

내부 구속 중공 CFT 교각의 내진성능에 대한 매개변수 연구

Parametric Study on Seismic Performance of Internally Confined Hollow CFT Column

염응준* · 김현종** · 한택희*** · 강영종****

Yeom, Eung Jun · Kim, Hyun Jong · Han, Taek Hee · Kang, Young Jong

Abstract

The internally confined hollow-concrete filled tube (ICH-CFT) column has two tubes on the both sides (hollow part and outer part) of the concrete. The inner tube and the outer tube perform great seismic abilities, ductility and absorption of energy due to the steel tubes and the hollow part. So, the study of this column type for the practical use is needed. In this study, the qualitative analysis about seismic capacities depending on parameters is performed for the practical design of the ICH-CFT column. The parameters are diameter of column, hollow ratio and thickness of tubes with the same resistance of the moment. Also, the economical evaluation of ductility and comparison with CFT column make this study to be of practical use. Especially, a change of seismic performance depends on the hollow ratio and the thickness of the outer tube, and the economical hollow ratios according to the thickness of the outer tube in the ICH-CFT column are suggested.

Key words : ICH-CFT, Ductility, Column, Pier, Seismic performance

요 지

내부 구속 중공 CFT(ICH-CFT) 기둥은 콘크리트의 양쪽(중공부와 외부)에 두 개의 강관이 삽입된 형태이다. 외부 강관과 내부 강관은 강관과 중공 부분으로 인하여 좋은 내진 성능과 연성을 발휘하며, 또한 에너지 흡수도 하는 기능을 가지고 있다. 그러므로 본 교각 형태의 실용성을 위한 연구가 필요하다고 할 수 있다. 본 논문에서는 ICH-CFT 기둥의 실용적인 설계를 목적으로, 내진성능에 대한 매개변수 연구를 실시하였다. 매개변수는 교각의 지름과 중공비 그리고 같은 모멘트 성능을 발휘하는 강관의 두께이다. 또한 경제성에 따른 연성도 평가와 CFT 기둥과의 비교를 통하여 좀 더 실용적인 평가를 하고자 하였다. 특히, 중공비와 외부강관 두께에 따라 내진성능이 차이를 보였으며, ICH-CFT 교각의 외부강관의 두께에 따른 경제적인 중공비를 제시하였다.

핵심용어 : ICH-CFT, 연성, 기둥, 교각, 내진 성능

1. 서 론

교통의 수요와 지형적인 제약을 해결하기 위해 현재 국내 외적으로 장대교량 및 고교각의 필요성과 그에 따른 시공이 늘어나고 있다. 교각의 높이가 높으며, 세장비가 큰 고교각의 경우 교각 자체의 중량을 줄이기 위해 단면을 최소화하게 되고, 그것은 주로 중공 단면의 사용으로 이어지게 된다. 하지만 단면이 작아짐으로 인한 콘크리트의 면적 감소는 교각 자체의 강성 감소를 일으키며, 발생된 강성 부족을 해결하기 위해 철근의 사용량을 늘리게 된다. 철근량이 많은 교각은 시공성 및 유지 보수에 있어서 불리한 구조물이 된다. 또한 중공단면의 경우 교각의 콘크리트 안쪽 면은 2축 압축상태로서 구속력이 부족하여 콘크리트 자체 강성이 저하되고, 높은

하중에서 취성적 파괴를 일으킬 수도 있다. 이러한 중공 R.C 교각의 단점을 보완하기 위한 많은 연구가 진행되어왔다. 한승룡(2003) 등에 의해 교각의 중공 부분에 강관을 삽입하는 구조인 내부 구속 중공(Internally Confined Hollow-ICH) 단면이 연구되었고, 한택희(2006, 2007c)에 의해 뛰어난 내진 성능을 발휘하고 시공성의 장점을 가진 ICH-R.C 기둥의 재료비선형 모델과 그것을 이용한 재료비선형 해석 방법이 개발되었다. ICH-R.C 기둥에 대한 연구는 최준호(2007) 등의 중공비에 따른 기둥의 거동연구로 이어져왔다. 같은 내부 구속 중공 단면의 개념을 이용한 ICH-CFT 단면의 경우 콘크리트의 외부와 내부에 강관을 삽입함으로써 강관 안에 위치한 콘크리트는 완전한 삼축 구속 상태에 놓이게 되며, 그로

*고려대학교 강구조공학협동과정 박사과정, 공학석사 (E-mail: tiger56@korea.ac.kr)

**석탑엔지니어링 사원, 공학석사

***정희원 · Visiting Research Scholar (객원연구원), Dept. of Civil. Engrg., Auburn University, 공학박사

****정희원 · 고려대학교 건축 · 사회환경공학과 정교수, 공학박사

인한 콘크리트 강성의 증대 효과를 얻을 수 있다. 또한 중공 단면의 사용과 스틸 튜브의 사용으로 인해 증가된 연성 및 모멘트 저항력을 통해 뛰어난 내진 성능을 발휘한다. 이것에 대한 연구 역시 한택희(2007a, 2007b, 2007d)에 의해 재료 비선형 모델과 해석 기법이 개발되었지만 중공비 등의 단면을 결정하는 많은 요소에 따른 내진성능 연구는 아직 미흡하였다. 따라서 연성 거동에서 뛰어난 성능을 발휘하는 ICH-CFT 교각의 내진성능에 대한 매개변수 연구는 앞으로 본 교각의 실제적인 설계 도입에 있어서 그 의미가 있다고 할 수 있다. 본 논문에서는 단면 설계에 있어서 필요한 매개변수에 대하여, ICH-CFT 교각의 내진성능의 변화 양상을 연구하였다.

2. 내진 성능

지진발생시 기둥의 횡하중-횡변위 관계가 탄성거동을 보이도록 설계하는 것을 탄성설계라고 한다. 일반적으로 교각에 대한 탄성설계는 기둥의 소성변형이 요구되지 않으므로 시공상의 장점이 있으나, 설계 지진력이 과도하게 되므로 기둥의 소요단면적이 증가하여 비경제적인 설계결과를 유발할 수 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 모멘트-회전위 관계에 따라 지진발생시 작용 모멘트가 기둥단면의 최대저항모멘트에 도달하면 소성힌지가 발생하여 소성거동을 보이도록 설계하는 것을 소성설계라 하며, 일반적으로 탄성설계에 비하여 경제적인 결과를 얻을 수 있다. 소성설계 시 구조해석 방법으로 선형 탄성 해석을 사용하는 경우에는, 실제의 소성 거동을 예측하기 위하여 응답수정계수(R) 개념을 도입한다. 응답 수정계수에 영향을 주는 인자는 감쇄(Damping), 연성(Ductility), 여유강도(Overstrength), 여유력(Redundancy) 등이 있으며, 일반적인 교각의 경우 여러 가지 인자 중 연성이 가장 큰 영향을 미친다. 따라서 본 논문에서는 연성, 그중에서도 곡률 연성도와 에너지 연성도를 통한 내진 성능을 평가하였다.

2.1 곡률 연성도

곡률 연성도는 주어진 최대 응답곡률과 항복 곡률의 비로 나타내며 계산을 비교적 간단하게 할 수 있어 내진 성능과 거동특성을 파악하기 위해 널리 이용되고 있다. 또한 곡률 연성도는 구조물 전체의 거동과 안전한 소성 곡률을 정의하는데 중요한 지표이다. 항복 및 파괴상태에 따라 항복시점까지 나타난 최대 응답 곡률을 ϕ_y , 파괴상태까지 나타난 최대 응답곡률을 ϕ_u 이라 한다면 다음의 식과 같이 곡률 연성도를 정의한다(식(1)).

$$\mu_\phi = \frac{\phi_u}{\phi_y} \quad (1)$$

서로 다른 교각 구조물의 극한 곡률이 동일하더라도 항복 곡률이 다르면 연성도가 달라지므로 곡률 연성을 정의하는데 있어서 먼저 항복 곡률 및 극한 곡률을 명확히 정의하여야 한다.

본 연구에서는 교각의 곡률 연성도를 구하기 위해 항복 곡

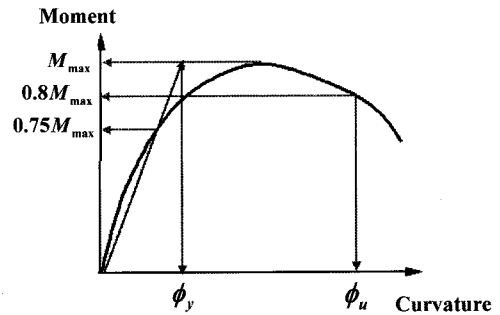


그림 1. 모멘트-곡률 곡선에서의 항복 곡률

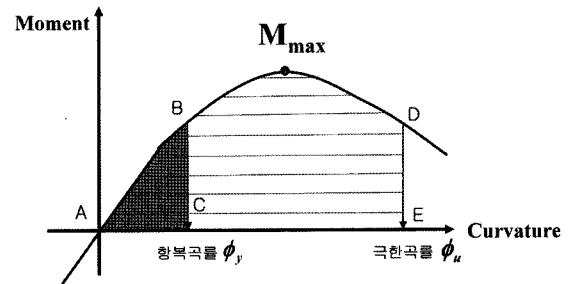


그림 2. 모멘트-곡률 곡선에서의 항복 에너지와 극한 에너지

률(ϕ_y)과 극한 곡률(ϕ_u)의 값을 Park R.(1989)이 제안한 방법에 따라 정의 하였다. Park는 그림 1과 같이 항복 곡률을 최대 모멘트 하중의 75%점에 대한 할선과 최대 모멘트에 대한 수평선의 교점에 대한 곡률을 항복 곡률로 정의하였다. 또한 극한 곡률에 대해서는 곡률-모멘트 곡선 상에서 하중이 $0.8M_{max}$ 이하로 떨어지지 않았음에도 불구하고 기둥이 파괴에 도달하였을 때는 파괴시점까지 경험한 최대 곡률을 극한 곡률로 정의하였고, 기둥이 파괴에 도달하지 않았는데도 불구하고 하중이 $0.8M_{max}$ 이하로 저하되었을 때는 $0.8M_{max}$ 까지 경험한 최대 곡률을 극한 곡률로 정의하였다.

2.2 에너지 연성도

곡률 연성도와 유사한 개념으로 구조물의 연성능력을 평가하는 한 방법으로 에너지 연성도(μ_E)가 있으며, 다음 식과 같이 정의한다(식(2)).

$$\mu_E = \frac{E_u}{E_y} \quad (2)$$

여기서 극한 에너지 E_u 는 그림 2에서 보는 바와 같이 극한상태까지 분석된 총 입력 에너지 즉, 모멘트 곡률 곡선에서 극한 곡률까지의 내부면적(폐합면 ABDEC)으로 정의하였으며, 항복 에너지 E_y 는 항복상태까지 분석된 총 입력 에너지 즉, 모멘트 곡률 곡선에서 항복 곡률까지의 내부면적(폐합면 ABC)으로 정의하였다.

3. 매개 변수 연구

3.1 연구방법 및 매개변수

위의 그림 3에서 보는 것과 같이 ICH-CFT 교각은 두개의 강관과 그 사이에 놓인 콘크리트로 구성되어 있다. 따라서

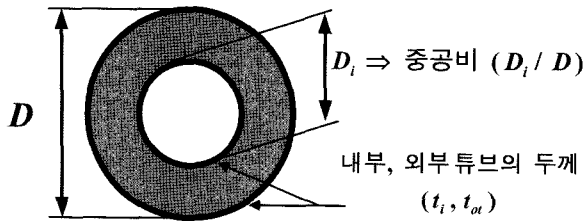


그림 3. ICH-CFT 교각의 단면

단면에 대한 매개변수로는 단면의 직경(D)과 중공 부분의 직경(D_i), 그리고 두 강관의 두께(t_i, t_{oi})가 있다. 각 교각 단면은 매개변수 중 단면의 외경과 외부 강관의 두께를 우선적으로 정하고, 내부 강관의 두께는 각각의 중공비에 대한 단면들이 동일한 최대 모멘트 성능을 발휘하도록 계산하여 설계하였다. 이렇듯, 동일한 직경을 갖는 교각들이 동일한 최대 모멘트 성능을 발휘하도록 내부 강관 두께가 설계되기 때문에 중공비가 커질수록 축력의 성능은 저하된다. 본 논문에서는 교각단면을 결정짓는 모든 단면의 치수가 매개변수가 되므로, 동일 최대 모멘트 성능만을 고려하여 매개변수 해석 대상 교각을 설계하였다. 또한, 내부 강관의 두께(t_i)는 설계시, 한택희의 연구(2007b)에서 제안한 다음 식(식(3))을 만족하도록 하였다.

$$t_{lim} = \text{larger} \left(\frac{D_i \cdot f_{oty} \cdot t_{ot}}{D' \cdot f_{yt}}, \sqrt{\frac{6 D_i^2 f_{oty} t_{ot}}{2.27 D' E}} \right) \quad (3)$$

모멘트 성능 계산은 내부구속 중공 CFT 교각 해석 전용프로그램인 PM-ICHCFE¹⁾를 이용하였다. 각 매개변수의 범위 및 계산방법에 대해서 설명하면, 교각의 직경(D)의 범위는 50~200cm 내에서 결정하고, 중공 부분의 지름의 경우 중공비(D_i/D')의 인자로 바꾸어 매개변수로 설정 하였으며, 중공비는 0.5~0.85의 범위에서 결정하였다. 외부 강관의 두께(t_{oi})는 콘크리트 구조설계기준 해설(2007)의 콘크리트 심부를 둘러싸는 구조용 강재의 최소 강관 두께(t_{req}, 식(4))를 기준으로 변화시켰으며 1.0t_{req}~2.5t_{req}의 범위에서 연구하였다.

$$t_{req} = D \sqrt{\frac{f_y}{8E_s}} \quad (4)$$

(콘크리트 구조설계기준 해설(2007), 식 17.4.4, p346)

재료 물성치에 대해서는 매개변수 연구에 사용된 모든 단면들에 동일한 재료성질을 부여하였으며 그 값들은 표 1과 같다.

다음과 같이 각 매개변수에 따른 여러 교각 단면들을 설계한 후, 전용 프로그램 MCFD-ICHCFE²⁾를 이용하여 모멘트-곡률 곡선을 구하고 곡률 연성도와 에너지 연성도, 그리고 극한에너지를 구하여 각 매개변수에 따라서 비교 분석 하였다. 본 논문에서의 주안점은 교각 단면 설계에 따른 해석이므로 교각 기초부의 구속 조건은 모두 고정(fixed)으로 하였으며, 교각 높이는 1.5m로 동일 값을 적용하였다.

¹⁾한택희(2007d)의 이론을 적용하여 만들어진 ICH-CFT 교각의 축력-모멘트 곡선 계산 프로그램.

²⁾한택희(2007d)의 이론을 적용하여 만들어진 ICH-CFT 교각의 모멘트-곡률 관계 계산 프로그램.

표 1. 매개변수 연구에 사용된 재료 물성치

콘크리트의 압축 강도 (f _{ck})	29.4 MPa
강재의 항복 강도 (f _y)	250 MPa
강재의 극한 강도 (f _{td})	400 MPa
강재의 극한 변형률 (ε _u)	0.16
강재의 탄성계수 (E _s)	206 GPa

3.2 매개변수에 따른 내진성능 평가

해석 데이터를 분석한 결과 단면의 직경의 변화와는 관계 없이 대체로 동일한 내진 성능을 발휘하는 것을 알 수 있었으며, 이것은 단면의 직경과 비례하는 외부 강관의 두께를 사용하였기 때문이라고 판단된다. 내부 강관의 두께는 다른 매개변수에 의해서 설계되기 때문에, 중공비와 외부 강관 두께에 따른 내진 성능을 중점적으로 분석하였다.

3.2.1 중공비(D_i/D)에 따른 내진 성능

그림 4-6은 중공비에 따른 곡률, 에너지 연성도와 극한 에너지를 나타낸 그래프이다. 곡률 연성도는 그림 4에서 보이는 것과 같이 중공비가 커질수록, 즉 단면의 중공 부분의 직경이 넓어질수록 곡률 연성도의 성능은 향상되는 것을 알 수 있다. 또한, D=100cm 외의 단면의 직경에 대한 곡률 연성도 또한 거의 동일한 크기의 값을 나타내었다. 본 매개변수 연구에서 가장 큰 중공비인 0.85인 단면에 대해서는 CFT와 비교할 때에 단면에 따라서 75~100%의 증가된 곡률 연성

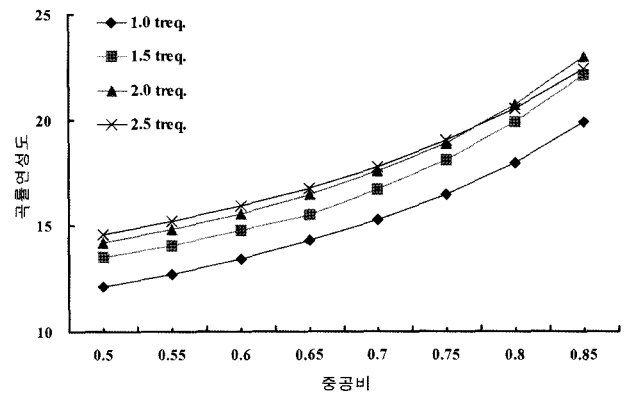


그림 4. 중공비에 따른 곡률 연성도(D=100cm)

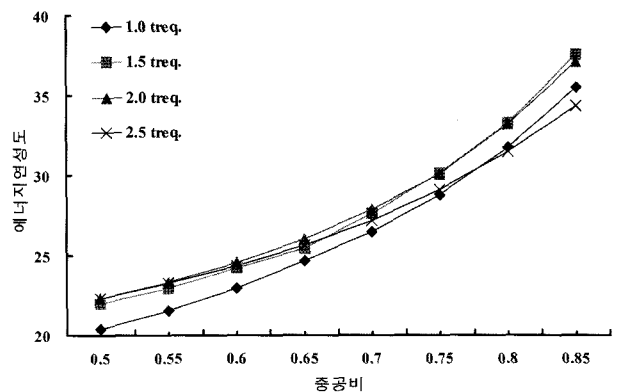


그림 5. 중공비에 따른 에너지 연성도(D=100cm)

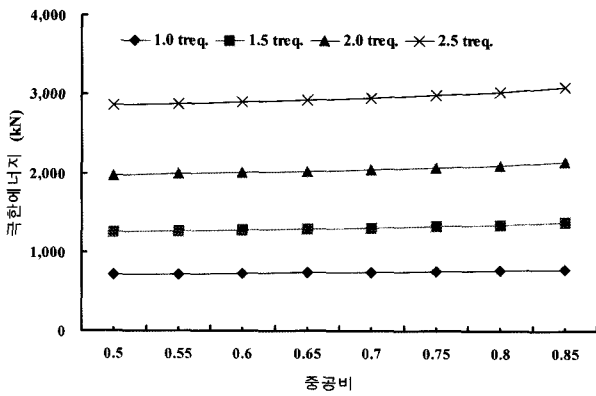


그림 6. 중공비에 따른 극한 에너지(D=100cm)

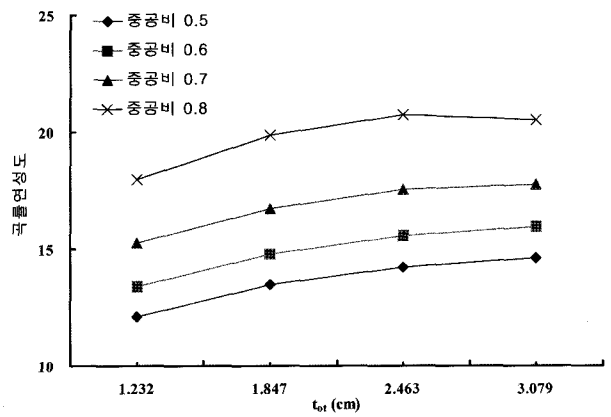


그림 8. t_0t에 따른 좌굴 연성도(D=100cm)

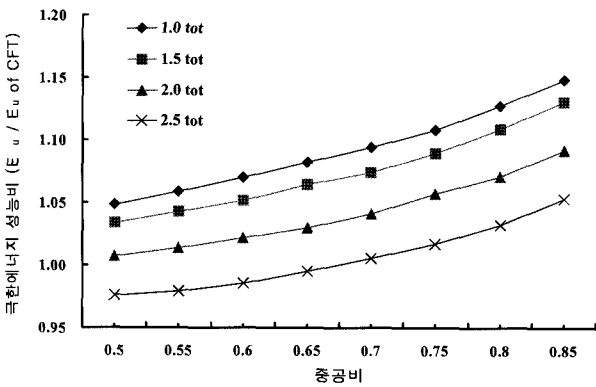


그림 7. 중공비에 따른 CFT 대비 극한 에너지 성능(D=100cm)

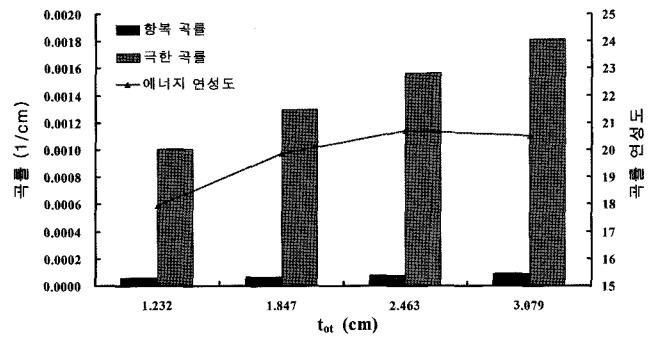


그림 9. D=100cm, 중공비=0.8인 단면의 좌굴 및 좌굴 연성도

성능을 발휘하였다. 또한 대체적으로 외부 튜브의 두께가 증가함에 따라 좌굴 연성도 또한 증가하는 경향을 보였다. 외부 강관의 두께에 의한 영향은 뒤에 이어지는 3.2.2절에서 자세히 다루었다.

에너지 연성도는 좌굴 연성도와 마찬가지로 중공비가 커짐에 따라 증가하는 경향을 보였으며, 좌굴 연성도보다 더 큰 증가량을 보였다. 중공비에 따른 극한 에너지 성능도 연성도와 마찬가지로 중공비가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였다. D=100cm가 아닌 나머지 단면 직경에 대해서는 정성적인 경향은 중공비의 증가에 따라 극한 에너지 또한 동일하게 증가하는 모습을 보였으나, 정량적인 크기에 있어서는 D가 커짐에 따라 극한 에너지 또한 증가하는 경향을 보였다. 따라서 단면의 직경(D)에 따른 분석과 동일한 방법으로 CFT 교각의 극한 에너지 성능 대비 ICH-CFT 교각의 극한 에너지 성능으로 분석하였으나, CFT 대비 극한 에너지 성능은 단면 직경의 크기와 관계없이 동일한 값을 가졌으며, 그 경향은 그림 7과 같다.

중공비가 커질수록 CFT 대비 극한 에너지 성능이 증가하는 경향을 보였으나, 앞선 좌굴 연성도, 에너지 연성도의 경우와는 달리 외부 강관의 두께의 증가에 따라서는 오히려 감소하는 경향을 보였다.

3.2.2 외부강관 두께(t_0t)에 따른 내진 성능

외부 강관의 두께에 따른 내진 성능 또한 전체적으로 단면의 직경(D)의 변화와는 무관한 경향을 보였다. 따라서 중공

비에 따른 내진 성능 분석과 마찬가지로 D=100cm인 단면들을 살펴보았다.

그림 8은 외부 강관의 두께에 따른 좌굴 연성도를 나타낸 그래프이다. D=100cm인 경우 t_req=1.232cm이므로 1.0~2.5 t_req 값에 대하여 정리하였으며, 중공비가 커짐에 따라 내진 성능이 향상되는 것을 확인할 수 있다. 외부 강관의 두께에 따라서는 대체적으로 두께의 증가에 따라 연성도 또한 증가하는 모습을 보였다. 하지만 2.0~2.5 t_req를 기준으로 연성도가 다시 감소하는 경향을 보였다. 다음 그래프(그림 9)를 통하여 그 원인을 분석하였다.

그림 9의 그래프에서 막대 그래프는 평균 좌굴 및 극한 좌굴을, 꺾은선 그래프는 좌굴 연성도를 나타낸다. 꺾은선 그래프를 통하여 t_0t의 계속된 증가에 따라 연성도는 증가하다가 특정 포인트를 기준으로 다시 감소하는 경향을 보인다. 그것은 좌굴 연성도가 평균 좌굴과 극한 좌굴의 비율로 표현되기 때문인데, 극한 좌굴의 증가량에 비해 평균 좌굴의 증가량이 크기 때문에 나타나는 현상이다. t_0t의 증가, 즉 사용되는 강재의 양이 많아짐에 따라 교각의 강성은 증가하지만 내진 성능, 그 중 연성과 관계된 성능은 줄어드는 경향을 보였다.

그림 10과 같이 에너지 연성도 또한 t_0t가 커짐에 따라 대체적으로 증가하는 경향을 보였으나 좌굴 연성도와 마찬가지로 외부 강관 두께가 특정한 값을 넘어서는 시점부터 에너지 연성도가 다시 감소하는 모습을 보인다. 그 원인은 좌굴 연성도와 같으며 그림 11의 그래프로 정리하였다.

그림 12는 외부 강관 두께에 따른 CFT 대비 극한 에너지

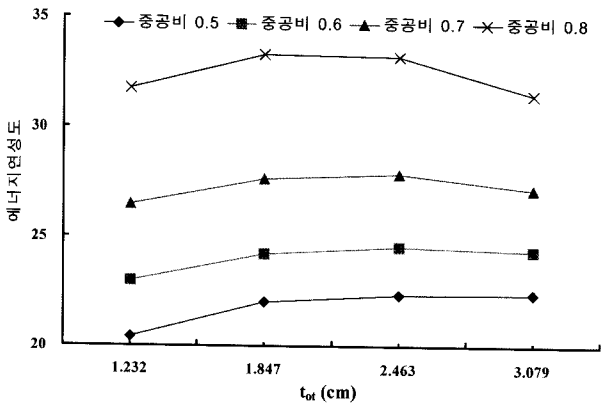


그림 10. t_{ef} 에 따른 에너지 연성도($D=100\text{cm}$)

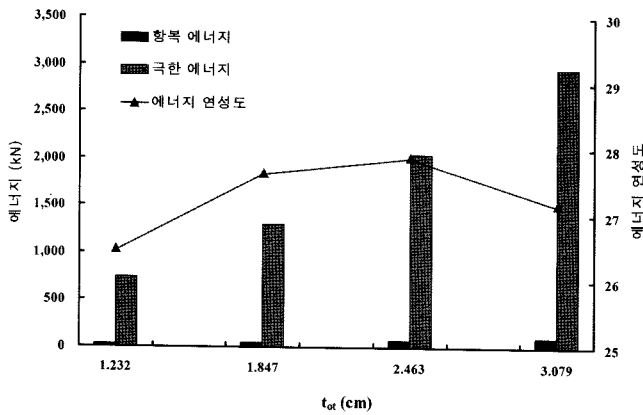


그림 11. $D=100\text{cm}$, 중공비 = 0.8인 단면의 에너지 및 에너지 단면도

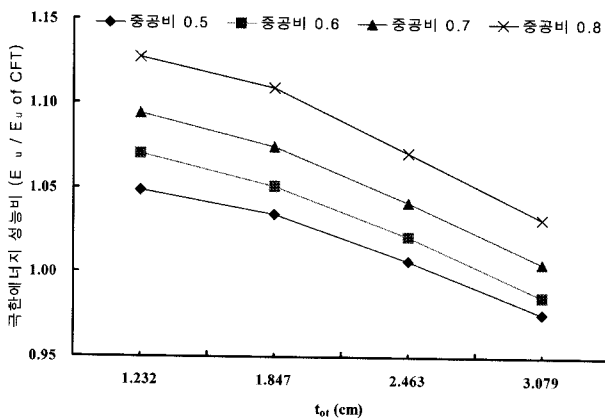


그림 12. t_{ef} 에 따른 CFT 대비 극한 에너지 성능($D=100\text{cm}$)

를 나타낸 그래프이다. 외부 강관이 두꺼워 질수록 CFT 대비 극한 에너지 성능은 떨어지는 경향을 보였다. 이것은 CFT 단면을 설계 하는데 있어서 ICH-CFT 단면들과 동일 모멘트 성능을 발휘하기 위해서 외부 강관의 과다설계가 이루어졌기 때문이라 사료된다.

세 가지의 내진 성능에 대하여 정리를 한 결과 ICH-CFT 교각의 경우 t_{ef} 가 증가할수록 극한 에너지 성능을 상대적으로 저하되었으며, 연성도 부분은 대체적으로 증가하였으나 계속된 두께의 증가에 대해서는 다시 내진 성능이 감소하는 경향을 보였다. 따라서 교각을 설계하는데 있어서 외부강관 두께의 무조건적인 증가보다는 단면의 직경(D)의 증가를 통해

내부 구속 중공 CFT 교각의 내진성능에 대한 매개변수 연구

교각의 모멘트 성능을 맞추수록 교각의 내진 성능의 향상을 기대할 수 있을 것이다.

3.3 재료비에 따른 내진성능

앞 절에서는 ICH-CFT 교각의 내진 성능에 대하여 분석하였다. 이번 절에서는 교각에 사용된 재료의 양을 통해 경제성을 고려한 내진 성능에 대하여 분석하였다. 교각 1m를 기준으로 하여 재료비를 산출하였다. 앞선 연구에서 사용한 방법인 CFT 교각과의 비교도 함께 하였으며, 이러한 경제성을 고려한 분석을 통해 ICH-CFT 교각의 재료비에 대한 경제적인 중공 단면, 즉 중공비를 제시하였다.

3.3.1 재료비 산정

강관의 경우 본 매개변수에서는 실제 제작되지 않는 두께를 가지고 연구를 수행하였으므로, 강관의 면적에 따른 단위 재료비를 계산하여 그 값을 통해 매개변수 연구에 사용된 단면에 대한 재료비를 산출하였다. $D=100\text{cm}$, $t_{ef}=1.848\text{cm}$ 인 단면들을 대표 단면으로 하였으며, 교각 1m 길이에 대한 재료비를 산정하여 표 2와 같이 정리하였다.

중공비가 커질수록 강재(강관)의 재료비는 증가하고, 콘크리트의 재료비는 감소하는 경향을 보였다. 재료비에 대해서는 강재의 영향이 크므로 중공비가 커짐에 따라 총 재료비 또한 중공비가 커질수록 강재의 재료비는 증가하고, 콘크리트의 재료비는 감소하는 경향을 보였다.

표 2. $D=100\text{cm}$, $t_{ef}=1.848\text{cm}$ 인 교각의 1m에 대한 재료비 (단위: 백만원)

중공비(D/D)	강재(강관)	콘크리트	합
0 (CFT)	0.326	0.045	0.371
0.5	0.412	0.034	0.446
0.55	0.431	0.032	0.462
0.6	0.452	0.029	0.481
0.65	0.475	0.026	0.501
0.7	0.500	0.023	0.523
0.75	0.526	0.020	0.546
0.8	0.555	0.016	0.572
0.85	0.586	0.013	0.599

표 3. $D=100\text{cm}$, $t_{ef}=1.848\text{cm}$ 인 교각의 단위 재료비에 대한 내진 성능 (단위: 1/백만원)

중공비(D/D)	곡률 연성도	에너지 연성도	극한 에너지
0 (CFT)	32.81	52.87	3,274.8
0.5	30.29	49.32	2,817.9
0.55	30.35	49.55	2,739.7
0.6	30.71	50.36	2,657.8
0.65	30.95	50.76	2,583.3
0.7	31.99	52.87	2,498.8
0.75	33.14	55.16	2,423.8
0.8	34.76	58.24	2,358.5
0.85	36.96	62.72	2,295.0

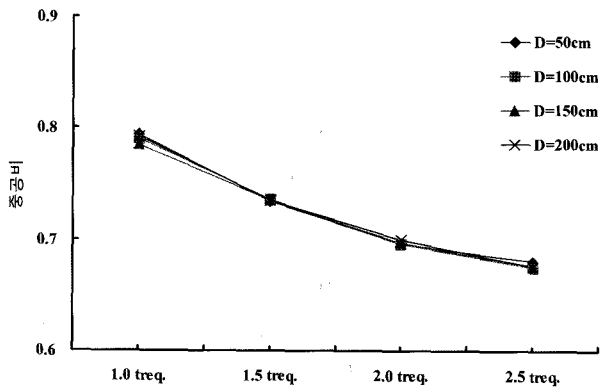


그림 13. 교각 지름과 외부강관 두께에 따른 CFT와 동일한 단위 재료비에 대한 곡률 연성도를 발휘하는 중공비

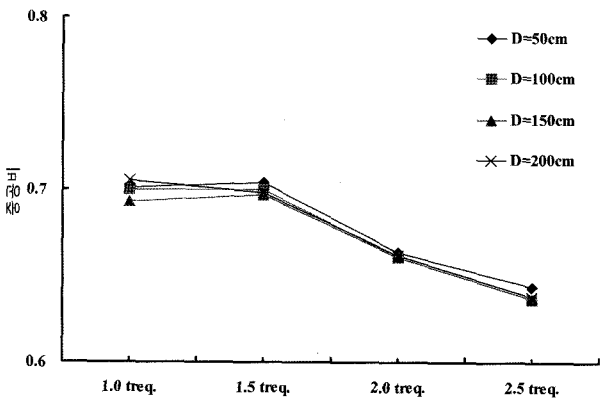


그림 14. 교각 지름과 외부강관 두께에 따른 CFT와 동일한 단위 재료비에 대한 에너지 연성도를 발휘하는 중공비

3.3.2 단위 재료비에 대한 내진 성능

표 1에서 정리된 재료비 값을 이용하여 단위 재료비에 대한 내진 성능을 정리하면 표 3과 같다.

단위 재료비에 대한 각각의 내진 성능을 정리한 표 3을 살펴보면 우선 ICH-CFT 교각에 대해서는 중공비가 증가할수록 연성도에 대한 내진 성능이 증가하는 것을 알 수 있다. 하지만 극한 에너지에 대해서는 중공비의 증가는 내진 성능의 감소를 일으켰으며, CFT 교각과의 비교에서도 단위 재료비에 대한 극한 에너지 성능은 더 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 앞의 매개변수 해석과 본 연구 결과에 의해서 ICH-CFT 교각과 CFT 교각과의 비교를 통해 CFT보다 상대적으로 뛰어난 내진 성능을 발휘하는 중공비를 구할 수 있음을 알 수 있다. 위의 표로 정리된 단면에 대해서는 곡률 연성도에 있어서는 중공비가 0.736일 경우, 에너지 연성도에 있어서는 중공비가 0.700일 경우에 CFT 교각과 동일한 단위 재료비에 대한 내진 성능을 발휘했으며, 더 뛰어난 단위 재료비에 대한 내진 성능을 얻기 위해서는 각각 0.736, 0.700 이상의 중공비를 가지는 ICH-CFT 단면을 사용해야 한다. 이러한 방법으로 모든 단면에 대해서 CFT와 동일한 경제적 내진 성능을 발휘하는 중공비를 계산하여 그림 13과 그림 14와 같이 정리하였다.

CFT와 동일한 단위 재료비에 대한 연성도를 발휘하는 중공비는 직경(D)과는 관계없이 일정한 값을 갖는 것을 알 수 있으며, ICH-CFT 교각의 외부 강관의 두께(t_{or})가 커질수록

더 작은 중공비에서 CFT 교각과 동일한 단위 재료비 내진 성능을 발휘하는 것을 확인할 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 다른 교각에 비하여 뛰어난 성능, 특히 내진 성능에 있어서 우수한 성능을 발휘하는 ICH-CFT (Internally Confined Hollow-Concrete Filled Tube) 교각의 내진 성능(곡률 연성도, 에너지 연성도)에 대하여 모멘트-곡률 관계를 이용한 매개변수 연구를 수행하였으며, 수행 결과를 토대로 ICH-CFT 교각의 내진 성능에 대한 정성적인 분석과 CFT 교각과의 비교를 통한 경제적인 내진 성능의 평가를 하였다. 단면의 직경(D)이 증가함에 따라 동일한 비율로 두께가 증가하는 외부 강관을 사용하였기 때문에 같은 중공비와 같은 외부 강관의 두께(t_{or})에 대해서는 D의 크기와 관계없이 동일한 크기의 연성도 값을 가진다. 대체적으로 외부 강관의 두께(t_{or})가 증가하면서 교각의 내진 성능은 증가하였다. 그러나 곡률 연성도와 에너지 연성도는 t_{or} 의 계속된 증가에 따라 다시 작아진다. 중공비가 커질수록 교각은 곡률 연성도, 에너지 연성도에 있어서 더 뛰어난 성능을 발휘한다. 중공비가 가장 큰 0.85인 ICH-CFT 교각의 경우 CFT 교각보다 77.5~97.8%의 증가된 연성 성능을 발휘하였다. 한편, CFT와 경제적인 성능을 비교한 결과, 외부 강관 두께가 증가할 경우 곡률 연성도와 에너지 연성도 모두 ICH-CFT는 더 작은 중공비에서 CFT와 동일한 경제적 성능을 발휘하였으며, D의 증감과는 관계없이 같은 중공비에서 CFT와 동일한 경제적 성능을 발휘하였다.

감사의 글

본 연구는 한국건설기술평가원에서 시행한 2005년도 건설 핵심기술연구개발사업(과제번호: D02-01)의 연구비 지원에 의하여 수행되었기에 감사드립니다.

참고문헌

- 최준호, 윤기용, 한택희, 강영중 (2007). 강관으로 보강된 중공 RC 기둥의 중공비에 따른 거동. **한국방재학회 논문집**, 한국방재학회, 제7권, 제3호, pp. 1-7.
- 한국콘크리트학회 (2007). 2007년도 개정 콘크리트 구조설계기준 해설. 기문당.
- 한승룡, 임남형, 이규세, 강영중 (2003). 강관 보강 중공 R.C 기둥의 연성 평가 해석. **한국강구조학회 논문집**, 한국강구조학회, 제15권, 제1호, pp. 1-8.
- 한택희, 김성남, 강영중 (2007a). 내부 구속 중공 CFT 기둥의 내진 성능 평가. **한국강구조학회 논문집**, 한국강구조학회, 제19권, 제1호, pp. 53-65.
- 한택희, 김홍중, 김영중, 강영중 (2006). 원형 강관 삽입 중공 R.C 기둥의 내부구속 효과 연구. **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, 제27권, 제1A호, pp. 565-575.
- 한택희, 염웅준, 한상윤, 강영중 (2007b). 구속효과를 고려한 내부 구속 중공 CFT 부재의 비선형 콘크리트 모델 개발. **한국강구조학회 논문집**, 한국강구조학회, 제19권, 제1호, pp. 43-52.

한택희, 한상윤, 강영종 (2007c). 내부 구속 중공 철근 콘크리트 부재의 비선형 재료 모델 개발. **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, 제27권, 제1A호, pp. 11-26.

Park, R. (1989). Evaluation of ductility of structures and structural sub-assemblages from laboratory testing. *Bull. of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, 22(3), p. 155-166

Teak Hee Han, Chang-Soo Lee, Jin-Ook Kang and Young-Jong

Kang (2007). Development of a nonlinear model for an internally confined hollow CFT column. *Pacific structural steel conference 2007*, Wairakei, New Zealand, Vol. 1, pp. 313-318.

© 논문접수일 : 2007년 12월 03일

© 심사의뢰일 : 2007년 12월 03일

© 심사완료일 : 2008년 01월 09일