

단순가력실험을 통한 콘크리트충전 강관기둥의 부착응력에 관한 연구

An Experimental Study on the Bond Strengths for Concrete Filled Steel Tube Columns using a Push-Out Test

우 해 성¹⁾ · 김 진 호²⁾ · 최 성 모³⁾
Woo, Hae Sung Kim Jin Ho Choi Sung Mo

요 약 : 콘크리트충전 강관기둥의 외다이아프램 접합부형식에서, 철골보의 하중이 내부의 콘크리트로 전달되는 하중전달 메커니즘이 아직 명확하게 규명되지 않았다. 여기서 각 층에서 철골보의 전단력은 외부의 강관과 내부의 콘크리트 사이의 부착응력에 의해 전달된다고 본다. 따라서 본 연구는 콘크리트충전 강관기둥의 부착응력을 파악하기 위해, 콘크리트면에만 하중을 가하는 단순가력실험을 실시하였다. 콘크리트 종류, 강관의 형상/길이, 이음부의 유무/뒷담재의 두께 등을 변수로 총 30개의 실험체를 제작하여 실험을 실시했으며, 각 변수에 따른 실험결과를 비교/분석하고자 했다.

ABSTRACT : Currently, the load transfer's mechanism from a beam to a column has yet to be clarified in a concrete filled steel tubular (CFT) structure with a connection type of an exterior diaphragm. The loads for each floor are transferred to the concrete core from a steel beam through a contacted face between an in-filled concrete and the interior surface of a steel tube. Thus, a Push-Out test was performed to investigate the load transfer mechanism. A total of 30 samples were tested to confirm the bond stress and/or axial load distribution between a steel tube and in-filled concrete for CFT column. The main parameters considered for this study included concrete type, steel tube-shape/length, and the effect of a weld joint with a backing strip for a column splice. Test results were summarized to confirm load transfer behavior between a concrete and steel tube for each experimental parameter, using the analytical approach to verify experimental results.

핵심용어 : 콘크리트충전 강관기둥, 부착응력, 콘크리트 종류, 강관의 형상/길이, 이음부의 두께

KEYWORDS : CFT Column, Bond Strength, Concrete Type, Shape and Length of Tube, Thickness of Backing-Strip

1. 서론

합성구조인 콘크리트충전 강관기둥은 우수한 구조성능을 발휘하는 부재로써, 일본이나 중국에서는 1980년대부터 활발하게 연구가 진행되어 최근에 많은 각광을 받고 있는 구조형식으로 자리잡고 있다. 우리나라에서는 1990년대 초부터 CFT구조에 대한 연구가 본격적으로 시작되어, 현재까지 여러 분야에서 많은 연구실적을 쌓았으며, 이를 모아 2000년 12월 한국강구조학회에서 콘크리트충전 강관구조 설계 및 시

공지침²⁾이 마련하게 되었다. 그러나 아직까지 국내에서는 몇몇 실험단계의 저층건물에 대한 시험시공만이 실적으로 남아 있을 뿐, 활발한 현장적용이 어려운 실정이다. 현장적용의 제한성에 대한 이유 중에 하나가 CFT구조의 보-기둥접합부에서의 하중전달 메커니즘의 불명확함이라 사료된다.

CFT 구조의 보-기둥 접합부에서는 철골보의 전단력이 기둥강관에 전달되고, 강관으로부터 내부 충전콘크리트에 압축력으로 전달된다. 철골보의 접합법에는 여러 종류가 있는데, 관통다이아프램 형식이나 내측다이아프램 형식에서는 보의 전

1) 포항산업과학연구원 연구원

2) 정회원, 포항산업과학기술연구원 책임연구원

3) 정회원, 서울시립대학교 건축공학과 조교수

본 논문에 대한 토의를 2003년 2월 28일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

단력이 다이아프램을 통하여 내부의 콘크리트에 지압응력으로 직접 전달되므로 응력전달이 명확하다 할 수 있다. 외다이아프램 형식의 CFT구조는 보의 전단력은 강관에서 강관 내부면과 콘크리트의 접착면을 통하여 전달되어야 한다. 따라서, 강관에서 내부콘크리트로의 응력전달은 여러 메카니즘을 추론할 수 있는 바, 몇가지 소개하면 화학적 접착(Adhesion), 미세구속(micro-interlocking), 마찰(Friction), 단면형상변화나 곡률효과(Binding or curvature effect) 등으로 분류할 수 있다. 그러나 아직까지 정확한 하중전달메카니즘을 명확하게 규명하지 못했고, 「콘크리트충전 강관구조 설계 및 시공지침」⁽²⁾에서는 실험을 통해 얻어진 부착응력값을 다음과 같은 식(식1.1)에 적용하고 있다.

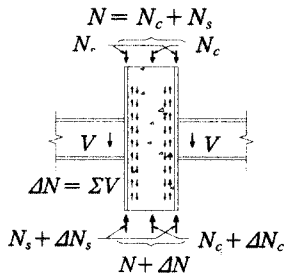


그림 1.1 기둥-보 접합부의 강관에서 콘크리트로의 하중전달 경로

$$\Delta N_c \leq \phi \cdot l \cdot f_{sa} \quad (\text{식1.1})$$

- ϕ : 강관 내측의 주장
- l : 접합부 상하기둥의 중심간 거리
- f_{sa} : 강관 내측 충전콘크리트의 허용부착응력도

여기서 허용부착응력도(kgf/cm^2)는 표 1.1과 같다.

표 1.1 허용부착응력도(kgf/cm^2)

단면	장기	단기
원형강관	1.5	2.25
각형강관	1.0	1.5

이와 같은 검토식이 만족하지 않을 경우에는 접합부 상하기둥 중심사이의 강관 내부에 쉬어커넥터, 수평 보강재, 리브와 같은 기계적인 부착보강이 요구된다.

우리나라에서는 콘크리트충전 강관기둥에 대한 다양한 연구가 활발히 진행되고 있으나, 아직까지 콘크리트충전 강관기둥의 부착응력에 대한 연구는 미흡한 상태이다. 따라서 본 연구는 기계적부착보강이 없고, 외측다이아프램형식으로 이루어진 콘크리트충전 강관기둥의 접합부형식을 모델링하여, 부착응력에 영향을 주는 변수를 채택, 외부강관과 내부콘크리트사

이의 부착응력을 단순가력실험을 통하여 측정하고, 각각의 변수에 따른 실험결과를 분석하고자 한다. 이와같은 실험을 통하여 얻어진 결과와 규준에서 제시한 허용부착응력도를 비교하고, 콘크리트충전강관기둥의 부착응력에 관한 실험데이터를 제공하고자 한다.

2. 실험

2.1 실험체 계획

콘크리트 충전강관 기둥에 축력이 작용시 콘크리트와 강관의 부착응력을 파악하기 위해, 기계적 부착보강이 없는 콘크리트충전강관의 접합부형식을 모델화하여, 콘크리트에만 하중을 가력하는 단순가력실험 실시한다. 콘크리트 종류와 강관의 형상, 이음부의 유무, 강관길이 등을 실험변수로 30개의 실험체를 제작하여 실험을 실시하고, 부착응력과 변위를 측정 후 실험값을 비교·분석하고자 한다. 콘크리트의 종류에 대한 변수로 일반콘크리트와 충전성을 높이기 위한 고유동콘크리트를

표 2.1 실험체 계획

실험체명	D(mm)	t(mm)	D/t	정착길이 l(mm)	실험체 총길이 l(mm)	갯수
RN1	300	9.0	33.3	300	340	2
RN2				600	640	
RN3				900	940	
RN2-3				600	640	
RN2-5				600	640	
RF1	300	9.0	33.3	300	340	1
RF2				600	640	
RF3				900	940	
RF2-3				600	640	
RF2-5				600	640	
CN1	318.5	6.9	46.1	318.5	358.5	2
CN2				637	677	
CN3				955.5	995.5	
CN2-3				637	677	
CN2-5				637	677	
CF1	318.5	6.9	46.1	318.5	358.5	1
CF2				637	677	
CF3				955.5	995.5	
CF2-3				637	677	
CF2-5				637	677	

cf). naming rule

R① N② 1③ - 3④

① 강관형태 : R-각형강관(Rectangular Tube)
C-원형강관(Circular tube)

② 콘크리트 종류 : N-일반콘크리트
F-고유동콘크리트

③ 길이(l) : 1- 1 = 1.0D, 2= 2.0D, 3= 2.0D

④ Backing Strip의 두께 : 3-t'=3mm, 5-t'=5mm

표 2.2와 같고, 콘크리트는 $\phi 100 \times 200 \text{ cm}$ 의 공시체의 압축강도와 슬럼프 값을 측정하여 결과를 표 2.3에 나타냈다.

표 2.2 강재인장시편의 강도시험 결과

실험체명	σ_y (tf/cm^2)	σ_u (tf/cm^2)	E(영계수) (kgf/cm^2)
원형	3.37	4.43	2.1×10^6
각형	3.85	5.44	

그림 2.1 실험체 형상

사용하여, 물성치가 다른 콘크리트에 따라 부착응력이 어떠한 차이를 나타내는지를 고찰하고자 한다. 또한 이음부 의미는 강관 이음부에 완전용입용접을 만들기 위한 강관 내부에 댄 뒷댐재(backing strip)을 의미하는 것으로, 강관에서 콘크리트로 하중이 전달되는 과정에서 이러한 뒷댐재가 어느 정도 기여를 하는지 살펴보고자 실험의 변수로 채택했다.

2.2 실험방법

실험체를 만능시험기(UTM, 최대 300tonf) 중심부에 설치하고, 단순지지조건을 만족시키는 형식으로 콘크리트면에 균등한 압축력을 가한다. 강관 단부에서 콘크리트가 20mm 정도 안으로 들어가서 타설되어 있으므로, 콘크리트면에 가력하기 위해서 그림 2.2에 나와 있는 가력압반과 같은 장치를 설치하여 가력한다. 가력에 의한 변위를 측정하기 위해 4개의 변위계(Displacement Transducer)를 설치하고, 변위량은 4개의 평균치를 사용한다. 실험체 가력방법과 변위계의 설치 위치는 그림 2.2와 같다. 그리고 이음부가 있는 실험체의 경우는 이음부 상하 50mm 위치에 각각 스트레인게이지를 강관 길이방향으로 부착하여, 뒷댐재의 영향에 의한 이음부상·하의 변형률을 측정하고자 한다.

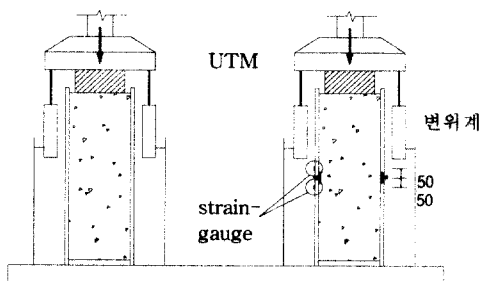


그림 2.2 실험체의 가력방법

표 2.3 콘크리트 압축강도 시험결과

종 류	일반 콘크리트	고유동 콘크리트
28일 강도 (kgf/cm^2)	268	243
퍼짐량 (cm)	28	59
슬럼프 값 (cm)	17	.

3. 실험결과

각 실험체의 최대내력값과 이것을 부착면적으로 나누어 부착응력으로 환산한 값을 표 3.1에 나타냈다.

표 3.1 실험결과

실험체명	최대내력 (tf)	최대부착응력 (kgf/cm^2)
RN1(평균)	10.85	3.07
RN2(평균)	19.15	3.02
RN3(평균)	38.10	3.75
RF1	11.85	3.50
RF2	19.00	2.81
RF3	28.82	2.84
RN2-3(평균)	120.90	.
RF2-3(평균)	162.12	.
RN2-5(평균)	142.76	.
RF2-5(평균)	161.88	.
CN1(평균)	33.69	11.03
CN2(평균)	68.12	11.15
CN3(평균)	121.34	13.24
CF1	27.88	9.13
CF2	69.3	11.34
CF3	103.15	11.25
CN2-3(평균)	120.61	.
CF2-3	134.70	.
CN2-5(평균)	148.11	.
CF2-5	161.70	.

2.3 재료시험

실험에 사용된 콘크리트와 강재의 재료적 특성을 알아보기 위해서 재료시험을 실시하였다. 강재 인장시편의 시험결과

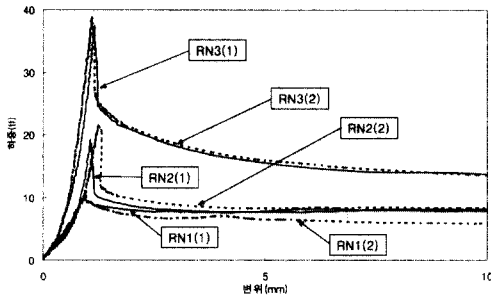


그림 3.1 각형강관실험체의 하중-변위(일반콘크리트)

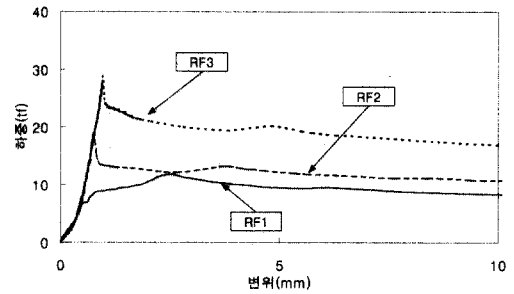


그림 3.2 각형강관실험체의 하중-변위(고유동콘크리트)

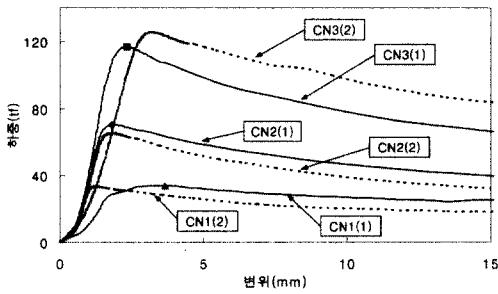


그림 3.3 원형강관실험체의 하중-변위(일반콘크리트)

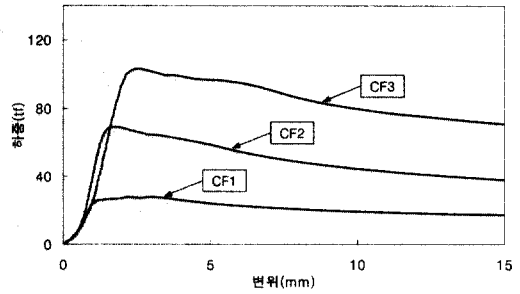


그림 3.4 원형강관실험체의 하중-변위(고유동콘크리트)

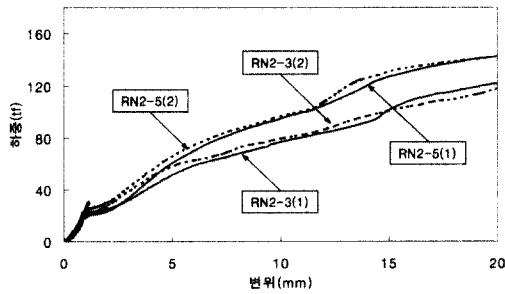


그림 3.5 이음부가 있는 각형강관실험체(일반콘크리트)

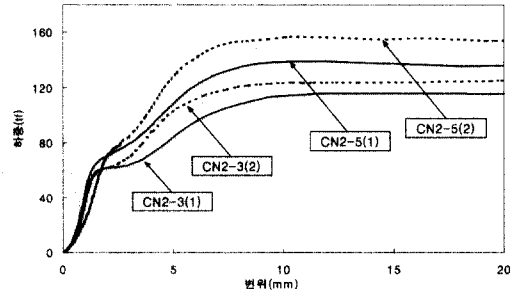


그림 3.6 이음부가 있는 원형강관실험체(일반콘크리트)

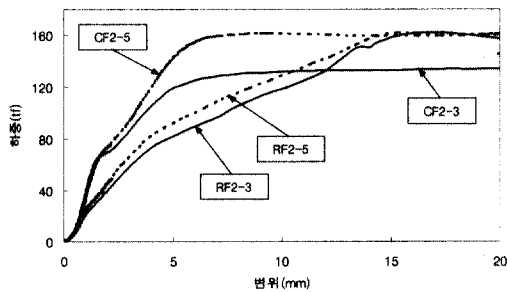


그림 3.7 이음부가 있는 각형/원형강관실험체(고유동콘크리트)

하중과 변위와의 관계 그림 3.1~그림 3.7에서 보는 바와 같이 이음부가 없는 실험체에서, 각형실험체에 비해 원형실험체가 월등히 높은 부착응력을 발휘했고, 각형실험체와 원형실험체 모두 강관길이와 콘크리트의 종류에 관계없이 대부분 일정한 부착응력 값을 나타냈다. 그리고 최대내력을 발휘후 급격한 하중저하를 보이는 각형실험체와는 달리, 원형실험체는 갑작스런 하중저하는 보이지 않았고, 최대내력을 발휘 후 일정한 비율로 하중이 감소했다. 이음부가 있는 실험체에서, 각

형실험체의 경우는 대부분의 실험체가 변위의 한계치인 20mm까지 계속 하중이 증가하는 양상을 나타냈다.

그림 3.7에서 보여지는 것처럼 고유동콘크리트를 사용한 이음부가 있는 실험체에서, 원형강관실험체(CF)는 뒷담재의 두께 변화에 따라 최대내력이 차이를 나타냈지만, 각형강관실험체(RF)는 뒷담재의 두께에 관계없이 일정한 최대내력을 발휘하는 것으로 나타났다.

4. 분석 및 고찰

이음부가 없는 실험체의 부착응력은 각형강관실험체는 2.81~3.75 kgf/cm^2 이고, 원형강관실험체는 9.13~13.24 kgf/cm^2 이다. 이값은 규준에서 제시하고 있는 허용부착응력값(단기)보다 각형강관은 2.2배, 원형강관은 5.0배로 상당히 높은 부착응력도값을 나타냈다. 그리고 실험을 통해 얻어진 결과를 토대로, 부착응력에 영향을 미치는 인자를 각각의 실험변수별로 분석하면 다음과 같다.

4.1 강관의 형상에 따른 영향

강관의 형상에 따른 영향은 그림 4.1에서 보는 바와 같이 이음부가 없는 실험체에서 원형강관실험체는 각형강관실험체에 비해 평균 3.6배 정도 높은 부착응력을 발휘했고, 최대내력을 발휘한 후 급격한 내력저하를 보이지 않고, 어느 정도 일정한 비율로 하중이 감소했다. 이에 비해 상대적으로 구속효과가 떨어지는 각형강관은 화학적 부착에 의한 최대내력을 발휘 후 강관과 충전콘크리트 사이의 마찰력에 의해 저항할 수 있는 내력까지 저하했다.

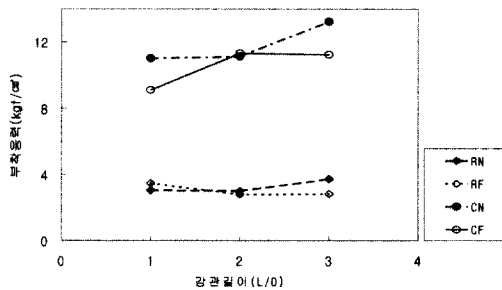


그림 4.1 부착응력 (이음부가 없는 실험체)

이음부가 있는 실험체에서는 원형강관 실험체가 각형강관 실험체의 최대내력이 큰 차이는 없는 것으로 나타났다.

그러나 화학적 부착력이 소실되었다고 생각되는 시점부터의 하중 증가는 원형강관 실험체가 각형강관 실험체에 비해 월등히 높았다.

이처럼 전체적으로 원형강관이 우수한 부착성능을 발휘한 이유는 원형강관이 각형강관에 비해 상대적으로 구속력이 크기 때문이라 판단된다.

4.2 이음부의 유무와 뒷담재의 두께변화

이음부가 있는 실험체가 이음부가 없는 실험체보다 월등히 많은 최대내력을 발휘했는데, 이음부가 없는 실험체에 비해 각형실험체에서는 6.5배, 원형실험체는 2.0배 정도 높은 최대내력값을 나타냈다. 그림 4.2에서는 이음부의 두께변화와 최대내력과의 관계를 나타내고 있다.

여기서 이음부가 있는 실험체의 상하에 부착된 부착된 스트레인지이지 값을 분석하여, 이음부가 있는 실험체의 하중전달과정을 살펴보고자 한다. 그림 4.3~6에서 나타난 것처럼, 원형강관과 각형강관이 상당한 차이를 나타낸다는 것을 관찰할 수 있다.

원형강관의 경우, 하중이 재하되는 초기에는 강관과 충전 콘크리트 사이의 면에서 화학적 점착력에 의해 콘크리트의

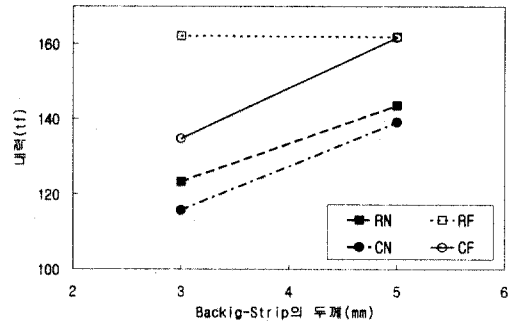


그림 4.2 부착응력(이음부가 있는 실험체)

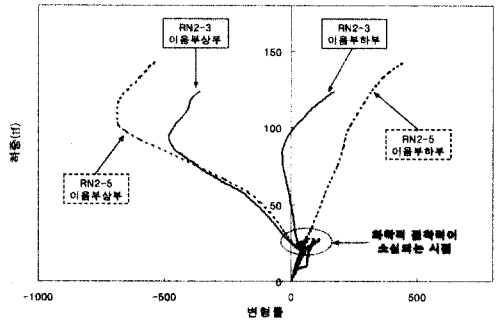


그림 4.3 이음부 상·하의 강관변형률 (RN실험체)

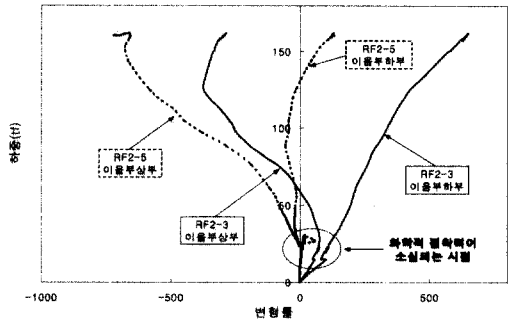


그림 4.4 이음부 상·하의 강관변형률 (RF실험체)

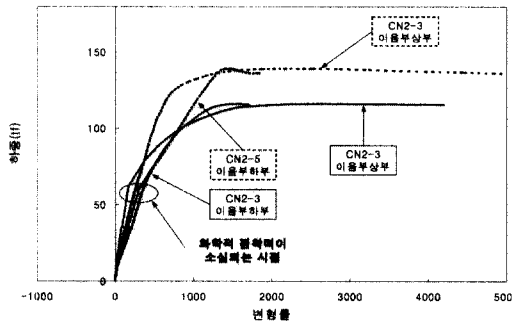


그림 4.5 이음부 상·하의 강관변형률 (CN 실험체)

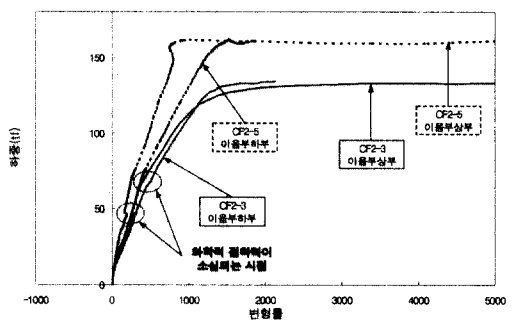


그림 4.6 이음부 상·하의 강관변형률 (CF실험체)

하중이 강관에 전달되어 이음부의 상·하 모두 압축응력을 받게 된다. 그러나 화학적 부착력이 소실되었다고 판단되는 시점부터는 내부의 콘크리트가 뒷담체에 하중을 직접 전달해주고, 이런 과정에서 내부의 콘크리트가 파괴되면서 이음부(backing-strip) 상부에 쌓이게 된다. 이때, 이음부 하부에서는 여전히 압축응력이 발생하지만, 상부에서는 파괴된 콘크리트에 의해 2축 응력상태가 된다. 이때 구속력이 상대적으로 뛰어난 원형강관에서는 하중의 빠른 증가와 함께 접합선의 상·하부 전체가 압축력을 받게 되고, 내부의 파괴된 콘크리트에 의해 접합선의 상부가 단순인장실험에서의 항복점보다 낮은 응력에서 항복에 먼저 도달한다. 또한, 변형률이 서서히 증가하는 접합선의 하부에 비해, 파괴된 내부의 콘크리트가 점점 쌓이게 되는 접합선의 상부는 변형률이 빠르게 증가하는 것을 관찰할 수 있다.

그러나 화학적 부착력이 소실되는 시점부터, 상대적으로 약한 구속력을 발휘하는 각형강관은 내부의 콘크리트가 미끄러져 아래로 빠져나가게 되고, 이로 인해 접합선 상부가 인장이 발생하게 된다. 이러한 과정에서 뒷담체에서는 콘크리트의 파괴가 지속되어 상부에서는 인장응력이 계속 발생하고, 하부에서는 콘크리트로부터 하중을 직접 전달받는 뒷담체로 인해 압축응력이 발생하게 된다. 따라서 뒷담체가 있는 실험체에서의 최대내력은 강관의 두께와 콘크리트의 강도에 관계가 있을 것이라 추측할 수 있다.

이음부의 두께의 의한 차이는 각형강관 실험체에서 뒷담체의 두께가 5mm인 실험체가 3mm인 실험체보다 부착응력이 11%, 원형강관 실험체에서는 22% 높게 나타났다. 따라서 이음부가 있는 실험체에서의 최대내력은 콘크리트의 종류와 뒷담체의 두께와 관계가 있으며, 본 실험에서는 변수로 채택하지 않았지만, 강관의 두께와도 무관하지 않을 것이라 예측할 수 있다. 그러나 뒷담체가 있는 대부분의 실험체는 상당히 많은 변위가 생기고 난 후 최대내력은 발휘된다는 것에 주의해야 한다. 그림 4.7에서는 뒷담체가 있는 실험체에서 최대내력이 발휘되는 시점에서의 변위를 도시하고 있다. 변위가 20mm까지 계속 증가하는 양상을 나타내는 실험체는 20mm 일 때의 하중을 최대내력으로 가정했다.

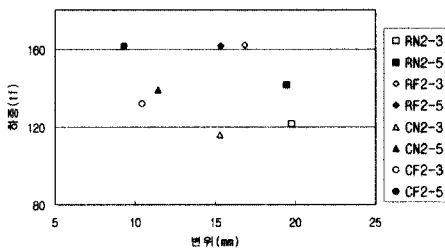


그림 4.7 최대내력과 변위

4.3 콘크리트 종류에 따른 영향

콘크리트 종류가 부착응력에 미치는 영향은 이음부가 없는 실험체에서는 거의 관찰할 수 없으나, 이음부가 있는 실험체에서는 고유동 콘크리트가 일반콘크리트에 비해 12%~30% 정도 높은 최대내력을 나타냈고, 그림 4.8에 나타난 것처럼, 화학적 부착응력이 소실됐다고 생각되는 시점부터의 하중증가율이 고유동 콘크리트가 일반 콘크리트보다 높게 나타났다.

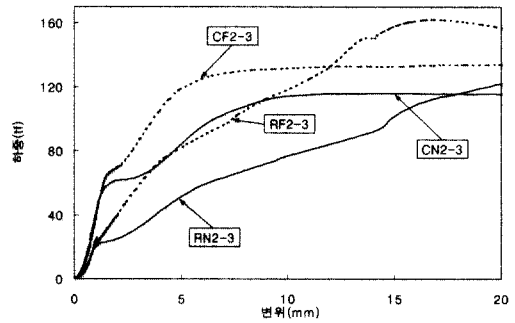


그림 4.8 콘크리트종류에 따른 하중-변위

이는 고유동콘크리트가 일반이나 고강도콘크리트에 비해 유동성이 매우 뛰어나 강관과 뒷담체가 만나는 모서리 부분에서 콘크리트의 밀실성이 확보됨에 따라 국부적인 내력 상승의 원인이 되었으리라 판단된다. 즉 화학적 점착력이 소실되는 시점에서부터 콘크리트의 하중이 뒷담체로 직접 전달되는 과정에서 공극이 덜 발생했기 때문에 이러한 결과가 도출되었다고 판단된다.

4.4 강관길이에 따른 영향

강관의 길이에 따른 부착응력의 변화를 관찰하기 위해 L/D가 각각 1.0D, 2.0D, 3.0D인 실험체의 실험결과를 2.0D인 실험체의 부착응력값을 기준으로 무차원화하여 표 4.1에 나타냈다. 그림 4.1과 표 4.1에서 나타난 것처럼 다소의 차이는 관찰할 수 있으나, 강관의 길이가 부착응력에 커다란 영향을 미치지 않는다는 것을 분석할 수 있다.

표 4.1 강관길이에 따른 부착응력

		1.0D	2.0D	3.0D
각형 실험체	N	1.02	1.00	1.25
	F	1.25	1.00	1.01
원형 실험체	N	0.99	1.00	1.19
	F	0.80	1.00	0.99

5. 결론

본 연구의 실험과 고찰을 통하여 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 본 실험을 통해 얻어진 부착응력값은 각형강관 실험체인 경우 $2.81 \sim 3.75 \text{ kgf/cm}^2$ 이고, 원형강관 실험체는 $9.13 \sim 13.24 \text{ kgf/cm}^2$ 으로 나타났고, 규준에서 제시한 허용부착응력도값($1.5 \sim 2.25 \text{ kgf/cm}^2$)보다 원형강관은 평균 5배, 각형강관은 평균 2.2배 높게 나타났다.
- (2) 강관의 형상에 의한 부착응력은 구속력이 뛰어난 원형강관 실험체가 각형강관 실험체에 비해 평균 3.4배 높게 나타났다.
- (3) 이음부가 있는 실험체는 이음부가 없는 실험체보다 상당히 많은 내력증가를 나타냈고, 이음부에서 뒷담재의 두께가 5mm인 실험체가 3mm인 실험체보다 보다 높은 최대내력을 발휘했으며, 고유동콘크리트를 사용한 실험체가 일반콘크리트를 사용한 실험체보다 높은 최대내력을 나타냈다.
- (4) 이음부가 없는 실험체의 부착응력은 콘크리트의 종류와 강관길이와 관계없이 일정한 값으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 日本建築學會(1997.10), 콘크리트충진강관구조설계 및 시공지침, pp.129~133

2. 한국강구조학회, 콘크리트충진 강관구조 설계 및 시공지침, 2000. 12, pp59~62
3. 松村弘道, “콘크리트충진강관의 압축강도와 부착성능”, 日本建築學會大會學術講演要覽集, pp.1059-1060, 1990. 10
4. 富井政英외 3인, “콘크리트충진圓形鋼管短柱의 鋼管과 充填콘크리트間의 附着性狀에 關する 基礎的 研究”, 日本建築學會大會學術講演要覽集, pp.1893~1894, 1978. 9
5. 上杉守道외 2인, “鋼管콘크리트에 對하 軸方向荷重傳達機構”, 日本建築學會構造工學論文集, pp.319~331, Vol. 36B, 1990. 3
6. Y. Morishita외 2인, “Experimental Studies on Bond Strength in Concrete Filled Circular Steel Tubular Columns Subjected to Axial Loads”, Proc. of JCI, pp.351~358, 1979
7. Mathias Johansson, Structural Behaviour of Circular Steel-Concrete Composite Columns, Division of Concrete Structures Department of Structural Engineering Chalmers University of Technology Göteborg Sweden, 2000
8. 오현근, 콘크리트충진 강관기둥의 管内 附着應力에 關한 研究(부착 보강이 없는 경우), 서울시립대학교 산업대학원 공학석사 학위논문, 1993
9. 우해성, 최성모 등, “콘크리트충진 강관기둥의 부착성능에 관한 실험적 연구”, 한국강구조학회 학술발표대회 논문집, 2001
10. 우해성, 최성모 등, “CFT기둥의 하중전달 메카니즘에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집, 2001. 10

(접수일자 : 2001년 11월 22일)