이는 없으나 나선철근의 간격이 100 mm(D19)에서 약간 감소하는 경향을 보이는데[그림 5(b)] 이는 식(1)<sup>(3)</sup>과 같이 나선철근에 의해 내부 콘크리트에 유발되는 횡방향 구속응력이 일정한 나선철근비일 때 간격이 넓을수록 감소하기 때문인 것으로 판단된다. 그리고 정착구의 형상의 변화에 따라서는 Type 3가 나머지에 비해 5~10% 정도 큰 것으로 나타났는데[그림 5(c)], 이는 Type 3의 하단부에 있는 요철이 하중을 분산시키고 정착구가 콘크리트 속으로 밀려들어가는 쐐기효과(wedge effect)를 감소시켰기 때문인 것으로 판단되며, 띠철근량의 증가도 상당한 보강효과가 있는 것으로 나타났다[그림 5(d)]. 그리고 모든 경우에 압축강도가  $280 \text{ kgf/cm}^2$  정도에서  $340 \text{ kgf/cm}^2$  정도로 20%정도 증가하여도 극한하중은 10%정도 밖에 증가하지 않았는데, 이는 정착부 파괴의 주 원인이 파열력에 의한 인장파괴이기 때문에 압축강도의 증가량(약 20%)보다는 인장강도의 증가량(약 10%)에 더 큰 영향을 받는 것으로 판단된다.

$$f_{cl} = \frac{\rho_{sp} f_y}{2} \left( 1 - \sqrt{\frac{s_{sp}}{1.25 d_c}} \right) \quad (1)$$

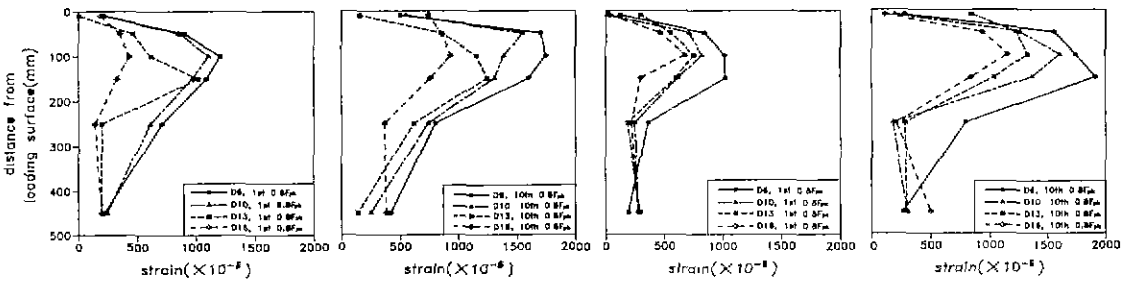
- 여기서,  $\rho_{sp}$  = 나선철근비  
 $f_y$  = 나선철근의 항복응력  
 $s_{sp}$  = 나선철근의 간격  
 $d_c$  = 나선철근 내부 콘크리트의 지름



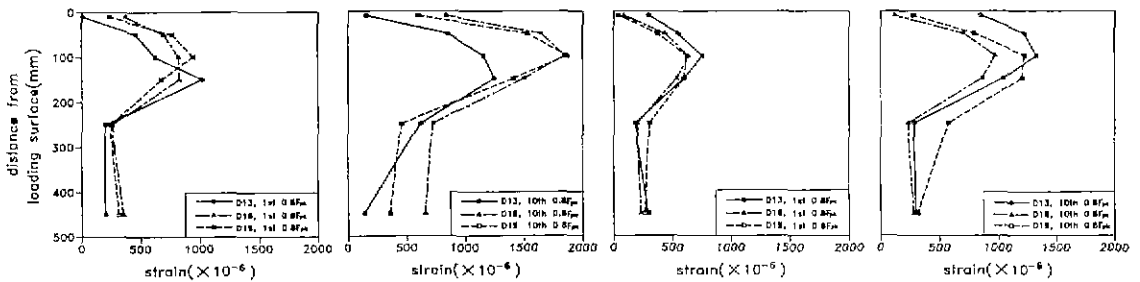
(a) 나선철근량의 변화 (b) 나선철근 간격의 변화 (c) 정착구 형상의 변화 (d) 띠철근량의 변화  
그림 5. 극한하중

### 3.2 횡방향 변형률

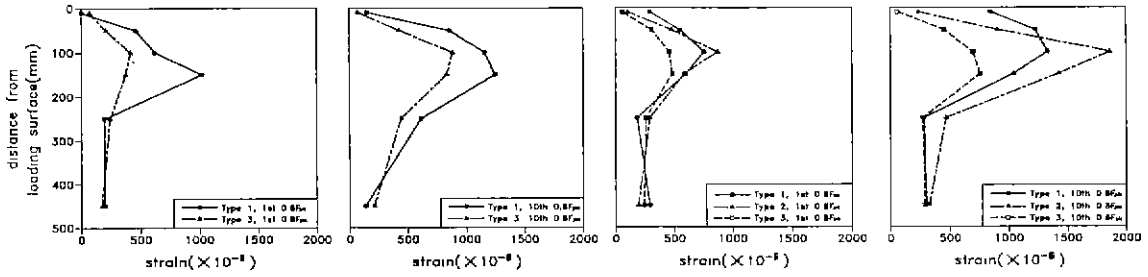
그림 6~그림 9는 실험체 옆면에서의 첫 번째와 마지막  $0.8 F_{pk}$ 에서의 횡방향 변형률을 나타낸 것이다. 횡방향 변형률은 서로 반대쪽인 양면에서 균열계이저를 사용하여 측정된 후 양면의 평균값을 사용하였다. 모든 경우에 횡방향 변형률은 재하면에서 100 mm~150 mm에서 최대값이고 재하면에서 실험편의 폭(250 mm) 이상 떨어진 곳에서는 그 변화가 크지 않음을 알 수 있다. 그리고 횡방향 변형률이 최대인 위치는 일반적으로 초기균열이 발생한 위치와 어느 정도 일치함을 관찰할 수 있었다. 나선철근비가 증가할수록 횡방향 변형률은 감소하며[그림 6], 나선철근의 간격은 횡방향 변형률에 큰 영향을 없는 것으로 나타났다[그림 7]. 그리고 정착구 형상의 변화에 따라 Type 3의 횡방향 변형률이 나머지보다 작으며[그림 8], 띠철근을 보강함으로써 표면의 횡변형률이 상당히 감소하는 것으로 나타났다[그림 9].



(a) 압축강도(272~289 kgf/cm<sup>2</sup>) (b) 압축강도(330~342 kgf/cm<sup>2</sup>)  
그림 6 나선철근량의 변화에 따른 옆면의 횡변형률



(a) 압축강도(272~278 kgf/cm<sup>2</sup>) (b) 압축강도(342~348 kgf/cm<sup>2</sup>)  
그림 7 나선철근 간격의 변화에 따른 옆면의 횡변형률



(a) 압축강도(272~299 kgf/cm<sup>2</sup>)

(b) 압축강도(342 kgf/cm<sup>2</sup>)

그림 8 정차구 형상의 변화에 따른 옆면의 횡변형률

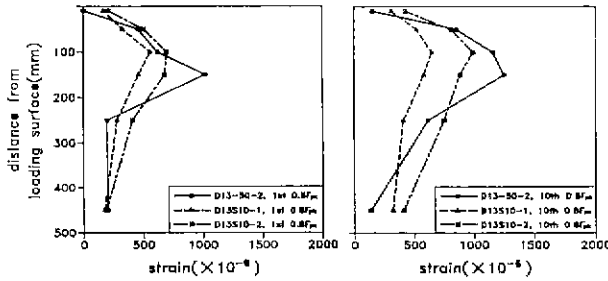


그림 9 띠철근량의 변화에 따른 옆면의 횡변형률(압축강도 272~296 kgf/cm<sup>2</sup>)

### 3.2 균열폭

표 2는 FIP Recommendations에서 규정하는 균열폭에 대한 요구조건의 만족여부를 요약한 것이다. 균열폭은 하중재하 도중에 횡방향변형률을 측정하지 않는 2면에서 최초의 균열발생이 육안으로 확인된 위치에 균열경으로 초기균열폭을 측정된 이후에 균열계이저를 사용하여 측정하였다. 균열폭의 경우는 FIP Recommendations에서 가장 큰 균열에 대하여 규정하고 있기 때문에 두 면에서 측정된 값 중 큰 값에 대해서만 나타내었다. 그리고 초기균열의 크기가 그 면에서 발생한 균열중에서 가장 크다고 가정하였는데 그 이유는 예비실험시  $0.8 F_{pk}$ 에서  $0.12 F_{pk}$  사이의 반복하중하에서는 한면에 보통 2개 이하로 발생하였으며 초기균열 이외에는 그 크기가 매우 작은 것으로 판단되었고 본 실험에서도 그렇게 나타났다. 하지만  $0.8 F_{pk}$ 를 넘어서 파괴시에는 다른 균열의 크기가 더 큰 경우도 있었다. 균열폭의 결과를 보면 배근상세와 정차구의 형상에 따라 어떤 경향을 볼 수 없었다. 이는 균열이 한 면에 하나가 발생한 경우의 균열폭이 두 개 이상 발생한 경우의 최대 균열폭보다 크고 편심하중이 작용하는 면의 균열이 훨씬 크기 때문에 전체균열폭의 합에는 영향이 있더라도 최대균열폭에는 큰 영향을 주지 못하는 것으로 판단된다.

### 4. 결 론

본 연구에서는 나선철근의 배근상세 및 정차구의 형상을 변수로 한 하중전달 실험을 통하여 정차구의 거동을 파악하여, 합리적인 배근상세와 정차구의 형상을 도출하고자 하였다. 이를 통하여 얻어진 결론을 요약하면 다음과 같다.

(1) 정차부에서는 나선철근의 배근상세가 거동에 많은 영향을 미침을 알 수 있다. 나선철근이 충분히 배근된 경우에 나선철근이 내부의 콘크리트에 횡방향 구속응력을 가하게 되므로 배근되지 않은 경우에 비해 극한하중이 크게 증가하고 동일하중에 대해 최대 횡변위는 감소하는 것으로 나타났다.

(2) 정차구는 하중전달 실험과 유한요소 해석결과 FIP Recommendations에서 규정하고 있는 극한하

중  $1.1F_{pk}$ 에 배근상세를 조절하여 도달할 수 있었다.

(3) 정착부의 파괴의 주 원인은 파열력에 의한 인장파괴이기 때문에 압축강도의 증가보다는 인장강도의 증가가 파괴하중에 더 큰 영향을 주는 것으로 나타났다.

(4) 나선철근량을 변화시켜 실험을 수행한 결과 나선철근량이 많을수록 횡방향 변위는 감소하고 극한하중은 나선철근비가 3%이상일 때 어느 값으로 수렴하는 것으로 나타났다.

(5) 나선철근비는 일정하게 유지하면서 간격을 변화시키면 정착부의 거동에 큰 영향을 얹는 것으로 나타났다.

(6) 정착구의 형상은 Type 3처럼 하중을 분산시키고 썩기효과를 감소시킬 수 있는 형상이 기존의 형상보다 효과적인 것으로 나타났다.

표 2 균열폭의 기준만족 여부

	Compressive strength (kg/cm <sup>2</sup> )	Specimen no.	① ≤ 0.1mm	② ≤ 0.1mm	③ ≤ 0.25mm	④ ≤ 0.02mm	⑤ ≤ 0.02mm
Standard	272	D13-50-2	○(0.062)	×(0.117)	○(0.165)	○(0.007)	○(0.006)
	342	D13-50-1	○(0.072)	×(0.157)	×(0.263)	○(0.019)	○(0.019)
Ratio of spiral reinforcement	286	D6-50-2	○(0.065)	×(0.145)	×(0.266)	○(0.008)	○(0.009)
	289	D10-50-2	○(0.074)	×(0.129)	×(0.264)	○(0.020)	○(0.020)
	289	D16-50-2	○(0.047)	×(0.154)	×(0.272)	×(0.023)	×(0.028)
	330	D6-50-1	○(0.095)	×(0.145)	○(0.218)	○(0.014)	○(0.015)
	336	D10-50-1	○(0.078)	×(0.133)	○(0.213)	○(0.013)	○(0.017)
	336	D16-50-1	○(0.048)	○(0.094)	○(0.165)	○(0.009)	○(0.010)
Spacing and diameter of spiral	288	D16-75-1	○(0.051)	×(0.171)	×(0.267)	×(0.023)	×(0.027)
	288	D19-100-1	○(0.044)	○(0.068)	○(0.146)	○(0.007)	○(0.006)
	348	D16-75-2	○(0.070)	×(0.102)	○(0.162)	○(0.004)	○(0.005)
	348	D13-100-2	○(0.076)	×(0.122)	○(0.204)	○(0.011)	○(0.005)
Type of anchorage	336	D13(2)-50-2	○(0.062)	×(0.117)	○(0.165)	○(0.007)	○(0.006)
	299	D13(3)-50-2	○(0.054)	×(0.137)	×(0.301)	×(0.027)	×(0.034)
	342	D13(2)-50-1	×(0.108)	×(0.232)	×(0.381)	×(0.035)	×(0.031)
	342	D13(3)-50-1	○(0.050)	○(0.072)	○(0.146)	○(0.005)	○(0.004)
Ratio and spacing of stirrup	296	D13S10-1	○(0.051)	○(0.083)	○(0.139)	○(0.005)	○(0.005)
	296	D13S10-1	○(0.060)	○(0.097)	○(0.178)	○(0.008)	○(0.009)

- ① Crack width upon first attainment of upper force  $0.8F_{pk}$
- ② Crack width upon last attainment of lower force  $0.12F_{pk}$
- ③ Crack width upon last attainment of upper force  $0.8F_{pk}$
- ④ Increment of crack width in last two load cycles( $0.12F_{pk}$ )
- ⑤ Increment of crack width in last two load cycles( $0.80F_{pk}$ )

#### 감사의 글

이 논문은 한국과학재단의 1999년도 연구비 지원에 의하여 연구되었으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. "Post-Tensionig Systems," VSL International Catalog, 1990.
2. "Recommendations for the acceptance of post-tensioning systems" FIP, June 1993.
3. S. H. Ahmad, S. P. Shah, "Stress-Strain Curves for Concrete Confined by Spiral Reinforcement," ACI Journal, Vol. 79, No. 6, 1982, pp. 484-490.
4. 김만수, "포스트텐션용 정착구의 하중전달 특성에 관한 연구", 한국과학기술원 석사학위논문, 1999. 2.