

일반강도 슬래브로 간섭받은 모서리 기둥의 유효압축강도

Effective Compressive Strength of Corner Columns with Intervening Normal Strength Slabs

이 주 하^{1)*}

Joo-Ha Lee

Abstract

In this study, a prediction model for the effective compressive strength of corner columns with intervening normal strength concrete slabs was developed. A structural analogy between high-strength concrete column-normal strength concrete slab joint and brick masonry was used to develop the prediction model. In addition, the aspect ratio of slab thickness to column dimension was considered in the models. The reliability of the new prediction model was evaluated by comparison with experimental results and its superiority was demonstrated by comparison with previous models proposed by design codes and other researchers. As a result, with average test-to-predicted ratios of 1.09, a standard deviation of 0.15, the newly developed equation provided superior predictions in terms of accuracy and consistency over all of the existing effective strength prediction approaches including KCI structural concrete design code (2012).

Keywords : Corner column, Connection, High-strength concrete, Effective compressive strength, Prediction model

1. 서론

최근 많은 건축 구조물들이 대형화, 초고층화되면서 기둥과 같은 압축부재에 고강도 콘크리트가 적용되는 사례가 증가하고 있다. 하지만 초고층 빌딩이라 하더라도 기둥과는 달리 슬래브에는 고강도 콘크리트가 사용되지 않는다. 슬래브의 휨 성능과 같은 요구성능의 성격을 고려할 때 고강도 콘크리트의 사용은 불필요한 것이다 (Gamble and Klinar, 1991). 따라서 경제성과 시공성 측면에서 일반적으로 슬래브에 일반강도 콘크리트가 연속적으로 타설되고, 슬래브 위, 아래로는 고강도 콘크리트 기둥이 서게 된다. 이를 기둥의 관점에서 보면, 고강도 콘크리트 기둥 사이에 일반강도 콘크리트 슬래브로 간섭되어 있는 형상이 된다. 이러한 경우, 일반강도 콘크리트의 간섭으로 인해 고강도 콘크리트 기둥의 성능에 제한을 갖게 되며, 상부에서 내려오는 기둥 하중을 하부로 전달하는데 있어서도 영향을 받게 된다. 따라서 이러한

경우에 대한 고강도 콘크리트 기둥의 유효압축강도를 파악할 필요가 있다.

Fig. 1에서 보는 바와 같이, 기둥의 위치에 따라 모서리

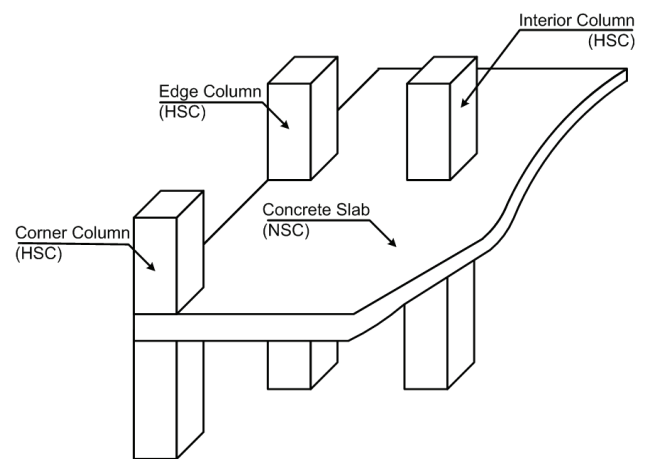


Fig. 1 Different types of HSC column-NSC slab joint

1) 정회원, 수원대학교 토목공학과 조교수, 교신저자

* Corresponding author : leejoooha@suwon.ac.kr

• 본 논문에 대한 토의를 2015년 6월 30일까지 학회로 보내주시면 2015년 7월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

(corner), 외부 (edge), 내부 (interior) 기둥으로 나눌 수 있으며, 이들은 슬래브 구속 효과가 각각 다르게 나타날 것이다. 많은 연구자들이 슬래브로 둘러싸여 있는 내부기둥의 유효 압축강도 예측에 관한 연구를 수행해왔다 (Bianchini et al., 1960; Gamble and Klinar, 1991; Kayani, 1992; Ko, 2013; Ospina and Alexander, 1998; Shah et al., 2005). 하지만 슬래브 구속효과가 거의 없는 모서리 기둥의 거동 및 유효압축강도에 대한 연구는 상대적으로 매우 미흡한 실정이다. 모서리 기둥의 경우 슬래브 구속효과가 없어 취성적 파괴거동을 보일 수 있다는 측면에서 설계시 더욱 각별한 유의가 필요함에 따라, 본 연구에서는 일반강도 콘크리트 슬래브로 간접받는 고강도 콘크리트 모서리 기둥의 합리적인 설계를 위해 유효압축강도 예측식을 개발하고자 하였다.

2. 모서리 기둥의 유효압축강도에 관한 기존 연구

2.1 국내외 설계기준

현행 콘크리트구조기준 (2012)에서는 기둥 콘크리트의 설계기준압축강도가 바닥판 구조에 사용된 콘크리트 강도의 1.4배를 초과하는 경우에 대해 기둥하중 전달을 위해 세 가지의 설계 전략을 제시하고 있다. 이는 미국 ACI 318-11 (2011)의 기둥하중 전달에 관한 기준과 동일하며, Bianchini et al. (1960)의 연구결과에 기초하고 있는 것이다. 첫 번째는 기둥 주변의 슬래브를 기둥면에서 600 mm까지 기둥과 동일한 고강도 콘크리트로 시공하는 것이다. 이 때 슬래브의 일반강도 콘크리트와 잘 일치화될 수 있도록 주의하여야 한다. 두 번째는 기둥-슬래브 접합부를 연직 장부철근과 나선 철근으로 보강하는 것이다. 하지만 이 방법은 이미 많은 철근들이 밀집 배근되어 있을 부위에 추가로 배근해야한다는 측면에서 시공성이 떨어지는 단점이 있다. 세 번째 방법은 기둥의 강도를 유효압축강도로 설계하는 것이다. 모든 면이 슬래브로 둘러싸인 내부기둥에 대해서는 슬래브 구속효과를 고려한 유효압축강도 산정식이 제시되어 있으나, 모서리 기둥의 경우 특별한 제안식이 없는 실정이다. 결과적으로 국내 콘크리트구조기준 (2012)과 ACI 318-11 (2011)에 따르면, 기둥의 콘크리트강도 f'_{cc} 가 슬래브 콘크리트강도 f'_{cs} 의 1.4 배를 초과할 경우 모서리 기둥의 유효압축강도 f'_{ce} 는 간접 받고 있는 슬래브 콘크리트의 일반강도에 기초하여 아래와 같이 계산될 수 있다.

$$f'_{cc}/f'_{cs} \leq 1.4 \quad f'_{ce} = f'_{cc} \quad (1a)$$

$$f'_{cc}/f'_{cs} > 1.4 \quad f'_{ce} = f'_{cs} \quad (1b)$$

캐나다 설계기준 CSA A23.3-04 (2004)의 기둥하중 전달에 관한 내용은 Ospina and Alexander (1998)의 연구결과에 기초하고 있으며, 국내 콘크리트구조기준 (2012) 및 ACI 318-11 (2011)과는 달리 기둥 콘크리트의 압축강도가 바닥판 콘크리트 강도보다 클 경우, 바닥판을 통한 기둥하중 전달을 확인할 것을 요구하고 있다. CSA A23.3-04 (2004)에서도 국내 콘크리트구조기준 (2012) 및 ACI 318-11 (2011)과 거의 유사한 세 가지 방법을 제시하고 있다. 단, 첫 번째 방법에서 내민길이를 600mm가 아닌 500mm를 제시하고 있으며, 두 번째 방법인 보강 철근 적용에 대한 기준은 동일하다. 마지막으로 모서리 기둥의 유효압축강도는 다음과 같이 나타내고 있다.

$$f'_{cc}/f'_{cs} \leq 1.0 \quad f'_{ce} = f'_{cc} \quad (2a)$$

$$f'_{cc}/f'_{cs} > 1.0 \quad f'_{ce} = f'_{cs} \quad (2b)$$

2.2 타 연구자의 모서리 기둥 유효강도예측 제안식

Bianchini et al. (1960)는 45개의 모서리, 외부 및 내부의 슬래브-기둥 접합부 시험체를 실험하였다. 이들 중 4개의 시험체가 저강도의 슬래브 층을 갖는 모서리 기둥 시험체였다. 그들은 일반강도의 슬래브가 고강도 기둥과 교차할 때 기둥의 강도는 슬래브 콘크리트와 기둥 콘크리트의 강도비 및 기둥을 둘러싼 슬래브로 인한 구속도의 함수인 것으로 결론지었다. 또한 Bianchini et al. (1960)는 기둥과 슬래브의 강도비가 1.4 이하에 대해서는 기둥의 강도 감소 발생하지 않는다고 보고하였다.

Shu and Hawkins (1992)는 슬래브 구속 없이 고강도 기둥 사이로 약한 슬래브 층을 갖는 54개의 독립기둥 시험체를 실험하였다. 실험결과에 따르면, 사용된 기둥의 종방향 철근량은 기둥의 유효압축강도에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 또한 정사각형 기둥의 기둥 폭 (c)에 대한 슬래브 두께 (h)의 형상비 (h/c)가 기둥의 강도에 영향을 미치는 것으로 나타났다. Shu and Hawkins (1992)는 기둥의 강도가 슬래브 보다 1.4배 더 큰 경우에 대해 설계기준 ACI 318-05 (2005)가 모서리 기둥의 유효강도를 지나치게 보수적으로 예측한다고 보고하였다.

Kayani (1992)는 2개의 모서리 기둥과 4개의 독립기둥을 실험하였다. 그는 독립기둥은 모서리 기둥을 적절히 묘사한다고 하였으며, 접합부 영역에 추가 배근된 띠철근은 연성을 증가시키지만 축방향 하중 성능의 증가는 거의 없다고 보고하였다. 실험결과를 바탕으로 모서리 기둥에 대해 다음과 같은 유효압축강도식을 제안하였다.

$$f'_{ce} = 2.0\lambda_G \frac{f'_{cc}f'_{cs}}{f'_{cc} + f'_{cs}} \quad (3)$$

여기서, λ_G 는 접합부의 형태에 따른 상수로써, 모서리 기둥은 0.9이다.

Ospina and Alexander (1997)은 4개의 독립기둥을 포함하여 총 30개의 기둥-슬래브 접합부 시험체의 실험결과를 보고했다. 그들은 모서리 기둥의 유효압축강도에 대해 다음과 같은 식을 제안하였다.

$$f'_{cc}/f'_{cs} \leq 1.2 \quad f'_{ce} = f'_{cc} \quad (4a)$$

$$f'_{cc}/f'_{cs} > 1.2 \quad f'_{ce} = 1.2 \times f'_{cs} \leq f'_{cc} \quad (4b)$$

Lee and Mendis (2004)는 기둥 단면에 대한 슬래브 두께의 형상비 (h/c)와 기둥의 직사각형성의 영향을 파악하기 위해 3개의 정사각형 및 3개의 직사각형 기둥으로 실험을 수행하였다. 그들은 형상비 h/c 가 증가함에 따라 기둥의 유효 압축강도는 감소하는 것으로 결론지었다. 또한 모서리 기둥에 대해 다음과 같은 유효강도식을 제안하였다. 단, 아래의 식은 모서리 기둥의 h/c 값에 따른 f'_{cc}/f'_{cs} 의 임계값을 나열한 표와 함께 사용되어야 한다.

$$f'_{ce} = \frac{\sigma_y}{U_u} \quad (5)$$

$$\text{여기서, } \sigma_y = \frac{f'_{cc}(f'_{cc(t)} + af'_{cs})}{f'_{cc(t)} + af'_{cc}}$$

$$U_u = \left(\frac{f'_{cc}}{f'_{equ}} \right)^{1/2}$$

$$f'_{cc(t)} = 0.4(f'_{cc})^{1/2}$$

$$a = h/4.1c$$

$$f'_{equ} = f'_{cs} \left[3.6 - 1.7 \left(\frac{h}{c} \right) \right]$$

3. 예측 모델 개발

3.1 기둥 및 슬래브의 압축강도 반영

고강도 콘크리트 기둥-일반강도 콘크리트 슬래브의 구조 형식은 조적조와 매우 흡사하다. Fig. 2에서 보는 바와 같이, 조적조는 단단한 벽돌과 상대적으로 연약한 모르타르, 이렇게 두 가지 형태의 재료로 구성된다. 이러한 조적조에 사용되는 모르타르의 압축강도와 탄성계수는 벽돌에 비해 상당히 낮은 수준이다. 따라서 축하중이 작용하게 되면 모르타르는 벽돌에 비해 더 많은 횡변위가 발생하려고 하지만, 벽돌과 모르타르 사이의 계면 부착력으로 인해 모르타르는 횡방향 구속효과를 받게 된다. 따라서 Fig. 2에 나타난 바와 같이, 모르타르는 삼축 압축 상태가 되며, 벽돌에서는 축방향 압축과 횡방향 인장이 결합된 상태가 된다. 이로 인해 조적조의 압축강도는 모르타르만의 일축 압축강도에 비해 더 크게 나타난다 (Kaushik et al., 2007; McNary and Abrams, 1985). 이러한 조적조의 응력 상태는 강성이 더 작은 슬래브가 고강도의 기둥 사이에 끼어있는 형태와 유사하다.

따라서 기둥-슬래브 접합부의 유효압축강도 예측을 위해 Eurocode 6 (CEN, 1996)에서 제시하고 있는 조적조의 압축강도 계산식을 도입하여 수정하였다. Eurocode 6 (CEN, 1996)의 조적조 압축강도식은 다음과 같다.

$$f'_m = K(f_b)^\alpha (f_j)^\beta \quad (6)$$

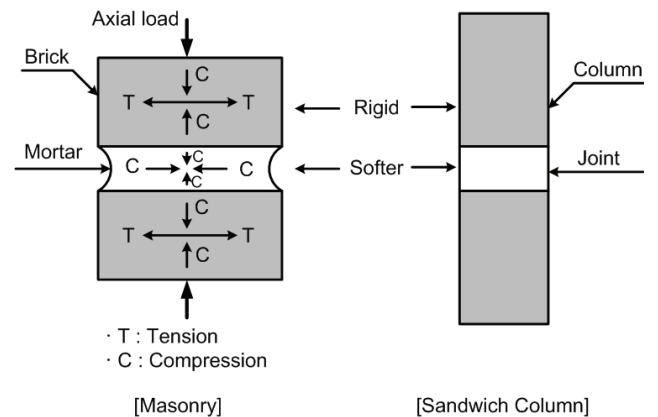


Fig. 2 Structural analogy between column-slab joint and brick masonry

Table 1 Experimental details and results of corner columns

Researcher	Specimen ID	h [mm]	h/c	f'_{cc} [MPa]	f'_{cc}/f'_{cs}	P_{test} [kN]	$f'_{cc,test}$ [MPa]
Bianchini et al. (1960)	S37S1.5	178	0.6	20.8	1.5	1735	21.1
	S50S2.0	178	0.6	35.9	2.4	1851	23.1
	S60S2.4	178	0.6	35.5	2.6	1673	20.0
	S75S3.0	178	0.6	36.8	2.4	1846	22.4
Shu & Hawkins (1992)	A	46	0.3	48.6	1.4	1088	48.5
	B	76	0.5	48.6	1.4	1143	51.3
	C	107	0.7	48.6	1.4	1085	48.6
	D	152	1.0	46.6	1.3	1068	47.6
	E	229	1.5	46.6	1.3	981	43.9
	F	305	2.0	47.6	1.5	910	40.1
	G	457	3.0	47.6	1.5	843	35.9
	H	305	2.0	50.8	2.2	654	27.3
	I	152	1.0	50.8	2.2	845	36.5
	J	76	0.5	50.8	2.2	1050	46.5
	K	152	1.0	48.8	1.6	1001	44.1
	A-1	457	3.0	40.8	1.0	939	41.2
	A-2	305	2.0	40.8	1.0	911	40.3
	A-3	152	1.0	40.8	1.0	922	40.9
	A-4	76	0.5	40.8	1.0	901	39.5
	A-5	46	0.3	40.8	1.0	938	41.4
	A-6	26	0.2	40.8	1.0	912	40.3
	B-1	457	3.0	45.4	2.2	512	19.5
	B-2	305	2.0	45.4	2.2	601	23.6
	B-3	152	1.0	45.4	2.2	739	31.1
	B-4	76	0.5	45.4	2.2	867	37.7
	B-5	46	0.3	45.4	2.2	956	41.9
	B-6	26	0.2	45.4	2.2	956	42.3
	C-1	457	3.0	45.8	1.9	685	28.2
	C-2	305	2.0	45.8	1.9	708	29.4
	C-3	152	1.0	45.8	1.9	853	37.3
	C-4	76	0.5	45.8	1.9	945	41.6
	C-5	46	0.3	45.8	1.9	988	43.5
	C-6	26	0.2	45.8	1.9	994	44.2
	D-1	457	3.0	38.6	5.6	331	10.1
	D-2	305	2.0	38.6	5.6	371	12.0
	D-3	152	1.0	38.6	5.6	497	18.7
	D-4	76	0.5	38.6	5.6	698	29.0
	D-5	46	0.3	38.6	5.6	778	32.8
	D-6	26	0.2	38.6	5.6	959	42.4
	E-1	457	3.0	48.5	2.7	490	18.3
E-2	305	2.0	48.5	2.7	543	20.8	
E-3	152	1.0	48.5	2.7	695	29.1	
E-4	76	0.5	48.5	2.7	912	39.7	
E-5	46	0.3	48.5	2.7	1005	44.5	
E-6	26	0.2	48.5	2.7	1045	46.9	
McHarg et al. (2000)	CN	150	0.7	80.7	2.7	2493	50.7
Shah et al. (2005)	SCSB-1	120	0.6	84.0	2.9	2060	49.8
Lee et al. (2007)	C1	150	0.6	46.9	1.0	2985	50.1
	C2	150	0.6	97.9	1.0	5710	102.0
	NC	150	0.6	88.3	1.9	3648	62.7
	FC	150	0.6	88.3	1.0	5932	106.3

여기서, f'_m 은 조적조의 압축강도, f_b 는 벽돌의 압축강도, f_j 는 모르타르의 압축강도이며, K , α , β 는 상수이다. 특히 K 는 벽돌-모르타르 접합부의 형상에 따른 상수값이다.

따라서 위 식 (6)를 고강도 기둥-일반강도 슬래브 접합부에 적용하여 수정하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$f'_{ce} = K(f'_{cc})^\alpha (f'_{cs})^\beta \quad (7)$$

고강도 콘크리트 기둥과 일반강도 콘크리트 슬래브의 강도에 대한 영향계수 α 와 β 를 구하기 위해서 슬래브 구속효과가 없는 모서리 기둥 또는 독립기둥의 기존 실험결과를 이용하였다 (Bianchini et al., 1960; Lee et al., 2007; McHarg et al., 2000; Shah et al., 2005; Shu and Hawkins, 1992).

국내 콘크리트구조기준 (2012) 및 ACI 318-11 (2011)는 집중하중하에 있는 기둥 단면의 성능을 다음의 식과 같이 제시하고 있다.

$$P_0 = \alpha_1 f'_{cc} (A_g - A_{st}) + f_y A_{st} \quad (8)$$

여기서, A_g 는 기둥의 전단면적, A_{st} 는 기둥의 주철근 면적, α_1 은 상수로써 0.85를 사용한다.

이에 따라 실험값에 의한 기둥의 유효압축강도는 측정된 최대하중 P_{test} 를 이용하여 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$f'_{ce} = \frac{P_{test} - f_y A_{st}}{0.85(A_g - A_{st})} \quad (9)$$

따라서 식 (9)에 따라 기둥의 유효압축강도를 계산하고 이를 Table 1에 각 시험체의 상세 및 실험결과와 함께 정리하였다. Fig. 3에 나타난 바와 같이, 기둥과 슬래브의 콘크리트 강도 및 모서리 기둥의 유효압축강도를 회귀분석한 결과 α 와 β 는 각각 0.525와 0.461로 나타났다.

3.2 기둥과 슬래브의 형상비 반영

기둥의 단면 치수에 대한 슬래브 두께의 형상비 (h/c)를 고려하기 위해 계수 K 를 정의하였다. Fig. 4에서 보듯이, 슬래브 콘크리트 강도에 대한 기둥 콘크리트 강도의 비 (f'_{cc}/f'_{cs})가 1.4 보다 클 경우, K 는 형상비 h/c 가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다. 하지만 기둥 콘크리트의 강도가 슬래브 콘크리트 강도의 1.4배 이하인 경우에는 형상비 h/c 의 변화에

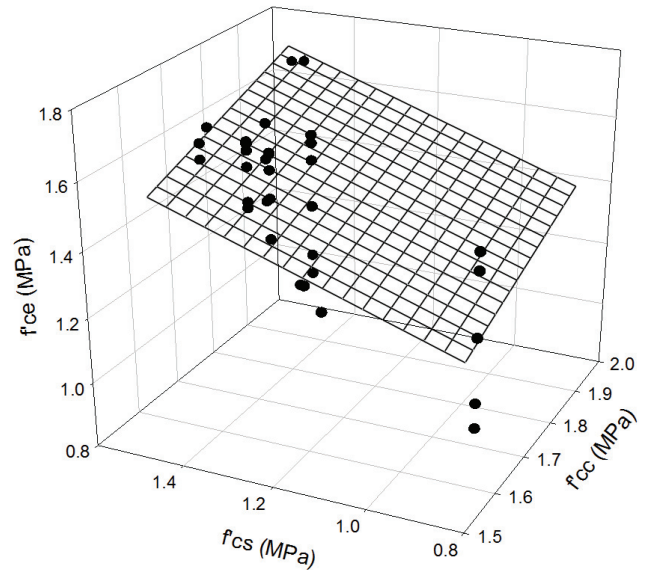
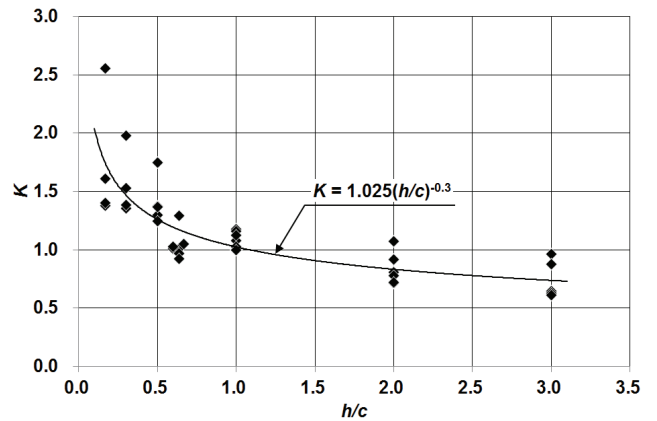
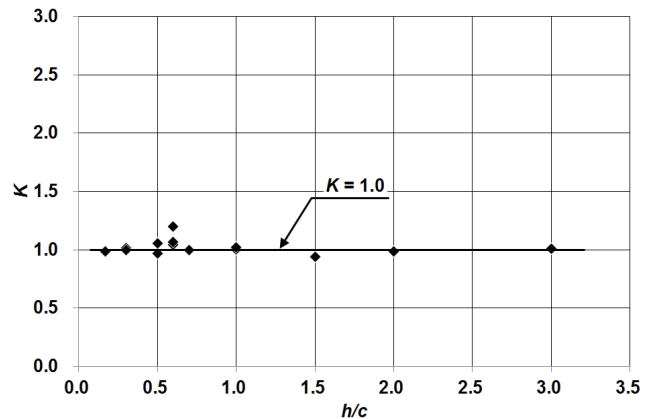


Fig. 3 Relationship between column, slab concrete strength and effective column strength

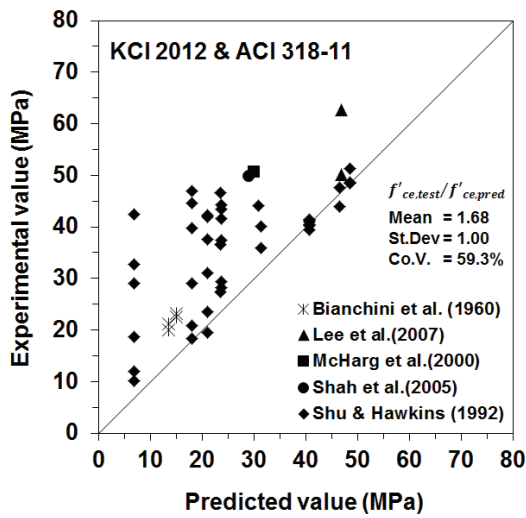


(a) K vs h/c for $f'_{cc}/f'_{cs} > 1.4$

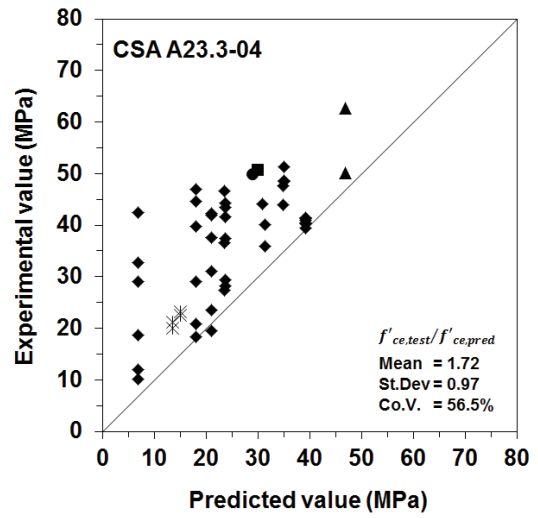


(b) K vs h/c for $f'_{cc}/f'_{cs} \leq 1.4$

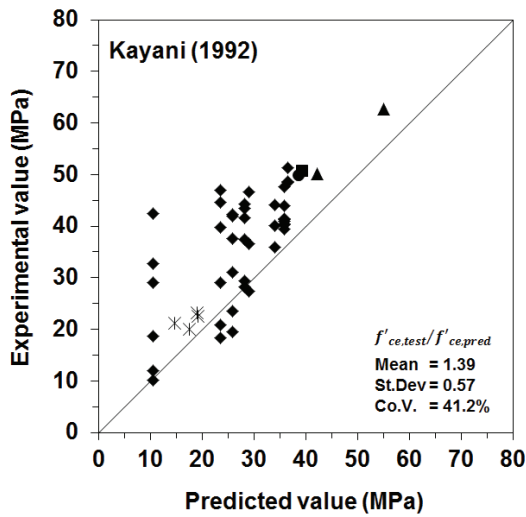
Fig. 4 Factor K versus aspect ratio of h/c



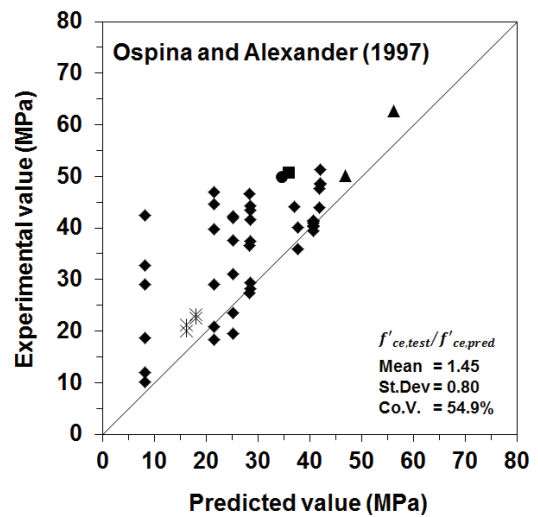
(a) KCI 2012 & ACI 318-11



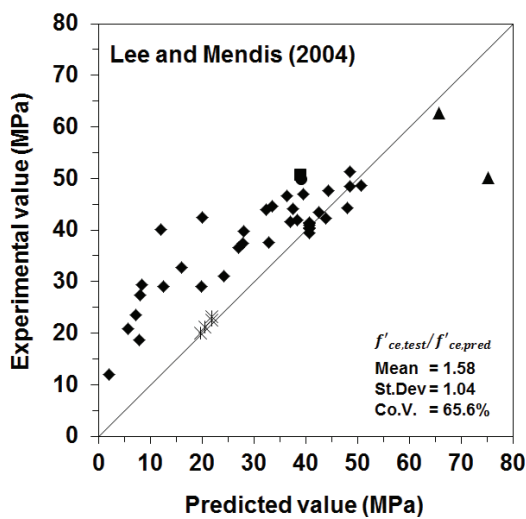
(b) CSA A23.3-04



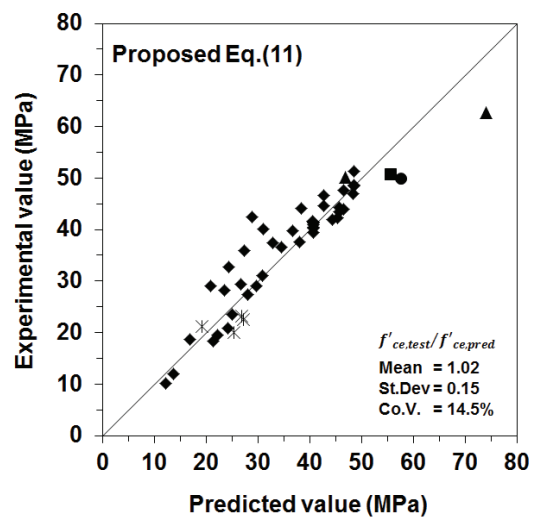
(c) Kayani (1992)



(d) Ospina and Alexander (1997)



(e) Lee and Mendis (2004)



(f) Proposed Eq. (11)

Fig. 5 Comparison of experimental results and predictions by various models

상관없이 K 는 1.0으로 거의 일정한 값을 나타냈다. 따라서 기둥-슬래브 접합부 형상 계수 K 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$f'_{cc}/f'_{cs} \leq 1.4; K = 1.0 \quad (10a)$$

$$f'_{cc}/f'_{cs} > 1.4; K = \frac{1.025}{(h/c)^{0.3}} \quad (10b)$$

최종적으로 상수 α , β 와 계수 K 를 식 (7)에 대입하여 모서리 기둥의 유효압축강도 예측식을 다음과 같이 제안하였다.

$$f'_{cc}/f'_{cs} \leq 1.4; f'_{ce} = f'_{cc} \quad (11a)$$

$$f'_{cc}/f'_{cs} > 1.4; f'_{ce} = \left[\frac{1.025}{(h/c)^{0.3}} \right] (f'_{cc})^{0.525} (f'_{cs})^{0.461} \leq f'_{cc} \quad (11b)$$

4. 예측 모델 검증 및 분석

Fig. 5에 여러 설계기준 및 타 연구자들에 의해 제안된 모서리 기둥의 유효압축강도 예측값과 실험결과를 비교하여 나타내었다. 여기서 실험값은 Table 1에 정리된 바와 같이 여러 연구자들에 의해 수행된 결과이다 (Bianchini et al., 1960; Lee et al., 2007; McHarg et al., 2000; Shah et al., 2005; Shu and Hawkins, 1992). Fig. 5에서 각 점들의 모양은 서로 다른 연구자별 실험데이터를 나타낸다. 또한 각 예측값들은 국내 콘크리트구조기준 (2012) 및 미국 ACI 318-11 (2011), 캐나다 설계기준 CSA A23.3-04 (2004), Kayani (1992), Ospina and Alexander (1997), 그리고 Lee and Mendis (2004)가 각각 제안한 모서리 기둥-슬래브 접합부 유효압축강도 예측 모델인 식 (1) ~ (5)과 본 연구에서 제안된 식 (11)에 의해 계산된 값이다.

Fig. 5(a)와 (b)에서 보는 바와 같이, 국내 콘크리트구조기준 (2012) 및 미국 ACI 318-11 (2011)과 캐나다 CSA A23.3-04 (2004)의 유효압축강도 예측식은 실험값과 예측값의 비 ($f'_{ce, test}/f'_{ce, pred}$)가 평균 약 1.70 전후로 나타나 매우 보수적임을 알 수 있다. 특히 Table 1에서 슬래브 콘크리트 강도에 대한 기둥 콘크리트 강도의 비 (f'_{cc}/f'_{cs})가 2.0 이상으로써 상대적으로 큰 경우에 대해서는 과도하게 보수적인 예측치를 나타냈다. 국내 콘크리트구조기준 (2012)과 ACI 318-11 (2011)은 실험값과 예측값의 비가 표준편차 1.00, 변동계수 59.3%를 보였으며, CSA A23.3-04 (2004)는 표준

편차 0.97, 변동계수 56.5%를 보여 예측값들의 편차가 심하게 나타났다.

Fig. 5(c), (d), (e)에서 보는 바와 같이, Kayani (1992), Ospina and Alexander (1997), 그리고 Lee and Mendis (2004)가 각각 제안한 유효압축강도 예측식들도 정확도가 떨어지며 대부분의 경우에 매우 보수적인 예측결과를 보였다. 더욱이 각 점들이 상당히 분산되어 예측결과의 일관성도 매우 낮은 것을 볼 수 있다. 이들 중에서는 Kayani (1992)가 제안한 식에 의한 결과가 평균 1.39, 표준편차 0.57, 변동계수 41.2%로 가장 양호하게 나타났지만, 정확도 및 일관성 측면에서 여전히 신뢰할 만한 수준은 아니다.

반면에, Fig. 5(f)에서 보듯이, 본 연구에서 제시한 예측식은 실험값과 예측값의 비가 평균 1.02, 표준편차 0.15, 변동계수 14.5%로 다른 모든 예측식들에 비해 우수한 예측결과를 보였다. 더욱이 기둥과 슬래브 콘크리트의 강도비가 큰 경우에 대해서도 실험값과 매우 유사한 결과를 나타내고 있다.

5. 결론

본 연구에서는 일반강도 콘크리트 슬래브로 간접받는 고강도 콘크리트 모서리 기둥의 유효압축강도 예측식을 개발하고자 하였으며, 이를 통해 다음의 결론을 도출하였다.

고강도 콘크리트의 모서리 기둥 사이에 일반강도 콘크리트 슬래브가 지나가는 구조 형식은 벽돌 사이에 상대적으로 낮은 강성의 모르타르로 구성된 조적조의 구조와 매우 유사한 점을 이용하여 모서리 기둥의 유효압축강도 예측식을 도출하였다.

모서리 기둥의 유효압축강도는 기둥 단면 치수에 대한 슬래브 두께의 형상비 (h/c)가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다. 하지만 기둥 콘크리트의 강도가 슬래브 콘크리트 강도의 1.4배 이하인 경우에는 형상비 (h/c)가 유효압축강도에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 나타났다.

국내 콘크리트구조기준 (2012), ACI 318-11 (2011), 그리고 CSA A23.3-04 (2004) 등의 설계기준에서 제시하고 있는 모서리 기둥의 유효압축강도 예측식은 매우 보수적인 결과를 보이고 있으며, 예측값들의 편차 또한 매우 크게 나타났다.

타 연구자들 (Kayani, 1992; Ospina and Alexander, 1997; Lee and Mendis, 2004)에 의한 예측식들도 설계기준에 의한 식들과 마찬가지로 매우 보수적인 예측값을 나타냈으며, 일관성도 상당히 떨어지는 결과를 보였다.

본 연구에서 개발한 예측식은 다른 모든 식들에 비해 정확도와 일관성 모두 우수한 예측결과를 보였다. 특히 타 예측

식들이 매우 보수적인 결과를 보인 기둥과 슬래브 콘크리트의 강도차가 1.4배 이상의 큰 경우에 대해서도 신뢰도 높은 정확한 예측값을 나타냈다.

감사의 글

이 논문은 2014년도 정부 (미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업이며 (No. 2013R1A1A1A005577), 이에 감사드립니다.

References

1. ACI committee 318 (2005), Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (ACI 318-05), American Concrete Institute, Farmington Hill, Michigan.
2. ACI Committee 318 (2011), Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (ACI 318-11), American Concrete Institute, Farmington Hill, Michigan.
3. Bianchini, A. C., Woods, R. E., and Kesler, C. E. (1960), Effect of floor concrete strength on column strength, *ACI Journal Proceedings*, ACI, 56(5), 1149-1170.
4. Canadian Standards Association (2004), Design of Concrete Structures (CSA A23.3-04), Canadian Standards Association, Mississauga, Ontario.
5. European Committee of Standardization (CEN) (1996), Eurocode 6: Design of masonry structures, Part 1.1: General rules for buildings-reinforced and unreinforced masonry, ENV 1996-1-1, Brussels.
6. Gamble, W. L., and Klinar, J. D. (1991), Tests of high-strength concrete columns with intervening floor slabs, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 117(5), 1462-1476.
7. Kaushik, H. B., Rai, D. C., and Jain, S. K. (2007), Stress-strain characteristics of clay brick masonry under uniaxial compression, *Journal of Materials in Civil Engineering*, ASCE, 19(9), 728-739.
8. Kayani, M. K. (1992), Load transfer from high-strength concrete columns through lower strength concrete slabs, Ph.D. thesis, Dept. of Civil Engineering, University of Illinois, Urbana-Champaign, Ill.
9. Ko, S. H. (2013), Seismic Performance and Flexural Over-strength of Circular RC Column, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, KSMI, 17(5), 49-58 (in Korean, with English abstract).
10. Korea Concrete Institute (2012), Structural Concrete Design Code, Korea Concrete Institute, Seoul (in Korean).
11. Lee, J. H., Yoon, Y. S., Cook, W. D., and Mitchell, D. (2007), Benefits of using puddled HSC with fibers in slabs to transmit HSC column loads, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 133(12), 1843-1847.
12. Lee, S. C., and Mendis, P. (2004), Behavior of high-strength concrete corner columns intersected by weaker slabs with different thicknesses, *ACI Structural Journal*, ACI, 101(1), 11-18.
13. McHarg, P. J., Cook, W. D., Mitchell, D., and Yoon, Y. S. (2000), Improved transmission of high-strength concrete column loads through normal-strength concrete slabs, *ACI Structural Journal*, ACI, 97(1), 157-165.
14. McNary, W. S., and Abrams, D. P. (1985), Mechanics of masonry in compression, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 111(4), 857-870.
15. Ospina, C. E., and Alexander, S. D. B. (1997), Transmission of high-strength concrete column loads through concrete floors, Structural Engineering Report No. 214, Department of Civil Engineering, University of Alberta, Edmonton, Canada.
16. Ospina, C. E., and Alexander, S. D. B. (1998), Transmission of interior concrete column loads through floors, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 124(6), 602-610.
17. Shah, A. A., Dietz, J., Tue, N. V., and Koenig, G. (2005), Experimental investigation of column-slab joints, *ACI Structural Journal*, ACI, 102(1), 103-113.
18. Shu, C. C., and Hawkins, N. M. (1992), Behavior of columns continuous through concrete floors, *ACI Structural Journal*, ACI, 89(4), 405-414.

Received : 09/02/2014

Revised : 10/06/2014

Accepted : 11/05/2014

요 지

본 연구에서는 일반강도 슬래브가 기둥 사이로 지나가는 형태의 모서리 기둥에 대한 유효압축강도 예측식을 개발하고자 하였다. 예측식 개발을 위해서 고강도 기둥-일반강도 슬래브 접합부와 조적조 구조의 유사성을 이용하였으며, 이에 더하여 기둥 단면치수에 대한 슬래브 두께의 형상비를 고려하였다. 제안된 식에 의한 예측값과 실험값의 비교를 통해 신뢰도를 확인하였으며, 설계기준 및 타 연구자들에 의한 제안식과 비교를 통해 우수성을 검증하였다. 연구결과, 제안식은 예측치에 대한 실험값의 비가 평균 1.02, 표준편차 0.15를 보여 콘크리트 구조기준 (2012)을 포함한 타 유효압축강도 예측식들에 비해 정확도 및 일관성 모두 우수한 결과를 나타냈다.

핵심 용어 : 모서리 기둥, 접합부, 고강도 콘크리트, 유효압축강도, 예측모델