

# 자동화시공의 가설계획과 안전

자동화공법이란 건축생산시 지금까지의 노동생산성 향상과 기후조건에 좌우되지 않는 쾌적하고 안전한 작업환경을 창출하기 위한 목적으로 개발된 공법이다.

원리는 제조업의 FA(Factory automation)방식을 도입해 '건설현장의 공장화'를 기도한 것이지만 단독개별작업(單獨個別作業)의 기계화라는 흐름에서 설계와 시공의 융합을 도모하여 자동화에 적합한 구공법(構工法)을 채택하는 방향으로 추진되었다.

지금까지는 이들 공법에 대해 논할 때 기계화, 자동화시스템과 생산성 향상과의 관련성이라는 관점이 많았지만 약간 관점을 달리해 大林組의 실 사례를 소개하면서 가설설비와 작업환경에 대한 '안전'에 초점을 맞추어 기술해 보고자 한다.

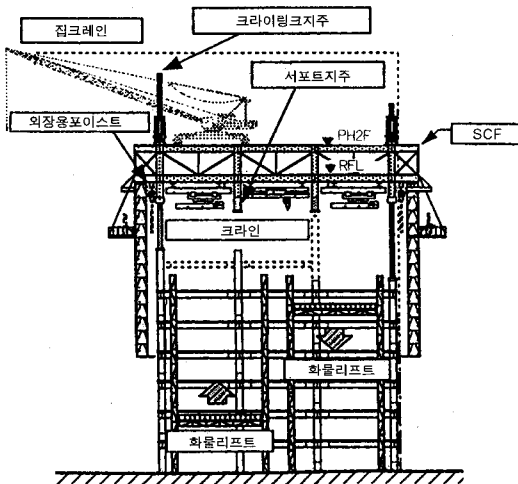
## 자동화 시공의 개요

제조업에서 취한 기계화, 자동화를 목표로한 하드 측면의 생산기술의 혁신과 컴퓨터, 정보통신 기술을 구사한 소프트 측면의 관리기술의 고도화를 통합한 생산시스템은 생산현장인 '공장'에 집약적으로 그 모습을 나타내고 있다.

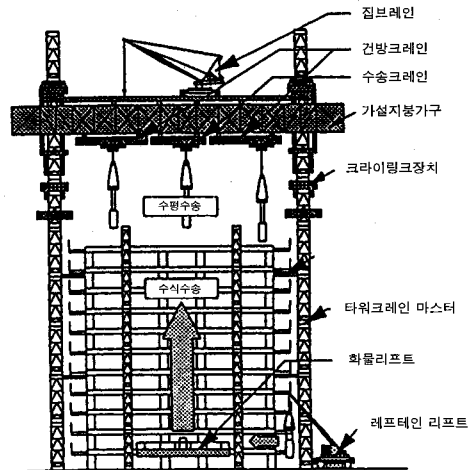
즉 건설현장을 이와 같은 공장의 모양으로 근접시켜 나가는 데에는 적어도 다음의 세가지 점이 중요한 요소이다.

## 현장공장화(現場工場化) 성립 요소

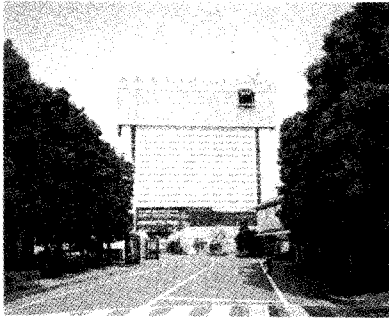
- ① 기후조건에 좌우되지 않는 정비된 양호한 작업 환경 확보



〈그림 1〉 ABCS 공법개요



〈그림 2〉 Big-Canopy 공법개요



〈사진 1〉 ABCS 공법시공 모습

- ② 공장과 같은 생산 하부구조 정비
- ③ 현장 생산 과정이 전체 건축생산시스템 안에서 그 구성요소의 하나로 명확하게 자리를 잡고 상류와 하류의 프로세스가 제휴되어 있을 것

자동화 시공은 이러한 배경에서 고층빌딩 건설에 종래의 타워 크레인과는 다른 인양 운반 시스템을 채택하여 작업공간에 지붕을 가설하여 전천후화하고 자동화, 정보화 기술을 융합하여 단순한 '기계화시공'에서 일보 전진한 '장치화(裝置化)시공'으로 나간 것에 불과한 것이다.

장치화시공에서는 용도, 구조, 규모가 달라도 범위는 한정되고 하나의 장치로 커버될 수 있는 것이 바람직하다.

그러나 이것이 반드시 효율적이라고는 할 수 없으므로 大林組에서는 기본적으로 구조 면에서 대상을 구별하여 두개의 시스템을 가지고 있다. 즉 철골조용으로는 ABCS공법(Automated Building Construction System), 철근콘크리트조에서는 Big-Canopy공법을 사용한다.

서브타이틀로는 전자동빌딩건설시스템, RC자동화건설시스템 등으로 이름을 붙여 그것이 의도하는 바를 나타내고 있다(그림 1, 2, 사진 1, 2).

### 시스템 개요와 주요가설 설비

ABCS공법과 Big-Canopy공법은 대상이 되는



〈사진 2〉 Big-Canopy 공법에 의한 시공 모습

건물구조가 다르기 때문에 시스템상에서는 다르지만 기본적인 구성요소는 공통적이다.

다음에 이들 공법의 특징인 기본적인 주요 가설설비에 대해 소개한다.

### 건물전체를 덮는 전천후 지붕

Big-Canopy공법의 명칭은 바로 여기서 유래하는데 ABCS공법은 SCF(Super Construction Factory)라 부른다. 이것은 공장이 되는 지붕 구체(軀體) 내부에는 조립용 천장 크레인이 설치된다. 옥상에는 집크레인(Jib Crane)을 설치하여 조립중

의 보조 작업이나 해체작업시 하역을 한다.

Big-Canopy공법의 경우에는 이 지붕구조구체(構造軀體)와 지붕재(材)는 모두 가설(假設)이고 조립 완료후 모두 해체 철거되지만 ABCS공법에서는 구조 구체는 본설철골(本設鐵骨)의 최상층인 2층을 이용하고 있다. 일부 가설보강을 한 것은 조립 완료 후 이 가설보강 부분만 해체 철거한다.

또 ABCS공법에서는 건물외주(外周)를 벽으로 싸서 보다 완벽한 전천후 작업공간을 만들고 있다.

### 지붕구체의 지지와 상승(하강)기구

Big-Canopy공법에서는 건물 밖의 네모통이 지상에 포스트를 세워 가설지붕가구(架構)를 지지하게 한다. 이 지지기둥에서는 타워 크레인의 포스트를 사용하는데 지붕의 상승(하강)은 타워크레인의 클라이밍 장치를 이용하고 상승, 또는 하강에 수반하지 않은 필요한 포스트의 연결 또는 철거는 옥상의 집크레인으로 한다.

ABCS공법에서는 조립 완료한 본설주(本設柱) 위에 세우는 가설(假設) 지지주(支持柱:클라이밍 支柱)로 지지한다. 이 클라이밍 지주는 SCF골조를 관통하고 있고 그 정상부에 클라이밍 장치를 설치하고 있다. 상승·하강의 메커니즘에서 Big-Canopy공법의 타워 크레인의 클라이밍 장치와 잭(Jack)스트로크 및 잭 등 그 자체의 기구(機構)는 다르지만 기본적으로는 공통된 것이다.

### 인양·수평 운반 설비

전천후 공간을 만들어 내는 지붕은 타워크레인 사용과 병행할 수 없기 때문에 부재의 운반은 별도의 장치를 강구해야 한다. 타워크레인은 수직·수평운반 그 자체는 가능하지만 ABCS공법과 Big-Canopy공법에서는 수직 운반과 수평 운반을 분리하여 지붕구체와는 관계없이 설치한 화물리프트로 수직 인양하고 조립이 완료된 층에서는 지붕구체의 천정에 설치한 천정크레인으로 수평 운반을 하는 방식을 택하고 있다. 즉 화물리프트와 천정크레인 이 동시에 가동하면서 부재를 병렬(並列)로 운반하는

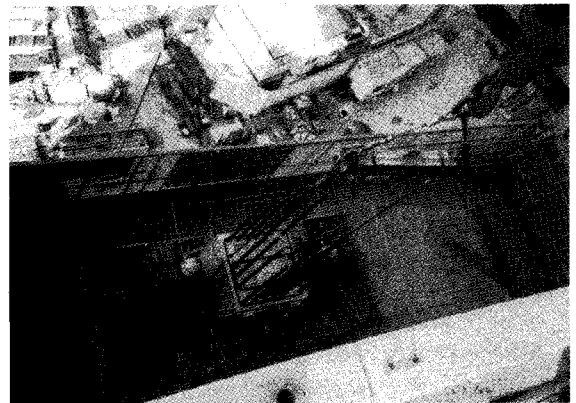
방식이다. 지상의 하역은 트럭에서 직접 실어들이는 경우를 제외하고는 화물리프트에 싣기 위하여 포크리프트를 사용하였으나 화물리프트에 싣기까지의 스톱야드에서 가져오는 수평 운반은 포크리프트에 자주식 전용 대차(台車)도 활용하였다.

### ■ 화물리프트

최근 일본내의 Big-Canopy공사는 하대(荷台)가 2.5m×9.5m, 적재능력 7.5t, 사보 모터, 핀 로크 방식으로 승강속도는 5.5m/min의 형식을 새로 개발하였다. 하대(荷台) 중앙부에 콘크리트 버킷과 PCa기둥 부재삽입용으로 구멍을 설치하였으나 운반작업의 효율화와 안전성의 향상에 효과를 볼 수 있었다(사진-3). ABCS공법용의 것은 보다 대형이고 최근 공사에 사용한 것은 하대규격이 2.7m×9.1m, 적재능력 13t, 승강속도 70m/min이다. 어느 것이나 공사진척에 맞추어 1층 높이씩 포스트를 이어 나간다.

### ■ 천정크레인

개발 당시의 Big-Canopy공법에서는 3대의 호이스트 크레인을 지붕밀면에 설치한 거더의 움직임에 병행하면서 조립하고 있는 층 전체 구역을 커버하는 방식이었다. 새로운 타입은 호이스트방식으로부터 ABCS공법에서 사용하고 있는 것과 같은 선회식(旋回式)으로 하고 있다. 그렇게 함으로써 작업범위를 넓힘과 동시에 화물리프트에서 직접 짐을 내릴 수 있



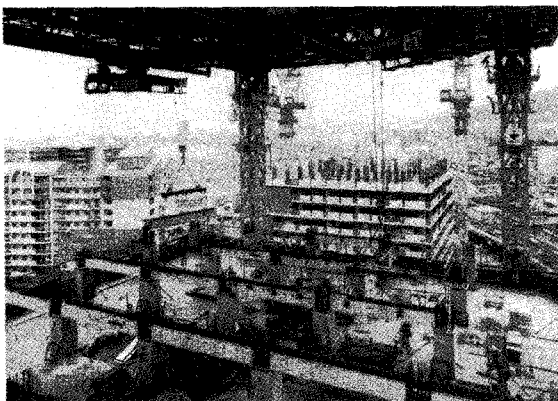
(사진 3) 화물리프트에 의한 운반

도록 하여 효율화를 기했다. 현수능력은 Big-Canopy공법용이 8톤이고 ABCS공법용이 13톤이다.

## 작업순서, 가설설비와 안전성

### Big-Canopy 공법

Big-Canopy 공법의 대상이 되는 고층의 대형 RC구조물은 일본의 경우 주로 집합주택이다. 이것들은 순전히 현장타설 콘크리트라고는 할 수 없고 기둥, 벽, 보, 상판, 발코니 등의 구체부재는 순 PCa 또는 반 PCa를 포함한 PCa화를 하여 설비·마감재의 유닛화와 더불어 프리화브리케이션화·공업화를 기도하고 있다. 즉 PC 적층공법(積層工法)이라 부르는 것으로 조립시에는 타워크레인이 사용되는 것이 보통이다. 가설설비면에서 이 공법과 기존공법과의 차이는 현장의 외관상에서도 분명히 드러나듯이 Canopy(지붕)와 인양·수평 운반설비에 있다. 이 점을 빼면 취급하는 부재의 크기, 무게 등 다소 차이가 있지만 조립순서라든가 작업층 레벨에서의 가설설비, 안전설비에 있어서는 기본적으로 차이는 없다. 예를 들면 외주(外周) 둘레, 발코니의 거푸집 작업이라든가 PCa 발코니반이 지보공조립작업의 경우에는 특히 위험한 작업으로 지금까지 하고 있는 추락·낙하방지를 위한 연구는 그냥 그대로 추진되고 있을 뿐이고 Big-Canopy공법이라고 해서 특별히 가설계획이 가능한 것도 아니다.



〈사진 4〉 지붕 밑 작업은 안전성 향상을 도모한다.

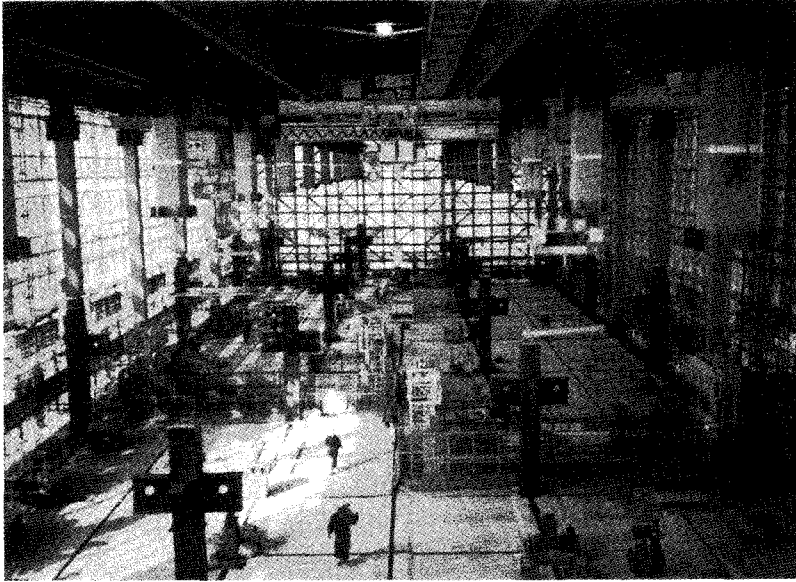
■ 지붕이 있다는 것에 따른 안전성 향상  
작업하는 장소가 비를 맞지 않기 때문에 미끄러져서 넘어지는 사고와 누전사고 등이 거의 발생하지 않게 된다. 또 여름철 따가운 햇볕을 막아주기 때문에 피로를 경감하는 효과가 있어 작업원에게는 큰 이점이 되고 있다. 그러나 외주둘레에 벽이 없어 비가 뿜어 들어오기 때문에 젖는 것까지 완전히 막을 수는 없다.

■ 천정크레인으로 조립함으로써 안전성 향상  
타워크레인에 의한 작업과는 달리 운전자가 들어 올리는 물건과 같은 작업 바닥상의 바로 옆에서 원격조작을 하기 때문에 들어올리는 물건의 위치관계를 자기 눈으로 확인할 수가 있다. 따라서 설치하는 작업원과의 커뮤니케이션도 정확하게 되고 또 순간적으로 할 수 있어 능률이 올라갈 뿐아니라 안전한 작업을 할 수가 있다(사진-4).

외주 둘레에 벽이 없어 바람이 들어오지만 천정크레인의 현수와이어는 짧고 물건의 흔들림이 적다. 리프트에 의한 인양과 함께 바람에 의한 영향을 받지 않고 바람으로 인한 작업불능일은 거의 발생하지 않고 있다.

### ABCS공법

ABCS공법은 기둥, 보, 상판, 외장재 등의 부재를 화물리프트로 작업층까지 운반하여 SCF천정크레인으로 소정의 위치까지 수평운반을 하며 조립, 설치가 완료된 후에는 클라이밍장치로 SCF를 1개층 상승시킨다. 이 순서를 반복함으로써 연속적으로 상층으로 추진해 나간다. 즉 ABCS공법의 실태는 이 작업순서에서도 알 수 있듯이 PC적층공법(積層工法)의 S조판(S組版), 즉 '천천후S조적층공법'이라고 부를 수 있는 성격의 것이다. 이러한 순서에서 외관상으로는 〈사진 1〉에서 보는 바와 같이 SCF라 하는 지붕과 이 지붕에 매달린 외주가구(外周架構)가 건설중인 건물정상부를 덮고 그 밑으로 유리도 끼우고 시일링도 완료한 외장이 부착된 건물이 한층씩 모습을 들어내게 된다. 더욱이 Big-Canopy공법에서는



〈사진 5〉 층마다 작업바닥이 확보된다.

큰지붕은 2개층의 시공을 마칠 때마다 2개층을 클라이밍한다.

■ 층마다 작업바닥이 확보됨에 따른 안전성 향상  
내부에서는 종래의 공사와 달리 플로어마다 철골의 조립, 죄이브 용접을 완료하여 바닥을 깔아나간



〈사진 6〉 空出물이 없는 하프 PCa판을 사용한 예

다. 최근 시공 예를 보면 바닥재는 하프 PCa판을 사용하고 있는데 이 PCa판은 상면이 평편하고 지금까지의 철골공사에서 볼 수 있는 고소작업(高所作業)이 격감되었다. 따라서 고소작업에 필요한 비계와 안전설비가 불필요하게 되고 가설자재가 삭감됨과 동시에 안전성도 향상된다. 철골보의 조립시에는 볼트조임작업에 고소작업차(高所作業車)를 이용하고 있는데 바닥하프 PCa판 타입은 이 고소작업차가 주행할 수 있는 관점에서 선정할 것이다(사진6).

일부 설비기계설의 바닥은 데크 플레이트(deck plate)이기 때문에 고소작업차는 사용하지 않고 도박을 사용하여 작업을 하였으나 이 경우에도 바로 밑의 바닥에 이미 데크 플레이트가 부설되어 있기 때문에 도박 그 자체의 가설과 철거를 포함하여 재래식으로 조립할 때와 비교하면 보다 안전하게 작업을 할 수가 있었다.

철골기둥을 다시 세우거나 조인트 용접작업, 용접부위의 검사도 안정된 작업바닥에서 할 수 있기 때문에 안전성은 물론 품질도 향상되는 큰 이점을 확보할 수가 있었다.

노드(node)분할, 조인트의 위치에 대해서도 재래의 것과 약간 모양이 달라지고 있다. 보통 1노드(節)는 3개층으로 하고 조인트 위치는 동일한 레벨이나 ABCS공법에서는 기둥 조인트 개소가 그만큼 불어나는 것은 마이너스 요인이지만 1노드를 2개층 높이로 하고

조인트 위치는 기동전체 개수의 반(半)마다 한 개 걸러 레벨을 물리는 것으로 하고 있다. 그 결과 각종마다 기동전체 개수의 반을 용접하게 된다.

■ 지붕, 외주가구(外周架構)로 피복함으로써 안전성의 향상

Big-Canopy공법에서는 지붕은 있지만 외주에 벽이 없어 비가 약간 날라드는 것은 피할 수 없었으나 ABCS공법에서는 비와 바람을 막을 수 있어 보다 좋은 작업환경을 만들고 있다. 외주가구는 안전대책상 중요한 역할을 하게 되는 것으로 재래공법에서 외주수직(外周垂直) 양생네트를 선행하여 설치하는 것을 대신할 수가 있다.

여기에는 작업발판도 설치되게 돼 있지만 조립작업층 레벨의 외주둘레 개구부(開口部)는 막혀져 있고 날라떨어지는 물체의 방지와 추락낙하의 위험이 없도록 해두고 있다. 또 외부발판으로 외주기둥 바깥둘레의 용접작업도 할 수 있고 동시에 유리, PCa 커튼 월 실링까지를 조립 덕트(duct)안에서 처리할 수 있어 종래의 공법에서 후공정으로 되어 있는 곤돌라를 이용한 작업이 불필요하게 된다. 외주에 벽을 두르는 일은 이외에도 용접작업시의 방풍대책으로도 유리하고 소음 억제나 미관을 해치지 않고 빌딩을 건설할 수 있다고 하는 현장주변환경 배려 차원에서도 좋은 평가를 받고 있다.

■ 천정크레인으로 조립함에 따른 안전성 향상

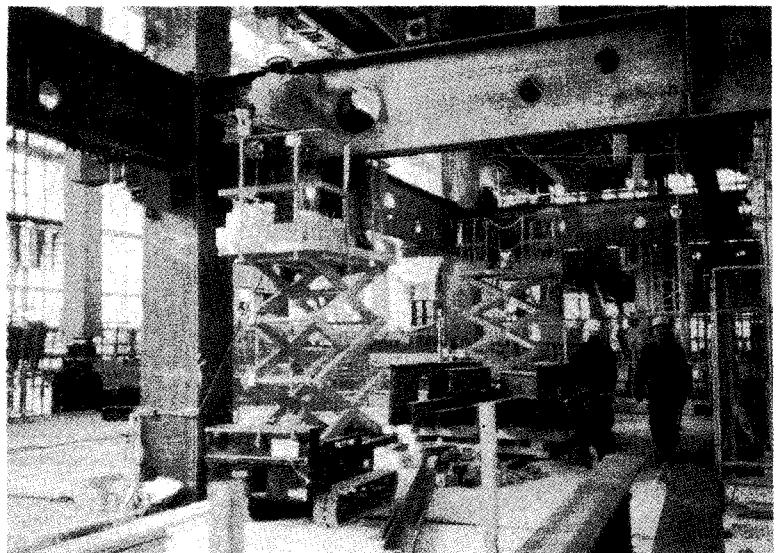
화물리프트로 조립층까지 인양된 부재는 설치위치까지 천정크레인으로 운반하게 되는 데 이 작업은 자동운전이 될 수 있는 시스템으로 되어 있다. 그러나 최근에 실시한 공사에서는 완전 자동은 아니고 설치위치 근방까지 운반한 다음 조립·설치작업은 인력으로 하도록 하고 있다.

화물리프트 위에서 운반되어 온 부재의 옥괘(玉掛: 크레인에 걸기 좋게 묶는 것)작업과 함께 이 작업을 천정크레인으로 하는 것이 좋다고 하는 것은 미묘한 위치를 맞추는 일도 간단·신속하게 할 수 있다는 것이고 이것은 Big-Canopy공법에서 기술한 내용과 똑 같다. 더욱이 크레인에 걸기 좋게 묶는 것을 푸는 것도 기둥, 보, 커튼 월 등 취급하는 부재에 따라 개발된 전용 현수지그(治具:가공물을 공작기계에 장치하고 사용하는 공작기계의 날을 정확하게 대는 일을 하는 도구)와 일체가 된 자동의 옥괘푸는 장치를 사용하여 사람의 손을 사용하지 않을 수 있도록 하고 있다.

안전면에서 본 자동화공법의 자리매김

■ 현장담당자의 의식

(사)일본건축학회의 생산관리소위원회에서 실시한 '안전관리의 실태와 공사관리자의 의식'(1999.6.3)에 대한 앙케이트 조사 결과를 보면 건축학회·생산관리소위원회에서 건설산업의 노동안전 문제를 둘러싼 현황과 안전관리 실태 및 현장담당자의 의식 실태를 조사하는 것을 목적으로 소위원회에 참가하고 있는 종합건설업체 중에서 '안전관리에



〈사진 7〉 고소작업차의 유효이용

대하여 높은 의식을 가진' 작업소 소장을 중심으로 양케이트 조사를 실시하였다. 그 중에서 직접 물음에 대한 대답은 아니지만 새로운 기계화나 자동화 그리고 성력화(省力化) 구공법(構工法)이라 부르고 있는 것에 대한 안전성의 향상을 위한 바람직한 것으로 다음과 같은 의견을 찾아 볼 수 있었다.

- 작업원이 줄었으면 좋겠다.
- 시공프로세스가 합리적이고 직종(職種)이 줄었으면 좋겠다.
- 공정의 흐름에 따라 동일작업인이 시공할 수 있으면 좋겠다.
- 고소작업에서 추락을 막을 수 있는 공법이 되었으면 좋겠다.
- 작업환경이 좋아졌으면 좋겠다.

■ 자동화시공시스템을 개발하여 실용화를 기하고 있는 종합건설업체 담당자의 의식

(사)일본건축학회의 건축자동화소위원회의 빌딩 자동화시공 시스템에 관한 조사연구 보고서(1998.3)에 따르면 각 종합건설업체는 자동화시공시스템의 개발과 실용화에 대처하고 있으나 안전면에서 각사가 어떻게 평가하고 있는 가, 무엇을 가지고 안전

성 향상에 연결된다고 보고 있는가 하는 것에 대한 대표적인 키워드를 들어 보면 다음과 같다.

- 전천후형 작업환경
- 쾌적한 작업환경
- 노무공 수의 삭감
- 고소작업(高所作業)의 절감

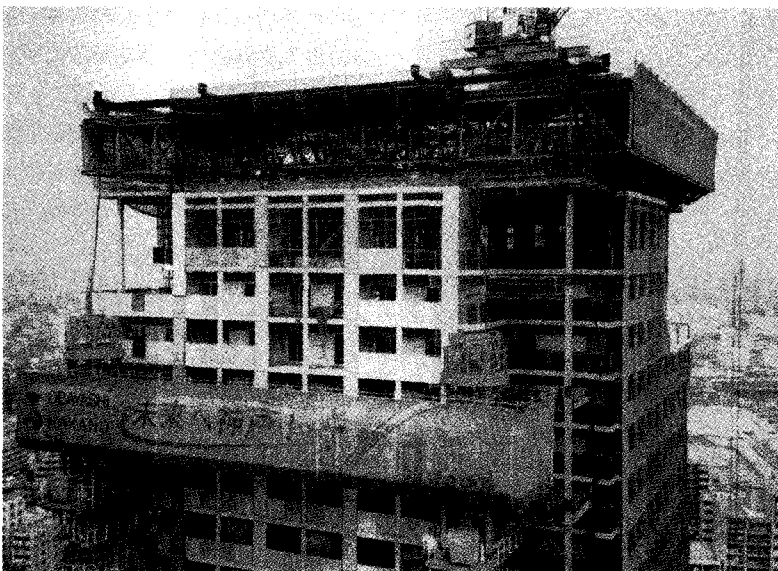
■ 건설로봇 개발담당자의 평가

(사)건축업협회 로봇 전문부회의 건축작업 로봇화에 관한 조사연구 보고서(1998.6)에 따르면 건설분야에서 개발된 150 기종 이상의 로봇 가운데 성공한 로봇으로 평가되고 있는 16기종에 대한 개발을 담당 하였던 종합건설업체와 기계제작자를 상대로 기대효과의 달성도에 대하여 양케이트 조사를 실시하였다.

그 회답 가운데 크레인운전자와의 통화가 필요없고 한사람의 원격조작으로 위치를 결정하고 선회·옥괘(玉掛) 풀기 등의 작업을 할 수 있어 피로와 부담감의 경감이나 안전성 향상에 도움이 된다고 평가하고 있는 것이 있다. 이 로봇은 물건이 다르기는 하지만 이미 기술한 천정크레인의 조작과 관련되는 내용으로 흥미깊은 것으로 생각된다.

이런 내용은 실로 자동화시공시스템이 지향하려는 것이고 앞으로 계속 이러한 과제의 해결을 위해 노력할 필요가 있다. 작업공 수의 감소 효과에 관해서는 다음과 같다.

ABCS공법의 실적에서는 대상시공범위인 구체공사, 외장공사의 철골조립, HTB·용접, 바닥, 가설안전설비, 외장, 마킹 그리고 ABCS장치조작의 직종에 관한 결과이지만 바닥면적당 작업공 수는 재래공법 100에 대하여 45의 품이었다. 또 Big-Canopy공법에서는 재래공법 가운데 가장 공업화된 PC아화공법 100에 대하여 65였다.



〈사진 8〉 지붕해체작업

## 가설설비의 안전성

자동화시공의 안전성에 대해서는 지금까지 기술해 온 것과는 다른 관점에서 평가하여야 할 내용이 있다.

### 가설설비 자체의 조립 해체 작업의 안전성

지붕가구(架構)와 이의 지지(支持)·상승기구(上昇機構) 및 천정크레인이나 화물리프트와 같은 주요 가설설비는 건물구성재의 조립에 앞서 조립하고 건물구성재의 조립 완료 후 해체 철거해야 한다. 그 조립 작업은 지상에 가까운 저층에서 하기때문에 상승기구라든가 크레인 같은 기계설비의 설치와 같은 순수 건축공사분야 이외의 작업이 들어오기 때문에 재래의 철골조립과 같은 레벨의 작업이고 특별히 위험한 것은 아니다.

그러나 최종 해체철거공사는 우선 높은 곳에서 하게 된다는 것과 기계설비의 해체에 따른 어려움은 물론이고 상당히 무게가 있는데도 불구하고 집크레인의 현수능력때문에 해체 부재의 취급회수가 많아 진다는 것 외에 애초 경험이 거의 없다는 점 등도 있어 위험한 요소가 많다. 해체과정에서 하중의 밸런스, 블록분할 등의 충분한 계획과 배려가 필요하게 된다. 특히 Big-Canopy공법에서 지붕의 외주(外周)에 튀어 나온 부분, ABCS공법에서 외주가구(外周架構)의 해체철거공사는 추락은 물론이고 볼트 한 개가 떨어지는 것도 허용되지 않은 것이기 때문에 주의해야 한다는 것이다.

### 지붕과 그 지지가구(支持架構)의 지진시, 강풍시의 구조상 안전성

지붕가구는 스펠이 큰 가구고 천정크레인같은 것도 상당한 중량을 가지고 있다. 특히 ABCS공법에서 SCF는 외주가구를 부담하고 있기 때문에 전체 중량은 상당한 것이 된다. 따라서 시공기간중에 지진과 강풍이 일어날 때 구조상의 안전성에 대해서는 충분한 검토를 하여 문제가 없다는 것을 확인해 둘

필요가 있다. 단 이런 것은 사전 계획단계에서의 문제이고 공사중에는 계획시에 설정한 하중조건과 지지조건에서 벗어나는 일이 없도록 관리를 하면 그 안전성은 확보되는 것이다.

### 지붕 인양시와 천정크레인 주행시의 안전성

지붕 인양시에 Big-Canopy공법에서는 4개소, ABCS공법의 사례에서는 22개소의 지지기둥부에 설치한 클라이밍 장치를 조작하게 되는데 동일한 상태로 상승시키는 관리가 필요하다. 지붕구체의 레벨과 책의 부담하중의 밸런스의 유지 등 계측제어를 할 필요가 있다.

또 천정크레인은 매달은 물체끼리, 또는 매달은 물체가 작업원이나 건물에 부딪치지 않도록 하고 또 폭주하지 않도록 일련의 안전장치 또는 대책이 필요하다.

### 결론

자동화시공시스템에 의한 직접적인 공사는 현재 주로 구체공사, 외장공사의 범위로 한정되고 있다. 이 범위에서 전천후 지붕 아래 운반시스템과 함께 보다 안전한 작업환경을 제공하고 있다. 그러나 이 작업은 종래에는 없던 위험한 요소를 포함하고 있기 때문에 처음 조립한 이 시스템을 구성하는 장치 또는 가설설비는 최종적으로 해체 철거하지 않으면 안 된다. 안전한 작업을 하기 위하여 지급 프로페셔널로서의 작업원의 기량에 의존하는 점이 있다는 것도 부인할 수 없다.

안전의 관점에서도 자동화의 최종적인 모습인 무인(無人)이 되면 노무재해는 일어나지 않겠지만 현재 '자동화' 하면서 '성인화(省人化)'를 기도하는 수준으로 '무인화'와는 거리가 멀다. 대폭적인 무인화는 기술적인 측면과 더불어 코스트 퍼포먼스의 점에서도 크게 기대할 수 없는 것일런지 모르겠다. 따라서 이러한 과제를 극복하여 보다 안전한 대책을 향해 노력해 나가야 할 것이다. ☺