

용접조립 각형CFT 구조 기술개발 (ACT Column)

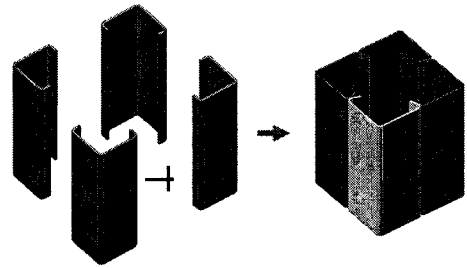
Development of Welded Built-up Square CFT Column Structures

고 수 진 대표이사

ACT PARTNER

1. 서 론

강관을 콘크리트로 충전한 CFT 기둥(Concrete Filled Steel Tubular Column)은 대도시의 인구집중, 토지이용의 한계 등의 문제로 인하여 고층건물의 수요가 증가하면서 구조적 우수성과 시공성 등의 장점으로 인해 일본을 비롯한 여러 나라에서 사용이 증가하고 있다. 그러나 최근 강재 가격의 상승과 고강도 콘크리트의 개발로 인해 보다 효율적으로 강재를 이용하여 강재량을 절감할 수 있는 구조부재 개발에 대한 요구가 높아지고 있다. 한편, Webb and Peyton (1990)는 압축력의 대부분을 콘크리트가 부담하도록 설계된 기둥에 얇은 두께의 강관을 이용하면 매우 경제적인 것으로 보고하였으며, 이와 관련하여 1990년대 초반부터 강관 내부 또는 외부에 강관 폭의 중앙에 기둥의 길이방향으로 스티프너를 설치한 CFT 기둥에 대한 연구가 시작되었다. Ge and Usami(1992)는 10개의 실험체에 대한 실험을 수행하여 내부 스티프너가 기둥의 강성과 내력을 증가시키는 것을 확인하였다. Mursi and Uy(2003)는 CFT 기둥의 국부좌굴이 기둥을 구성하는 플레이트의 세장비와 구속효과에 영향을 받는다는 것을 강관 외부에 스티프너를 설치한 6개의 실험결과를 분석하여 확인하였다. Tao 등(2005)은 강관 내부와 외부에 스티프너를 설치한 Stub Column 실험체 19개를 실험하고 길이방향 스티프너가 강관의 국부좌굴 뿐 아니라 콘크리트 코어에 대한 횡 구속효과를 향상시키며 내부와 외부에 설치된 스티프너가 거의 동일한 성능을 발휘하는 것으로 확인하였다. 이와 같이 강관 내부에 스티프너를 설치하면 보다 효율적으로 강재를 이용할 수 있다. 그러나 기존의 제작방식은 강관을 제작한 후 추가로 스티프너를 설치하게 되므로 용접량이 많아지게 되는 문제가 있다. 따라서 그림 1과 같이 얇은 강관을 π 형으로 절곡한 네 개의 단위 부재를 용접하여 강관을 구성하여 강관폭의 중앙에 설치된 리브가 스티프너 역할을 하도록 하는 용접조립 각형강관을 개발하였다. 이렇게 제작된 강관은 기존의 제작방식과 달리 추가의 용접과정을 생략할 수 있으며 기존의 플레이트를 이용한 스티프너보다 콘크리트와의 부착력이 더 우수한 장점이 있다.

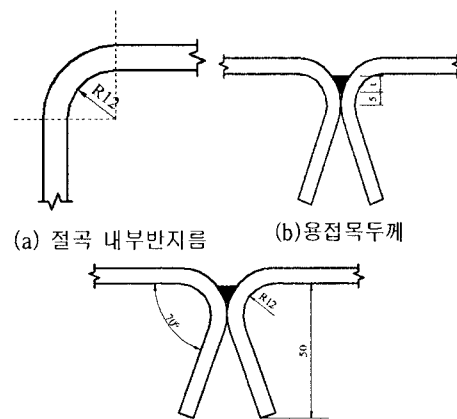


(a) 단면형상 (b) 강관의 구성

그림 1. 용접조립 각형 CFT 기둥

2. 강관의 개발

설계기준과 제작성을 고려하여 폭두께비, 절곡 반지름, 리브의 형상을 결정하였으며 강관의 두께는 6~10.5mm이며 모서리 부분의 절곡 내부반지름은 그림 2(a)와 같이 12mm로 하였다. 강관의 용접은 그림 2(b)과 같이 맞댐 홈 플레어용접(Flare Welding)을 이용하였으며 절곡 원의 중심에서 강관 바깥 방향으로 5mm 떨어진 위치로부터 강관두께 만큼의 용접 목두께를 확보하였다. 용접조립 각형강관은 폭두께비를 완화하고 강관과 콘크리트의 합성효과를 발휘하도록 강관 내부에 리브를 설치하였으며, 리브의 형상은 그림 2(c)와 같이 내부 절곡 각도는 70°, 단면의 내부면으로부터 리브 끝까지의 돌출길이는 50mm이다.



(a) 절곡 내부반지름 (b)용접목두께

(c) 리브 형상

그림 2. 용접조립 각형강관 구성요소

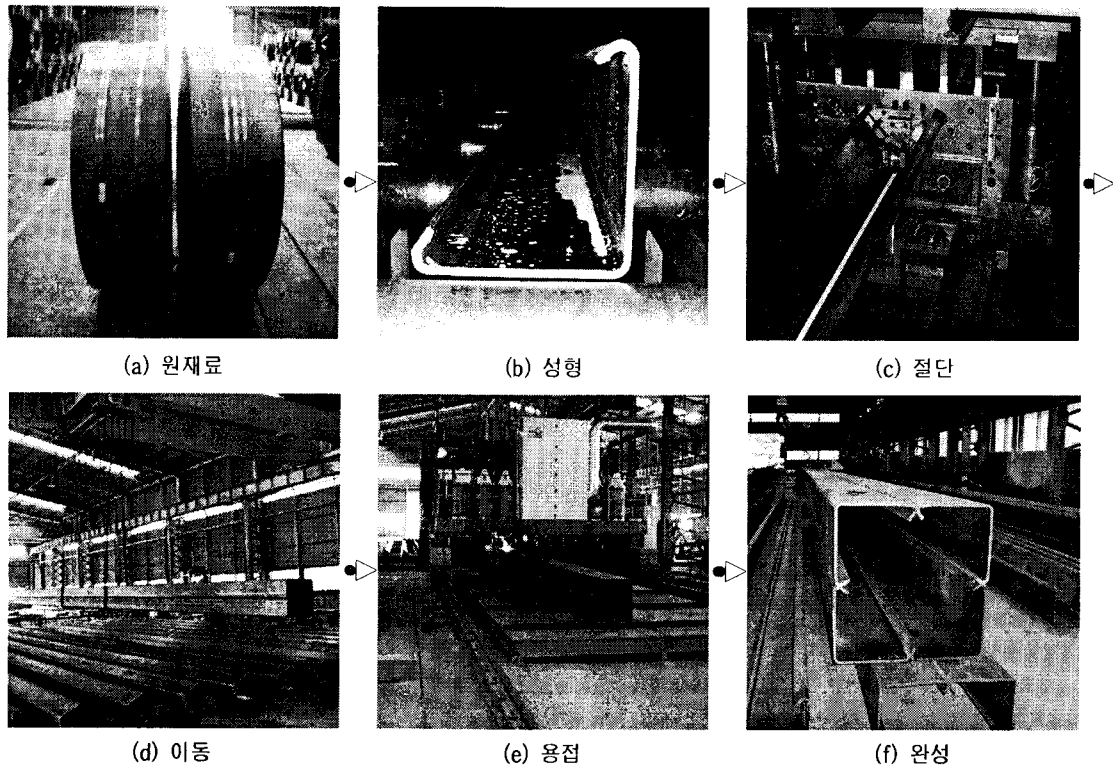


사진 1. ACT-Column의 제작단계

강관의 제작은 사진 1과 같이 원재료→성형→절단→이동→용접→완성의 단계로 이루어지며, 이러한 냉간성형 제작과정의 장점은 복잡한 형상이라도 안정된 제품을 생산할 수 있으며, 정밀한 품질확보 및 균일한 제품으로 공장대량 생산이 가능하기 때문에 제작비가 저렴한 장점이 있다.

할 수 있다.

[강관과 콘크리트의 구속효과]

콘크리트와 강재의 마찰면적이 일반 CFT의 약 1.4배이므로 강재의 콘크리트 구속력이 증가하여 내력 증가 및 좌굴에 유리하다.

3. ACT Column의 장점

3.1 단면 효율성 극대화

[합성효과에 따른 단면 효율성]

ACT Column의 폐쇄형단면이 거푸집 역할을 함으로써 별도의 거푸집이 필요없이 콘크리트와 합성기둥으로 사용할 수 있고 강축과 약축이 존재하지 않으므로 구조적으로 효율적이다. 좌굴길이 8m, 축하중 800tonf기종의 기둥설계시 H형강의 경우 458×417×35×50(단중 415kg/m)의 부재가 필요한데 비해 ACT Column의 경우 512×512×9(단중 165kg/m) 부재 사용으로 가능해 철골단면의 약 60%정도 감소효과가 있다.

[판폭두께비 저감효과]

내부에 절곡된 리브의 앵커효과로 인해 판폭두께비를 저감

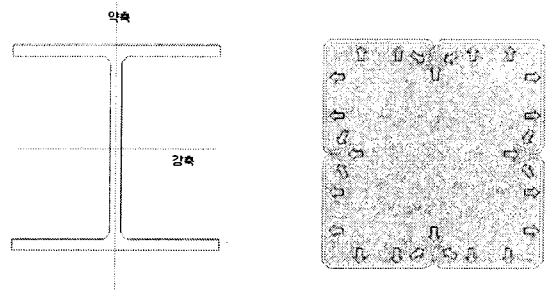


그림 3. ACT Column 단면

3.2 TOP-DOWN공법에 유리

[강재량절감]

TOP-DOWN공법과 같은 지하역타공법은 지하굴착과 병행하여 지하구조물을 형성해 내려가는데 최근에는 무지보역타공법을 많이 사용하여 그림과 같이 지하층고(약 3m)+장비작업공간(약 5m)의 8.5m 내외의 좌굴길이가 필요하며, 또한 시공중 장비하중 및 시공하중이 커서 약 500ton~1,000ton 내외

의 하중으로 설계하게 된다. 상기조건에서 H형강의 경우 약축 때문에 대형 H-Beam이나 Built-up 부재가 필요하게 되는데, ACT Column의 경우 시공하중에 대해 약축이 없고 콘크리트와의 합성효과로 인해 강재량의 40~60% 정도의 절감효과를 볼 수 있다.

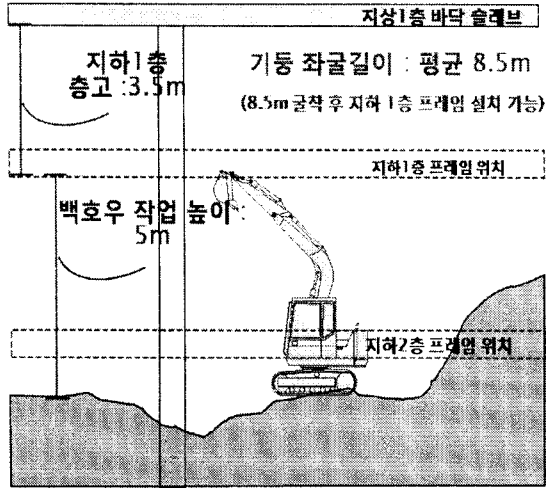


그림 4. 지하층 시공

[자재수급의 효율성]

TOP-DOWN공법 적용시 공사 초기에 기둥공사를 수행해야 함으로 인해 철골부재수급이 공기에 절대적인 영향을 주게 되는데 대형 H형강 및 Built-up 부재의 경우 자재수급기간이 장기화되어 현장운영에 많은 어려움을 겪게 된다. 반면 ACT Column은 공장 자동생산으로 자재수급기간을 단축하여 할 수 있다.

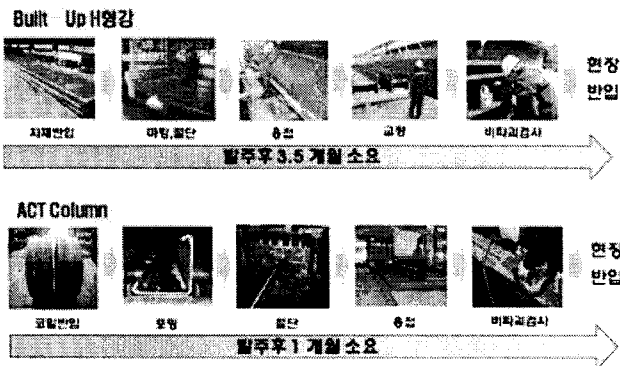


사진 2. 자재 조달기간 비교

3.3. 넓은 작업장 확보가능

아래 사진 3과 같이 작은 단면으로도 기둥비 지지길이가 증가됨으로 인하여 높이가 높은 작업장 확보가능하며 굴착, 타설 등의 작업이 용이하며 철골기둥 공사비의 30~50% 절감효과를 볼 수 있다.

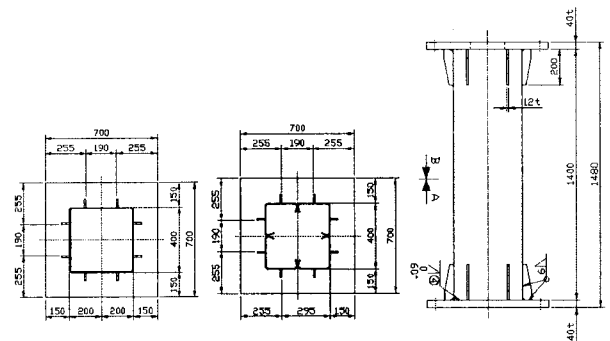


사진 3. 작업장 전경

4. 성능평가

4.1 기둥재

ACT Column의 성능평가는 RIST(포항산업과학연구원)에서 실시하였으며 축하중에 따른 ACT Column의 구조거동을 평가하기 위해 10,000kN급 만능시험기(UTM)를 사용하여 단주실험을 수행하였다. 실험체는 그림 5, 표 1과 같이 두께 6mm의 강판을 사용하여 기둥의 폭(300, 350, 400), 폭두께비(50, 58, 67), 콘크리트의 충전유무를 변수로 총 15개의 단주 기둥 실험체를 제작하였으며, 기둥의 높이는 기둥폭의 3.5배로 하였다. 완성된 실험체 세팅은 표 2와 같다.



(a) 일반강관 (b) 신형상 강관 (c) 입면도
그림 5. 실험체 형상

표 1. 실험체 형상 및 규격

실험체	형상	L (mm)	B (mm)	T (mm)	B/t	강관		콘크리트		Pn (kN)
						As (mm ²)	Fy (MPa)	Ac (mm ²)	Fck (MPa)	
HSC-1	무	1,050	300	6	50	9,168	323.4	-	-	2,947
HSC-2	충전 (HT)	1,225	350	6	58	10,368	323.4	-	-	3,334
HSC-3		1,400	400	6	67	11,568	323.4	-	-	3,720
HSC-4	충전 (HT)	1,050	300	6	50	9,168	323.4	80,119	29.4	4,959
HSC-5		1,225	350	6	58	10,368	323.4	111,419	29.4	6,127
HSC-6		1,400	400	6	67	11,568	323.4	147,719	29.4	7,420
HSC-7	무	1,050	300	6	50	8101	323.4	-	-	1,777
HSC-8	충전 (일반)	1,400	400	6	67	9301	323.4	-	-	1,913
HSC-9	충전 (일반)	1,050	300	6	50	8101	323.4	82,820	29.4	4,681
HSC-10		1,400	400	6	67	9301	323.4	150,420	29.4	6,756

각 실험체의 초기강성, 항복내력, 최대내력은 사진 4에 나타난 것과 같다.

표 2. 구조실험 결과

실험체	초기강성 (kN/mm)	항복내력 Py(kN)	최대내력 Pu(kN)
HSC-1	182	3,614	3,698
HSC-2	173	4,031	4,069
HSC-3	197	4,234	4,284
HSC-4	225	4,512	4,682
HSC-5	232	5,232	5,585
HSC-6	257	5,607	6,523
HSC-7	238	1,924	1,994
HSC-8	195	2,020	2,038
HSC-9	237	2,877	3,428
HSC-10	207	3,180	4,452

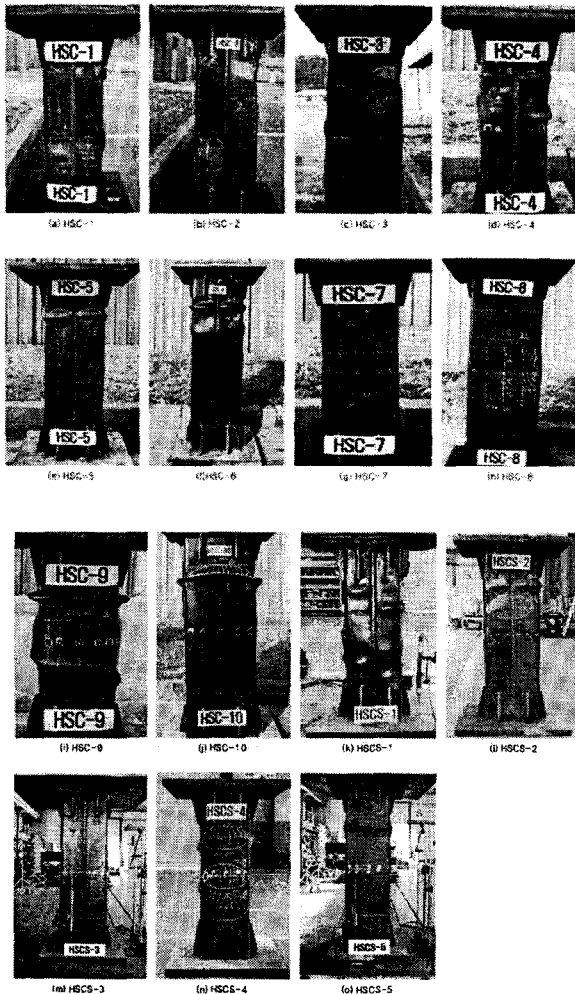


사진 4. 단계별 실험체 세팅 현황

본 논문은 신 냉간성형 각형강관에 대하여 단주 구조실험을 수행하여 다음의 결론을 얻었다.

- 1) 신 냉간성형 각형강관은 일반강관보다 단면효율이 약 36%~38% 높은 것으로 나타났으며, 최대내력도 무충전

각형강관에서는 약 37%, 콘크리트 충전 각형강관에서는 약 20%의 내력이 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 신 냉간성형 각형강관 기둥은 강재의 단위면적당 효율을 증가시킬 수 있는 우수한 단면 형태로 판단된다.

- 2) 신형상 강관은 일반강관에 비해 내부 앵커용 리브의 효과에 의해 강관의 전단면이 유효단면이 되므로 일반강관에 비해 강성이 높게 나타난 것으로 판단된다.
- 3) 10.55MPa 콘크리트를 사용한 □ 300×6 ~ □ 400×6 신 냉간성형 각형강관 기둥은 무충전 상태에서 충전강관 내력의 66%~79%를 발휘할 수 있으므로 시공성 확보가 가능할 것으로 판단된다.
- 4) 신 냉간성형 각형강관의 최대내력은 LRFD 설계 최대내력(Pu)보다 높게 나타나므로 신 냉간성형 각형강관의 설계에 강도 저감계수를 적용한 AISC(2001) LRFD와 KBC-S 2005 사용은 적합하다 판단된다.
- 5) 향후 고강도재료(콘크리트, 강재)의 적용과 무내화 피복의 실현을 위해 얇은 강관을 사용한 CFT 기둥의 사용이 확대될 것으로 판단된다.

4.2. 접합부

그림 6과 같이 보 플랜지의 응력 전달에 있어 강관에 대한 영향이 상대적으로 적은 외다이아프램을 선택하여 기둥-보 접합부 디테일의 제안 및 절곡 강판과 외다이아프램으로 구성된 단순인장 실험체를 제작하였다. 실험체는 기둥-다이아프램 용접량, 기둥-보 플랜지 용접 유무, 강관의 형태, 콘크리트 충전 유무 등을 변수로 표 3과 같이 9개를 제작하였으며, 하중가력은 3,000kN급 유압식 만능 시험기(UTM)를 사용하여 0.015mm/sec의 변위제어로 가력하였다.

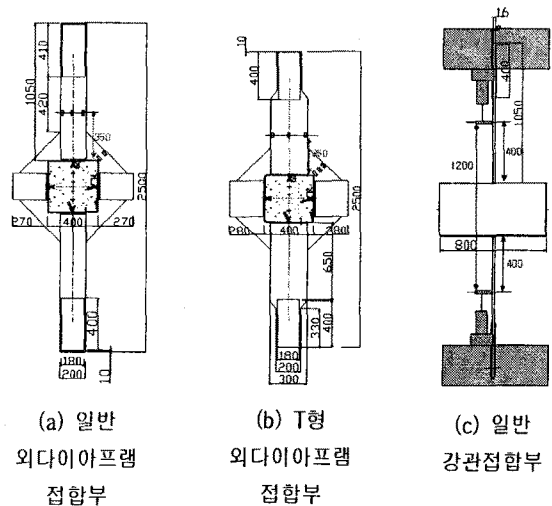











그림 6. 실험체 형상

표 3. 실험체 파괴유형

각형 기둥	플랜지		다이아프램		플랜지 용접 유무	기둥-다이아 프램 용접 [T형마구리 플레이트]	30MPa 콘크리트 충전
	폭	두께	폭	두께			
1	200	16	135	16	○	1	○
2	200	16	135	16	×	1	○
3	200	16	135	16	×	1/2	○
4	200	16	135	16	×	1	×
5	300	20	200	20	×	1	○
6	200	16	135	16	○	-	○
7 일반	200	16	135	16	○	-	○
8	200	16	135	16	×	1/T형[120]	×
9	200	16	135	16	×	1/T형[120]	○

실험체	하중(kN)			파괴 유형	파괴유형 사진
	설계 내력	항복 내력	최대 내력		
HT-1	753	803	1291	보플랜지-다이아프램면 파단	
HT-2	753	799	1311	보플랜지-다이아프램면 파단	
HT-3	753	819	1355	보플랜지-다이아프램면 파단	
HT-4	753	805	1300	보플랜지-다이아프램면 파단	
HT-5	1411	1515	2210	보플랜지-다이아프램면 파단	
HT-6	753	0	414	보플랜지-기둥면 파단	
일반-7	753	0	357	보플랜지-기둥면 파단	
HT-8	753	818	1172	보플랜지-다이아프램면 파단	
HT-9	753	836	1191	보플랜지-다이아프램면 파단	

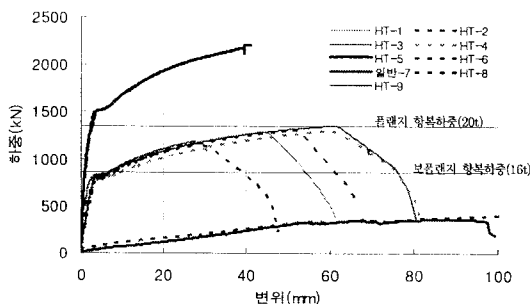


그림 7. 실험체 하중-변위 곡선

신 냉간성형 각형강관 기둥-보 접합부의 접합상세 결정을 위한 단순인장 실험결과에 따른 비교·분석을 통하여 다음의 결론을 얻었다.

- (1) 기둥과 다이아프램간 용접량을 1/2로 줄여 실험한 결과 용접량을 다 채운 실험체의 실험값과 별 차이가 없으므로 나타나 외다이아프램과 강관은 부분용입용접으로 접합해도 무리가 없다고 판단되며 보플랜지와 외다이아프램은 축력 전달이 직접적으로 이루어지는 부분이므로 완전용입용접방식의 용접을 적용함이 바람직하다고 판단된다.
- (2) 기둥과 보플랜지 사이의 용접은 가력시 최대내력에 큰 영향을 주지 않는 것으로 나타났으며 기둥면이 아닌 외다이아프램을 통하여 충분한 인장력 전달이 가능하므로 박판인 기둥과 보 플랜지는 용접을 하지 않아도 큰 영향이 없을 것으로 판단된다.
- (3) 외다이아프램이 없는 HT 단순인장 접합부는 인장력 발생시 기둥면이 박판인 관계로 바로 찢겨져 초기에 강성이 상당히 낮게 나타나며 외다이아프램 설치시 강성 및 내력이 크게 증가하였다.
- (4) 콘크리트 충전시 무충전 실험체에 비하여 내력이 소폭 상승하였으며, 내부 앵커가 설치되어 있는 HT실험체가 일반 강관실험체에 비하여 콘크리트에 대한 앵커효과로 인해 내력이 더 높게 나타났다.

5. 결 론

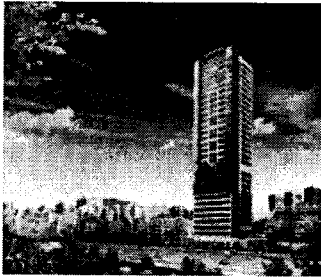
ACT Column은 얇은 철판을 절곡한 단위부재를 이용함으로써 종래의 폐쇄형 철골부재에 비하여 경제적인 제작이 가능해지고 단위부재 상호간의 접합을 위해 형성된 절곡부의 구성 때문에 얇은 단면을 가지는 철판으로 제작되면서도 큰 좌굴내력을 발휘하는 조립식 폐쇄형 철골부재를 제공할 수 있다. 특히 조립식 폐쇄형 철골부재는 그 자체로 거푸집 역할을 하게 되므로 내부에 콘크리트를 충전함으로써 CFT로서의 구조적인 이점을 살릴 수 있게 되며, 이때 절곡부가 폐쇄형 철골부재 내부로 돌출되도록 형성됨으로 콘크리트의 구속력 증대효과를 발휘하게 된다. 또한, 조립식 폐쇄형 철골부재를 사용하여 상호간 연결 설치하거나 다른 부재와 접합 설치하는 경우 접합부와 연결부의 보강을 간단하면서도 용이하게 처리할 수 있게 되어 향후 현장적용에 유리하여 많이 사용될 것으로 예상된다.

*** 현장적용사례**

1. 지하층적용(일반역타/TOP-DOWN공법 적용)

1) 동탄 오피스텔 신축공사

[공사개요]



- 대지위치:경기도 화성시 동탄면
- 건축규모:지하5층, 지상30층
- 건축면적:1,156m²
- 연 면 적:23,396m²
- 지하면적:7,597m²
- 건물용도:오피스텔
- 기둥:지상(SRC) / 지하(피복층전콘크리트)
- 역타공법:SPS

[적용효과] 기둥물량 37%감소



7. 기둥고정



8. 내부콘크리트타설

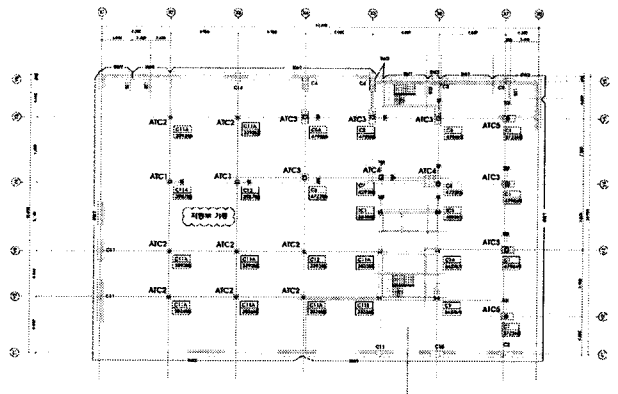


9. 일단굴착

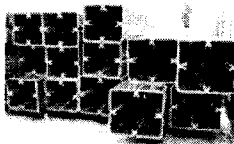


10. 1단프레임설치

[평면도]



[시공과정]



1. ACT Column 자재반입



2. 기둥이음



3. PRD천공



4. PRD기초타설

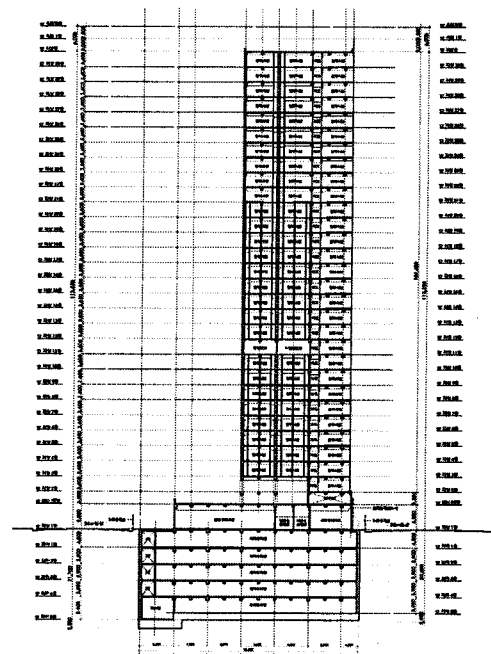


5. 기둥이동

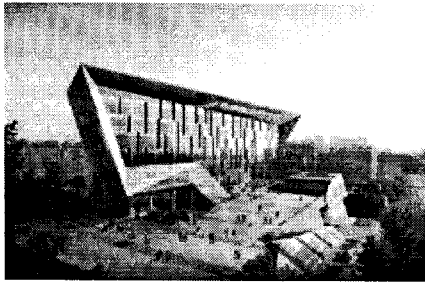


6. 기둥근입

[단면도]



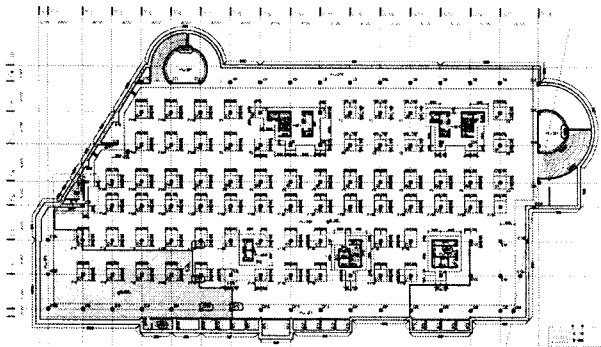
2) 용산 종합 행정타운 신축공사



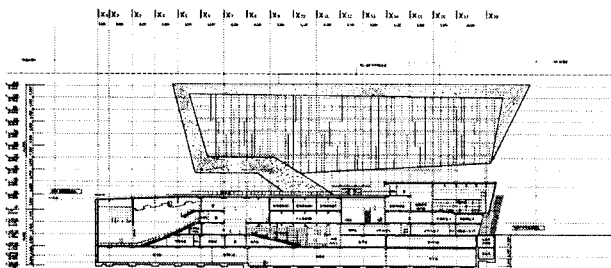
- 대지위치: 용산구 이태원동 34-87
- 건축규모: 지하5층, 지상10층
- 건축면적: 7,670m²
- 연 면 적: 59,068m²
- 지하면적: 16,168m²
- 건물용도: 공공업무시설
- 기둥: 지상(SRC) / 지하(피복층전콘크리트)
- 역타공법: BRD

[적용효과] 기둥물량 47%절감

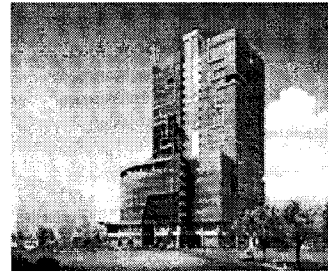
[평면도]



[단면도]



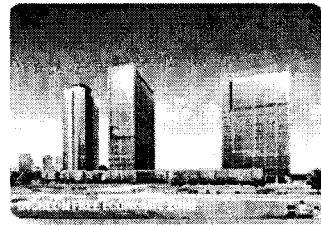
3) 서울숲 디지털타워 신축현장



- 대지위치: 서울시 성동구 성수동 308-4
- 건축규모: 지하3층, 지상20층
- 대지면적: 7,912m²
- 연 면 적: 56,857m²
- 지하연면적: 18,897m²
- 건물용도: 공공업무시설
- 기둥: 지상(SRC) / 지하(피복층전콘크리트)
- 역타공법: SYSS

[적용효과] 기둥물량 43%절감

4) 송도국제업무단지 복합업무시설



- 대지위치: 인천경제자유구역 송도지구
- 건축규모: 지하4층, 지상45층
- 건축면적: 18,407m²
- 연 면 적: 201,571m²
- 지하연면적: 58,097m²
- 건물용도: 공공업무시설
- 기둥: 지상(RC) / 지하(피복층전콘크리트)
- 역타공법: NSTD

[적용효과] 기둥물량 1053ton에서 649ton으로 39%절감

5) 서초 꽃마을 신축공사



- 대지위치:서울시 서초동 1656-4외4필지
- 건축규모:지하5층, 지상16층
- 건축면적:1,092m²
- 연 면 적:19,059m²
- 지하연면적:7,474m²
- 건물용도:공동주택, 근린생활시설
- 기둥:지상(RC) / 지하(피복충전콘크리트)
- 역타공법:SPS

[적용효과] 기둥물량 152ton에서 70ton으로 54%절감

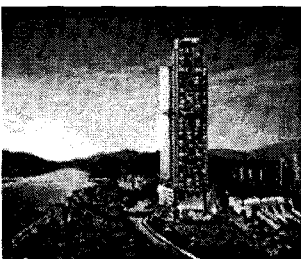
6) 쌍림동 업무시설 도시환경정비사업



- 대지위치:서울시 중구 쌍림동 146-23번지
- 건축규모:지하5층, 지상20층
- 건축면적:3887m²
- 연 면 적:80,400m²
- 지하연면적:28,552m²
- 건물용도:업무시설,판매시설
- 기둥:지상(SRC) / 지하(피복충전콘크리트)
- 역타공법:SPS

[적용효과] 기둥물량 641ton에서 471ton으로 27%절감

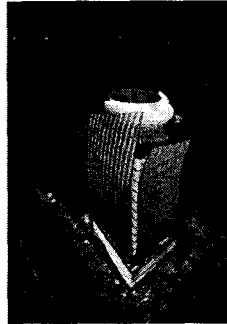
7) 양평 오스타코아루 주상복합 신축공사



- 대지위치:양평군 양평읍 양근리 376-8번지 외 8필지
- 건축규모:지하5층, 지상38층
- 건축면적:2,111m²
- 연 면 적:58,000m²
- 지하연면적:9,816m²
- 건물용도:공동주택,판매시설
- 기둥:지상(SRC) / 지하(피복충전콘크리트)
- 역타공법:SPS

[적용효과] 기둥물량 230ton에서 168ton으로 27%절감

8) 광주 상무지구 콜센터 신축공사



- 대지위치:광주광역시 서구 치평동 1247-4
- 건축규모:지하5층, 지상15층
- 건축면적:1,638m²
- 연 면 적:32,840m²
- 지하연면적:11,966m²
- 건물용도:업무시설, 근린생활시설
- 기둥:지상(SRC) / 지하(피복충전콘크리트)
- 역타공법:SPS

9) 한국 SGI기념강단 신축공사

- 대지위치:서울시 구로구 구로 5동 45번지
- 건축규모:지하5층, 지상5층
- 건축면적:3,538m²
- 연 면 적:29,882m²
- 지하연면적:20,529m²
- 건물용도:종교시설
- 기둥:지상(SRC) / 지하(피복충전콘크리트)
- 역타공법:SYSS

2. 전층적용

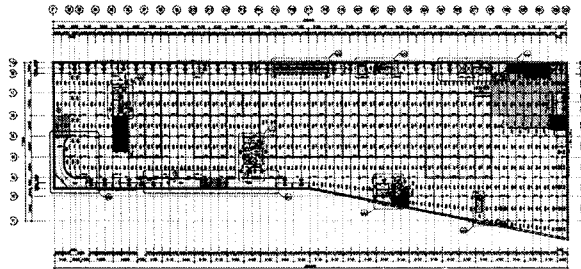
1) 한국국제전시장 상업시설 II 신축공사



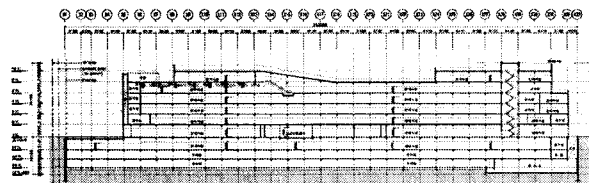
- 대지위치:경기도 고양시 일산 서구 대화동261
- 건축규모:지하3층, 지상6층
- 건축면적:11,705m²
- 연 면 적:99,803m²
- 지하연면적:48,605m²
- 건물용도:판매시설
- 기둥:지상(CFT) / 지하(피복충전콘크리트)
- 역타공법:SYSS

[적용효과] 기둥물량 2608ton에서 1793ton으로 31%절감

[평면도]



[단면도]



3. 지상층적용

1) C&S물류센터 신축공사



- 대지위치: 부산 광역시 부산산항
- 건축규모: 지하3층
- 건축면적: 5,628m²
- 건물용도: 업무시설
- 기둥: CFT

[적용효과] 기둥물량34%절감

[참고]

1. SRC:H형강 + RC피복
2. 피복층전콘크리트: ACT Column + RC피복
3. CFT: ACT Column