

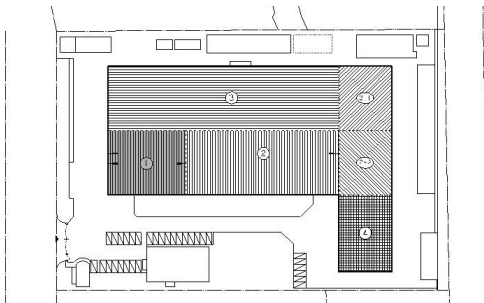
2. 베이스 플레이트 용접 불량

1. 건물개요

본 공장도 2004년 3월 5~6일 사이에 대전지역에 집중된 폭설(최심적설량:49cm)로 인해 붕괴된 경우로서 건축 및 구조도면이 전무한 관계로 현장조사를 통한 실측 및 재료시험을 거쳐 부재내력 검토 및 원인 분석을 실시하였다.

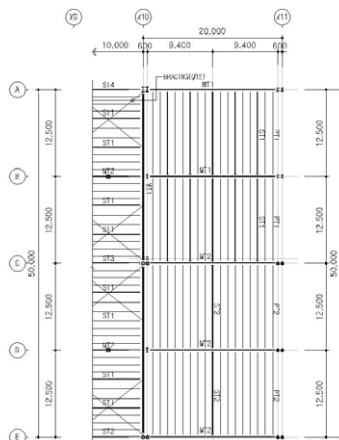
2. 건물현황

배치도

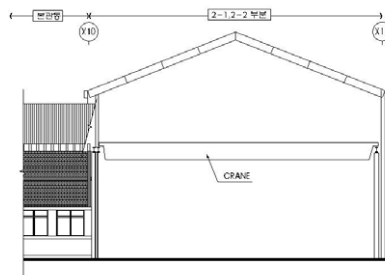


구분	신·증축연혁	비고
①	지하층 1971년 9월 28일 신축	붕괴부분
②	지상1층 1974년 6월 8일 증축	
②-1	지상1층 1974년 6월 8일 증축	
②-2	지상1층 1974년 6월 8일 증축	
③	지상1층 1981년 5월 13일 증축	붕괴부분
④	지상1층 1999년 7월 26일 증축	

붕괴부분 지붕층 평면도



C열 계락 단면도



3. 붕괴 원인분석

3.1 구조설계검토

3.1.1 설계하중

자방판넬	20kg/m ²
sub truss 하중	30kg/m ²

고정하중 50kg/m²

적설하중 50kg/m²

3.1.2 하중조합

설계과정이 아닌 붕괴당시의 직접적인 피해 원인을 고려하여 적용함

$$(1.0D.L+1.0S.L)/1.5$$

3.1.3 붕괴된 지붕의 현황



3.1.4 검토결과

· 내력검토

NAME	부재	작용 하중			
		축력(tf)	My	My	(t · cm)
MT1	상현재		2L-75×75×6	-7.07	
	경사재	2L-75×75×6	7.96	-	-
	하현재	2L-75×75×6	-15.34	1.78	-

작용 응력			부재 응력			작용응력/부재응력		비고
fa	fby	fbz	fa	fby	fbz	fa/Fa	combin	
(tf/cm ²)	(tf/cm ²)		(tf/cm ²)	(tf/cm ²)				
0.41	0.06	-	1.2	1.6	1.6	0.34	0.38	OK
0.46	-	-	1.6	-	-	0.29	0.29	OK
0.88	0.10	-	0.737	1.6	-	0.73	0.81	OK

· 내력검토

NAME	부재	작용 하중			
		축력(tf)	My	My	(t · cm)
MT2	상현재		L-130×130×12	-11.86	
	경사재	Φ 22	-5.12	-	-
	하현재	P-114.3×3.2	-30.06	-5.38	-0.05
	수직재	2L-75×75×6	1.13	-	-

작용 응력			부재 응력			작용응력/부재응력		비고
fa	fby	fbz	Fa	Fby	Fbz	fa/Fa	combin	
(tf/cm ²)	(tf/cm ²)		(tf/cm ²)	(tf/cm ²)				
0.39	0.21	0.22	1.55	1.6	1.6	0.26	0.40	OK
1.35	-	-	0.3	-	-	4.47	4.47	NG
2.69	0.18	0.002	1.6	1.6	1.6	1.706	-	NG
0.07	-	-	1.6	-	-	0.041	-	OK

· 기둥내력검토

NAME	부재	작용 하중			
		축력(tf)	My	My	(t · cm)
SC1	H-390×300×10×16		-7.0	-	
SC2	P 406.4×19	-8.45	-	-19.29	

작용 응력			부재 응력			작용응력/부재응력		비고
fa	fby	fbz	fa	Fby	Fbz	fa/Fa	combin	
(tf/cm ²)	(tf/cm ²)		(tf/cm ²)	(tf/cm ²)				
0.05	-	1.17	1.49	-	1.6	0.035	0.76	OK
0.023	0	0.37	1.59	1.6	1.6	0.02	0.24	OK

· 트러스 지지보 검토

■ 설계 조건

- ① 정격하중 : 15tf
- ② SPAN : 20m
- ③ 차륜간격 : 4.0m

④ 최대차륜하중 : 18.8tf(보통형)

⑤ CRANE 주행보 지지점 거리 : 6.25m

⑥ STIFFENER 간격 : 12mm@1130

⑦ 트러스 지지보 : H-594X302X14X23

■ 작용 하중

- SHEAR : 31.09 tf

- REACT. AT SUPPORT : 11.95tf

- VERT. MEMBER FORCES

MOMENT : 36.20tf · m

- HORI. MEMBER FORCES

MOMENT : 2.94tf · m

· 트러스 지지보 내력검토

NAME	부재	작용 하중		
		fc	fby	fbz(tf/cm ²)
		tf	(t · cm)	
CRO	H-594×302×14×23	0.24	0.72	0.74

부재 응력			작용응력 / 부재응력				비고
Fc	Fby	Fbz	fby/Fby	fbz/Fbz	combin		
tf	(tf/cm ²)				강축	약축	
1.57	1.57	1.57	0.45	0.47	0.92	0.48	OK

4. 붕괴 과정 추정

X10열과 X11열 지붕층 붕괴 원인은 다음과 같이 정리 할 수 있다.

① 2004년 3월 5일의 폭설(최심 적설량 49cm)

② 건축물의 취약부분인 D열×X10~X11열의 MT2와 X10열 지지보의 용접부위가 파괴되면서 X10열 기둥이 X9열 측으로 이동이 발생 <사진1>참조

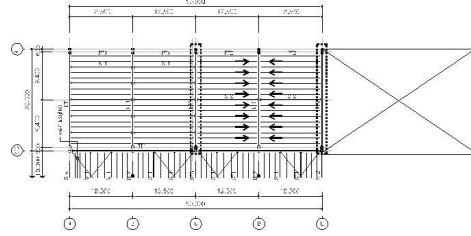
③ X10열 기둥의 이동량이 15cm를 넘게 되면 지지보의 플랜지를 벗어나게 된다.



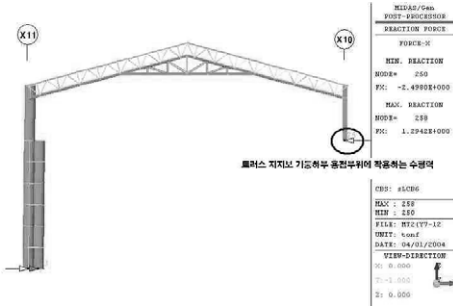
<사진1> MT2+CRANE 주행보 접합부(용접부분)

- ④ ③번 같은 상황이 되면 X10열 기둥 하부의 지지력이 상실되어 D열 MT2 처짐량이 급증하게 된다.
- ⑤ D열 MT2의 과도한 처짐에 의해 MT2와 연결된 E열과 C열의 ST2 및 PT2에 과도한 인장이 발생되어 구조물 전체가 붕괴됨.

- ⑤ MT2와 연결된 E열과 C열의 ST2 및 PT2에 과도한 인장이 발생

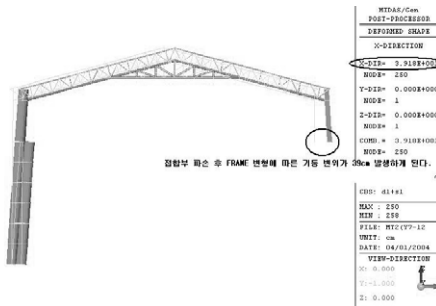


- ① D열 MT1 기둥 하부에 수평력 발생



〈사진2〉 파괴된 주트러스 지지기둥 베이스플레이트부위

- ② D열 MT1 기둥 하부 접합부 파괴

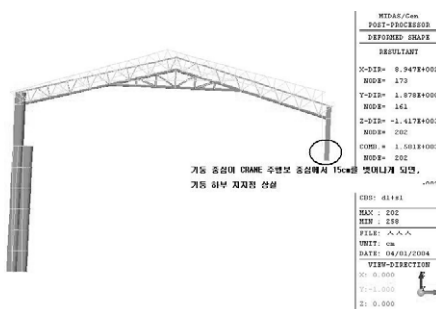


용접 부위 검토

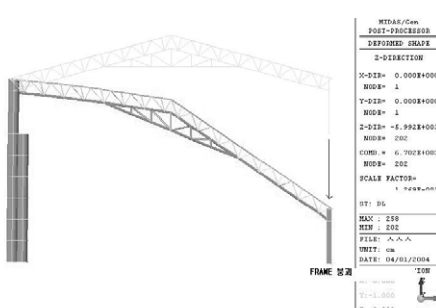
$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{N}{Ae} \\ &= \frac{N}{a(\ell - 2 \cdot S)} \\ &= \frac{2.5}{0.7S(\ell - 2 \cdot S)} \\ &= \frac{2.5}{0.7 \times 1.2 \times (30 - 2 \times 1.2)} \times 2 \\ &= 0.216 < 0.924 \text{ t/cm}^2 \end{aligned}$$

따라서 이론적으로 검토해 보면 결함사항이 없으나 사진에서 보는 바와 같이 용접부위 시공이 불량함으로 인해 붕괴에까지 이른 것으로 추정해볼 수 있다.

- ③ D열 MT1 기둥이 H형강 플랜지를 벗어남



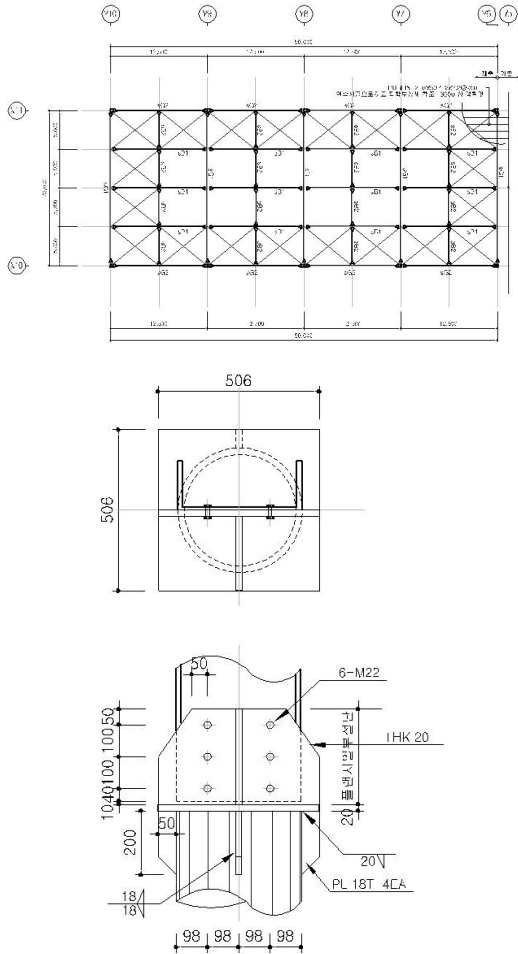
- ④ D열 MT1 기둥 지지력 상실로 붕괴



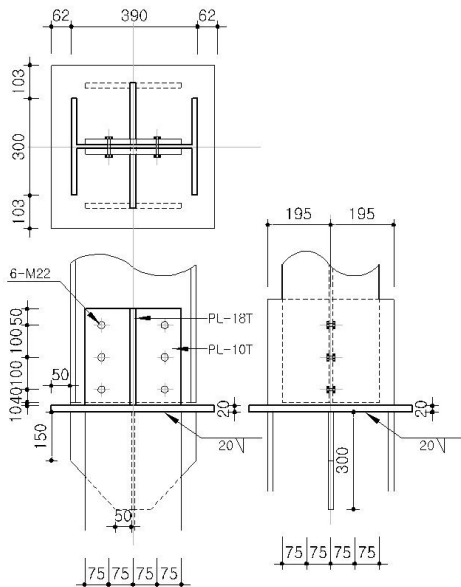
5. 보강안

붕괴원인이 D열에서 X10열의 트러스 기둥이 지지보 상단에 위치하면서 정상적으로 용접되지 않아 미끌리면서 연속적인 붕괴로 이어진 것으로 조사되었으며, 붕괴된 현재 X10, X11열 모두 지지보 하부는 양호한 상태이다. 따라서 X11열은 지지보 상부 위치에서 기둥을 재시공하며, X10열은 크레인 보 상부에 제대로 고정될 수 있도록 상세처리 하였다.

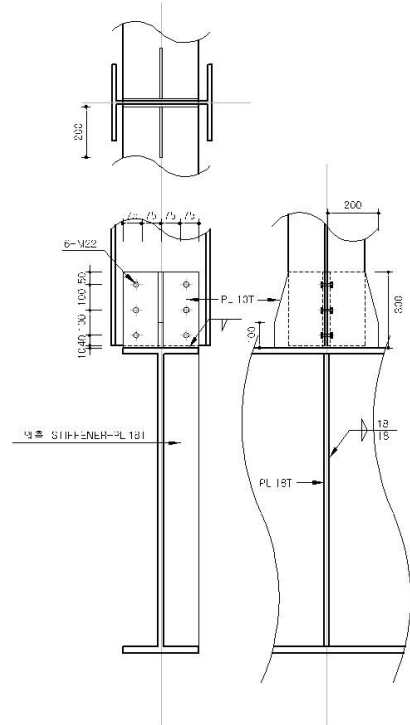
보강 지붕평면도



원형기둥 상부 상세도



H형강 상부 상세도



GIRDER 상부 상세도

6. 결론

붕괴원인은 주 트러스 지지기둥 하부의 용접불량이다. <사진1>, <사진2>와 같이 거의 없는 것과 마찬가지로 용접 때문에 공장지붕 전체의 붕괴로 이어진 것이다. 만약 설계자가 용접 목두께를 명시했거나, 시공자가 기둥하부 접합부의 중요성을 인식했다면 이번 사고는 없었을 텐데 하는 아쉬움이 있다. 이제는 구조전문가에 의한 설계·감리가 이뤄져야 하는 시점인 것으로 판단된다.

<자료제공 : 박광옥(도화구조 소장)>