

중심축하중을 받는 CFT 합성기둥의 접촉면 부착에 관한 해석적 연구

An Analytic study on the bond of the contact surface in CFT tubular column

예 상 민* 이 수 영** 김 윤 태*** 박 성 무****
Ye, Sang Min Lee, Soo Young Kim, Yun Tae Park, Seoug Moo

Abstract

In order for utilization of the concrete filled tubular, It is necessary to scrutinize interfacial characteristics between heterogeneous materials, and be performed to various analytical studies on the composite structure. In this paper, this analytic study is carried on using ABAQUS Package/ Version 5.8-1, and the variables are the relations between the coefficient of friction and the contact pressure for analyzing the behavior on the contact surface, through modifying the analytic methods and improving some problems. It is used to subdivided analytical methods in this research which categorize into four regions and can obtain closer effect for the bond behavior. Four categories compose of the chemical bond and mechanical bond regions replaced the full-interaction before yielding, and the pure friction and moving-down regions after yielding.

Keywords : CFT, ABAQUS, contact, bond, shear-connector

1. 서론

CFT 기둥과 같은 합성구조 시스템이 효과적이기 위해서는 일체로 거동하여야 하나 콘크리트와 강관은 소요강도를 내기 전에 부착면의 탈락이 발생하고 그 거동은 명확하게 규명되어 있지 않은 상태로 부착면의 응력 거동에 대하여 계속적인 실험과 해석이 이루어져왔다. 지금까지 행해진 실험을 살펴보면 콘크리트와 강관에 다양한 변수를 적용함으로써 합성구조물의 효과를 파악하고자 하였다. 그러나, 다양한 변수를 해석에 적용하기에 앞서 기초 자료가 될 순수 두 재료간 접촉면에서의 부착효과에 따른 거동을 파악하기 위한 연구가 미흡하다.

따라서, 본 연구에서는 앞서 수행한 실험과 해석을 토대로 CFT 기둥에서 콘크리트와 강관 접촉면에서의 응력전달 메커니즘을 유한요소해석을 통해 정확히 이해하고, 접합면에서의 Slip 발생 전·후 마찰력에 따른 접촉면에서의 구조적 거동과 특성을 분

석함으로써 실험에서 명확히 규명할 수 없었던 이질재료 간의 역학적 특성을 파악하고자 한다.

본 연구는 CFT기둥의 비선형 거동 해석을 위해 유한요소 해석 프로그램인 ABAQUS 패키지 Version 5.8-1을 사용하여 수행하였다. 본 해석은 콘크리트와 강관의 접촉면에서의 적절한 해석기법을 제시하기 위하여 먼저 합성구조 접합부 해석 모델에서 주의할 점을 파악한다. 그리고, 마찰계수와 Contact Pressure의 관계를 변수로 적절한 Contact 요소와 해석기법을 제시하고 이를 실험결과와 비교 분석한다.

2. 실험

2.1 시험체

본 해석연구는 선행한 실험연구와 동일한 시험체명을 사용한다. 해석에서는 콘크리트와 강관 접합부의 마찰계수와 Shear-Connector 유/무에 따른 적절한 해석기법과 모델링기법을 제시하는데 주안점을 두고, 목적에 적합하도록 Shear-Connector의 유/무를 적용변수로 채택하여 실시하였다.

시험체 계획은 <표 2-1>, [그림 2-1]과 같다.

* 영남대학교 건축공학과 석사과정

** 도화구조 연구원, 공학석사

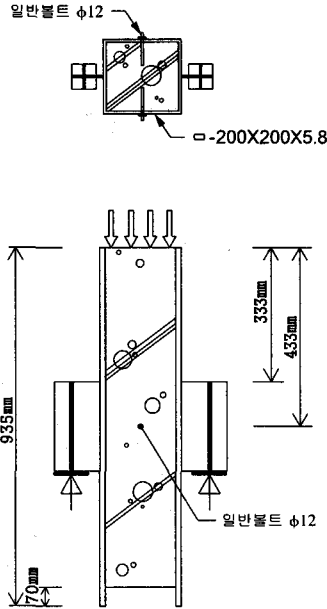
*** 영남대학교 건축공학과 박사과정

**** 영남대학교 건축학부 정교수

E-mail : smpark@yu.ac.kr

<표 2-1> CFT기둥의 해석대상 시험체 계획

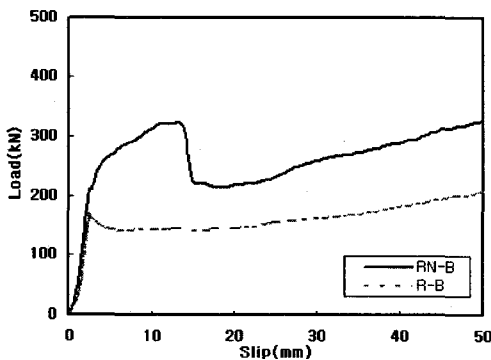
시험체명	강관지수(mm)	강관길이(mm)	콘크리트 강도(Mpa)	D/t(비)	적용변수
					Shear-Connector
R-B	□200×200×5.8	935	27	34.48	무
RN-B					유 (n=2, ϕ=12mm)



[그림 2-1] RN-B 시험체

2.2 실험결과

Shear-connector의 유/무를 변수로 한 R-B와 RN-B 시험체의 실험결과를 다음 <표 2-2>, [그림 2-2]에 나타내었다.



[그림 2-2] 실험결과 하중-변위 그래프

<표 2-2> 실험결과

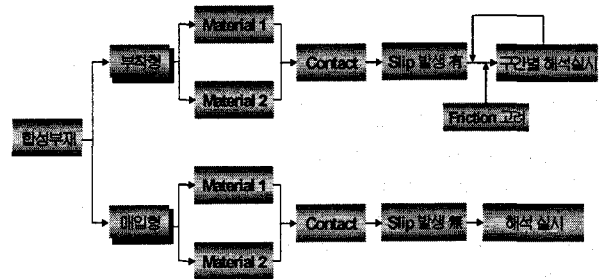
시험체명	강관지수(mm)	l (mm)	P_u (kN)	μ_u (MPa)	δ_u (mm)
R-B	□200×200×5.8	865	169.8	0.253	2.74
RN-B	×935		293.3	0.437	3.35

l : 콘크리트와 강관의 부착길이 P_u : 부착항복시 하중
 δ_u : 부착항복시 변위 μ_u : 부착항복시 응력

3. 유한요소해석

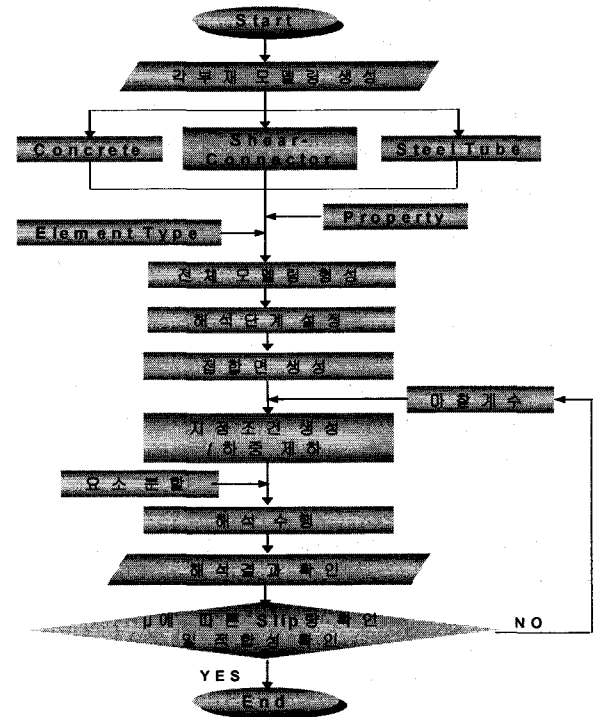
유한요소해석은 크게 실험전 해석과 실험후 해석으로 나눌 수 있으며 본 해석은 후자에 해당하는 것으로, 중심축하중을 받는 CFT 기둥의 실험에 근거를 두고 모델링을 하였으며, 본 연구에서 실험결과를 가장 잘 설명할 수 있는 해석방법을 찾아내고 이를 실험결과와 비교분석을 통하여 보다 정확한 해석결과를 얻을 수 있는 모델링 및 해석기법을 제시하고자 한다.

중심축하중을 받는 CFT 기둥은 합성부재이고, 합성부재 해석은 [그림 3-1]과 같이 나눌 수 있다.



[그림 3-1] 합성부재 해석의 종류

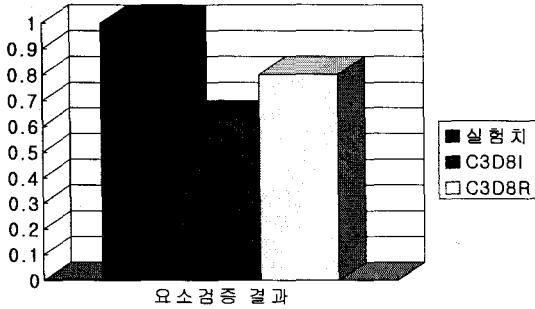
본 해석은 부착형 해석으로서 해석 수행은 다음 [그림 3-2]과 같은 순서로 이루어 졌다.



[그림 3-2] 해석 흐름도

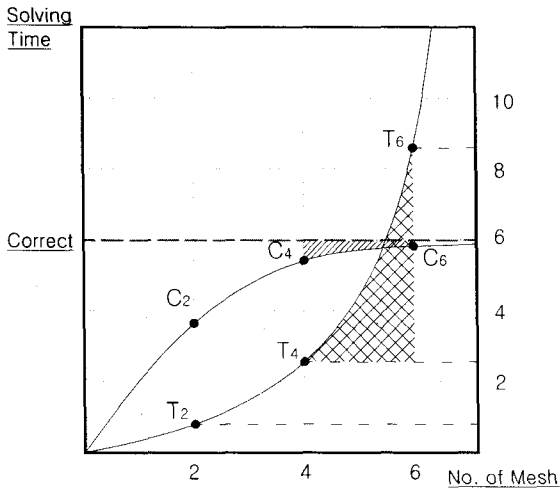
3.1 요소의 검증

ABAQUS에서 제공하는 Solid요소로서 보와 기둥의 형태에 따라 모델링에 적합한 육면체 형태의 HEX8요소 중 C3D8I / C3D8R 요소가 있다. 본 해석 시험체에 적합한 요소검증을 위해 압축부재에 대하여 해석을 수행하였으며 결과는 다음과 같다.



[그림 3-3] 요소검증 결과 비교

최적의 Element 수를 결정하기 위해 MDT2 (94.2×94.2×96), MDT4(47.1×47.1×48), MDT6(31.4×31.4×31) 의 세가지에 대해 같은 조건으로 해석을 수행하여 비교해본 결과는 아래그림과 같으며, 본 해석에서는 해석결과가 실험결과에 근접하면서도 경제적인 소요시간을 나타내는 MDT4를 적용하였다.

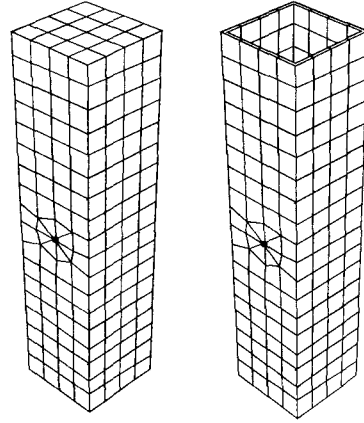


[그림 3-4] MDT2, MDT4, MDT6에 대한 Mesh Density

3.2 유한요소 해석을 위한 모델링

ABAQUS에서 제공하는 다양한 3차원 solid요소

중 요소검증을 통해 본 해석에 적합하다고 판단되는 C3D8R요소를 이용하여 콘크리트, 강관 및 Shear-connector를 Mesh Density Test의 결과를 적용하여 다음과 같이 모델링 하였다.

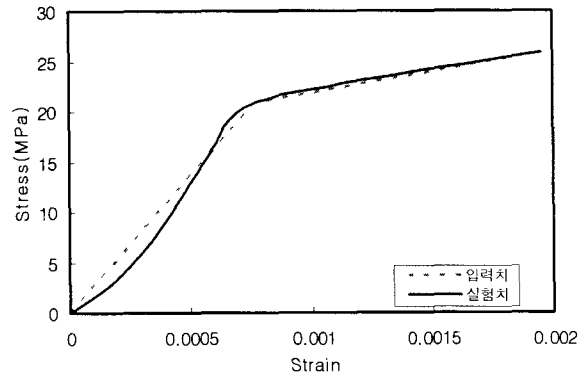


[그림 3-5] RN-B 콘크리트 및 강관 모델링

해석을 위한 재료의 물성치는 실험에 사용되어진 실험값을 적용하여 입력하였으며 아래와 같다.

<표 3-1> 콘크리트 압축강도 실험결과

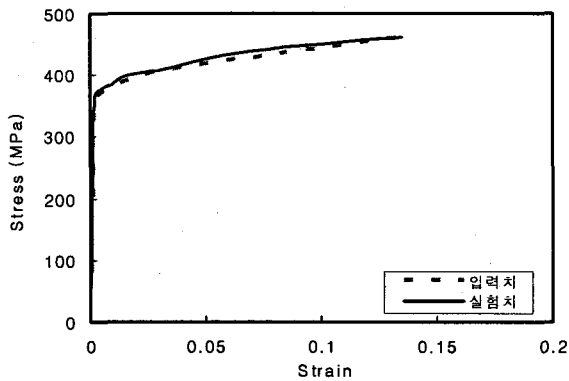
설계기준강도 (MPa)	f_{ck} (MPa)	E_c (MPa)	골재최대치수 (mm)	슬립프 (mm)
27	26.3	2.5×10^4	25	120



[그림 3-6] 콘크리트의 응력-변형률 관계

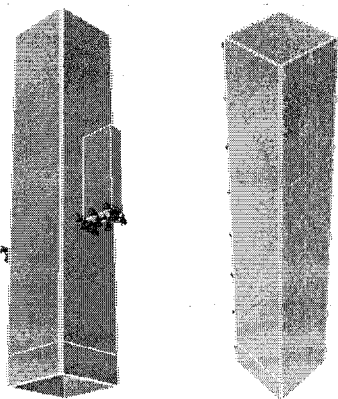
<표 3-2> 강관기둥 강재의 인장강도 실험결과

재질	σ_y (항복점) (MPa)	σ_u (인장강도) (MPa)	σ_y / σ_u (항복비)	ϵ_y (항복변형률)
SPSR400	378	416	0.91	$1,923 \times 10^6$



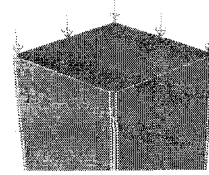
[그림 3-7] 강재의 응력-변형도

경계조건(Boundary Condition)은 [그림 3-8]에서 보는 것처럼 실제 실험에 적용한 조건(A)와 다른 수정된 형태의 경계조건(B)을 적용하였다. 조건(A)를 적용하였을 경우 브라켓의 하부를 지지한 상태에서 하중을 가력 함으로서 무시할 수 없을 만큼의 강관의 국부적 변형을 가져와 브라켓 접합부 상·하부의 응력집중현상으로 인하여 해석이 조기 종료되고 본 해석의 목적에 접합하지 않다고 판단된다. 따라서, 브라켓의 하부가 아닌 강관 측면 전체에 경계조건을 설정함으로써 브라켓 접합부 상·하부의 국부 변형을 방지하면서 콘크리트 상부만 가력하여 이질 재료 사이의 부착력에 따른 콘크리트의 순수 Slip량과 접촉면에서의 응력변화를 확인할 수 있도록 수정된 형태의 경계조건(B)을 적용하였다.



[그림 3-8] Boundary Condition

하중은 실험과 동일한 조건을 적용시키기 위해 단위면적당 등분포 하중이 작용하도록 Pressure 개념의 Distributed / Pressure Load를 [그림 3-9]와 같이 사용하였다.



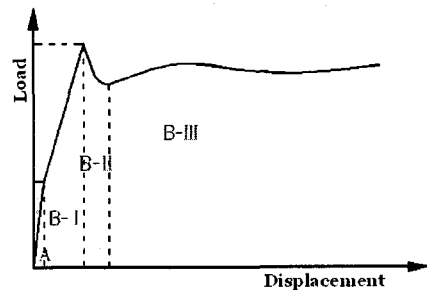
[그림 3-9] Distributed / Pressure Load

본 해석에서는 이질 재료간의 접촉면에 대한 다양한 Contact요소를 어떻게 적용시키느냐에 가장 주안점을 둔다. ABAQUS에서 제공하는 Contact요소 중 Surface Element를 사용하였다. Surface Element는 접촉면의 거동을 직접적으로 전달할 수 있고, Contact Pressure를 가함으로써 두 재료 사이의 마찰면-상태에 따른 부착효과 즉, 화학적 부착과 물리적 부착에 대해 고려가 가능하다.

3.3 해석기법

1) R-B시험체

Full Interaction 구간 이후, Partial Interaction을 세 구간으로 나누어 해석을 수행하였고, 적용 기법은 [그림 3-9]와 같다.



[그림 3-10] R-B 시험체의 해석기법

(1) Full Interaction (A)

완전합성효과를 발휘하는 화학적 부착구간이므로, 마찰계수(μ) 1을 적용한다.

(2) Partial Interaction-I (B-I)

이질 재료간의 화학적 부착효과는 상실,표면상태에 따른 물리적 및 기계적 부착응력이 동시에 작용하고 이를 고려하기 위하여 콘크리트와 강재 표면의 일반적인 마찰계수인 0.5 보다 큰 적절한 마찰계수(μ)의 고려가 필요하다고 사료된다.

(3) Partial Interaction-II (B-II)

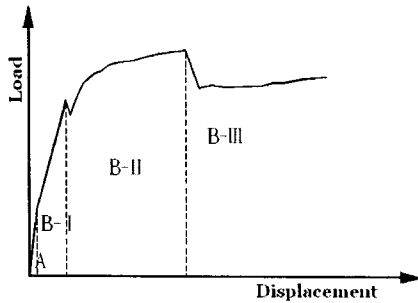
최대응력에 도달했을 때, 기계적 마찰의 항복으로 인한 순간적인 두 재료간의 분리현상으로 보

고, 콘크리트와 강재 표면의 일반적인 마찰계수 값인 0.5의 적용이 타당하다고 판단된다.

(4) Partial Interaction-III (B-III)

두 이질재료 사이에서는 하중증가에 따른 전단력 및 마찰력의 변화가 없이 일정한 Moving Down만 발생하는 구간으로 0.5보다 낮은 적절한 마찰계수(μ)값의 고려가 필요하다고 사료된다.

2) RN-B 시험체



[그림 3-11] RN-B 시험체의 해석기법

(1) Full Interaction (A)

완전합성효과를 발휘하는 화학적 부착구간이므로, 마찰계수(μ) 1을 적용한다.

(2) Partial Interaction-I (B-I)

화학적 부착효과는 상실하였으나, 표면상태에 따른 물리적 및 기계적 부착응력과 더불어 전단연결재의 효과가 동시에 작용하므로, B-I 구간은 이를 고려하기 위한 적절한 마찰계수의 고려가 필요하다고 사료된다.

(3) Partial Interaction-II (B-II)

표면상태에 따른 물리적 마찰은 항복했으나, 전단연결재의 효과로 인해 전단연결재가 없는 R-B 시험체에 비해 추가적인 힘을 발휘하는 것으로, 이와 같은 기계적 마찰을 고려한 마찰계수(μ)값의 고려가 필요하다.

(4) Partial Interaction-III (B-III)

기계적 부착의 효과가 더 이상 증가하지 않고, 두 이질재료 사이에서는 하중증가에 따른 전단력 및 마찰력의 변화가 없이 일정한 Moving Down만 발생하는 구간이므로, 반복해석 수행을 통해 0.5보다 낮은 적절한 마찰계수 값(μ)의 고려가 필요하다고 사료된다.

4. 비교 분석

4.1 기존 기법과 해석결과 비교

기존 연구에 사용된 해석기법과 본 연구에 사용된 개선된 해석기법은 <표 4-1>, <표 4-2>와 같다.

<표 4-1> 기존 해석기법

합성구간 분류	Full Interaction		Partial Interaction
	A		B
Step	Step 1	Step 2	Step 3
Load	Contact Pressure	Direct Load	Top Load-1

<표 4-2> 개선된 해석기법

합성구간 분류	Full Interaction		Partial Interaction		
	A-I		B-I	B-II	B-III
Step	Step 1	Step 2	Step 3	Step 4	Step 5
Load	Contact Pressure	Direct Load	Top Load-1	Top Load-2	Top Load-3

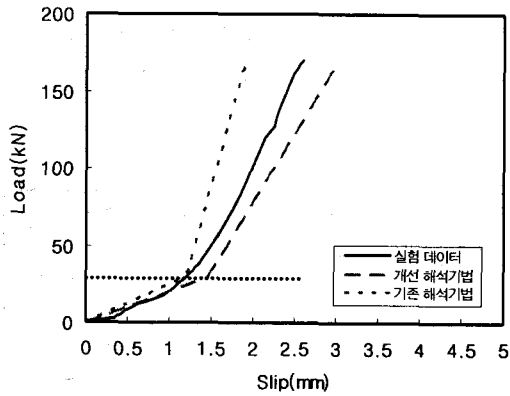
4.1.1 최대응력 이전의 거동

기존연구의 사용한 해석기법은 최대응력에 도달할 때까지 전체구간을 완전부착으로 고려하여 마찰계수(μ)값을 1로 적용한 결과, 화학적 부착에 의한 완전부착응력이 항복한 30kN 이후 하중-변위 곡선의 기울기에서는 다소 차이가 있다. 최대응력에 도달했을 때 발생하는 Slip량도 실제 Slip 발생량과 비교하여 큰 차이를 보인다.

따라서 본 연구에서는 기울기가 변하는 이 지점을 분기점으로 화학적 부착은 항복한다고 보고, 이후 구간은 표면 상태에 따른 기계적 마찰과 CFT합성기동의 응력 메커니즘을 고려하기 위해 콘크리트와 강재 표면의 일반적인 마찰계수(μ)인 0.5 보다 큰 적합한 수정 마찰계수값을 적용하였다. 수정 마찰계수(μ)값은 실제거동과 실험값을 기준으로 Try and Error를 통해 선정된 값으로 해석을 수행하였다.

개선한 해석기법을 적용하여 해석한 결과, 최대응력에 도달할 때까지 초기의 거동을 비교한 그래프는 다음[그림 4-1]와 같다.

아래의 비교구간은 실험체가 최대응력에 도달하지 이전까지 미세한 Slip이 발생함과 동시에 하중이 증가하는 영역이다. 실제 거동을 보면 최대응력에 도달하기 전에 보다 낮은 하중에서 이미 어느 정도의 Slip이 발생한다. 그러므로, 하중이 증가하는 이 구간 전체를 완전부착으로 보고, 마찰계수(μ)값을 1로 적용하기에는 그 오차범위가 크다.



[그림 4-1] 부착응력 항복이전 해석결과 비교

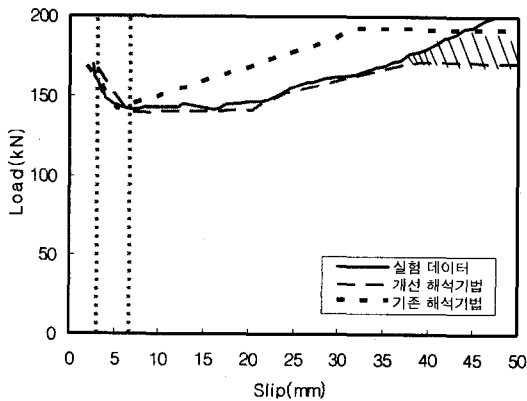
실험결과를 1로 본 각 결과의 기울기와 그 오차율은 다음 <표 4-3> 과 같다.

<표 4-3> 기존 해석기법과 개선된 해석기법의 결과 비교

분류	항목	항복하중 (kN)	항복하중시 Slip량(mm)	기울기 비교	오차
실험결과		169.8	2.59	10.3	1
기존기법 해석결과		169	1.9	19.89	1.98
개선기법 해석결과		168	3	8.99	0.89

4.1.2 최대응력 이후의 거동

최대항복응력 도달 이후의 거동을 비교한 그래프는 다음 [그림 4-2]와 같다.



[그림 4-2] 부착응력 항복이후 해석결과 비교

최대응력 항복 이후의 거동은 CFT 기둥 연구에서 큰 비중을 차지하지는 않으나, 기존해석에서는 최대응력 이후 즉, 화학적 및 기계적 부착이 항복한 이후의 구간 전체를 마찰계수(μ) 0.5를 적용하여 실시한 결과, 실험결과와는 차이가 있다.

개선된 해석 기법을 사용한 경우, 최대항복응력 도달 이후 실제 실험과 비슷하게 하중이 감소하는 것을 알 수 있다. 그러나 기계적 부착응력의 항복이

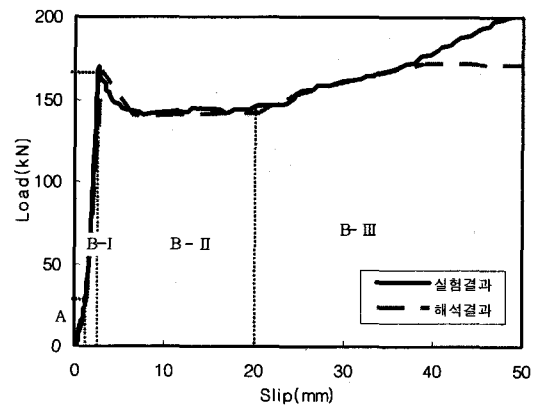
후, 두 이질재료 사이에서는 하중증가에 따른 전단력 및 마찰력의 변화가 없이 부착응력의 상승효과를 상실하였음에도 불구하고, 콘크리트와 강재의 표면의 기본 마찰계수(μ)값인 0.5로 고려함으로써 실제 실험결과보다 더 많은 응력을 받아줌을 알 수 있다. 따라서, 앞과 동일한 방법으로 반복해석을 통해 적당한 마찰계수 값을 찾음으로써, 실제의 거동에 근접한 해석결과를 도출하였다.

4.2 실험결과와 비교 고찰

1) R-B 시험체

R-B 시험체는 콘크리트 강도 27MPa를 타설한 기준 시험체로 Steel과 Concrete의 이질재료간의 부착 즉, 화학적 부착 및 기계적 부착을 알아보기 위한 것으로, 각형강관 내부에 전단연결재가 없이 콘크리트만을 충전하여 이질재료간의 기본적인 부착을 알아보기 위한 시험체이다.

개선 기법을 적용하여 해석한 결과, 실험결과와 비교한 하중-변위 곡선은 다음 [그림 4-3]와 같다.



[그림 4-3] R-B 시험체의 실험과 해석결과 비교

(1) Full Interaction (A)

접촉면에서의 Slip이 거의 없는 단계 즉, 실험결과에서 하중-변위 곡선의 기울기 변화가 없는 구간이 나타난다.

이 구간에서는 하중 증가에 따라 약간의 Slip만 허용하는 강한 구속을 보이므로, 이를 콘크리트와 Steel 사이의 화학적 부착응력에 의한 완전합성으로 고려하였다. 화학적 부착 항복시 하중은 29.2kN으로 나타났고, 이때의 Slip은 1.21mm로 나타났다. 완전부착으로 고려되는 이 구간에서는 Slip이 발생하지 않아야 함에도 불구하고, 실제 실험결과에서는 약간의 Slip이 발생하였다. 이는 실험시 수직변위 측

정을 위한 변위측정기(LVDT)를 강관 양쪽에 부착하여 강관 하부가 아닌 상부 Displacement의 평균값을 측정함으로써, 실제 Concrete의 Slip 뿐만 아니라, 재료상의 poisson비에 따른 변위와 가력부의 압괴까지 함께 고려되었기 때문에 사료된다. 따라서 해석 수행시, 이 접촉면을 Contact Pressure(C_p)와 전단응력(τ)값이 같도록 하여 완전부착 시키면서, 실험상 발생하는 Slip을 고려해줌으로써 실험결과에 근접한 결과를 얻을 수 있었다.

(2) Partial Interaction-I (B-I)

화학적 부착의 항복으로 인해 Slip 발생에 따른 하중-변위 곡선의 기울기 변화는 있었으나, 최대응력에 도달할 때까지는 꾸준히 하중이 증가하였다. 이는 완전합성 효과는 상실하였으나, 이질 재료간의 표면상태에 따른 물리적 및 기계적 부착응력이 존재하기 때문에 판단된다. 따라서, 콘크리트와 강재 표면의 일반적인 마찰계수(μ)인 0.5보다 큰 적합한 계수 값을 고려하기 위해 반복해석을 수행한 결과, 마찰계수(μ) 0.7을 적용함으로써 최대응력에 도달했을 때의 실험값에 근접한 Slip 량을 나타낸다.

기계적 부착 항복시 하중은 169.8kN로 나타났고, 이때의 Slip은 2.60mm로 나타났다.

(3) Partial Interaction-II (B-II)

최대응력에 도달이후 하중-변위 곡선에서 Slip 발생에 따른 급격한 하중감소가 나타난다.

이 구간은 기계적 마찰이 항복하는 점으로 기존의 표면에 따른 기계적 부착이 항복하면서 순간적인 두 재료간의 분리현상에 따른 하중감소로 보인다. 따라서, 콘크리트와 강재 표면의 일반적인 마찰 계수(μ)값인 0.5를 적용하는 것이 타당하다고 판단된다.

이때의 하중은 140kN로 나타났고, 이때의 Slip은 5mm로 나타났다.

(4) Partial Interaction-III (B-III)

Slip이 약20.0mm 발생할 때까지 하중이 거의 일정한 형태를 나타내다가 다시 서서히 증가한다.

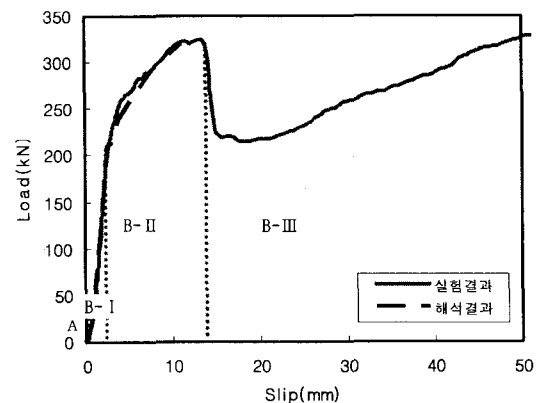
이 구간에서의 하중-변위 곡선의 거동은 접촉면의 화학적 부착력 상실 이후, 물리적 및 기계적 부착의 효과는 더 이상 증가하지 않고, 두 이질재료 사이에서는 하중 증가에 따른 전단력 및 마찰력의 변화가 없이 일정한 Moving Down 현상에 의한 거동으로 판단된다. 따라서 이후 거동은 콘크리트와 강재의 일반적 마찰계수(μ)값인 0.5 보다 낮은 계수값을 적용하기 위한 반복해석의 수행 결과 마찰계수(μ)값 0.2를 적용함으로써 실험결과와 동일한 거동을 볼

수 있었다.

2) RN-B 시험체

RN-B 시험체는 Steel과 Concrete의 부착력에서 이질재료간의 전단연결재(Shear-Connector)에 의한 기계적 부착 저항을 알아보기 위해서 일반강도의 전단 연결재를 설치한 시험체이다.

R-B 시험체와 동일하게 개선기법을 적용하여 해석을 수행하였고, 실험과 비교한 해석결과는 다음 [그림 4-4]과 같다.



[그림 4-4] RN-B 시험체의 실험과 해석결과 비교

(1) Full Interaction (A)

Steel과 Concrete 두 재료간의 화학적 부착구간에서는 기울기의 변화없이 이질 재료사이의 강한 구속을 보였다. 완전부착의 항복시 하중은 45.4kN 이고, 이 때의 슬립은 1.18mm이다. R-B 시험체와 동일하게 Contact Pressure(C_p)와 전단응력(τ)값이 같도록 하여 완전부착 시키고 실험상 발생하는 Slip을 고려해주어 실험결과에 근접한 결과를 얻을 수 있었다.

(2) Partial Interaction-I (B-I)

실험에서는 일시적인 하중감소를 나타내었으나 해석에서는 하중에 따른 슬립의 기울기로 이를 확인할 수 있었다. 이 기울기의 변화는 강관과 콘크리트 사이의 표면 상태에 따른 부착응력이 항복하였음을 알 수 있다. 따라서, 기계적·물리적 부착력과 효과와 전단연결재의 효과를 고려하여 마찰계수(μ) 0.8을 적용하여 실험값에 근접한 거동을 확인할 수 있었다. 표면상태에 따른 부착응력 항복시 하중은 210.9kN 이고, 이때의 Slip은 2.36mm로 나타났다.

(3) Partial Interaction-II (B-II)

약간의 기계적 부착응력과 전단연결재의 효과를 고려하여 마찰계수(μ)값을 0.6으로 고려해주었다. 여

기서 추가적으로 전디는 하중은 전단연결재의 효과로서 실험결과 약 150kN 가량 더 전디는 것을 알 수 있다. 그러나, 해석을 수행시에는 하중이 320kN 에 도달하였을 때 비정상적으로 종료되었다. 이는 유한요소 해석에서 전단연결재가 파괴되기 이전에 전단연결재 상·하부의 콘크리트가 국부적인 응력 집중현상으로 인해 해석프로그램상의 수렴조건을 만족시키지 못해 발생하는 문제점으로 사료된다.

5. 결 론

1. 최대항복하중을 기준으로 하여, 항복 이전 구간을 Full-Interaction(화학적 부착), 이후 구간을 Partial-Interaction(기계적 부착)으로 구분하여 해석을 수행한 기존 해석기법과 달리, 본 논문에서는 최대응력이 항복하기 이전의 Full-Interaction 구간을 다시 화학적 부착과 기계적 부착구간으로, 항복 이후 구간을 순수마찰과 Moving Down 으로 총 4 영역으로 세분화 한 해석기법을 적용하여, 실험결과에 근접한 해석결과를 도출할 수 있었다.

2. 전단연결재가 없는 R-B 시험체의 해석에서 Full-Interaction 영역은 완전합성으로 고려하여 마찰계수(μ) 1을 적용하고, 표면상태에 따른 마찰과 CFT 합성기둥의 응력 메커니즘을 고려한 기계적 부착구간에서는 마찰계수(μ) 0.7을 적용하여 해석을 수행한 결과, 실험결과에 89% 근접하였고, 최대항복 응력에 도달한 이후, 더 이상 부착응력의 상승효과를 상실한 Partial-Interaction 구간에서는 Try and Error 방법으로 반복해석을 수행한 결과 적합한 마찰계수(μ)값 0.5, 0.2를 적용함으로써 실험결과에 근접한 해석결과를 도출할 수 있었다.

3. 전단연결재가 있는 RN-B 시험체의 해석에서 Full-Interaction 영역은 R-B시험체와 동일하게 마찰계수(μ) 1을 적용하였고, 표면상태에 따른 마찰 즉, 기계적·물리적 부착응력과 더불어 전단연결재의 효과를 고려한 구간에서는 마찰계수(μ) 0.8~0.6을 적용하여 해석을 수행한 결과, 실험결과에 근접한 해석결과를 도출하였고, Partial Interaction 구간에서 첫 기울기 변화이후, 추가적으로 전단연결재의 최대 전단하중에 도달할 때까지 약 150kN 가량 더 견디 그 효과를 알 수 있었다. 또한 전단연결재의 존재로 인해 하중 가력시 강관에 작용하는 응력의 분포양상을 가시화하여 그 결과를 직접 확인할 수

있었다. 그리고, 전단연결재의 파괴되기 전의 해석 종료는 전단연결재 삽입부 주위의 콘크리트 요소가 압축강도 이상의 응력을 받아 국부적인 응력집중현상으로 인하여 유한요소 해석 프로그램상의 수렴조건을 만족시키지 못해 해석이 조기종료된 것으로 사료된다.

4. 이상에서 살펴본 바와 같이 범용 유한요소 해석프로그램인 ABAQUS를 사용한 CFT합성기둥의 접촉면에 대한 해석시 기존의 해석기법에 비해 본 논문에 적용한 해석기법이 실험결과에 더 근접한 해석결과를 도출할 수 있었다. 그러나, 콘크리트 재료적 특성으로 인해 해석시 많은 제약조건이 있음을 알 수 있었고, 프로그램 기능상의 제약조건 때문에 접촉면의 명확한 성질을 규명하기에는 많은 어려움이 따르므로 이와 같은 부착형의 합성부재일 경우에는 실험에 앞선 선행해석보다 case by case 접근법을 이용한 해석이 더욱 적합하다는 것을 알 수 있었다. 따라서 차후의 접촉면 해석시에는 이러한 문제점 개선을 위한 연구가 필요하다고 사료된다.

참 고 문 헌

1. Oehlers Deric, J. and Bradford, Mark A., Composite Steel and Concrete Structural Members, PERGAMON, 1995.
2. Morishita, Y., Tomil, M. and Yoshimura, K., "A method of improving bond strength between steel tube and concrete core cast in square and octagonal steel tubular columns," Transactions of The Japan Concrete Institute, Tokyo, V. 2, pp. 327-334, 1980.
3. 정연주, "복합구조체의 슬립을 고려한 비선형 해석기법과 슬립거동 특성," 건설기술정보, pp.9-17, 2001
4. 권승희, 김진근, "CFT 기둥의 부착응력에 관한 연구," 콘크리트학회 논문집, V. 13, N. 2, pp. 93-98, 2001
5. 김영환, 콘크리트 충전 각형강관 기둥의 부착응력에 관한 해석적 연구, 영남대학교, 석사학위논문, 2000.
6. 김옥희, 충전원형강관기둥에서 콘크리트와 강관의 부착응력에 관한 해석적 연구, 영남대학교, 석사학위논문, 2001.