



한국철도차량(주) 창원공장 난방 및 환기설비공사 설계 및 시공 사례

임정빈

(주)화승엔지니어링(whaseung@chollian.net)

최근 각 공장에서는 근로자의 작업환경 개선과 생산제품의 품질향상을 위하여 건물 내 냉·난방 설비를 적용하여 운영하고 있으나 높은 층고로 인하여 겨울철 실내온도를 유지하기 위해 막대한 에너지 손실과 환기시 실내오염 공기의 신속한 배출 등의 문제로 고민하고 있는 실정이다.

따라서 한국철도차량(주) 창원공장의 난방 및 환기설비 설계 및 시공사례를 소개하고자 한다.

설계기준

온도 조건

- 외기온도 조건 : -5 ℃

설계내용

- 난방설비
- 환기설비
- 국소 배기설비

<표 1> 건물개요

구 분	길이 (m)	폭(m)	면적(㎡)	비 고
의장공장	195	78	14,490	
편성조립장	100	29	2,900	
검차장	110	14.5	1,595	
대차공장	200	75	12,500	
동력차공장	200	50	10,000	
철구공장	156	40	6,240	

난방 및 환기설비

- 공장 건물은 층고가 6~20 m로 대단히 높은 반면에 작업구역은 일반적으로 바닥 위 2~3 m 높이이며 작업자는 생산라인에 따라 배치되므로 작업구역이 편중되어 있다.
- 공장 건물은 지붕이나 외벽이 경량구조로써 보온상태가 불량하여 열 손실이 크다.
- 공장 건물의 기밀도가 나쁘고 유해가스, 연기 등의 배출을 위한 강제환기 또는 대형 출입문의 빈번한 개방 등으로 침입 외기량이 증가하여 겨울철 외기부하가 대단히 크다.
- 공장의 바닥, 보, 기둥 면에도 생산설비가 설치될 수 있으므로 난방 및 환기용 장비의 설치위치에 제약이 많다.

<표 2> 각 건물의 온도조건

구 분	길이 (m)	폭(m)	작업장내 환경조건	
			온도	상대습도
의장공장	195	78	15 ℃ 이상	75 %이하
편성조립장	100	29	15 ℃ 이상	75 %이하
검차장	110	14.5	15 ℃ 이상	-
대차공장	200	75	10 ℃ 이상	-
동력차공장	200	50	15 ℃ 이상	75 %이하
철구공장	156	40	15 ℃ 이상	75 %이하

<표 3> 국소 배기량

구 분	장비풍량(㎡/h)	동시사용률 (%)	배기풍량 (㎡/h)
대차공장	93,000	60	56,000
철구공장	6,000	100	6,000



<표 4> 난방설계용 온도요소

온도종류	정의	온도종류
외기온도(t _{ao}) Outside Air Temp.	· 건물주변의 외부공기온도	설계조건 : -5 °C
실내공기온도(t _{ai}) Inside Air Temp.	· 건물 내부공간의 평균실내공기온도	-
실내건구온도(t _c) Dry Resultant Temp. at the Center of a Room	· 인체의 체감온도(유효온도)와 관계되는 온도로서 실내의 실제적인 기류상황 및 대류와 복사를 고려한 온도	· 설계기준 온도조건 · 유효온도의 개념으로 실내환경온도(t _{ie})에 근접
실내환경온도(t _{ie}) Inside Environmental Temp.	· 실내환경온도는 실내건구온도와 같이 유효온도의 개념을 갖고 있으며 실내열의 대류와 복사를 고려한 온도	· 내부환경온도
표면온도(t _m) Mean Surface Temp.	· 건물내의 온도분포를 고려하여 해당 면적당 해당 온도를 곱하여 더한 후 전체면적으로 나눈 온도	· 어느 시점에서는 실내온도가 표면 온도로 나타날 수도 있으므로 실내온도 상황을 파악키 위한 자료

CIBS A5-4 TEMPERATURES

대형공장과 같이 층고가 높고 넓은 지역의 난방시 온도조건은 일반적인 외기온도(t_{ao})와 실내공기 온도(t_{ai})만의 관계로 난방설계온도를 설정해서는 안되며 실제 작업자들이 느낄 수 있는 체감온도(유효온도)를 고려하여야 하므로 난방설계온도는 실내건구온도(t_c)를 기준으로 설정토록 한다.

<표 5> 난방설계용 온도조건 (t_c)

검 토 자 료	참 고 문 헌	비 고
공장설계기준 난방온도 추천치 · 경작업: 16 °C · 중작업: 13 °C	· CIBS A1 · ENVIRONMENTAL · CRITERIA FOR DESIGN-4	기류속도 : 0.5 m/s · 좌식작업 : 19 °C

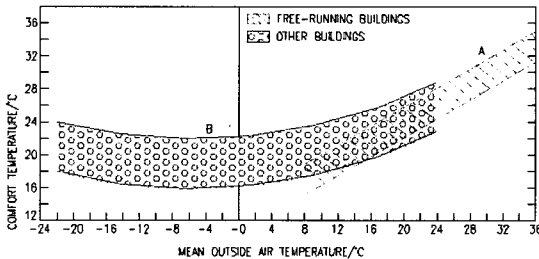
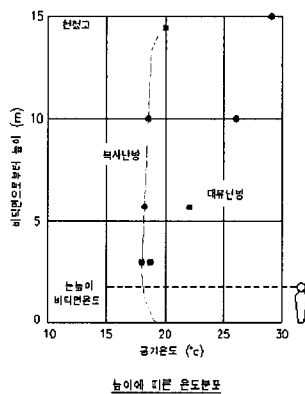
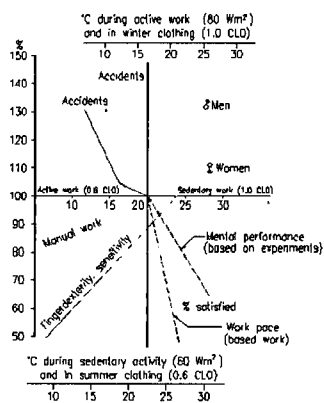


Fig. A1.2. Relationship between outside air temperature and comfort temperature.



· 쾌적온도 범위
15 °C 내외

· 작업장내 온도가 작업에 미치는 영향
· 동절기때 작업온도가 13 °C 이하 혹은 24 °C 이상일 경우에는 사고율이 증가하고 작업능률이 저하됨
· 복사난방과 대류난방의 높이에 따른 온도 변화

공장에서의 난방설계온도는 작업자의 쾌적도를 고려한 실내 건구온도(t_c : Dry Resultant Temp. at the center of a room)를 기준으로 13~18 °C로써 설정한다.



〈표 6〉난방지역내 기류속도 (Vs : 공기속도)

검 토 자 료	참 고 문 헌	비 고
거주공정내 기류속도 Vs는 0.3 m/s 이하 유지	· CIBS	· CIBS A1 ENVIRONMENTAL CRITERIA FOR DESIGN-6
잔류풍속에 대한 작업자 불만 정도	· 공기조화, 냉동공학회지	· 20 ℃ 상태에서의 풍속은 약 0.15 m/s 이하를 권장
공장내 기류속도 Vs는 0.2 < Vs < 0.5 m/s	· 일본 공장환기	· 작업장내의 기류속도는 0.5 m/s 이하를 권장

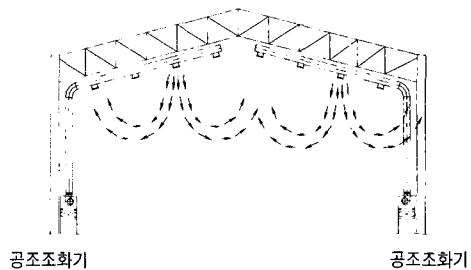
온도조건 유지에도 불구하고 공장내 기류(공기속도)에 의한 드래프트(draft) 발생시 작업자의 불만 증가는 높아지고 난방, 환기시 공장내 인체에 대한 기류속도는 낮을수록 유리하므로 난방지역내 기류속도는 0.2 < Vs < 0.5 m/s를 목표로 한다.

난방지역내 기류속도 (Vs : 공기속도)

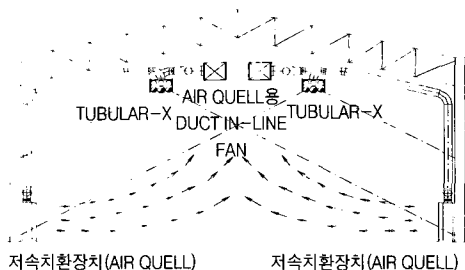
- 원적외선 튜브히터 + 저속치환장치(복사난방 및 대류난방)
천정면에 설치되는 복사난방용 튜브내로 가열된 공기를 통과시켜 튜브면의 복사열을 하향으로 전달하여 피사체의 온도를 높이는 난방방식이며, 저속치환장치를 사용하여 외부공기를 복사난방용 튜브와 열교환으로 가온하여 하부에서 급기하므로 난방 및 환기하는 방식(그림 1).
- 공기조화기 + 덕트(대류난방)
보일러 등에서 생산된 열원을 공기조화기의 가열코일로써 외부공기 또는 혼합공기를 가열한 후 송풍기 및 덕트를 이용하여 필요개소에 고온의 공기를 공급하여 실내를 난방 및 환기하는 방식(그림 2).
- 천정형 급기유닛(대류난방)
고속 취출식 천정형 급기유닛을 천정에 설치하여 온수코일로 가열된 고온공기를 하부로 공급하여 난방 및 환기하는 방식(그림 3).

복사난방과 대류난방의 난방부하 특성 검토

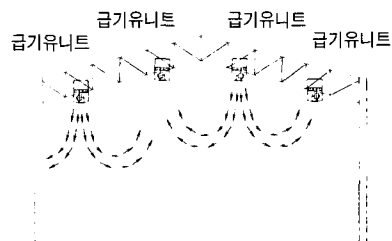
- 복사난방과 대류난방시 난방부하량 (heat loss) 변동사항 : 복사난방시 난방부하량 경감 사유
 - 동일 공장내 난방시 동일조건하에서의 복사난방에 의한 난방부하량이 대류난방시보다 약 10~20 % 정도 경감되어 단위면적당의 부하량(kcal/h · m²)이 감소한다.
 - 대류난방시 난방부하량(heat loss)이 커지는 중요한 이유는 난방시 체감온도와 관계하는 실내환경온도(t_{ei})의 상승효과보다는 인



〔그림 2〕 공기조화기 + 덕트(대류난방) 개념도



〔그림 1〕 원적외선 튜브히터+저속치환장치 개념도



〔그림 3〕 천정형 급기유닛(대류난방) 개념도



체 및 피사체에 미치는 난방효과와는 큰 관계가 없는 실내공기온도(t_{ai})를 높이는데 많은 열량이 소모되기 때문이다.

- 복사난방의 원리는 실내공기온도를 높이는 것보다는 복사에 의해 피사체의 온도를 높여 실내환경온도(t_{ei})를 상승시키는 것을 기본으로 난방을 수행한다.
- 복사난방은 방열량의 70 % 이상이 복사에 의한 가열이며 대류난방은 방열량의 70 % 이상이 대류(온풍공기)에 의한 가열이다.
- 복사난방시는 벽체 등의 표면온도(t_m)가 높아 결로발생의 우려가 적으나 대류난방시는 표면온도가 낮아 결로발생의 우려가 매우 높다.

· CIBS 복사난방시 난방부하 감소

- Heating Sample 규모 : 15 mL × 7.5 mW × 5 mH

- 동일조건하에 대류난방의 난방부하량이 약 6 % 밖에 증가하지 않으나 건물규모가 커지고 환기량이 증가하면 난방부하의 차이는 10~20 % 이상 증가한다.
- 복사난방시 인체 및 피사체에 영향을 미치는 실내환경온도(t_{ei})가 높아 쾌적한 환경조성이 가능하며 실내공기온도(t_{ai})는 낮아 에너지 손실량이 적어진다.
- 복사난방시 벽체 등의 표면온도(t_m)가 높아 지므로 결로발생의 우려가 매우 적다.

· ASHRAE Application 복사난방시 난방부하감소

- 동일 조건하에서의 난방 부하량을 계산하면

<표 7> 복사난방과 대류난방시 계산결과 (환기횟수 0.5회/h)

구 분	복 사 난 방	대류난방
난방부하량(Q_h)	14.6 kW (100 %)	15.5 kW (106 %)
실내환경온도(t_{ei})	20.2 °C	18.0 °C
실내공기온도(t_{ai})	15.6 °C	22.4 °C
표면온도(t_m)	22.5 °C	15.8 °C

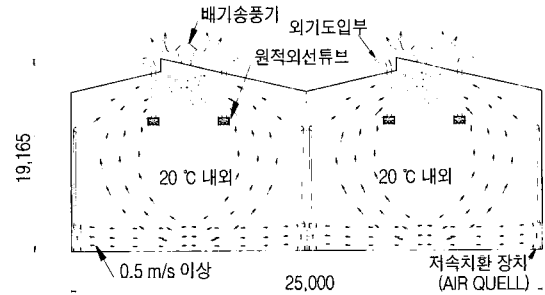
주) CIBS Appendix1 - Heating example

복사난방시가 대류난방에 비하여 난방 부하량이 감소한다.

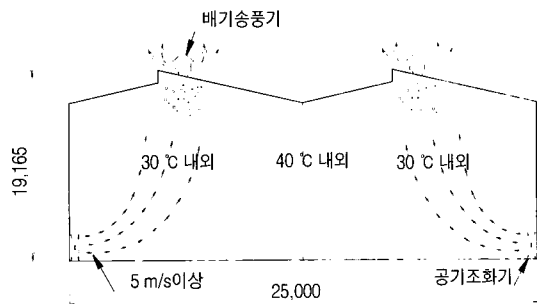
- 복사난방시 난방 부하량의 감소는 실내공기온도는 낮으나 복사온도와 벽체, 바닥 등의 표면온도가 높기 때문이다.

환기설비

- 저속 하부급기 및 상부배기 방식 (저속치환장치) 저속치환장치를 공장하부에 설치하고 실내보다 약간 낮은 온도(약 13 °C 내외)의 공기를 하부에서 저속으로 급기하므로써 가열된 공기의 부상력과 상부배기 송풍기의 흡인력을 이용하여 환기하는 방식으로 오염공기의 실내확산을 최소화시키면서 배기하는 방식(그림 4).



[그림 4] 저속 하부급기 및 상부배기 방식 (저속치환장치) 개념도



[그림 5] 고속상부급기 및 상부배기방식 (공기조화기 또는 송풍기)



· 고속상부급기 및 상부배기방식 (공기조화기 또는 송풍기)

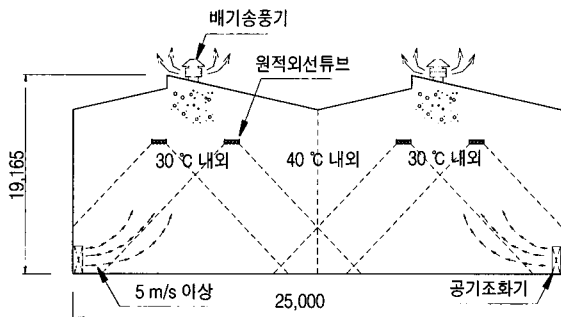
공기조화기 또는 송풍기를 상부 또는 하부에 설치하여 난방 및 환기시 고온공기를 고속으로 급기하고 상부에서 배기하는 환기방식으로 희석환기의 일종이며 오염공기가 실내전체에 걸쳐 확산되며 배기되는 방식(그림 5).

- 환기효과

고온공기를 고속으로 급기하여 실내공기를 확산시킨 후 상부배기 하므로 환기효과 다소 미흡

- 특징

- ① 공장 전체의 청정도가 요구되어지는 생산 공장(반도체 등)에 유리하다.
- ② 공장 전체에 오염물질이 균등히 분포되는 공장에 적용된다.
- ③ 강한 기류형성에 의해 국소배기 시스템의 국소배기 효과가 저하된다.
- ④ 높은 소음과 강한 기류로써 근무직원들의 불쾌감을 조성한다.
- ⑤ 난방, 환기시 대풍량의 급기가 필요하므로 소요 동력비가 증가된다.
- ⑥ 고온공기 급기에 의한 고온성층화 현상으로 고온기류가 공장 상부에 정체된다.
- ⑦ 공장과 같이 높은 층고에서 급기구를 상부 설치시는 거의 환기효과를 기대할 수 없다.



[그림 6] 기존설비현황(복사난방+공조기)

난방 및 환기설비

동력차 공장의 난방 및 환기설비 개선방안

· 기존설비 현황 (복사난방 + 공조기)

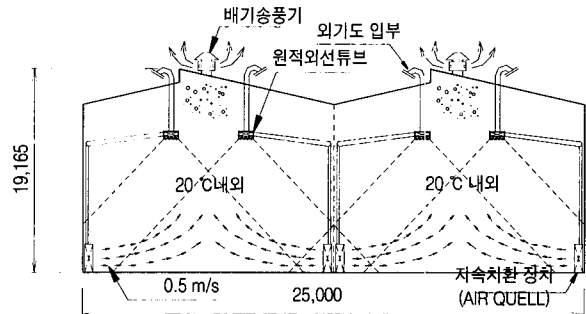
공장내 난방을 원적외선 튜브히터(대형)와 가스직화식 공기조화기로 수행하며 환기용 외기는 공기조화기에서 고온공기를 고속급기하여 환기하는 방식(그림 6).

<표 8> 각 건물별 부하량

구 분	면적(m ²)	난방부하(kcal/h)	비 고
의장공장	14,490	2,876,200	
편성조립장	2,900	636,700	
검차장	1,595	265,500	
대차공장	12,500	2,357,900	
동력차공장	10,000	1,890,000	
철구공장	6,240	1,140,000	

<표 9> 장비선정

구 분	원적외선 난방기	저속치환 장치	저속치환 장치용송풍기	배기 송풍기	외기차단용 급기송풍	비 고
의장공장	14	7,000m ³ /h x 20대	14,000 m ³ /h x 10대			
편성조립장	4	-			22,000 m ³ /h x 4대	
검차장	2	-			22,000 m ³ /h x 2대	
대차공장	11	7,000m ³ /h x 20대	14,000 m ³ /h x 10대	5,600m ³ /h x 15대		
동력차공장	10	7,000m ³ /h x 18대	14,000 m ³ /h x 9대			
철구공장	6	-		5,000m ³ /h x 8대		기존4대 포함



[그림 7] 설비 개선방안(복사난방 + 저속치환장치) 개념도



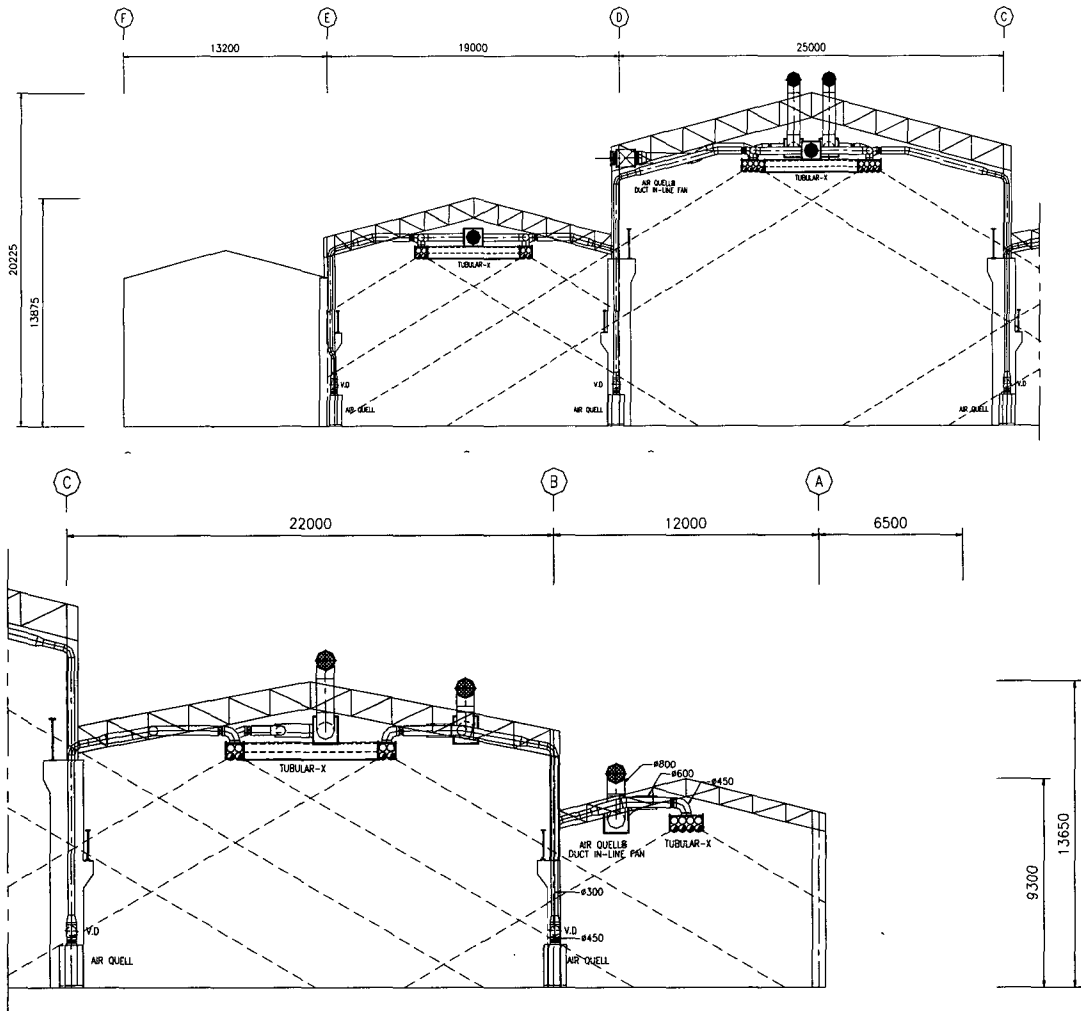
- 특징

- ①복사난방과 대류난방의 혼합방식
 - ②복사난방에 의한 피사체의 난방 효과가 크므로 대류난방부하 다소 감소
 - ③공조기에 의한 난방 및 환기처리 가능
 - ④공조기의 설치위치의 제한으로 토출풍속 확대에 따른 소음 발생
 - ⑤대류난방의 온도에 의한 상승기류로 기류 분포 및 환기효과 다소 불량
- 설비 개선방안 (복사난방 + 저속치환장치)

공장내 난방을 원적외선 튜브히터로써 수행하며 환기용 외기는 튜브히터의 여열을 이용, 실내보다 저온의 공기를 저속치환장치로써 하향 급기하여 환기하는 방식(그림 7).

- 특징

- ①복사난방에 의한 피사체의 난방효과가 크므로 장비의 용량 감소
- ②저속치환 장치에 의한 환기처리 가능
- ③저속치환 장치에 의한 소음감소 및 토출풍속이 낮아 기류분포 양호



[그림 8] 의장공장 난방기 및 환기덕트 단면도



- ④ 환기부하는 복사난방기를 이용하므로 별도 열원 불필요
- ⑤ 열원장비의 집중에 따른 유지관리 용이 및 에너지 절감
- ⑥ 열원장비의 설치공간이 크다.

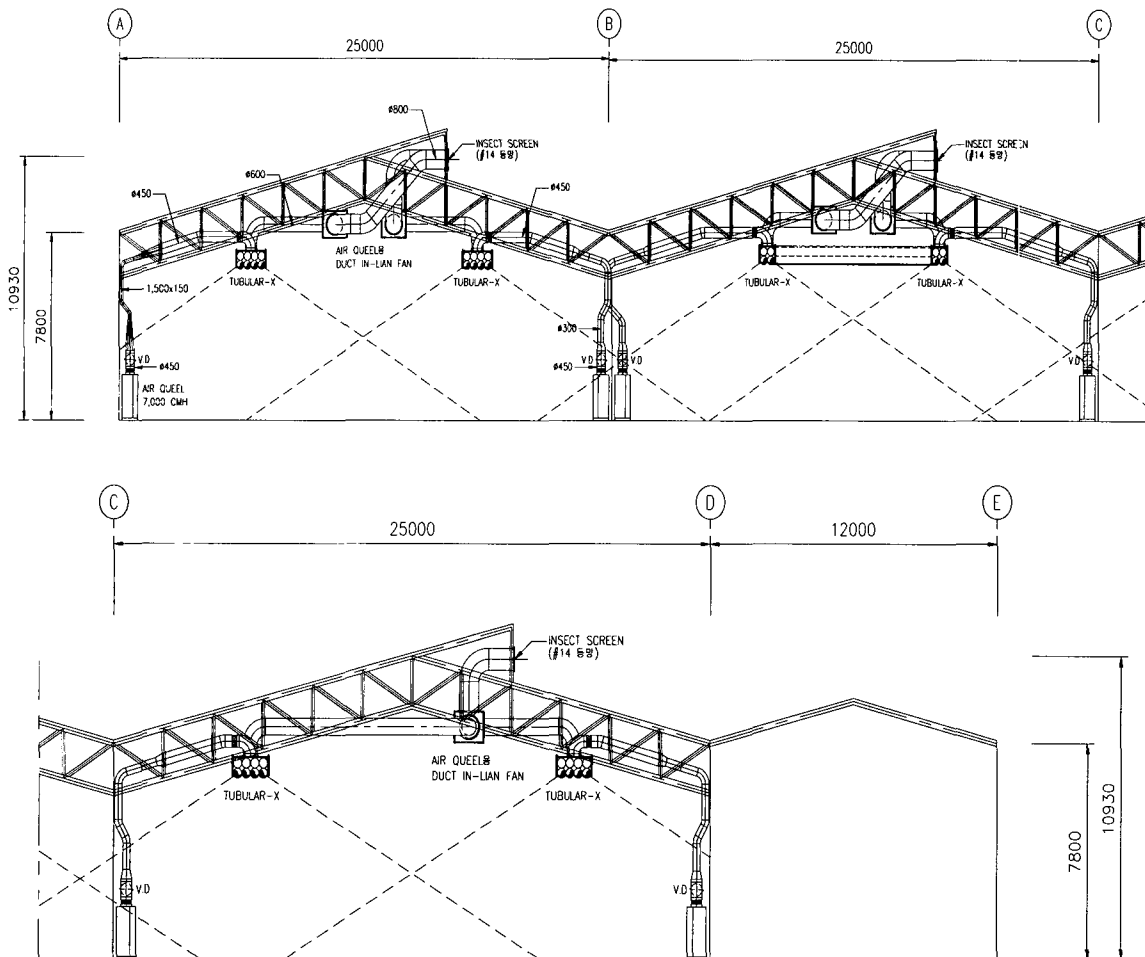
- 개선효과
 복사난방에 의한 피사체의 난방효과가 크고 최근 개발된 저속치환 장치 (air quell)를 사용하여 별도의 열원장비 없이 외기를 저속으로

공급, 환기하므로 기류분포가 양호하여 기존 공장의 난방 및 환기 효과가 개선되었다.

설계 및 시공시 착안사항

공사현장 여건 고려

- 기존 공장건물의 특성(기밀성 저하)을 고려한 설계방안 강구 - 정확한 난방부하 산출 및 운전비 검토
- 근무중인 공장내 난방 및 환기설비 보완공사인



[그림 9] 대차공장 난방기기 및 환기덕트 단면도



- 점을 감안하여 정확한 시공계획하에 시공하므로써 생산라인의 업무능률저하 방지 - 시공계획서 작성
- 고소지역의 공사이므로 공사안전대책 강구 - 안전시공 규칙

근무직원들의 의견수렴

- 온풍난방시 난방기 주위만 따뜻함을 느끼며 강한 기류형성으로 근무시 불쾌감이 조성되므로 원적외선 복사난방을 적용하여 공장전체에 대

한 난방과 근무직원의 불쾌감 해소

- 난방기기 주변의 강한 소음으로 인한 작업능률이 저하되므로 저속치환장치로 하향 급기하여 쾌적공간 창출

관련법규 검토

- 소방, 환경, 산업 안전 보건법 등 관련법규 검토
- 운전시 가스연료에 대한 안전대책 강구 - 가스누설 감지기를 설치하여 가스누설 사고 예방



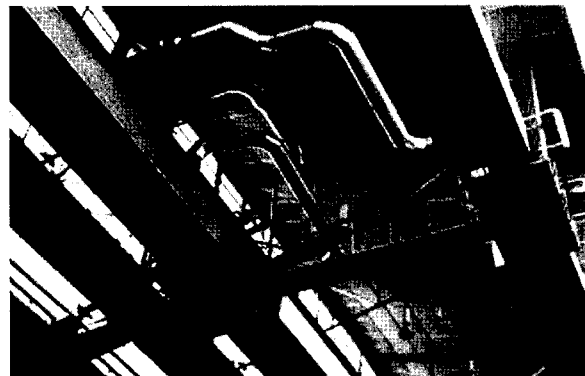
(a) 저속치환장치 및 덕트 설치



(b) 저속치환장치 설치



(c) 원적외선 튜브히터 설치



(d) 저속치환장치 외기도입용 송풍기 및 덕트

[그림 10] ROTEM 창원공장 설치사진



신기술 도입

- 공장의 최적난방 방식으로 원적외선 복사난방을 도입하며 근무직원 및 용접모재의 온도상승도모
- 중앙집중식 복사난방 도입에 따른 에너지 절감 및 유지관리성 증대
- 복사난방 도입으로 표면온도를 상승시켜 표면결로 방지
- 저속치환 장치로 공장바닥 부분에서 급기하르으로써 환기효과 극대화

에너지 절약방안

- 시스템 선정시 경제성 검토(초기투자비 및 운전비)에 의한 최적설비방안 선정
- 대형공장은 작업 bay별로 난방 및 환기구획(zoning)하여 시공 및 운전계획 수립
- 에너지 절약형 기기의 선정 및 버너의 단계운전 제어로써 사용연료 절감 도모
- 정밀한 자동제어으로써 실내온도에 따른 난방기의 단계 운전모드 설정

유지관리의 용이성 증대방안

- 난방기기의 댓수는 최소화하여 점검 및 유지관리개소의 최소화 필요
- 최적 자동제어설비에 의한 완전 자동운전 개념 도입

환경오염 방지방안

- 공장내 분진, 소음, 진동 등의 오염원 감소대책 강구
- 회전체에는 동력소비가 적은 장비로써 선정(저전력, 저소음 등)
- 강제 급배기 송풍기에 의한 기겨 환기방식 적용
- 저속의 환기기류형성으로 용접 흠의 국소배기 성능증대

기타 착안사항

- 시공시 신공법 도입방안 강구
- 설계 및 시공시 품질관리 강화방안 강구

맺음말

공장 건물은 일반 건축물에 비하여 생산설비의 설치로 층고가 높고, 대단히 복잡하며, 자동화설비로 인해 인구밀도는 낮아 시스템 선정시 세심한 검토가 필요하게 된다.

두서없는 줄고에 대하여 양해를 구하고 미력하나마 공장 설계시 참고가 되었으면 한다. ●