

STM(Strut & Tie Model)을 적용한 기초보강공법 소개



서현주 대표이사
(주)바로건설기술



윤상문 소장
(주)바로건설기술



윤성현 차장
(주)바로건설기술

1. 머리말

요즘 건설 환경에서 가장 이슈화되는 것이 친환경요소를 어떻게 실현할 수 있는가 하는 것이다. 친환경 요소 중 구조부분에서 가장 적용하기 쉬운 부분은 구조부재의 치수를 최소화 하면서 구조적으로 안전하고 경제적이며 시공성이 뛰어난 골조를 형성하는 것이다. 당사에서도 이러한 친환경 요소구조에 관심을 가지고 골조 집수정을 최초로 기성품 바로나 원통형 강재집수정으로 대체할 수 있는 공법을 개발하였으며 기초의 두께를 20~30% 줄일 수 있는 기초보강공법을 개발하여 경제적이면서도 구조적으로 안전한 친환경 구조요소 개발에 힘써왔다. 바로나 강재집수정과 바로나 기초보강재는 오랜 기간 실험과 현장 적용 실적들을 통해 각각 국토해양부 신기술을 취득하였다. 바로나 기초보강재를 이용한 기초보강공법은 한국건축구조기술사회의 기술인증도 받은 공법으로 이번호에서 소개하기로 한다.

2. STM 기초보강공법의 개요 및 특징

1) 개요

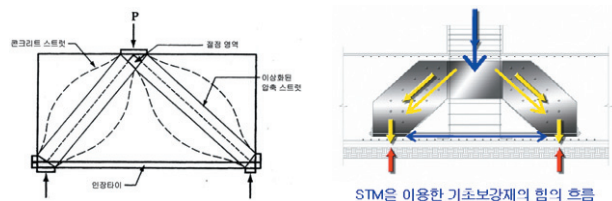
STM 기초보강공법은 Strut & Tie Model을 이용한 아치형 철판과 강봉으로 구성된 철근콘크리트 기초보강공법이다. [그림 2]는 기초부분을 Strut & Tie Model(STM)으로 형상화 한



[그림 1] STM을 적용한 기초보강재

것이다. 변형률 분포가 불규칙한 기초 부분은 압축력을 받는 콘크리트 스트럿과 인장력을 받는 철근 타이로 구성되는 가상의 트러스로 만들 수 있다. 기초부분의 STM은 두 개의 경사 스트럿과 수평의 타이가 3개의 절점을 이루며 구성된다.

기초보강재는 기초부분의 STM 형상을 바탕으로 [그림 2]에서와 같이 경사 스트럿 부분은 압축력에 유리한 콘크리트와 철판의 합성거동으로 저항하도록 하고 수평방향의 타이는 고강도의 대구경 철선을 적용함으로써 기초의 내력을 효과적으로 향상시키는 방법을 채택하고 있으며, 기존 기술의 기초두께를 약20~30% 줄일 수 있다.



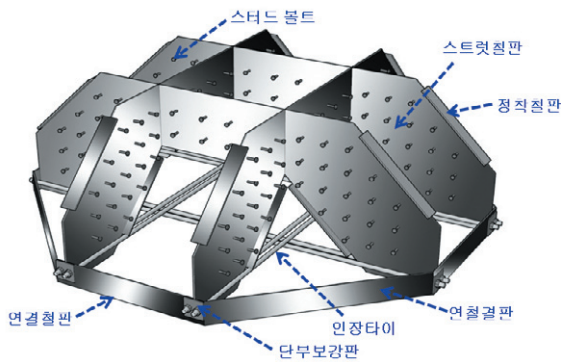
[그림 2] 기초보강재의 원리

기초보강재의 내력은 스트럿의 내력, 타이의 항복내력 그리고 절점부분의 최대내력을 평가하여 그 중에서 가장 취약한 내력에 의해 결정되며, 기본적인 내력의 평가방법은 콘크리트구조 설계기준에 근거하여 평가하고 있다.

기초보강재의 형상과 크기 및 두께 등은 적용되는 기초 부분의 하중에 따라 계산에 의해 결정되며, 기둥의 형태 및 하중의 전달 경로에 따라 1방향보강재와 2방향보강재로 구분될 수 있다.

2) 각부의 명칭

기초보강재 각 부분의 명칭 및 특징은 다음과 같다.



[그림 3] STM 기초보강재의 형상

- 스트럿 철판 : STM에서 압축 스트럿을 보강하는 부분으로 구조계산에 의하여 판의 두께, 재질, 형상 등을 산정한다. 스트럿 철판이 교차되는 부분의 접합은 완전 용입 용접 방법을 원칙으로 하며 4.0mm 이하의 철판을 사용하는 경우 모살용접으로 접합 가능하다. 다른 부재와의 접합은 모살용접을 이용하여 접합한다.
- 인장타이 : STM에서 MAT 하부철근과 함께 인장재를 형성하는 부분으로 구조계산에 의하여 재질 및 직경을 산정한다. 하부타이는 스트럿 철판과 용접 및 볼트 접합하여 일체화된 Strut-Tie Mechanism이 형성되도록 한다.
- 연결철판 : 스트럿 철판 및 하부타이를 고정해 주는 역할을 한다.
- 단부보강판 : 하부타이의 정착을 보다 견고하게 해주는 역할을 한다. 폭 및 높이는 관통되는 하부타이의 단부로부터 보강판의 연단거리가 30mm 이상 확보할 수 있도록 한다.
- 스팀드 볼트 : 스트럿 철판과 콘크리트의 합성거동이 가능하도록 전단연결재의 역할을 하며 스트럿 철판에 작용하는 압축력 이상의 전단성능을 확보할 수 있도록 규격

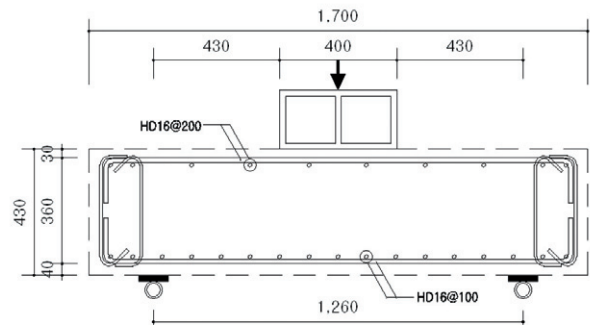
및 수량을 산정하고 간격은 350mm 이내로 한다.

- 정착철판 : 스트럿 철판의 인장방향 정착력을 확보하기 위한 부재로 스트럿 철판과 같은 규격의 철판을 사용하며 폭은 60~100mm, 길이는 스트럿 철판 경사부분 길이의 50% 이상이다.

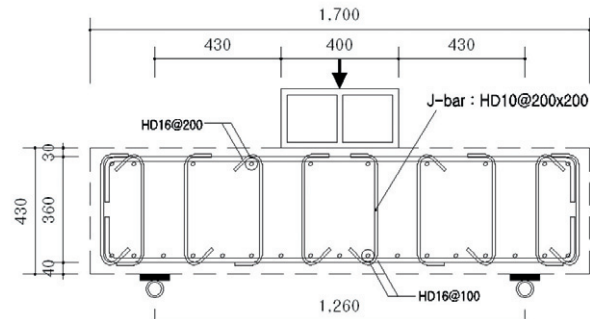
3. 성능 검증 실험

기초보강재의 성능 검증을 위하여 4차례의 단순 휨실험과, 3차례의 양방향 기초실험을 수행하였다.

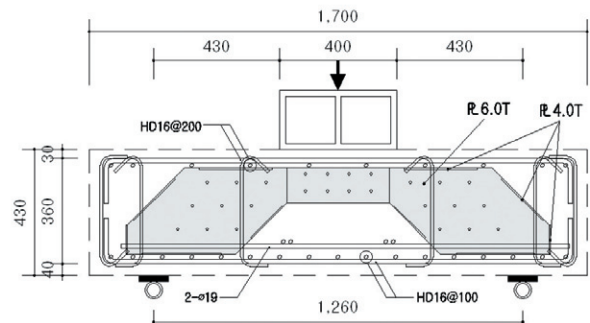
본 기사에서는 스트럿과 타이 거동의 유효성 검증에 적용되었던 양방향 실험결과를 정리하였다.



(a) T430



(b) T430J



(c) R430T

[그림 4] 양방향 실험체의 크기 및 배근도 (단위 : mm)

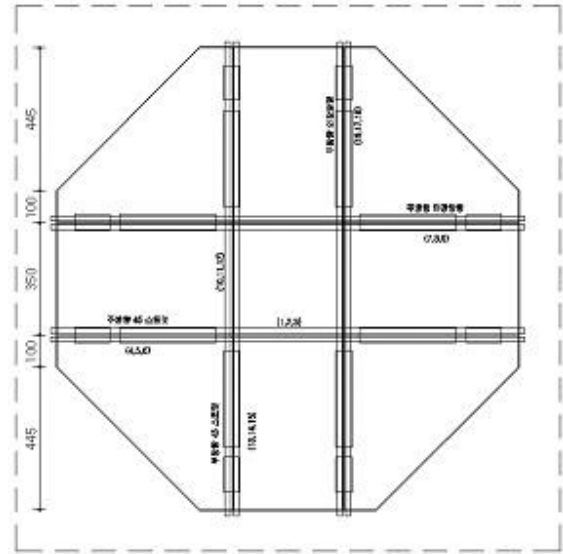
1) 실험개요

실제 기둥 하부에 설치되는 대부분의 기초보강재는 양방향 이므로, 실제 기초판과 동일한 형상의 양방향 실험체를 1/3 scale로 제작하였다. 실험에서는 보강재의 유무 및 종류를 변수로 하여 양방향 기초판의 거동을 평가하였다. 특히 양방향 실험체는 이방향 전단에 의하여 파괴되는 경우가 많으므로 실험에서는 이방향 전단내력을 비교 평가하였다.

실험체 T430은 기초보강재용 강재 철판이 배근되지 않은 실험체이다. 기초보강재용 강재 철판의 내력을 비교 평가하기 위하여 T430J는 [그림 4(b)]와 같이 J형 전단보강철근을 배근하였다. 실험체 R430T, R430C 및 R430S는 이 연구에서 제안하고 있는 강판을 이용한 기초보강재를 가력점과 지점 사이에 배근한 실험체이다.

실험체 R430T와 R430C는 강재 철판의 두께를 6mm로 하고 인장타이를 2-u19를 적용하여 인장타이의 강성을 상대적으로 적게 하여 파괴 형태가 인장파괴가 되도록 한 실험체이고, R430S는 강재 철판의 두께를 4mm로 하고 인장타이를 2-u30을 적용하여 압축 스트럿의 강성을 상대적으로 적게하여 파괴 형태가 압축파괴가 되도록 한 실험체이다. 실험체의 크기 및 보강재의 배근을 [그림 5]에 표시하였다. 모든 실험체의 기초판 두께는 430mm이며 기초판의 넓이는 1,400mm×1,700 mm이다.

실험이 수행되는 시점에 측정된 실험체의 콘크리트 압축강도는 26.0MPa이었다. 사용한 주철근(D16)의 항복강도는 505MPa, J형 전단보강철근(D10)의 항복강도는 547MPa이었다. 4mm 및 6mm 두께의 기초보강용 강재 철판의 항복강도는 310 MPa이었으며, 인장타이로 사용된 강봉의 항복강도는



[그림 5] 실험체 평면도 및 게이지 위치 (단위 : mm)

u19 와 u30이 각각 733MPa과 655MPa 이다. 양방향 실험체의 특징 및 재료에 대한 상세를 [표 1]에 나타내었다.

2) 실험결과

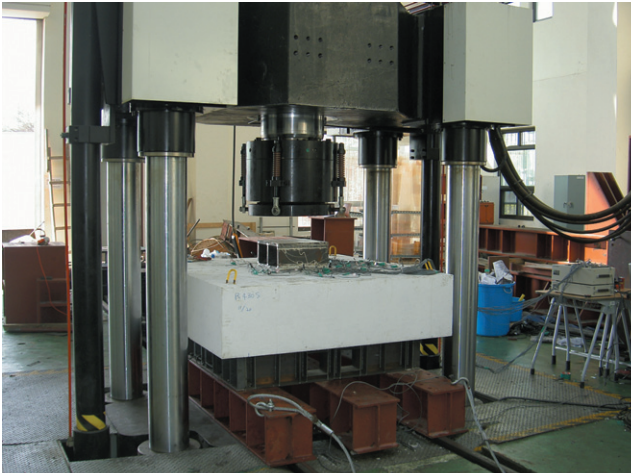
전체적인 실험체가 가력부 부분의 압괴에 의하여 이방향 전단에 의하여 파괴되었으며, 실험체 측면에서는 미세한 균열이 발생하였다.

기초보강재가 설치되지 않은 실험체 T430 및 T430-J의 최대 하중은 각각 3,262 kN 및 3,572 kN이었고 기초보강재가 설치된 실험체 T430T, T430C, T430S 의 최대 하중은 각각 5,139 kN, 5,070 kN, 5,324 kN으로 무보강 실험체에 비해 약 160% 이상 성능 증가를 보였다.

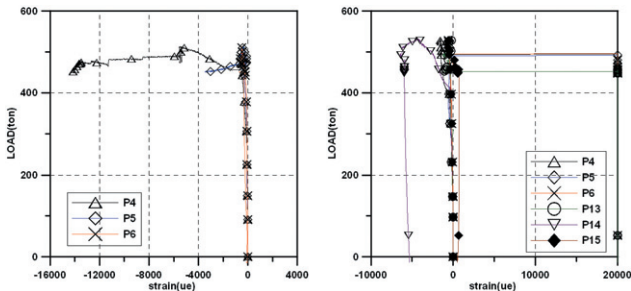
[표 1] 양방향 실험체 특성 및 재료 조건

실험체	H (mm)	d (mm)	a (mm)	f_c^* (MPa)	f_{σ}^{σ} (MPa)	f_{σ} (MPa)	f_{σ} (MPa)	f_{σ} (MPa)	인장 철근 (A B)	타이 철근 (A t ^{'''})	철판두께 (mm)	실험체 개요
T430	430	390	430	26	-	505	-	-	17-D16@100	-	-	무보강 실험체(비교용)
T430J	430	390	430	26	547	505	-	-	17-D16@100	-	-	J형 전단보강철근 설치 (D10@200)
R430T	430	390	430	26	-	505	310	733	17-D16@100	2-u19	6.0	인장(Tie Force) 지배 실험체
R430C	430	390	430	26	-	505	310	733	17-D16@100	2-u19	6.0	인장(Tie Force) 지배 실험체
R430S	430	390	430	26	-	505	310	655	17-D16@100	2-u30	4.0	압축(Strut Force) 지배 실험체

평도, 실험체의 높이, d : 실험체 유효깊이, a : 실험체의 전단경간길이, A B : 인장철근(하부철근)총단면적, f_c^* : 콘크리트 압축강도, f_{σ}^{σ} : J-형 철근의 항복 f_{σ} : 인장철근의 항복강도, f_{σ} : 강재 철판의 항복강도, f_{σ} : 인장타이의 항복강도, A t^{'''} : 인장타이 총 단면적

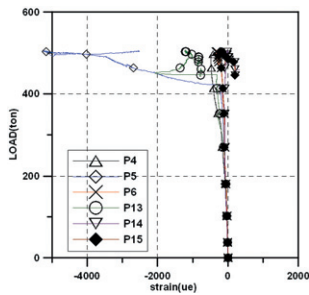


[그림 6] 실험체 셋팅



(a) R430T

(b) R430S

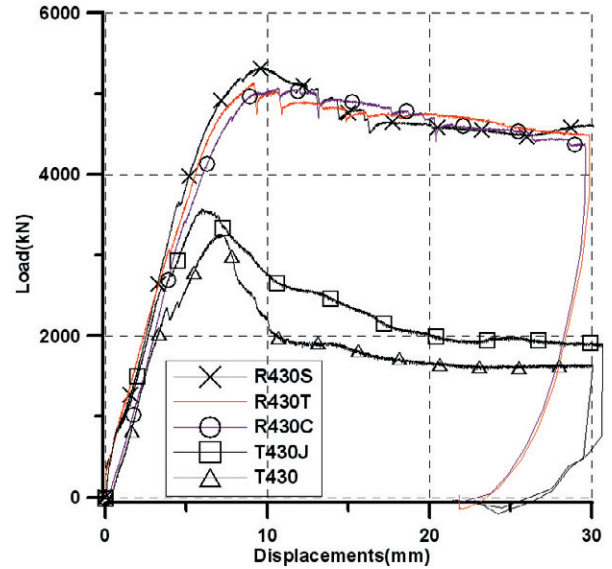


(c) R430C

[그림 7] 보강재 철판의 하중-압축변형률 관계

4. 스트럿-타이 모델에 의한 평가

기초보강재가 적용된 실험체의 내력 평가는 콘크리트 구조 설계 기준에 의한 평가와 함께 스트럿-타이 모델에 의하여 계산하였다. 기초판은 부재의 기하학적 형태와 하중이 급격하게 변화하는 D구역에 속하는 부재로써 평면유지의 법칙이 적용되지 않는 응력교란구역이다. 스트럿-타이 모델은 선정된 모델에 의하여 계산 결과에 많은 차이를 나타낸다. 본 평가에서는 실제 하중 조건과 가장 유사한 형태인 3차원 8절점 스트

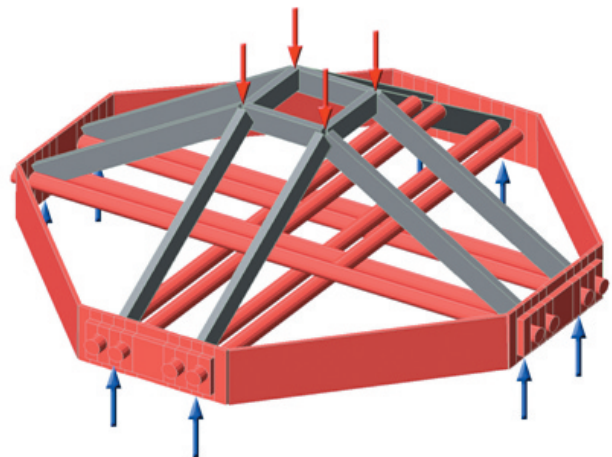


[그림 8] 양방향 기초보강재 실험체 실험결과

럿-타이 모델을 선정하였다. 그러나 3차원 스트럿-타이 모델을 계산하기에는 다소 계산과정이 복잡하므로 이를 2차원 스트럿-타이 모델로 단순화 하였다. 가력점의 하중이 8개의 지점으로 전달되는 3차원 스트럿-타이 모델을 2차원 스트럿-타이 모델로 전환하기 위하여 2차원 모델을 양방향으로 각각 계산한 후에 이들 값을 중첩하여 내력을 계산하였다.

스트럿-타이 모델을 선정된 이후에 기준에서 정하는 설계법에 의하여 부재의 내력을 다음과 같이 계산하였다.

- ① STM의 기하학적인 형태 (부재의 D영역을 결정하고, 영역 내에서 힘의 흐름에 기초하여 압축재, 인장재 및 절점을 배치)
- ② 작용하는 하중에 근거하여 각 압축재, 인장재에 작용하는 축력



[그림 9] 3차원 8절점 스트럿-타이 모델

- ③ 콘크리트의 유효압축강도와 하중계수를 계산하고 스트럿의 형태와 강도 계산
- ④ 절점영역의 분포와 강도 계산

[표 2] 실험에서 관찰된 내력과 해석 결과를 비교하였다. 콘크리트구조설계기준 2007에 근거하여 계산된 내력은 실제 내력을 최대 66%까지 과소평가함을 알 수 있다. 스트럿-타이 모델에 의하여 계산한 결과는 [표 2]에서 보여지는 것과 같이 비교적 정확하게 기초판의 내력을 평가할 수 있었다.

[표 2] 해석결과 및 실험결과 비교

실험체	P _{TEST} (kN)	P _{KCI} (kN)	P _{STM} (kN)	P _{TEST} / P _{KCI}	P _{TEST} / P _{STM}	파괴모드	
						실험	STM
T430	3262.3	2626.8	3250.9	1.24	1.00	스트럿	휨항복
T430J	3571.7	2625.8	3250.9	1.36	1.10	스트럿	휨항복
R430T	5138.8	3123.8	5041.6	1.65	1.02	휨항복	휨항복
R430C	5069.7	3123.8	5041.6	1.62	1.01	휨항복	휨항복
R430S	5324.3	4397.5	5240.4	1.21	1.02	스트럿	스트럿



[그림 10] 기초보강재 시공 순서

5. 기초보강재 시공

기초보강재의 설치는 Open Cut현장 설치와 PRD기둥이 선 시공되는 Top Down 현장 설치로 구분된다.

1) Open Cut현장 설치

기둥의 간섭이 없어 기초보강재를 일체로 조립하여 설치하는 방식이다.

현장에 도착한 기초보강재는 크레인 또는 지게차로 조립 또는 적재 장소로 하역한다. 이때 조립 및 적재 장소는 양중 무게 및 양중 거리를 고려하여 크레인이 양중 가능한 거리에 위치되도록 한다.

현장에서 터파기 및 하부철근 배근이 완료되면 설치 위치를 확인하여 기초보강재의 위치에 줄을 띄우고, 크레인을 이용하여 설치한다.

기초보강재를 설치한 후 벽체 철근 또는 기둥의 다우얼 철근(Dowel bar)을 배근하고, 매트 상부철근을 배근한 후 콘크리트를 타설함으로써 기초보강재를 적용한 기초 구조를 완성하게 된다.

2) Top Down 현장설치

PRD 기둥이 선시공 되기 때문에 기초보강재를 분할하여 선

설치된 PRD기둥에 가설 브래킷을 이용하여 설치하는 방식이다. 분할된 기초보강재를 설치하기 위하여 선시공 된 PRD기둥에 브래킷을 설치한다. 기초보강재는 절반으로 분할하여 토사 반출구를 통하여 기초레벨까지 수직 이동한다. 소형백호 등을 이용하여 기초보강재 설치위치로 이동한 후, 사전에 설치한 브래킷에 기초보강재를 거치한다. 양쪽에서 거치된 기초보강재를 조립하여 설치를 완성한 후, 상하부 철근을 배근한 후 콘



[그림 11] Top-Down현장 기초보강재 시공 순서

크리트를 타설함으로써 기초보강재를 적용한 기초구조를 완성하게 된다.

3) 기초보강재 시공 사례

기초보강재를 적용하게 되면 원가 및 시공적인 면에서 공사비와 공기를 절감할 수 있으며, 이러한 이유로, 2005년 기초보강재가 개발된 이후로 2010년말 현재 까지 총 50여개 현장에 적용되었고, 앞으로 그 수요는 더욱 증가할 것으로 예상되고 있다.

7. 맺음말

STM 기초보강공법은 (사)한국건축구조기술사회의 기술인정 제 23호로 인증 받은 신기술 신공법으로, 2008년에는 국토해양부 건설신기술 제 548호로도 지정 받았다.

기존의 기초설계 메카니즘인 휨, 전단메카니즘 방식을 벗어나 스트럿-타이 메카니즘을 실질적으로 적용한 최초의 설계 방식이다. 건설 기술 중에서 구조부분은 생명의 안전을 책임지는 기술로 새로운 변화를 시도하기보다는 기존의 경험기술을 그대로 유지하고 싶은 마음이 큰 부분이기도 하다. 신기술 및 신공법의 적용을 활성화하기 위하여 턴키프로젝트에서는 신기술 적용에 대한 가산점을 주고 있으며 신기술 적용 PQ점수를 활성화하고 있으나 구조엔지니어가 기존 기술에서 새로운 공법 적용으로 변화하기란 쉽지 않은 것 같다. 바로나 기초보강재도 적용 실적이 쌓이고 준공된 건물이 늘어나면서 경험기술에 대한 인식으로 전환되면서 서서히 자리잡아가고 있다.

그동안 STM 기초보강공법에 많은 관심과 애정을 보여주신 회원 여러분께 감사드리며, 스트럿 타이 모델을 적용한 바로나 기초보강공법의 소개로 구조엔지니어들 사이에서 좀 더 확산되어 적용이 활성화 될 수 있는 계기가 되었으면 한다.

[표 3] 기초보강재 주요실적

시공사	공사명	적용일	기초두께	
			당 초	변 경
현대건설	판교시공테크 사옥	10. 08.	1400	1100
	한림대의료원 동탄병원	10. 08.	1300/1000	900/750
	전국 경제인 연합 회관	11. 09.	1500/1200	1100/900
GS건설	GS 서교 자이	10. 03.	2200	1800
	GS 금호18구역	10. 04.	1100	900
삼성건설	성균관대글로벌교육시설	11. 03.	800	600
두산건설	대구 위브 더 제니스	06. 11.	3500	2500
	해운대 위브더제니스	08. 08.	4800	3800
	구세군100주년기념빌딩	09. 05.	1800	1400
	일산탄현 위브더제니스	10. 06.	2200	1700
현대 엠코	역삼동 오피스	10. 11.	1000	800
	상봉동 프리미어스	10. 11.	1900/1100	1300/1050
LIG건설	중랑숲 리가	10. 05.	900~600	600
	강남 오피스	11. 01.	1500	1100
	광고오피스텔	11. 06.	1100	800
롯데건설	충남 홍성 아파트	11. 05.	800	600
쌍용건설	서울의료원	08. 11.	1200	900
한화건설	한화 구로비즈메트로	09. 08.	1800	1400
포스코건설	양재동 업무시설	11. 03.	2000	1600
두산중공업	하남 위브파크	09. 04.	2200	1700
진흥기업	다솔스카이스티	10. 03.	1800	1200
한솔건설	연산동 한솔솔파크	06. 01.	1800	1200
서희건설	해운대 인제대 백병원	07. 09.	1500	1000
동일토건	하월곡 동일하이빌	09. 01.	2200	1700