

현장조사를 통한 철골공사 설계프로세스 개선방안

The Improvement Plan of Design Process by Case Study of Steel Structural Work

방 성 원* 김 진 호** 임 남 기***
 Bang, Sung-won Kim, Jin-Ho Lim, Nam-Gi

Abstract

Steel frame construction is divided into subsidiary materials with column, beam, girder and bracing. After these are processed in factory for using installing in construction field. These prefabricated furniture is very important in accordance with design drawing about processing and prefabricating.

In the case of design process using information transmission in blueprint, omission of material number, processing measure and finishing material, or discordance of each structure drawing and selecting incongruent structural material generated an error in the process of design. These error caused delaying time and increasing cost and increasing safety accident in the steel-structure work operating process. therefore, design process should consider problem of operating process.

키 워 드 : 철골공사, 철골공작도, 설계단계, 시공단계, 표준화, 시공성, 의사결정

Keywords : Steel structural work, Shop drawing, Design-phase, Construction-phase, Standardization, Constructability, Decision Making

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근, 국내에는 내진성의 향상 및 공기단축을 목표로 초고층 아파트나 주상복합아파트 공사 등에 철골구조가 도입되는 사례가 증가하고 있으며, 공장의 공사에 있어서도 철골구조로 신축되는 사례가 많다.

철골구조는 설계도서(설계도면+시방서)에 따라 기둥, 보, 가새 등의 부재로 공장에서 가공된 이후 운반되어 현장에 설치하는 조립가구로써, 가공 및 조립에 관한 설계도서는 매우 중요하다.

따라서, 설계정보의 전달에 사용되는 설계도면에서 부재의 명칭, 가공치수, 마감부재 등의 누락 및 각 구조도의 불일치, 부적합한 구조재료의 선정과 같은 설계의 오류는 철골공사의 수행에 있어서 공기지연 및 공사비의 증가, 작업자의 안전사고 증가 등을 초래할 수 있으므로 설계단계에서 시공상의 문제를 고려한 설계가 필요하다.

본 연구는 철골공사의 수행에 있어서 설계의 오류로 발생한 문제점이 시공단계에 미치는 영향에 대해 현장실태를 통하여 분석하고, 시공성을 고려한 설계 프로세스의 개선방안을 고찰하는 것이 목적이다.

1.2 연구의 방법 및 범위

철골의 제작 및 시공방법과 철골구조물의 요소 등은 문헌

연구를 통하여 이론적인 고찰을 실시하였고, 이것을 토대로 시공현장답사와 철골공사에 참여하고 있는 실무자를 대상으로 한 면담조사에 의해 철골공사 생산프로세스에 있어서 설계 정보전달의 실태를 분석하였다.

또한, 철골공사에 참여하는 실무자를 대상으로 설계 시 고려해야 할 사항과 개선방안에 대해 고찰하였다.

본 연구의 주된 연구내용은 다음과 같다.

- 1) 철골공사 생산단계별로 설계도면의 문제점 분석
- 2) 국내 철골공사현장의 공사실태분석
- 3) 철골공사 참가 실무자를 통한 설계프로세스 개선방안

2. 철골공사에 대한 이론적인 고찰

2.1 철골의 제작 및 시공

철골공사는 크게 공장제작과 현장시공으로 구분되고 공장 제작은 설계도와 시방서를 토대로 철골공작도(Shop drawing)를 작성하며, Shop drawing을 바탕으로 입고된 재료를 금매깎, 절단, 구멍 뚫기, 가용접, 본 용접의 순서를 거쳐 각각의 부재로 만드는 과정이다.

그림1은 철골공사 현장시공의 프로세스를 나타낸 것이다.

현장시공단계란, 공장제작단계에서 완성된 각각의 부재를 수송단계를 거쳐 조립도에 준해 고력볼트접합 또는 용접접합으로 조립하는 것으로, 앵커볼트의 매입에서 세우기, 고쳐 세우기를 거쳐 본조임 검사 이후 후속공정으로 인도하기까지의 과정을 의미한다.

*정회원, 동명정보대학교 대학원 석사과정

**정회원, 동명정보대학교 건축공학과 전임강사(기간제), 공학박사

***정회원, 동명정보대학교 건축공학과 조교수, 공학박사

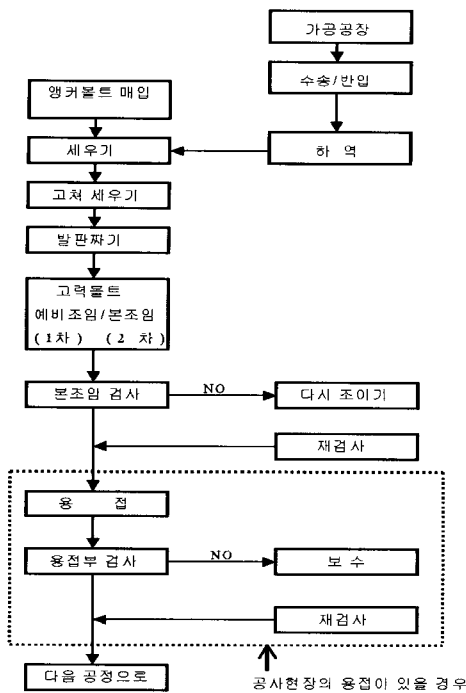


그림 1. 철골공사 현장시공 프로세스

2.2 철골구조도의 구성 및 철골구조물의 요소분류

표 1은 철골구조도의 구성 및 중요한 표현정보를 나타낸 것이다.

표 1. 철골구조도의 구성 및 표현정보

도면리스트	표현해야 할 정보
시방서	▶ 사용재료, 제작공장, 용접요령, 검사, 시험, 녹방지도장 등에 관한 사항
평면도 일반	▶ 중심선과 기둥심의 위치관계를 치수로 명시하고 복잡할 경우에는 심선도를 별도로 첨부
말뚝 평면도	▶ 대지경계선, 방향, 중심선, 일직선 명칭, 스패, 중심선과 기둥 심과의 거리, 기초의 형상 및 위치, 말뚝 시방 등
기초 평면도/최하층 바닥 평면도 (RC조)	▶ 벽, 철골기둥, 지중보, 기초, 계단, 바닥 개구부, 각 부재의 명칭, 레벨 등
철골층바닥 평면도	▶ 방향, 중심선, 일직선 명칭, 스패, 기둥의 배치와 명칭, 큰보 및 작은보의 배치와 명칭, 철골보 단부의 접합방법, 철골보의 이음위치, 데크 플레이트, 중도리, 브레이스, 바닥개구, 계단, 엘리베이터, 보·바닥 레벨 등
프레임 워크도	▶ GL, 각층FL, 층 높이, 큰보와 FL의 레벨차, 중심선과 기둥중심의 거리, 벽면 브레이스, 셋기둥, 셋기둥에 설치하는 작은보와 명칭 등
부재리스트	▶ 부재명칭, 부재, 재질, 패널 존의 부재, 다이어렙프 (판 두께, 크기) 베이스 플레이트 등
부분상세도	▶ 기둥뿌리, 셋기둥의 기둥머리, 보위에 세우는 기둥, 현차, 계단참의 받침 작은보, 계단, 기둥과 보의 접합부, 슬래브의 구조, 철골 부재와 RC벽의 접합, 외장재의 바탕, 패러핏, 브레이스 등
가구상세도	▶ 부분 평면도, 브레이스의 위치, 기둥뿌리상세(베이스 플레이트, 스티프너, 리브 플레이트, 거시 플레이트, R층의 물매와 높이, 1FL과 GL의 레벨 등

표에 나타난 것처럼 철골구조 구조도의 종류는 매우 다양하며, 설계단계에서는 부재의 명칭 및 치수, 형상 등의 정보를 명확히 표시하여야 한다.

표 2는 철골구조물의 요소를 구분하여 각각의 개념을 나타낸 것이다.

표 2. 철골구조물의 요소

요소	개념
기둥(Column)	▶ 철골구조의 기둥은 일반적으로 2~3개 층을 1개의 부재(1절)로 가공하며 상하 기둥의 접합에는 볼트 또는 용접으로 시공된다.
보(Beam / Girder)	▶ 부재의 길이방향의 축에 가로로 작용하는 횡하중을 지지하는 구조재로 큰보(Girder)와 작은보(Beam)가 있다. 형태는 H, I, C형강의 단일재료 보와 조립한 리티스보, 허니컴보와 같은 특수 형태가 있다
접합부(Joint)	▶ 형태는 연결되는 부재의 종류에 따라 다르며 기둥과 기둥, 보와 보, 기둥과 보의 접합으로 수직, 수평으로 이루어진다.
가새(brace)	▶ 보로 전달되는 수평력을 가새의 축강성으로 지지하도록 되어 있는 구조재로서 일반적인 접합부와는 달리 별도의 접합방식이 필요하며, X형과 K형이 많이 사용된다.
데크플레이트(Deck plate)	▶ 작은보의 하중지지 능력을 높이기 위해 구조재로 사용되거나 단순히 거푸집 대용으로 사용되는 경우가 있다. 시공이 간편하고 공사기간이 단축되거나 재료비가 비싸고 내화처리를 해야한다.
도리(Purlin)	▶ 벽과 지붕의 도리를 잡기 위한 부재로 마감재로 사용되며, 벽도리와 지붕도리로 나누며 지붕도리는 중도리와 측도리로 분류하며 대부분 C형강, C형강이 사용된다.

최근, 거푸집 대용으로 사용이 가능하여 시공의 용이성이 있고, 공기단축 등의 장점으로 바닥 시공을 데크 플레이트(Deck Plate)로 하는 경우가 증가하고 있지만, 재료비가 저렴하지 못하고 내화처리를 해야 하는 점은 향후 검토되어야 할 과제로 생각된다.

2.3 철골공사관련 주요 선행연구 분석

기존의 주요 선행연구는 표 3에 나타난 것처럼 구체적으로 고찰해 보면, 대부분 철골공사 생산프로세스 중, 현장 세우기 단계를 중심으로 한 것과, 공사관리시스템 개발을 위한 데이터베이스의 구축 및 정보통합에 관련된 연구가 수행되었다.

그러나, 현장 세우기 및 공사관리 시스템에 관한 연구는 철골공사 생산프로세스 전반에 대한 고찰과 이에 따른 합리화 방안을 모색한 것으로 간주하기에는 다소 미흡하다.

따라서, 철골공사의 최종 공정이면서 작업의 핵심인 현장 시공단계와 철골공사의 생산단계(견적·발주, 공장제작, 운송, 철골 세우기)별로 문제점 발생의 원인 및 시점을 고찰하고, 이에 적합한 개선방안에 관한 연구가 이루어지면 철골공사 생산시스템의 개선에 크게 기여하리라고 생각된다.

표 3. 철골공사 관련 주요 선행연구 개요

구분	논제 및 내용
이은석 외 1인/ 2001	▶ 논 제: 철골공사 시공에 관한 현황 연구 ▶ 한국과 일본의 현장시공 작업반장을 대상으로 현장 세우기 작업을 중심으로 철골공사 생산시스템을 비교·분석함.
이은석 외 1인/ 2000	▶ 논 제: 한국과 일본의 철골공사 생산시스템 연구 ◎ 한국과 일본의 전문공사 작업자를 대상으로 발주형태와 현장 세우기 작업을 중심으로 철골공사 생산시스템을 비교·분석함.
이은석 외 1인/ 2001	▶ 논 제: 철골공사 전문 작업반장의 공사 의식에 관한 연구 ◎ 한국과 일본의 철골공사 작업반장의 의식도에 대해 조사하였으며, 현장 세우기 작업을 중심으로 분석함.
오재욱 외 2인/ 2001	▶ 논 제: 개체형 모델링 개념을 이용한 철골공사 정보 통합모델 구축 ◎ 건설프로젝트 생애주기동안의 정보를 효과적으로 이용한 관리시스템의 기반이 되는 모델을 제시하고 데이터베이스를 구현하는 방법론을 제시함.
장명훈 외 1인/ 1997	▶ 논 제: 철골공사 공사관리 시스템 개발을 위한 철골 부재 모델링에 관한 연구 ◎ 설계정보와 시공정보를 연계시킨 철골공사 공사관리 시스템을 개발하기 위해 개별부재의 표현과 데이터베이스의 구축방법을 고찰함.

이런 관점에서 본 연구는 철골공사의 생산단계별로 발생하는 설계프로세스의 문제점을 분석하고, 현장상황에 적합한 설계프로세스의 개선방안을 제시한 점이 본 논문의 특징이라고 생각된다.

3. 철골공사 생산단계별 설계도면의 문제점

여기에서는 시공현장 답사와 실무자를 대상으로 한 면담조사를 토대로, 철골공사 생산단계별로 설계도면의 문제점을 고찰하였다.

3.1 견적 및 발주단계

철골공사는 다른 공종에 비해 축적된 자료가 부족하여 정확한 견적 및 자재 발주는 설계자 및 원청업자가 하기 곤란한 것이 현실이다. 일부 원청업자가 자재 수량산출 및 자재 발주를 할 경우, 실제 사용될 자재수량과 일치하지 않아 자재의 부족으로 인한 공기의 지연 또는 과잉 자재의 입고로 인한 공사비 증가의 원인으로 발생되고 있다.

따라서 실제 시공을 담당할 하도급업자 또는 작업반장에 의해 자재의 수량산출 및 발주가 이루어진다. 이 과정에서 설계도면 구조도의 누락 등으로 설계정보의 전달이 곤란하여 발주자와 시공자의 분쟁, 설계자와 시공자의 분쟁, 원청업자와 하청업자간의 분쟁 등, 공사 참여자들의 분쟁이 발생되고 있다. 철골공사에서는 주로 사용되는 대강재류의 생산은 1m 간격으로 하고 있으며, 가장 많이 사용되는 H-형강은 7~15m 까지 생산 및 운반이 가능하고, L-형강, C-형강은 8~12m 까지 생산이 가능하다.

그러나, 강제 공급업체에서는 강제 생산기준을 10m로 하고 있고, 10m 외에는 주문생산하고 있어 재료가 공급되기까지 길게는 1개월 가량이 소요되어 공기지연의 원인으로 작용하고 있다. 철골공사의 견적 및 발주단계에서 발생되고 있는 문제점은 설계뿐만 아니라, 강제공급 등의 문제도 발생되고 있는 상황이다.

표 4는 견적 및 발주단계에 있어서 설계와 관련된 문제점을 나타낸 것이다.

표 4. 견적 및 발주단계에서 발생한 설계와 관련된 문제점

문제점 유형	문제점의 내용
도면누락 및 정보의 부정확	▶ 시공에 사용되는 설계도를 정확히 알아 볼 수 없는 경우가 발생(치수 보조선의 위치, 부재 명칭 등). ▶ 접합부 상세도 및 각부 상세도의 누락으로 각종 소부재에 사용되는 소강재류와 각종 Bolt류의 수량산출이 견적 업무자의 경험에 의해 산출되고 있어 공사수량산출의 변동요인으로 작용.
부재가공 및 자재선정 부정확	▶ 시공 불가능한 자재선정으로 견적업무자의 경험에 따라 자재를 변경하여 산출함으로써, 견적참여자 개인의 자재수량의 산출에 있어서 큰 오차가 발생. ▶ 부재의 가공 길이가 m단위로 근사치로 작업되지 않아 부재가공 이후 고철로 처분되어 공사비 증가
현장작업 정보미비	▶ 현장 세우기 작업을 고려하지 못한 설계단계의 작업으로 안전사고의 위험증가.

3.2 공장제작단계

영세한 철골제작업체의 경우 많은 비용이 소요되는 공장을 확보하지 못해 옥외제작을 하고 있으며, 옥외제작은 용접품질의 확보가 어렵고, 도장작업 시 분진발생으로 환경오염 등의 문제를 발생시킨다.

철골공사의 제작과정은 설계도서에 준해서 shop drawing을 작성하고 설계자의 승인을 얻은 후 shop drawing에 준해서 실제의 치수로 1:1척 작업 후 검사를 하고 금긋기, 절단, 구멍 뚫기, 용접의 순서로 작업을 진행하도록 되어 있다.

그러나 대규모의 시공업체를 제외하고 중소 규모의 영세한 시공업체는 shop drawing작업을 생략하고 작업을 진행하는 경우가 많으며, 생략하는 이유로는 대부분이 다음과 같다.

- 1) shop drawing에 소요되는 비용문제
- 2) 현장작업자의 대다수가 현장작업에는 능숙하나 shop drawing을 작성할 능력을 갖춘 작업자는 거의 없다.
- 3) 현장관리자의 대다수가 drawing에는 능숙하나 철골공사의 제작단계의 실무를 알지 못한다.

현장작업자가 shop drawing을 작성하는 경우 작업자의 여건에 맞추어 진행하기 위한 shop drawing에 불과하여 설계자나 감리자가 이해하기는 쉬운 것은 아니다

shop drawing을 설계단계로 의뢰하는 경우는 대부분의 설계자들은 shop drawing을 전문으로 작성하는 곳으로 의뢰하기를 원한다. 이것은 설계단계에서 자신이 설계한 구조물의

축조방법이나 접합시공방법 등, 시공단계를 잘 숙지하고 있지 않기 때문이다.

그런데, shop drawing을 전문으로 작성하는 곳에 의뢰하면 현장여건 및 견적단계에서 발주된 자재의 길이, 제작단계 시공방법 등이 반영되지 못하여 제작단계에서의 정보가 설계단계에 반영되기란 쉽지 않다. 또한, shop drawing 작성 후 제작이 진행되면 공사공정은 shop drawing을 작업한 시간만큼 지연된다.

공사기간이 촉박한 현장은 제작작업을 진행하면서 제작된 부재와 shop drawing이 일치하도록 하여 제출하는 방법을 사용하기도 한다. 결국 이런 방법은 작업을 하기 위해 작성되는 shop drawing이 아니라, 완성부분에 대한설계자와 감리자의 검사와 승인을 목적으로 제출되는 것이다.

또한, 일부 제작단계에서는 CAD가 활용되어 넓은 작업공간을 필요로 하던 원칙도 작업이 사라지고, CAD를 통한 1:1 drawing으로 제작중심의 shop drawing을 실무에 활용하고 있다.

만약, 설계단계에서 구조도, 상세도의 누락 및 구조적인 오류가 없는 완벽한 설계도서를 시공단계로 전달한다면 shop drawing 없이도 감리자, 현장 관리자, 작업자 등이 설계자의 의도를 파악하여 시공단계에서 부실하게 공사되는 문제점을 정확하게 지적, 보완 조치를 할 수 있을 것이다. 철골공사는 다른 공종과 달리 구조도에 준해 구조물을 다량의 부재로 가공하고 현장에서 Bolt로 조립하는 공사로 주심도, 층 구조평면도, 각부 상세도, 접합부 상세도 등, 다량의 설계도를 필요로 한다.

표 5는 공장제작단계에서 발생한 설계와 관련된 문제점을 정리한 것이다.

표 5. 공장제작단계에서 발생한 설계와 관련된 문제점

문제점 유형	문제점의 내용
도면누락 및 시공성 검토 미비	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 설계도면은 접합부상세도의 누락 및 시공상황을 고려하지 못한 접합부상세도로 현장실무자 및 관리자가 접합부를 처리하는 경우가 발생한다. ▶ 철골공사에서 부분상세도 및 열 구조도 등은 제작단계에서 구조물의 전체형상을 파악하는 중요한 부분임에도 불구하고 일부 도면만 첨부되는 경우가 있다.
공장제작 정보미비	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 제작단계를 고려하지 못한 설계로 인해 작업의 지연 및 작업자의 과중한 업무로 안전사고의 위험증가와 작업능률 저하 및 공사비 상승 등을 초래한다.

특히, 접합부 상세도의 누락 및 현장 시공상황을 고려하지 않은 접합부 상세도는 현장실무자가 접합부를 처리해야 하는 경우를 초래하게 된다.

1) Girder에 대해서는 동일부재의 이음접합인 모멘트접합으로 철골구조 설계편람 등과 같은 여러 전문도서에 명기되어 있으므로 설계단계에서 잘 검토하면 문제가 발생되지는 않는다. 그러나, 실제 시공할 접합부가 누락되거나 사용하지 않는 부재의 접합부가 첨부되는 것 등의 오류가 발생하고 있다.

2) 원형강 Bracing의 가공 및 접합부 상세도가 많이 누락되어 작업자에 따라 여러 가지 형상으로 작업하므로 외관상의 문제 및 구조적인 문제가 발생하고 있다.

그림 2는 Bracing plate와 기둥의 용접접합부 파단위험 시공사례이다.

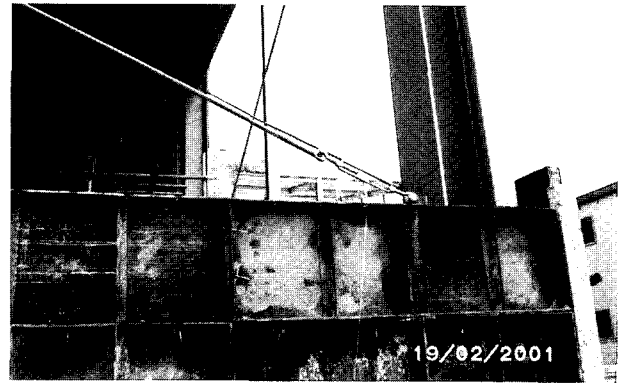


그림 2. Bracing Plate와 기둥 용접접합부 파단위험 시공사례

상기 그림과 같이 기둥에 접합된 plate의 크기가 작으면 용접길이가 작아서 인장력 발생시 용접접합부 및 plate가 파괴될 수 있는 사례로, 그림 4의 시공사례와 비교할 때 미적인 요소도 저하된다.

그림 3은 지붕층 Bracing plate의 파괴에 따른 위험시공사례이다.

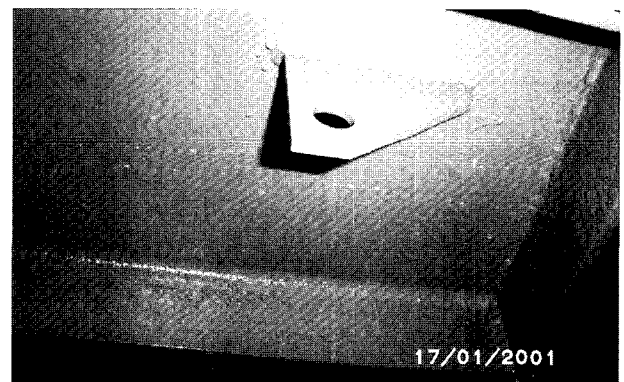


그림 3. 지붕층 Bracing Plate의 파괴에 따른 위험시공사례

상기 그림과 같이 plate에서 구멍이 가공되어진 위치에 인장력이 발생될 경우, 파단되지 않을 조건(구멍 지름의 2배)을 만족하지 못하게 되면 plate의 구멍주위에서 파단될 수 있는 위험한 시공사례이다.

이 사례의 경우 인장재로 사용되는 원형강 Bracing의 끝단을 절곡하여 걸어서 사용하게 되면 압축력이 발생될 경우 Bracing plate와 원형강 Bracing이 해체될 위험성도 발생된다.

그림 4는 지붕층 Bracing의 양호한 시공사례를 나타낸 것이다.



그림 4. Bracing 의 양호한 시공사례

즉, Bracing plate의 파단의 위험이 없으며, Bracing plate와 원형강 Bracing이 고장력 bolt로 접합되어 해체될 위험성이 없다.

또한, 공장제작단계를 고려하지 못한 설계로 인해 작업의 지연과 작업자에게 과중한 업무를 발생하게 하는 점으로, 공사비를 상승하게 하는 문제점도 있다.

예를 들면, 설계단계에서 자주 오류를 범하는 부분이 계단 부분으로, 철골구조의 재료는 대부분이 형강류로서 직선계단일 경우 작업 형태상의 문제점은 발생되지 않는다.

공장건물에 있어서 사무동은 외형을 감안해 계단을 원형으로 Drawing하는 경우가 많아지고 있으며, 원형계단 옆면의 재료가 철판인 경우, 이론상 원형계단을 시공할 수 있지만 현실적으로는 계단옆면의 형태를 전개법에 의해 전개작업 후 가공해야하는 문제가 발생되므로 작업의 난이도가 매우 높아지며 원형계단을 용이하게 제작할 수 있는 작업자는 매우 드물다.

제작을 하는 경우라도 엄청난 공사비가 계단하나에 소요되므로 철골조의 원형계단은 철근 콘크리트로 변경하여 시공하고 있다.

한편, 직선계단의 경우는 계단의 길이가 길어 세우기 단계에서 양중문제 또는 운송단계의 문제로 인해 2개 이상으로 분절하여 시공해야 하는 경우가 자주 발생한다.

이 경우 계단의 중간을 고정시켜줄 구조물이 있으면 문제가 되지 않지만 중간을 고정시킬 수 있는 구조물이 없다면 기둥을 세워야한다.

전술한 조사내용 외에도 실제 공장제작단계에서 발생하는 설계와 관련된 문제로서는 부재 규격변경, 척도의 불일치, 치수표기 누락, 치수표기 위치의 문제, 부재명 누락 및 오타 등, 여러 가지가 있어 공기지연, 공사비증가, 작업효율 감소 등 제작단계 전반에 영향을 미치고 있다.

따라서, 설계단계에서는 시공 가능한 설계를 하기 위해서 공장제작단계에서 얻어진 작업자들의 오랜 경험과 지식을 설계단계에 최대한 반영해야 할 것이다.

3.3 운송단계

공장제작단계에서 완성된 부재를 페인트작업 후, 시공현장으로 수송하는 것을 운송단계라 정의한다.

운송단계에서 사용될 운송장비는 시공될 구조물의 전체 중량과 운송될 부재의 길이에 의해 결정하므로 25톤 트레일러, 또는 18톤 트럭을 사용하여 운송하고 있다.

25톤 트레일러는 시공현장의 진입로 확보, 적재함 노출, 회전반경의 과다 등의 문제점으로 부재길이가 긴 경우(12m이상)나 부재 1ps의 중량이 18톤을 초과하는 경우 등에만 사용하고, 대부분은 18톤 트럭으로 운송하고 있다. 철골부재는 주자재인 대강재류(H-형강, L-형강, C-형강, 각형강관, Pipe 등)에 소부재(plate, Stud Bolt, Purlin용 angle 등)인 소강재류를 용접접합 또는 Bolt접합하여 하나의 부재로 제작하고 있다. 완성된 부재의 형상이 복잡하면 적재 및 상차(上車)시, 부재와 부재간의 공간이 과다 발생하게 되는데 적재함의 빈 공간을 최소화하여 운송단계의 경비를 절감하면, 철골공사비를 최소화할 수 있다.

따라서 철골부재의 형상을 잘 숙지하고 있는 운송전문기사들이 나타나고 있으며, 운송단계의 경비절감을 위해 상차장비(지게차, 크레인)의 선정 및 적재방법을 조언하기도 한다.

표 6은 공장에서 현장으로 운송하는 단계에서 발생하는 설계와 관련된 문제점을 조사한 내용이다.

표 6. 운송단계에서 발생하는 설계와 관련된 문제점

문제점 유형	문제점의 내용
적재방법 검토미비	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 설계단계에서 브라켓의 길이를 1000~1200mm로 설계하여 상차(上車) 및 적재과정에서 운송경비상승의 문제점이 발생되고 있으며, 운송과정의 사고 발생위험도 증가한다. ▶ 도리(Purlin) 구름받이 높이가 200mm이상일 때는 부재사이의 고임폭이 높아져 운송과정의 사고발생 위험성이 증가한다.

3.4 현장시공단계

1) 철골 세우기 준비단계

철골 세우기 준비단계는 부재가 공장제작중에 구조물이 세워질 장소에 기초공사와 병행하여 Anchor Bolt를 선 시공하여 매설하는 작업을 의미한다.

Anchor Bolt매설작업은 철골구조물 전체의 정밀도에 영향을 미치는 아주 중요한 작업이며, 타 공종과 연관된 작업인 만큼 기초공사 관계자와의 정보교환이 이루어져야 한다. 즉, 기초공사 바닥구조평면도, 배근도 등과 철골공사 중심도와의 정보일치를 확인 한 후 작업을 진행하여야한다. 설계단계에서 기초공사에 관련된 설계도서와 철골공사에 관련된 설계도서가 일치되지 않아 Anchor Bolt매설작업에서 발생하는 변동된 사항은 공장제작단계에 신속히 반영되어야한다.

표 7은 철골 세우기 준비단계에서 설계와 관련된 문제점을 조사한 내용이다.

표 7. 철골세우기 준비단계에서 발생하는 설계와 관련된 문제점

문제점 유형	문제점의 내용
설계정보 불일치	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 구조물 마감선과 건물바닥 마감선의 불일치로 빗물의 유입, wall panel의 공사곤란, 하자발생 및 공기지연, 공사비 증가의 원인으로 발생. ▶ 바닥구조평면도의 주각위치와 중심도의 기둥위치가 다르게 표기되어 Anchor Bolt매설위치와 기둥하부 철근 배근이 일치되지 않아 공기지연 및 공사비 증가의 원인.
설계정보 표기오류	▶ 구조물 출입문의 크기 산정 후, Anchor Bolt매설작업에서 행거도어 open구의 치수가 잘못 표기.
시공오차	▶ 무수축 모르타르 시공이 정상적으로 되지 못해 콘크리트 바닥과 기둥이 일체가 되지 못함.

2) 철골 세우기 단계

철골공사의 세우기 장비는 타워크레인과 트럭크레인으로 분류할 수 있으며, 타워크레인은 고층공사, 초고층공사의 전 공정을 위해 설치되므로 철골공사 전용으로 사용하지 못하고 있다. 철골공사 세우기 작업에서 12층 미만의 세우기 작업은 현장의 작업여건, 공기 및 작업의 흐름, 장비 사용경비 등을 감안할 때 세우기 작업전용으로 사용할 수 있는 트럭크레인을 선호하고 있다.

예를 들면, 경남 김해지구에 건축중인 12층 규모의 오피스 빌딩의 경우, 타워크레인의 설치를 제안하였으나 세우기 장비는 50톤 트럭크레인으로 결정하여 작업을 진행하였다.

세우기 장비가 선정되면 크레인의 작업반경과 재원에 따라 세우기 작업의 구획을 정하고 정해진 구획에 해당되는 기둥, Girder, Beam, 부재의 순서로 운송하여 세우기 작업을 진행한다. 세우기 작업은 철골공사과정 중에서 고소작업으로 가장 위험성이 높은 작업이며, 전체 건축물의 정밀도 및 성능에 가장 중요한 작업이다. 철골 세우기 작업은 공장제작단계에서 가공된 각각의 조립부재를 조립도의 위치에 맞게 양중하고, 조립하는 작업으로 수십 개의 부재에서 수백, 수천의 조립부재로 구조물을 형성하므로 개개의 부재를 구분 확인하는 것이 중요한 일이기도 하다. 각각의 조립부재를 구분 확인하는 작업에 앞서 설계단계에서 자재의 규격별로 종류를 최소화하고, 기둥간격을 획일화함으로써 조립부재의 종류과다의 발생을 억제하고 선별이 용이한 설계를 함으로써 세우기 작업시의 문제점 등을 최소화하는 것이 중요하다.

표 8은 철골 세우기 작업단계에서 설계와 관련된 문제점을 조사한 내용이다.

4. 국내 철골공사현장의 현황분석

다음은 국내 대규모 철골공사의 현장상황을 조사한 내용을 고찰한 것으로, 철골공사의 수행에 있어서 설계와 관련된 내용은 다음과 같다.

표 8. 철골 세우기 작업단계에서 설계와 관련된 문제점

문제점의 내용
<ul style="list-style-type: none"> ▶ pin접합은 Bolt가 2면 전단을 받는 2-plate 접합과 Bolt가 1면 전단을 받는 1-plate 접합으로 나누어진다. ▶ 2-plate접합은 Beam에 가셋플레이트를 가조립한 이후, 양중하므로 맞춤 전에 가셋플레이트를 해제하면 낙하물이 발생할 위험이 증가한다. ▶ wall Pane의 시공법 중 수직시공법에서 없던 문제점들이 수평시공법에서 발생한다. ▶ Truss Purlin 구름받이를 높게 시공하여 세우기 작업시 안전사고의 발생율이 높아진다.

- 1) 철골공사는 시공 중에 대부분 설계변경이 발생되고 있다. 설계변경에 따른 시공의 문제점은 다음과 같다.
 - ① 신규자재 발주 및 별도 제작에 따른 공기지연.
 - ② 기 발주자재의 잉여분 발생.
 - ③ 중복된 이중 제작 등의 발생
- 2) 설계시 국내 강재의 재질 및 생산규격, 생산 기술력 등을 파악하고 현실을 감안한 설계가 되어야 한다.
- 3) 기본설계에는 구조계산에 의한 용접 표준상세가 정립되어야 한다.
- 4) 철골구조 설계는 사전에 건축마감, 외장공사, 설비공사 등 제반설계와 면밀히 체크하여 상호 연관되는 모든 문제점을 설계에 반영시켜야 한다.¹⁾

전술한 문제점을 보완하기 위해 대규모 철골공사 시공업체는 Shop Drawing작업을 자체적으로 작성하는 시스템을 확립하고, 시공정보를 설계정보와 연계시키고 있으나 시공단계의 정보를 설계단계에서 정확히 알지 못하여 시공성 저하로 인해 공기의 지연, 품질의 저하 등의 문제가 발생하고 있다. 중·소규모 철골공사에서는 시공단계의 정보와 설계정보가 완전히 분리되어 설계단계에서는 구조물의 정확한 구성을 알지 못해 설계오류를 범하게 되고 이것은 잦은 설계변경으로 이어지고 있다.

또한, 시공방법을 알지 못해 시공이 불가능한 자재를 구조재료로 선정하고 있으며, 구조도면의 구성 미비로 시공의 오류를 발생시키고 있다.

다음은 설계의 오류로 인해 발생하는 문제점을 철골공사 참여실무자를 대상으로, 철골공사 수행에서 문제가 가장 많이 발생하는 단계와 문제점에 대한 설계고려사항 및 개선사항에 관해서 면담조사를 한 내용이다.

표 9는 철골공사 참여 실무자를 통해 분석된 설계 등의 문제점 및 개선방안을 나타낸 것이다.

현장실무에 30년을 종사한 B소장은 부산 H생명 빌딩 및 부산 ○○철강 등, 많은 철골공사의 제작 및 현장시공단계에 참여한 풍부한 경험을 가진 실무자이다.

1) 이종호, 철골공사제작 및 설치의 발전방향, 건축학회지 건축기술 칼럼 9707호.

표 9. 철골공사 참여 실무자를 통해 본 문제점 발생단계 및 문제점 개선사항

구분	내용	공사 참여범위	체감정도 및 심각성	문제가 가장 많이 발생하는 단계	주요 문제점	고려할 사항 및 개선사항
K반장 (경력 10년)	견적 및 발주. 공장제작. 현장시공.	▶ 설계변경은 공사진행 및 공사비에 큰 영향을 줌	▶ 견적 및 발주단계 (이유: 잘못된 공사비로 인한 부실 공사 발생)	▶ 공장제작중에 발생하는 잦은 설계변경	▶ 잦은 설계변경을 감소시킬 방안 검토	
A반장 (경력 15년)	공장제작. 현장시공. (현장세우기)	▶ 현장세우기 단계를 고려하지 못한 설계로 세우기 시, 작업자의 안전, 작업 효율저하로 발생됨	▶ 공장제작단계 (이유: 현장 시공단계 발생되는 문제 보완 가능)	▶ 공장제작에서 발생하는 문제를 보완하지 못하면 현장시공의 안전과 직결	▶ 현장 세우기 작업은 작업자의 안전과 직결되므로 공장제작단계에서 문제점을 감소시킬 방안 검토	
M기사 (경력 15년)	운송단계	▶ 운송을 고려하지 못한 설계로 운송단계의 경비, 사고위험 증가됨	▶ 공장제작단계 (이유: 운송시 발생하는 문제를 감소)	▶ 공장제작의 문제를 보완하지 못하면 상차 및 운송의 어려움 발생	▶ 운송단계를 감안한 공장제작이 이루어질 수 있는 방안 검토	
B소장 (경력 30년)	견적 및 발주. 공장제작. 현장시공.	▶ 시공단계를 알지 못하고, 설계도서가 체계적이지 못하여 철골공사 수행의 문제점으로 발생됨	▶ 공장제작단계 (이유: 철골공사의 특성 상 완벽한 공장가공이 되지 못하면 구조물의 성능을 만족시키지 못함)	▶ 구조도구성의 누락, 접합부 상세, 부재가공법 등의 누락 및 구조물 외 부 마감 불일치로 견적의 어려움 발생	▶ 구조도 구성, 접합방법, 가공방법 등의 체계를 확립하고, 시공단계의 작업을 고려한 설계를 실시	

최근에는 공장 제작단계보다 견적 및 발주단계에서 주된 업무를 하고 있지만, 설계단계에서 철골공사의 시공상황을 고려하지 못한 구조도면의 구성으로 인해 견적공사 수량산출에 있어서 1회의 수량산출로 종료하지 못하고 최소 2회 이상 반복하는 경우가 많다는 점을 제기하였다.

또한, 철골공사의 전체 프로세스에서 얻은 오랜 경험 및 지식을 설계단계로 제안할 경우, 설계자들이 수용하지 못하는 현실에 대해 설계자들의 의식전환에 대한 문제도 제기하였다.

공장제작 및 현장 세우기 단계에 15년을 종사하며, 현장세우기 작업을 주요업무로 하는 A반장은 울산 유공, 부산 L백 화점 등 많은 철골공사 세우기 작업단계에 참여한 많은 경험을 가진 실무자이다.

공장제작의 경험을 바탕으로 현장 세우기 작업에 참여하고 있으므로 현장 세우기만을 주된 업무로 하는 작업반장과는 달리 현장 세우기 단계에서 발생하는 문제(작업자의 안전사고, 부적합한 부재사용, 부재종류 및 길이 과다발생, 시공방법 및 순서, 작업의 난이도, 작업의 효율성)에 대한 대처방안에 많은 관심을 가지고 있었다.

현장 세우기 단계에서 발생하는 문제는 설계단계에서 시공 상황을 고려한다면, 공장제작단계에서 대부분 해결·보완할 수 있다는 점을 강조하였다.

철골부재의 운송에 15년 정도 종사하고 있는 M기사는 부산광역시 소재 한 ○○컨벤션센터 등의 프로젝트에 참여한 실무자이다.

중량초과의 위험성이 없어도 철골부재의 형상의 복잡하면 운송회수가 증가하여 전체 공사비에 영향을 미친다는 점과, 상차(上車)의 중요성을 강조하였다.

또한, 설계단계에서 철골공사 전반의 시공 프로세스를 현재보다 잘 숙지하면, 운송단계의 문제점을 공장제작단계에서 보완할 수 있을 것이다. 설계단계에서 현장 실무자들이 시공하고 있는 방법(브라켓의 길이, 소부재의 가공형상, 접합방

법)에 대해 구조검토를 통해 도입할 수 있는 부분은 도입해야 한다고 하였다.

10년 짜 공장제작 및 세우기 작업에 종사하는 K반장은 중·소규모의 공장건물과 상가건물의 제작공정에 참여한 실무자로 부산, 경남일대의 많은 철골공사에 참여한 실무 경험을 가지고 있다. 철골공사 진행에 있어 설계변경은 공사비 증가, 완공 지연, 자재 잉여분의 발생뿐만 아니라, 작업자들의 사기저하가 가장 큰 문제가 될 수 있다고 하였다.

예를 들면, 울산광역시에 신축한 ○○사격장 공사는 2001년 12월초에 착공해서 2002년 7월에 현장시공을 종료한 공사이다(공사수량 약 90톤, 예상 공사소요기간 약 30일). 이 공사는 발주자가 설계한 공사로 부재의 제작이 끝나고 anchor bolt매설이 이루어진 상황에서 설계변경이 발생되어 가공된 부재를 전량 폐기하였다. 또한, 새로운 자재로 다시 제작하였으며 공사진행에 있어 부적합한 접합방식, 마감재로 사용되는 각형 강관의 규격과 건물 마감선의 불일치 등, 시공단계에서의 시공법을 숙지하지 못하여 발생하는 오류로 잦은 설계변경이 발생되어 작업자들의 사기저하로 철골공사 수행에 큰 어려움이 있었다.

전술한 면담조사 내용으로 고찰해 보면, 공장제작 단계가 철골공사의 수행에 있어서 설계의 문제를 보완 할 수 있는 단계라는 것을 알 수 있다.

따라서, 설계단계에서는 공장제작단계의 중요성을 인식하고, 공장제작단계의 실무에 참여하는 작업자들의 경험을 반영하는 것이 철골공사를 원만하게 수행하기 위한 방안일 것이다.

5. 설계 프로세스 개선방안 및 기대효과

본 연구에서는 시공현장답사를 통한 철골공사 실태조사와 면담조사를 통해 도출할 수 있는 설계 프로세스의 개선방안은 다음과 같다.

1) 철골구조의 가공 및 접합방법을 잘 숙지 못하는 설계자를 위해 각종 부재의 가공 및 접합법 등에 대한 설계지침서를 정비하고, 각종 구법(構法) 및 접합법에 대해 표준화(標準化; Standardization)를 검토한다.
이러한 매뉴얼(Manual)의 정립과 디테일(detail)의 표준화에 의해 다음과 같은 기대효과를 가져올 수 있을 것으로 생각된다.

- ① 설계사양에 대한 분류(Grouping)가 명확하게 되므로 설계의 오류(도면누락, 각종 정보의 불일치 등)를 최소화할 수 있고, 견적단계에서 공사수량 및 공사비 산출에 대한 오차를 감소시킬 수 있다.
- ② 각종 부재(브라켓, Bracing 등)의 가공 및 접합방법을 체계화할 수 있으므로 원활한 공장제작이 가능하다.
- ③ 부분상세도의 종류를 최소화할 수 있고, 설계단계에서 작성해야 할 내용이 감소하므로 설계프로세스를 단축하여 공기단축에도 기여할 수 있다.
- ④ Beam의 맞춤접합부의 상세부분을 표준화하면, 부재(部材)를 대량생산할 수 있고, 공사기간도 단축할 수 있다. 예를 들면, Beam의 맞춤접합법은 설계자에 따라 2-Plate 접합법과 1-Plate접합법으로 설계되고 있으며, H-형강의 규격에 따라 접합부 상세를 표준화하면, Plate를 공장에서 대량생산 할 수 있으므로 작업착수 후 3~7일 가량이 소요되는 부재의 공급기간이 단축되어 공사공기도 단축될 것으로 생각된다.

2) 시공단계에 참여하고 있는 현장기술자는 반복적인 작업이 많아 기능공의 숙련도를 향상시킬 수 있고, 작업주기가 일정한 공법정보를 설계자에게 피드백(Feedback)하여야 하고, 설계자는 시공자의 협조를 토대로 설계에 적극적으로 반영하여야 한다.

이러한 것을 원활하게 실현하기 위해서는 프로젝트 초기 단계에서 철골공사에 참여하고 있는 각 주체(설계자, 시공자, Shop drawing작성자, 구조설계자)간 정기적인 『설계검토회의』를 주기적으로 실시하여야 한다.

예를 들면, 시공 곤란한 구조설계 및 자재선정 등, 시공상황을 고려하지 못한 설계오류를 최소화하기 위해서는 철골공사 초기단계에서 시공성(施工性)¹⁾에 대한 검토가 필요하다.

3) 설계변경을 최소화하기 위해서는 설계자는 자신이 설계한 구조물에 대해 shop drawing을 작성할 수 있는 능력을 배양하면, 타 공종과 관련된 마감부분 및 창호부분 등에 대한 설계의 오류 및 설계변경을 감소시킬 수 있으므로 원활한 철골공사가 수행될 것으로 생각된다.

1) 영어로는 Constructability라고 번역할 수도 있으며, 유사한 용어로는 영국의 경우 Buildability가 있다. 이와 관련된 용어로는 일본의 경우 생산설계(生産設計; Production Design)라는 용어가 사용되고 있으며, 京都大學(교토대학)의 古阪(후루사카)교수는 설계단계에서 작업의 용이성, 경제성, 품질의 안전성 등의 관점에서 설계를 재검토하고, 시공의 실현성을 향상시키는 기법으로 정의하고 있다.

4) 철골공사에 관련된 각종 설계도면과 타공종의 도면간 정보의 일치여부를 확인하여 정합성(整合性)을 향상시킨다. 예를 들면, 철골 세우기 준비단계에서는 기초공사에 관련된 설계도면과 철골공사에 관련된 각종 도면간 정보의 일치여부를 명확하게 검토하여야 한다. 특히, Anchor Bolt 매설작업은 철골구조물 전체의 정밀도에 영향을 미치므로 기초공사 관계자와 의사결정(意思決定; Decision Making) 프로세스를 잘 검토해야 한다.

6. 결 론

본 연구에서는 철골공사에서 시공단계의 작업을 고려한 현실적이고, 체계적인 설계 프로세스를 고찰하기 위한 개선방안을 현장상황 중심으로 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 철골공사에서 설계정보의 오류, 누락은 전체 생산단계에 있어서 후속단계인 견적·발주, 공장제작, 운송, 철골 세우기에 미치는 영향이 매우 크므로 프로젝트의 초기단계에서 철골공사 실무자의 지식과 경험을 최대한 설계에 반영하여 설계변경을 최소화하고 잉여분의 자재가 발생하지 않도록 하여야 한다.

이것을 실현하기 위해서는 철골공사 설계단계에서부터 시공성(Constructability)에 대한 검토가 이루어져야 한다.

2) 철골공사는 공장제작에 의해 완성된 부재를 현장에 운송함으로써 현장시공이 이루어진다. 따라서, 철골공사현장실무자는 공장의 제작공정과 현장의 공사공정간에 동기화(同期化)가 이루어지도록 하여 납기(納期)의 지연을 최소화하고, 운반비용의 경제성도 검토해야 한다.

참 고 문 헌

1. 이은석 외 1인, 철골공사 시공에 관한 현황연구, 대한건축학회 추계 학술발표대회 논문집(구조계), 2001.
2. 이은석 외 1인, 한국과 일본의 철골공사 생산시스템 연구, 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집(구조계), 2000.
3. 이은석 외 1인, 철골공사 전문작업반장의 공사의식에 관한연구, 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집(구조계), 2001.
4. 오재욱 외 2인, 개체형 모델링 개념을 이용한 철골공사 정보통합도 맵구축, 대한건축학회 논문집(구조계), 2001.8
5. 장명훈 외 1인, 철골공사 공사관리 시스템 개발을 위한 철골부재 모델링에 관한 연구, 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집(구조계), 1997.
6. 류승민 역, 알기쉬운 철골감리, 시공문화사, 1998.
7. 송진규 외 공역, 철골구조·실무 노하우집, 도서출판 건설도서, 1998.
8. 상공부, 철구조물 표준화 연구(최종보고서), 1992.
9. 이종호, 철골공사 제작 및 설치의 발전방향, 건축학회지 건축기술 컬럼 9707호.
10. 김진호, 임남기, 건설공사의 Constructability 이론과 적용 사례에 관한 연구, 한국건축시공학회지 논문집, 2002.5