

P.S.T 공법 리멘 구조물의 휨 거동 특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on Flexural Behavior in Framed Structure of P.S.T Method

최 곽¹⁾

Cui, Jie

윤 종 남¹⁾

Yoon, Jong Nam

엄 기 영²⁾

Eum, Ki Young

홍 성 남^{3)*}

Hong, Sung Nam

박 선 규⁴⁾

Park, Sun Kyu

Abstract

The existing underground trenchless methods use reinforcing rod in steel tube to obtain structural stiffness. However, there are some problems such as inconvenience of work and expensive material fee which are resulted from limited working space and reinforcing work. To resolve these problems, a new trenchless method, namely P.S.T method (Prestressed Segment Tunnel Method), is developed which uses joint to connect the steel segment and form erection structure in underground construction. Further, installing strands for prestressing. In order to evaluate the flexural capacity of the P.S.T method structure, experiment was conducted. The parameters considered in the experiment are the span-to-depth ratio, diameter of steel tube at corner, prestressing force and welding of joint. Altogether examining the flexural behavior, the effect of deflection in structure according to different parameters has also been analysed.

Keywords : P.S.T method, Trenchless method, Flexural behavior, Prestressed concrete.

1. 서론

신규도로 건설시 철도나 고속도로 등 도로로 차단된 구간에서는 지중 암거를 통해 도로를 건설해야 하며, 기존 도로의 간섭으로 인해 비개착공법(Trenchless method)이 사용된다(손학동, 2006). 비개착공법은 도로상부의 교통흐름에 지장을 주지 않고 공사를 할 수 있는 것이 주된 특징으로, 일반적으로 지중에 가설구조를 먼저 축조하고 내측에 본 구조물을 축조한다. 널리 사용하는 가설구조는 원형강관을 지중에 루프형태로 단순 압입하여 형성되는 파이프루프 형태이다.

비개착 공법은 가설구조의 형식 및 시공방법에 따라 종류가 다양한데 현재 국내에서 상용화 되어 있는 비개착공법은 U.P.R.S 공법(Upgraded Pipe Roof Structure), T.R.C.M 공법(Tubular Roof Construction Method), N.T.R 공법(New Tubular Roof Method) 및 S.T.S 공법(Steel Tube Slab) 등이 있다. 기존 비개착공법에 대해 간단히 소개하면 U.P.R.S 공법은 구조체가 정착시스템에

의해 서로 맞물려 압입됨으로써 정밀시공이 가능한 공법이고(국토해양부 신기술 제572호, 2009), T.R.C.M 공법은 가설구조가 본 구조물로 활용되기 때문에 가설공사가 필요 없어 경제적인 장점이 있다(국토해양부 신기술 제299호, 2001). N.T.R 공법의 특징은 대형강관을 압입함으로써 내부굴착과 굴착토 반출이 용이하고 강관부식에 의한 유지보수관리가 필요없다(국토해양부 신기술 제426호, 2004). 마지막으로 S.T.S 공법은 강관 횡방향 연결부의 구조적 취약부를 정착판과 보강 철근 및 충전물탈을 사용한 연결방법의 적용으로 구조적 안전성이 우수한 비개착공법이다(국토해양부 신기술 제567호, 2009). 하지만 기존 비개착공법들이 각각의 장점이거나 특징이 있는 만큼 문제점도 있다. U.P.R.S 공법, T.R.C.M 공법 및 N.T.R 공법의 경우, 모두 강관 내부에 철근을 배근하기 때문에 시공시 작업이 불편한 단점이 있다. S.T.S 공법도 위의 경우와 유사하게 상부슬래브 타설시 철근조립이 어렵고, 구조물의 품질관리가 어려운 문제점이 있다.

이와 같이 기존 비개착공법이 가설구조물의 내부에 철

1) 정희원, 성균관대학교 초고층·장대교량학과 석사과정

2) 정희원, 한국철도기술연구소 책임연구원

3) 정희원, 성균관대학교 과학기술연구소 선임연구원

4) 정희원, 성균관대학교 건설환경시스템공학과 교수

* Corresponding author : cama77@skku.edu 031-290-7530

• 본 논문에 대한 토의를 2011년 4월 30일까지 학회로 보내주시면 2011년 5월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

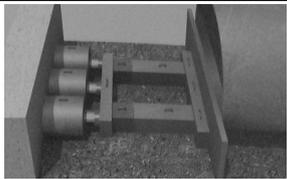
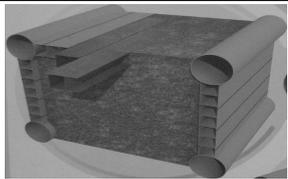
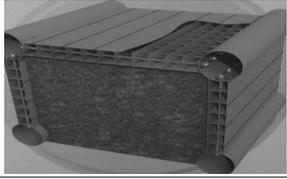
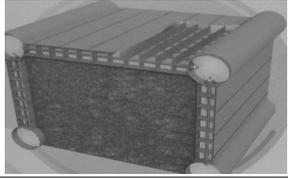
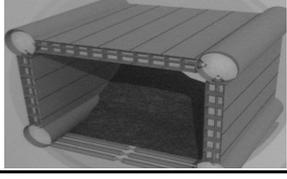
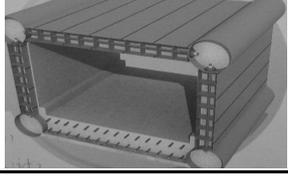
근을 배근하는 것은 구조물의 강성을 확보하기 위한 것인데 이는 시공시 작업이 불편한 문제점이 존재한다. 이러한 실정에 비추어 시공의 용이함과 동시에 강성을 확보하는 지중공법의 개발이 시급한 실정이었다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 개발된 P.S.T 공법(Prestressed Segment Tunnel)은 기존의 비개착공법의 단점을 보완하기 위하여 가설구조물에 철근을 배근하지 않고 강연선을 설치하여 긴장력을 도입함으로써 강성을 확보하는 새로운 공법이다. 기존의 공법과 달리 긴장력이 도입된 세그먼트식 라멘 구조물이기 때문에 하중 재하 시 역학적 거동에 대한 규명이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 P.S.T 공법 구조물의 실험체를 제작하여 하중재하실험을 수행하였고, 실험 결과를 분석함으로써 P.S.T 공법 구조물의 휨거동 특성을 확인하였다.

2. P.S.T 공법

P.S.T(Prestressed Segment Tunnel) 공법은 Table 1에 나타내었듯이 원형강관과 4각 강세그먼트를 이용하여 지하에 구조물을 축조하는 공법으로 PSC 구조물에서 주로 사용되는 PS 강선 또는 강봉 등을 압입한 강관에 적용하여, 지보재 전단면을 구조체로 사용하고, 내측벽 및 슬래브 하면에 프리캐스트 패널을 부착하여 구조물을 완성하는 비개착공법이다.

실제로 P.S.T 공법을 이용하여 지하구조물 축조시, 원형강관 및 강세그먼트는 작업자가 우각부 원형강관내에서 잭을 이용하여 PS강선에 긴장력을 도입하는데 필요한 공간을 확보하고, 또한 강세그먼트내에서 강선을 내벽의 홀사이로 통과시켜 강선의 삽입작업을 완성하는데도 충분한 공간을 확보할 수 있기 때문에 P.S.T 공법 자체의 우월한 시공성을 충분히 확보할 수가 있다. 기존 비개착공법과 비교하였을 때 P.S.T 공법은 횡방향 강성을 확보

Table 1 Construction stage of P.S.T method

Stage 1: Pressing the steel tube in the soil	Stage 2: Propelling and connecting the segments
	
Stage 3: Side wall boring and PC strands inserting	Stage 4: Concrete placing and PC strands tensioning
	
Stage 5: Tunnel excavation and bottom strut installing	Stage 6: Floor concrete pouring and finishing the work
	

하기 위하여 철근을 배근하지 않고, 강연선 또는 강봉을 강세그먼트로 구성된 슬래브 내에 설치한 후 긴장력을 도입하여 구조물의 강성을 확보하기 때문에 공정이 상대적으로 단순하여 시공시 공기가 단축되고 자재비용에 대한 절감효과가 크다. 또한 각 세그먼트의 연결부위에 이음부를 사용하여 시공이 정밀한 장점이 있다.

3. 실험체 제작 및 순서

실험체는 Fig. 1과 같이 상부슬래브, 우각부 및 벽체로 구성되어 있고, 실험변수로 세그먼트의 형상비, 우각부의 크기, 실험체에 도입된 긴장력의 크기 및 이음부의 용접 유무를 설정하여 정적 하중재하 실험을 수행하였다.

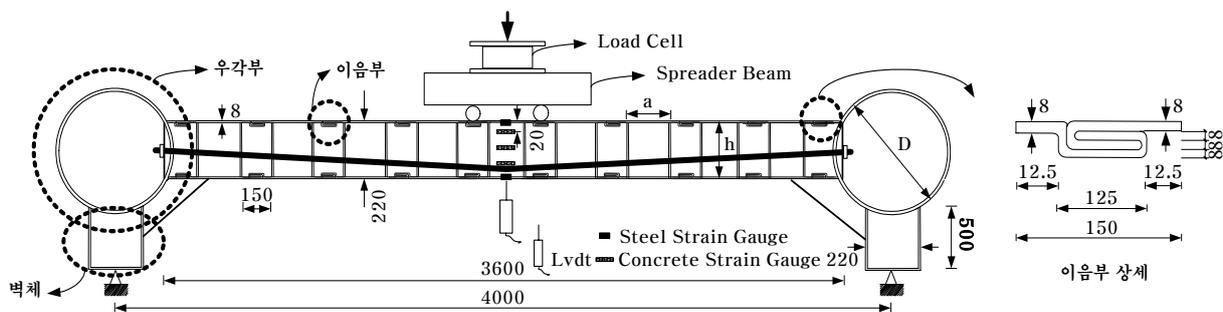


Fig. 1 Specimen shape and gauge installation

3.1 실험재료

실험체 제작시 세그먼트와 우각부 원형 강관에 사용한 강재는 각각 SS400, STK400이고, 강연선은 SWPC 7B 15.2mm를 사용하였다. 또한 세그먼트와 원형 강관 내부에 타설된 콘크리트의 설계기준강도는 35MPa이며, 세그먼트와 세그먼트, 세그먼트와 원형 강관을 연결한 이음부는 SPY345의 강널말뚝을 실험체의 소요길이만큼 절단하여 사용하였다. 실험에 사용된 강재와 강연선의 물성치, 콘크리트 공시체의 강도실험 결과 및 이음부와 이음부모재의 인장강도 시험결과를 Table 2에 나타내었다.

Table 2 Material properties

Material properties of steel				
Type	Yield point (MPa)	Tensile strength(MPa)	Elastic modulus (MPa)	
SS400	245	410	200,000	
STK400	235	400	-	
Material properties of PC strand				
Type	Diameter (mm)	Area (mm ²)	Tensile load (kN)	0.2% elongation load (kN)
SWPC 7BL	15.2	138.7	261	222
Strength test results of concrete cylinder specimens				
Classification	Compressive strength (MPa)		Splitting tensile strength (MPa)	
Slab and wall	37.34		1.30	
Concave corner	30.65		1.12	
Tensile test results of joint				
Classification	Yield strength (MPa)		Tensile strength (MPa)	
Joints	66.13		-	
Basic material of joints	445.84		536.47	

Table 3 Specimen details and test variables

Specimens name	Test variables					Specimen quantity	
	Size of segment		Size of concave corner		Prestressing force (kN)		Joint welding
	h:a	a (mm)	D:h	D (mm)			
ST -1	1:1.06	233	2.1:1	457	680	-	
ST -2	1:1.56	343	2.1:1	457			
ST -3	1:3.34	713	2.1:1	457			
JT -1	1:1.06	233	1.2:1	267	340	1	
PS -1			2.1:1	457	680	Negative moment region of upper steel	1
WD -1						All region of lower steel	1
WD -2							

3.2 실험체 제원 및 변수

Table 3은 실험에 사용된 7개 실험체의 제원 및 변수를 나타낸 것이다. 실험체는 슬래브의 길이 3.6m, 지간길이 4.0m, 우각부 강관 하부 벽체의 길이가 0.5m인 라멘 부재로 계획하여 제작하였다. 실험체 ST-1~3은 세그먼트의 형상비를 변수로 한 실험체이고, JT-1 및 PS-1은 각각 우각부의 지름 크기 및 도입 긴장력의 크기를 변수로 한 실험체이다. WD-1은 상부강관 부모멘트부 이음부를 용접한 실험체로, 양단 원형강관 내측으로 각각 3개의 상부 이음부를 용접하였고, WD-2는 하부강관 전체의 이음부를 용접한 실험체이다. Table 3과 Fig. 1에서 h, a 및 D는 각각 슬래브의 높이, 단일 세그먼트의 길이 및 우각부원형강관의 지름을 의미한다.

3.3 실험체 제작 순서 및 하중 재하 방법

P.S.T 공법 구조물의 휨성능 평가를 위한 실험체는 다음과 같은 순서로 제작하였다.

- ① 원형강관 및 세그먼트 제작(세그먼트와 이음부 강관 용접, 강연선 설치를 위한 홀 친공)
- ② 세그먼트, 원형강관 및 이음부로 구성된 실험체 거치
- ③ 강연선 설치
- ④ 슬래브부 및 벽체부의 콘크리트 타설 및 양생
- ⑤ 세그먼트로 구성된 슬래브에 프리스트레싱력 도입
- ⑥ 원형강관 내부 콘크리트 타설 및 양생

정적 하중재하 실험은 하중재하대에 최대 용량 2,000kN의 액츄에이터(Actuator)를 설치하여 하중을

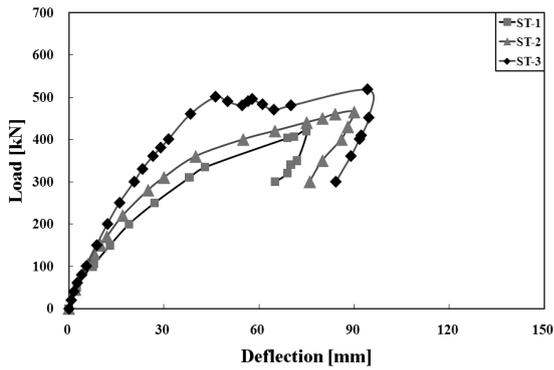


Fig. 2 Load-deflection curve(ST-1, ST-2, ST-3)

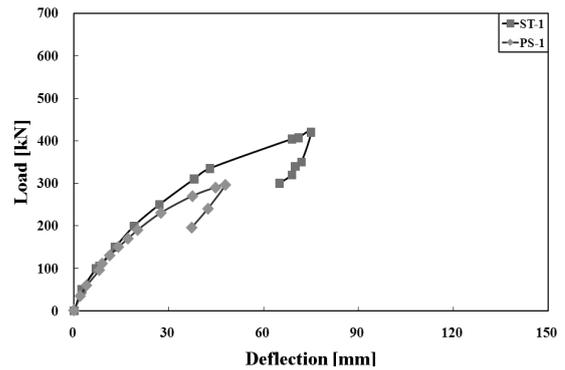


Fig. 4 Load-deflection curve(ST-1, PS-1)

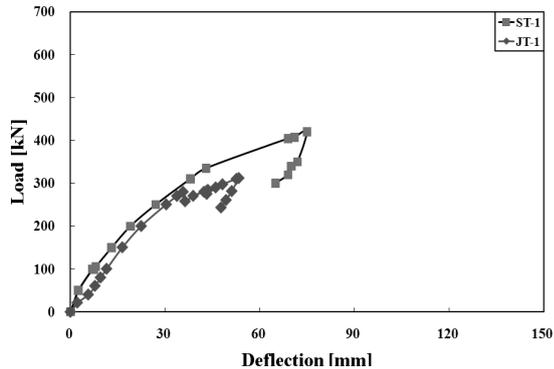


Fig. 3 Load and deflection curve(ST-1, JT-1)

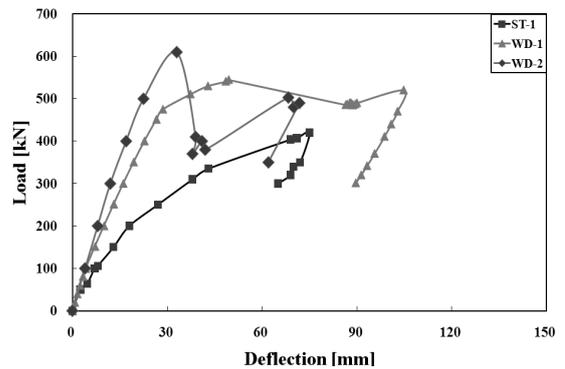


Fig. 5 Load-deflection curve(ST-1, WD-1, WD-2)

재하하였고, 하중재하위치 및 데이터 측정 위치는 Fig. 1에 나타내었다.

4. 실험 결과 및 분석

P.S.T 공법 구조물의 거동 특성을 실험적으로 규명하고 그 결과를 분석하기 위해 각 실험체의 극한하중에서의 처짐량을 Table 4에 나타내었다. 또한, 실험결과로부터, 세그먼트 형상비, 우각부 원형강관 지름, 도입 긴장력의 크기 및 이음부 용접유무에 따른 효과를 분석하였다.

4.1 하중-처짐 관계

Fig. 2는 표준실험체(ST-1)와 단일 세그먼트의 길이가 각각 표준실험체의 147%, 306%인 ST-2, ST-3 실험체의 하중-처짐 곡선이다. ST-1의 극한하중인 420kN의 하중에서 ST-2와 ST-3의 처짐량을 비교한 결과, ST-1의 처짐량에 비해 각각 17%, 55% 감소한 것으로 나타났다. 특히 ST-3의 경우 420kN의 하중에서도 탄성거동을 하기 때문에 처짐 감소효과가 더욱 큰 것

으로 나타났다. 결과적으로 단일 세그먼트의 크기가 길면 이음부의 개수가 적어져 상대적으로 강성이 강한 세그먼트의 강관이 힘에 대한 저항을 더 많이 하기 때문에 처짐이 감소하는 것으로 보여진다.

Fig. 3은 표준실험체(ST-1)와 우각부 강관지름이 표준실험체의 58%인 JT-1 실험체의 하중-처짐 곡선을 나타낸 것이다. JT-1의 극한하중은 ST-1에 비해 25% 작게 측정되었다. JT-1의 극한하중인 313kN의 하중에서 처짐을 비교하였을 때, ST-1의 처짐량은 JT-1의 처짐량에 비해 21% 작게 측정되었다. 이는 우각부의 지름이 큰 경우 부모멘트에 대한 저항력이 커짐으로써 구조물의 내하력이 증가하여 처짐이 감소하는 것으로 나타났다.

Fig. 4는 표준실험체(ST-1)와 도입 긴장력이 표준실험체의 50%인 PS-1 실험체의 하중-처짐 곡선을 나타낸 것이다. PS-1의 극한하중은 ST-1에 비해 24% 작게 측정되었다. PS-1의 극한하중인 320kN의 하중에서 처짐을 비교하면, ST-1의 처짐량은 PS-1의 처짐량보다 27% 작게 측정되었다. 이는 프리스트레싱력이 증가함에 따라 구조물의 힘에 대한 내하력도 증가하여 처짐이 감소하는 것으로 보여진다.

Table 4 Measured Ultimate load and deflection of specimens

Specimen	Ultimate load (kN)	P_{TEST}/P_{ST-1}	Deflection (mm)	$\delta_{TEST}/\delta_{ST-1}$
ST-1	420	1	75	1
ST-2	465	1.11	90	1.20
ST-3	518	1.23	95	1.23
JT-1	313	0.75	53	0.71
PS-1	320	0.76	48	0.64
WD-1	544	1.30	49	0.65
WD-2	610	1.45	33	0.44

Fig. 5는 표준실험체(ST-1)와 세그먼트의 이음부를 용접한 실험체의 하중-처짐 곡선이다. 상부강판의 부모멘트부 이음부를 용접한 WD-1 실험체와 하부강판의 전체이음부를 용접한 WD-2 실험체의 극한하중은 각각 ST-1에 비해 각각 30%, 45% 크게 측정되었다. ST-1의 극한하중인 420kN의 하중에서 처짐을 비교하면 ST-1에 비해 처짐량은 각각 76%, 68% 감소한 것으로 나타났다. 이와 같이 WD-1과 WD-2의 실험체에서 현저한 처짐 감소효과를 볼 수 있는데, 이는 WD-1과 WD-2는 하중 420kN에서 여전히 탄성거동을 하지만 ST-1은 항복했기 때문에 판단되었다. 이처럼 취약부위인 세그먼트의 이음부를 용접할 경우 이음부의 강성이 크게 증가되고 구조물의 내하력이 증가되어 처짐이 감소되는 것으로 판단되었다.

4.2 하중-변형률 관계

실험체의 지간중앙에서의 하중과 하부 강판의 변형률의 관계를 Fig. 6~Fig. 9에 나타내었다.

Fig. 6은 표준실험체(ST-1)와 단일 세그먼트의 길이가 각각 표준실험체의 147%, 306%인 ST-2, ST-3 실험체의 하중-변형률 곡선이다. 각 실험체의 극한하중에서의 변형률을 살펴보면 ST-3이 가장 크고, ST-2, ST-1순으로 작은 것으로 나타났다. 이것은 세그먼트의 길이가 길면 이음부의 개수가 적어져, 세그먼트의 강판이 휨에 대한 저항을 더 많이 했기 때문에 ST-2과 ST-3의 하부강판 변형률이 ST-1보다 더 크게 측정되었다고 판단되었다.

Fig. 7은 표준실험체(ST-1)와 우각부 지름이 표준실험체의 58%인 JT-1 실험체의 하중-변형률 곡선을 나타낸 것이다. 하중이 증가함에 따라 변형률이 커지며, 극

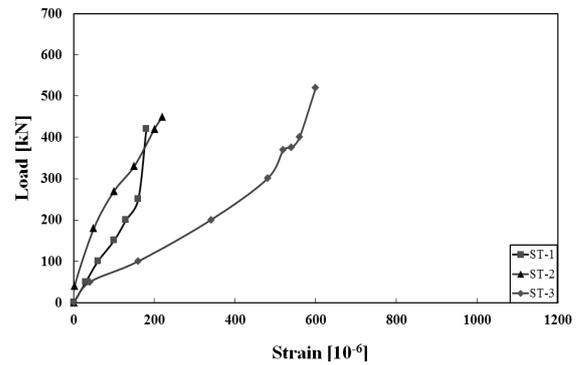


Fig. 6 Load-strain curve for steel(ST-1, ST-2, ST-3)

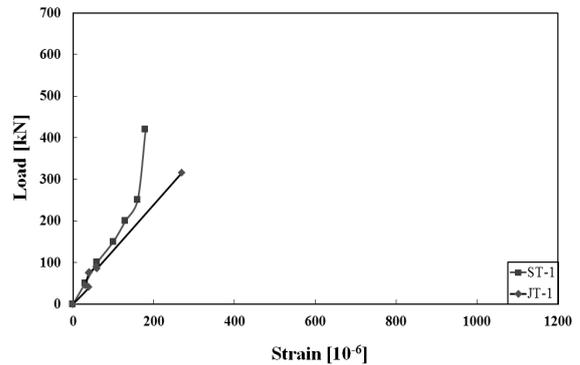


Fig. 7 Load-strain curve for steel(ST-1, JT-1)

한하중에서의 변형률은 JT-1이 ST-1보다 큰 것을 알 수 있다. 이는 ST-1의 우각부 지름이 JT-1보다 커 부모멘트에 더 저항할 수 있고, 이에 따라 구조물의 내하력이 증가하여 하부강판에서 더 작은 변형이 나타났다.

Fig. 8은 표준실험체(ST-1)와 도입 긴장력이 표준실험체의 50%인 PS-1 실험체의 하중-변형률 곡선을 나타낸 것이다. 하중이 증가하면서 변형률도 증가하였고, PS-1 실험체의 극한하중에서의 변형률은 PS-1이 ST-1보다 크게 측정되었다. 이는 프리스트레싱력을 PS-1의 2배를 도입한 ST-1이 휨에 대한 저항성이 PS-1보다 크기 때문이라고 보여진다.

Fig. 9는 표준실험체(ST-1)와 이음부를 용접한 실험체의 하중-변형률 곡선을 나타낸 것이다. ST-1의 극한하중에서의 변형률을 살펴보면 WD-2가 ST-1보다 크고, WD-1이 ST-1보다 작은 것으로 나타났다. 이는 WD-2가 하부강판의 이음부를 용접함으로써 이음부와 강판이 일체 거동하여 휨인장에 저항하였기 때문에 강판에 더 많은 변형을 보인 것이고, WD-1은 부모멘트부 상부 강판 이음부를 용접함으로써 구조물의 내하력이 증가하였기 때문에 같은 하중에서 하부강판 변형률이 ST-1

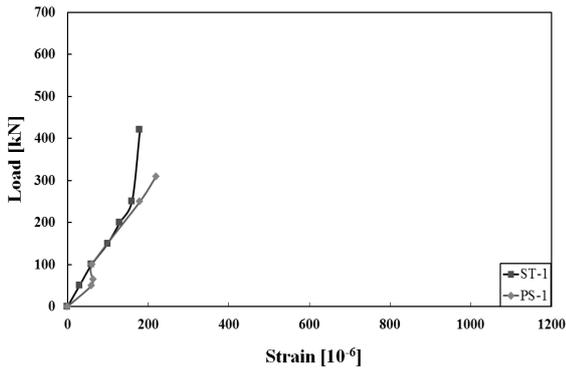


Fig. 8 Load-strain curve for steel(ST-1, PS-1)

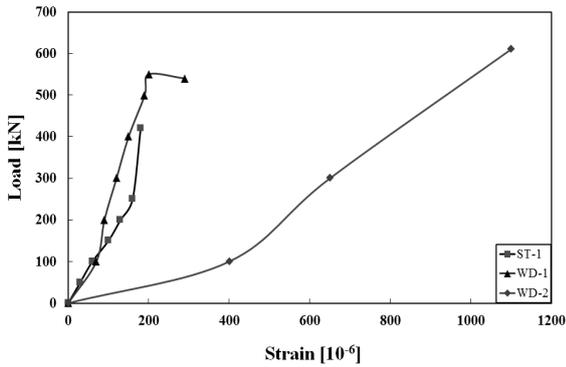


Fig. 9 Load-strain curve for steel(ST-1, WD-1, WD-2)

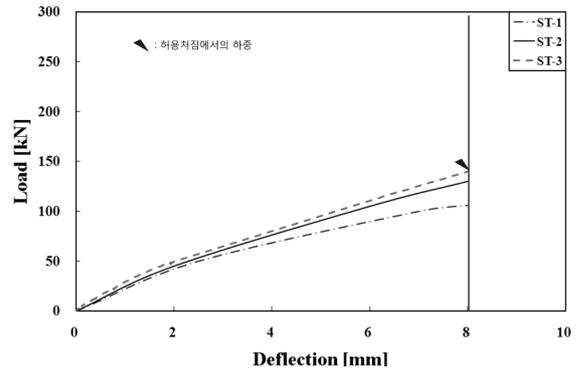
Table 5 Measured Service load of specimens

Specimen	Load (kN)	P_{TEST}/P_{ST-1}
ST-1	106	1
ST-2	120	1.13
ST-3	129	1.22
JT-1	64	0.60
PS-1	96	0.90
WD-1	167	1.58
WD-2	200	1.89

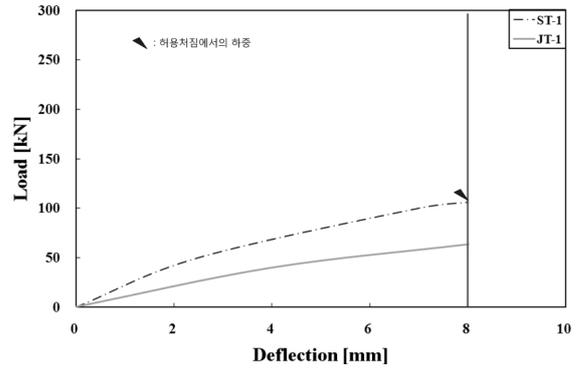
보다 작은 것으로 판단되었다.

4.3 사용성 검토

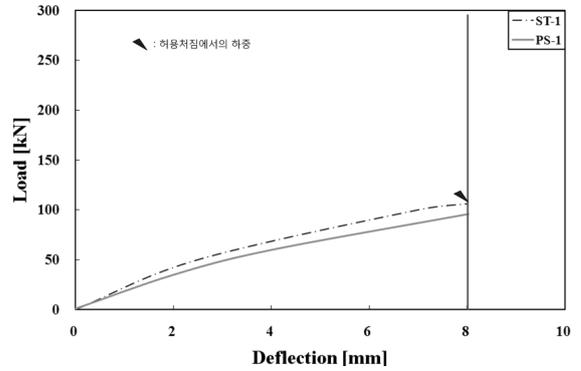
사용성을 검토하는 방법에는 진동에 의한 평가, 외관 조사에 의한 평가, 균열에 의한 평가 등 여러 가지 방법이 있으나(김경민 등, 2006), 본 논문에서는 실험체의 처짐 데이터를 이용하여 사용성 평가를 하였다. 도로교 설계기준(2005)에서 제시하는 허용 처짐량(=L/500)에 도달할 때의 하중을 사용하중상태로 설정하였으며, 여기서 L은 실험부재의 지간 길이를 의미한다. Fig. 10은 설정한 변



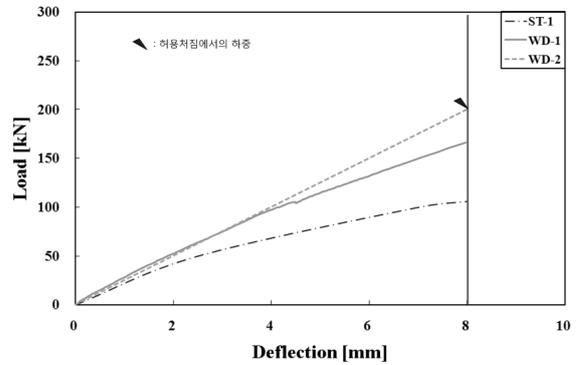
(a) Specimen ST-1, ST-2, ST-3



(b) Specimen ST-1, JT-1



(c) Specimen ST-1, PS-1



(d) Specimen ST-1, WD-1, WD-2

Fig. 10 Load-deflection curve in service load state

수에 따라 구분한 실험체의 허용처짐 범위 내에서의 하중-처짐 곡선이다. Table 5는 그 때의 하중을 표준실험체의 하중과 비교 한 것이다.

Fig. 10(a)에서 사용하중상태의 각 실험체의 하중은 극한하중의 약 25%로서 실험체 ST-2, ST-3은 표준실험체(ST-1)보다 허용처짐(=8mm)에서 각각 22%, 13% 하중 증가효과를 보였다. 이로부터, 세그먼트 형상비가 허용처짐범위에서도 P.S.T 공법 부재의 내하력에 대한 효과를 충분히 보인 것으로 알 수 있다. Fig. 10(b)에서 허용처짐 범위에서 우각부 강관 지름이 다름에 따라 부재의 휨강성에 큰 차이가 있는 것으로 나타났으며, JT-1의 사용하중상태에서의 하중은 표준 실험체보다 40% 적게 나타났다. Fig. 10(c)에서 긴장력이 표준실험체의 50%인 PS-1실험체의 사용하중 상태에서의 하중이 표준실험체의 사용하중상태 하중의 90%로 나타나, 허용처짐에서는 큰 차이가 있으나 하중이 증가함에 따라 긴장력 크기가 부재의 내하력에 주는 효과가 크게 나타난 것으로 알 수 있다. 이음부를 용접한 실험체에서 WD-1은 사용하중상태에서 표준실험체보다 58%의 하중증가효과를 나타내었고, WD-2는 하부강관 이음부를 모두 용접한 실험체로서 Fig. 10(D)에서처럼 부재의 휨강성이 크게 향상되어 표준실험체보다 89%의 하중증가효과를 나타나 이음부 용접이 부재의 강성증가에 대한 효과를 확인할 수 있었다.

4.4 연성도 평가

연성은 재료, 구조단면, 구조부재 또는 구조계가 심각한 저항성의 손실이 없이 붕괴하기 전까지 보여주는 비선형성(Inelastic deformation)을 나타내는 정성적인 개념이다(김준원 등, 2009). 연성을 측정하기 위한 방법으로 연성지수(Ductility index) 또는 연성계수(Ductility factor)가 사용되는데 곡률(Curvature), 회전(Rotation), 처짐(Deflection)의 비로 식 (1)과 같이 정의한다.

$$\mu_{\phi} = \frac{\phi_u}{\phi_y}, \quad \mu_{\theta} = \frac{\theta_u}{\theta_y}, \quad \mu_{\Delta} = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \quad (1)$$

여기서, μ 는 부재의 연성지수, ϕ 는 부재의 회전계수, θ 는 부재의 곡률, Δ 는 부재의 처짐을 나타낸다.

Table 6 Calculated ductility index of specimens

Specimen	Yield state		Ultimate state		Ductility index
	Load (kN)	Deflection (mm)	Load (kN)	Deflection (mm)	
ST-1	338	45	420	75	1.67
ST-2	390	50	465	90	1.80
ST-3	450	38	518	95	2.48
JT-1	285	44	313	53	1.20
PS-1	211	22	320	48	2.18
WD-1	470	28	544	49	1.75
WD-2	540	25	610	33	1.32

본 논문에서는 실험체가 항복할 때의 처짐과 극한하중에 도달할 때의 처짐의 비로 표현되는 변위 연성지수(Ductility index)를 사용하여 부재의 연성도를 평가하였다. 각 실험체의 항복하중은 최대하중과 최대하중의 60%인 강성을 연결하여 만나는 점을 항복변위로 산정하고, 이때의 하중을 항복하중으로 정의하였다.

Table 6은 각 실험체의 항복하중 및 극한하중과 항복하중에서의 처짐의 비로 나타내는 연성지수 산정 결과를 나타낸 것이다. ST-1, ST-2 및 ST-3 실험체의 연성지수는 각각 1.67, 1.80 및 2.48로 나타나 세그먼트 길이가 길수록 더 연성적인 거동을 보인다는 것을 알 수 있다. 이는 세그먼트의 길이가 큰 것이 휨에 대한 저항성이 강하여 취약부위인 이음부에서의 파괴를 지연시켜 보다 연성적인 거동을 한 것으로 보여진다. JT-1 실험체의 연성지수는 1.20으로 표준실험체보다 연성이 떨어지는 것으로 나타났는데 이는 우각부 강관지름이 작아 부모멘트에 대한 저항성이 떨어져 구조물의 내하력이 감소되어 연성지수가 작은 것으로 판단된다. PS-1 실험체의 연성지수는 2.18로 표준실험체보다 더 연성적인 거동을 하는 것으로 나타났다. 이는 프리스트레스 긴장력의 크기가 커짐에 따라 부재의 취성이 증가하는 원리와 일치한다. WD-2 실험체는 표준실험체보다 연성이 떨어지는 것으로 나타났는데, 이는 극한하중에 도달할 시 이음부 용접부위의 파괴가 발생함과 동시에 내하력이 급격히 떨어져 상대적으로 취성적인 거동을 한 것으로 판단된다. 결론적으로 세그먼트의 길이가 크고, 우각부의 지름을 크게 하고, 긴장력의 도입을 작게 하는 것이 연성확보 측면에서 유리한 것으로 나타났다.

5. 결론

본 논문에서는 P.S.T 공법 구조물의 휨거동 특성을 파악하고, 세그먼트 형상비, 우각부 강관의 지름, PS 긴장량 및 이음부의 용접유무에 따른 효과를 평가하기 위하여 실험체를 계획 및 제작하여 정적 하중재하 실험을 실시하였고 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 단일 세그먼트의 길이가 긴 경우 인장에 대한 저항성이 상대적으로 약한 이음부의 개수가 적어지고, 그만큼 세그먼트가 인장에 저항하기 때문에 구조물의 휨강성이 증가하며 결과적으로 처짐을 감소시켜 사용성이 증대되는 효과를 가진다.
- 2) 우각부 원형강관의 지름이 큰 것이 우각부에서 발생하는 부모멘트에 대한 저항성이 우수하여, 구조물의 내하력을 향상시킨 것을 알 수 있었다.
- 3) 구조물에 프리스트레싱력을 크게 도입하면 구조물의 내하력이 증가하여 처짐 및 변형률의 감소에 효과가 있다.
- 4) 이음부의 용접은 P.S.T 공법으로 제작한 구조물의 휨성능을 높이는데 큰 효과를 가지고 있으며, 특히 하부강관의 이음부를 용접하는 것은 휨에 대한 저항성을 더욱 향상시킨다.
- 5) 세그먼트의 길이가 크고, 우각부의 지름을 크게 하고, 도입 긴장력의 크기를 작게 하는 것이 연성확보 측면에서 유리하다.

감사의 글

이 연구는 (주)두준건설의 재정적지원에 의해 수행되었고, 이에 감사의 뜻을 표합니다.

참고문헌

1. 건설교통부, 도로교설계기준, 2005.
2. 국토해양부 신기술 제299호, 슬래브 강관과 PC벽체 트랜치를 이용한 터널축조공법(T.R.c.M공법), 2001.

3. 국토해양부 신기술 제 426호, 압입된 강관과 강관절개면 연결부에 토압지지대를 설치하고 지하구조체를 형성하는 공법(N.T.R공법), 2004.
4. 국토해양부 신기술 제567호, 강관간의 횡방향 접합부가 철근으로 보강된 가설용 충전강관구조체를 이용한 비개착식 지중구조물 축조공법(STS공법), 2009.
5. 국토해양부 신기술 제572호, 3개의 강관이 \equiv 자형으로 병렬 연결된 강관다발 장착시스템을 이용한 비개착 구조물 압입공법(U.P.R.S공법), 2009.
6. 김경곤, "대구경 강관을 이용한 지하구조물 축조 시 합성 구조물의 구조적 안전성에 대한 연구", 연세대학교, 공학석사 학위논문, 2006.
7. 김경민, 홍성남, 양동석, 박선규, "지점부 단면형고 확대를 도입한 연속 프리스트레스트 Steel I-Girder의 휨거동에 관한 실험적 연구", 한국구조물진단학회, 제10권 6호, 2006, pp.143-153.
8. 김준원, 김태완, 홍성남, 박선규, "AFRP로 보강된 철근콘크리트 보의 휨 거동과 연성도 평가", 구조물진단학회지, 제13권 2호, 2009, pp.206-214.
9. 손학동, "S.T.S 공법의 극한 휨강도 평가", 서울산업대학교, 공학석사 학위논문, 2006.
10. 양동석, 임상훈, 박선규, "외부 긴장된 H형 보의 휨거동 특성", 한국강구조학회 논문집, 제14권 제1호, 2002, pp.79-85.
11. 정연주, 정광희, "샌드위치식 복합구조체의 거동 및 성능특성 연구", 대한토목학회 논문집, 제21권 제2호, 2001, pp.255-267.
12. 홍성남, 김광수, 한경봉, 박선규, 유병익, "프리스트레스트 강합성 Double T-Beam의 휨거동 특성에 관한 실험적 연구", 한국구조물진단학회, 제11권 1호, 2007, pp.49-57.
13. Mo. Y. L. and Han. R. H., "Cyclic load tests on prestressed concrete model frames", Engineering Structures, vol. 18, No. 4, 1996, pp.311-320.
14. Roberts. T. M., Edwards. D. N. and Narayanan. R., "Testing and analysis of steel-concrete-steel sandwich beams", Journal of Constructional Steel Research, vol. 38, No. 3, 1996, pp.257-279.
15. Saadatmanesh. H., Albrecht. P. and Ayyub. B. M., "Experimental study prestressed composite beams", Journal of Structural Engineering, vol. 115, No. 9, 1989, pp.13-22.

(접수일자 : 2010년 10월 28일)

(수정일자 : 2010년 12월 23일)

(심사완료일자 : 2010년 12월 30일)

요 지

기존의 지하구조물 비개착축조공법은 구조물의 강성을 확보하기 위하여 가설구조인 강관에 철근을 설치하는데 시공시 좁은 공간으로 작업이 불편하고 배근작업으로 인한 자재비용이 과다하는 등 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하는 차원에서 스틸 세그먼트를 이음부로서 연결하여 지하구조물 축조시 가설구조물을 형성하고 철근대신 강선이나 강봉을 설치하여 긴장력을 도입하는 새로운 공법인 P.S.T공법(Prestressed Segment Tunnel Method)이 모색되었다. 본 연구에서는 P.S.T공법 구조물의 휨성능을 평가하고자 그에 대한 실험적인 연구를 수행하였다. 세그먼트 형상비, 우각부 원형강관의 크기, 긴장량의 크기 및 이음부의 용접 유무를 실험변수로 설정하여 구조물의 휨거동 특성을 규명하고 부동한 변수에 따른 구조물의 처짐에 대한 효과를 분석하였다.

핵심 용어 : P.S.T 공법, 비개착공법, 휨거동, 프리스트레스트 콘크리트
