

대(大)블록 · 모듈공법에 의한 원자력발전소의 건설

본고는 日本의 配管技術 96년 5월호에 게재된 내용을 金孝經(서울대 名譽教授) 博士가 翻譯한 것으로서 武斷으로 轉載하거나 複寫 사용할 수 없음을 알려드립니다. [편집자주]

(株)日立製作所

後田 孝一/北村 一郎/好永 俊昭

(Kouichi Ushiroda/Ichirou Kitamura/Toshiaki Yoshinaga)

1. 머리말

동경전력(주) 가시와자키 원자력발전소의 건설공사에서 3차원 CAD와 대형 이동식 크레인 (이하 대형 C/C라 함)을 최대한으로 이용한 대 블록·모듈공법을 채용하여 초기의 목표인 건설 공기의 단축, 품질의 향상, 건설작업의 안전성 확보에 대하여 성과를 올리고 있다.

대상으로 하는 플랜트는 당사가 건설을 담당 한 출력 1,100MW의 비등수형(沸騰水型) 원자로 타입(이하 BWR이라고 약칭)의 제5호기, 제4호기 및 1,356MW의 개량형 비등수형 원자로 타입(이하 ABWR이라고 약칭)의 제6호기 터빈건물, 제7호기의 원자로 건물이다.

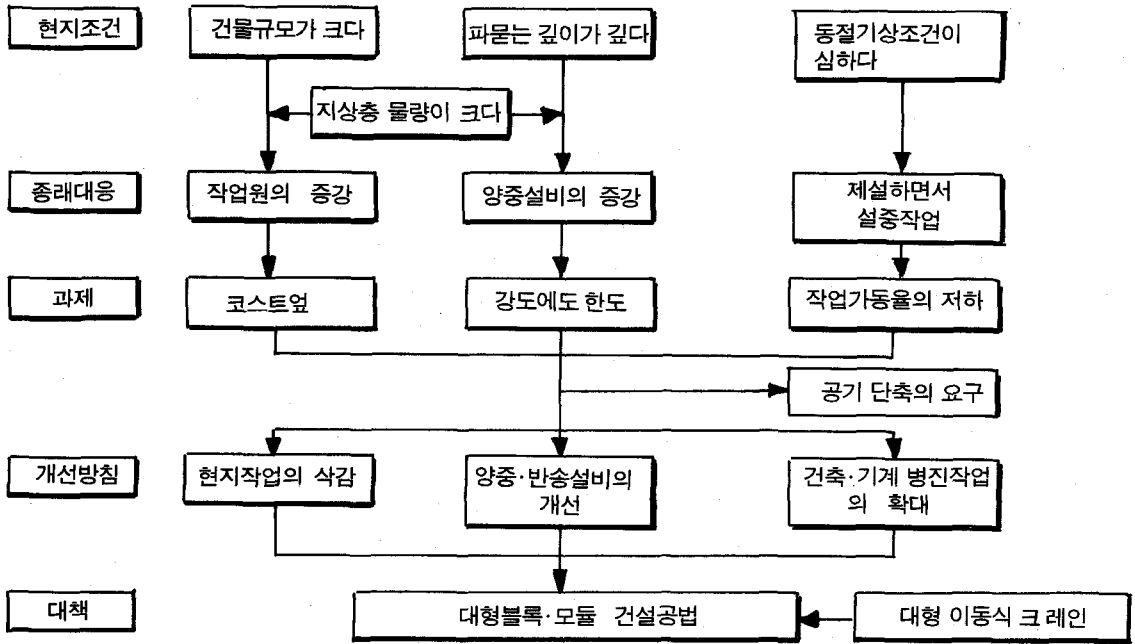
본고는 당 현장에서 확립한 신건설공법과 그 특징에 관해서 기술한 내용이다.

2. 건설의 개요

2-1 건설공법

제5호기는 1983년 10월에 착공하여 1990년 4월 영업운전을 개시할 때까지 77.5개월, 암반검사로부터는 60개월로 예정했던 공기로 완성할 수 있었다. 제4호기는 1988년 2월에 착공하여 1994년 8월 영업운전을 개시할 때까지 78개월, 암반검사로부터는 58개월로 예정된 공기대로 완성할 수 있었다.

제6호기는 1992년 6월에 순환수배관의 설치에 착수하여 1994년 10월에 천장크레인 가동후 터빈·발전기의 조립, 배관 설치중이며, 1995년 6월에 터빈의 통상산업성(ㄱ)항 사용전 검사를 받았다. 착공해서 영업운전을 개시할 때까지 62.5개월, 암반검사로부터는 52개월의 계획이다.



[그림 1] 건설상의 과제와 대책

제7호기는 1993년 10월에 원자로 격납용기(이하 RCCV로 약칭)의 설치개시, 1995년 5월에 원자로 압력용기(이하 RPV로 약칭) 설치가 완료되고 1996년 11월 연료장비, 1997년 7월에 영업운전을 개시할 예정으로 되어 있다. 착공부터 영업운전 개시까지 65.5개월, 암반검사부터는 52개월을 계획하고 있으며, 선행기인 제4호기보다는 각각 6개월의 공정단축을 목표로 하고 있다.

본 건설기간중의 특징은 처음 경험하는 심한 기상, 반지하식(半地下式) 건물조건이었다. 건물의 방설(防雪), 방풍대책, 지하수대책 등 만전을 기하여 예정했던 계획대로 공사를 진행시킬 수 있었다.

2-2 건설상의 과제와 대책

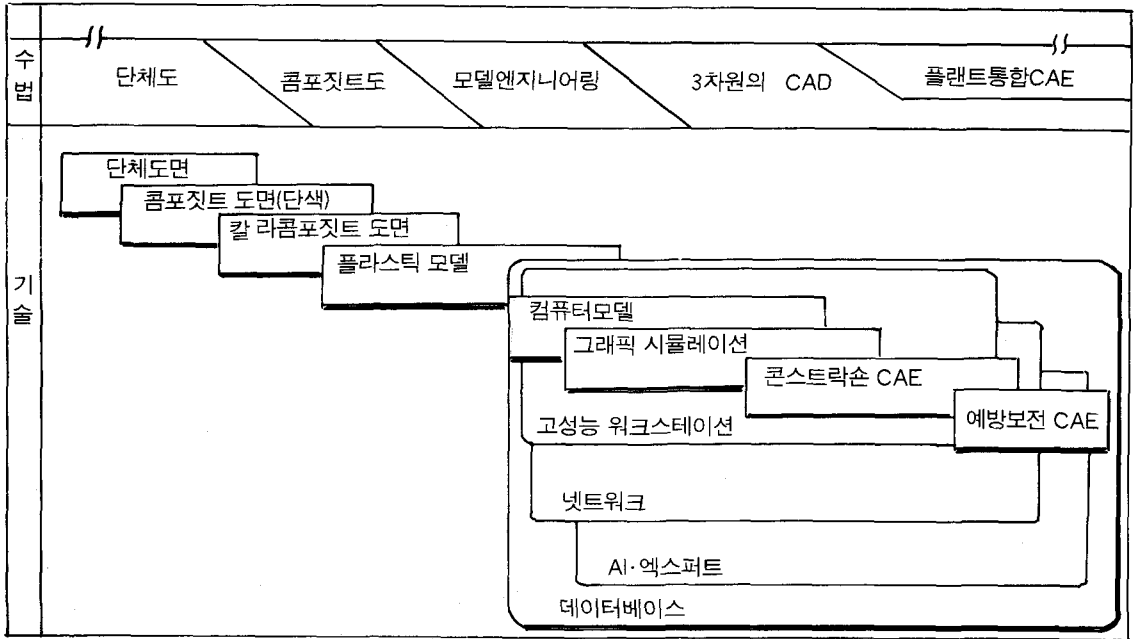
이 지역은 강설량이 많은 곳이고, 암반 레벨이 깊고 반지하식 플랜트이라고 하는 입지적 특징이 있어 건설공정을 확립하는 데는 사전조사와 검토를 종래에 하는 것 이상으로 철저하게 함이 필요

하다.

기상조건에 대해서는 동절의 기상실태조사를 실시하여 참고정보로 하였다. 반지하식 플랜트에 대해서는 기기배치가 종래식 플랜트에 비해서 많이 변화였으므로 설치순서도 새로운 검토가 필요한 것이 많아서 사전검토를 철저하게 하였다.

[그림 1]은 과제와 대책을 표시하는 기본적인 매트릭스이며, 종래공법의 건설공사에 있어서는 「작업원 증강의 필요성」, 「중기 설비의 증강의 제약」 그리고 「동절기 가동율의 저하」 등의 과제가 예상되어 플랜트 건설상 공기의 단축이 요구되며 하기의 항목에 착안해서 대형 이동식 크레인에 의한 신공법을 채용하여 개선을 도모하였다.

- (1) 현장작업의 삭감
- (2) 양중(揚重)·반송설비의 개선
- (3) 건축공사와 기계·전기공사의 병진작업의 확대
- (4) 현장공사의 안전성 향상



[그림 2] 설계수법의 변천

3. 건설공법

현지의 건설공사에 있어서는 3차원 CAD 및 대형C/C를 도입해서 건축물, 기기·배관류 등을 가능한 한 공장에서 조립·대형화하는 대(大)블록·모듈화공법을 채용하였다.

3-1 건설계획설계

3-1-1 3차원 CAD의도입

원자력발전소의 건설계획에 가장 큰 영향을 주는 것은 물량과 건설공사 난이도를 좌우하는 플랜트레이아웃 계획이다.

방사선에 대한 차폐와 내진을 위해서 콘크리트조의 벽과 바닥으로서 구획된 각 실내에 많은 기기, 배관, 케이블트레이, 공조덕트와 그 지지구조물의 운전성·보수성을 고려해서 적절한 스페이스를 확보하고, 배치하기 위해서 종합적인 검토·조정을 할 필요가 있다.

이와 같은 플랜트엔지니어링 수법은 [그림 2]에 표시하는 바와 같이 20년간 크게 고도화되었다.

초기에는 손으로 그린 단체도면이 사용되었으나 1970년대에 들어와서 종래의 배관, 케이블트레이, 공조덕트, 가대 등의 단체도를 포개서 만든 단색 콤포지트로부터 각각의 단체도를 색별로 구분해서 사진인쇄로 한 칼라 콤포지트도를 채용하였다.

그리고 계획하는 것을 3차원적으로 보기 쉽게 하기 위해서 1970년대 후반에 축척 1/25~1/5의 플라스틱모델에 의한 엔지니어링을 도입하여 모델을 중심으로 총합조정을 하고 간섭체크, 보수성의 리뷰 그리고 설치순서의 검토에도 활용하였다.

1983년에 이르러 컴퓨터·그래픽 기술을 이용한 플랜트레이아웃 CAD시스템(3차원 CAD)가 개발되어 제5호기에 부분적으로 적용하였고, 제4호기, 제6호기, 제7호기에서는 전면 적용하였다.

이 3차원 CAD시스템의 도입으로 최적배치계획 설계효율이 향상되고 데이터베이스를 중심으로 해서 설계부터 제조까지 일관된 시스템으로

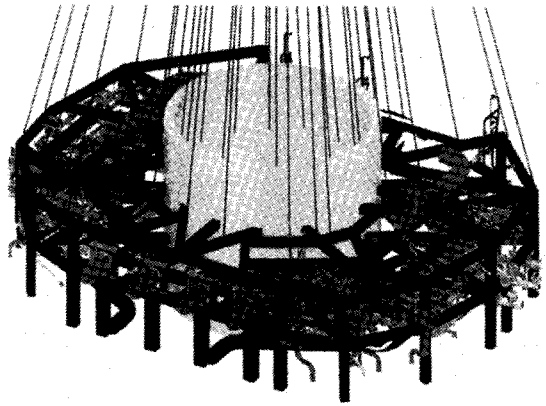
할 수 있고, 더욱 건설시물레이션이나 건설관리에 활용되어 건설계획의 정밀도 향상을 도모하게 되었다.

3-1-2 모듈CAD

현장 설치작업량을 줄이는 유효한 방법으로서 설치현장에서 하던 제품의 설치작업을 현장 이외의 장소에서 미리 조립하여 모듈화하는 모듈공법이 추진되고 있다.

모듈CAD는 복잡하게 배치되는 배관, 덕트, 케이블트레이, 계장품 등의 모듈화 범위를 결정하고 설치작업에 있어서는 모듈을 결정하고 설치작업에 있어서는 모듈을 매다는 위치를 평가하는 시스템이다. 설계자가 하는 각종 엔지니어링 업무는 모두 3차원 CAD의 유저인터페이스를 통해서 이루어진다. 금후의 플랜트는 현재 이상으로 모듈화 범위를 확대하고 모듈의 대규모화가 될 것으로 보며 모듈화공법을 효율 좋게 추진하기 위해서는 모듈CAD가 이루는 역할도 크다.

[그림 3]은 모듈CAD를 사용한 모듈계획의 실 예를 표시한 것이다.



[그림 3] RCCV내에 모듈반입시물레이션 (모듈 CAD)

3-2 대형C/C의 도입

3-2-1 대형 양중기의 변천

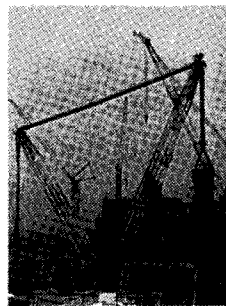
1980년부터 동경전력(주)와 건설공기단축에 관한 공동연구가 개시되어 그 연구성과로서 가시와자키 제5호기에 대형C/C의 도입이 결정되었다.

[그림 4]에 대형 양중기의 변천을 표시한다.

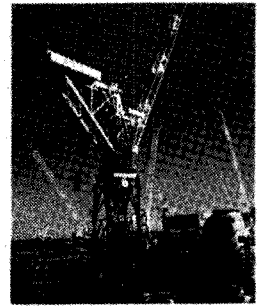
초기의 원자력발전소 건설에서는 양중기의 능력이 60톤~70톤으로 적었으므로 대부분의 제품 조립작업은 설치현장에서 실시되었으며, 따라서 건설공기도 길게 되었다.

1980년대에 이르러 130톤 타워크레인이 채용되었으며, 또 1985년에는 원자력발전설비내의 모든 제품의 반입이 가능한 840톤 대형C/C가 채용되기에 이르렀다.

대형 양중기를 채용함에 따라서 공장에서의



840톤 이동식 크레인



130톤 타워 크레인

[그림 4] 대형양중기의 변천

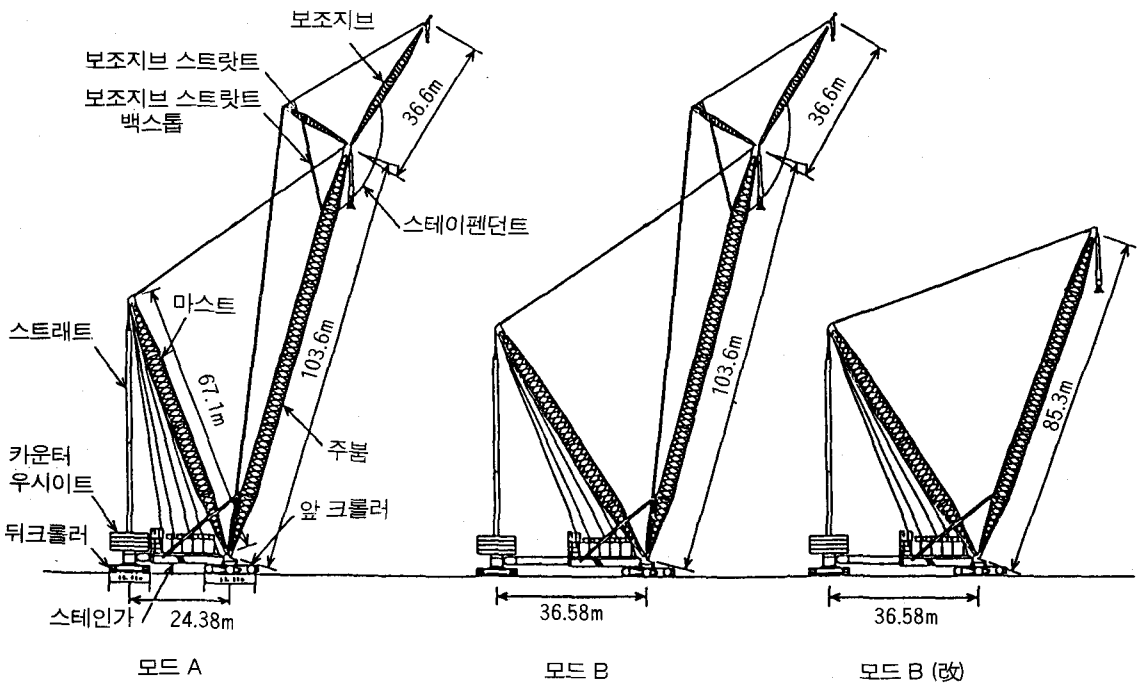
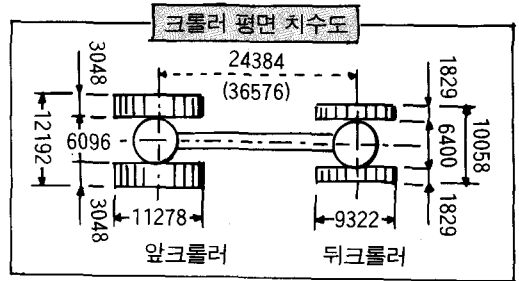
제품조립작업은 증가하였다. 그리고 수송제한을 피하기 위해서 건설현장의 대형 양중기 밑에서 대규모 지상조립작업도 증가하였다.

이와 같은 대형 양중기를 적용한 대형 블록모듈공법의 채용은 현지 작업의 성력화와 건설공기의 단축에 효과를 올리고 있다.

3-2-2 대형C/C의 기본사양

1,100MW급 BWR, 1,350MW급 ABWR 플랜트의 반입기기 중량분포에 관해서 최대 중량품은 RPV로서 840톤, 다음 것은 RCCV드라이웰 모듈로서 650톤, 이하 원자로 격납용기블록, 기기/건

모드	작업능력
A	최대작업반경 130m-정격하중 106톤
B	최대 매달아 올리는 정격부하 840톤-작업반경 30m
B(改)	최대 매달아 올리는 정격부하 925톤-작업반경 20 m



[그림 5] 대형 이동식 크레인 개요

축 복합모듈 등이 있는데 500톤 이하가 많으며 그 태반은 100톤 이하가 차지하고 있다. 이 조사 결과에 따라서 결정한 대형C/C의 기본사항을 [표 1]에 표시하였다.

3-2-3 대형C/C의 구조와 특징

[그림 5]와 [표 2]와 같이 대형C/C의 구조는 폭이 12.2m, 길이 47m(모드B의 경우), 높이 약 140m이며, 전장비중량은 카운터웨이트(1,660톤)을 포함하여 3,500톤이다.

그리고 그 특징은 아래와 같다.

(1) 대형C/C는 앞과 뒤에 2개의 크롤러(캐리어)를 갖는 복좌식구조이므로 일반 이동식 크레인

[표 1] 대형 이동식 크레인 기본사항

	사 양
모드 A (주지브)	400t-60m(주행·선회·기복)
모드 A (보조지브)	106t-130m(주행·선회·기복)
모드 B (주지브)	750t-54m(주행·선회·기복)
모드 B(改) (주지브)	848t-50m(주행·선회·기복)

[표 2] 대형 이동식 크레인의 주요 제원

No.	항 목	제 원		비 고	
1	제조사·형식	미국 LAMPSON社製 TRANSI·LIFT(T/L·IV)			
2	치수·중량	전후 크롤러간 중심거리	모드 A	24.4m	전장 : 약36m
			모드 B	36.6m	전장 : 약47m
			모드 B(改)	36.6m	전장 : 약47m
	차체전폭	시브길이			
			모드 A	103.6m	보조지브 약 36m
			모드 B	103.6m	
	차체높이				
		모드 B(改)	85.3m		
		모드 A	약140m	보조지브 유	
중량	모드 B	약106m	보조지브 무		
	모드 B(改)	약88m	보조지브 무		
	전장비중량 최대 약 3500t		카운터웨이트 1660t을 포함		
3	성능	부하시기능	주행·선회·기복도 가능		
		선회범위	360도		
		등판능력	무부하시 최대 10%		

인과 비교해서 전방과 후방의 안정도, 선회안정도, 주행안정도에 우수한 특징을 갖고 있으며 부하시의 주행, 선회, 권상, 권하, 기복이 가능하다.

(2) 전후 2개의 크롤러의 간격은 신축이 가능하며 현장 상황, 양중제품에 따라서 모드의 교체가 가능하다. 모드A는 일반사용모드, 모드B와 모드B(改)는 RPV 등 초중량품의 취급에 적합하다.

(3) 크롤러부는 단독구동방식이므로 자유자재로 크레인의 동작이 가능하다.

(4) 크레인의 간섭방지, 소용도리방지, 모멘트 리밋 등 최신기술을 구사한 각종 안전장치를 장비하고 있으며 안전성, 신뢰성을 향상시키고 있다.

3-3 대형C/C에 의한 신공법

원자력발전소의 건설은 토목공사로부터 시작하여 건축공사, 기기공사로 이어지는데 건축공사와 기기공사는 병행공사로 됨으로 공기단축을 기하기 위해서는 서로 협조할 필요가 있다.

동경전력과 히타치 건축회사는 아래의 착안점

에 따라서 건설공정상의 크리티컬패스가 되는 개소에 대하여 여러가지 대블록·모듈공법의 개발을 하였다.

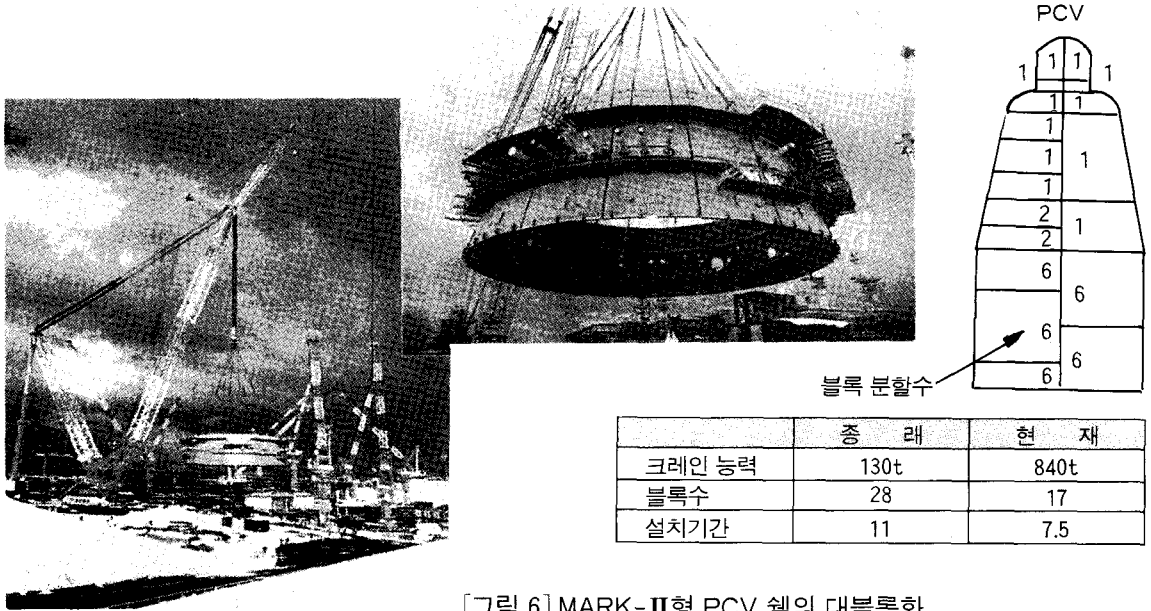
- (1) 병행작업의 확대
- (2) 현장작업의 삭감
- (3) 현장작업의 효율 향상

대블록·모듈공법은 크게 분류하면 히타치 단독대블록·모듈공법, 히타치/건축회사 복합대블록·모듈공법으로 분류할 수 있다. 주요한 대블록·모듈공법을 다음에 설명한다.

3-3-1 히타치 단독대블록·모듈공법

(1) 비등수형 원자로타입 MARK-II형 원자로 격납용기(PCV) 대블록화공법

원자로 격납용기의 설치공사는 건설공사 초기 단계에서 실시되는 기기축의 공사이다. 본공사는 건축공사에 대하여 크리티컬하며 공기단축의 중요 요소로 되어 있다. 후쿠시마 제2원자력발전소 제4호기에 있어서는 제품최대중량 130톤, 블록수 28개, 건설공기 11개월이었으나 가시와자키 제 5호기, 제4호기에서는 [그림 6]과 같이 대형C/



[그림 6] MARK-II형 PCV 쉘의 대블록화

C의 채용으로 제품최대량 420톤, 블록수 17개로 대폭 감소되고 공기는 7.5개월로 되어 3.5개월 단축할 수 있었으며, 건축공사의 조기인도가 가능하였다.

(2) 개량형 비등수형 원자로타입 원자로 격납용기(RCCV) 라이나 대블록공법

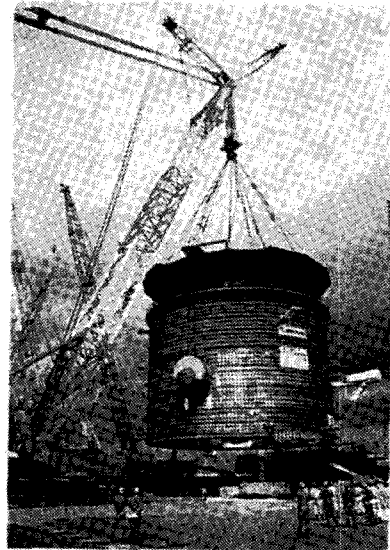
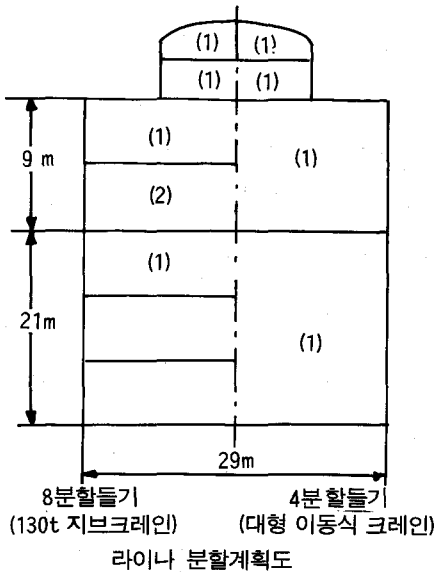
RCCV는 내압부재인 철근콘크리트와 내누설부재인 강재라이나로 구성되어 있는데 공사면에서는 라이나 설치후의 철근콘크리트공사가 크리티칼패스가 된다. 그래서 라이나를 대형화하여 직접 반입, 설치하므로써 건축측과의 관련을 극력 적게하도록 라이나를 대블록화하는 공법을 채용하였다. 라이나 본체는 공장에서 제작한 세그먼트상태부재를 대형 이동식 크레인 밑의 정반(定盤) 위에서 링상태로 대블록화하여 통상산업성의 사용전 검사를 받은 후 반입하였다. 라이나 하부 블록은 직경 29m, 높이 21m, 무게 430톤, 라이나 상부블록은 높이 9m 무게 290톤이다. RCCV 라이나의 분할예와 반입상황을 [그림 7]에 표시한다.

(3) RCCV내 초대형 모듈

RCCV내의 기기·배관의 설치공사는 RPV수압시험까지가 원자로설비의 크리티칼패스로 된다. 그래서 RCCV내의 방사선차폐체, 강구조물, 기기, 배관, 케이블트레이, 공조덕트, 서포트, 전선관, 계장배관을 대형 모듈화하는 공법을 채용하였다. 이 모듈은 무게가 약 650톤이 되는 최대 규모의 모듈이며 공장에서 제작한 소규모블록을 대형 이동식 크레인 밑의 정반 위에서 일체모듈로 한 것이다. 반입에 있어서는 [그림 3]과 같이 사전에 3차원 CAD를 사용한 반입시물레이션으로 확인한 후 [그림 8]과 같이 대형C/C로 반입하였다.

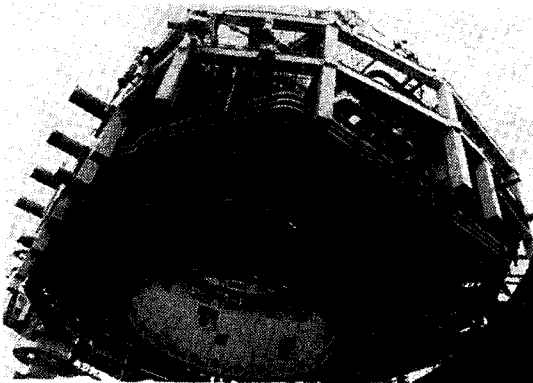
(4) 가구(架構)·기기·배관의 대형 모듈

배관·서포트, 케이블트레이, 공조덕트의 설치 는 건설현장에서 작업의 반을 차지한다. 이러한 설치작업을 저감시키기 위해서 모듈공법을 채용하고 있다. 근년에는 100톤 규모의 모듈을 공장에서 제작하는 일이 가능하게 되어 공장에서 가구(架構), 기기, 배관을 포함한 대형 모듈의 제작

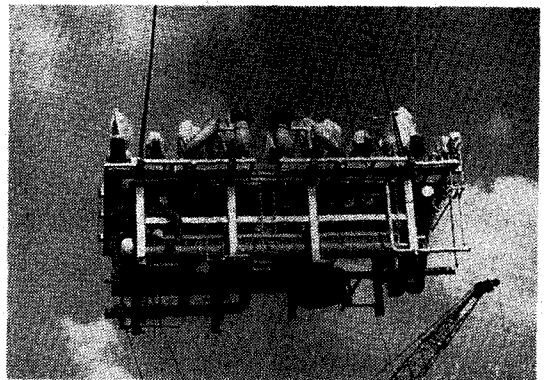


라이나 하부블록 반입

[그림 7] RCCV 라이나의 분할계획과 반입상황



[그림 8] RCCV내 초대형 모듈



[그림 9] 가공·기기·배관의 대형모듈

을 하고 있다. [그림 9]는 가구, 기기, 배관을 포함하는 대형 모듈의 예를 표시한 것이다.

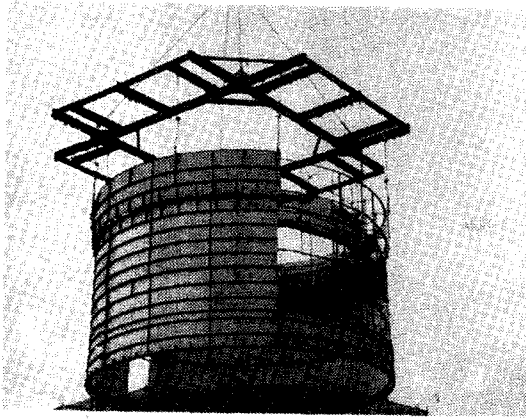
(5) 플라이나 대블록

[그림 10]은 원자로 플라이나 대블록의 예를 표시한 것이다. 미리 대블록화한 플라이나 콘크리트 타설전에 끌어 넣어 설정을 완료해 둔다. 본 공법의 채용으로 형틀작업, 콘크리트 표면마감작업의 삭감을 기할 수 있다.

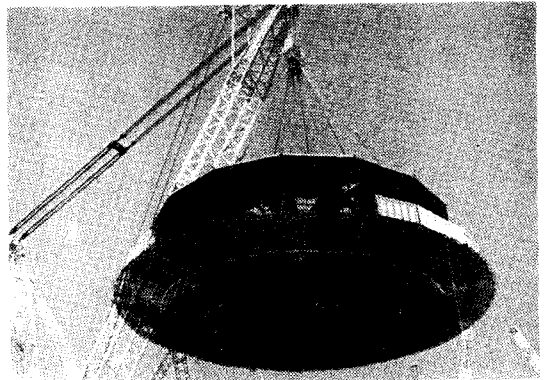
3-3-2 히타치/건축회사 복합대블록·모듈공법

(1) 중앙제어실 룸모듈공법

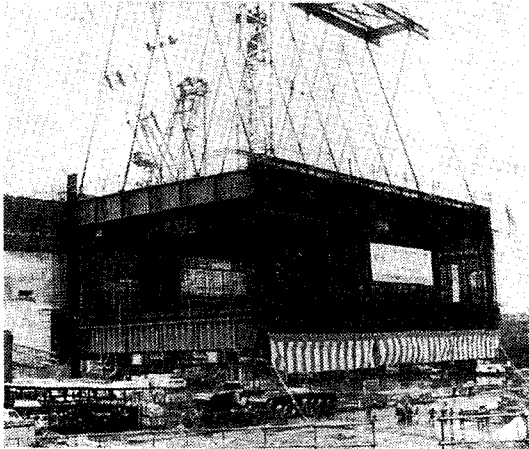
가시와자키 제4호기의 중앙제어실은 건설공정의 크리티컬패스로 되어 있으며, 전체 공정을 지키는데 최대의 문제점이었다. 그래서 이 지역에 철골구조가 채용되었다는 것에 착안하여 [그림 11]과 같이 하부중앙제어실과의 결합을 고려한 2개층형 룸모듈로 하여 철골축조, 제어반용강제



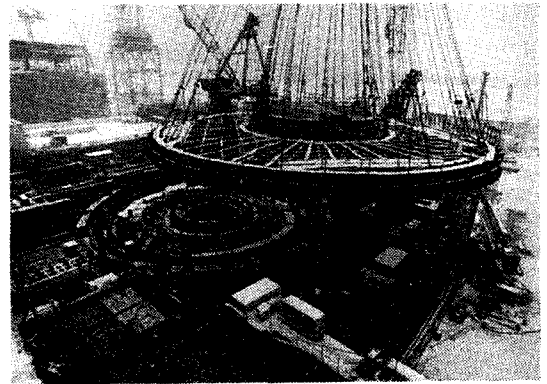
[그림 10] 원자로 웰폴라이나 대블록



[그림 12] 기초 볼트와 매트철근 모듈



[그림 11] 중앙제어실 룸모듈



[그림 13] 톱슬래브모듈

기초, 공조덕트, 천장부재, 케이블트레이 등을 지상에서 조립하고, 2분할(300톤, 440톤)하여 매달아 넣는 세계 최초의 획기적인 공법을 개발하였다. 그리하여 중앙제어실 구체공사 완료부터 중앙제어반의 반입개시까지를 가시와자키 제5호기와 비교하면 공정을 약2개월 단축하였다.

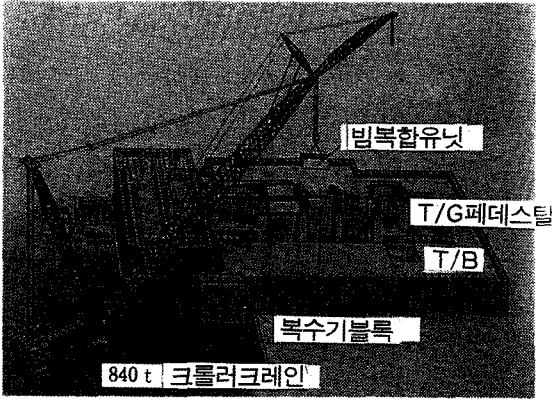
(2) 기초볼트와 매트철근모듈

원자로 건물의 중앙매트부는 건축의 철근과 RPV 기초가대의 기초볼트가 복잡하게 조합되어 있으며 설정시퀀스는 극히 복잡한 것으로 되어

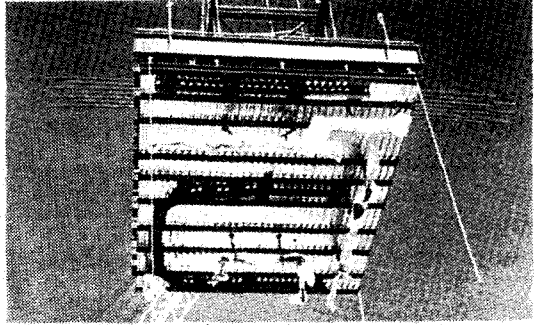
있다. 그래서 그 부분을 토목측공사와 병행하여 대형이동식 크레인 아래 조립장에서 대형 모듈화하여 직접 반입함으로써 건설공기의 단축을 기하였다. 기초볼트와 매트철근의 대형 모듈을 [그림 12]에 표시한다. 무게는 약460톤이다.

(3) 톱슬래브모듈

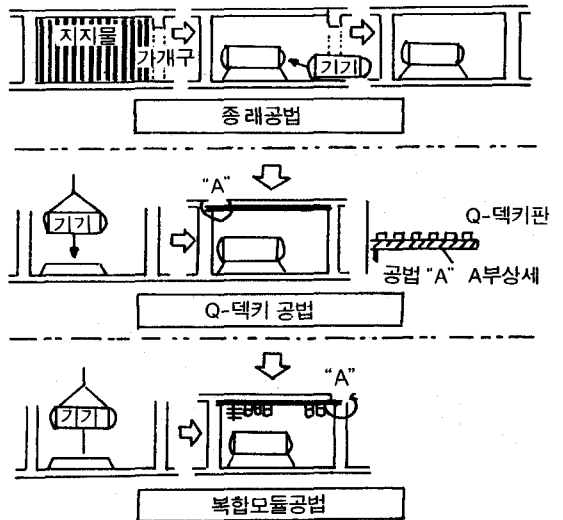
RCCV 톱슬래브의 시공에 있어서 콘크리트타설하중을 지지하기 위한 지지물을 다이어프램플로어상에 설치하였을 때 기기·배관과의 간섭이 생긴다. 그리고 지지물 등의 가설재의 반출시 반출경로의 확보가 곤란하다는 과제가 있었다. 이러한 과제를 해결하기 위해서 콘크리트 타설하중을 받기 위한 지지빔을 톱슬래브의 상철근과 하



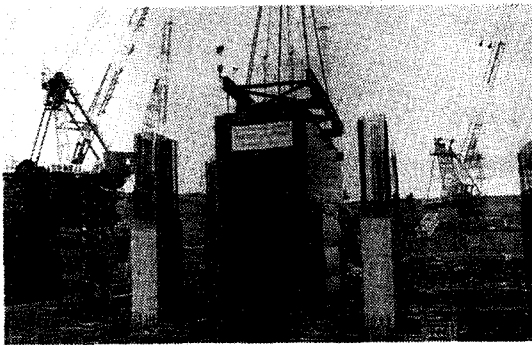
대형 이동식 크레인 매달아 넣음
[그림 14] T-G 가대복합공법과 복수기 모듈



치수 : W4(m) × L10(m)
중량 : 10t



[그림 16] 바닥슬래브 복합모듈



[그림 15] 복수기 모듈

철근 사이에 설치하고 톱슬래브라이나, 철근, 매설배관을 일체로 하는 대형모듈공법을 개발하였다. 톱슬래브모듈의 반입상황을 [그림 13]에 표시한다. 무게는 약550톤이다.

(4) T-G 가대빔 복합공법과 복수기모듈

T-G 가대공사와 복수기공사는 공정상 터빈건물의 크리티컬패수로 된다. 공기단축을 위해서 이 지역에서는 복수기하부동체와 핫웰의 블록공법이 채용되었으나 블록의 대형화에 따라서 T-G 가대빔 부분을 무지지물공법으로 할 필요가 생겼다. 이 공법에서 사용되는 T-G 가대빔부분은 철관형틀로서 둘러싸인 빔부분에 앵커볼트와

배근을 삽입한 것으로 되어 있다.[그림 14]에 본공법의 개념도를 표시한다. 가시와자키 제4호기에 있어서는 대형C/C의 작업반경과 조상능력을 고려해서 핫웰, 하부동체를 냉각관방향으로 2분할하고, 관판(管板)을 설치하여 냉각관을 삽입한 대블록으로 하여 T-G 가대의 기둥부분을 완료한 단계에서 대형C/C로서 [그림 15]와 같이 정위치에 넣은 후 대블록화된 T-G 가대빔 부분을 설정하는 설치시퀀스를 채택하여 공정단축의 효과를 이루고 있다.

(5) 바닥슬래브 복합모듈공법

천장부의 바닥슬래브 설치전에 기기를 반입하고 그후에 철골빔과 텍키플레이트를 설치해서 콘크리트공사를 하는 소위 텍키플레이트공법에 의하여 콘크리트공사와 병행하여 기기공사를 앞당겨서 착공이 가능하게 되었다. 그리고 이 텍키플레이트공법의 개선을 기하기 위해서 [그림 16]과 같이 철골빔과 텍키플레이트를 지상에서 조립하여 배관 등도 일체로 조립해서 반입설치하였다. 본공법의 채용으로 차기 플랜트에서는 철골빔을 건물구조강도부재로서 설계하여 대형C/C를 이용한 건물바닥구조부재와 배관 등을 일체로 모듈화하는 배관·바닥구조부재 복합모듈공법의 채용이 가능함을 확인하였다.

4. 맺은말

가시와자키 현장에서는 3차원 CAD, 대형C/C/를 도입함으로써 대블록·모듈공법의 확대를 기하고 동절기상조건에 따른 작업효율저하를 극복하고 건설공기의 단축을 이룰 수 있었다.

더구나 큰 파급효과로서는 전력회사의 지도를 받아 플랜트메이커와 건설회사와의 협조관계가 강화된 것이다. 급후 더욱 큰 협조를 도모할 것이 소망된다.

급후의 건설공사에 있어서는 사회적 배경으로서

건설노동자 부족, 노무비의 상승, 노동시간의 단축이 있을 것이며 또한 플랜트건설의 니즈로서 공기단축, 공사비저감, 작업환경의 개선 등의 요구가 있어 그 대책으로서 현장작업의 삭감, 현장작업공정의 정밀도 향상, 현장작업의 효율화, 건설공사관리의 정밀도 향상 등이 필요하다고 생각되며 본고에서 기술한 대블록·모듈공법이 이러한 문제에 대하여 기여할 수 있다고 본다.

筆者連絡船

後田 孝一
 (株)日立製作所
 日立工場原子力プラント建設部プラント建設計画グループ主任技師 工學博士
 〒317 茨城縣日立市幸町 3-1-1
 TEL : (0294)21-1111 (內線4090) FAX : (0294)23-6619

北村 一郎
 (株)日立製作所
 日立工場原子力統括センター統括主任技師
 〒317 茨城縣日立市幸町 3-1-1
 TEL : (0294)21-1111 (內線4022) FAX : (0294)23-6736

好永 俊昭
 (株)日立製作所
 日立工場原子力プラント建設部副技師長
 〒317 茨城縣日立市幸町 3-1-1
 TEL : (0294)21-1111 (內線4120) FAX : (0294)23-6747

흡수식 냉온수기 가스용 90% 차지

작년 국내 흡수식 냉온수기 시장에서는 가스를 연료로 사용하는 가스용 흡수식 냉온수기의 생산 증가가 전체 생산량의 90% 이상을 차지하는 것으로 나타났다.

흡수식 냉온수기 설치 의무화 초기에는 가스의 보급율이 낮아 상대적으로 기름을 연료로 사용하는 흡수식 냉온수기가 어느 정도 생산물량이 있었으나 정부 환경정책의 영향과

가스보급의 확대, 소비자들의 환경에 대한 인식이 제고되면서 가스용 흡수식 냉온수기의 생산이 꾸준히 증가했다. 신도시건설 등 급속한 도시의 팽창과 업무용빌딩의 대형화, 국민생활 소득 수준 향상에 따른 냉방 수요증가 등의 영향으로 시장에서 가스용 흡수식 냉온수기의 수요 증가가 자연스럽게 이루어지고 있는 것으로 분석되었다.