

ALC 패널 커튼월용 부품 Primary Anchor의 해석적 연구

An Analytical Study on Primary Anchor Unit for ALC Panel Curtain-wall

윤명호 Yoon, Myung-Ho*[†] · 유창현 Ryu, Chang-Hyun**

(Received February 4, 2011; Revised February 10, 2011 ; Accepted March 21, 2011)

ABSTRACT

This study aims at grasping the structural performances of primary anchor assemblage through a nonlinear finite element analysis. Primary anchor unit may be used as one of the connection devices between ALC panel curtain-wall and RC slab or main frame of a building. From the analytical results structural characteristics such as yield strength, initial stiffness and maximum strength are obtained and fully discussed.

요 지

본 연구는 Primary Anchor의 비선형 유한요소해석을 통해 구조적 성능을 파악하는데 목적이 있다. Primary Anchor Unit은 ALC 패널 커튼월과 RC 슬래브 또는 주골조 사이에 연결장치로 사용할 수 있다. 항복강도, 초기강성과 최대 하중과 같은 구조적 특성을 구하고 자세히 비교분석하였다.

Key Words: Primary Anchor, ALC panel curtain-wall(ALC 패널 커튼월), Finite element analysis(유한요소해석)

1. 서 론

국내 고층빌딩의 외벽은 인력절감이 가능한 커튼월 채용이 대부분을 차지하고 있다. 이중 PC 패널형은 패널에 단열재, 창틀, 타일 등이 일체로 공장 생산할 수 있으므로 고품질 커튼월이 가능하고 화재시 내화성이 우수하다는 장점이 있지만, 단점으로는 고층건물에 적용할 경우 하중 부담이 매우 커서 금속제 패널로 대체하고 있다.

PC 패널을 ALC 재료로 대체할 경우 특징점은 내화 및 단열성능이 우수하고 커튼월을 경량화할 수 있고, 고층의 하중문제를 해결할 수 있다. 하지만, ALC를 커튼월 부재로 대체할 경우에는 고층 건물에서의 지진력이나 풍압은 ALC의 저항도 및 취성으로 사용에 어려움이 예상되는 단점이 있다. ALC의 저항도 및 취성을 해결하기 위한 방안은 ALC 재료의 고강도화 및 보강하는 방법이 있지만, ALC의 고강도화에는 한계가 있으므로 구체와 ALC를 고정시키는 앵커 유니트부에서 풍압에 의한 ALC의 취성, 하중 및 변형을 완화 시켜 에너지를 흡수하는 형태가 필요하다.

건물이 고층화됨에 따라 매립 C형강 Unit의 역할이 가장 중요하나, 현재까지는 매립 C형강 Unit의 역학적 성능에 대한 검증이 없는 상태이다.

따라서 매립 C형강 Unit의 성능을 평가하기 위하여, C형강 Unit 만의 역학적 성능과 콘크리트 슬래브에 매립된 상황에서의 구조성능 파악을 목적으로 비선형 유한요소 해석을 하고 그 결과를 비교분석 하였다.

2. 본 론

2.1 Primary Anchor의 형상 및 명칭

Primary Anchor는 C-Channel, Anchor Bolt, T-Head Bolt로 구성되어 있다. Channel에는 Anchor Bolt가 용접된다. Anchor Bolt는 콘크리트 속에 매립되어 콘크리트의 인발력을 지탱하는 가장 중요한 요소이므로 완전 온돌레 용접을 하여 완전한 제품을 구현한다. 또한 채널 내부에는 콘크리트의 반죽이 침투하는 것을 방지해 주는 충전재(Form Filler)가 들어있고, T-Head Bolt는 채널의 리브에 정확히 안착되어 채널의 인발하중을 극대화 해주는 역할과 동시에 기타 필요한 철물들을 고정하는 역할을 한다.(Fig. 1)

또한 T-Head Bolt는 두 개가 한 쌍으로 사용되며, Channel의 길이 방향으로 자유롭게 이동할 수 있으므로 시공시에 대단히 편리하다.

*[†] 정회원-공주대학교 건축학부 교수, 공학박사, 교신저자(mhyoon@kongju.ac.kr)

** 학생회원-공주대학교 대학원 건축공학과 석사과정

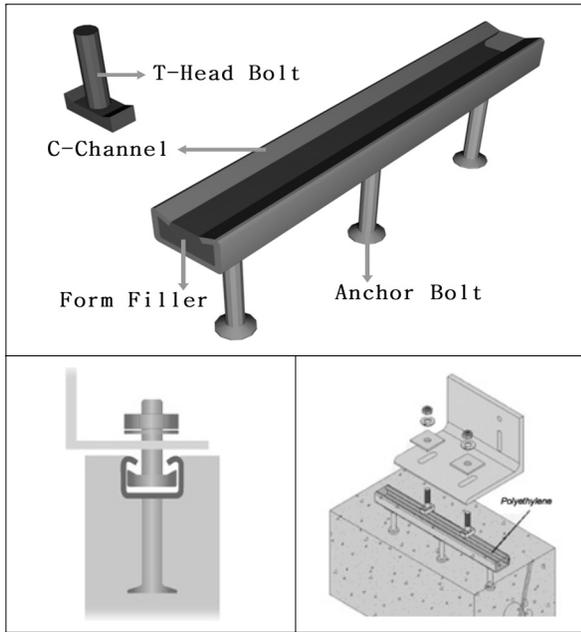


Fig. 1 Channel 과 T-Head Bolt

2.2 재료 물성

Primary Anchor Unit의 부품별 재료물성을 파악하기 위해서 강재에 대해서는 KS B 0801(금속 재료 인장 시험편), KS B 0802(금속 재료 인장 시험 방법)에 의거하여 재료시험을 하였으며, 콘크리트에 대해서는 KS F 2405(콘크리트의 압축 강도 시험 방법), KS F 2423(콘크리트의 쪼갬 인장 강도 시험 방법)에 의거하여 재료시험을 하고 그 결과를 Table 1~2에 나타낸다.(Fig.2)

모델 물성치(Material Property)는 Channel과 T-Bolt는 영계수(Young's Modulus) $2.05 \times 10^5 \text{N/mm}^2$, 프아송비(Poisson's ratio)는 0.3으로 입력하였다. Concrete는 영계수 $2.05 \times 10^4 \text{N/mm}^2$, 프아송비 0.15으로 입력하였다.

Table 1 콘크리트 압축강도

공시체번호	최대 하중 (kN)	압축 강도 (MPa)	압축강도 계산식
압축-1	218.70	27.85	$f_c = \frac{P}{\pi \left(\frac{d}{2}\right)^2}$ $f_c = \text{압축강도}$ $d = \text{공시체의 지름}$
압축-2	212.07	27.00	
압축-3	220.01	28.01	

* 시험은 KS F 2405에 준하여 하였음 *

Table 2 콘크리트 인장강도

공시체번호	최대 하중 (kN)	인장 강도 (MPa)	인장강도 계산식
인장-1	89.10	2.84	$f_{sp} = \frac{2P}{\pi dl}$ $f_{sp} = \text{인장강도}$ $d = \text{공시체의 지름}$ $l = \text{공시체의 길이}$
인장-2	85.40	2.72	
인장-3	77.40	2.46	

* 시험은 KS F 2423에 준하여 하였음 *

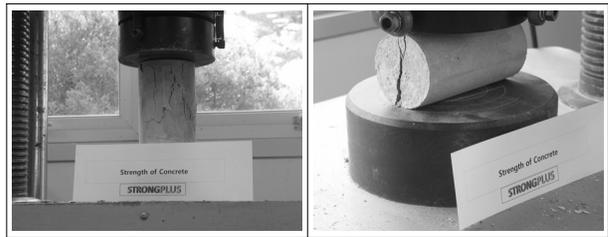


Fig. 2 콘크리트 압축, 인장강도 시험

2.3 Primary Anchor에 대한 유한요소 해석 (F.E.A.)

2.3.1 해석 프로그램 개요

해석 모델링의 방법으로는 Primary Anchor 상세도 치수를 입력하여 모델링을 하였으며, 해석 프로그램으로는 ADINA Ver.8.6.2를 사용하였다.

ADINA 프로그램은 Solid(2D, 3D)의 정적 또는 동적 해석이 가능하며, 선형 및 재료 비선형, 기하 비선형, 접촉 문제 등의 비선형 해석이 가능한 프로그램이다.

2.3.2 해석 모델링

기존의 Primary Anchor에 대한 유한요소해석(F.E.A.)을 통해 구조성능을 판단한다.

해석모델은 크게 두 가지(SC 및 CC 시리즈)로 나누었다. Channel Unit만을 해석하는 SC 시리즈와 Channel Unit이 콘크리트 슬래브에 매립된 상황에서 해석하는 CC 시리즈로 나누었다.

Primary Anchor의 모델링은 AutoCAD에서 3-D Solid 형식으로 모델링한 후에 IGES(The Initial Graphics Exchange Specification)파일로 Export한 후에 ADINA AUI에서 Import하여 모델을 생성 하였다.

경계조건(Boundary Condition)으로는 SC시리즈는 앵커볼트 하단부에 모든 방향에 대해 움직이지 않도록 고정을 시켜주었고, CC시리즈는 콘크리트 상부 좌우 연단부를 단순 지지하였다. 해석 시에 당겨질 T-Bolt는 상하(Z축 방향)로만 움직이도록 한 점에 Rigid Link 시켰다.

Contact 조건으로는 Primary Anchor와 Concrete, Primary Anchor와 T-Bolt 닿는 부분을 마찰계수(Coulomb Friction) 0.2로 하여 3-D Contact pair로 모델

링 하였다.

격자밀도(Mesh Density)는 3mm, 30mm, 100mm간격으로 Mesh를 구성하였다. 3-D Solid Elements로 형성하여 해석을 진행하였다. 응력이 집중될 것으로 예상되는 부분은 Mesh 사이즈를 좀 더 작게 구성하였다.

컴퓨터 모델링 한 모습은 Fig 3(SC 시리즈), Fig 4(CC 시리즈)에 나타내었다.

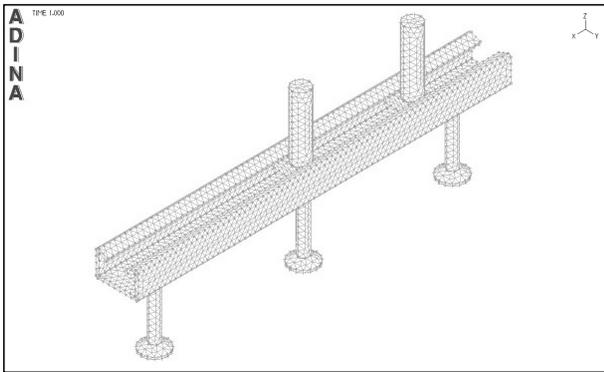


Fig. 3 SC 시리즈 모델링(em=125mm인 경우)

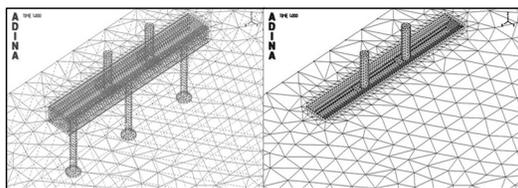
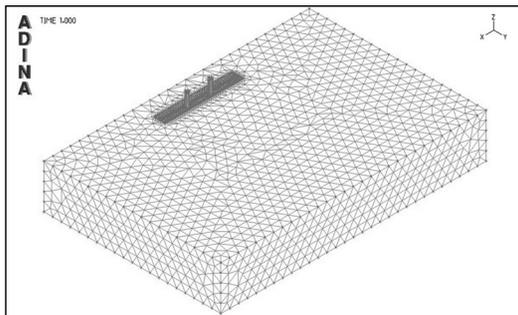


Fig. 4 CC 시리즈 모델링(em=175mm인 경우)

2.3.3 하중조건

하중조건은 변위제어로 하여 Z방향으로 작용시켰다. 당겨질 볼트는 Z방향으로만 움직이도록 강제요소(Rigid link)로 연결하였다.

2.3.4 해석 변수

1) SC 시리즈 - Channel

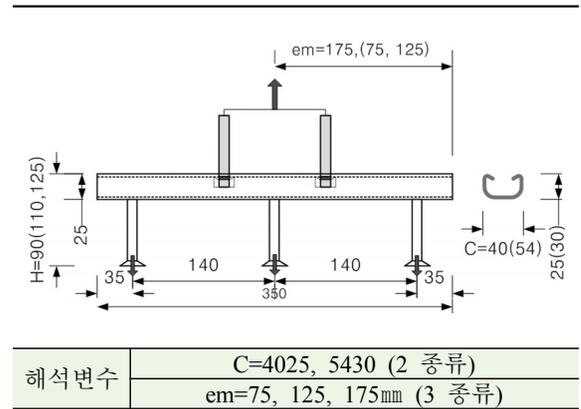


Fig. 5 SC 시리즈 해석 변수

2) CC 시리즈 - Channel + Conc' slab

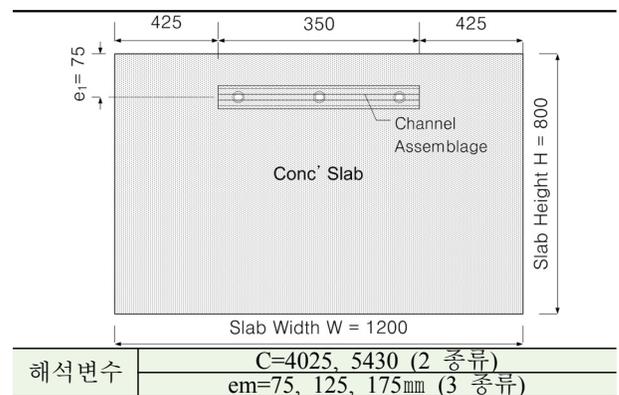


Fig. 6 CC 시리즈 해석 변수

Table 3 해석 모델 리스트

해석모델	모델명 보는 법
SC 시리즈	SC-4025-75
	SC-4025-125
	SC-4025-175
	SC-5430-75
	SC-5430-125
	SC-5430-175
CC 시리즈	CC-4025-75
	CC-4025-125
	CC-4025-175
	CC-5430-75
	CC-5430-125
	CC-5430-175

SC-4025-75: Channel Size (4025, 5430), Eccentricity (em=75, 125, 175)
 Channel
 S: Steel Assemblage
 C: Steel + Conc' slab

2.4 해석 결과 및 비교분석

2.4.1 해석 결과

유한 요소 해석결과 응력분포(Fig.7, Fig.8)는 T-Bolt의 위치에 집중되었다.

SC시리즈의 P-Δ 그래프는 Fig.9, Fig.10에 나타내었고, CC시리즈의 P-Δ 그래프는 Fig.11, Fig.12에 나타내었다. 해석결과를 정리하여 Table 4, Table 5에 나타내었다.



Fig. 7(a) Channel Unit의 유한요소해석 결과
(em=75mm인 경우)



Fig. 7(b) Channel Unit의 유한요소해석 결과
(em=125mm인 경우)



Fig. 7(c) Channel Unit의 유한요소해석 결과
(em=175mm인 경우)

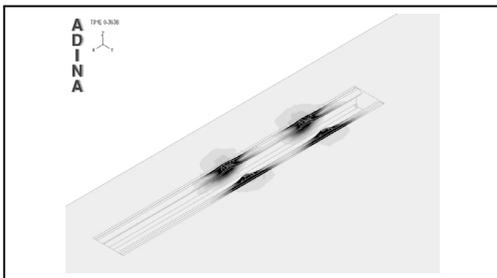


Fig. 8 매립 C형강 Unit의 유한요소해석 결과
(em=125mm인 경우)

1) 해석 결과(SC시리즈)

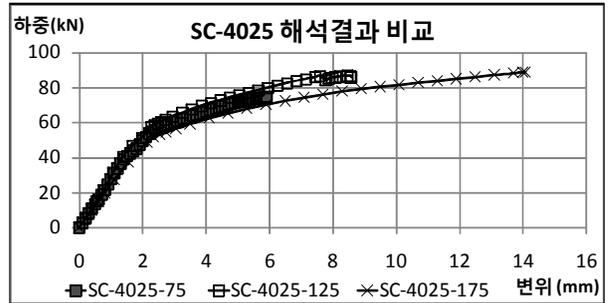


Fig. 9 SC-4025의 P- Δ 그래프

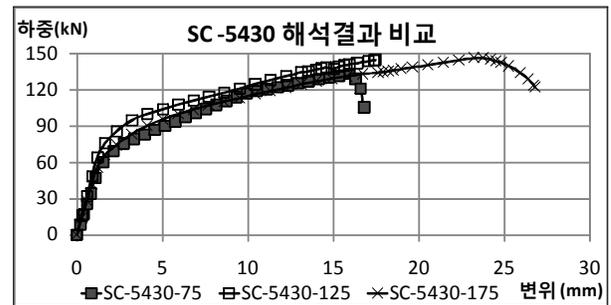


Fig. 10 SC-5430의 P- Δ 그래프

Table 4 SC 시리즈 해석결과

모델명	P_y [kN]	Δy [mm]	K_c [kN/mm]	P_{max} [kN]	Δp_{max} [mm]	P_{max}/P_y	$\Delta p_{max}/\Delta y$	비 고
SC-4025-75	50.7	1.9	27.4	74.8	5.9	1.5	3.2	
SC-4025-125	53.7	1.9	29.0	86.8	8.5	1.6	4.6	
SC-4025-175	48.3	1.9	25.0	88.9	14.1	1.8	7.3	
SC-5430-75	58.5	1.4	43.0	131.4	20.3	2.2	14.9	
SC-5430-125	69.0	1.3	54.0	145.0	17.5	2.1	13.7	
SC-5430-175	60.0	1.3	48.0	146.6	23.8	2.4	19.0	

P_y : 항복하중 Δy : 항복변위 K_c : 초기강성 P_{max} : 최대하중
 Δp_{max} : 최대변위 P_{max}/P_y : 항복하중에 대한 최대하중의 비
 $\Delta p_{max}/\Delta y$: 항복변위에 대한 최대변위의 비

2) 해석 결과(CC시리즈)

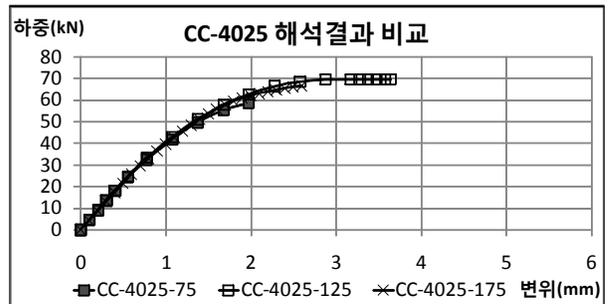


Fig. 11 CC-4025의 P- Δ 그래프

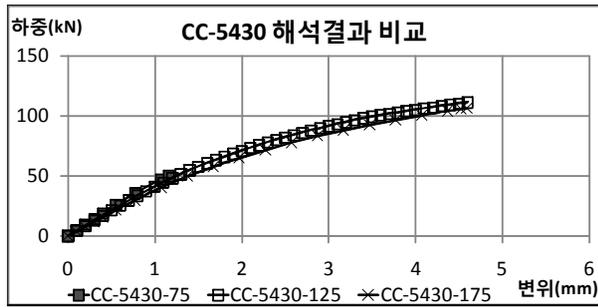


Fig. 12 CC-5430의 P-Δ 그래프

Table 5 CC 시리즈 해석결과

모델명	P_y [kN]	Δy [mm]	K_e [kN/mm]	P_{max} [kN]	Δp_{max} [mm]	P_{max}/P_y	$\Delta p_{max}/\Delta y$	비고
CC-4025-75	45.0	1.0	45.0	58.7	2.0	1.3	2.0	
CC-4025-125	49.5	1.1	45.0	69.7	3.6	1.4	3.3	
CC-4025-175	51.0	1.2	42.0	66.5	2.6	1.3	2.1	
CC-5430-75	48.0	1.0	48.0	50.3	1.2	1.0	1.2	*
CC-5430-125	75.0	1.8	42.0	111.3	4.6	1.5	2.6	
CC-5430-175	72.8	1.9	38.0	106.5	4.6	1.5	2.4	

2.4.2 비교 분석

해석결과를 편심하중이 작용하지 않는 175모델을 기준 1로 놓고 비교해 보았다.

1) SC 시리즈

(1) 항복 강도 - P_y

SC-4025 시리즈는 48.3~53.7kN, SC-5430 시리즈는 58.5~69kN으로 분포 하였다. 항복강도는 앵커볼트의 중간에 위치하는 125시리즈(em=125mm)가 높게 나왔다.(Fig.13)

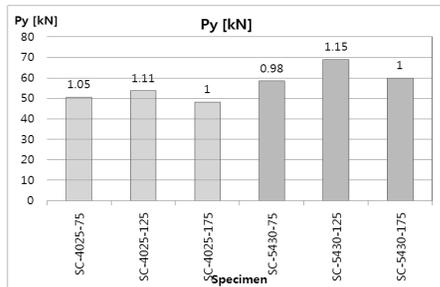


Fig. 13 SC시리즈의 항복강도

(2) 초기 강성 - K_e

SC-4025 시리즈는 25~29kN/mm, SC-5430 시리즈는 43~54kN/mm으로 나타났다. 초기강성은 Channel의 종류에 따라서 4025시리즈 보다 5430시리즈가 더 높은 값을 나타냈다.(Fig.14)

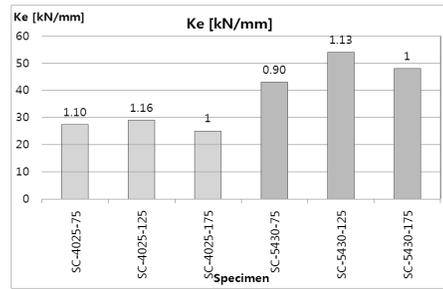


Fig. 14 SC시리즈의 초기강성

(3) 최대 하중 - P_{max}

SC-4025 시리즈는 74.8~88.9kN, SC-5430 시리즈는 131.4~146.6kN으로 분포하였다. 최대하중은 편심하중이 가장 큰 75시리즈(em=75mm)가 가장 불리하게 나왔다.(Fig.15)

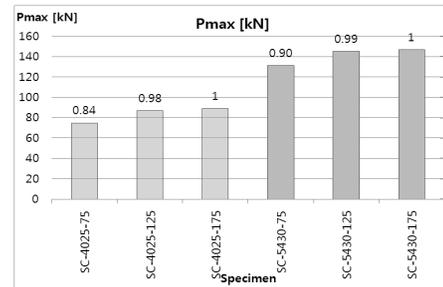


Fig. 15 SC시리즈의 최대하중

(4) 항복하중에 대한 최대하중의 비 - P_{max}/P_y

SC-4025 시리즈 1.5~1.8, SC-5430 시리즈 2.1~2.4로 나타났다. 4025시리즈보다는 5430시리즈가 더 크게 나타났다.(Fig. 16)

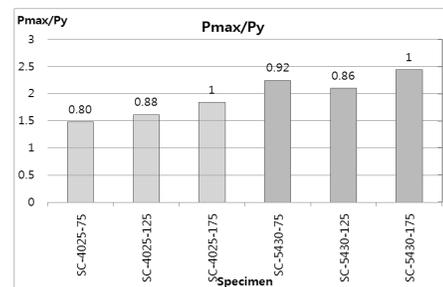


Fig. 16 SC시리즈의 항복하중에 대한 최대하중의 비

(5) 항복변위에 대한 최대변위의 비 - $\Delta p_{max}/\Delta y$

소성변형능력의 평가지표로서 항복변위(Δy)에 대한 최대변위(Δp_{max})의 비는 SC-4025 시리즈 3.2~7.3, SC-5430 시리즈 13.7~19.0로 나타났다.(Fig. 17)

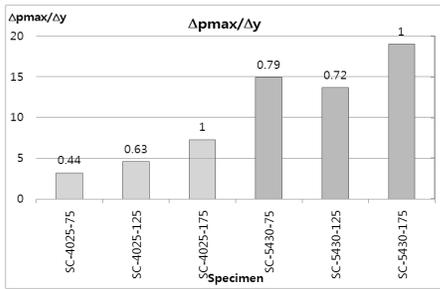


Fig. 17 SC시리즈의 항복변위에 대한 최대변위의 비

2) CC 시리즈

해석결과 CC-5430-75(Table5 CC 시리즈 해석결과*) 모델은 해석시 콘크리트내의 매립된 Channel의 변화에 따른 콘크리트 Mesh의 파괴로 최대하중 이후 거동까지 해석을 진행하지 못하여 정확한 결과 값을 얻지 못하였다.

(1) 항복 강도 - Py

CC-4025 시리즈는 45~51kN, CC-5430 시리즈는 72.8~75kN으로 분포하였다. 항복강도는 5430시리즈가 4025시리즈보다 큰 값을 나타냈다.(Fig.18)

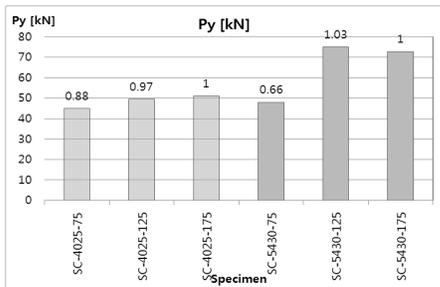


Fig. 18 CC시리즈의 항복강도

(2) 초기 강성 - Ke

CC-4025 시리즈는 42~45kN/mm, CC-5430 시리즈는 38~48kN/mm으로 나타났다. 대체로 초기강성은 비슷하게 나타났다.(Fig.19)

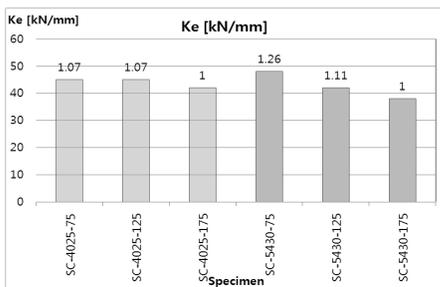


Fig. 19 CC시리즈의 초기강성

(3) 최대 하중 - Pmax

CC-4025 시리즈는 58.7~69.7kN, CC-5430 시리즈는

106.5~111.3kN으로 분포하였다. 최대하중은 편심하중이 가장 큰 75시리즈(em=75mm)가 가장 불리하게 나타났다.(Fig.20)

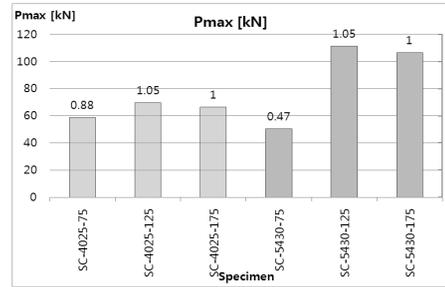


Fig. 20 CC시리즈의 최대하중

(4) 항복하중에 대한 최대하중의 비 - Pmax/Py

CC-4025 시리즈 1.3~1.4, CC-5430 시리즈 1.0~1.5로 대체로 비슷하게 나타났다.(Fig.21)

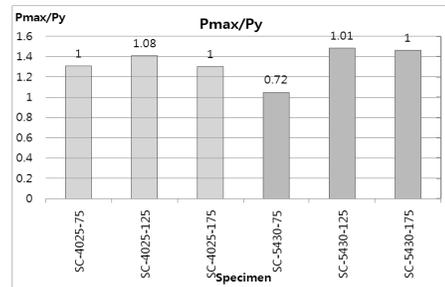


Fig. 21 CC시리즈의 항복하중에 대한 최대하중의 비

(5) 항복변위에 대한 최대변위의 비 - Δpmax/Δy

소성변형능력의 평가지표로서 항복변위(Δy)에 대한 최대변위(Δpmax)의 비는 CC-4025 시리즈 2.0~3.3, CC-5430 시리즈 1.2~2.6으로 나타났다. 5430시리즈가 4025시리즈보다 큰 값을 나타냈다.(Fig.22)

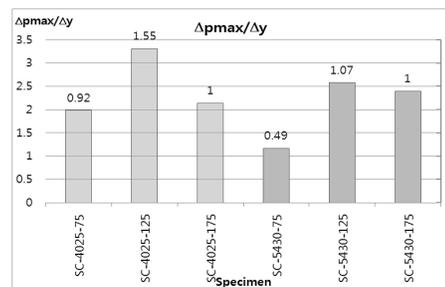


Fig. 22 CC시리즈의 항복변위에 대한 최대변위의 비

3. 결론

매립 C형강 Unit에 대한 구조성능 파악을 위한 유한요소해석(F.E.A.)결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 해석모델의 적합성 :
SC시리즈와 CC시리즈의 3D Solid 요소 모델링 및 Mesh 사이즈는 적절한 것으로 판단된다.

- 응력(Stress) 분포 형태 :
SC시리즈와 CC시리즈는 하중 편심위치에 따른 응력도 분포 패턴(Stress contour map)은 실제와 유사하게 나타났다.

- T-Head Bolt 위치에 따른 편심 하중의 영향
편심거리에 따라 약간의 차이는 있으나, 구조적 거동은 대체로 유사하게 나타났다. 따라서 시공시 편심거리에 의한 영향은 무시해도 무방할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 (2009 부품소재 기술개발 사업) 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1. 민병호 등 (1993), *ALC 성능평가 및 활용연구*, 한국건설기술연구원 연구보고서.
2. 이재욱, 소광호, 양극영, 초고층건축물의 커튼월 변위에 관한 사례연구, *대한건축학회 학술발표대회 논문집* 제23권, 제2호, pp.563~566.
3. ALC建築の仕上げ集, 編集発行/東伸企画社, 発売/彰国社
4. ALC建築 設計のポイント, 編集発行/東伸企画社, 発売/彰国社
5. 建築工事標準仕様書同解説 JASS21 ALCパネル工事 (2005), 日本建築学会