

파형강관 내부 구속 중공 철근 콘크리트 기둥의 내진 성능

Seismic Performance of Internally Confined Hollow RC Column with Corrugated Steel Tube

한택희* · 김종민** · 강준석*** · 강영종****

Han, Taek Hee · Kim, Jong Min · Kang, Jun Suk · Kang, Young Jong

Abstract

A column test was performed for a new-type column with a quasi static test. An internally confined hollow reinforced concrete column with a corrugated steel tube (ICH RC-CT column) was tested to evaluate its seismic performance. And also, a general solid RC column was tested for the comparison. The test was performed as planned drift levels. The lateral displacements and the lateral loads of column specimens were measured during tests. From the test results, the ICH RC-CT column showed smaller energy absorbing capacity than a solid RC column but showed the almost equal energy ductility and equivalent viscous damping ratio to those of the solid RC column.

Key words : composite, column, seismic, corrugate

요 지

파형강관으로 내부 구속된 중공 철근콘크리트 기둥(파형강관 내부 구속 중공 RC 기둥, ICH RC-CT column ; Internally Confined Hollow RC column with a Corrugated Steel Tube)의 내진 성능 평가 실험을 수행하였다. 준정적 실험을 통하여 ICH RC-CT 기둥과 일반 중실 RC 기둥의 내진 성능을 비교 평가 하였다. 각각의 기둥 시험체에 대해 하중과 변위의 관계를 측정하였으며, 이를 바탕으로 연성도, 소산에너지, 등가 감쇠비, 손상 지수가 계산되었다. 실험 결과 ICH RC-CT 기둥은 중실 RC 기둥에 비해 작은 에너지 소산능력을 보여주었으나, 에너지 연성도와 등가 점성 감쇠비 측면에서는 거의 대등한 성능을 보여주었다.

핵심용어 : 합성, 기둥, 내진, 파형

1. 서 론

장대교량과 같은 대형 구조물의 경우에는 기둥의 단면이 증가하게 되며, 중실단면의 철근 콘크리트(RC, reinforced concrete) 기둥을 적용할 경우, 자중의 증가로 인한 지진력의 증가 및 재료비가 증가하게 되어, 기둥의 자중의 감소 및 재료의 절감의 장점으로 중공 RC 기둥이 사용되고 있다. 중공 RC 기둥은 동일 단면적을 갖는 일반 중실 기둥에 비해, 더 큰 단면이차모멘트를 갖게 되므로 더 효율적인 단면 활용이 가능하다. 하지만, 중공 RC 기둥은 외측의 콘크리트는 횡철근에 의해 구속되어 있으나, 내측의 콘크리트에는 구속력이 작용하지 않게 되어, 콘크리트가 2축 구속 상태로 존재하게 됨으로써 중공 RC 기둥의 안쪽면의 취성 파괴로 인하여 낮은 연성 거동을 할 가능성이 있다.

중공 RC 기둥의 취성파괴 방지를 위해서는 중공 내면에도 구속력을 작용시켜, 콘크리트를 3축 구속 상태로 만들어주는

것이 필요하다. 이러한 중공 RC 기둥의 문제점을 해결하기 위하여, 중공 RC 기둥의 내부에 강관을 삽입한 기둥이 개발된 바 있으며, 이러한 기둥에 대한 실험적, 해석적 연구가 이루어진 바 있다. 한승룡 등(2003)은 중공 RC 기둥의 내부에 강관을 삽입한 중공 RC 기둥의 곡률 연성에 대한 해석적 연구를 수행하였으며, 한택희 등(2003)과 김성남 등(2005)은 강관이 삽입된 중공 RC 기둥의 연성 거동 실험을 수행하였다. 또한, 한택희 등(2006)은 강관 또는 파형강관이 삽입된 내부 구속 중공 RC 부재의 비선형 재료 모델을 연구하여 제안하였다. 기존의 연구에서는 일반 강관을 사용한 내부 구속 중공 RC 기둥의 해석적, 실험적 연구가 이루어졌으나, 본 연구에서는 기존의 연구에서 일반 강관을 삽입한 내부 구속 중공 RC 기둥에 대한 연구를 수행한 것과 달리, 얇은 강관으로 큰 구속 효과를 발휘할 수 있도록 파형강관을 삽입한 내부 구속 중공 RC 기둥(ICH RC-CT 기둥: Internally Confined Hollow RC column with Corrugated Steel Tube)을 개발하

*정희원 · Auburn대학교 토목공학과 객원연구원 공학박사 (E-mail:taekie@korea.ac.kr)

**고려대학교 건축사회환경공학과 박사과정 공학석사

***Auburn대학교 토목공학과 연구원 공학박사

****정희원 · 고려대학교 건축사회환경공학과 교수 공학박사

고 반복하중을 작용하여 기둥의 내진 성능을 평가하였다.

ICH RC 기둥의 구조는 그림 1과 같이 콘크리트와 콘크리트를 구속하는 횡방향 철근, 인장에 저항하는 축방향 철근 및 내부에서 콘크리트를 구속하는 강관으로 구성된다. 중공 RC 기둥은 매우 경제적이거나 기둥내의 콘크리트가 3축 구속 상태가 아닌 2축 구속 상태이기 때문에 기둥의 연성 능력을 보장할 수 없다. 비록 2축 구속된 콘크리트가 비구속된 콘크리트에 비해서 향상된 거동을 보이지만, 그 연성과 강도의 향상 정도가 크지 않기 때문에 중공 RC 기둥에서 큰 연성의 향상을 기대하기는 어렵다. 그림 2는 중공 RC 기둥에서 콘크리트의 2축 구속 상태를 보여준다. 콘크리트 요소에는 축방향 응력과 원주방향의 응력이 작용하나 방사방향으로는 구속 응력이 존재하지 않아 콘크리트 요소는 2축 구속 상태가 되어 취성 파괴가 발생할 가능성이 있다.

그림 3은 중공 RC 부재에서 내측에 추가로 배근된 횡방향 철근에 의해 콘크리트 요소가 3축 구속된 상태를 보여준다.

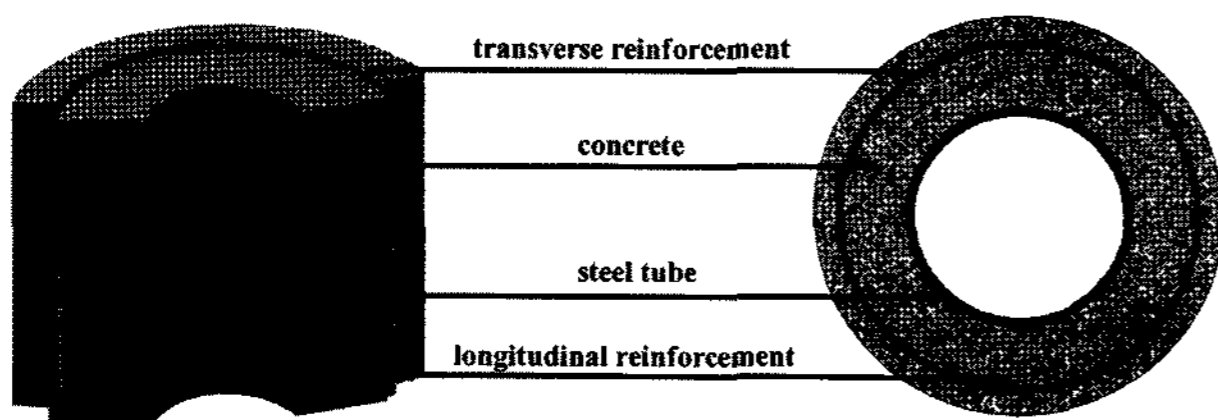


그림 1. ICH RC 기둥의 구조

이러한 내측 횡방향 철근은 방사방향으로 구속 응력을 제공하여 콘크리트를 3축 구속 상태로 만들어준다. 하지만 이러한 형태의 기둥에서는 인장부재로 사용되는 철근이 압축력을 받게 되며, 내측의 콘크리트 덮개가 탈락할 경우 내측의 횡방향 철근이 쉽게 좌굴하게 되어 결국 그림 2의 경우와 같이 콘크리트 요소는 2축 구속 상태가 된다. 또한 내측의 횡방향 철근은 강관과 달리 연속적으로 존재하지 않기 때문에, 연속적인 구속력을 제공하지 못한다.

따라서 내부 구속력을 발생시키기 위해서는 그림 4와 같이 중공 RC 기둥 안쪽에 강관을 삽입하여 콘크리트를 구속하는 방법이 가장 효과적이라고 판단된다. 이러한 경우에는 삽입된 강관에 의해서, 연속적인 구속응력을 제공하여 콘크리트를 3축 구속 상태로 만들어준다. 이러한 구속 효과에 의해서 콘크리트의 강도와 연성이 향상되게 되며, 본 연구에서는 이러한 개념을 도입하여 파형강관으로 내부 구속된 중공 RC 기둥을 개발하고 실험을 수행하여 내진 성능을 평가하였다. 일반적인 RC 기둥과의 성능 비교를 위하여 같은 직경과 철근비의 중실 RC 기둥을 제작하여 실험을 수행하여 결과를 비교하였다.

2. 실험 개요

2.1 시험체 설계

본 연구에서는 파형강관으로 내부 구속된 중공 RC 기둥

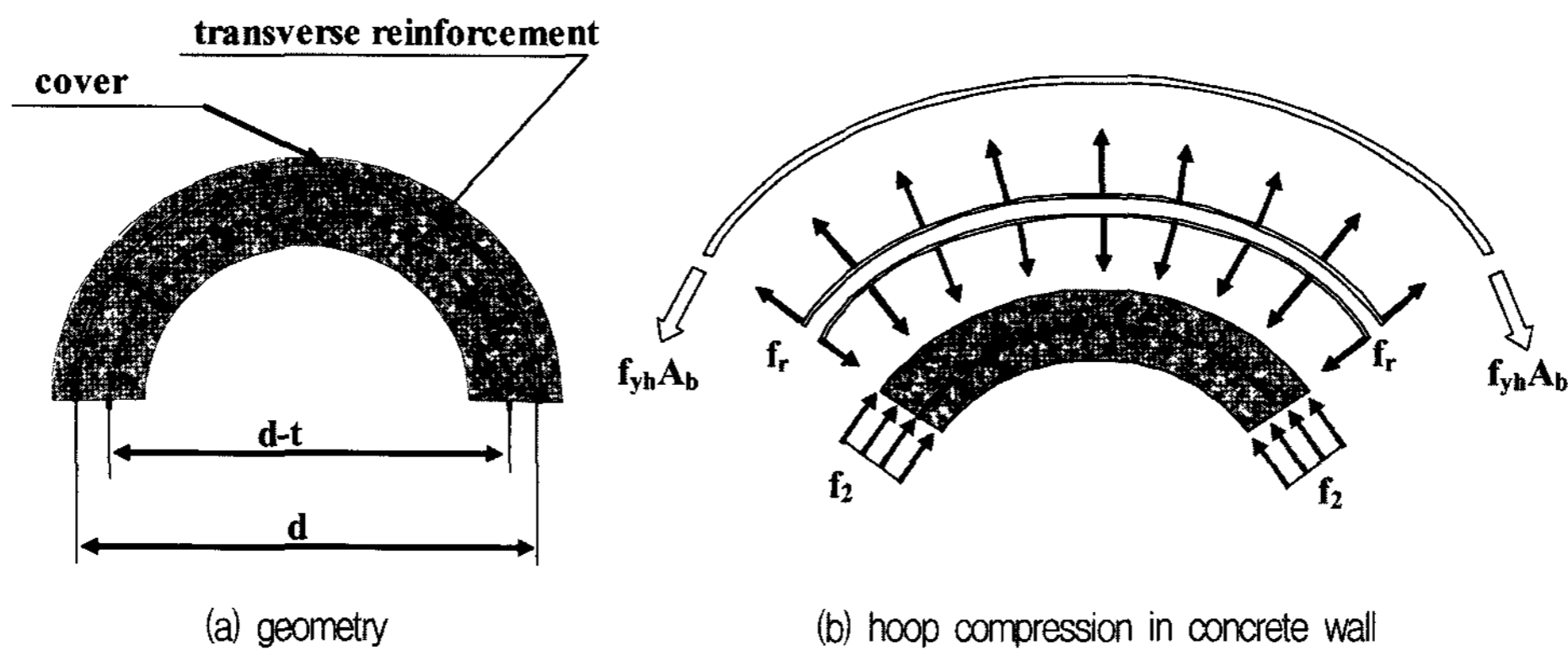


그림 2. 중공 RC 기둥 내의 작용 응력

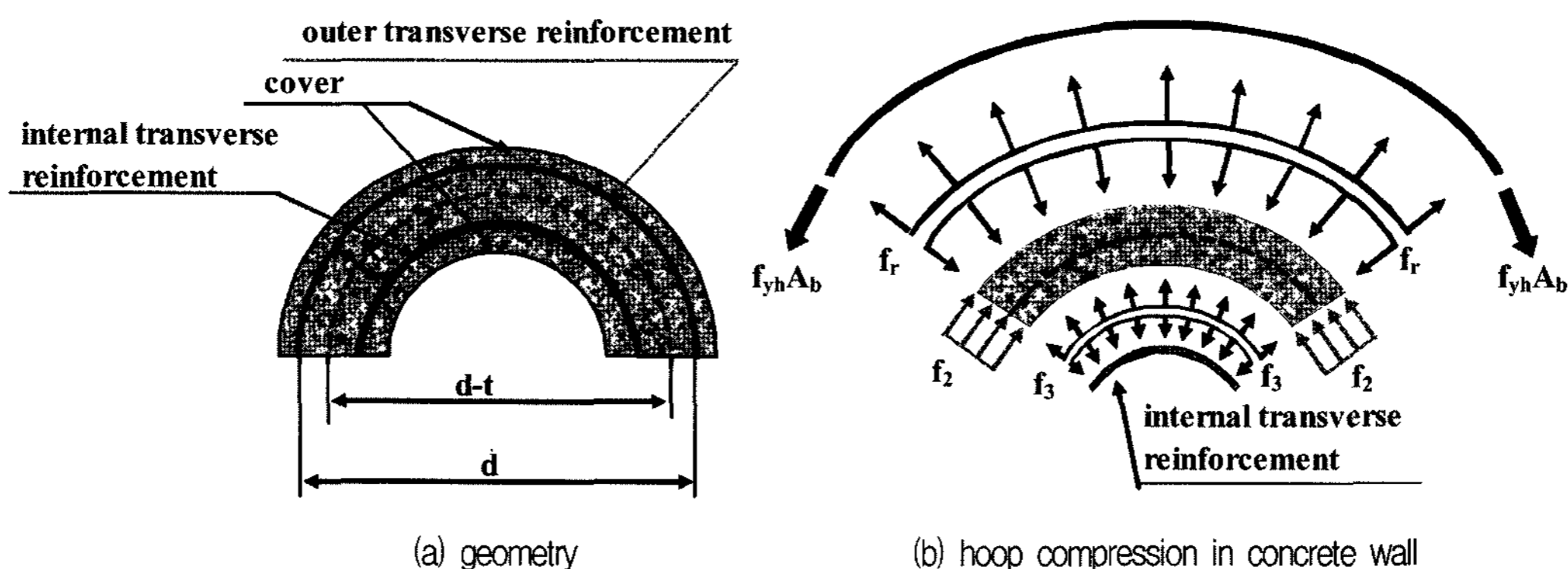


그림 3. 내부 횡철근으로 보강된 중공 RC 기둥 내의 작용 응력

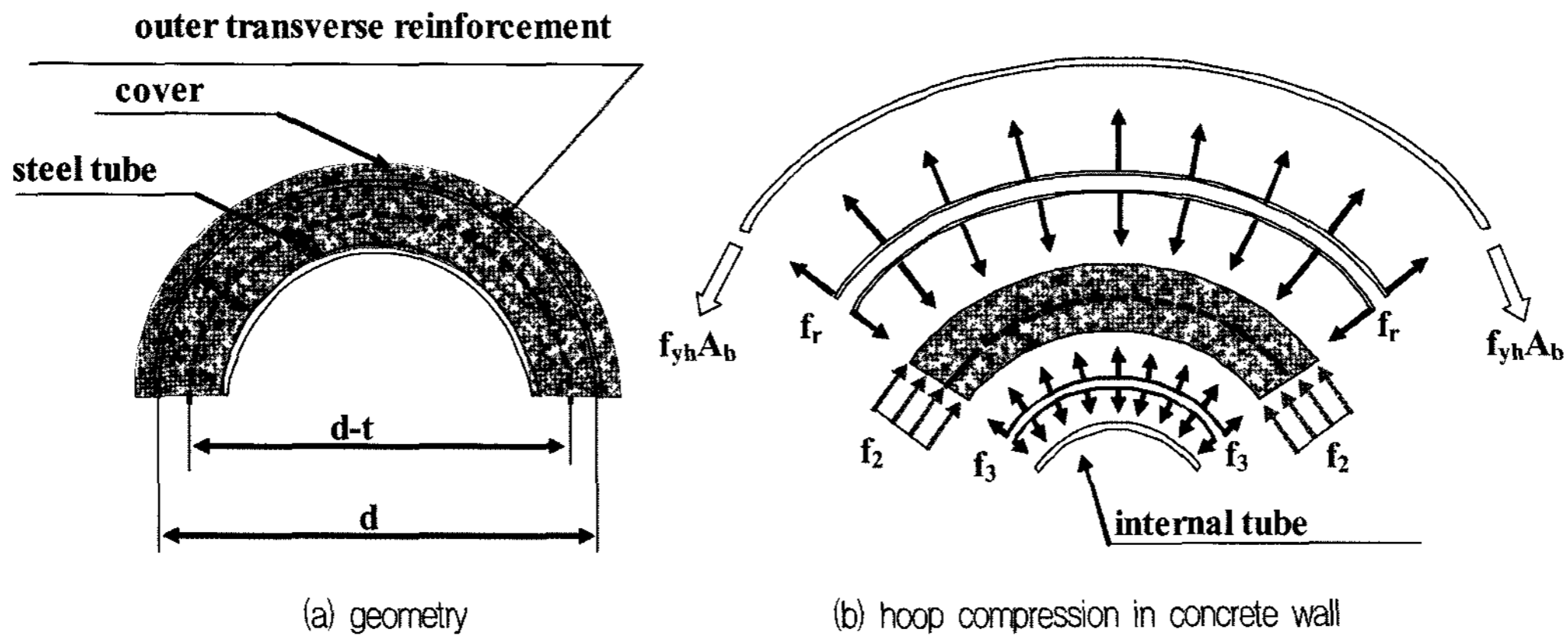


그림 4. 내부 구속 중공 RC 기둥 내의 작용 응력

시험체(ICH RC-CT 시험체)와 실험 결과의 비교를 위하여 일반적인 중실 RC 기둥 시험체(Solid RC 시험체)를 각 1개씩 제작하여 2개의 기둥 시험체에 대하여 실험을 수행하였다. 시험체의 설계 시 단면의 직경은 사용가능한 거푸집의 크기 및 피복 두께, 사용 가능한 삽입관의 크기를 고려하여 700 mm로 결정하였으며, 구속되는 콘크리트의 지름(D')은 620 mm로 설계하였다. 기둥 시험체의 높이는 가력장치의 용량을 고려한 최대 크기로 설계하였으며, 기초 상단으로부터 가력부위까지 2,650 mm로 설계하고, 기초의 높이는 1,000 mm로 설계하였으며, 콘크리트 강도는 24 MPa로 설계하였다.

축방향 철근비는 콘크리트 구조설계 기준 6.4.2절에 따라, 철근비를 계산하여 1.3%로 정하였으며, 이를 적용하여 Solid RC 시험체의 경우에는 16개의 19 mm 이형 철근(SD300)을 배근하고, ICH RC-CT 시험체의 경우에는 중공비 0.65일 때에 대한 축방향 철근비 1.3%를 적용하여 12개의 19 mm 이형 철근을 배근하였다. 횡방향 철근은 13 mm 이형 철근(SD300)으로 설계하고, 소성한지구간은 67 mm 간격으로 배근하고, 비 소성한지구간은 200 mm 간격으로 배근하였다. 소성한지구간은 기초 상단부에서 0.8 m 지점까지로 결정하였다. 여기서는 겹침 길이에 의한 횡철근량의 증가는 고려하지 않았으며, 횡철근비 규정은 콘크리트 구조설계 기준 6.4.2절의 식(6.4.1)인 나선철근의 규정을 적용하였다. ICH RC-CT 시험체에서 철근량 계산 시, 삽입된 파형 강관의 강제량은 고려하지 않았다.

파형 강관은 0.65의 중공비에 가장 근접하는 직경을 갖는, 외경이 406.4 mm, 두께가 2 mm인 용융아연도금강관으로 제작된 파형강관을 사용하였으며, 파형의 형상은 피치가 68 mm, 파의 높이는 13 mm, 파의 회전반경은 17.5 mm이다. 강관 설계 시, 횡철근의 파괴 이전에 파형강관이 항복하거나 좌굴하지 않기 위한 최소 두께(한택희 등, 2006)는 각각 1.5704 mm와 0.1734 mm로서, 1.6 mm 이상의 파형 강관이 라면 횡철근의 파괴 이전에 파형 강관이 파괴되지 않는다. 따라서 시험체 제작에 적용된 2 mm 두께를 갖는 파형강관은 적합함을 알 수 있다. 그림 5와 그림 6은 완성된 시험체의 철근상세 및 제원을 나타낸다. 표 1에 설계 시 사용된 각 재료의 물성치를 나타내었다. 시험체 제작 후 콘크리트의 강도는 공시체 테스트 결과 28일 강도가 21.72 MPa로 측정되

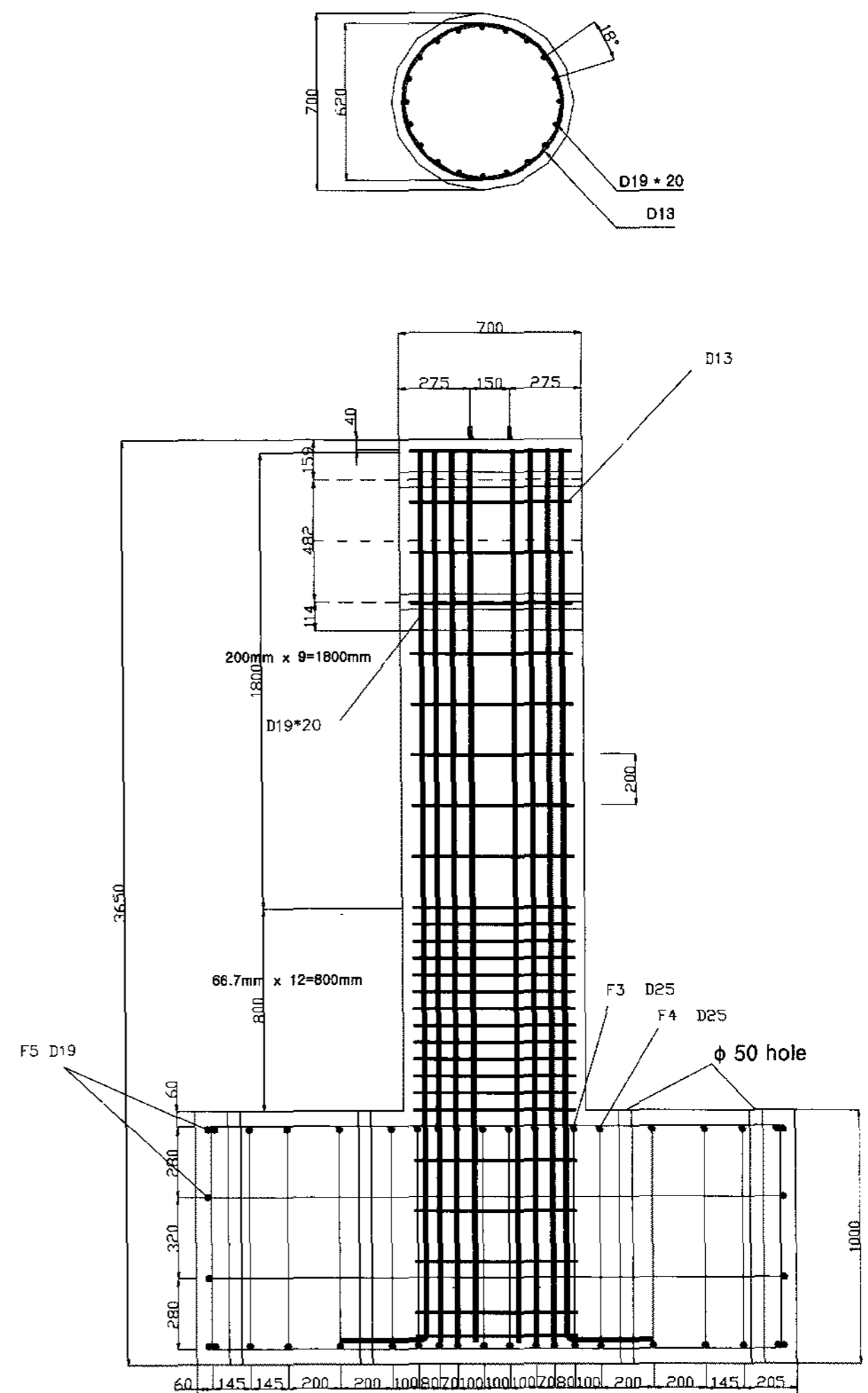


그림 5. Solid RC 시험체의 설계도

었으며, 철근의 경우 인장 시험 결과, 19 mm 이형철근의 경우 3개의 시편에 대하여 각각 297.62 MPa, 296.92 MPa, 272.22 MPa의 극한 강도를 나타내었으며, 13 mm 이형 철근의 경우에는 4개의 시편에 대하여 각각 263.38 MPa, 304.60 MPa, 298.58 MPa, 336.55 MPa의 극한 강도를 나타내었다. 표 2는 콘크리트의 28일 강도 시험 결과를 보여준다.

설계 시험체에 대해 한택희 등(2006)의 연구에 따라 콘크리트의 구속효과를 고려한 경우와 고려하지 않은 경우에 대하여 축력-모멘트 상관관계 해석을 수행하였으며, 그림 7과

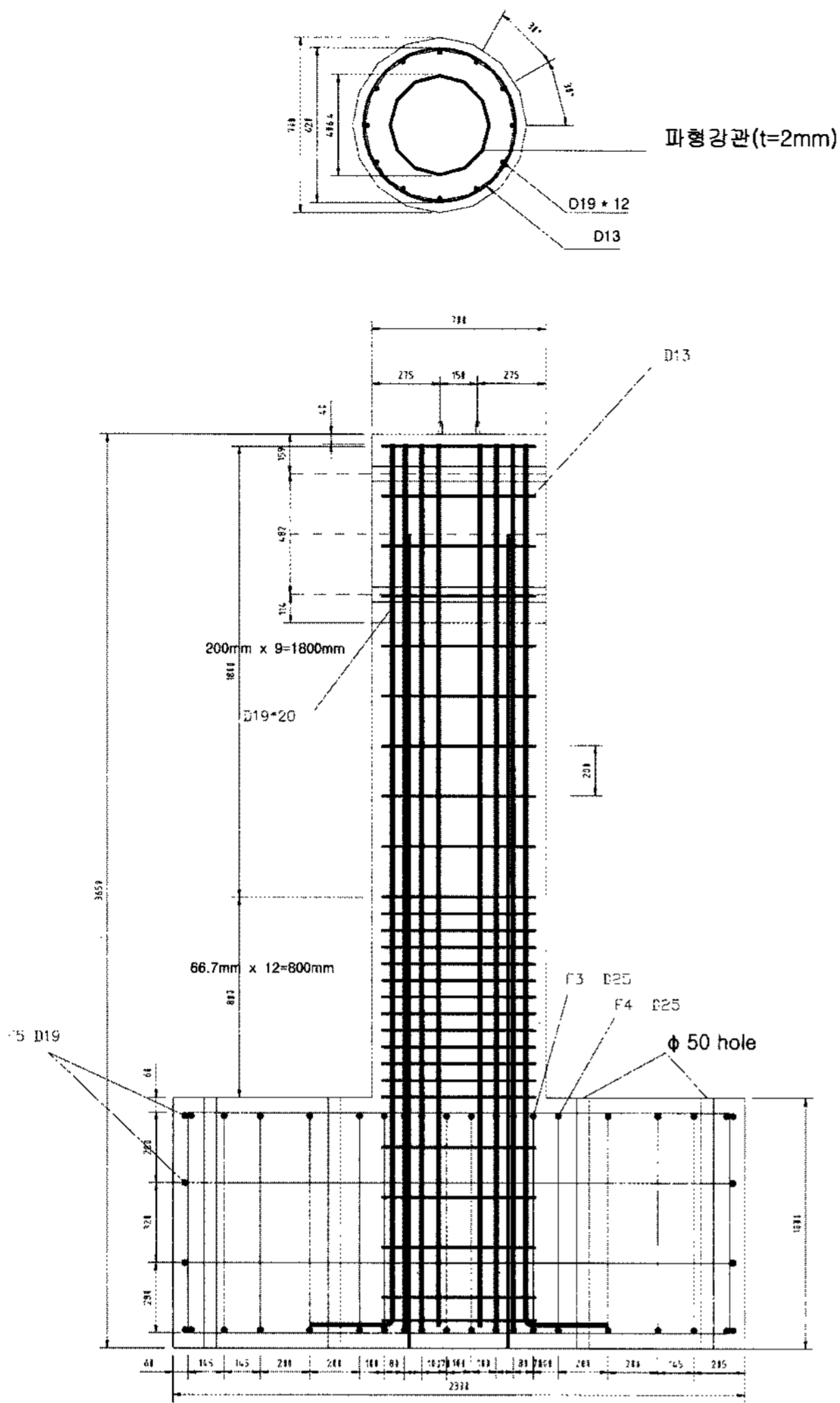


그림 6. ICH RC-CT 시험체의 설계도

표 1. 설계에 적용된 각 재료의 물성치

재료 종류	단위 질량	압축강도 또는 항복강도
콘크리트	2.70 ton / m ³	25.0 MPa
삽입강관	7.85 ton / m ³	250.0 MPa
철근	7.85 ton / m ³	294.3 MPa

표 2. 콘크리트 공시체의 28일 강도 시험결과

공시체	압축 강도
공시체 1	21.66 MPa
공시체 2	21.23 MPa
공시체 3	22.28 MPa
평균	21.72 MPa

같은 결과를 얻을 수 있었다. 이 해석에서 콘크리트의 강도는 25 MPa로 적용되었다. ICH RC-CT 시험체의 경우, 콘크리트의 구속효과를 고려하지 않은 일반 해석의 경우, 최대 모멘트와 최대 축력은 각각 463.6 kN-m와 3568.6 kN으로 산출되었으며, 콘크리트의 구속효과를 고려한 경우에는 최대 모멘트와 최대 축력이 각각 582.7 kN-m와 4481.8 kN으로 산출되었다. Solid RC 시험체의 경우, 콘크리트의 구속효과를 고려하지 않은 일반 해석의 경우, 최대 모멘트와 최대 축력은 각각 582.2 kN-m와 5475.3 kN으로 산출되었으며, 콘크리트의

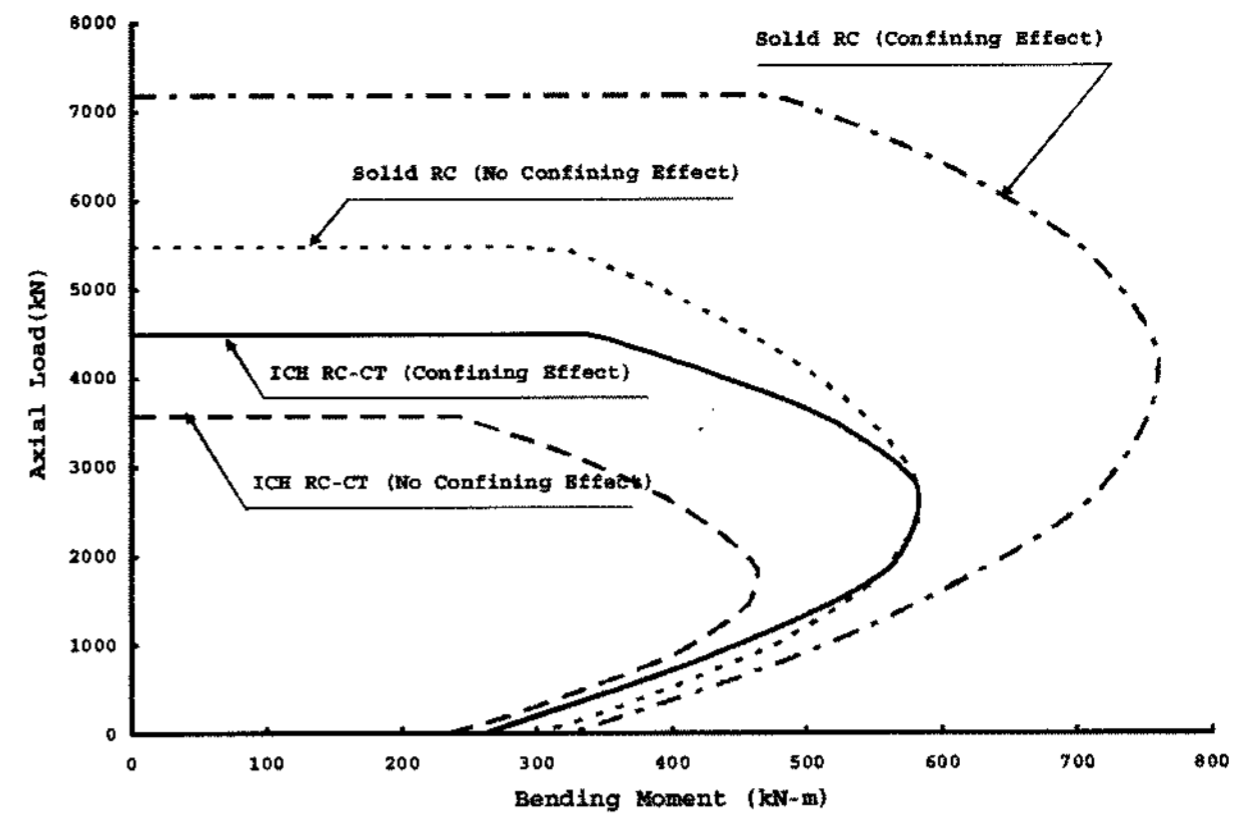


그림 7. 설계 시험체에 대한 축력-모멘트 상관관계 분석

구속효과를 고려한 경우에는 최대 모멘트와 최대 축력이 각각 760.3 kN-m와 7182.2 kN으로 산출되었다.

2.2 시험체 제작

시험체의 제작은 기초부, 기둥부, 가력부의 3부분으로 진행되며, ICH RC-CT 시험체의 내부에 삽입되는 파형 강관이 기초부에 대해 완전히 정착될 수 있도록 강관의 바닥에 사각형의 강판(600 mm × 600 mm)을 용접하여 부착하고 기초부에 배근되는 철근이 강관부를 관통하도록 제작하였다. 그림 8은 ICH RC-CT 시험체에 거푸집이 설치된 모습을 보여주며, 그림 9는 거치된 파형강관을 보여준다.

2.3 실험 방법

구조물의 거동은 여러 해석 방법에 의해 비탄성 응답을 예측하더라도 구조물이 수학적 이상화로 단순화 되거나, 비탄성 부재물성에 의해 그 결과는 불확실성의 한계가 있다. 따라서 실험에 의한 연구가 구조물의 비탄성 거동을 평가하는데 가장 실제적인 방법이며 이러한 실험 방법으로는 진동대 실험, 진동력 실험, 준정적 실험, 유사 동적 실험 등이 있다. 현재 까지 실행되어진 준정적 실험은 서로 다르게 설계된 구조물의 비탄성 에너지 소산능력과 파괴상태를 평가 비교하기에 가장 경제적이고 유용한 실험 방법으로 알려져 있으며, 본 연구에서는 이러한 준정적 실험을 수행하여 각 기둥 시험체

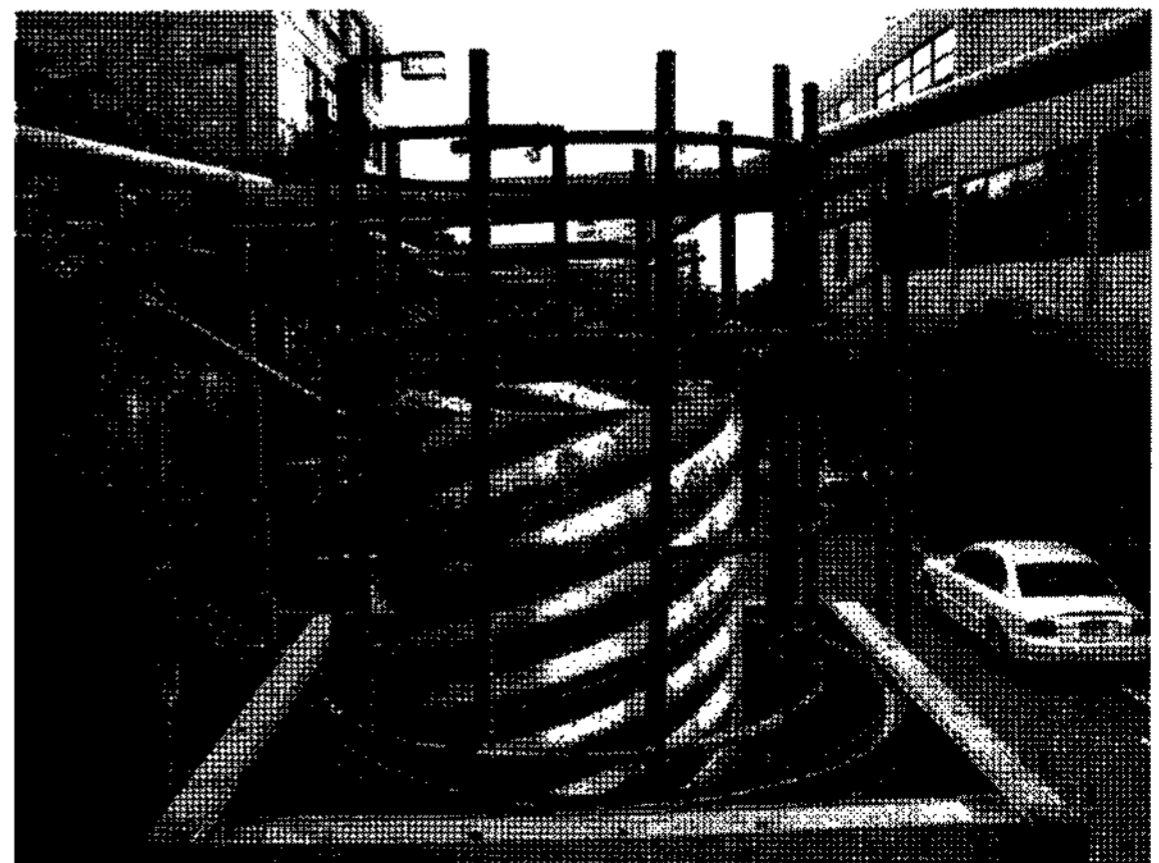


그림 8. 거푸집 설치(ICH RC-CT)

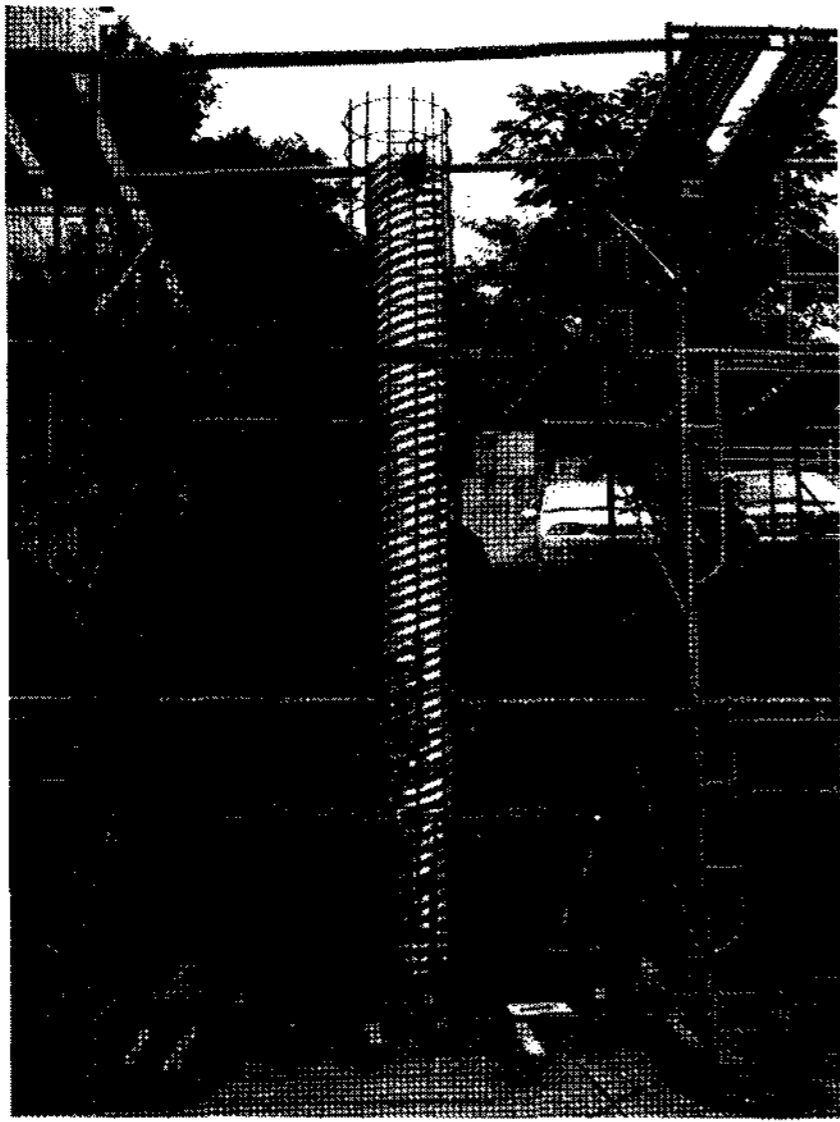


그림 9. 파형 강관의 거치

의 내진 성능을 평가하였다.

횡방향 하중의 재하는 교각 시험체의 높이에 대한 수평방향 변위의 비로 나타내는 drift level(또는 drift ratio)로 하중을 재하하는 방법을 사용하였다. 본 실험에서는 준정적 하중(quasi static loading)을 이용하여 각 단계별 drift level은 그림 10과 같이 2주기씩 시험체의 파괴 시 까지 재하함으로써 거동특성과 파괴양상을 살펴보았으며 실험 중 drift level의 증가에 따라 발생된 균열 및 파괴양상이 진전되는 것을 각 drift단계마다 조사하였다. 횡방향 하중 재하 장치는 가력장치를 시험체의 가력부분과 동일한 높이에 설치하고 미리 제작된 시험체 가력부의 구멍에 장볼트로 체결하였다. 가력장치의 최대 가용 범위는 ± 250 mm, 최대횡하중은 2,000 kN인 가력장치를 사용하여 시험체의 예상 파괴변위와 내력을 상회하도록 하였다.

교각의 준정적 실험에 있어서 중요한 부분 중 하나가 축력을 일정하게 재하하는 것이다. 실험 도중에 축력이 변하게 되면 시험체의 거동에 영향을 미칠 수 있으므로 실험동안 축력을 일정하게 재하하는 것이 매우 중요하다. 일반적으로 축력을 재하하는 방법에는 시험체 제작 시 본체에 쉬스관을 매설하고 강선으로 후긴장을 주는 방법, 상단 또는 연결부에 별도로 가력장치를 설치하여 하중을 가하는 방법, 시험체 상

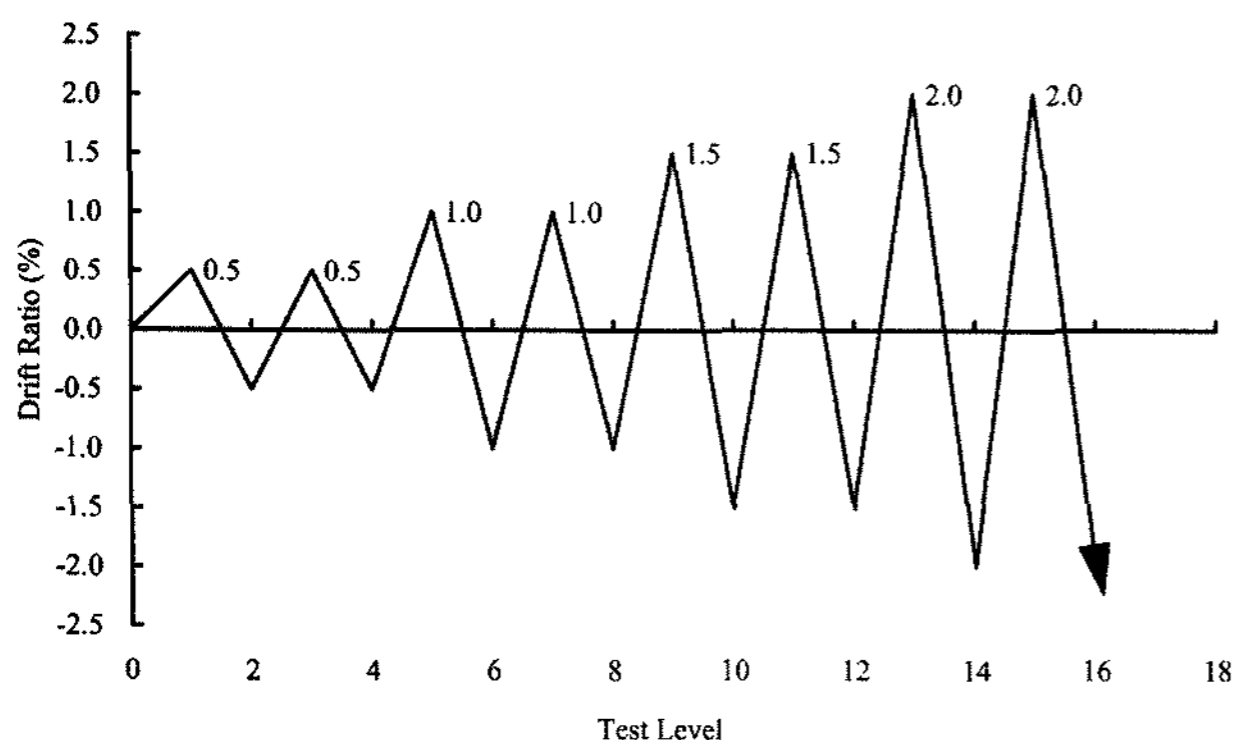


그림 10. 하중 재하 방법

단에 유압 실린더와 load cell을 이용한 방법 등이 있다. 본 실험에서는 부수장치를 제작하여 유압펌프에 일정하중 유지장치를 설치한 후 실험도중 축력의 변화가 없도록 하였다. 축력의 재하는 교각 단면 축강도의 10%에 해당하는 일정 축하중을 재하하였다. 또한 가력 프레임/loading frame) 및 바닥 힌지부는 축력재하시 인장력을 충분히 견딜 수 있도록 제작하였고, 횡방향 가력 시 회전이 가능하도록 양단에 힌지를 두고 연결부를 핀으로 정착하였다. 그림 11은 하중 재하를 위해 시험체를 설치한 모습이다. 실험 진행시 가력부(기초상단 2,250 mm)와 기초상단으로부터 500 mm, 1,300 mm 지점에 변위계를 설치하여 하중에 따른 변위를 측정하였다.

3. 실험 결과

3.1 시험체의 파괴 거동

Solid RC 시험체는 첫 번째 하중 사이클에서 전면부(front side, push 가력 시의 인장부)에 4개의 수평균열이 발생하였고, 후면부(rear side, pull 가력 시의 인장부)에도 마찬가지로 4개의 수평균열과 1개의 경사균열이 발생하였다. 이 후 추가적인 수평균열과 균열의 확대가 이루어 졌으며, drift level = ± 3.0 에서 피복 박리가 시작되었다. 또한 drift level = ± 5.0 에서 피복 콘크리트 탈락이 시작되었으며, drift level = ± 8.0 에서 축방향 철근이 4개 파단되고, drift level = ± 9.0 에서 축방향 철근이 추가로 파단되면서 실험이 종료되었다.

ICH RC-CT 시험체는 첫 번째 하중 사이클에서 전면부에 3개의 수평균열이 발생하였고, 후면부에도 마찬가지로 4개의 수평균열이 발생하였다. 이 후 추가적인 수평균열과 균열의 확대가 이루어 졌으며, drift level = ± 3.0 에서 피복 박리가 시작되었다. 또한 drift level = ± 4.0 에서 경사균열의 발생과 피복의 박리가 시작되었으며, drift level = ± 6.0 에서 피복 콘크리트 탈락이 시작되었다. drift level = ± 5.0 에서 횡철근의 연결부 용접이음이 파단되면서 기능을 상실하여, 주철근이 좌굴되어 drift level = ± 5.0 주철근이 6개 파단되고, 횡철근이 3

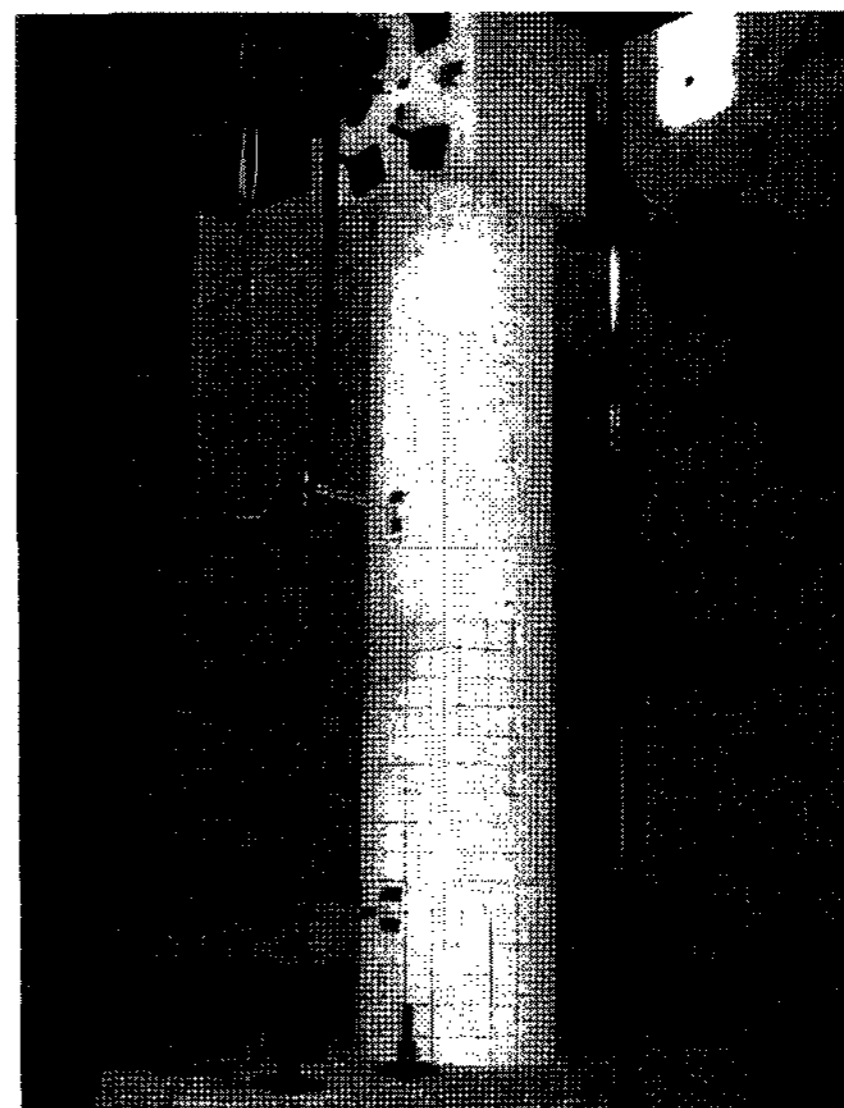


그림 11. 시험체의 설치

개 파단되어, 실험이 종료되었다.

그림 12와 그림 13은 각각 Solid RC 시험체와 ICH RC-CT 시험체의 균열 형상을 보여주며, 그림 14와 그림 15는 각각 Solid RC 시험체와 ICH RC-CT 시험체의 철근의 파괴를 보여준다.

3.2 실험 결과 분석

그림 16과 그림 17은 각각 Solid RC 시험체와 ICH RC-CT 시험체의 하중-변위 이력곡선이며, 그림 18은 각 시험체의 포락선을 비교한 그림이다. Park(1988)의 방법에 따라 Solid RC 시험체의 항복변위(Δ_y)와 극한변위(Δ_u)는 각각 26 mm와 176.775 mm로 나타났으며, ICH RC-CT 시험체에서의 항복변위와 극한변위는 각각 23 mm와 129 mm로 산출되었다. ICH RC-CT 시험체의 경우, 횡철근의 용접 불량으로 시험체가 조기 파괴되어 기대한 값보다 작은 극한 변위 값을 나타내었다. 변위 연성도를 계산하면 Solid RC 시험체는 6.8, ICH RC-CT 시험체는 5.6으로 ICH RC 시험체의 변위 연성도가 작은 값으로 산출되었다.

그림 18에 나타낸 바와 같이, Solid RC 시험체의 경우에는 최대 하중이 294.3 kN, ICH RC-CT 시험체의 최대 하중은 246.0 kN으로 나타났다. ICH RC-CT 시험체가 중공비 65%의 중공 단면임을 고려한다면, 횡방향 하중에 대한 내력이 크게 저하되지 않은 것으로 판단된다. 포락선으로부터 에너지 연성도를 계산하면, Solid RC 시험체는 4.114 kN-m의 항복에너지와 47.098 kN-m의 극한에너지를 갖게 되어 11.448의 에너지 연성도를 갖는다. ICH RC-CT 시험체는 3.054 kN-m의 항복에너지와 27.935 kN-m의 극한에너지를 갖게 되어 9.148의 에너지 연성도를 갖는다.

하중-변위 이력곡선으로부터 계산된 소산에너지는 그림 19와 같다. Solid RC 시험체는 파괴 시까지 638 kN-m의 에너지를 소산하며, ICH RC-CT 시험체의 파괴 시점인 drift level 6까지는 357 kN-m의 에너지를 소산하였다. ICH RC-

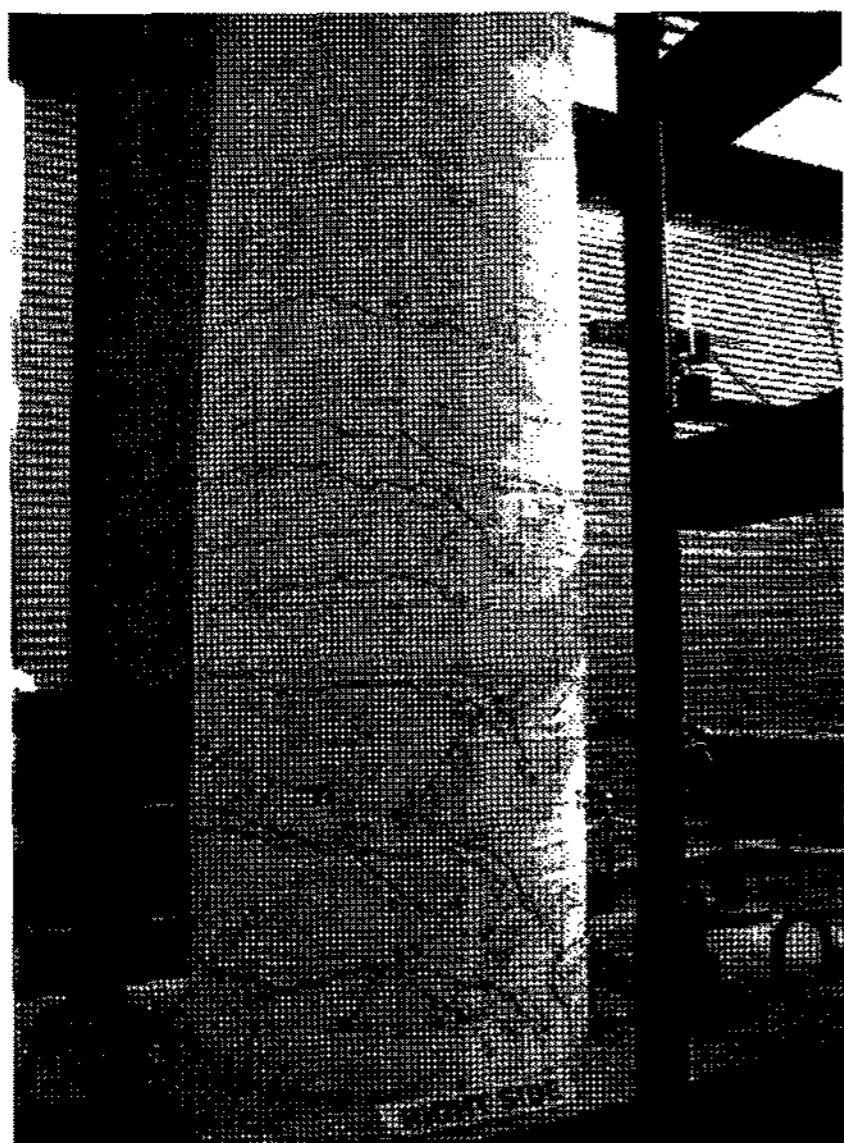


그림 12. 콘크리트 균열양상 (Solid RC)

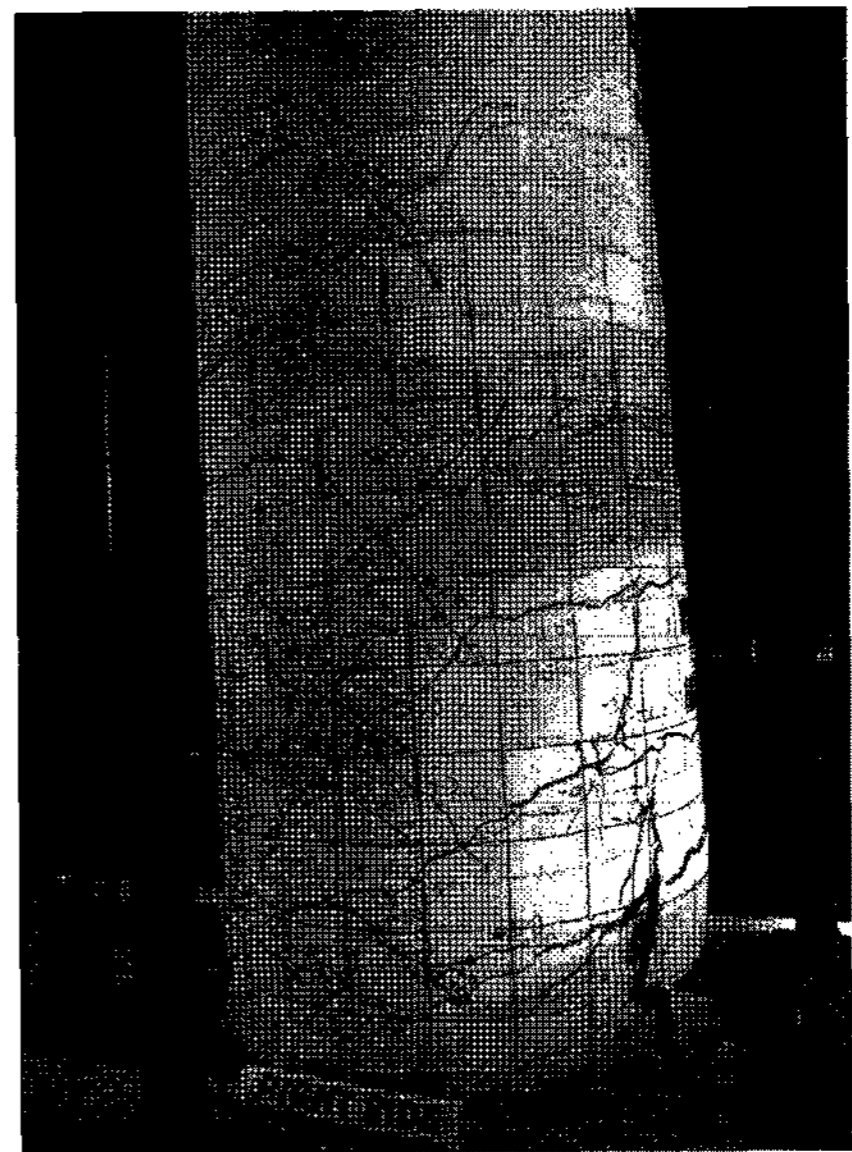


그림 13. 콘크리트 균열영상 (ICH RC-CT)

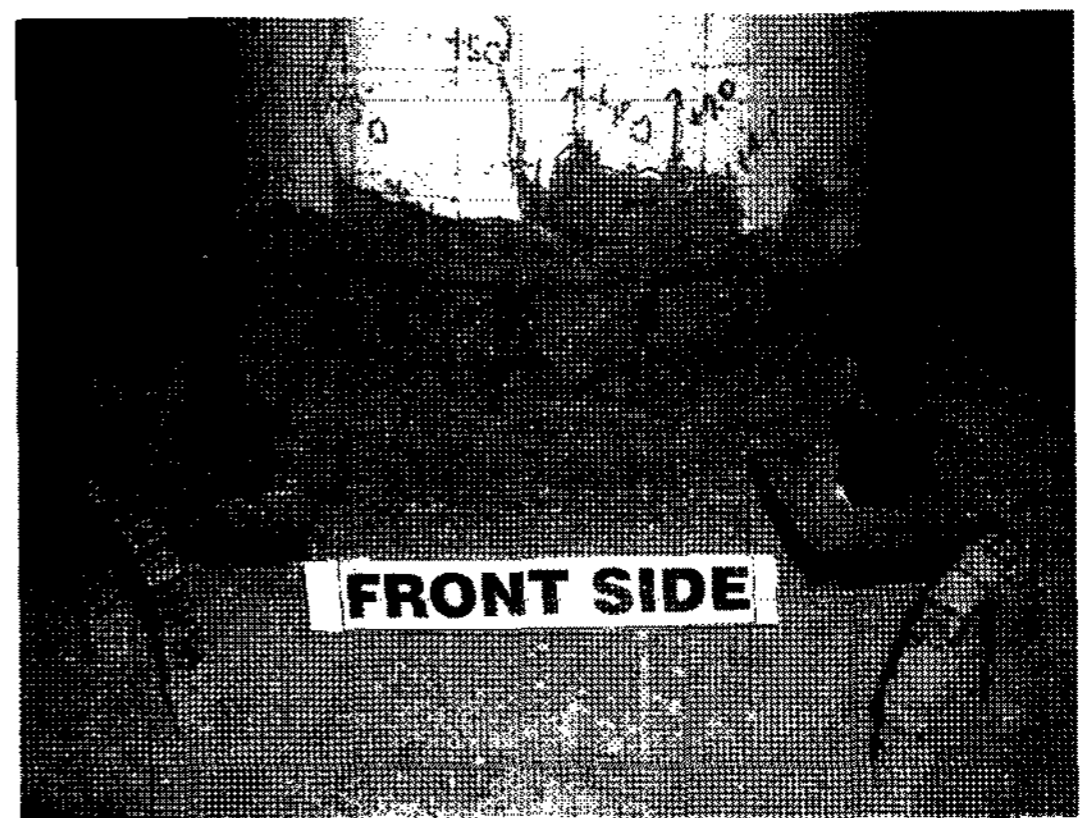


그림 14. 주철근의 파단 (Solid RC)



그림 15. 주철근의 파단 (ICH RC-CT)

CT 시험체는 drift level 6까지 252 kN-m의 에너지를 소산하여 중공단면의 특성상 더 작은 에너지를 소산하였다. 그림 20은 Loh 등(1994)의 방법을 적용하여, 각 시험체의 하중 단계별 등가 점성 감쇠비(equivalent viscous damping ratio)를 나타낸 그림이며, Solid RC 시험체와 ICH RC-CT 시험

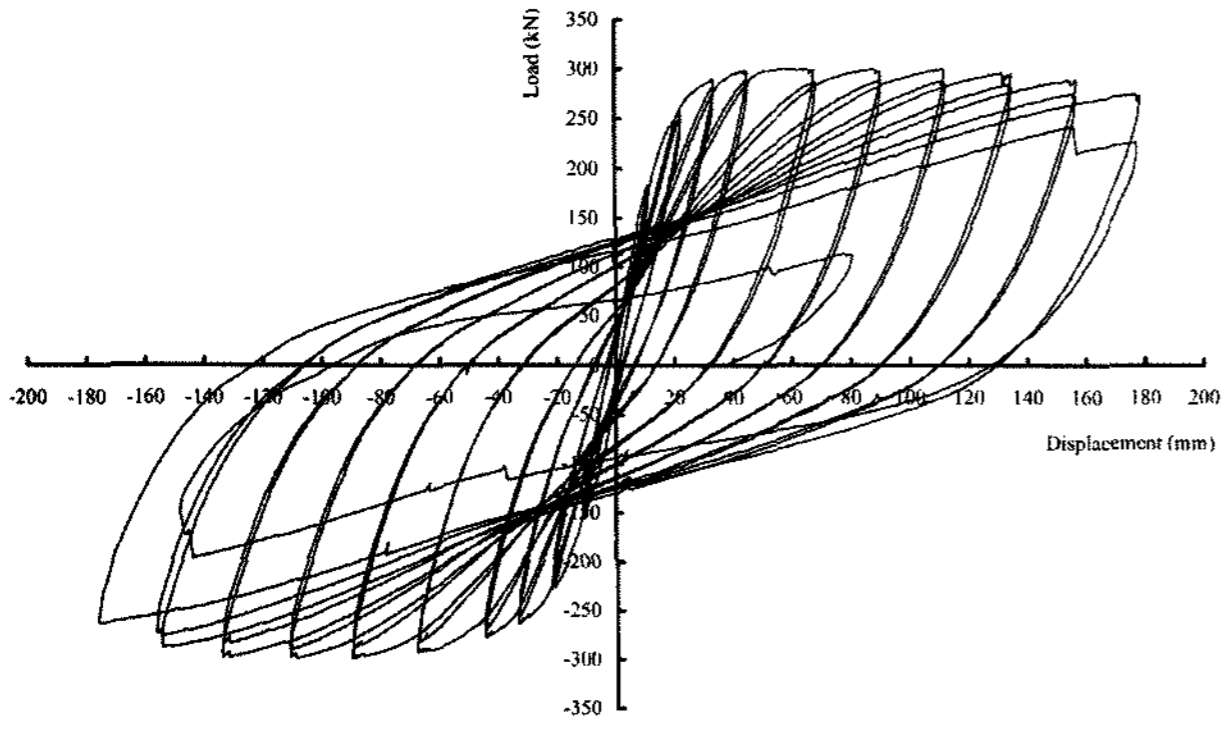


그림 16. 하중-변위 이력곡선 (Solid RC)

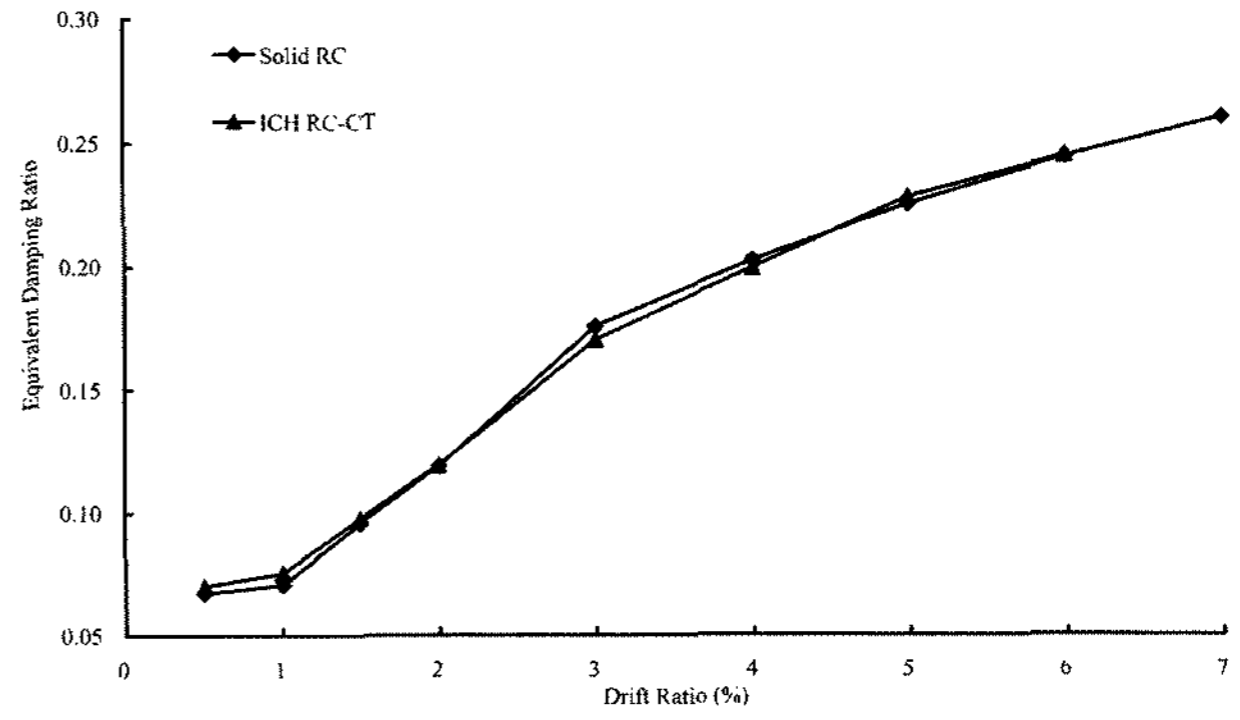


그림 20. 하중 단계별 등가 점성 감쇠비

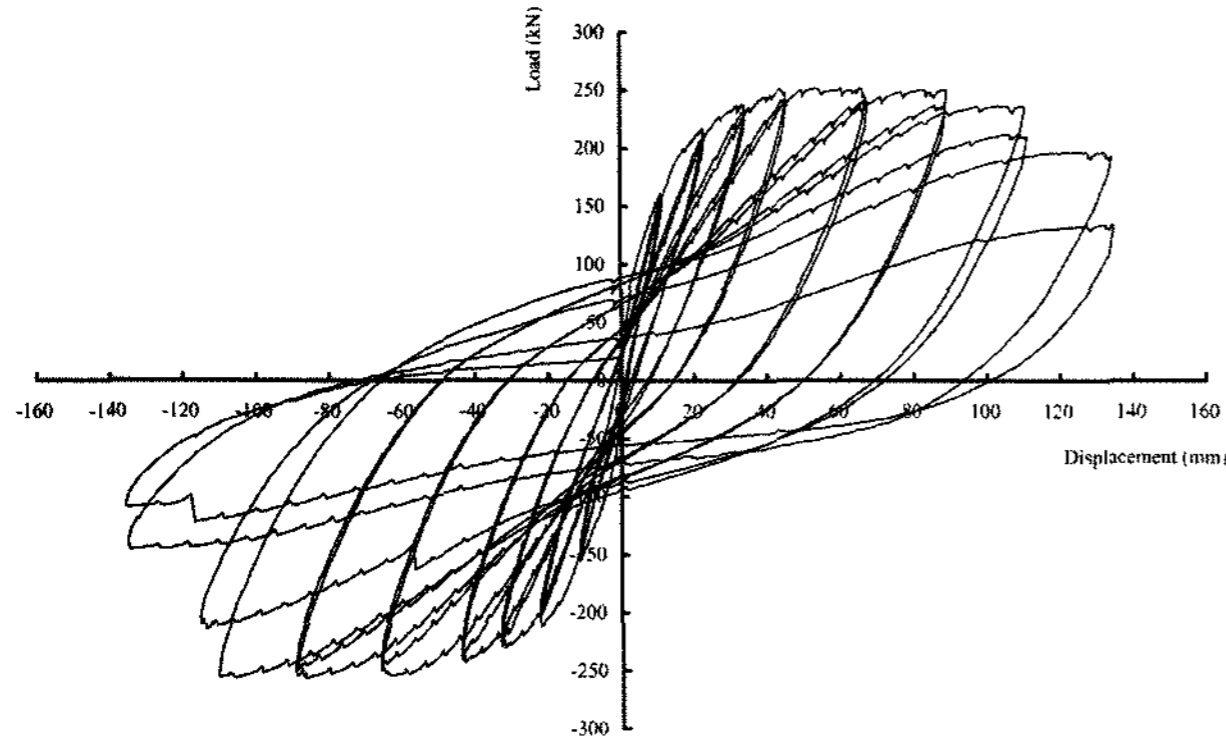


그림 17. 하중-변위 이력곡선 (ICH RC-CT)

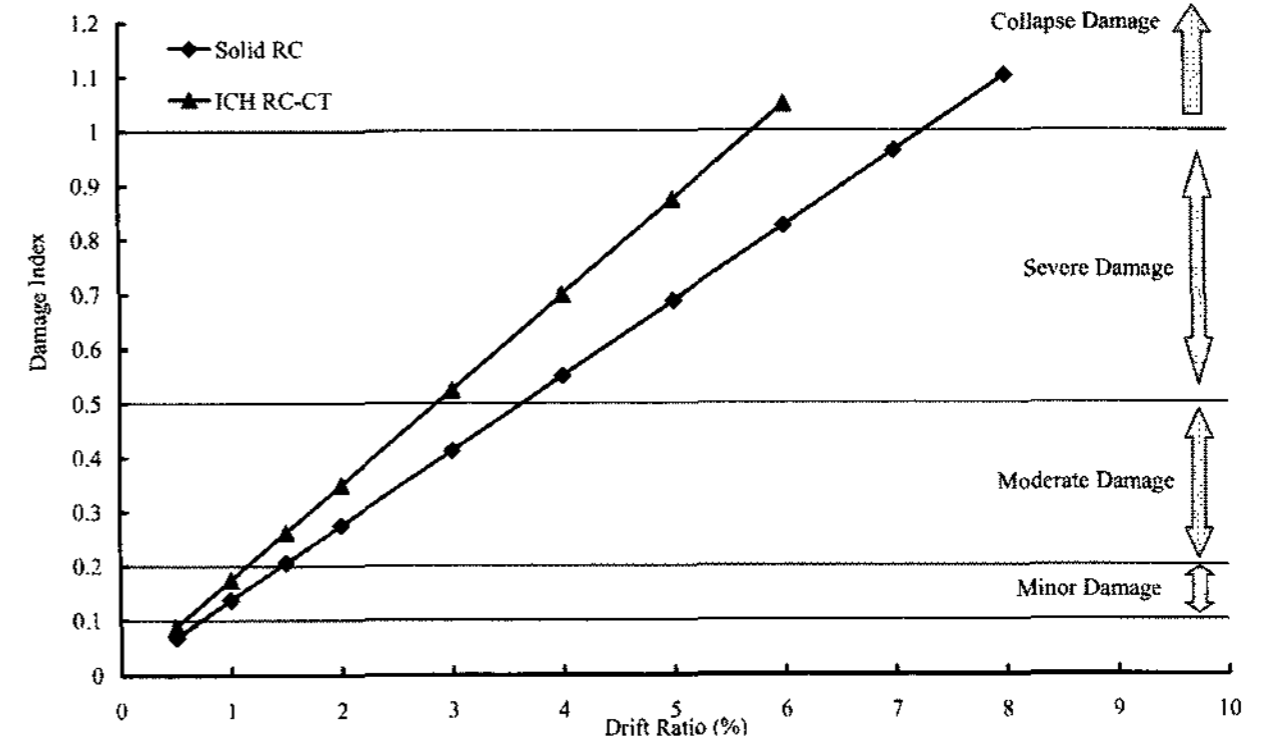


그림 21. 손상 지수 비교

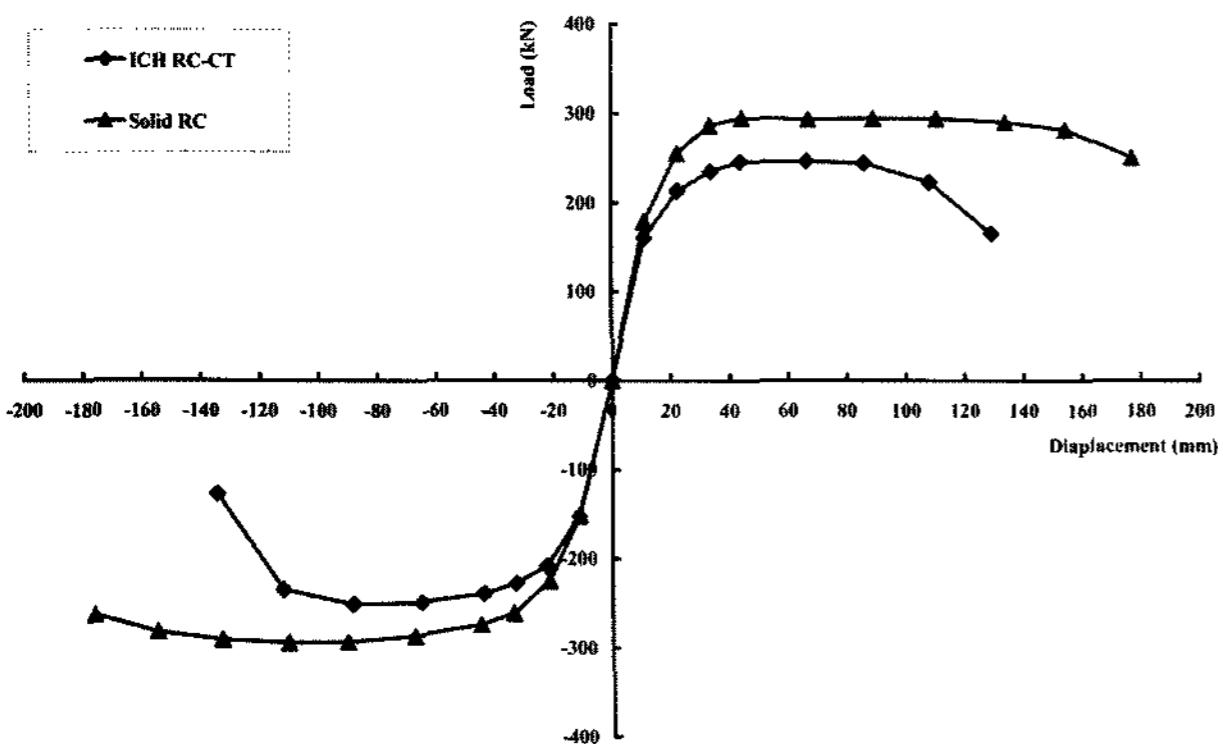


그림 18. 포락선 비교

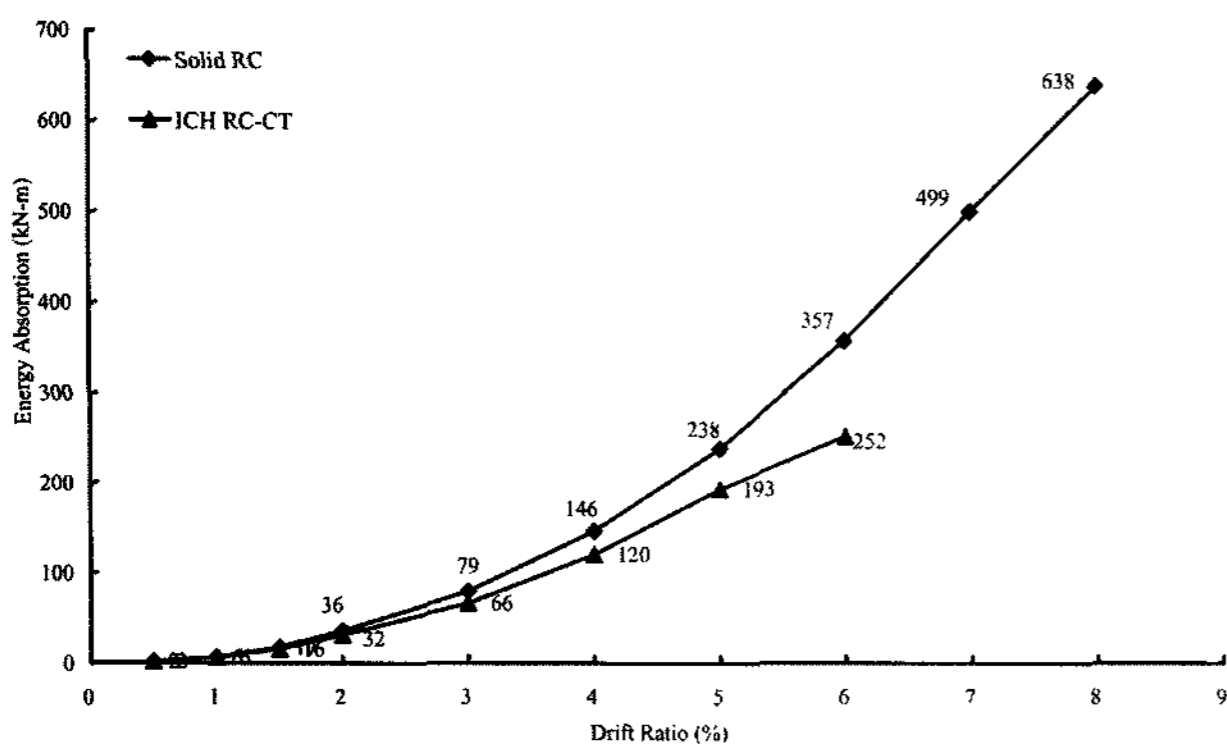


그림 19. 누적 소산 에너지

체가 거의 동일한 값을 나타냄을 알 수 있다.

그림 21은 각 시험체의 손상 지수(DI, damage index)를

파형강관 내부 구속 중공 철근 콘크리트 기둥의 내진 성능

나타낸 그림이다. DI의 계산은 Park과 Ang(1985)의 연구 결과에 따라 산출하였으며, 감소계수인 β 값은 ICH RC-CT 기둥에 대해서는 연구된 결과가 없으므로, Fardis(1995)의 연구 결과에서 RC 기둥에 해당하는 0.2를 동일하게 적용하였다. 그림 22의 결과와 같이 ICH RC-CT 기둥은 Solid RC 보다 파괴가 좀 더 빨리 발생하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 내진성능 평가 실험을 통하여, 새로운 형식의 기둥인 파형강관 내부 구속 중공 RC 기둥(ICH RC-CT 기둥)과 기존의 중실 RC 기둥의 성능을 비교 하였다. 실험 결과, ICH RC-CT 기둥은 중공단면의 특성상 중실 RC 기둥에 더 작은 연성도와 소산에너지를 가지나, 에너지 연성도의 경우 큰 차이가 나지 않으며, 등가 점성 감쇠비의 경우에는 중실 RC 기둥과 거의 동일한 값을 나타내었다. 이러한 결과로 볼 때, ICH RC-CT 기둥은 에너지 소산이나 횡저항력은 중실 RC 기둥 보다 낮은 성능을 보이나 연성도와 등가 점성 감쇠비의 측면에서는 큰 손실이 발생하지 않음을 알 수 있다.

기존의 연구(한택희 등, 2005)에서 일반 강관을 삽입한 ICH RC 기둥은 중실 RC 기둥에 비해 큰 소산 에너지와 큰 횡저항력을 보이는 반면 낮은 에너지 연성도와 낮은 등가 점성 감쇠비를 보이는 것과는 다른 결과로서, 이는 ICH RC 기둥에 삽입된 일반 강관은 두께가 커서 수평 하중에 저항을 하나, 파형강관은 얇고 아코디언 효과가 발생하기 때문에 횡

저항력에 기여를 하지 못하기 때문으로 판단된다. 따라서 연성도, 횡저항력, 소산에너지 등 중요 성능에 따라 내부 구속 중공 RC 기둥에 일반 강관과 파형강관을 선택하여 적용할 수 있을 것으로 판단되며, 향후, ICH RC 기둥의 거동을 더 정확히 분석할 수 있는 해석 기술의 개발과 경제성 평가가 수행된다면, ICH RC 기둥이 실제 설계 및 시공에 반영될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2007년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 국가지정연구실사업으로 수행된 연구임(No. R0A-2005-000-10119-0).

참고문헌

김성남, 한택희, 강영종 (2005) 강관으로 내부 구속된 중공 R.C 교각의 거동 특성. **한국철도학회 학술발표 논문집**, 한국철도학회.

한국콘크리트학회 (2004) **콘크리트구조설계기준 해설**. 기문당.

한승룡, 임남형, 강영종, 이규세 (2003) 강관 보강 중공 R.C 기둥의 연성 평가 해석. **한국강구조학회 논문집**, 한국강구조학회, 제15권, 제1호(통권 62호), pp. 1-8.

한택희, 염응준, 윤기용, 강진욱, 이명섭, 강영종 (2006) 콘크리트

의 구속효과와 재료 비선형을 고려한 내부 구속 중공 R.C 기둥의 축력-모멘트 상호작용 분석. **한국철도학회 학술발표 논문집**, 한국철도학회.

한택희, 윤기용, 이창수, 강진욱, 이명섭, 강영종 (2006) 구속효과를 고려한 내부 구속 중공 철근콘크리트의 비선형 재료 모델 개발. **한국철도학회 학술발표 논문집**, 한국철도학회.

한택희, 한상윤, 한금호, 강영종 (2003) 내부 강관 보강 원형 R.C기둥의 연성 거동 특성. **한국방재학회 논문집**, 한국방재학회, 제3권, 제2호, pp. 127-137.

Fardis, M.N. (1995) Damage Measures and Failure Criteria for Reinforced Concrete Members, 10th ECEE, Rotterdam, Vol. 2, 1995, pp.1377-1382.

Loh, C.H., Jean, W.Y., Penzien, J. (1994) Uniform-hazard Response Spectra - An Alternative Approach. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, Vol. 23, No. 4, pp. 433.

Park, R. (1988) Ductility Evaluation from Laboratory and Analytical Testing, *Proceeding of Ninth World Conference on Earthquake Engineering*, Tokyo, Japan. Vol. 8.

Park, Y.J., Ang, A.H.S. (1985) Mechanistic Seismic Damage Model for Reinforced Concrete. *Journal of the Structural Division*, ASCE, Vol. 111, No. 4, pp. 722-739.

논문접수일 : 2008년 01월 09일
 심사의뢰일 : 2008년 01월 10일
 심사완료일 : 2008년 02월 02일