

화력발전소 연돌통합형 종합사무동의 설계개념과 시공공법 연구

김시현¹, 최장순^{2*}

¹한국남부발전(주) 건축부, ²강원대학교 건축디자인학과

A Study on the Design Concept & Construction Method of Office Building with Stacks at Thermal Power Plant

Kim, Si-Hyun¹, Choi, Jang-Soon^{2*}

¹Dept. of Architecture, Korea Southern Power Co.

²Dept. of Architecture Design, Kangwon National University

요약 본 연구 대상인 화력발전소는 국내 최초의 C.F.B.C 화력발전소로 2boiler-1turbine 조합으로 되어 있다. 이 화력발전소의 경우 연돌의 적정고가 156m 정도가 필요하나 해당 화력발전단지의 경우 단지 내에 있는 산을 이용하여 절토 후 종합사무실과 연돌을 해발 70m에 위치시켜 연돌의 높이를 86m로 낮춤으로서 기능도 충족시키면서 공사비도 절감하였다. 또한 두개의 연돌을 인접시키고 그 사이 공간에 사무실과 전망대를 배치시킴으로써 독특한 디자인의 연돌통합형 종합사무동을 탄생시켰다. 이에 본 연구 내용은 종합사무실과 연돌이라는 두 개의 이질적 기능을 조화롭게 연결하여 구조적, 기능적, 미적요소를 충족시킨 설계 개요와 조건과 관련된 설계 특이사항을 살펴보고, 아울러 연돌과 사무동이라는 서로 상충되는 기능적 구조적 요소를 미적 요소로 해결하다보니 일반적으로 쓰이지 않는 시공공법이 적용되었는데, 연돌에는 Slip Form 공법과 Steel Inner Flue공법이 적용되었고, 연돌과 연돌사이의 종합사무동 최상단의 전망대는 6층 지붕바닥에서 조립된 전망대를 유압적으로 끌어올리는 Lift-up공법이 적용됨으로써 세계 최초로 연돌과 종합사무동이 결합되는 형태의 건축물을 완성할 수 있었던 특수 공법들에 대해 조사 분석하였다.

Abstract A thermal power plant is the first CFBC (Circulating Fluidized Bed Combustion) power plant consisting of 2 boilers-1 turbine. The optimal height of a stack needs to be approximately 156 meters in the case of this thermal power plant; however, the thermal power plant sites satisfy a function and reduce the construction cost by using mountains in the sites after cutting the ground and locating an integrated office and chimney at an altitude of 70 meters thereby lowering the height of the stack to 86 meters. In addition, the integrated office, which has a combined stack style with a unique design, is constructed by connecting with 2 stacks and disposing the office and an observatory in the space between them. Therefore, this study examined the design concept that fulfils the structural, functional, and aesthetic factors, harmoniously by joining the integrated office and the stack, which are disparate, and investigated special construction methods (Slip Form, Steel Inner Flue & Lift-up) through which heterogeneous architectures are structurally, functionally, and aesthetically constructed.

Keywords : Design Concept, Construction Method, Slip Form, Steel Inner Flue, Lift-up, Office Building with Stacks, Thermal Power Plant

1. 서론

1.1 연구 목적

오늘날 건축구조물은 각 분야별로 다양하게 존재하지

만 그 중에서도 화력발전소(T.P.P) 건축구조물은 체적 면에서 원자력, 복합화력, 수력 등의 건축물과는 확연하게 차이가 난다. 이렇게 차이가 나는 주된 이유는 화력발전소는 보일러에 화석연료를 연소시켜 얻은 에너지로 물

*Corresponding Author : Jang-Soon, Choi (Kangwon National Univ.)

Tel: +82-33-570-6597 email: artfirst@kangwon.ac.kr

Received March 14, 2016

Revised (1st June 13, 2016, 2nd June 30, 2016)

Accepted July 7, 2016

Published July 31, 2016

을 끊어 증기로 만들고, 그 증기로 터빈을 회전시켜 회전력을 얻은 후 터빈 축에 연결된 발전기로 기전력을 얻는 시스템으로 되어 있기 때문이다. 이러한 화력발전소는 사용연료에 따라 석탄발전소(유연탄), 유전소발전소(중유), 가스발전소(LNG), 혼소발전소(국내탄+중유)로 분류되며 국내의 많은 화력발전소가 유연탄을 사용하는 석탄발전소이다.[1]

또한 화력발전소는 전기 생산에 중추적 역할을 하는 곳을 파워블록(Power-Block)이라 하여 특별히 구분하여 관리하고 있으며, 여기엔 보일러건물과 터빈건물, 주제어건물, 연돌(stack) 등이 포함되어 있다. 파워블록 이외의 장소에는 각종 부대시설이 배치되어 있다.

본 연구 대상인 화력발전소의 파워블록에는 굴뚝 역할을 하는 연돌과 주제어건물 역할을 하는 종합사무동이 하나로 통합(이하 ‘연돌통합형 종합사무동’이라 한다)되어 있는 국내 최초이자 세계 최초의 건축구조물로서 설계개념과 시공방법이 일반적인 화력발전소와는 매우 특이하다. 따라서 본 연구에서는 이 연돌통합형 종합사무동에 특이하게 적용된 설계개념과 건립 시 적용된 주요 공정상의 특이한 시공방법에 대하여 조사 분석하는 것을 목적으로 한다.

1.2 연구 내용

기존 50MW급 표준 화력발전소는 1 보일러 + 1 터빈(1 boiler + 1 turbine)조합인데 반해 본 연구에서 언급된 화력발전소는 국내 최초 유동층(CFBC, Circulating Fluidized Bed Combustion) 발전소로 2 보일러 + 1 터빈(2 boiler + 1 turbine)조합으로 되어 있다. 이런 화력발전소의 경우 연돌의 적정고가 150m 이상이 필요하다.[2] 이런 연돌 높이 문제를 해결하기 위해 연구대상 화력발전소의 경우, 발전단지 내에 있는 산의 고도를 이용하였다. 즉, 해발 70m의 높이에서 산의 일부를 절토하여 이곳에 연돌을 배치시킴으로써 연돌의 높이를 86m로 시공함으로써 기능도 충족시키면서 공사비를 절감하는 효과를 꾀하였다. 또한 1호기와 2호기 연돌을 서로 인접시켜 그 사이 공간에 종합사무동과 전망대를 배치시킴으로써 이들 연돌이 구조체 역할도 하는 독특한 디자인의 건축물인 연돌통합형 종합사무동(Fig.2)을 탄생시켰다. 따라서 연구 내용은 첫째, 연돌과 사무동의 두 개의 이질적 기능을 조화롭게 연결하여 구조적, 기능적, 미적 요소를 충족시키도록 건설되어야 하게 된 연돌통합형 종합사

무동의 기본적 개요와 설계조건, 설계 특이사항을 살펴보고, 둘째, 이질적 건축물을 구조적, 기능적으로 연계하여 안전과 품질을 고려하여 적용된 특수공법인 슬립 폼(Slip Form)공법과 강재 내부연도(Steel Inner Flue)공법, 리프트 업(Lift-up)공법을 중심으로 조사 분석하였다.

2. 연돌통합형 종합사무동의 설계개념

2.1 개요

기존 화력발전소의 경우 연돌과 종합사무동을 분리하여 시공하던 것과는 달리 86m 높이의 1호기와 2호기 연돌 사이에 종합사무동을 배치하는 것이 주된 설계 개념으로 이러한 설계개념은 친환경 화력발전소의 이미지 구축을 위해 적용된 것이다. 즉, 배연가스를 배출하는 연돌과 발전소에서 근무하는 직원들의 주요 근무처인 종합사무동을 통합하여 하나의 건축물로 디자인함으로써 지역 주민의 환경에 대한 불안요소를 불식시킴과 동시에 높은



Fig. 1. Total bird's eye view of T.P.P.



Fig. 2. Bird's eye view of office building connected with two stacks

연돌 사이에 종합사무동과 전망대를 위치시켜 해당 지역의 랜드마크(Landmark)가 되도록 하는 것이 설계의 주요 개념이다. 이 연돌통합형 종합사무동의 주요 용도는 화력발전소에 근무하는 직원들이 업무를 보는 사무동과 강당, 식당, 전망대 등으로 구성되어있다(Fig.2). 특히 최상층 상부에는 전망대를 설치하여 발전단지 전체에 대한 조망을 포함하여 인접한 호산화와 작진항까지도 한 눈에 들어오도록 계획되어 있다(Fig.1).

2.2 설계조건

연돌통합형 종합사무동 건축공사에 적용된 특이 공법은 다음과 같다. 연돌 축조공사를 함에 있어 적용된 특이 공법은 연돌 상부 콘크리트 타설용 슬립 폼(Slip Form) 공법과 이렇게 완공된 콘크리트 연돌 내부에 연도를 설치하기 위한 강재 내부연도(Steel Inner Flue)설치공법이며, 종합사무동 공사에 적용된 특이 공법은 콘크리트 연돌 양단에 매달기 위해 6층 지붕바닥에서 전망대의 철제 구조물을 조립하여 이를 최상부로 끌어올리는 리프트 업(Lift-up)공법이다.

2.2.1 슬립 폼(Slip Form)공법의 일반 적용

재래공법으로 연돌을 시공할 경우에는 강재거푸집을 사용하였으나, 공기단축과 안전성을 고려하여 연돌 상부 콘크리트 거푸집공사는 연돌상부 콘크리트 거푸집공사는 연돌하부(EL.70,000)에서 연돌상부(EL.156,000)까지 일체의 작업대 및 거푸집으로 시공 가능한 슬립 폼(Slip Form) 1개호기 당 1조씩 2개호기 2조를 동시에 작업할 수 있는 슬립 폼(Slip Form)공법을 사용키로 결정하였다.

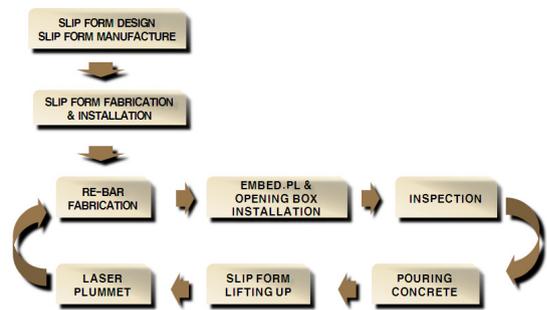


Fig. 3. General process of slip form

연돌 콘크리트는 24시간 연속으로 타설할 수 있도록 유압잭(Hydraulic Jack)을 이용하여 슬립 폼을 하루에 10~15회 정도 인양토록 계획하고, 해당 인양 높이는 200~300mm로 하절기에는 3~4m, 동절기에 2~3m 정도 인양한다. 인양 전 콘크리트 경화 상태를 확인하기 위해서 탐침봉으로 콘크리트 표면을 찔러서 60cm 이내로 들어가면 슬립 폼(Slip Form)을 인양한다.

2.2.2 강재 내부연도(Steel Inner Flue)공법

Steel Inner Flue 재질은 탄소강판으로 KS D 3503[3]의 SS400 이상의 것으로 ASTM A36[4]를 따라야 하고, 티타늄(Titanium)은 ASTM B265[5]의 Grade2 또는 JIS H 4600 Class2와 동등 이상이다. 티타늄 용접봉 또한 ASTM B265의 Grade2 용접봉 사용을 원칙으로 한다. Steel Inner Flue는 탄소강판 위에 1.0mm Titanium Sheet Plate를 전기저항 용접한다. 티타늄과 탄소강판과의 전기저항 용접부위에 대한 인장강도, 전단강도, 굽힘

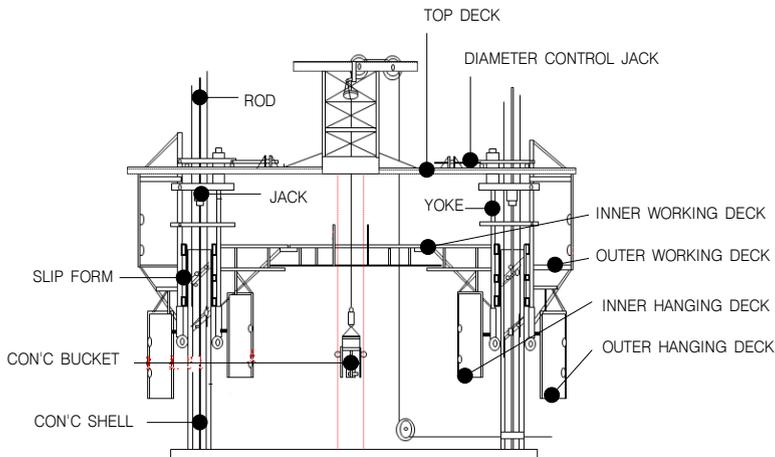


Fig. 4. Technical terms of slip form

(Bending)시험은 ASTM B898[6] 방법에 따라 시험하며, 탄소강판의 두께별로 시편을 3개 이상 제작하여 인장된 공인기관의 시험성적서를 제출한다.[7]

2.2.3 리프트 업(Lift-up)공법

연돌통합형 종합사무동이 1호기 연돌과 2호기 연돌 사이에 1~6층까지 사무실이 배치되고 15층 높이에 전망대가 설치되므로 7층에서 14층 높이까지는 비어있게 된다. 전망대 구조물을 설치하기 위해서는 고소 빈 공간에서 작업해야 하기 때문에 안전성이 결여되고 품질저하가 우려되어 종합사무동 6층 지붕바다에서 전망대 철제 구조물을 조립하고, 조립이 끝나면 바닥콘크리트와 외부 패널 마감공사 후 유압잭에 PS강선을 연결하여 15층 높이까지 인양하는 리프트 업(Lift-up)공법을 채택하여 시공기로 결정하였다.

3. 연돌통합형 종합사무동 주요 공정

3.1 연돌 슬립 폼(Slip Form) 공사

연돌이 앉을 자리에 버림콘크리트(Lean Con'c)를 타설하고, 그 위에 연돌 기초용 철근 조립 후 콘크리트를 타설하여 연돌기초를 완성한다. 이러한 작업이 끝나면 연돌 콘크리트 타설과 관련된 슬립 폼의 기본적인 프로세스는 슬립 폼에 대한 설계 후 공장에서 제작한 슬립 폼을 현장에 설치하여 콘크리트 타설과 슬립 폼 인양작업을 연속적으로 반복한다.(Fig.5)

3.1.1 슬립 폼(Slip Form) 기본 프로세스

슬립폼의 일반 프로세스에 따른 시행착오를 최소화하기 위하여 회의를 거쳐 다음과 같이 진행하였다.

초기단계에서는 첫째, 슬립 폼에 대한 설계 후 슬립 폼을 설계도면에 맞추어 공장에서 제작한다. 둘째, 안쪽 슬립 폼을 설치한다. 셋째, 철근 조립 후 각종 매입 플레이트(Embed Plate)와 개구부 박스(Opening Box)를 매입한다. 넷째, 바깥쪽 슬립 폼을 설치한다. 다섯째, 감독관의 검사 후 콘크리트를 타설한다. 그 다음 단계부터는 첫째, 철근 조립 후 각종 매입 플레이트(Embed Plate)와 개구부 박스(Opening Box)를 매입한다. 둘째, 안쪽의 슬립 폼을 동시에 잭으로 슬립 폼을 인양 후 콘크리트를 타설한다. 셋째, 레이저 연직기(Fig.8)로 수직방향으로 허용오차 범위 내에 있는지 수시로 측정한다.

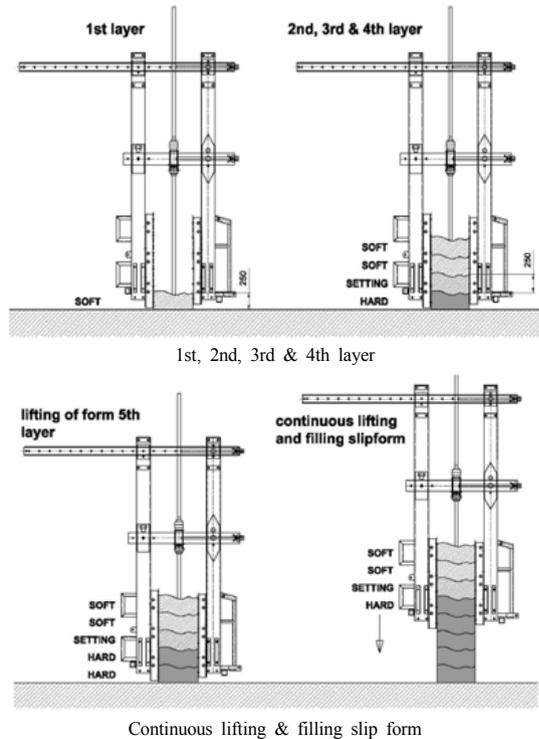


Fig. 5. General principle of slip form

3.1.2 슬립 폼(Slip Form)의 주요 구성

슬립 폼은 Yoke와 Top Deck, Working Deck, Hanging Deck로 구성되는데(Fig.4), Yoke는 슬립 폼의 기본 프레임(Frame)으로 각종 작업 발판과 거푸집, 지붕(Roof) 철골이 지지되며, 유압잭으로 인양 시 그 힘을 전체 슬립 폼 시스템에 전달하는 역할을 한다. Top Deck은 주철근 조립과 콘크리트를 타설하는데 쓰이고, Working Deck은 슬립 폼 인양과 철근 조립, 콘크리트 다짐에 쓰이며, Hanging Deck는 슬립 폼 인양 후 콘크리트 면 처리할 때 주로 쓰인다.

3.1.3 슬립 폼(Slip Form) 공정 프로세스 고려사항

슬립폼의 주요공정 프로세스에서 적용되었던 고려사항은 다음과 같다. 첫째, 연돌의 Wall 철근을 조립한다. 둘째, Yoke 가조립 후 이에 맞추어 York를 설치한다. 이때 Yoke를 상부에서 붙들어주는 Starbeam을 가조립하여 설치한다. 셋째, Yoke Rail Girder를 설치한다. 넷째, 내·외부 슬립 폼과 Top Deck, Working Deck를 설치한다. 다섯째, 안전난간과 낙하물방지망을 설치한다. 여섯째, 다음 단계의 철근과 매입철물, 개구부 박스 등을 매

입 후 슬립 폼과 함께 Top Deck, Working Deck를 인양 후 콘크리트를 타설한다. 일곱째, 내외부에 Hanging Deck를 설치한다.

3.1.4 연돌 단(Shell) 수직도 측정 개선

연돌을 콘크리트로 타설하면서 한 단계 한 단계 상승할 때마다 수직도를 측정하는 것이 매우 중요한데, 레이저 연직기를 사용하여 오차 범위에 들어오도록 측정하였다. 사각형 연돌 입을 고려하여 4면에 각 1개씩 기준점을 잡아 측정하는데, 측정 방법은 연돌 하부 알맞은 곳에 레이저 연직기를 설치한 후 최상부에 타깃(Target)을 설치하여 타깃에 쬐히는 레이저 불빛을 확인 측정한다. 레이저 측정은 24시간 항상 실시하며, 변형 발견 시 즉시 조치할 수 있도록 한다. 이 때 연돌 높이에 따른 타깃 수직도의 오차범위는 20mm이고, 연돌크기의 오차범위는 20mm이며, 콘크리트 셸(Shell) 두께의 오차범위는 10mm이내가 되도록 한다.



Fig. 6. Yoke



Fig. 7. Top, Working & Hanging Deck

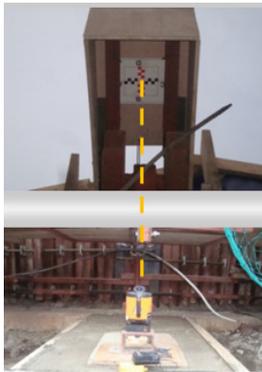


Fig. 8. Laser Plummet

3.1.5 슬립 폼(Slip Form) 해체 순서 개선

해체 시 잘못하다간 안전사고와 직결되므로 슬립폼의 해체순서는 다음의 순서로 진행하였다. 첫째, 철근타위를 해체한다. 둘째, 조명과 유압장치를 해체한다. 셋째, Top Deck과 Yoke 상부를 붙들어주던 Starbeam, Yoke Rail Girder를 해체한다. 넷째, Center Ring을 해체한다. 다섯째, Working Deck를 해체한다. 여섯째, Hanging Deck를 해체한다. 일곱째, 외부 Yoke를 해체한다. 여덟째, 내부 Yoke를 해체한다.(Fig.9)

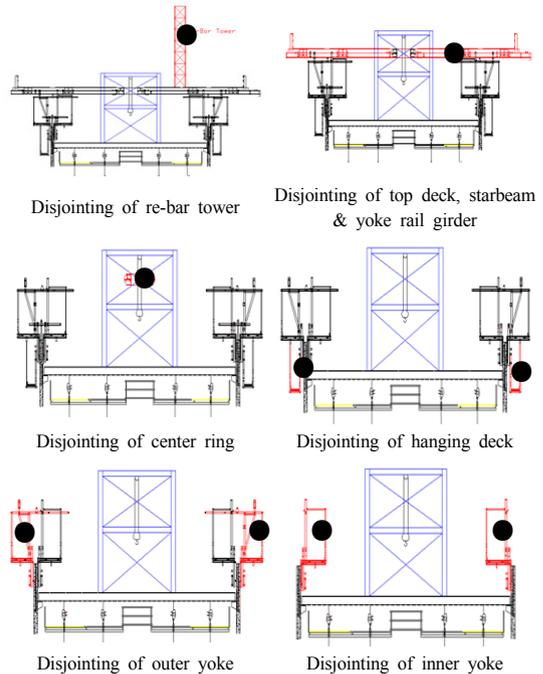


Fig. 9. Disjuncting process of Slip Form (● mark)

3.2 강재 내부연도(Steel Inner Flue)공사

슬립 폼을 이용하여 콘크리트 연돌이 완성되면 연돌 내부에 철재 연도(Steel inner flue)를 설치하게 되는데, 이를 설치하기 위한 주요 장치를 비롯하여 제작과 인양 공법을 작업 순으로 살펴보면 다음과 같다.

3.2.1 강재 내부연도(Steel Inner Flue) 주요 장치

강재 내부연도(Steel Inner Flue)의 주요 장치는 외부 용접작업대와 대차, 내부용접작업대, 상부유압잭으로 구분할 수 있다. 외부 용접 작업대는 가시설로서 공장에서 높이 3m의 반원형 캔(Half Can)으로 제작된 Steel Inner Flue를 원형의 캔(One Can)으로 제작하고, 이를 2단의 캔(Double Can)으로 제작하여 높이 6m의 캔으로 용접하기 위하여 설치하는 작업대이다. 대차는 가시설로서 연돌 외부에서 높이 6m로 제작된 Steel Inner Flue Can을 연돌 내부로 이동시키기 위하여 운반하는 장치로 바퀴가 달린 Platform과 레일로 구성된다. 내부 용접 작업대도 가시설로서 연돌 외부에서 높이 6m로 제작되어 대차로 연돌 내부로 운반된 캔과 캔을 용접하기 위해 설치한 작업대이다. 상부 유압잭은 강선을 이용하여 하부 작업대에서 용접된 Steel Inner Flue를 연돌 상부까지 강선

으로 인양하기 위한 장비로 잭의 용량은 85톤이고, 총 4개가 동일 간격으로 설치되어 Steel Inner Flue를 인양하게 된다.

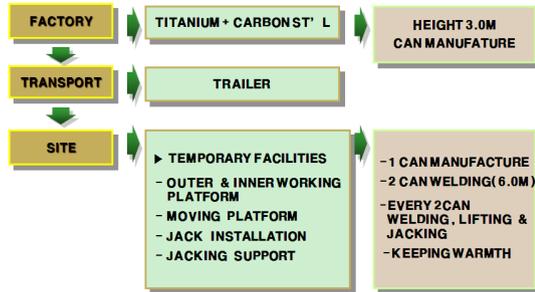


Fig. 10. Installation process of steel inner flue



Fig. 11. Installation sequence of steel inner flue

3.2.2 강재 내부연도(Steel Inner Flue) 제작 및 설치

첫째, 가시설로서 Steel Inner Flue 외부 용접 작업대를 설치한다. 둘째, 연돌외부 지상 조립대에서 공장에서 높이 3m의 반원형 캔(Half Can)으로 제작된 Steel Inner Flue 자재를 현장에서 원형의 캔으로 용접 제작하고, 이

를 2단으로 하여 높이 6m의 캔으로 용접하여 만든다. 셋째, 연돌 외부에서 높이 6m로 제작된 Steel Inner Flue Can을 연돌 내부로 운반하기 위한 가시설로서 대차를 설치한다. 넷째, 대차를 이용하여 연돌 내부로 이동된 높이 6m의 Steel Inner Flue Can을 내부 용접 작업대에서 상하 용접 이음하고, 캔 외부를 감싸는 보온작업 후 유압잭(Hydraulic Jack)으로 들어올린다. 다섯째, 연돌 상부에 연돌 내부 작업대에서 용접된 Steel Inner Flue를 상부까지 인양하기 위한 장치로서 유압잭(85ton) 4개를 동일한 간격으로 설치한다. 이는 캔 상단에 설치된 Jacking support에 P.S.강선을 연결하여 이를 유압잭으로 인양하기 위한 것이다.(Fig.11)

3.3 전망대 인양공사

연돌통합형 종합사무동 정상부에는 전망대가 설계되어 있는데, 이에 대한 공사를 함에 있어서 전망대의 주요 구조와 마감공사를 종합사무동 6층 지붕바닥에서 시공하여 이를 유압잭으로 끌어올리는 Lift-up공사는 사전작업과 준비작업, 1차 Lift-up작업, 2차 Lift-up작업, 최종 Lift-up작업 후 전망대와 연결 작업 순으로 구성되어 있다.(Fig.13)

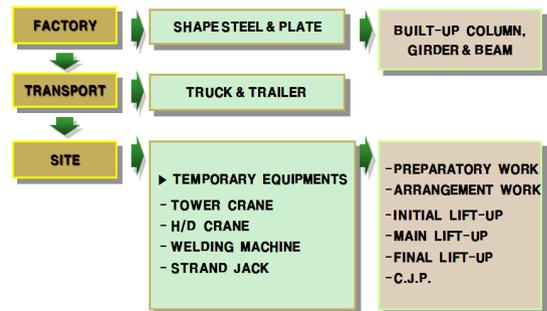


Fig. 12. Lift-up process of observatory platform

3.3.1 리프트 업(Lift-up) 사전작업

첫째, 6층 지붕바닥에서 조립할 수 있도록 하부 구조를 보강하고, 6층 지붕바닥 상부에 가설 까치말(Bracket)와 지지대(Stillage)를 설치한다(Fig.14). 둘째, 공장에서 제작된 전망대 트러스 부재를 현장에서 조립 설치하고, 그 다음 전망대 바닥에 콘크리트를 타설하고 바닥 마감공사를 한다. 셋째, 전망대의 외장재를 붙일 수 있는 프레임 설치 후 그 위에 외장패널을 붙여 마감한다.

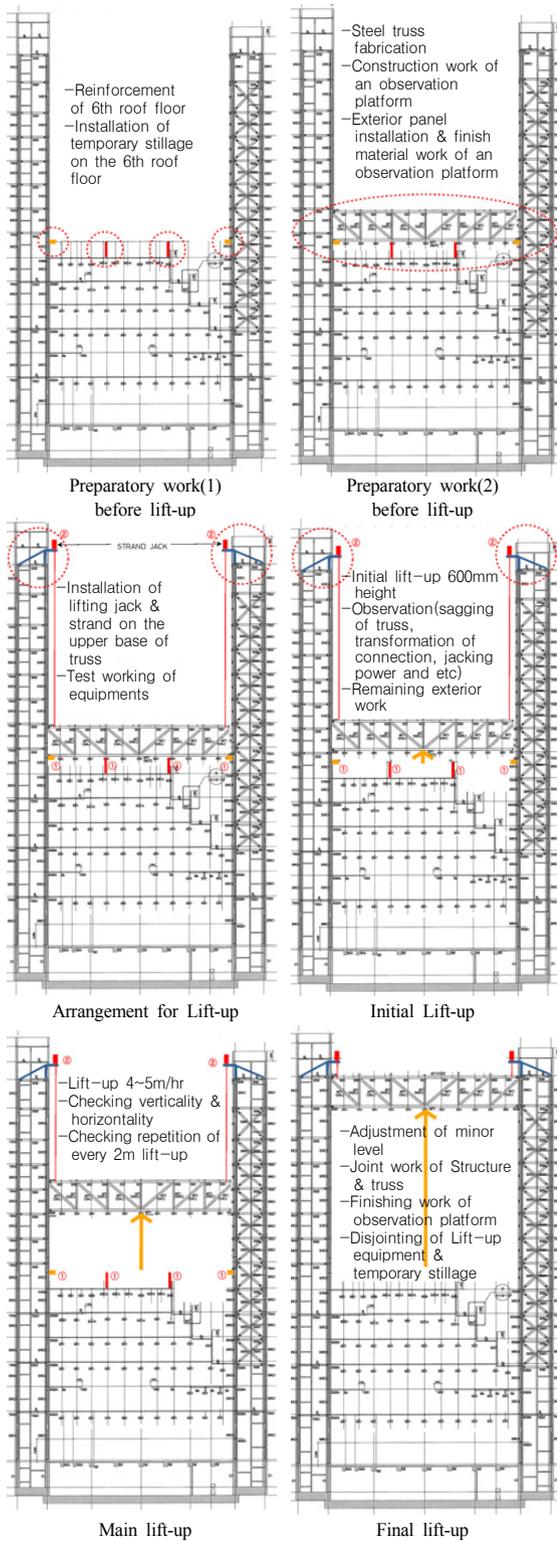


Fig. 13. Lift-up process of observation platform

3.3.2 리프트 업(Lift-up) 준비작업

첫째, 강선을 풀링하고 40m×15line으로 커팅한 후 강선을 Strand Jack에 삽입하고 Lift-up Tower 설치 후 대기한다. 둘째, Strand Jack 설치용 Lift Tower 상부에 Jacking용 플랫폼을 설치하고, 기둥 상부에 Lift Jack 인양 장비를 설치, 구조체에 고정 Bolt를 부착하고 Fixed Anchor Plate에 강선을 삽입한다. 셋째, 각 Strand Jack(150ton 4개소)은 인양하기 전에 시험 가동하여 장비 상태를 반드시 점검하여야 한다.

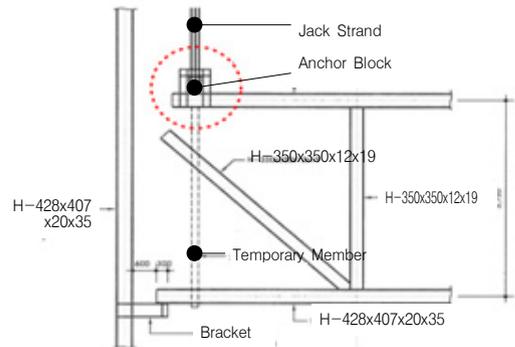


Fig. 14. Temporary support detail of truss fabrication work on the 6th roof floor before lift-up

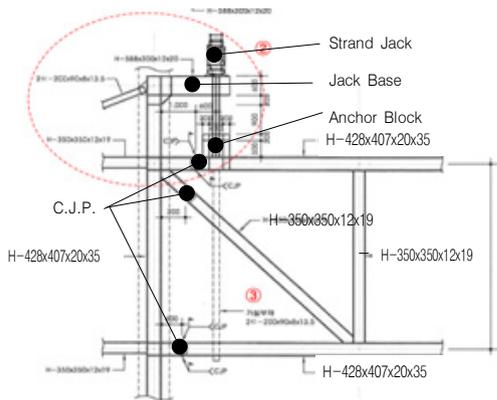


Fig. 15. Connection detail of truss & column after lift-up

3.3.3 1차 리프트 업(Lift-up) 작업

최초 600mm Lift-up하고 설계하중에 도달할 때까지 하중을 10%씩 증가시키면서 장비 및 전망대, 외장재 상태를 점검한다. 하중이 100%시 50mm 상승 후 장비를 최종 점검한다. 또한 자중으로 인한 전망대의 처짐, 형태, 위치 등을 12시간 관측하여 전망대 구조체의 자중에 각 부재에 고르게 전달되는지 확인한다.

3.3.4 2차 리프트 업(Lift-up) 작업

조립 완료 후 인양작업은 풍속이 4m/sec이하에서만 하고, 인양 속도는 4~5m/hr로 한다. 전망대 구조체의 최종 설치높이는 약 37m이므로 기준 측정 높이는 최초 인양지점(4개소)에서 시작하여 매 2m마다 상승할 때마다 수직 및 수평 변위와 재킹력을 계측하여 보정한다. 이 때 모니터링한 수평, 수직 변위 계측치를 비교 분석하여 한계값(20mm) 이상의 오차 발생 시 전체 수평 레벨을 조정한다.

3.3.5 최종 리프트 업(Lift-up) 작업 후 연결 작업 개선

이러한 순서에 의해 인양작업이 완료되면, Lifting Jack을 위 아래로 반복 조정하여 전망대를 포함한 전체적인 레벨에 대하여 미세 조정 작업을 거친 후 본 구조체와 트러스 연결부 시공을 마무리 한다(Fig.15). 이 때 형강과 형강 이음부분은 소재의 전 폭을 전 판두께로 용접하는 완전용접이음(C. J. P. Complete Joint Penetration)으로 한다. 마지막으로 리프팅 장비와 가설 까치발(Bracket)과 지지대(Stillage)를 해체하여 철거한다. 이때 주의사항으로는 지붕 트러스와 건물 기둥을 연결할 때에 정밀하게 시공하여야 하며, 마감재 시공 시에는 돌풍의 영향을 받기 쉬우므로 기후 변동에 유의하여야 하고, 양중과정에서는 좌우 제어가 가능한 고정용 윈치를 반드시 고려하여야 한다.

4. 공사관리 기법 적용

요구하는 품질성능을 보장하면서 최저 Life cycle cost로 공사를 수행하기 위해 연돌 슬립폼 설치와 전망대 설치공사에서 VE기법을 적용하여 공사관리를 시행하였다.

4.1 연돌 슬립폼(Slip Form)공사

재래공법으로 연돌을 설치하기 위해서는 날장으로 된 강재 거푸집(표준 크기 : 1m x 1m, 기타 1m x 다양)을 사용, 높이 1m를 1단으로 하여 150여 단을 「거푸집 조립→철근 배근→콘크리트 타설→거푸집 해체」의 연속 cycle로 연돌 구체를 완성하여야 한다. 그러나 본 연구대상 연돌은 슬립 폼을 사용하여 거푸집 조립 후 「철근 배근→콘크리트 타설」 공정만 연속되기 때문에 연속하여 반복되는 거푸집 조립과 거푸집 해체 공정이 불필요하게 되어 강재 거푸집보다 2개호기 약 58백만 원의 초기공사비를 투자하였으나 전전후로 공사할 수 있어서 공사기간을 단축하였고, 안전사고를 예방한 점을 고려하면 전체 공사비 측면에서 VE기법을 적용하여 설계금액 4,774백만 원에서 정산금액 3,858백만 원으로 변경됨에 따라 해당공정에서만 약 915백만 원을 절감하였다.

4.2 강재 내부연도(Steel Inner Flue)설치공사

공장에서 만든 반원형 캔(Half Can)으로 제작된 Steel Inner Flue 자재를 현장에서 원형의 캔으로 용접 제작하고, 이를 6m높이의 캔으로 용접하여 만든 후, 대차를 이용하여 연돌 내부로 이동된 Steel Inner Flue Can을 내부 용접 작업대에서 상하 용접 이음하고 캔 외부를 감싸는 보온작업 후 유압잭(Hydraulic Jack)으로 들어 올림으로서 강재 내부연도 설치공사는 VE기법 적용하여 설계금액 2,060백만 원에서 계약금액과 정산금액은 각각 1,772백만 원이 확정됨에 따라 해당공정에서만 288백만 원 정도를 절감하였다.

4.3 전망대 인양(Lift-up)공사

재래공법으로 전망대를 설치하려면 종합사무동 6층에서부터 14층 높이까지 강관비계를 전체적으로 설치하여야 하고 그 비계발판 위에서 양중된 철골자재 및 부자재로 전망대로 전망대 골조를 완성하고, 외벽 패널과 바

Table 1. The comparison amount of each construction method

Methods of construction	Estimated amount	Contract amount	Adjusted amount	Remarks
Slip form	4,774,445,145	3,799,748,757	3,858,631,002	Steel bars & concrete costs are not included in amount because of government supply materials
Steel inner flue	2,060,390,186	1,772,656,066	1,772,656,066	
Lift-up	477,011,494	415,000,000	456,000,000	
Total amount	7,311,845,825	5,987,404,823	6,087,287,068	△ 1,224,558,757

다, 천정 등 마감작업을 완성하여야 한다. 이는 해변에 위치한 공사현장의 특성 상 안전사고에 많이 노출되고, 약천후에 따른 연속공사 시행 곤란으로 공사기간 지연이 예상됨에 따라 안전사고 발생에 대한 재해 보상 비용과 공기지연에 따른 연체료 등을 고려해 볼 때, 다른 공법이 요구되었다. 이에 강관 비계 설치보다는 전망대를 종합 사무동 6층 지붕에서 조립하고, 유압잭을 이용하여 14층 높이(전망대 바닥 기준)로 양중하는 lift-up공법을 적용하는 것이 공사비를 절감(설계금액 477백만 원, 정산금액 456백만 원)할 수 있다는 판단에 따라 해당공정에서 21백만 원 정도의 공사비를 절감하였다. 이 공정에서는 공사비의 코스트를 크게 줄이지 못했지만 공기단축과 안전사고가 없었다는 점을 고려하면 비용 이상의 절감 효과가 있다고 분석되어 Lift-up공법이 채택되었다.

5. 결론

1980년대 후반부터 50MW 표준 화력이 건설되었고, 초기에는 전력생산이라는 순기능에 충실하였으나, 이후 해당 지역주민들의 화력발전소에 대한 의식수준이 향상되어 화력발전소 건설에 대한 반대여론이 형성됨으로써 초기투자비를 들이고서라도 전력생산이라는 기능 충족은 물론 화력발전소 건설에 따른 환경오염 문제를 최소화시키면서 전체 구조물과 건축물에 대한 미적 디자인 요소를 가미하기 시작하였다.

본 연구대상인 화력발전소 연돌통합형 종합사무동도 처음에는 배연탈황설비인 연돌과 발전소 근무 직원들의 업무공간인 종합사무동 공간이 어떤 연유로도 서로 인접할 수 없었으나, 미적 요소를 추구하다보니 연돌과 종합 사무동이 상호 연결된 구조를 가진 전혀 새로운 형태의 건축구조물로 탄생하게 되었다.

이렇게 연돌과 사무동이라는 서로 상충되는 기능적 구조적 요소를 미적 요소로 해결하다보니 일반적으로 쓰이지 않는 시공공법이 적용되었는데, 연돌에는 Slip Form 공법과 Steel Inner Flue공법이 적용되었고, 연돌과 연돌사이의 종합사무동 최상단의 전망대는 6층 지붕 바닥에서 조립된 전망대를 유압잭으로 끌어올리는 Lift-up공법이 적용됨으로써 세계 최초로 연돌과 종합 사무동이 결합되는 형태의 건축물을 완성할 수 있었다. 또한 이러한 공법을 적용함에 있어 사전에 여러 번의 회의

와 전문가 자문을 거쳐 요구하는 품질성능을 보장하면서 최저 공사비로 공사를 수행하기 위해 공사관리기법인 VE기법을 연돌 슬립 폼 설치공사와 강제 내부 연도 설치공사, 종합사무동의 전망대 인양 설치공사 시에 적용하여 1,224백만 원 정도를 절감함과 동시에 기능상 이상이 없는 연돌과 종합사무동을 성공적으로 완공할 수 있었다.

이외에도 화력발전소 주요 건물로는 보일러 건물, 터빈 주계어건물이 있는데, 종래에는 외부마감을 메탈사이드로 처리하였으나 최근에는 보다 고급스러운 외장 패널로 마감하고 있으며, 부대건물인 창고동 건물이나 펌프동 건물도 벽돌벽 위 시멘트몰탈과 수성페인트로 마감하던 것에서 탈피하여 적벽돌이나 고급 외장 패널, 또는 커튼월 등으로 마감하기도 한다.

이런 점에서 우리나라 대규모 화력발전소 건설에 있어 기능적으로 충족하여야 하고, 아울러 구조적으로도 만족시키는 것은 기본사항이 되었고, 형태와 외장 재료에 있어서도 다양하고도 독특한 형태의 디자인과 고급 외장재의 사용으로 화력발전소 내의 단지와 건물들을 아름답게 만들기 위해 노력하고 있다. 이에 논자는 추후 발전소 내 주요건축물과 더불어 각종 부대건물들의 외관변화에 대해서도 지속적인 연구를 진행할 예정이다.

References

- [1] Kim, Si-Hyun, Choi, Jang-Soon, A Study on the Design Concepts and Main Construction Processes of the Coal Shed at Thermal Power Plant, Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol. 16, No. 5 pp. 3619, 2015
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.5.3619>
- [2] Korea Southern Power Co., *The purchase contracts and installation specifications of coal treatment equipment*, pp. 263, 2013.
- [3] Korean standards & Certifications, <https://standard.go.kr/KSCI/standardIntro/getStandardSearchView.do>, 10 Mar. 2016
- [4] <http://www.matweb.com/search/DataSheet>
- [5] ASTM INTERNATIONAL, *ASTM B265-15 Standard Specification for Titanium and Titanium Alloy Strip, Sheet, and Plate*, <http://www.astm.org/search/fullsite-search.html?query=ASTM%20B265&resStart=0&resLength=10&>, 14 March, 2016.
- [6] ASTM INTERNATIONAL, *ASTM B898-11(2016) Standard Specification for Reactive and refractory Metal Clad Plate*,

<http://www.astm.org/search/fullsite-search.html?query=A STM%20B898&resStart=0&resLength=10&>, 14 March, 2016.

- [7] Korea Southern Power Co., *The contract document for the integrated office building connected with stacks*, pp.5-2-158~175, 2013.
-

김 시 현(Si-Hyun Kim)

[정회원]



- 1984년 2월 : 서울시립대학교 건축 공학과 (건축공학사)
- 2016년 2월 : 강원대학교 산업과학 대학원 건축학과(공학석사)
- 1985년 2월 ~ 2001년 4월 : 한국 전력공사 건축부
- 2001년 4월 ~ 현재 : 한국남부발전(주) 건축부 차장

<관심분야>

건축시공, 품질관리

최 장 순(Jang-Soon Choi)

[정회원]



- 1983년 2월 : 서울시립대학교 건축 공학과 (건축공학사)
- 1992년 2월 : 서울시립대학교 대학 원 건축학과 (공학석사)
- 2001년 2월 : 서울시립대학교 대학 원 건축학과(공학박사)
- 2001년 9월 ~ 현재 : 강원대학교 건축디자인학과 교수

<관심분야>

건축계획 및 역사, 건축시공