

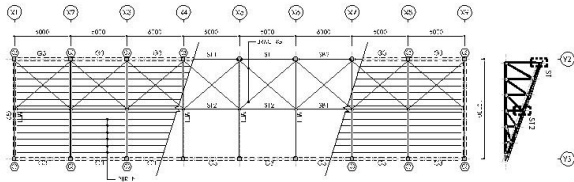
1. 브라켓 시공 하자

1. 건물개요.

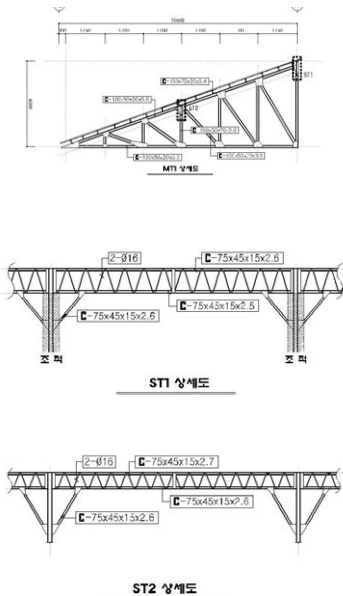
본 공장은 2004년 3월 5~6일 사이 집중적인 폭설로(기상청 관측 이례 대전지역 최대의 적설량을 보임:49cm)인해 지붕트러스가 붕괴로 이어진 경우이다. 신축한지 28년 정도가 지난 건물로서 건축 및 구조도면이 없어 현장조사를 통한 실측 및 재료시험을 거쳐 부재 내력검토 및 원인 분석을 실시하였다.

2. 건물현황

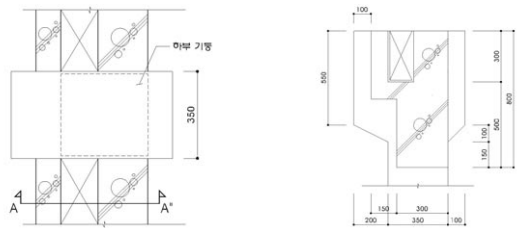
평면도



트러스 상세도



Bracket 상세도



A-A" 단면

3. 붕괴현황

금년 3월에 내린 폭설은 사상 유례없는 자연재해로 수많은 시설물과 농작물에 헤아릴 수 없는 재산상의 손실을 우리에게 안겨주었다. 그러나 이 또한 우리 구조설계자의 입장에서 보면 안타깝게도 설계허중 이내인 관계로 건축물의 붕괴까지는 안 생겼어야 하는데 붕괴로 이어졌으니 원인을 밝혀내야하는 의무감에 사로잡혔다.



4. 붕괴원인분석.

4.1 구조설계검토

4.1.1 설계하중

골형 석면 슬레이트	25kg/m ²
중도리 및 SUB재	15kg/m ²
	40kg/m ²
적설하중,	50kg/m ²

공장지붕 형태가 톱날형 지붕인 관계로 불균형 적설하중을 고려하여 설계검토함.

4.1.2 하중조합

설계과정이 아닌 붕괴당시의 직접적인 피해 원인을 고려하여 적용함
(1.0D.L+1.0S.L)/1.5

4.1.3 구조재료(강재)의 실패량

구조해석시 적용한 구조재료의 물성치

항목	인장강도 (항복강도)	연신율(%)	부식률(%)	설계기준 강도(적용)
C형강	5.07(3.70)	14.2	10.1	2.4
BRACING(Ø16)	3.93(3.00)	27	-	2.4

4.1.4 검토결과

- 중도리

NAME	부재	모멘트(tf·cm)		전단력(tf)		휨응력(tf/cm ²)	
		Mx	My	Vx	Vy	σx	σy
P1	LC-150× 75×20×4.0	0.96	0.84	0.11	0.41	0.96	0.84

NAME	전단응력 (tf/cm ²)		허용휨응력 (tf/cm ²)		허용전단응력 (tf/cm ²)		비고
	νx	νy	f _{bx}	f _{by}	f _{sx}	f _{sy}	
P1	0.05	0.01	1.6	1.6	0.92	0.92	OK

NAME	부재	허용처짐 (cm)	처짐량 (cm)	비고
P1	LC-150× 75×20×4.0	2.33	3.203	NG

- 트러스

NAME	부재	작용하중		
		축력(tf)	모멘트(t·m)	
NA ME	상현재	LC-100×50×20×3.2	-5.87	-
	수직재	LC-100×50×20×3.2	+1.55	-
	경사재	LC-100×50×20×3.2	-1.96	-
	하현재	LC-100×50×20×3.2	-2.58	-

NAME		작용하중		작용하중 / 부재내력		비고
		축력(tf)	모멘트(t·m)	축력(tf)	모멘트(t·m)	
NA ME	상현재	-5.6	-	1.04	-	SAY_OK
	수직재	+11.25	-	0.138	-	OK
	경사재	-2.05	-	0.95	-	OK
	하현재	-5.89	-	0.44	-	OK

-브라켓

1. 설계조건

- ①수직력 (Vu) = 4.68 tf
- ②수평력 (Tu) = 5.56 tf
- ③지압면적 (35cm × 20cm)
- ④h = 65cm, d = 55cm
- ⑤f_{ck} = 180, f_y = 2400

2. 지압력 검토 (Ø = 0.7)

$$A_e \geq \frac{4.68}{0.7 \times 0.85 \times 0.18} = 4.37 \text{ cm}^2 \leq 35 \times 20 = 700 \text{ cm}^2 \text{ (OK)}$$

3. 브라켓 춤 결정

$$V_n \leq 0.2f_{ck} \cdot bw \cdot d \quad \text{중 작은 값}$$

$$56 \cdot bw \cdot d$$

$$d = \frac{4.68 \times 1000}{0.2 \times 180 \times 35} = 3.71 \text{ cm} \leq 55 \text{ cm} \text{ (OK)}$$

4. 전단마찰 보강근(A_vf)(μ = 일체타설 -1.4)

$$V_u = \phi A_{vf} \cdot f_y \cdot \mu$$

$$A_{vf} = \frac{V_u}{\phi \cdot f_y \cdot \mu} = \frac{4.68}{0.85 \times 2.4 \times 1.4}$$

5. 휨모멘트에 의한 철근 (A_f)

$$M_u = Vu \times a + Tu \times (h - d)$$

$$= 4.68 \times 0.2 + 5.56 \times 0.1$$

$$= 0.936 + 0.556$$

$$= 1.49 \text{ t} \cdot \text{m}$$

$$A_f = \frac{Mu}{\phi \times f_y \times j \times d}$$

$$= \frac{1.49 \times 100}{0.85 \times 2.4 \times 0.9 \times 55}$$

$$= 1.47 \text{ cm}^2$$

6. 수평 인장력에 의한 보강근 A_n

$$A_n = \frac{Tu}{\phi f_y} = \frac{5.56}{0.85 \times 2.4} = 2.73 \text{ cm}^2$$

7. 주인장 철근

① 휨에 의한 철근량 산정

$$A_s = \frac{2}{3} \times A_f + A_n = \frac{2}{3} \times 1.47 + 2.37 = 3.35 \text{ cm}^2$$

② 최소 철근량 산정

최소철근비

$$(\rho_{\min}) = 0.04 \times \frac{0.18}{2.4} = 0.003$$

최소철근 배근량

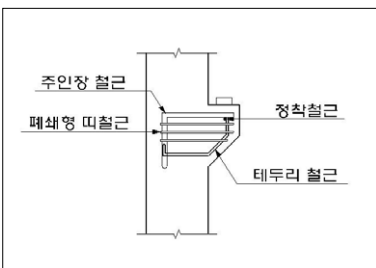
$$(A_{s\min}) = 0.003 \times 35 \times 55 = 6.74 \text{ cm}^2$$

※ 주인장 철근이 없으므로 N.G

8. 전단보강근 산정

$$A_v = 0.5 \times (A_v - A_v) = 0.5 \times (3.27 - 2.73) = 0.27 \text{ cm}^2$$

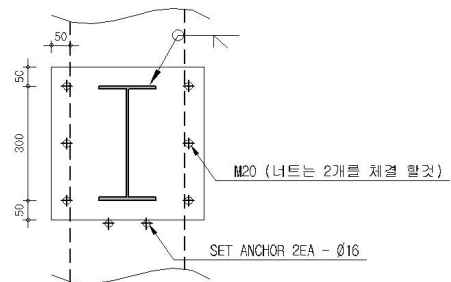
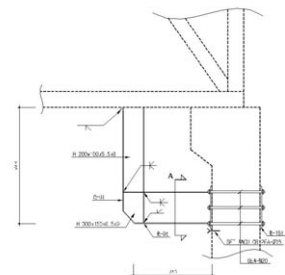
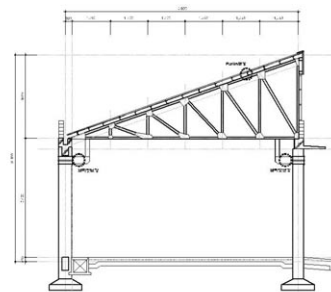
※ 전단 보강 철근이 없으므로 N.G



현장조사 결과 트러스가 놓이는 지점인 브라켓 부위에 주인장철근과 폐쇄형 전단철근 등 브라켓으로서의 역할을 할 수 있는 배근을 찾아 볼 수 없었다.

5.보강안

현장조사결과 철골트러스 부분에서는 큰하자는 없었으나 트러스를 지지하는 브라켓 부분에서 파괴되어 있었으며 아직 파괴되지 않은 트러스 부분에서는 대다수의 브라켓 부분에 균열이 발생되어 있었다. 브라켓보강 사진과 같이 이미보강되어 있는 것으로 보아 붕괴되기 훨씬 전부터 결함이 나타나서 조치된 것으로 확인되었다. 현재 브라켓 하부 설비 장치와 기둥의 중성화(D등급)등으로 인해 기둥에 보강용 앵커를 설치하기가 쉽지 않아 기존보강방법과 유사하게 다음과 같이 보강하였다.



6. 결론

본 공장과 같은 경우는 설계도서가 없어 처음부터 설계잘못에서 오는 결함인지는 확인할 수 없었으나 브라켓 균열부위에 기존에 설치된 보강 상태로 보아 그 당시에 구조전문가에 의한 조사가 있었다면 이번과 같은 피해는 사전에 방지되었을 것으로 판단한다.

〈자료제공: 박광옥 (도화구조 소장)〉