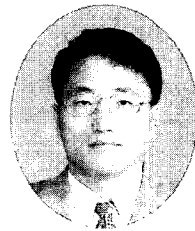


철근 콘크리트 골조 구조의 구조 실험에 관한 허용 기준

- Acceptance Criteria for Moment Frames Based on Structural Testing -



서수연*



이리형**

1. 머리말

최근 미국의 FEMA(Federal Emergency Management Agency)에서는 2000년 NEHRP 규준에 반영될 부분(2000)을 제안하였다. 제안된 내용에서 새로이 추가된 부분 중의 하나는 구조 실험에 관련된 내용이다. 강진 지역의 철근 콘크리트 골조와 같은 구조 시스템에 대한 최소한의 구조 성능을 규정하고, 이와 같은 구조 성능을 평가하기 위한 구조 실험 방법과 그 결과의 평가 방법을 규정하고 있다.

새로이 제안된 NEHRP 규준에서 다루는 구조 실험에 관한 내용은 ACI Innovation Task Group에서 작성한 내용(1999)을 근거로 한 것이다. 사실, 이 실험 규정은 ACI 규준에서 규정되고 있는 철근 콘크리트 골조가 아닌 다른 형식(철골 콘크리트의 복합 재료, PC 구조 등)의 구조에 대한 성능 평가를 위한 목적이 크다.

현재 국내에서는 건축에 관한 새로운 시스템의 개발에 관한 관심과 연구가 급증하고 있으며, 이에 따라 개발된 시스템의 구조 성능에 관한 객관적인 평가가 요망되고 있는 상황이다. 이에 본고에서는 ACI Innovation Task Group에서 제안한 철근 콘크리트 골조의 구조 실험에 관한 허용 기준을 소개하여, 이 내용이 새로운 시스템의 구조 성능 평가를 위한 지표로서 적절히 이용되기를 희망한다.

2. 규준(Provision)

1.0 기호

- E_{max} = 실험 결과에 의해 구해지는 실험 모듈의 최대 횡 저항 성능
- E_n = 실험 부재의 기하학적인 물성으로부터 결정되는 실험 모듈의 공칭 횡 저항 성능, 즉 보강근의 항복 강도와 콘크리트의 압축 강도, 휨 모멘트 강도와 강도 저감 계수 1.0에 대한 변형도 적합 해석으로부터 산정한 값

- E_{pr} = 실험 부재의 실제 기하학 및 재료적인 물성으로부터 구한 예상 횡 저항 성능, 즉 변형도 적합 조건, 보강근의 변형도 경화 효과를 고려하고 강도 저감 계수를 1로 하여 보의 예상 휨 모멘트 강도에 대한 해석을 통하여 산정한 값
- λ = 설계 단계에서 나타나는 초과 강도 계수이며 실험 모듈의 조인트를 구성하는 기둥의 공칭 휨 모멘트 강도 합과 보의 공칭 휨 모멘트 강도 합의 비
- ϕ = 변위각
- β = 상대 에너지 소산을

2.0 정의

- 횡 변위 - 보의 단부가 수평 방향으로 고정되어 있는 상황에서 실험 모듈의 기둥 상부 변위를 바닥과 기둥 상부 사이의 거리로 나눈 각도
- 상대 에너지 소산율 - 주어진 변위 한계 내에서 반복되는 응답시 실험 모듈에 의해 소산되는 에너지로서 동

* 정회원, 한양대학교 STRESS 연구조교수

** 정회원, 한양대학교 건축공학과 교수

일한 초기 강성과 최대 강도 내에 있는 유효 평행사변형의 면적과 해당 사이클 동안 이력 루프 면적의 비로 표현된다.

- 실험 모듈 - 모멘트 골조의 일반적인 보와 기둥 접합부 특성을 나타내는 실험체
- 인성 - 큰 지진에 의한 지반 운동시 나타나는 최대 횡 변위에서 구조물을 보전하기 위해 요구되는 전체 횡력 지지 시스템의 능력

3.0 범위

3.1 이 규준에서는 높은 지진 위험 지역을 대상으로 설계된 철근 콘크리트 모멘트 골조의 최소 허용 기준을 정의한다. 여기서 허용치는 실험과 해석 결과를 근거로 한다.

3.2 다음과 같은 조건을 만족할 경우, 약한 보-강한 기둥의 설계 개념을 근거로 설계된 철근 콘크리트 모멘트 골조는 ACI 규준 21.2에서부터 21.6에 따라 설계된 골조에 상응하는 응답 성능을 가지는 것으로 간주한다.

3.2.1 이 규준에 따라 실시한 골조 모듈에 대한 실험 결과가 9.1에 나타낸 바와 같은 요구치를 만족하며, 강도, 변위 성능, 상대 에너지 소산을 확보할 경우

3.2.2 3.2.1의 실험과 해석 결과를 근거로 나타난 골조의 성능이 층간 변위각 0.035 또는 그 이상에 해당하는 최대 변위까지 인성을 유지할 수 있는 성능으로 입증될 경우

4.0 설계 단계

4.1 실험에 앞서서, 요구되는 허용치와 같은 특성을 가지고 있는 기본형의 모멘트 골조를 설계할 수 있는 설계 프로세스가 필요하다. 이 프로

세스는 균열을 포함하는 재료의 비선형성, 부재와 접합부의 변형, 반복되는 비탄성 하중에 의한 영향을 반영할 수 있어야 한다.

4.2 설계 프로세스는 실험 모듈에 비례하여 적용할 수 있다.

5.0 실험 모듈

5.1 대상 모멘트 골조에서 보와 기둥의 교차에 의해 나타나는 각 특성에 대해 최소 한 모듈의 실험을 각각 실시한다.

5.2 모듈은 기본 골조에서의 복잡성과 실제 재료의 거동, 하중 전달 기구 등을 완전하게 나타낼 수 있을 정도로 지나치게 축소하여 제작하지 않도록 하며 최소 1/3 이상으로 한다.

5.3 보-기둥 조인트에서부터 내민 모듈의 길이는 보와 기둥의 반곡점 사이로 한다.

5.4 지진 운동 하에서 예상되는 일반적인 축 하중 범위 내에서 기둥 축 하중에 민감한 보-기둥 조인트의 거동을 예측하는 설계 프로세스인 경우에는 최소 두 모듈을 실험한다. 두 모듈에 작용하는 축력은 예상되는 축 하중의 두 가지 극단적인 경우를 나타낼 수 있어야 한다.

6.0 실험의 대항

실험은 독립적인 실험 대행업자에 의해 수행될 수 있다. 다만 이 대행업자는 지진 설계에 경험이 있는 구조공학자의 감수에 있어야 한다.

7.0 실험 방법

7.1 실험 모듈에 의해 표현되는 골조 부분이 지진 운동시 나타내는 변위를 나타낼 수 있도록 변위 조절에 의한 일련의 반복 하중으로 실

험을 한다.

7.2 각 최대 변위각에 대하여 3번의 완전한 반복 하중을 가하도록 한다.

7.3 초기 변위각은 모듈의 선형 탄성 응답 범위 내에 있어야 한다. 이어지는 변위각의 최대치는 이전 단계의 최대 변위각에 비하여 5/4배 이상이 되어야 하며, 3/2배 이하가 되어야 한다.

7.4 실험은 점진적으로 최대 변위각을 증가시켜 변위각이 0.035 또는 그 이상이 될 때까지 진행한다.

7.5 모듈의 성능을 명확하게 표현할 수 있도록 실험으로부터 충분한 자료를 기록하도록 한다. 최소한 실험 모듈의 변위와 기둥의 전단력 관계로 연속 기록하여야 하며, 각 최대 변위각에서의 실험 모듈의 상태를 나타내는 사진을 기록한다.

8.0 실험보고서

8.1 실험보고서는 실험 모듈의 독립적인 성능 평가를 위하여 충분한 자료를 포함하고 있어야 한다. 최소한 다음과 같은 정보를 포함하고 있어야 한다.

8.1.1 실험 모듈의 강도, 실험 모듈의 횡력 저항강성 E_n 및 실험 모듈의 예상 횡강성 E_{pr} 을 예측하는데 이용한 이론에 대한 기술

8.1.2 실험 모듈의 설계와 시공, 공학적 도면 상세

8.1.3 설계를 위해 이용된 재료의 물성과 실험으로부터 얻은 실제 재료의 물성

8.1.4 실험체 설치 상황을 나타내는 그림과 사진

8.1.5 사용된 기기의 위치와 목적

8.1.6 적용된 변위의 형태

8.1.7 중요한 변위각에서 실험 모듈의 사진 등과 같이 관측된 성능

8.1.8 횡력과 변위 응답의 관계를 그림

으로 표현

8.1.9 상대 에너지 소산율과 최대 변위 각의 관계를 그림으로 표현

8.1.10 실험 일자, 보고서 일자, 실험 대행사, 실험을 관장한 공학자 및 실험 지원자

9.0 허용 기준

9.1 다음과 같은 결과를 얻은 경우 실험 모듈은 만족할 만한 성능을 확보한 것으로 간주한다.

9.1.1 변위각 0.005를 초과하기 전에 실험 모듈의 횡 강성이 E_n 과 같거나 초과할 경우

9.1.2 실험 중 기록된 최대 횡 강성, E_{max} 이 λE_n 을 초과하지 않는 경우. 여기서 λ 는 설계 단계에서 정해지는 초과 강도 계수

9.1.3 최대 변위각 0.035 또는 그 이상에서 2회의 사이클 이후, 상대 에너지 소산율이 12%를 초과할 경우. 그리고 변위각 "0"인 상태에서 해당 사이클이 다음과 같은 두 가지 조건을 만족할 경우

- (1) 횡 강성이 $0.05 E_{max}$ 를 초과할 경우
- (2) 정 방향 강성이 7.3에서 정의된 첫 번째 재하 사이클시 강성의 0.05배를 초과할 경우

3. 해설(Commentary)

R1.0 기호

부재에 프리스트레싱 철근이 사용되었을 때 공칭 상태에서 보강근의 응력 f_{ps} 와 예상 횡 강성은 ACI 318-95의 18.7항에 의해 평가되어야 한다.

R2.0 정의

상대 에너지 소산율 개념은 <그림 R2.0>에 나타내져 있으며, 이는 <그림 R9.1>에 나타낸 바와 같이 변위각 0.035에서 3번째 사이클에 대한 것이다. <그림 R2.0>에 실험 모듈은 정방향과 부방향 횡력에 대해 다른 초기 강성을 보이는 것으로 가정되었으며, 이 경우 정방향과 부방향 하중 방향에 대해서 최대 하중, E_1 과 E_2 도 또한 다르게 된다. 3번째 사이클에 대한 이력 루프의 면적, A_h 는 음영 처리된 부분이다. 등가의 유효 평행사변형은 ABCD이다. 선의 각도 $A\theta_2'$ 와 $\theta_2'B$ 는 선의 각도 $E'O$ 와 OE' 와 각각 같다. 이는 실험 모듈의 부방향과 정방향 하중에 대한 초기 강성을 각각 나타낸다. 상대 에너지 소산율 개념은 base isolation system과 passive energy dissipation system의 평가를 위한 1994 NEHRP 규정(1995)의 2.6.9.5.2

와 2A.3.2.1에 이용된 등가 점성 감쇠 개념과 유사하다.

R3.0 범위

이 규준에서는 강진 지역을 대상으로 한 강한 기동-약한 보의 모멘트 골조에 대한 허용치의 기본 틀을 제공한다. 중지진 지역에서는 보다 완화된 규정이 적절하다.

규준에서는 실험되는 골조가 ACI 318-95의 21.2에서부터 21.6의 재래의 일체식 철근 콘크리트 시공에 대한 모든 요구치를 만족하지 않을 수 있다는 것을 고려하고 있다. 예를 들면, 프리캐스트와 프리스트레스 요소, 또는 포스트텐션 보강근을 포함할 수 있다. 또한 보-기둥 접합부내에서 힘의 전달에 대한 다른 방법을 일체식 또는 프리캐스트 모멘트 골조 시스템에 적용 가능하다. 단 이때에는 본 규준에서 규정하는 프로세스를 이용한 실험과 해석을 근거로 한다.

강진 지역에서 약한 보-강한 기둥의 설계 개념에 대한 기본적인 요구치는 지속되게 된다. 왜냐하면 이 규준에서 계획된 바와 같이 기둥의 수평 이동 메커니즘이 실험에서 나타날 때 완전한 골조의 성능으로 추정될 수는 없기 때문이다.

R3.2.1 상대 에너지 소산율의 개념은 R2.0에 나타내져 있다. 주어진 사이클에 대한 상대 에너지 소산율, β 는 유효 등가의 평행사변형 ABCD의 면적에 의해 나

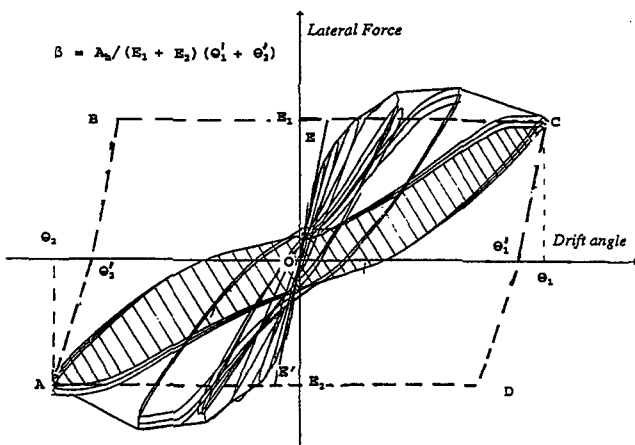


그림 R2.0 상대 에너지 소산 성능

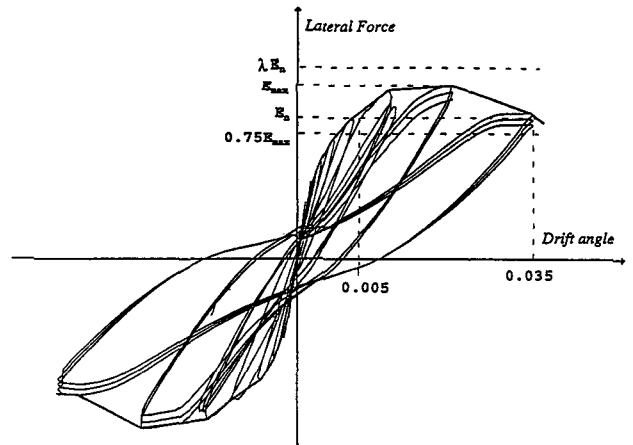


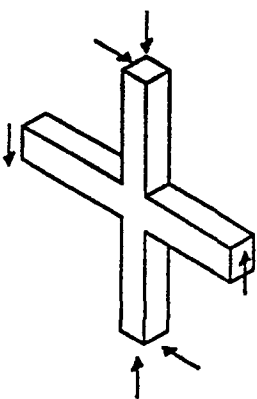
그림 R9.1 허용 기준

누어지는 모듈에 대한 횡력-변위 회전각 내부의 면적, A_h 이다. 유효 평행사변형의 면적은 두 가지 변위, θ_1' 와 θ_2' 절대값의 합에 의해 구해지는 최대 변위에서 횡력에 대한 강도, E_1 과 E_2 절대값의 합에 의해 구해지는 부분의 면적과 같다. 실험 모듈에 대한 상대 에너지 소산율은 제한된 최대 변위에서 3번째 사이클 동안 측정된 결과로부터 산정되어야 한다.

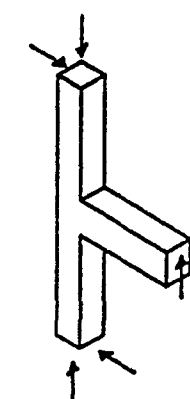
3%의 변위에서, 철근 콘크리트와 Hybrid 철근 콘크리트/프리스트레스 콘크리트 및 프리스트레스 콘크리트 단면에 대한 전형적인 상대 에너지 소산율은 각각 30, 17, 10%이다. 모멘트 골조의 기초에서 기둥의 힌지화에 의해 주어지는 소정의 감쇠에 의해 하이브리드 또는 프리스트레스 콘크리트 보 단면을 가진 골조의 상대 에너지 소산율은 실험 모듈로부터 구축된 값보다 크게 된다. 골조에서 이용된 각 모듈 그리고 모든 모듈에 대한 실험 결과는 3.2.1을 만족시켜야 한다. 반면에 3.2.2는 전반적으로 골조에 대한 것이며 골조의 설계와 해석을 위해 이용되는 방법으로 만족되어질 수 있다. 여기서 채택한 인성에 대한 기준은 ACI 318-95 해설의 R21.2.1에 나타내져 있다.

R4.0 설계 프로세스

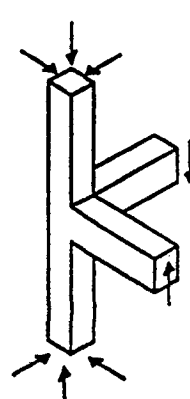
이 규준에서 정의된 실험 프로그램은



(a) interior one-way joint



(b) exterior one-way joint



(c) corner joint

그림 R5.1 접합부의 실험체 형상과 가력 방향

일반적인 모멘트 골조 시스템에 대한 현재의 설계 프로세스를 입증하기 위한 것이며 설계를 위해 요구되는 강도와 변형 성능에 관련된 기본 정보를 위한 것은 아니다. 규준을 근거로 시스템이 허용되기 위해서는, 재료적인 물성과 힘의 전달 메커니즘에서 이해될 수 있는 합리적인 설계 프로세스 (필요할 경우 실험을 포함하여)가 실험 프로그램을 실시하기 전에 구축되어야 한다. 강한 지진에서 모멘트 골조는 비선형 응답을 보이기 때문에 설계 프로세스는 반드시 재료의 비선형성, 균열, 회전과 곡률의 적 합성, 횡 변위, 반복되는 사이클 변위와 골조의 구성 등을 고려하여야 한다.

R4.2 최소한의 개수로 실험 모듈을 설정하여 실험을 실시하고 그 결과를 이용하여 합리적인 설계 프로세스를 입증할 수 있다. 따라서 실험 프로그램에 대한 실험 모듈은 기본형의 모멘트 골조에 대한 방법을 이용하여 설계하고 실험 모듈의 강도는 실험을 실시하기 전에 미리 예측되어야 한다.

R5.0 실험 모듈

R5.1 제안하고자 하는 모멘트 골조에서 보와 기둥이 교차하는 부분의 특성은 반드시 실험되어야 한다. 따라서, 최소한, 한 방향 다스팬의 모멘트 골조에 대하여 <그림 R5.1>의 (a)와 (b)에 나타난 바와 같은 2가지 구성 형태를 포함하는 모듈에 대한 실험이 이루어져야 한다. 또한 모멘

트 골조 시스템이 모서리에서 일 방향 골조 교차부를 포함할 경우, 그때에는 <그림 R5.1(c)>의 구성에 대한 실험도 실시하여야 한다. 이 방향 골조에 대해서는 내부와 외부 교차부를 나타내는 추가적인 구성형태에 대한 실험이 필요하다. 단지 반쪽의 보 또는 반쪽의 기둥으로 의도하는 거동을 합리적으로 모델링하기가 어려운 경우에는 <그림 R5.1>에 나타난 것 이상의 구성 형태에 대한 실험이 적절하다. 이 경우 완전한 한 스패에 대한 실험이 필요하다.

R5.2 기본형 골조에서의 모듈을 따를 정도로 큰 실험 모듈은 필요하지 않다. 그러나, 실험 모듈의 스케일은 기본형 골조의 재료 성능, 기하학적 측면과 보강 상세, 하중 전달 메커니즘과 관련된 복잡한 성질은 충분히 나타낼 수 있을 정도로는 커야 한다. 예를 들어 프리캐스트 부재를 포함하는 모듈에 대해서, 역학적인 접합부를 통한 힘의 전달에 대한 스케일 효과가 특히 고려되어야 한다.

R5.4 기둥 보강근과 조인트 보강근 상세가 ACI 318-95의 21.2에서부터 21.5의 요구 사항을 완벽하게 따르지 않는 경우에는 최소한 각 구성형태에 대하여 두 번의 실험이 필요하다. 이들 실험은 주요 지진 동안 기둥 축 하중에 나타나는 두 가지 극단 상태에서 기둥 축 하중이 모듈의 성능에 미치는 효과를 반영하여야 한다. 기둥과 조인트의 보강근 상세가 ACI 318-95의 21.2에서부터 21.5의 요구 조항을 완벽하게 따를 경우에는 구성 형태당 기둥 축 하중의 특성을 이용한 실험 모듈 하나이면 충분하다.

R6.0 실험 대행

ACI 318-95의 1.3.5와 1.4의 요구 사항의 배경에 따라, 독립적인 실험 대행사에 의해 실험이 되며, 실험과 보고서 작성은

제안된 설계 프로세스를 잘 이해하며 지진 설계와 실험에 익숙한 구조공학자의 감수하에 이루어진다는 것은 중요하다.

R7.0 실험 방법

일체식 철근 콘크리트 구조체에 대하여, 점증하는 변위 연성에 의한 실험 방법이 일반적이다. 그러나, 이 방법은 실험체들 간에 연성의 정의가 일치하지 않을 수 있다. 특히 프리스트레싱이 강도의 중요한 요인인 경우 이러한 현상이 많이 나타난다. 또한 구조체의 연성과 시스템 연성 사이의 관계를 명확하게 구분하기가 어렵다. 따라서, 허용 기준을 변위각의 향으로 표현하는 것이 실험 결과를 고려할 때 덜 모호하게 된다.

7.2에서부터 7.4에 정의된 실험 방식은 변위가 크지도 않고 작지도 않은 범위 내에서 점증한다. 만약 범위가 지나치게 크게 되면 시스템의 변위 성능은 충분히 명확하게 결정되지 못하게 된다. 만약 범위가 지나치게 작다면, 반복된 하중에 의하여 비합리적으로 유연화되게 되며, 이는 인위적으로 낮은 횡 강성을 유발하게 된다. 또한 범위가 지나치게 작게 될 경우, 주요 지진시에 발생하는 변화량이 작게 되어 비교되어야 할 시스템에서 에너지의 변화율이 너무 작아지게 된다. 이와 같이 변화 범위가 작은 경우에는 주요 지진시 비선형 응답 범위에서 발생하는 바람직스럽지 않은 취성적인 파괴 모드를 유도할 수 있다.

R7.4 주어진 횡력 저항 시스템에서 강도와 예상되는 연성을 나타내는 계수에 의해 곱해지는 초기 탄성 강성을 근거로 계산할 경우, 최근의 지진 설계 기준에서는 직접 또는 간접적으로 최대 허용 변위각에 대한 한계를 규정하고 있다. 그러나 UBC 1994의 1628.8.2와 같은 이러한 변위 제한은 실제 힘과 강성을 계산할 경우 직접적으로 적용하면 안된다. 실험 모듈에 대해 적절한 변위 한계 규정에 대한 해석이 필요하다.

UBC에서는, R_w 가 12인 모멘트 골조에 대하여 계산되는 변위의 한계치를 $0.04/R_w$ 또는 0.00333 로 규정하고 있다. 그러나 이 한계는 비탄성 거동을 설명하기 위하여 R_w 에 의해 저감된 힘을 받는 탄성 골조에 적용된다. 이 변위는 실제 구조물에 예상되는 변위에 비하여 확실히 작게 된다. UBC의 1634.2.4 규정에서는 횡력 저항 시스템의 구성 요소가 아닌 경우에는 계산된 변위인 0.00333 의 $(3/8)R_w$ 배한 변위, 즉 0.015 로 조정하고 있다. 이 값은 항상 골조의 실제 변위는 단지 약 1.5%임을 함축하고 있는 것이다. Uang의 연구결과(1993)에 의하면 이러한 평가는 너무 낮은 것으로 보고되어 있다. UBC에 의한 계산 결과값에 $1.0R_w$ 배한 변위($3/8R_w$ 대신에)가 예상되는 변위의 상한선을 보다 적절한 것으로 보고되어 있다. $1.0R_w$ 라는 값은 "비탄성 구조의 변위는 동일한 초기 주기를 가진 탄성 구조물의 변위와 거의 같다"라는 Veletos(1960)의 연구 결과에 일치하는 것이다. 계산된 변위 $1.0R_w$ 를 현행 UBC의 한계값과 조합하여 변위를 계산할 경우 실제 변위는 $4\%(1.5\% \times 1.0/(3/8))$ 를 얻을 수 있다. 구조물의 피해가 지나치게 높고 철근 콘크리트와 철골로 만들어진 재래의 모멘트 골조에 대해서 4%는 연기가 힘든 값이기 때문에 이 값은 지나치게 높다고 할 수 있다. 따라서, 실험 모듈을 만족하는 합리적인 변위 한계는 3.5%가 적절하다.

R7.5 설계 가정과 만족할 만한 응답을 확인하기 위해서는 많은 경우에 대하여 7.5에 규정된 최소치에 따르는 데이터가 필요하다. 이들 데이터는 상대 변위, 회전, 곡률과 변형도이다.

R8.0 실험 보고서

실험보고서는 실험의 설계와 이들 규정에 따라 수행되어야 하며, 이들 규정을 만족시켜야 된다.

R9.0 허용 기준

이 절에서 요구하는 사항은 각 모듈의 실험 프로그램에 적용하도록 하는 것이며 프로그램의 결과 중 평균에 대하여 적용하는 것이 아니다. <그림 R9.1>은 이 절에서 언급한 내용을 나타낸다.

R9.1.1 적절한 초기 강성을 확보하기 위하여, 9.1에서는 공칭 강도 E_n 은 반드시 변위각이 0.005를 초과하기 전의 값으로 한다. 반대 방향의 하중에 대한 공칭 강도가 다른 경우에는, 외부 접합부에서 다른 것과 마찬가지로 각 방향에 대하여 고려한다.

R9.1.2 강한 기둥 약한 보의 거동을 확보하기 위하여, 설계 단계에서 기둥의 휨모멘트 강도가 보의 휨모멘트 강도를 초과함으로써 나타나는 초과강도 계수 λ 를 규정하여야 한다. 실험으로부터 구한 최대 강도 E_{max} 는 λE_n 보다는 작아야 한다. 그렇지 않으면, 지진 응답 동안에, 기둥이 설계 프로세스에서 계획된 값보다 높은 하중을 받을 수 있게 된다. ACI 318-95의 21.4.2.2에서는 λ 를 1.2로 규정하고 있다. 복합구조 또는 프리스트레스 골조에

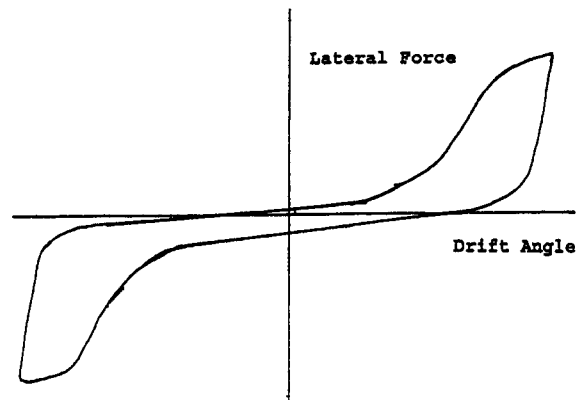


그림 R9.1.4 허용되지 않는 이력거동

대해서는 높은 값이 바람직하며, 기둥의 항복을 방지하기 위해서 λ 는 반드시 E_{max}/E_n 보다 커야 한다.

R9.1.3 높은 변위에서 강도 저감은 피할 수가 없다. 이러한 강도 저하를 고려하기 위하여 변위 요구치는 계획된 수준, 즉 최대 $0.25E_{max}$ 의 강도 저하가 발생하는 정도를 초과하면 안된다. 부방향에 대하여 강도가 다를 경우, 이 요구치는 독자적으로 각 방향에 대하여 적용한다.

R9.1.4 상대 에너지 소산율이 12% 미만인 경우, 전반적으로 골조에 대한 감쇠가 비적절해질 수 있다. 진자 운동은 지진 이후에도 소정의 기간 동안 계속될 수 있으며 이는 피로 효과를 유발하고 초과 변위를 발생시킬 수 있다. <그림 R2.0>에 나타난 형태인 최대 변위 회전각 0.035 부근의 세 번째 사이클에 대한 이력 루프를 적용할 수 있다. "0"의 변위각에서 정방향 하중의 강성은 $0.15E_1$, 부방향에 대해서는 $0.2E_2$ 이다. E_1 과 E_2 가 $0.75E_{max}$ 라면 이들 값은 9.1.4(1)를 만족시킨다. "0" 변위각에서 정방향 하중에 대한 강성은 초기 강성의 약 7%이며, 부방향 하중에 대해서는 초기 강성의 약 11%이다. 따라서 이들 값은 9.1.4(2)를 만족시키게 된다. <그림 9.1.4>에 바람직하지 않은 이력 루프의 형태를 나타내었다. 이 그림에서 "0"의 변위각에서 강성은 만족할

수 없을 만큼 작다. □

참고문헌

1. ACI Innovation Task Group and Collaborators(1999), "Acceptance Criteria for Moment Frames Based on Structural Testing", American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.
2. Cheok, G. S., Stone, W. C. and Nakaki, S. D.(1996), "Simplified Design Procedure for Hybrid Precast Concrete Connections", NISTIR 5765, NIST, Gaithersburg, MD, pp.81.
3. Engelhardt, M. D. and Sabol, R. A.(1994), "Testing of Welded Steel Moment Connections in Response to the Northridge Earthquake", Progress Report to the AISC Advisory Subcommittee on Special Moment Resisting Steel Frame Research.
4. International Conference of Building Officials(1994), "Uniform Building Code: Volume 2, Structural Engineering Design Provisions", Whittier, CA..
5. NEHRP(1995), "Recommended Provisions for the Development of Seismic Regulations for New Buildings" Part 1, Provisions, 1994 Edition, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
6. NEHRP(2000), "Proposals for Change to the 1997 NEHRP Recommended

Provisions for issuance as the 2000 Provisions", Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.

7. Priestley, M. J. N. and Tao, J.R. (1993), "Seismic Response of Precast Prestressed Concrete Frames with Partially Debonded Tendons", PCI Journal, Vol. 38, No. 1, pp.58-69.
8. Stanton, J. F. and Mole, A.(1994), "A Hybrid Precast Prestressed Concrete Frame System", Fourth Meeting of U.S.-Japan Joint Technical Coordinating Committee on PRESSS, Tsukuba, Japan, p.24.
9. Uang, C-M and Maarouf, A.(1993), "Seismic Displacement Amplification Factor in Uniform Building Code", SEAONC Research Bulletin Board, BB 93-3, pp.B1-B2.
10. Veletos, A. S. and Newmark, N.M. (1960), "Effectives of Inelastic Behavior on the Response of Simple Systems to Earthquake Motions", Proceedings, 2WCEE, Tokyo, Japan, Vol.2, pp.895-912.

{ 원저자 : ACI Innovation Task Group }

경제 용어 해설

●경기 연착륙

: 비행기가 활주로에 착륙할 때처럼 급강하하지 않고 자연스럽게 경기 하강이 이루어지도록 한다는 뜻이다. 연착륙이란 용어는 호황을 누리던 1980년대 말 조만간 다가올 불황 문제를 다루면서 언론이 사용하기 시작, 경기 진정책을 쓸 때 경기 후퇴의 정도가 심하지 않게 한다는 뜻으로 자리잡았다. 자본주의 사회에서 경제 활동은 상승과 하강 과정을 되풀이하며 변동하는 경향이 있다. 그런데 경기가 활황에서 불황 국면으로 접어들 때 기업 매출이 줄어들고 투자 심리가 위축, 결국 감원과 함께 가계의 실질 소득이 감소, 소비가 줄어드는 현상이 발생하는데 연착륙은 이와 같은 부작용을 최소화하는 것이다.

연착륙을 위해서는 경기 하강이 시작되기 전부터 통화, 재정, 환율 등 정책 수단을 적절히 조합, 탄력적으로 대응하는 노력이 필요하다. 한편 정부는 연착륙이란 용어가 자칫 어쩔 수 없는 경기 급강하를 애써 막는 듯한 느낌을 줄 우려가 있다며, 가급적 연착륙이란 용어 대신 "안정 성장 지속"이라는 용어를 쓰고 있다.