

대형 보일러 와이어로프 노내비계 및 인양시스템에 관한 연구[§]

하승우^{*†} · 이태호^{*} · 이해승^{*} · 김정민^{*} · 유태우^{*} · 조선영^{*}
* 케이엘이에스(주)

A Study on Wire-rope Type Furnace Scaffolding and Its Lifting System for Large-sized Boiler

Seung Woo HA^{*†}, Tae Ho Lee^{*}, Hae Seung Lee^{*}, Jeung Min Kim^{*},
Tai Woo You^{*} and Sun Young Cho^{*}
* KLES Inc.

(Received January 29, 2016 ; Revised April 14, 2016 ; Accepted April 22, 2016)

Key Words: Fseurnace Scaffolding(노내비계), Boiler(보일러), Wire-rope(와이어로프), Supercritical Coal-fired Power Plant(초임계압화력발전소), Safety(안전), Lifting(인양)

초록: 대형 석탄 화력발전소의 보일러는 안정적인 전력량 수급을 위하여, 지속적인 운전 혹은 기동·정지가 반복하면서 운전 되는 등 매우 열악한 상태에서 운전되고 있기 때문에 신뢰성을 유지하기 위한 주기적 점검과 정비는 필수적이다. 정비를 위한 기존의 비계시스템은 모든 하중이 하부로 집중되어 일부 부재에 문제 발생시 연쇄적으로 비계 시스템이 붕괴되는 문제점이 있다. 이에 따라 본 연구에서는 새로운 노내비계를 개발하여 상부에서 하중을 분산시키고, 일부 부재에 문제가 발생하더라도 연쇄 붕괴의 위험을 최소화하였다. 또한, 보일러 튜브의 구조로 인하여 직접적인 설치가 어려운 경우 노내비계의 설치를 위한 인양시스템을 개발하여 노내비계의 구조적인 안정성을 향상시키고 비계 작업자의 안전성을 확보하여 발전설비의 건전성을 확보할 수 있었다.

Abstract: Boilers of large-sized coal-fired power plants are being operated under very poor conditions such as continuous operation or repeating of start-up and shutdown for a stable supply of electricity. Thus periodic inspection and maintenance are required to ensure reliability of operation. The loads of existing scaffolding systems for the maintenance of boilers are concentrated in the lower parts structurally, which may cause a serial collapse of the overall scaffolding system when there are problems in some members. Therefore, in this study, a safe furnace scaffolding system is developed by dispersing the loads in the upper part, as well as minimizing the hazards of serial collapsing. In addition, for cases where the direct installation of furnace scaffolding is challenging owing to the structure of the boiler tube, a lifting system for the installation of furnace scaffolding is developed so that furnace scaffolding can be supported to secure the integrity of the power generating facility.

1. 서 론

대형 석탄 화력발전소의 보일러는 안정적인 전

력량 수급을 위하여, 고온·고압의 상태에서 지속적인 운전 혹은 기동·정지가 반복하면서 운전 되는 등 매우 열악한 상태에서 운전되고 있기 때문에 신뢰성을 유지하기 위한 주기적 점검과 정비는 필수적이다. 특히 운전 중 문제가 발생되지 않도록 계획 예방 정비기간에 보일러 노내에서 많은 정비작업이 이루어지는데, 보일러 내부 정

[§] 이 논문은 대한기계학회 창립 70주년 기념 학술대회 (2015. 11. 10-14., ICC제주) 발표논문임.

[†] Corresponding Author, swha@kles.co.kr

© 2016 The Korean Society of Mechanical Engineers

비 작업을 위해서는 일반적으로 사용되는 비계와는 다른 형태의 발전소 대형 보일러에 최적화된 비계가 필요하다. 이 때, 보일러 내부에 설치되는 시스템 비계의 경우 일반적인 시스템 비계와는 달리 구조 계산을 통하여 규격화되어야 하며, 좁은 보일러 내부 진입 통로와 짧은 내부 정비 및 상태 점검, 손상 보수 시간 등을 고려하여 설계하여야 한다.

그러나 대다수의 발전소에서 사용하고 있는 기존의 비계시스템은 일부 부재의 영향으로 시스템 전체의 구조 건전성에 치명적인 결함을 초래할 수 있으며, 안전인증 기준에 미달하는 외산제품이다. 이 밖에도 노후화, 부재누락, 집중하중에 의한 안전을 초과, 안전관리 소홀 등 많은 문제점을 가지고 있다.

특히 작업발판 및 안전난간대가 부적절하게 설치되어 작업자가 추락하는 사고가 발생하고 있으며, 하부 바닥에 지지기반을 둔 채로 쌓아올리며 조립하는 형태를 갖고 있어 모든 하중이 하부로 집중되어 일부 부재에 문제가 발생하게 되면 연쇄적으로 비계 시스템이 붕괴되는 문제점이 있다. 1987년부터 현재까지 국내의 비계관련 사고는 882건으로 연간 약 30여건이 발생하고 있으며, 2012년 발전소 노내 비계의 붕괴로 인한 인명사고가 발생 되는 등 비계시스템 붕괴사고는 사회적인 이슈를 안고 있다.

국내 기존 연구를 분석한 결과 플랜트 설비에 적용되는 강관비계 및 동바리 등 가설구조물에 대한 연구는 지속적으로 이루어지고 있었으나, 보일러 내부 실정에 맞는 시스템 비계의 규격 표준화 및 구조적 안전에 관련된 제도적 장치 마련은 아직 이루어지고 있지 않다. 또 기존의 시스템 비계 역시 비계 하단부의 집중하중, 곡면 벽체에서의 설치 작업이 매우 어려운 문제점을 가지고 있어 보일러 정비 시 적용하기가 힘들다.

이에 따라 본 연구에서는 보일러 상부에서 하중을 분산시키고, 일부 부재에 문제가 발생하더라도 연쇄 붕괴의 위험을 최소화한 안전한 노내 비계를 개발하고자 하며, 보일러 튜브의 구조로 인하여 와이어 로프형 노내 비계의 직접적인 설치가 어려운 경우 노내 비계의 설치를 위한 인양 시스템을 개발하여 보일러 내부의 와이어 로프형 노내 비계를 지지하도록 개발하여 노내 비계의 구조적인 안정성을 향상시키고 비계 작업자의 안

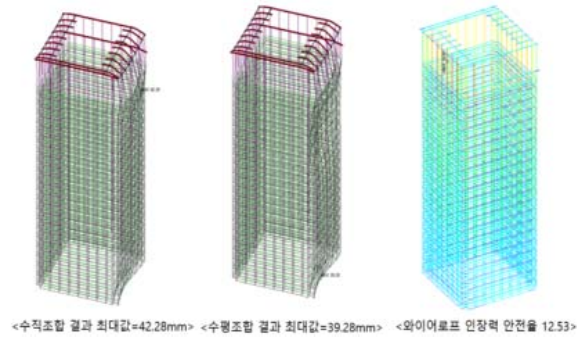


Fig. 1 Structure review of Wire rope type scaffolding system

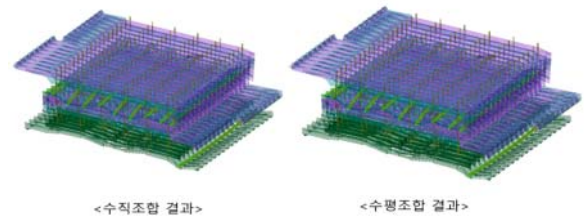


Fig. 2 Structure review of Boiler Tube

전성을 확보하여 발전설비의 건전성을 확보하고자 한다.

2. 시스템 설계

2.1 와이어로프형 노내 비계 설계

본 연구에서 개발하고자 하는 와이어 로프형 노내 비계는 보일러 상부에 와이어를 설치하여 모든 하중을 상부에서 지지하도록 하여 하중을 분산시키고, 연쇄 붕괴의 위험을 최소화하도록 설계하였다.

첫째, 보일러 상부의 튜브 간섭이 적고 노내 비계의 하중을 지지할 수 있는 하중지지부 위치를 선정하였다.

둘째, 각 와이어로프에는 Connecting Joint가 체결되어 각각의 정격 하중을 지지하도록 하였으며, 와이어로프에 가로대 고정용 플랜지를 체결 후 가로대를 체결하여 작업대를 설치하고 작업자의 추락방지를 위한 핸드레일을 조립하는 방식으로 설계하였다.

마지막으로, 하중을 지지해야 하는 보일러 튜브의 구조 검토를 통해 하중지지부의 안정성을 검토하였으며, 작업하중에 대한 비계의 구조 검토와 상부 하중지지대 구조검토를 통한 상부 하중지지부의 응력 및 변형량 검토를 실시하였다. 노내



Fig. 3 Design wire rope type scaffolding system and lifting system

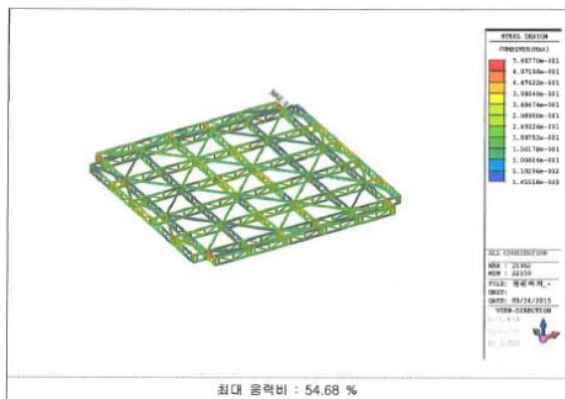


Fig. 4 Review the stress deformation of platform

비계의 구조검토는 1개단에서 20인, 1개면에서 6인의 동시작업 하중에 대하여 구조검토를 실시하였으며, 하중지지대의 구조 검토는 상부 하중지지부에서의 노내 비계의 하중인가에 따른 응력 및 변형량 검토를 실시하여 안정성을 확보하였다.

2.2 와이어로프형 노내 비계 인양시스템 설계

수직형 튜브 타입의 보일러의 경우 보일러 튜브의 구조상 보일러 Nose부의 간섭으로 인하여 와이어로프의 직접적인 설치가 불가능하다. 또한 보일러 내부에 와이어 고정부의 설치가 불가능하여 와이어로프형 노내 비계를 적용하기 위해서는

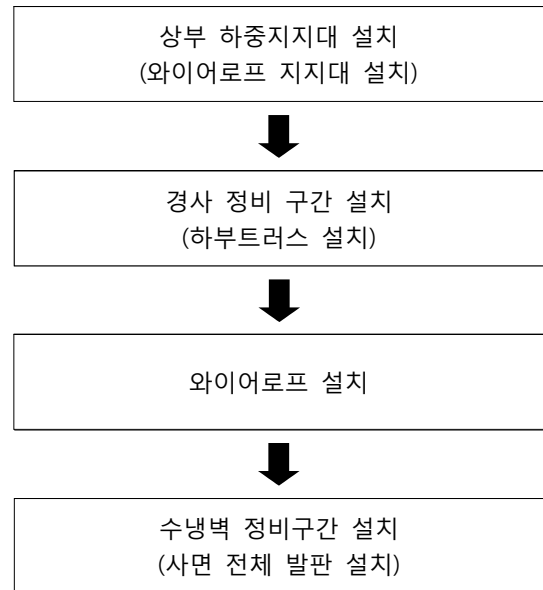


Fig. 5 Procedure for installation of scaffolding for furnace maintenance

Fig. 3과 같이 보일러 Heavy Girder에 인양시스템을 설치하여 이를 통하여 와이어로프형 노내 비계를 설치할 수 있는 플랫폼을 인양시키는 새로운 노내 비계 인양시스템을 설계 하였다.

첫째, Heavy Girder에 비계 시스템 설치 고정부 설정을 위해 플랫폼 지지 시 하중 분배와 보일러 내부 Tube나 HDR에 간섭 회피에 적절한 Roof wall Tube Hole의 위치를 선정하였다.

둘째, 노내 비계 설치를 위한 플랫폼을 동조시스템에 의하여 동일 인양 거리 및 인양 위치 제어가 가능하도록 설계하였다.

마지막으로 비계시스템을 지지하고 있는 플랫폼에 대한 구조검토를 통하여, 상부 하중 지지부에서의 노내 비계 하중인가 시 응력 및 변형량을 검토하였으며 그 결과, 모든 부재의 내력 및 변위가 안정범위 이내인 것을 확인하여 구조 안정성을 확보하였다.

3. 시스템 적용

3.1 수평형 팬던트 튜브 보일러 비계시스템 적용

본 연구에서는 설계된 와이어 로프형 비계시스템을 500MW급 화력발전소를 대상으로 적용하였다. 개발된 와이어로프형 노내 비계의 설치는 Fig 5와 같이 크게 3구간으로 나누어 설치된다. 설치 순서는 상부하중 지지대, 하부 트러스구간, 와이어로프 설치, 사면 전체 발판을 설치하는 순서로



Fig. 6 Application of wire rope type scaffolding system

진행.설치한다.

첫째, 하중지지부인 빔 구조물은 보일러 튜브인 Platen Superheater Bundle 및 Hanger Tube Bundle에 분산 설치되며 설치된 하중지지부의 와이어로프 체결부에 가설재 설치용 와이어로프가 연결된다.

둘째, 설치된 와이어 로프에 Connecting Joint를 설치하고, 여기에 가로대를 핀 체결하여 고정시킨 후 노내 비계 작업 발판을 설치한다. 이를 반복하여 벽면을 따라 전체 발판을 설치하고, 상단으로 이동이 용이하도록 계단을 설치한다. 계단은 3단을 연속하여 이동할 수 있도록 연결하여 설치하며 위와 같은 형식으로 최상단까지 반복하여 설치한다.

셋째, 작업 발판을 설치한 후 보일러 내부의 코너 측의 Burner 구간에는 간섭과 벽면유격이 발생되지 않도록 삼각발판을 설치하고, 코너 내부로는 형상 유지와 강도보강을 위해 강관파이프를 이용하여 코너 지지대를 설치한다.

마지막으로, 와이어로프는 특성상 측면에 대한 흔들림이 발생할 수 있으므로 이를 보완하고자

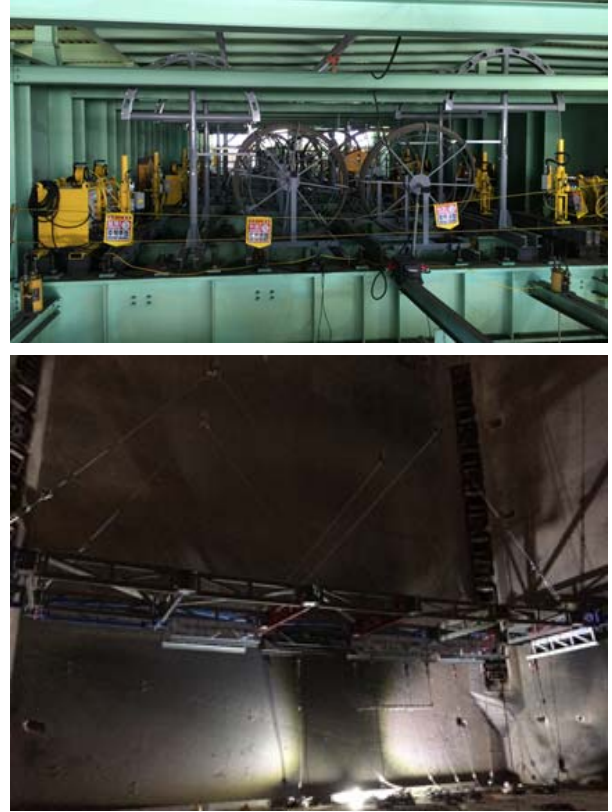


Fig. 7 Application of Lifting system

벽면지지대와 마그네틱 조절버팀대를 사용하여 벽면과 고정한다.

3.2 노내비계 인양시스템 적용

본 연구에서는 보일러 튜브의 구조상 와이어로프형 노내 비계의 직접적인 설치가 어려운 수직형 튜브 타입 보일러로 구성된 500MW 이상급 초임계압 화력발전소를 대상으로 노내 비계 인양 시스템을 적용하였다.

먼저 Heavy Girder 부에 비계 시스템 설치 고정부를 설정하고 유압잭, 리코일러, 팜트리 가이드 등으로 구성된 노내 비계 설치용 플랫폼 인양 시스템을 설치하였다.

둘째, 보일러 바닥에서 상하부지지 플랫폼을 조립한 후 스트랜드로 유압잭과 연결하여 일정한 거리만큼 상부로 인양시킨다.

셋째, 인양된 플랫폼에 설치된 와이어로프를 이용하여 노내 비계를 1단씩 조립시키면서 상부로 인양하는 작업을 반복적으로 실시하며, Nose 부 하단까지 인양 및 조립을 반복하며 시스템을 적용하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 보일러 상부에 와이어를 설치하여 노내비계를 설치하는 와이어 로프형 노내 비계와 와이어로프형 노내 비계를 인양하는 인양시스템을 개발하였으며, 500 MW 이상급 초임계압 화력발전소에 성공적으로 적용하였다.

본 연구를 통해 개발된 와이어로프형 노내 비계는 첫째, 기존의 하부 하중지지방식에서 탈피하여 하중을 상부에서 분산 설치함으로써 국부적 응력집중으로 인한 연쇄붕괴의 위험을 제거하여 안전성을 확보하였다.

둘째, 일부 부재에 문제가 생기더라도 전체 시스템의 안전성에 미치는 영향을 최소화하고, 상부 지지부의 하중에 의한 피로도 최소화하여 전체 시스템의 안정성을 향상시켰다.

셋째, 노내 비계 인양시스템은 와이어설치가 불가능한 수직형 튜브타입 보일러에 와이어로프형 노내 비계를 적용이 가능하게 할 뿐만 아니라, 바닥에서 비계 시스템 설치가 가능하고 다수의 작업자가 동시에 노내 점검 및 보수 작업을 안정하게 수행할 수 있어 비계시스템의 설치 기간 및 비용이 절감되는 효과도 있다.

마지막으로, 본 연구를 통해 획일화된 노내 비계 기술에서 벗어나 다양한 형식으로 변하는 기틀을 마련하였으며, 하중고정 방식이 상부고정방식으로 전환되어 다양한 현장 활용이 가능하게 하였다.

참고문헌 (References)

(1) Kim, J. H., Kim, E. S., Park, W. S., Moon, B. S.,

Goh, J. M., Park, N. K., Yoon, K. B. and Cho, S. W, 2013, "Forensic Engineering Study on Structural Integrity Evaluation of Scaffolding System Tower using ANSYS," *Journal of Korean Society of Safety*, Vol. 28, No. 6, pp. 42~48.

(2) Song, G. W., Kim, B. S., Choi, W. S. and Park, M. S., 2013, "Prediction of Maintenance Period of Equipment Thorough Risk Assessment of Thermal Power Plants," *Trans. Korean Soc. Mech, Eng. A*, Vol. 37, No. 10, pp.1291~1296.

(3) Lee, Y. H., 2013, "A Study of Expanding Range Of Diagnostic and Regular Inspection Cycle for Aging Power Plants," *Electric Engineers Association, Korea*, pp. 46~88.

(4) Ryu, B. J., Shin, G. B., Lee, J. Y., Baek, S. G. and Kim, H. S., 2006, "A Study on Vibration Scaffolding Structures with a Hoist According to Payloads," *The Korean Society for Noise and Vibration Engineering* Vol. 11, pp. 506~511.

(5) Sam, B., 2007, "Forensic Engineering : Reduction of Risk Improving Technology," *Engineering Failure Analysis*, Vol. 14, pp. 1019~1037.

(6) Park, J. K. and Jeong, S. G., 2015, "The Survey of the Current Situation for System Scaffolding in the Domestic Construction Site(II)," *Journal of the Korean Society of Safety*, Vol. 30, No. 2, pp. 35~40.

(7) Park, J. K. and Jeong, S. G., 2010, "The Survey of the Current Situation for System Scaffolding in the Domestic Construction Site," *Journal of the Korean Society of Safety*, Vol. 25, No. 3, pp. 107~111.