

4 힘을 받는 콘크리트 충전강관의 적용성 연구

글 이 타 \ 토목기술팀 차장 \ 공학박사 \ 토목구조기술사 \ 전화 02-3433-7773 \ E-mail yita@ssyenc.com

1. 서론

콘크리트 충전강관(Concrete Filled Steel Tube, CFT) 구조는 강관 내부에 콘크리트를 채우는 공법으로 합성구조의 분류상 충전형에 해당한다. 미국, 유럽 및 일본 등 선진 국가에서는 철골철근 콘크리트(Steel Reinforced Concrete, SRC) 구조의 일종으로 분류하며, RC구조 설계기준에서 뿐만 아니라 강구조에서도 일부 한정적으로 다루고 있다. 강관을 구조부재로 사용하는 경우 폐단면 재이므로 좌굴에 유리하며, H형강 등의 개단면재에 비하여 단면 강도에 방향성이 적다는 특징이 있다.

강관 내부에 콘크리트를 충전함으로써 강과 콘크리트의 단점을 상호 보완하여 양측의 장점을 발휘할 수 있기 때문에 역학적으로 우수한 성능을 지닌다. 지금까지 콘크리트 충전강관(CFT)은 건축 합성형 기둥부재로 많은 연구가 수행되어 왔으며 일부 교량 구조물로 적용한 사례도 있으나 아직 초기단계에 있다.

CFT 합성보는 축방향 부재로서의 CFT가 갖는 이러한 강도증진 효과를 힘부재에 적용하기 위한 목적으로 개발되었으며, 국내에서도 강병수 등¹⁾이 콘크리트 충전강관을 갖는 프리스트레스트 합성거더의 정·부모멘트 거동성질 분석을 목적으로 실험 및 해석 연구를 수행하였다.

현재까지 대부분의 CFT 부재에 관한 연구가 강관에 의한 충전콘크리트의 구속효과, 정적 및 동적 하중 하에서 거동성질, 축 및 휨 하중 하에서의 좌굴거동 등을 중심으로 수행되어 왔으나 CFT 구조가 합성구조로 휨하중에 대한 저항 메커니즘에 관한 연구는 관심밖이었다.

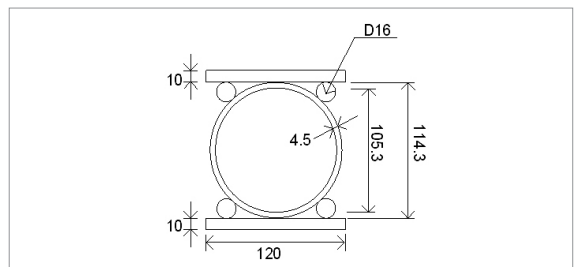
본 연구에서는 콘크리트 충전강관에 강재 웨브와 하부플랜지를 부착하여 강관 내의 콘크리트 단면이 압축을 받도록 한 CFT 합성보의 휨 실험과 세가지의 지간을 가진 일반 CFT의 휨 실험을 수행하였다.

합성형 CFT는 양 단부가 개방된 경우와 폐쇄된 경우의 두 종류 CFT로 제작하였고, 단부 개방의 경우에는 강관과 내부 충전콘크리트 간의 슬립량을 측정하고 유한요소해석을 이용하여 거동을 예측하여 강관의 충전콘크리트에 대한 횡방향 구속효과를 분석하였다. 단부폐쇄의 경우에는 강관의 구속작용에 의한 강도증가량을 계측하고 유한요소해석 결과와의 비교를 통해 충전콘크리트의 구속효과를 검증하였다.

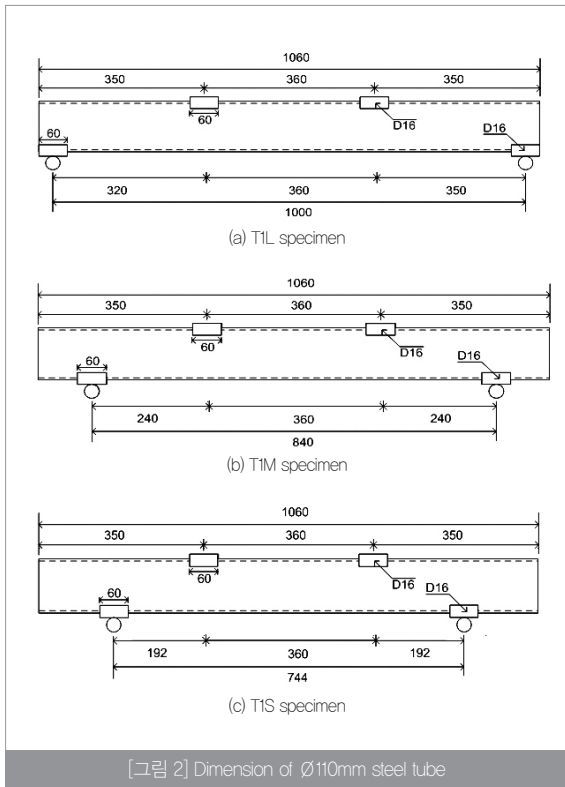
2. CFT 실험체의 제작

2-1. 일반 CFT 실험체

일반 CFT 실험체는 두께 4.5mm인 Ø110mm 관을 사용하여 실험체를 제작하였다. 실험체의 길이는 관경과 실험체의 길이의 비를 1 : 10으로 하여 1,060mm로 하였으며 각 지간별로 2개씩 총 6개의 실험체를 제작하였다.



[그림 1] Cross sections of steel tubes (Unit: mm)



지점부와 하중작용점에는 응력집중에 따른 국부 변형을 방지하고 하중판 및 지점부 강재판을 고정하기 위해 D16의 강봉을 [그림 1]과 같이 용접하였다. 하중점은 지간 중앙부가 순수 휨 모멘트 구간이 되도록 하기 위해 360mm의 간격을 두고 강관 중앙으로부터 양쪽에 설치하였다.

전단지간의 변화에 따른 강관과 충전콘크리트 간의 상호작용의 종속성을 관찰하기 위해 지점 위치는 하중점으로부터 192mm, 240mm, 320mm 떨어진 세 종류로 구성하여, 각 경우마다 2개의 강관을 제작하였다. 이러한 세 종류 전단지간에 대해 긴 전단지간에 대한 짧은 전단지간의 비는 1 : 0.75 : 0.60이다. [그림 2]는 Ø110mm의 두 강관 경우에 대한 전단 지간별 길이방향 단면크기 및 형상을 보여준다.

실험실 벽체에 두께 10mm의 합판을 설치하고, 연질 철사를 사용하여 강관의 하중판과 지점부를 합판에 고정시키고 강관을 연직 방향으로 거치한 후에 강관 내부에 콘크리트를 타설하였다. 콘크리트는 현장에서 콘크리트 믹서를 이용하여 직접 타설하였다.

<표 1>과 <표 2>는 각각 강관 내부 충전콘크리트의 배합비와 물성값을 보여준다. 물성파악을 위한 강재 시험편은 실험에 사용된 강관으로부터 재단하여 KS B 0801(금속재료 인장 시험편)에 따라 제작하였다.

표 1 Concrete mix proportion

Design strength (MPa)	Cement (N/m ³)	Water (N/m ³)	Fine aggregate (N/m ³)	Coarse aggregate (N/m ³)	W/C (%)	Slump (mm)
27	3,830	1,720	7,170	10,320	44.8	83

표 2 Mechanical properties of concrete

Age at test (day)	Compressive strength, f_{ck} (MPa)	Modulus of elasticity, E_s (MPa)	Poisson's ratio
28	32	37,200	0.22

표 3 Mechanical properties of steel

Thickness (mm)	Yield stress f_y (MPa)	Tensile strength f_t (MPa)	Modulus of elasticity E_s (MPa)
4.5	450	503	200,000

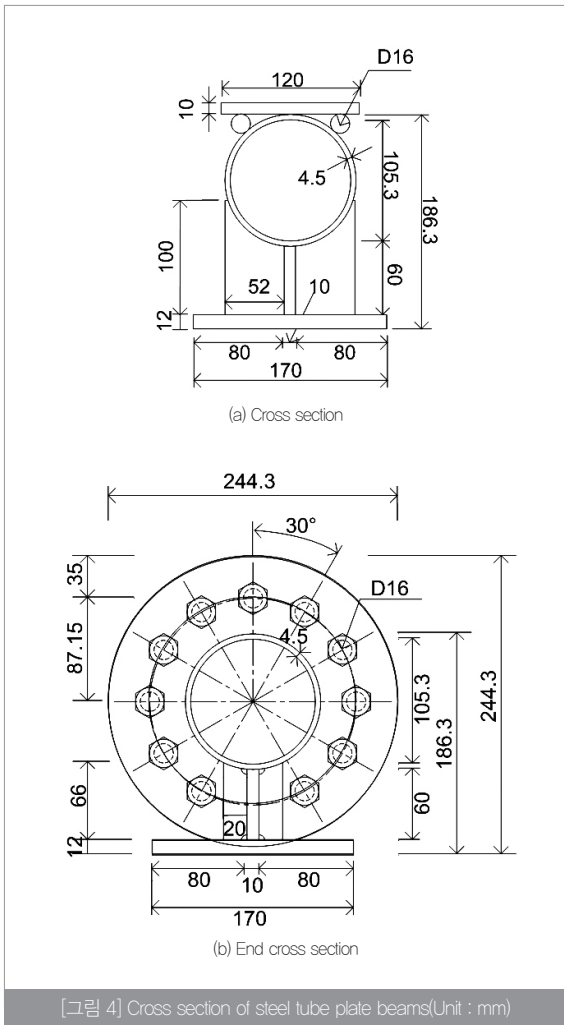
<표 3>은 강관의 물성값을 보여준다.

탄성계수는 각 인장 시험편에서 항복강도의 약 85% 범위에서 응력-변형을 관계를 회귀분석하여 결정하였으며, 강재의 포아송비는 일반적인 강재의 포아송비인 0.3을 적용하였다. [그림 3]은 Ø100mm 강관 실험체를 보여준다.



2-2. 합성형 CFT 실험체

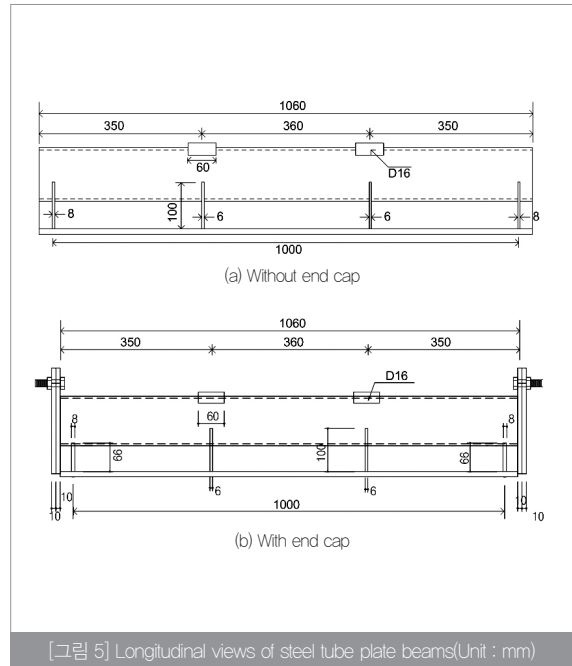
실험체는 길이 1,060mm, 관경 Ø110mm, 두께 4.5mm인 강관의 길이방향으로 두께 10mm의 강재판을 용접하여 웨브를 형성하고, 웨브하단에 두께 12mm의 강재플랜지를 용접하여 제작하였다.



강관 내부의 콘크리트 구속효과에 따른 계면거동의 영향성을 평가하기 위해 [그림 4 (a)]와 같이 양단부를 개방하여 강관 내부 콘크리트의 슬립거동을 허용한 경우(단부개방)와 [그림 4 (b)]와 같이 양단부를 강재를 사용하여 봉함함으로써 강관 내부 콘크리트의 슬립거동을 방지한 경우(단부구속)의 두 경우에 대해 각 2개씩 총 4개의 실험체를 제작하였다. 단부구속의 경우에는 관경 $\varnothing 245\text{mm}$, 두께 10mm의 단부덮개를 양단부에 볼트로 체결하여 단부가 구속되도록 하였다.

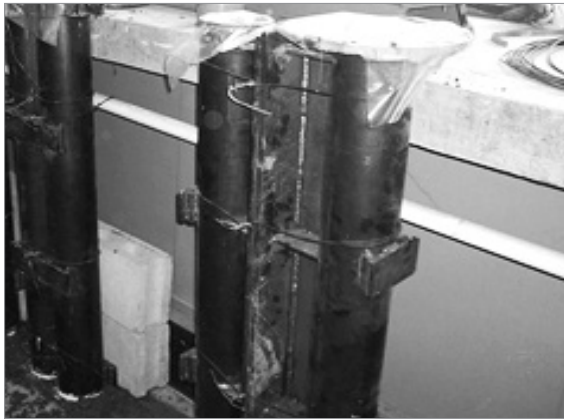
하중점과 지점부에는 하중작용으로 인한 웨브의 국부좌굴을 방지하기 위해 두께 6mm의 수직 보강재를 용접하여 설치하였으며, 양단구속의 경우에는 단부구속판의 설치로 인해 폭 20mm, 두께 8mm의 강판을 수직보강재로서 단부에 추가로 설치하였다. 하중작용점에는 응력집중에 따른 국부변형을 방지하고 하중판 및 지점부 강재판을 고정하기 위해 D16의 강봉을 [그림 4 (a)]와 같이

용접하였으며, [그림 5 (a)]와 [그림 5 (b)]는 단부개방 경우와 단부구속의 실험체에 대한 길이방향 단면제원을 보여준다.



콘크리트는 현장에서 콘크리트 믹서를 이용하여 직접 타설하였으며 다짐봉을 사용하여 다짐을 수행하였다. 내부 콘크리트를 타설한 후에 비닐을 강관 상단부에 덮어 수분의 증발을 방지하였으며 타설 후 1일 쯤에 비닐덮개를 제거하고 부직포를 덮은 후에 살수함으로써 습윤양생 조건이 되도록 하였다. [그림 6]과 [그림 7]은 내부 콘크리트 타설 전의 단부개방 및 단부구속의 두 종류 강관 합성보의 형상과 타설 후 CFT 합성보의 양생모습을 각각 보여준다.





[그림 7] Curing of CFT composite beams

〈표 4〉는 강관과 강재 플레이트의 두께에 따른 물성값을 보여준다. 탄성계수는 각 인장 시험편에서 항복강도의 약 85% 범위에서 응력-변형을 관계를 회귀분석하여 결정하였으며, 강재의 포아송 비는 일반적인 강재의 포아송 비인 0.3을 적용하였다.

표 4 Mechanical properties of steel

Division	Thickness (mm)	Strength		Elastic Moduli E_s (MPa)
		Yield f_y (MPa)	Tensile f_t (MPa)	
Steel tube	4.5	449	503	200,000
Steel plate	10	335	463	188,000
	12	329	484	210,000

3. CFT 실험체의 휨실험

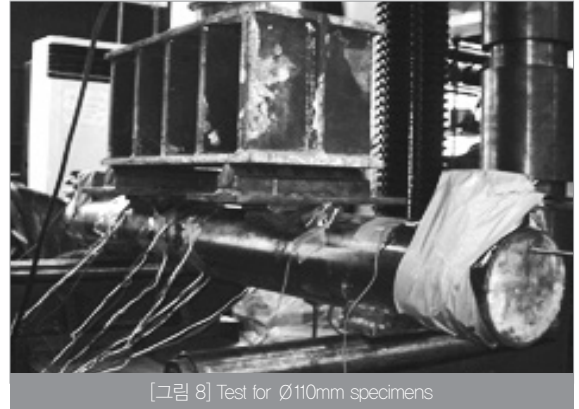
변위 및 하중제어가 가능한 1,000kN 용량의 UTM을 사용하여 CFT 실험체에 대한 휨실험을 수행하였으며, 실험데이터는 총 84 채널의 데이터 수집장치를 갖는 장치를 사용하였다.

실험체의 지간 중앙부에는 중앙하단에 LVDT를 설치하여 처짐량을 측정하였으며, 별도로 강관과 충전콘크리트 간의 계면에서 계면슬립 발생여부를 관찰하기 위해 강관의 양단부 단면에 직교하는 방향으로 LVDT를 설치하였다. 실험체의 지간 중앙부에서 휨 거동으로 인한 강관의 축방향 변형과 종립축의 변화 및 포아송 효과에 의한 강관의 충전콘크리트에 대한 구속효과를 계측하기 위해 강관의 상부, 중앙 및 하부에 로젯게이지를 각각 부착하였다.

3-1. 일반 CFT 실험결과

실험은 최대하중 이후의 연화거동을 고려하여 변위제어로서 진행하였고, 데이터 수집장치를 이용하여 2초 간격으로 계속자료를

를 수집 및 저장하였다. 실험체는 하부 강관부의 항복 이후에 처짐이 급속히 증가하기 시작하였으며, 처짐이 지속적으로 증가함에 따라 실험체의 지점부가 받침부로부터 눈에 띄게 이격되기 시작하여 처짐량이 20mm에 도달하면서 실험체 상부의 하중반 받침부가 강관상부에 접촉하게 되어 실험을 종결하였다. [그림 8]은 Ø110mm 실험체에 대한 하중재하 모습을 보여준다.



[그림 8] Test for Ø110mm specimens

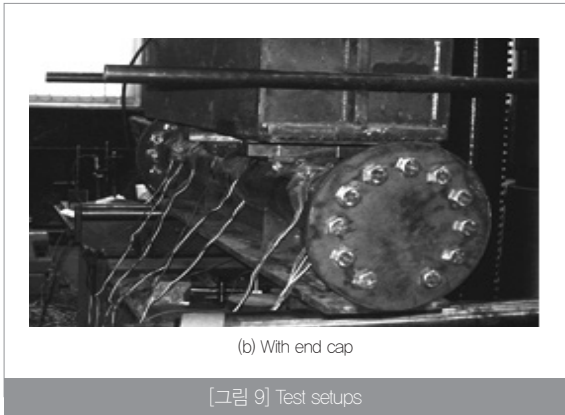
3-2. 합성형 CFT 실험체

단부개방 실험체 TF1은 실험체의 비선형 거동과 더불어 비선형 거동의 진행과 더불어 실험체의 오른쪽 단부에서 콘크리트의 압축이 시작되었으며, 처짐이 약 30mm정도 진행된 후 왼쪽 단부의 압축이 시작되었다([그림 10 (a)]). 오른쪽 단부의 충전콘크리트 압축은 설치된 LVDT로부터 11mm를 계측하였으며, 왼쪽의 경우에는 1mm를 계측하였다. 이러한 슬립거동은 휨하중 하에서 CFT 합성보의 강관부가 휨 압축응력을 받아 이에 대응하는 압축변위가 발생할 때 강관과 내부 충전콘크리트의 일체거동을 보장하는 계면상의 부착력이 충전콘크리트의 축방향 압축력에 더 이상 저항하지 못한 결과로 이해된다.



(a) Without end cap

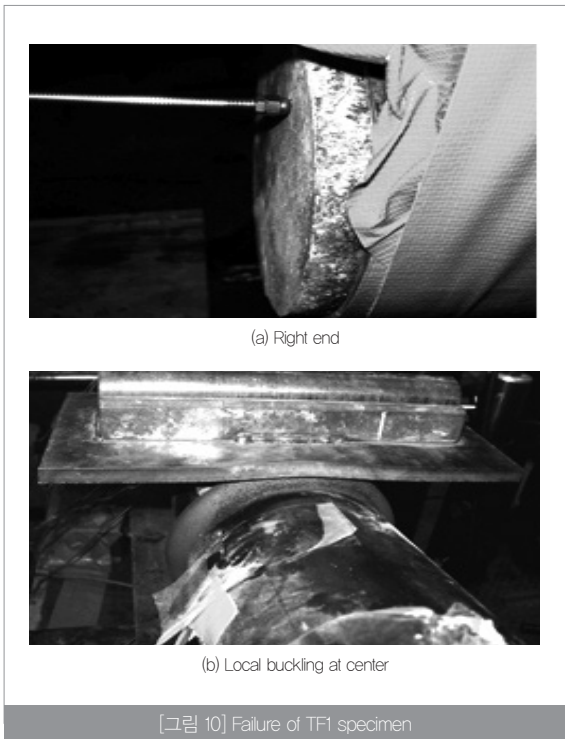
[그림 9] Test setups



(b) With end cap

[그림 9] Test setups

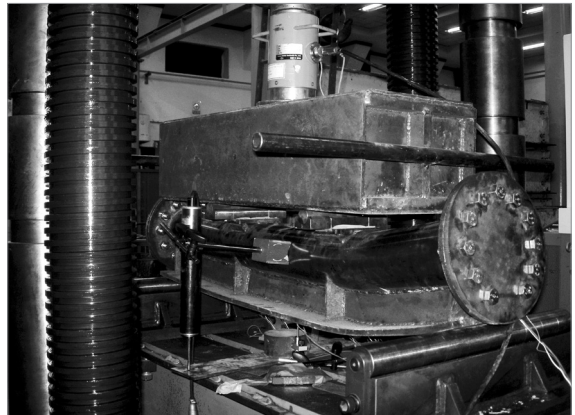
이후 CFT의 단부에서 강관 내부의 콘크리트 슬립이 발생한 후에 하중점 부근에서 압축응력에 의한 강관의 국부좌굴이 발생하였으며([그림 10 (b)] 참조), 강관의 팽창부위가 하중판과 접촉하여 실험을 중단하였다. 단부구속 실험체 TF2는 처짐이 약 20mm 정도 진행하는 동안 지점부 수직 보강재에 좌굴이 발생하였고 강관과 웨브의 용접부위가 분리되면서 하중 저항성이 급격히 감소하여 재하하중 656kN에서 갑자기 파괴되었다([그림 11] 참조). 이러한 파괴는 TF1 실험체의 경우에서 발생하는 충전콘크리트의 슬립거동이 단부구속에 의해 억제됨으로써 발생한 것으로 이해된다.



(a) Right end

(b) Local buckling at center

[그림 10] Failure of TF1 specimen



[그림 11] Test for CFT composite beam with end cap

4. 실험결과와 분석

4-1. 일반 CFT 실험 분석

지름 $\phi 110\text{mm}$ 인 CFT보 실험체 3종류(T1L, T1M, T1S)에 대한 파괴거동을 계측하였으며, 단면해석법과 유한요소해석법을 사용하여 각 종류별 실험체에 대한 저항강도와 거동을 수치해석적 방법으로 예측하였다.

단면해석법의 경우에는 CFT 단면의 저항강도만을 계산하였으며, 유한요소해석법의 경우에는 강관과 충전콘크리트간의 계면거동을 고려하지 않는 완전부착 경우와 계면거동을 고려하는 경우의 두 경우에 대해 CFT 보의 거동예측을 수행하고, 실험에서 계측된 결과와 비교를 통해 실험결과로서 분석되지 않는 거동에 대한 관련 자료로 활용하였다.

1) 단면해석법

단면해석법에 의한 CFT 보 단면의 저항강도는 압축부 충전콘크리트의 횡방향 체적팽창으로 인한 강관의 구속효과가 없는 것으로 가정하고 계산하였다. 이 방법으로 계산된 단면강도는 실험에서 계측된 단면저항능력과 비교를 통해 강관의 구속효과와 유무 및 구속효과 정도에 대한 예측근거자료로 사용하였다. 단면강도는 직사각형 단면의 응력사각형 블록개념과 유사하게 콘크리트의 압축부 전면적에 대하여 콘크리트의 압축응력이 $0.85f_{ck}$ 의 크기를 갖는 것으로 가정하고 계산하였으며, 또한, 강관 내부의 충전콘크리트가 없는 순수 강관단면의 저항하중을 계산하여 충전콘크리트에 의한 강도증가 정도를 고찰하였다.

2) 유한요소해석법

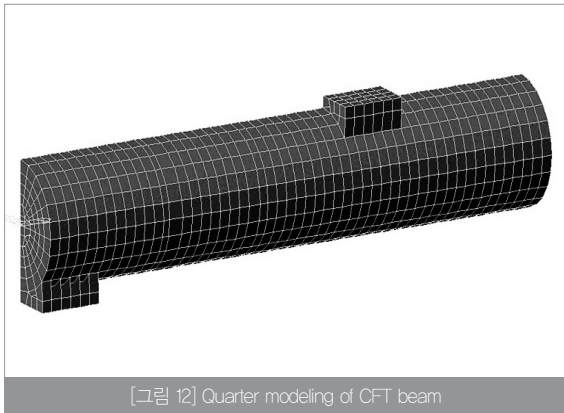
콘크리트와 강재의 재료 비선형성은 네게수 파괴포락선과 Von

Mises 파괴규준을 이용한 탄소성 구성모델을 사용하여 각각 정의하였으며, 강관과 콘크리트간의 계면거동은 Mohr-Coulomb 파괴규준에 근거하여 제안된 쌍곡선 파괴포락선⁶⁾을 이용한 탄소성 구성모델을 사용하여 정의하였다.

CFT 보는 종 횡방향으로 대칭성을 가지므로 전체형상의 1/4만을 고려하여 콘크리트는 절점당 3개의 변위자유도를 갖는 8절점 3차원 육면체 요소로, 강재는 절점당 6개의 자유도를 갖는 4절점 3차원 쉘 요소로서 그리고 강관과 콘크리트간의 계면은 0-계면깊이(0-thickness) 8절점 계면요소로서 각각 유한요소 모델링하였다. 해석에 필요한 강재와 콘크리트의 재료물성값은 <표 2>, <표 3>의 값을 적용하였고, 강관과 콘크리트의 계면에 대한 물성값은 강-콘크리트 계면의 부착 및 비부착 실험^{4), 5)}을 통해 결정된 <표 5>의 계면구성 계수값을 적용하였다. [그림 12]는 Ø110mm CFT 보의 T1L 실험체에 대한 1/4 유한요소 모델링 결과를 보여준다.

표 5 Interface parameter values

Parameters	Values	Parameters	Values
σ_u^{max}	0.47	η	6.5
σ^{res}	0.33	G_i^I	0.2
b^{max}	0.03	G_{ib}^{II}	$2.345\sigma_n + 0.012$
k^{max}	0.015	G_u^{II}	$0.203\sigma_n$



3) 실험결과

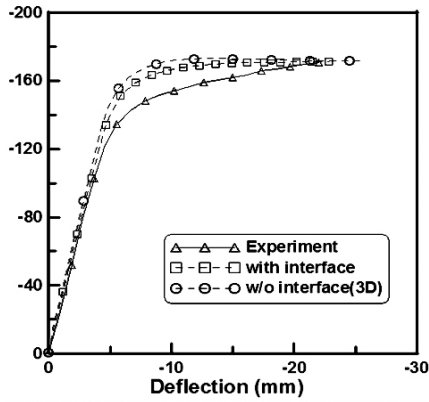
<표 6>은 여섯 종류의 실험체에 대한 실험으로부터 계측된 최대하중과 단면해석법 및 유한요소해석법에 의한 예측된 최대하중의 비교를 보여준다.

표 6 Comparison of measured and predicted resisting capacities

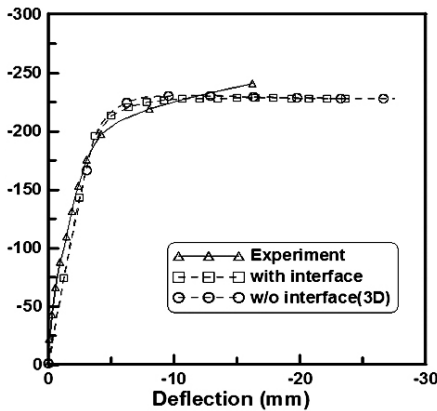
Division		T1L	T1M	T1S	
Shear span	L/length(mm)	320	240	192	
	Ratio(%)	100	75	60	
Applied load (kN)	Test ①	171	243	303	
	Sec. anal.	CFT ② (②/①)	186	248	310
			1.09	1.02	1.02
	Steel Tube	67	89	111	
	FEM	w/o int. ③ (③/①)	172	230	286
			1.01	0.95	0.94
with int. ④ (④/①)		172	231	286	
		1	0.95	0.94	
Moment ratio	Test	1	1.06	1.06	
	FEM (with int.)	1	1	1	

단면해석법(sec.anal.)의 경우에 CFT와 Steel Tube은 각각 콘크리트를 충전한 경우와 강관만의 경우를 의미하며, 유한요소해석의 경우에 w/o int.와 with int.은 각각 계면요소를 고려한 경우와 고려하지 않은 경우를 의미한다. 또한, Moment ratio는 각 관경의 해당 전단지간 경우에 대한 최대모멘트를 가장 긴 전단지간 경우(L)에 대한 최대모멘트로 나눈 비를 의미한다.

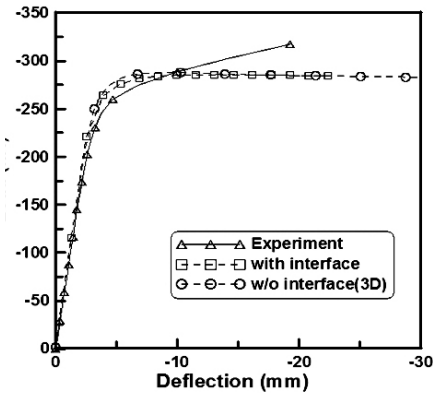
Moment ratio로부터 지간의 변화에 따른 최대 모멘트의 변화를 분석하였다. 이 결과로부터 긴 전단 지간의 60% 전단지간을 갖는 T1S경우에 최대모멘트가 각각 6%로서 다소간 증가가 관찰되나 75%의 전단지간 경우와 실험상의 불 확실성을 고려할 때 전단지간의 변화에 따른 저항강도의 종속성은 없는 것으로 판단된다. 이를 보다 명확히 하기 위해 비선형 유한요소 해석법에 의한 예측 결과에 근거하여 전단지간 변화에 따른 최대 모멘트의 종속성을 평가하였다. 먼저 해석결과와 실험결과에 대한 예측능력을 검증하기 위해 각 전단지간 경우에 대해 예측된 최대 예측하중을 최대 계측하중에 대한 비로서 <표 6>에 표시하였다. T1L, T1M, T1S 시험의 하중-처짐곡선은 아래의 [그림 13]과 같다.



(a) TIL



(b) TIM



(c) TIS

[그림 13] Load vs. deflection curves for $\varnothing 110\text{mm}$ specimen

이 결과로부터 유한요소 해석법에 의한 예측결과는 실험결과와 -6.0%로부터 1.0%의 범위 내에서 실험결과를 비교적 잘 예측하고 있음을 알 수 있다. 유한요소 해석의 경우에 계면요소를 적용한 경우와 적용하지 않은 경우의 결과가 거의 차이가 없어 계면요

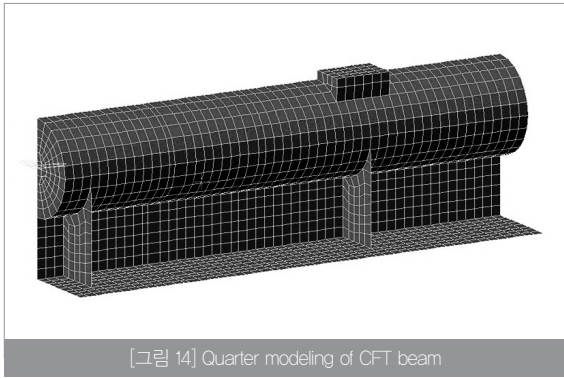
소를 적용한 예측결과에 근거하여 T1L 경우의 최대 예측모멘트에 대한 T1S경우의 최대 예측모멘트 비를 계산한 결과 각각 1.0로서 거의 차이가 없었으며, T1M의 경우에도 1.0로서 일치하는 결과를 나타냈다.

실험 및 유한요소해석 결과로부터 관찰된 CFT 단면 최대 저항모멘트의 전단지간 변화에 대한 독립성은 CFT 단면 상의 종립축 상부 콘크리트에 작용하는 힘 압축응력으로 인한 포아송 효과가 강관에 의해 구속되어 콘크리트의 축방향 강도가 증가하는 강관 구속효과가 존재하지 않음을 의미한다. 이러한 강관 구속효과의 여부를 단면해석법에 의한 강도 계산결과를 통해 또한 분석하였다. 단면해석법에 의해 단면 최대하중을 각 전단지간의 경우에 대해 계산하고 대응하는 전단지간 경우의 최대 계측하중에 대한 비로서 <표 6>에 나타난 결과로부터 단면해석법에 의한 단면저항 하중은 계측결과와 2.0%로부터 9.0%까지 비교적 일치하고 있음을 볼 수 있다. 이는 단면해석법이 강관구속효과를 고려함없이 직사각형 응력블록 개념에 근거하였음을 고려할 때, CFT 단면 최대 저항모멘트의 전단지간 변화에 대한 독립성을 설명하는 근거가 된다. 부가적으로, 콘크리트 충전에 따른 저항능력의 증가정도를 분석하기 위해 강관만의 경우에 대한 저항하중을 계산하여 <표 6>에 나타냈으며 이 결과로부터 $\varnothing 110\text{mm}$ 관경에서 약 2.8배의 증가율을 얻었다.

4-2. 합성형 CFT 실험 분석

단부개방 TF1과 단부구속 TF2의 두 종류 CFT 합성보 실험체에 대한 파괴거동을 계측하였으며, 단면해석법과 유한요소해석법을 사용하여 각 실험 체에 대한 저항강도와 거동을 예측하였다. 수치해석에서 단면해석법의 경우에는 CFT 합성보 단면의 저항강도만을 계산하였으며, 유한요소해석법의 경우에는 강관과 충전콘크리트간의 계면거동을 고려치 않는 완전부착 경우와 계면거동을 고려하는 경우의 두 경우에 대해 CFT 합성보의 거동예측을 수행하고, 실험에서 계측된 결과와 비교를 통해 실험결과로서 분석되지 않는 거동에 대한 관련 자료로 활용하였다. 단부구속의 경우인 TF2 실험체는 최대하중 값에 도달하기 전인 656kN의 하중에서 단부의 웨브와 강관과의 용접부위가 파괴됨으로 인해 수치해석결과와는 비교하지 않았으며 계면요소를 고려한 경우와 고려하지 않은 경우의 두 경우 유한요소 해석결과를 사용하여 단부구속 경우에 대한 거동분석을 수행하였다.

전산해석은 일반 CFT의 경우와 동일한 방법으로 수행하였다. [그림 14]는 TF1 합성보 실험체에 대한 1/4 유한요소 모델링 결과를 보여준다.



[그림 14] Quarter modeling of CFT beam

1) 실험결과

〈표 7〉은 두 실험체에 대한 실험으로부터 예측된 최대하중과 단면 해석법 및 유한요소해석법에 의해 예측된 최대하중의 비교를 보여준다.

표 7 Comparison of measured and predicted resisting capacities

Specimen	Test	Max. load(kN)			
		FEM		Sec. analy.	
		w/o int.	with int.	with conc.	w/o conc.
TF1	630	733	643	541	279
TF2	-	742	729	541	279

단면해석법(Sec. analy.)의 경우에 with conc.와 w/o conc.은 각각 콘크리트를 충전한 경우와 강관만의 경우를 의미하며, 유한요소해석의 경우에 w/o int.와 with int.은 각각 계면요소를 고려한 경우와 고려하지 않은 경우를 의미한다.

단부개방 TF1 실험체에 대해 예측된 최대하중은 내부 콘크리트를 고려하지 않은 경우와 내부 콘크리트를 고려하여 단면해석법으로 계산한 최대하중보다 각각 126%, 17%의 단면 저항능력의 증가를 보이고 있다.

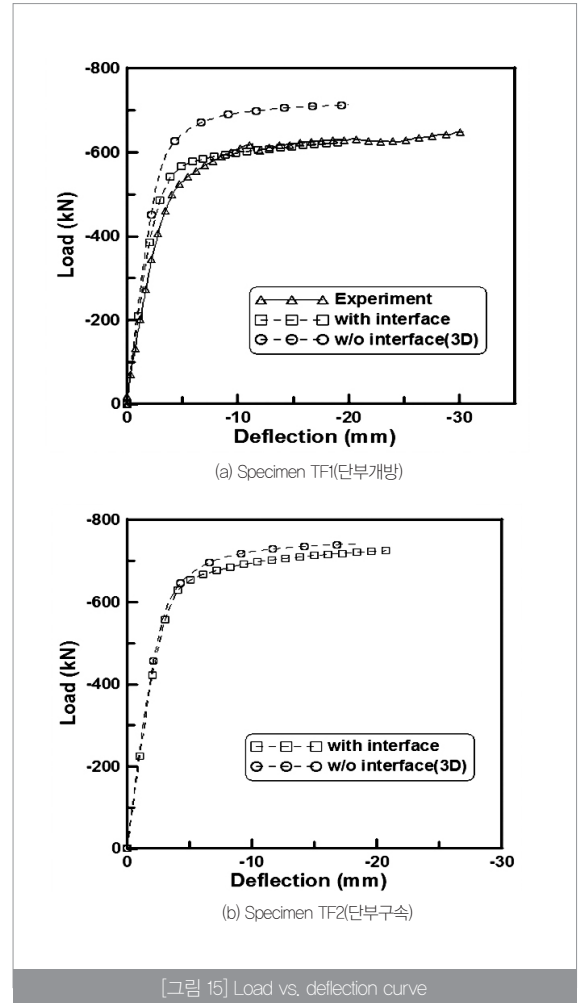
계면요소를 고려한 유한요소해석의 경우에 예측된 최대하중값은 실험값과 비교해 2% 정도의 차이로서 크게 예측하고 있으나 계면요소를 고려하지 않고 강관과 충전콘크리트간에 완전부착을 가정한 경우에는 실험값에 비해 16%의 차로써 최대하중을 크게 평가하고 있다.

이러한 최대하중의 비교에서 실험값과 단면해석법에 의한 결과와의 비교를 통해 강관 내부의 콘크리트가 전 단면에 걸쳐 압축응력을 받으므로 인해 압축부 콘크리트가 강관에 의한 구속효과를 받고 있는 것을 알 수 있다.

2) 실험 및 해석 결과의 분석

[그림 15 (a)]는 계면요소를 고려하지 않은 유한요소 해석결과가 계

면요소를 고려한 유한요소해석의 결과보다 큰 최대하중을 갖고 있음을 보여주며, 단부개방의 경우의 유한요소해석에서 계면요소가 고려된 경우는 실제 실험결과와 거의 일치하는 결과를 보여주고 있다. 단부폐쇄 실험체는 실험 진행 시 하중이 증가되면서 갑작스런 파괴로 실험을 중단하였으므로 [그림 15 (b)]는 비선형 유한요소법에 의해 예측된 결과만을 보여주고 있다.



[그림 15] Load vs. deflection curve

〈표 8〉은 콘크리트 충전강관 합성보 실험체의 실험결과와 유한요소해석 결과의 비교를 보여준다. 단부개방 실험체 TF1에 대한 실험 및 해석상의 최대하중값은 약 20.0mm의 처짐에 대응하는 하중값으로 취하였다. 계면요소를 고려하지 않은 3차원 유한요소해석결과는 실험값보다 16% 크게 예측되었으며, 계면요소를 포함한 유한요소해석 결과는 실험값과 거의 일치하였고 실험체 TF1의 단면해석법에 의한 단면 검토결과는 실험값보다 14% 적게 예측되었다.

표 8 Comparison of resisting capacity of TF1

TEST P _u (kN)	3D FEM w/o int.	3D FEM with int.	Sec. analy. TEST	3D w/o int. TEST	3D with int. TEST
630.2	732.8	634.2	0.86	1.16	1

유한요소해석과 실험을 통해 계측된 최대하중의 비교를 통해 유한요소해석법이 비교적 정확하게 실험값을 예측하고 있는 것을 보여주었으며, 계면요소가 고려되지 않은 경우의 유한요소 해석 결과는 강-콘크리트사이의 계면거동이 없으므로 양단이 구속된 경우의 해석결과와 유사함을 알 수 있다.

단부폐쇄 실험체 TF2의 경우는 실험결과를 취하지 못하였으므로 단면해석법과 유한요소해석으로 비교하였고 그 결과는 <표 9>에서 보여준다. 계면을 고려한 경우의 유한요소해석에 의해 예측된 극한하중은 단면 해석결과보다 약 36% 크게 예측되었으며, 단부 개방 실험체 TF1의 해석값도 단면해석 결과보다 17% 크게 예측되었다. 이것으로 양단이 열려있는 경우도 어느 정도의 구속효과가 발휘되었으며 양단이 막힌 경우는 구속효과가 매우 크다는 것을 알 수 있다.

표 9 Comparison of resisting capacity of specimen

Specimen	Sec. analy.	3D FEM w/o int.	3D FEM with int.	3D w/o Int. Sec. analy.	3D with Int. Sec. analy.
TF1	541.4	732.8	634.2	1.35	1.17
TF2	541.4	736.6	738.51	1.41	1.36

5. 결론 및 맺음말

- 1) 일반 CFT 보의 순수 휨모멘트 구간에서 압축부 충전콘크리트의 포아송 효과에 대한 강관의 구속작용은 그리 크지 않아 이로 인한 보의 양단부에서 충전콘크리트의 압출은 발생하지 않았다.
- 2) 일반 CFT 보 실험체의 저항강도는 강관의 구속작용이 없으므로 가정한 단면해석법에 의해 매우 근접하게 예측할 수 있으며, 이를 통해 충전콘크리트의 포아송 효과에 대한 강관의 구속작용은 고려할 만한 수준이 아님을 확인하였다.
- 3) 합성형 CFT의 실험결과 단부개방 콘크리트 충전 합성강관의 경우에는 구속효과에 의해 약 16%의 강도증진 효과를 확인하였으며, 단부를 폐쇄하여 구속효과를 키운 경우의 콘크리트 충

전 합성강관의 경우에는 35% 정도의 더욱 큰 강도증진 효과가 발생하는 것을 확인하였다.

- 4) 실험과 수치해석을 통해 얻은 이러한 결과는 플랜지가 없는 콘크리트 구속강관의 경우와는 달리 웹과 플랜지를 설치하여 중립축이 강관하단으로 내려간 경우에는 콘크리트의 충전에 의한 구속효과가 확실히 존재함을 알 수 있으며 이것을 이용하여 교량의 상부구조나 장시간 건축용 거더에서의 적용성이 있음을 확인하였다. **S**

참고문헌

- 1) 강병수, 성원진, 장영길, 이용학, "콘크리트 충전강관을 갖는 프리스트레스 합성거더의 정모멘트 구간거동", 대한토목학회, Vol.18, No.3, 2005, pp.313-320
- 2) 강병수, 주영태, 이용학, "콘크리트 충전강관을 갖는 프리스트레스 합성거더의 부모멘트 구간거동", 대한토목학회, Vol.18, No.2, 2006, pp.169-176
- 3) 이용학, "콘크리트 3차원 구성모델을 위한 네게수 파괴포락선의 개발", 대한토목학회 논문집, Vol.19, No.1, 1999, pp.79-88
- 4) 이 타, 주영태, 이용학, "강-콘크리트 계면의 계면상수 결정 : 부착 및 비부착 슬립실험", 콘크리트학회 논문집, 2009, Vol.21 No.6, pp.773-780
- 5) 이 타, 주영태, 이용학, "강-콘크리트 계면의 계면상수 결정 : 계면상수의 역학적 성질", 콘크리트학회 논문집, 2009, Vol.21 No.6, pp.781-788