

원형 내부 구속 중공 RC 기둥의 심부 구속 횡방향 철근 연구

원덕희¹, 한택희¹, 박우선¹, 박종섭², 강영중^{3*}

¹한국해양과학기술원 연안개발에너지연구부, ²상명대학교 건설시스템공학과

³고려대학교 건축사회환경공학과

Transverse Reinforcement for Circular Internally Confined Hollow RC column

Deok Hee Won¹, Taek Hee Han¹, Woo Sun Park¹, Jong Sub Park²
and Young Jong Kang^{3*}

¹Coastal Engineering and Ocean Energy Research Division, Korea Institute of Ocean Science
and Technology

²Department of Civil Engineering, Sang Myung University

³Department of Architecture, Civil & Environmental Engineering, Korea University

요 약 최근 지진의 발생빈도가 과거에 비해서 증가하면서 교량 구조물에도 내진성능에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 그 중 교량 하부 구조물의 경우에는 횡방향 하중에 저항하기 위하여 소성힌지 부분에 심부 구속 횡철근을 배근하여 횡방향 구속 효과를 증대시키고 있다. 이것은 심부 구속 횡철근 배근을 통하여 교각에 필요한 강성 및 연성을 확보하여 내진성능을 향상시키고자 하는 것이다.

현재 심부구속 횡방향 철근량 산정에 대한 설계 기준은 국내의 도로교 설계 기준과 국외의 대다수 설계 기준이 동일한 설계 기준을 사용하고 있고, 이는 중실 철근 콘크리트 기둥을 대상으로 제안되어 있다. 이 식을 내부 구속 중공 RC 기둥에 그대로 적용하기에는 그 구성 요소가 상이하고 거동 특성이 다르기 때문에 무리가 따른다. 본 연구에서는 내부 구속 중공 RC 기둥에 현행 기준을 적용하였을 때의 해석적 방법에 의한 변위 연성도 분석을 통하여 특성을 분석하고 경제성 있고 합리적인 설계가 될 수 있도록 수정식을 제안하였다.

Abstract Recently, bridge structures has progressed the researches about seismic performance by occurrence of earthquake increased compared with the past. In the substructure of bridge, confining transverse reinforcement has arranged in plastic hinge region to resist the lateral load which increased the lateral confining effect. Columns are increased the seismic performance through secure of the stiffness and ductility The design specification for arrangement of confining transverse reinforcement same specification of domestic and international that suggested to solid reinforced concrete column(RC). This design specification have limits for Internally Confined Hollow RC(ICH RC) column because of different the component and performance characteristics of column. In this paper suggested the modified equation for economics and rational design through investigation of displacement ductility when applied the existing specification at the steel composite hollow RC column.

Key Words : Column, Internally Confined, Transverse Reinforcement, Longitudinal Reinforcement

본 논문은 한국해양과학기술원(KIOST)의 창의연구사업 중 기관역량강화사업인 "해상풍력 지지구조물 건설기술 개발연구, (과제번호:PE99122)"의 연구비로 수행되었으며, 서울산업통상진흥원에서 시행한 2011년도 "특허기술상품화 기술개발 지원사업(PA110020)"의 부분지원으로 수행되었습니다.

*Corresponding Author : Young Jong Kang (Korea University)

Tel: +82-02-927-7715 email: yjkang@korea.ac.kr

Received November 22, 2012 Revised December 17, 2012 Accepted February 6, 2013

1. 서 론

최근 지진의 발생빈도가 과거에 비해서 증가하면서 교량 구조물에도 내진성능에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 그 중 교량 하부 구조물의 경우에는 횡방향 하중에 대하여 저항하기 위하여 소성힌지 부분에 심부 구속 횡철근을 배근하여 횡방향 구속 효과를 증대시키고 있다. 이것은 심부 구속 횡철근 배근을 통하여 교각에 필요한 강성 및 연성을 확보하여 내진성능을 향상시키고자 하는 것이다.

국내외적으로 가장 널리 적용되고 있는 철근 콘크리트 교각 횡구속 효과와 콘크리트 강도 연구 그리고 재료 강도 횡구속 철근의 형태, 축하중비 등의 다양한 연구를 많은 연구자들에 의하여 연구가 되어졌다.

국내에서는 1992년 도로교 표준시방서[1]에 교량의 내진 설계 기준이 처음 도입되었는데 이는 미국의 AASHTO[2] 기준을 바탕으로 내진 설계 기준이 제정되었다.

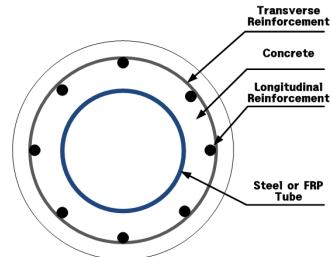
$$\rho_s = 0.45 \left[\frac{A_g}{A_c} - 1 \right] \frac{f_{ck}}{f_{yh}}, \quad \rho_s = 0.12 \frac{f_{ck}}{f_{yh}} \quad (1)$$

여기서, A_g 는 기둥의 총 단면적(mm^2), A_c 는 나선철근 외측표면을 기준으로 한 기둥 심부의 면적(mm^2), f_{ck} 는 콘크리트의 설계 기준압축강도(MPa), f_{yh} 는 횡방향 철근의 설계기준 항복강도(MPa)이다.

Eq (1)은 도로교 설계 기준(2010)[3]에 제정되어 있는 것으로 AASHTO - LRFD 4th Ed.(2007)[2]과 동일한 기준을 사용하고 있으며, 본 기준은 중심 축력을 받는 기둥에서 콘크리트의 피복이 탈락된 후 콘크리트 심부만으로 저항하는 축강도가 콘크리트 피복이 탈락되기 이전의 축강도 이상이 되기 위한 횡구속 철근비를 산정하는 식으로 둘 중 큰 값을 적용한다.

그러나 이는 중실 RC 단면에 국한된 식으로서 국내 연구자로는 이재훈(2009)[4], 이대형(2005)[5] 등이 있으며, 국외에서는 Nadim et al.(2003)[6] 등이 있다. 그러나 본 설계식을 중실 RC 기둥 이외의 타 형식의 기둥에 적용하였을 경우에는 알맞은 성능 평가가 이루어지지 않을 가능성이 크다. 그 중에 강합성 단면들의 경우에는 Eq (1)을 적용하기에는 한계가 따른다. Han et al.(2010)[7]에 의해 제안된 강합성 기둥인 내부 구속 중공 RC 교각(Internally Confined Hollow RC Pier, ICH RC)은 중공 RC 교각의 내부가 보강되지 않거나 혹은 내부 횡철근으로 보강되는 형식에 비해서 성능이 매우 우수하다. 중공

RC 기둥의 내부가 보강되지 않을 경우에는 내측이 구속되지 않아 내측 중공부 부분의 취성파괴로 이어질 가능성이 크며, 내부에 횡철근으로 보강할 경우에는 횡철근의 링 좌굴로 인하여 3축구속상태에 이르지 못하게 되어 그 성능이 좋지 못하다. 이에 반해 ICH RC 교각은 Fig. 1과 같이 중공 RC 교각 내측에 강관을 삽입하여 구속 콘크리트를 3축 구속 상태로 만들어 주어 기둥의 연성도와 강도 및 강성이 증대된다. ICH RC 기둥의 연성도는 중실 RC에 비해 중공비가 커질수록 변위 연성도가 증가하는 경향성을 보인다고 연구되어 졌다.(최준호 등 2007)[8] 이렇듯 Eq (1)을 적용하여 설계 하였을 경우에는 요구 변위 연성도보다 더욱 크게 설계될 수 있다. ICH RC 교각의 경제적인 설계를 위하여 심부 구속 횡철근이 감소되어 적용되었을 경우에 대한 거동 특성 파악이 매우 필요한 실정이다.



[Fig. 1] Section of ICH RC column

본 연구에서는 Han et al.(2010)[7]에 의해 제안된 이론 및 프로그램을 이용하였다. 이는 비선형 거동과 탄소성 거동을 모두 고려할 수 있는 P-Δ 이론을 프로그램화 시킨 것이다. 본 이론에서는 횡방향 철근, 종방향 철근 또는 콘크리트의 변형을 중 하나가 각각의 극한 변형률에 도달하는 경우를 파괴로 판단하고 해석을 종료하여 안전축(실험결과에 비해 작은 연성도로 평가)의 값을 제공하도록 되어 있다.

본 이론 및 프로그램을 이용하여 제안된 단면의 연성도를 평가하였으며, 설계 기준에 의하여 설계를 하고 심부구속 횡방향 철근비를 감소시켰을 때의 연성도를 분석하여 내부 구속 중공 RC 교각의 최적 심부구속 횡방향 철근비를 제안하였다.

2. 설계 기준 적용 시 거동 분석

2.1 설계 기준 적용

본 절에서는 Eq (1)을 통하여 산정된 심부 구속 횡철

근량을 내부 구속 중공 RC 교각에 적용하였을 경우에 대하여 거동 분석을 하였으며, 변위 연성도 변화에 가장 큰 영향을 미치는 인자를 도출해 냈다.

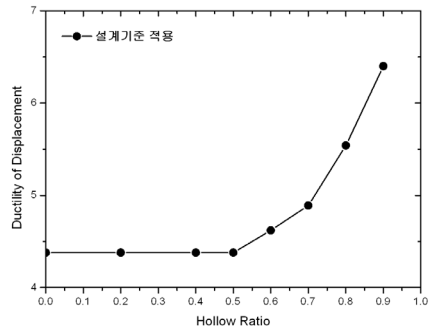
내부 구속 중공 RC 기둥의 구속 콘크리트는 내측 중공부가 내부튜브로 구속되어 있고 외부측은 횡방향 철근에 의하여 구속되어져 있다. 횡방향 철근의 파괴보다 내부 튜브가 먼저 파괴되지 않을 경우에 구속 콘크리트의 재료 모델은 중실 RC 기둥과 동일하다. 이 때 내부튜브는 중실 RC 기둥의 콘크리트의 역할을 해준다. 기둥의 외측을 구속하고 있는 횡방향 철근은 구속콘크리트와 내부튜브를 모두 구속해 주는 역할을 한다. 이렇기 때문에 Eq (1)의 계산 시 전체 면적(A_g)과 구속 콘크리트의 면적(A_c)은 횡철근이 구속하고 있는 모든 면적 즉, 중공부분의 면적까지 포함해야 할 것으로 판단된다.

[Table 1] Common section properties(unit : N,mm)

Spec.	Dimension
Diameter	2,500.0
Thickness of cover concrete	60.0
longitudinal rebar ratio	0.011
min. transverse rebar ratio	0.0072
slenderness ratio	23.0
strength of concrete	21
yield strength of rebar	350
yield strength of internal tube	235
Elastic modulus of steel	210,000
Elastic modulus of rebar	200,000
Elastic modulus of concrete	26,115

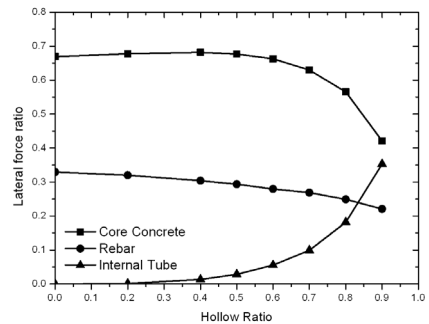
[Table 2] Section properties(unit : N,mm)

Hollow ratio	Diameter of hollow section	Thickness of internal tube
0.0	-	-
0.2	473.2	1.4
0.4	952.0	2.7
0.5	1183.2	3.4
0.6	1419.8	4.1
0.7	1656.6	4.7
0.8	1892.0	6.0
0.9	2113.6	14.2



[Fig. 2] Ductility of displacement by hollow ratio

Fig. 2는 Table 1, 2의 재원과 물성치를 적용하여 기둥의 설계하였을 경우에 중공비별 변위연성도 변화를 나타낸 것이다. 일반적으로 변위 연성도는 횡방향 철근량에 큰 영향을 받는 것으로 나타나는데 위의 해석에서는 횡철근비를 0.0072로 하여 설계를 하였음에도 불구하고 변위연성도가 중공비 0.5까지는 거의 유사하나 중공비 0.6부터는 매우 큰 기울기를 가지고 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 심부 구속 횡방향 철근량 이외에도 변위 연성도 변화에 영향을 미치는 인자가 있을 것으로 판단된다.



[Fig. 3] Lateral force ratio by hollow ratio

Fig. 3은 각 기둥의 최대 횡하중 작용 시 구성요소들이 부담하고 있는 내력비를 나타낸 것이다. 중공비 0.0 즉, 중실 RC에 가까워 질수록 구속 콘크리트와 종방향 철근이 거의 모든 힘에 저항하는 것으로 나타났으나, 내부 구속 중공 RC에서는 점차 그 비율이 바뀌는 것으로 나타났다. 중공비가 증가한다는 것은 중공부의 직경이 커지는 것인데 이는 콘크리트의 면적이 감소하고 내부 튜브와 종방향 철근과의 거리가 가까워진다는 것을 의미한다. 이에 따라서 구속 콘크리트 저항하는 비율이 점차 감소하고 내부 튜브가 저항하는 비율이 증가하는 것으로 판단되며, 이때 종방향철근이 저항하는 비율도 점차 감소한다.

2.2 구성 요소별 변위 연성도 변화 분석

Table 3은 2.1절에서 해석한 모델의 재료모델을 분석한 것으로, 최대 응력 시 변형률, 최대 응력, 극한 변형률을 나타냈다. 동일한 횡철근량과 함께 내부튜브의 두께가 필요두께로 설계가 되었기 때문에 구속 콘크리트는 3축 구속 상태에 놓이게 되어 중공비에 따른 재료모델이 모두 동일한 것으로 나타났다.

[Table 3] Nonlinear material model of confined concrete by hollow ratio

	Strain at peak stress	Peak Axial Stress(MPa)	Ultimate Strain
0.0	0.0055	28.3428	0.0239
0.2	0.0055	28.3544	0.0239
0.4	0.0055	28.3652	0.0239
0.5	0.0055	28.3710	0.0239
0.6	0.0055	28.3768	0.0239
0.7	0.0055	28.3818	0.0239
0.8	0.0055	28.3877	0.0239
0.9	0.0055	28.3935	0.0239

[Table 4] Displacement ductility by change the thickness of internal tube

Thickness of internal tube	5.4	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5
Ductility displacement	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5

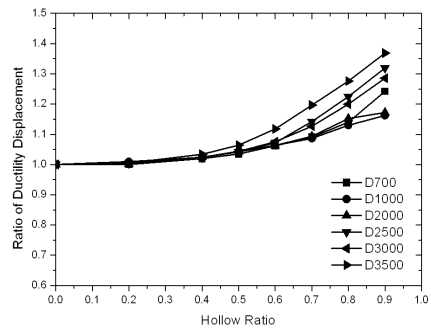
Table 4는 내부 튜브 두께 변화에 따른 변위 연성도 변화를 나타낸 것으로 내부 튜브의 두께가 변화하여도 변위 연성도는 모두 동일한 것으로 나타났다. 이는 변위 연성도 변화에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다.

다음으로는 단면 직경의 변화가 변위 연성도에 미치는 영향성을 평가하기 위하여 Table 5에서 보는 바와 같이 기둥의 직경을 700mm~3500mm로 선정하였으며, 직경별로 중공비를 0.0~0.9까지 변화시키면서 해석을 수행하였다. 각 단면 직경별로 중철근비와 심부구속 횡방향 철근비는 Eq (1)에 의하여 산정된 값으로 하였으며, 세장비는 23으로 설정하였다.

각 모델 별로 해석을 수행한 결과 Fig. 4와 같이 변위 연성도 변화가 나타났는데 직경이 작을수록 중공비에 따라 더 작은 기율기의 변위 연성도의 증가를 보이는 것으로 보아 단면 특성이 변위 연성도에 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

[Table 5] Properties of analysis models by diameter

	Hollow ratio	Longitudinal rebar ratio	Transverse rebar ratio	Slenderness ratio
D700	0.0~0.9	0.011	0.0123	23
D1000	0.0~0.9	0.011	0.0078	23
D2000	0.0~0.9	0.011	0.0072	23
D2500	0.0~0.9	0.011	0.0072	23
D3000	0.0~0.9	0.011	0.0072	23
D3500	0.0~0.9	0.011	0.0072	23

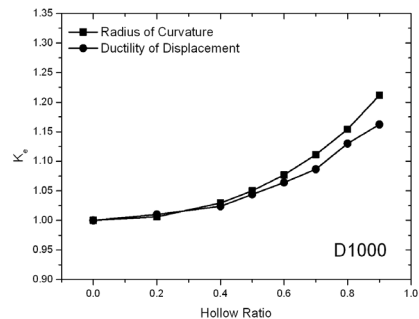


[Fig. 4] Ratio of displacement ductility by diameter

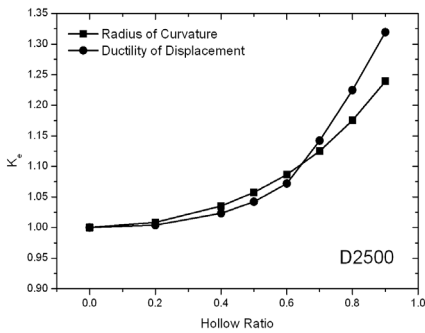
Fig. 4와 같은 결과를 Eq (2)로 산정된 곡률 반경과 비교를 하였다. 여기에서 곡률 반경(r)은 콘크리트 구조 설계 기준 2007의 Eq 17.4.1을 이용하여 산정하였다.

$$r = \sqrt{\frac{0.2E_c I_g + E_s I_s}{0.2E_c A_g + E_s A_s}} \quad (2)$$

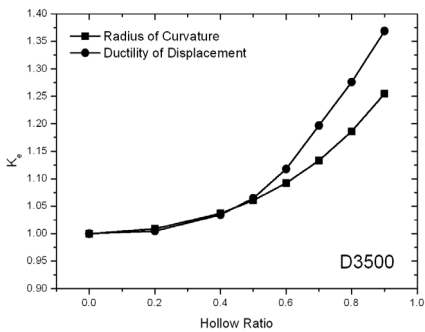
여기서, E_c : 콘크리트의 탄성계수, E_s : 튜브의 탄성계수, I_s : 튜브의 2차 모멘트, I_g : 단면 전체의 2차 모멘트, A_g : 단면 전체 면적, A_s : 튜브의 단면적



[Fig. 5] Compare displacement ductility and radius of curvature(D1000)



[Fig. 6] Compare displacement ductility and radius of curvature(D2500)



[Fig. 7] Compare displacement ductility and radius of curvature(D3500)

Fig. 5~7은 중공비별 변위연성도와 곡률 반경을 비교한 것이다. 곡률 반경의 변화와 변위연성도의 변화가 거의 일치하지는 않지만 전체적인 상승 추이를 비교하면 거의 유사한 것으로 볼 수 있다. 여기에서 K_e 는 중공비 0.0의 값을 기준으로 나타낸 비율을 의미한다.

중공비 변화에 따른 변위 연성도 변화는 곡률 반경과 구성요소의 하중 저항 분담비 등의 복합적인 작용에 의하여 증가하는 것으로 볼 수 있으나, 그 중에서 곡률 반경이 변위 연성도 증가 추이와 거의 유사한 것으로 보아 가장 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

현재 도로교 설계기준에서 요구하는 변위연성도 크기를 3을 기준으로 설정되어 있기 때문에 중공비가 커짐에 따라 변위연성도가 증가하는 본 내부 구속 중공 RC 기둥의 경우에는 불필요하게 기준보다 더 큰 변위연성도를 발휘할 필요가 없을 것이다. 이때 심부구속 횡방향 철근량을 중공비에 따라서 감소시켜 적용한다면 경제성 있는 내부 구속 중공 RC 기둥을 설계 할 수 있을 것으로 판단된다.

3. 심부 구속 횡방향 철근량 산정 수정식 제안

3.1 수정식 연구

본 절에서는 2절의 연구를 통해 가장 큰 영향을 미치는 것으로 판단되는 곡률반경을 이용하여 수정식을 제안하였다.

수정식 제안의 기본적인 특징은 내부 구속 중공 RC 기둥이 중실 RC 기둥과 성능이 유사하게 발휘 되도록 하기 위함을 목표로 하고 있기 때문에 Eq (1) 심부구속 횡방향 철근량 산정식을 기본으로 하여 감소 계수 γ 를 곱하여 줌으로써 Fig. 2와 같이 중공비가 증가 할수록 변위 연성도가 증가되지 않고 필요연성도 이상으로만 발현되도록 산정하는 식을 제안한다. 이를 통하여 과도한 횡철근 보강 및 이에 따른 내부튜브 두께의 증가를 방지하여 경제성을 확보할 수 있도록 Eq (3)을 제안하였다.

$$\gamma \left(0.45 \times \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \left(\frac{f_{ck}}{f_y} \right), 0.12 \left(\frac{f_{ck}}{f_y} \right) \right) \quad (3)$$

여기서, A_g :단면 전체 면적, A_c :구속콘크리트 면적, f_{ck} :콘크리트강도, f_y :횡방향철근 강도, γ : 감소 계수

$$\gamma = \left(\frac{r_s}{r_x} \right)^\alpha \quad (4)$$

$$\alpha = 1.108 \ln D - 6.659 \quad (5)$$

여기서, r_s : 중실 RC의 곡률반경, r_x : 내부 구속 중공 RC의 곡률 반경, D : 기둥의 직경

Eq (4)의 감소계수는 중실 RC의 곡률반경(r_s)과 내부 구속 중공 RC의 곡률 반경(r_x)의 비율로 나타나며 지수 α 를 적용하여 Eq (3)과 같이 심부 구속 횡방향 철근량 산정식에 곱하여 줌으로써 중공비에 따른 내부 구속 중공 RC 기둥의 변위 연성도가 중공비가 0인 중실 RC 기둥과 거의 유사하게 발휘되도록 유도한다.

3.2 수정식의 적용

3.1절에서 제안된 수정식을 검증하기 위하여 직경 2500mm 단면을 대상으로 선정하였으며, 종방향 철근비는 0.01, 세장비는 23, 지수 (α)는 산정식에 의해 2.01,

재료 물성치는 Table 3과 같다. Table 7에서 보는 바와 같이 감소 계수를 적용하여 횡방향 철근비를 감소시켜 적용하였으며, 이에 따라 내부 튜브를 산정하여 적용하였다.

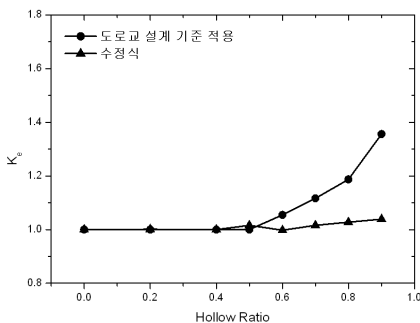
Table 7은 Table 6의 수정 모델과 비교를 하기 위한 비균근으로써 수정 제안식을 적용하지 않은 모델이다.

[Table 6] Confining transverse reinforcement by modified equation

	Transverse rebar ratio	Reduction coefficient	radius of curvature	ratio of radius of curvature	thickness of internal tube
0.0	0.007	-	625.0	-	-
0.2	0.007	0.981	630.9	0.990	1.4
0.4	0.006	0.921	650.8	0.960	2.6
0.5	0.006	0.878	666.6	0.937	3.2
0.6	0.005	0.825	687.6	0.908	3.7
0.7	0.005	0.765	713.9	0.875	4.2
0.8	0.005	0.697	747.7	0.835	4.5
0.9	0.004	0.624	789.7	0.791	4.8

[Table 7] Confining transverse reinforcement by existing specification

	Korean Highway Bridge Design Specifications	
	Transverse rebar ratio	thickness of internal tube
0.0	0.0072	-
0.2	0.0072	1.4
0.4	0.0072	2.7
0.5	0.0072	3.4
0.6	0.0072	4.1
0.7	0.0072	4.7
0.8	0.0072	5.4
0.9	0.0072	6.1



[Fig. 8] Compare displacement ductility ratio by modified equation and existing specification

Fig. 8은 Table 6~7을 이용하여 해석을 수행한 결과를 나타낸 것이다. 도로교 설계 기준을 적용한 것과 수정식을 통하여 설계된 모델을 비교한 것으로 변위 연성도가 필요연성도인 중공 RC(중공비 0)와 거의 유사한 변위 연성도를 나타내는 것으로 변위 연성도가 중공비에 맞게 감소된 것을 볼 수 있었으며, 이는 제안된 수정식이 요구하는 성능을 잘 나타내는 것으로 판단된다.

[Table 8] Reduction ratio of modified models contrast the existing specification

	Comparison	
	Transverse rebar ratio	thickness of internal tube
0.0	0.0%	-
0.2	2.8%	0.0%
0.4	8.3%	3.7%
0.5	12.5%	5.9%
0.6	18.1%	9.8%
0.7	23.6%	10.6%
0.8	30.6%	16.7%
0.9	38.9%	21.3%

Table 8 Eq (1)의 산정 대비 수정 모델의 심부 구속 횡방향 철근비와 내부 튜브의 두께의 감소율을 나타낸 것으로 심부 구속 횡방향 철근비의 경우 도로교 설계 기준 대비로 비교하였을 경우에는 약 2%~39%의 철근량 감소가 발생하였으며, 내부 튜브 두께의 경우에는 4%~21%의 감소율을 보이는 것으로 나타나 수정식에 의한 모델은 기존 도로교 설계 기준식에 의한 설계와 동일한 변위 연성도를 발휘하면서 심부 구속 횡방향 철근비와 내부 튜브의 두께를 감소시켜 경제성을 확보할 수 있도록 해주는 것으로 판단된다.

3.3 매개변수 연구

제안된 수정식은 다양한 조건에서도 유사한 결과가 도출이 되어야 자기의 역할을 할 수 있을 것이다. 본 절에서는 심부 구속 횡방향 철근비에 영향을 미치는 직경, 횡방향 철근 강도, 콘크리트 강도에 대해서 매개변수 연구를 수행하여 수정식을 검증한다.

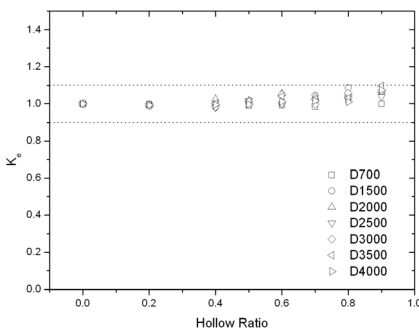
Table 9는 매개변수 모델을 나타낸 것으로, 변수는 직경, 콘크리트 강도, 횡방향 철근 강도이다. 전체 모델의 세장비는 23, 종철근비는 0.02를 공통으로 적용하였으며, 횡방향 철근비는 수정식에 의하여 산정된 것을 사용하였다. 이에 의하여 산정된 내부 튜브 두께를 적용하여 해석을 수행하였다. 해석 시 강재의 물성치는 표 3을 적용하

였다. 콘크리트의 강도에 따른 모델은 콘크리트 구조 설계 기준에서 합성 구조물에 적용 가능한 강도가 21MPa 이상으로 되어 있기 때문에 21MPa~30MPa까지 선정하였다. 그리고 횡방향 철근 강도에 따른 모델은 KSD 3504에서 제시된 철근 강도 및 제원을 사용하고, 콘크리트 강도는 21MPa를 공통으로 적용하였다. 두 가지 변수 모두 직경은 2500mm로 선정하였다.

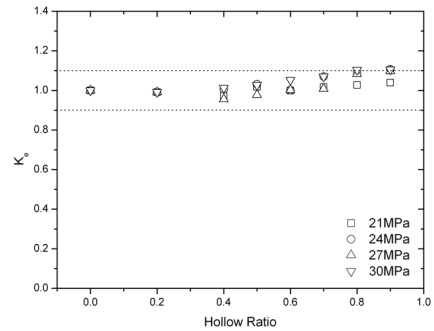
[Table 9] Properties of analysis models by variable

		transverse rebar ratio	thickness of internal tube
Diameter	D700	0.0123~0.01221	0.6~2.2
	D1500	0.0072~0.00527	0.8~3.0
	D2000	0.0072~0.00482	1.1~4.0
	D2500	0.0072~0.00449	1.4~4.8
	D3000	0.0072~0.00423	1.7~5.7
	D3500	0.0072~0.00403	1.9~6.5
	D4000	0.0072~0.00386	2.2~7.3
Strength of concrete	21MPa	0.0072~0.00449	1.4~4.8
	24MPa	0.0082~0.00514	1.5~5.2
	27MPa	0.0092~0.00579	1.7~5.5
	30MPa	0.0102~0.00645	1.8~5.8
strength of transverse rebar	300MPa	0.0084~0.00524	1.4~4.8
	350MPa	0.0072~0.00449	1.4~4.8
	400MPa	0.0063~0.00393	1.4~4.8
	500MPa	0.0050~0.00314	1.4~4.8

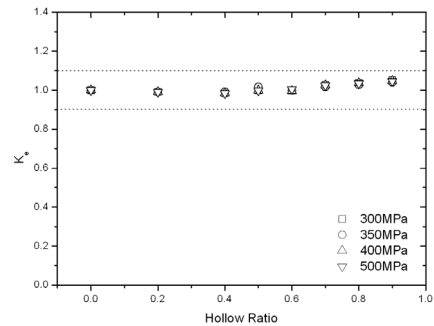
Fig. 9~11은 각 변수에 대한 변위 연성도 변화를 나타낸 것이다. 세 가지 변수 모두 변위 연성도가 도로교 설계 기준 모델에 대비해 부분적으로 -2%정도로 감소하는 구간이 나타나긴 하지만 전체적으로 도로교 설계 기준과 유사하면서 약간 더 크게 변위 연성도를 발휘하게 해주는 것으로 볼 수 있다.



[Fig. 9] Change the displacement ductility by diameter



[Fig. 10] Change the displacement ductility by concrete strength



[Fig. 11] Change the displacement ductility by strength of transverse reinforcement

4. 결론

본 논문은 내부 구속 중공 RC 기둥의 거동 특성 분석을 통하여 변위 연성도에 영향을 미치는 인자를 도출하여 심부구속 횡방향 철근량 산정식을 수정하는 수정식을 제안함으로써 기둥의 제원에 따라 변하는 변위 연성도를 도로교 설계기준의 요구 성능 수준으로 맞추는 연구를 수행하였다.

- (1) 내부 구속 중공 RC 기둥은 기존 도로교 설계 기준에 맞추어 설계를 할 경우 중공비가 커질수록 변위 연성도가 증가한다.
- (2) 중공비가 커질수록 변위 연성도가 증가하는데 이는 부재의 강성이 작아짐으로써 연성도가 증대되고 또한 내부 튜브의 직경이 커짐으로써 내부 튜브의 하중 분담율이 증가하고 이와 동시에 종철근의 하중 분담율을 감소시켜 교각의 연성도를 증가시키는 것으로 판단된다.
- (3) 중공비에 따른 변위 연성도 변화와 곡률 반경 변화 추이가 거의 유사한 것으로 나타났으며, 이를 토대

- 로 기존의 심부구속 철근량 산정식에 감소계수(γ)를 곱해주어 중공비에 따라 동일한 변위 연성도가 발휘되도록 횡방향 철근비를 조절할 수 있게 해준다. 직경이 커질수록 곡률 반경비 (r_s/r_x)와 변위 연성도비가 차이가 나는 것을 고려하여 직경에 따라서 기울기를 증가시켜주는 지수 (α)를 제안하였다.
- (4) 수정식에 의하여 설계된 모델의 경우에는 변위 연성도가 도로교 설계 기준에서 요구하는 수준을 발휘하였으며, 그 하안 오차는 -2%로 나타났다.
 - (5) 수정식에 의하여 설계를 할 경우 심부 구속 횡방향 철근비가 도로교 설계 기준에 비해 약 2%~39% 감소되는 것으로 나타났으며, 내부 튜브 역시 3%~21%씩 감소되어 경제성을 확보가능하다.
 - (6) 본 연구를 통하여 내부 구속 중공 RC 기둥이 도로교 설계 기준의 요구 변위 연성도를 발휘할 수 있는 수정식을 제안함으로써 기둥의 과다 설계를 방지하고 심부 구속 횡방향 철근량을 감소시킴으로써 시공성을 확보 할 수 있을 것으로 판단된다.

References

- [1] Korea Road & Transportation Association(1992), Korean Highway Bridge Design Specifications
- [2] AASHTO, LRFD Bridge Design Specifications, American Association of State Highway and Transportation Officials, SI Unit, 3rd ed., Washington, DC, USA, 2007.
- [3] Korea Road & Transportation Association(2010), Korean Highway Bridge Design Specifications
- [4] Jae-Hoon Lee, Hyeok-Soo Son(2009) Modified Equation for Ductility Demand Based Confining Reinforcement Amount of RC Bridge Columns, Journal of the Korea concrete institute, vol.21 No.2, pp.169-178.
DOI: <http://dx.doi.org/10.4334/JKCI.2009.21.2.169>
- [5] Dae-Hyoung Lee, Chang-Kyu Park, Hyun-Jun Kim, Young-Soo Chung (2005) A Seismic Performance Analysis of Circular RC Bridge Piers I. Evaluation of Influence Parameters of Confinement Steel Ratio, Journal of the Korea concrete institute, Vol.17 No. 4, pp.603-611.
- [6] Nadim I, Wehbe, M, Saiid Saiid, and David H. Sanders(2003) Seismic performance of Rectangular bridge columns with moderate confinement, ACI Structural Journal, Vol. 96, issue 2 pp.248-259.
- [7] Taek Hee Han, Ki Young Yoon, Young Jong

Kang(2010) Compressive strength of circular hollow reinforced concrete confined by an internal steel tube, Construction and Building Materials, Vol. 24, issue 9 pp.1690-1699.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.02.022>

- [8] Jun-Hon Choi, Ki Young Yoon, Taek Hee Han, Young Jong Kang (2007) Behaviors of Hollow RC Columns with Internal Steel Tube by Hollow Ratio, Korea Society of Hazard Mitigation, vol.7 No. 3, pp.1-7.

원 덕 희(Deok Hee Won)

[정회원]



- 2008년 8월 : 고려대학교 사회환경시스템공학과 (구조공학석사)
- 2011년 8월 : 고려대학교 건축사회환경공학과 (구조공학박사)
- 2011년 9월 ~ 2012년 6월 : 고려대학교 연구교수
- 2012년 6월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원 연수연구원

<관심분야>

강구조, 합성구조, 신재생에너지, 해양구조

한 택 희(Taek Hee Han)

[정회원]



- 1995년 2월 : 고려대학교 토목공학과 (공학사)
- 2001년 2월 : 고려대학교 토목환경공학과 (공학석사)
- 2006년 2월 : 고려대학교 토목환경공학과 (공학박사)
- 2006년 3월 ~ 2007년 1월 : 고려대학교 공학기술연구소 연구조교수

- 2007년 3월 ~ 2007년 10월 : 고려대학교 BK21 건설글로벌리더양성사업단 연구전임강사
- 2007년 11월 ~ 2008년 12월 : Auburn University 토목공학과 연구원
- 2009년 1월 ~ 2011년 1월 : 서울메트로 기술연구소 전문위원
- 2011년 1월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원 연안개발에너지연구부 선임연구원

<관심분야>

합성구조, 해양에너지, 비선형 구조해석

박 우 선(Woo-Sun Park)

[정회원]



- 1986년 2월 : 한국과학기술원 토목공학과 (공학석사)
- 2011년 8월 : 한국과학기술원 토목공학과 (공학박사)
- 1991년 3월 ~ 1999년 2월 : 한국해양연구원 선임연구원
- 1999년 3월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원(전 한국해양연구원) 책임연구원

<관심분야>

해양 및 항만 구조물, 해양에너지

박 종 섭(Jong-Sup Park)

[정회원]



- 1994년 2월 : 고려대학교 토목환경공학과 (공학사)
- 1996년 8월 : 고려대학교 토목환경공학과 (공학석사)
- 2002년 12월 : Auburn University (공학박사)
- 2005년 9월 ~ 현재 : 상명대학교 건설시스템공학과 교수

<관심분야>

구조공학, 교량공학, 강구조좌굴, 유지보수

강 영 중(Young-Jong Kang)

[정회원]



- 1985년 2월 : 고려대학교 대학원 토목공학과 (구조공학석사)
- 1992년 6월 : Auburn대학교 Civil Engineering (구조공학박사)
- 1993년 3월 ~ 1994년 2월 : 공주대학교 토목공학과 전임강사
- 1994년 3월 ~ 현재 : 고려대학교 건축사회환경공학부 교수

<관심분야>

강구조, 합성구조, 신재생에너지, 철도, 해양구조