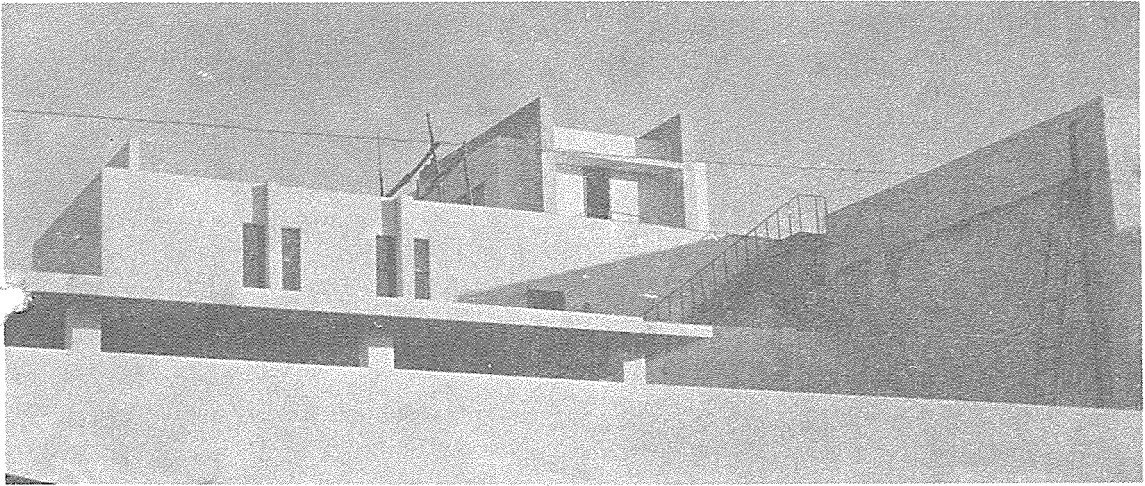


냉동공장 방열자재의 발달사

김 희천(수산청 시설 담당관)



포항종합어시장 냉동공장전경

냉동공장 방열재 시공

옛날부터 얼음을 목조건물 창고에 보관하여 왔다. 그러나 기업화되어 값에 따라 우수한 방열재를 찾는 데 주력하여 왔다. 옛날 시공업자는 톱밥, 대뱃밥, 콜크가루 및 공간과 분리한 목재의 층을 만들어 시설하여 왔다. 콜크가 보드판으로 성형시켜 발전하여 온 후 이 자재는 광범하게 사용하게 되어 곧 다른 방열재의 성능을 측정하는 표준 자재가 되었다. 방열 자재로서 콜크판은 가장 가치있는 자재이었다. 전열재의 낮은 전도도를 가졌고 비교적 안전하고 압축력이 좋고 가벼운 편이고 짜르고 맞추기 쉽고 항수분력에 좋다. 그러나 유기물질 자재는 습기가 있을 때 썩기 쉽고 몇개 공장에서 수년 전부터 쥐가 살고 구멍을 뚫는 것을 보았다. 그렇지만 적당히 방열하여 흡수되지 않게 시공하였을 때 콜크판 자재 방열은 20 내지 40년은 견딜 수 있다.

콜크판의 단점은 거의 없다.

콜크는 참나무 껍질로 만든다. 이 참나무는 아주 느리게 자라고 50년이 되어야 수확을 하는데 일년에 100파운드 가량 자란 것을 수확할 수 있다. 거의 다시 심지 않고 계속 개발시켰으나 점차 공급량이 감소되어 1940년 초에 값이 최고로 올랐다. 그래서 값이 헐한 대용품 개발에 힘썼다. 2차대전이 끝나고 냉동업이 번창해지자 결과적으로 냉동업이 번창하여 졌으며 방열재의 수요가 급증하여 새로운 방열재 연구에 박차를 가하게 되었다. 오늘날의

많은 기술자들이 광물질 모(Bulk Mineral wool) 플라스틱 분말, 분말삼나무 껍질(Shredded Redwood Bark) 석면등을 개발했다. 당대에 가장 성공적 개발품으로 오늘날까지 사용되고 있는 방열재는 유리섬유(glass Fiber) 및 포말유리(foamed glass)를 들 수 있다. 전쟁후의 다른 영향은 프라스틱의 개발에 주력했다. 그래서 우리가 방열재를 소유할 수 있는 프라스틱 산업이 발전했다. 이 대표적인 방열재로는 포말 폴리스타이렌(Foamed Polystyrene) 및 포말 폴리우레탄(Foamed Polyurethane)을 들 수 있다. 이 자재는 밀폐형 세포자재들로서 적은 프라스틱 기포의 수백만개로 구성되어 있어서 수증기 등의 흡습이 되지않은 제일 좋은 방열재이다. 이 두 방열재 중 스타이렌 기포(Styrene foams)는 값이 보다 헐하고 보다 더 많이 사용하고 있지만 우레탄 기포는 쉽게 구할 수 있고 어디서나 생산 할 수 있다.

스타이렌 포말도 3가지 종류가 있다. 가장 보편적으로 사용되는 것은 표면이 거치른 조직이 된 필요한 판형으로 짧은 것이다. 이 방열재의 K 값은 0.24이다. 또 하나는 스무스하고 매끈 매끈한 표면을 갖는 판형으로 제작한다. 이 K 값은 0.18이다. 다음 셋째번 종류로는 "거품판"이라고 하는 것으로서 스타이렌을 틀에 넣어 거품으로 만들어 판의 형 및 필요로 하는 크기에 맞추어 적은 거품으로 열을 처리하여 팽창시켜 만든다. 이 방열재의 K치는 약 0.24 정도이다.

그러나 이 방열재의 수증기 통과에 대한 강도 및 저항력은 그 방열재의 농도에 비례해서 다르다. 거품판 방열재를 생산하는데 보다 적은 비용이 들겠으나 특히 관뚜루기 각진 부분보강 선창등에 시설하기는 힘들다. 농도와 값은 변화시킬 수 있고, 농도를 증가시켜서 필요로 하는 물리적 품질을 향상시킬 수 있다.

방열재의 형은 구성비가 보다 일정하게 할 수 있고 일반적으로 보다 높은 압축력을 가진 사용구조에 대해서 보다 적당히 만들 수 있다. 거치된 표면을 가진 폴리스타이렌 판은 거의 어떤 종류의 자재와도 결합시킬 수 있다. 예외로 무거운 압력이 가해지는 바닥에 있어서는 고농도의 거품이 판의 한자당 수천 파운드까지 압축력에 견디게 시공되어야 한다. 스무스(smooth)한 표면이 되게 만든 판은 특히 천정 및 바닥과 같은 수평표면에 사용되게 한 것이다. 그리고 우레탄과 비슷한 방열재를 사용한다. 프라스틱 기포의 단점은 고온도에 비교적 영향이 약하다. 고온도가 되면 연소가 되지 않은 동안일지라도 열을 가했을 때 기포가 분해되거나 또는 융해된다.

“후레온”이라 불리는 부푸른 “포리 우레탄”기포는 현시대에 상업적으로 가장 유용하고 가장 좋은 방열재로서 열전도 계수가 0.13에서 0.16까지 만들 수 있다. 이 포리 우레탄은 두 가지 특징을 지니고 있다. 우레탄은 방습방증기 자재로 쌓인 방열재라는 것과 보다 낮은 온도에 사용할 수 있다는 것이다. 예를 들면 냉장고 저빙실·금속판 판넬 등에 많이 사용한다. “후레온”까스가 새지 않으면 K 획타는 0.15내지 0.16으로 안전하다. 사용도가 늘어나는 것은 값도 보다 헐할 뿐만 아니라 낮은 K 획타를 얻을 수 있어서 비교적 방열재로서 폴리스타이렌과 경쟁하는 것으로서 우레탄이 많이 생산된다. 또한 장점으로는 보다 높은 온도에 견딜 수 있어 좋은 방열재이다. 오늘날까지 판형방열재(Board Form)는 임계점까지 사용할 수 있어 좋다.

우레탄의 가장 주요한 장점은 기포를 만들 수 있고, 실제 응용할 수 있어 좋다. 예를 들면 손잡이 기계(Portable Equipment)를 사용하여 건물 외각을 만들 수 있고 조인트(joint) 또는 씬(seam)이 없이 빈자리에 맞추어 필요한 방열재의 두께만큼 자유 자재로 집어넣어 만들 수 있다. 시공 형태별로 따라 주의해서 시공하는데 따라 다르다. 그리고 기

포를 만드는 기술자의 숙련도에 따라서 크게 다르다. 현행 수직 표면의 방열재의 두께는 $3/4^{\circ}$ 로 기포를 형성시켜서 만들어 사용하는 것이나 보통 필요한 두께를 만들기 위해서는 여러장을 중복해서 시공하여 사용한다.

가공할 때 보다 더 두껍게 가공하여 쓰는 것이 안전하며 균일하게 제작되어야 한다. 균일도는 기술자의 숙달도에 따라 다르다. 이런 때에 방열재의 시공방식에 따라 크게 다른 성과를 가져온다. 보통 시공하고 있는 한가지 시공 양식으로 조립식 판넬 건물을 들 수 있다. 옛날부터 이 판넬은 금속·프라스틱 또는 금속을 입힌 합판의 두면 시공에 필요한 두께만큼의 방열재를 샌드위치 처럼 집어 넣는다. 여러 가지 많은 물질로 채워넣어서 손을 대지 않고 오래 두었다가 금속 표면이 찢리지 않게 해서 판넬에 붙은 방열재는 완전한 증기의 장애를 보호한다. 그래서 방열재를 무한정으로 보호하여 성능을 발휘케 한다.

조립식 판넬 건물의 가장 매력적인 특징은 그런 구조를 세우는데 시공상의 필요한 인원을 감소시킨다. 오늘날과 같이 높고 또 계속 오르고 있는 노무비로 봐서 가장 중요한 일이 되고 있다. 그러나 건물의 내부 빈 칸은 건물의 총 시공비의 큰 일부를 차지하므로 오늘날 판넬을 제작할 때는 구조물에 잘 맞추어 시공한다.

판넬 제조업자는 적은 건물이나 큰 건물이나 간에 방열재를 강한 구조로 시공하고 있다. 아마 이와 같은 이유로서 슈퍼마켓의 뒷방에 들어 가는데 냉장실 또는 동결실을 설계할 때 적은 휴대용 상자를 가지고도 시공할 수 있다.

이러한 상자는 적으나, 가지고 다니기 알맞고 현행 판넬은 꼭 알맞다. 그러나 건물의 크기에 따라서 크게 할 수 있다. 판넬산업은 이들 판넬의 크기에 따라 단순히 크게 증가시킬 수 있다.

첫째번 판넬 제조업자가 이런 방열재 판넬이 이미 시장을 개척한 대신에 조립식 방열재 건물의 구조에 있어 재래식 방식이 줄어들어가고 있다.

(1) 벽체 판넬은 천정에 지지되게 설계되어서 바람 등의 부하에 견디어야 한다.

(2) 빛 또는 살포장치의 내부로 강하게 지지되게 20자 가량 천정 판넬에 걸치게 한다.

(3) 냉동장치를 걸칠 수 있게 천정 판넬을 걸치게 한다.

(4) 금속표면 뚜껑에 비싸게 만든 천정에는 지붕

판넬이 필요치 않다.

(5) 미끄러지지 않은 철판 표면으로한 동결실에 대한 마루 판넬 및 전기 올리거 트럭(Lift Trucks)으로 옮길 수 있게 충분한 강력이 있어야 한다. 그렇지만 이러한 시공은 비교적 판넬 시공비를 올리게 한다 그리고 건물의 전체 시공비는 실제 감소시키는 결과가 되지 않는다.

조립식 판넬 건물의 증가되는 다른 것으로는 우리들의 도시에 화재 예방이 되어야 한다. 방열재의 역사 및 개발의 목적은 과거 30년간 하여온 놀랄 만한 변화를 가져온 것이다. 옛날에 사용한 방열재보다 오늘날 값싸고 나은 방열재가 필요하게 되었다. 냉동 기계 시설은 3배나 올랐으니 말이다. 이런 사실에도 불구하고 대부분의 설계자는 방열재의 두께를 같은 두께로 아직 시설하고 있다 방열재 판매업자들이 말하기를 우리들의 방열재는 매우 효과적이어서 비교적 적게 사용해도 좋다고 한다. 어떤자는 또 말하기를 우리들의 방열재는 너무 싸서 그 이상 사용하지 않아도 좋다고 한다. 수년 전에는 기술자가 변화하는 온도차를 이용하여 콜크의 두께를 나타낸 차트를 만들어서 시공했다. 너무나도 단순히 동결실에 있어서는 6" 냉장실에는 4"로 시공했다. 나의 관점에서 볼 때 대부분의 설계자는 이 차트를 복사하여 시공하고 있다.

오늘날 방열재의 값이 얼마이어야 하는가 값을 정하기에는 방열재의 여러가지 두께에 따라서 소유주의 연간비용 냉동냉장실의 운영 비용을 나타낸 차트표가 필요하다. 그래서 이것을 추정하기로는 방열재의 방열 시공비의 독단적 추정을 하는 것은 금물이나 실내 온도의 최대 및 최소 방열재, 냉동 기계의 운영비 및 투자 운영비 등에 따라 다른 것이나 실제면에 있어서 분석한다면 특별한 사업을 계획하는데 사용한다. 우리가 사용하는 계획 추정은 다음과 같다

방열재 시공비-제일층을 시공하는데 또는 내면층을 시공하는데 1 Sq. Ft 당 US\$ 1+보드 Ft 당 US\$ 0.10

첫번째 시공 후 각층에 대해서 Sq. Ft당 US\$ 0.15의 경비가 필요하다. 냉동기계 시설비는 냉장실 톤당 US\$ 1,000, 동결실에는 톤당 US\$ 1,300.

운영 경비에 있어서는 톤당 냉장실 US\$ 1.50 톤당 동결실 US\$ 3.00이 소요된다.

최대온도차-냉장실 60°F (33°C)

동결실 105°F (58°C)

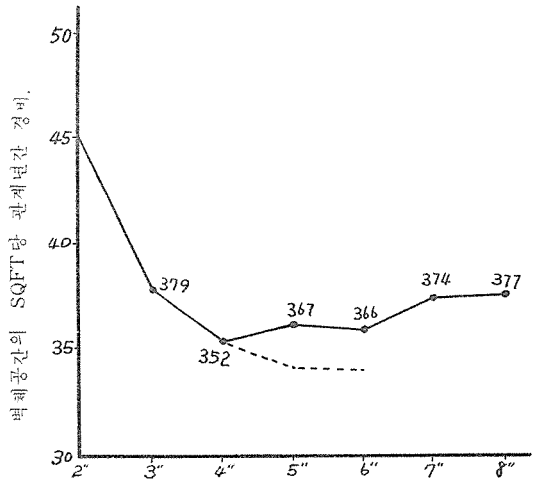
평균온도차-냉장실 30°F (17°C)

동결실 70°F (39°C)

운반비-총 투자비의 16%

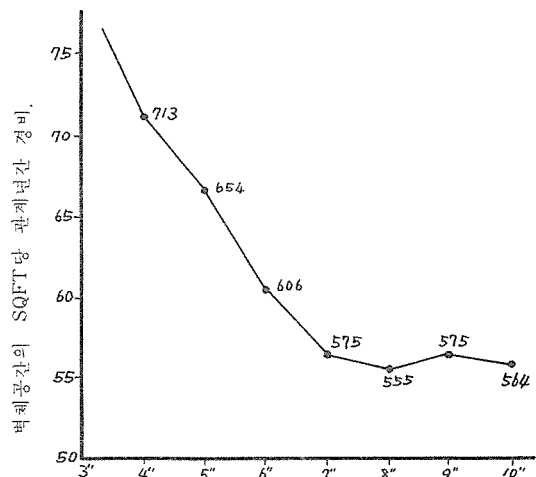
설치장소 및 사업규모에 따라 큰 변화 없이 이들을 계획에 따라 시공된다. 그러나 이런 사업계획을 경영학적으로 분석한 차는 충분하고 정확한 결과를 나타낸다.

그림 1에서 6의 도표는 방열재 및 다른 여건에



방열재 두께 (그림 1) 34°F 냉장실에 대한 방열재-톤당시설경비 US \$ 1,000. (1.11°C)

다른 "열전도율"이 0.24로 표시한 것이다. 그림 1에서는 34°F (1.11°C)의 냉장실 그림으로 입체 그림은 2"내지 8"의 방열 두께에 대한 방열 표면의 Sq. Ft당 관계 년간 경비를 나타낸 것이다. 방열재의 값을 낮추는 데는 2"내지 4"두께로 하

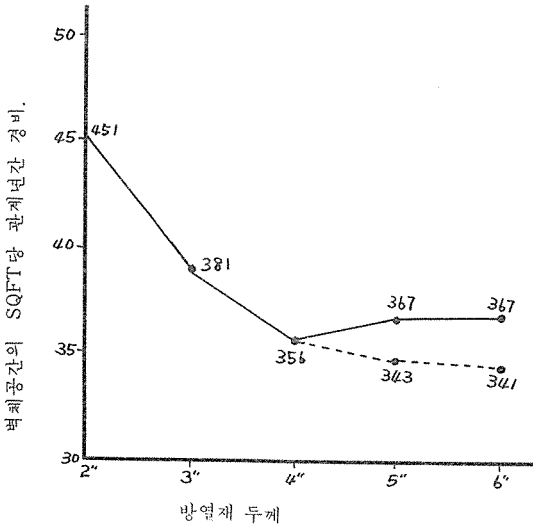


방열재 두께 (그림 2) -10°F 동결실에 대한 방열재 (-23.33°C)

여 두겹으로 하는 것이 좋다. 4"이상 일때는 점차로 경비가 증가한다. 냉동기계 및 운영비를 충분히 절감하는 데는 두겹으로 하는 것이 좋다. 점선은 한겹 두께로 6"방열 시공한 것을 나타낸 것이다. 현재 많이 시공하고 있기로는 3"두겹 두께로 보통 시공하고 있다. 두겹 두께로 시공할 경우 적어도 4"로 하여 시공하여야 한다.

그림 2는 -10°F (-23.33°C)의 동결실이 3"내지 10"의 두께를 필요로 하고 있다. 동결실의 값을 최소로 시공하는 데는 8"두께는 되어야 한다. 방열재는 3겹으로 하는 것이 좋다. 방열재를 8"두께로 시공하면 시공비는 더 오른다. 마치 냉장실과 같은 현상이 된다. 동결실에 있어서는 보통 6"가 아닌 8"를 시공한다.

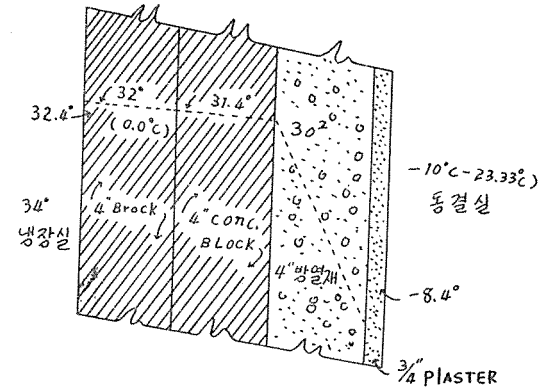
그림 3은 34°F 냉장실과 -10°F 의 동결실의 중간



(그림 3) 냉장실과 동결실 사이의 벽체

벽을 나타낸 것이다. 같은 일반 모형으로 최적 두께로 시공비가 가장 적어야 한다. 이때 적정 두께는 4"이어야지 3"이어서는 안된다. 옛날 콜크는 한겹 두께로 6"를 하였으나 이것이 가장 경제적이였다. 이 그림 3에서 가장 흥미거리인 것은 최적두께의 최소 경비를 나타낸 것이다. 여기서 이 두께보다 더 적게 들게 시공할 수는 없다. 1" 두께로 하면 너무 적어서 최적정 두께 이상의 별도 2"의 연간 경비가 증가한다.

아주 적은 별도 방열재로 시공한 예를 든다면 그림 4에서 우리는 다시 그림 3에 벽체의 구조를 나타낸 것이나 동결실에서 냉장실과 분리한 보통벽의 마주치는 것을 표시한 것이다. 이것은 벽체에서의 온도의 변화도를 나타낸 것이다.



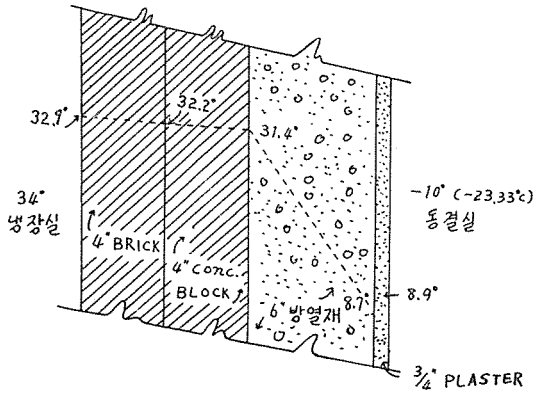
(그림 4) 냉장실과 동결실 사이의 벽체에 온도구성 (증감도)

좌측 냉장실 쪽에서 시작해서 먼저 브릭 (brick) 또는 타일 (tile)을 4"두께로 시공한 다음 4"두께의 콘크리트 블록을 시공하고 다음에 방열재 4"두께를 시공한다. 이것이 가장 경제적인 면에서의 두께이다. 다음은 3/4"의 시멘트 프라스터를 입힌다.

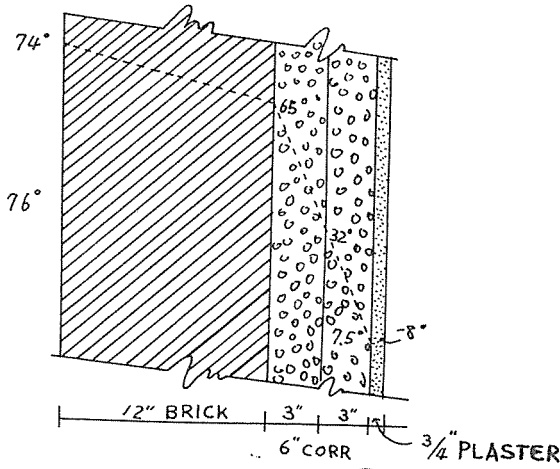
실내 온도에서 본다면 브릭 (brick)의 표면은 32.4°F 이고 브릭 (brick)과 블록 (block)의 사이의 접합점은 약 31.4°F 가량이 된다. 방열재와 블록 사이의 접합점은 약 30.2°F 이다. 냉장실측에 벽돌을 쌓 표면 가까이에 열어서 높은 습도가 형성되고 또한 씻어내린 수분이 생긴다. 동결점 이하에서 머무는 온도는 과히 나쁘지 않다. 그러나 종종 냉장실 온도가 설계한 온도 이상 약간 올라가는 수가 있다. 서리가 녹은 후 다시 온도가 떨어져서 다시 동결한다. 반복된 동결 및 융해는 벽표면을 악화시킨다. 이런 상태가 여러번 일어난다. 한 공장을 예를 들면 표면 브릭 타일 벽체가 한번은 미관상 좋았다 할지라도 1"또는 2"가량 방열재의 블록 시공에 벽 표면이 쪼개진다.

방열재를 4"두께로 할 것을 6"두께로 한다면 그림 5와 같은 온도 변화를 가져 온도는 벽돌조의 전 외면에 동결점 이상이 될 것이다. 그래서 블록과 방열재의 접합부에는 관계습도가 약 90% 이고 온도는 약 31.4°F (-0.56°C)가 될 것이다. 그래서 벽체 시공에 문제점이 있는 것이다.

방열재 또는 벽체의 종합적인 고려가 필요하다. 옛날 동결실 빌딩에 있어서 콜크는 벽에 떨어지고 적어도 내면층은 떨어진다. 동결된 벽체는 얼음이 녹자마자 방열재가 파괴된다. 그림 6은 이런 현상을 나타냈다.



(그림 5) 냉장실과 동결실 사이의 벽체의 온도차 구조.



(그림 6) 동결실 벽체의 온도 변화 구조.

3, 40년전의 아주 옛날 벽체의 온도변화 측면도를 설명하면 12"의 브릭벽에 3"콜크판 2장을 겹쳐서 방열 시공하고 3/4"시멘트 프라스터로 끝맺음 공사를 했다. 이 그림에서 본다면 -10°F의 동결실 온도를 나타낸 것으로 이 지역에 평균 여름온도가 76°F (24.44°C)의 외부 온도를 나타낸 것이다. 이런 상태에서 브릭과 콜크 사이의 증기장벽에 의한 온도는 약 65.3°F (18°C)로서 66°F (19°C)의 이슬점이 있어 70% 약간 낮은 습도가 된다. 관계습도가 약70%인 여름에 온화한 기후인 때를 본다면 증기 장해로 브릭공사할 때 응축한 수증기가 뚜렷이 나타난다. 그래서 가을에 온도가 떨어 졌을 때 방열재와 벽돌집 사이에 결합부가 얼어서 부수어진다.

더 중요한 것은 동결 및 응해는 증기장벽을 결과적으로 파괴한다. 방열재 속에 수분이 통과하게

되두면 방열재는 증기벽이 잘 형성한다. 첫두께층에까지 동결하고 응해하여 판사이의 결합부를 통과하게 된다. 그래서 층이 비틀거리서 여름동안에 동결점 이상 또는 이하로 온도가 변동한 점에서 다른 증기벽을 마주치게 된다. 방열재의 2층 사이에 생긴 얼음층을 만드는데 수십년이 걸린다. 벽돌층과 방열재 사이는 벽체에 방열재에 까지 얼음이 생긴다.

둘 또는 세 두께로 결합시켜서 방열재 시공을 잘 하여야 한다. 우리의 경험으로 실제 보급된 방열재보다 더 험할 뿐아니라 한점으로 시공한 것을 나타냈다. 한점에 필요한 두께를 증기벽을 생기지 않게 해서 방열재판 끝 사이에 부착하지 않는 것을 잊지 말아야 한다.

방열재는 무엇이든간에 따뜻한 측에 가장 가능한 증기 장벽을 얻는데 오래 동안 기술상의 비밀로 되어왔다. 그래서 냉장실로 증기가 유희는 것을 방해하여 약간 관통할 수 있다. 냉장실에 증기는 증발기에서 응축할 수 있다. 벽에는 응축되지 않는다. 동결실에서 일을 한다면 벽 및 천정의 모든 중요한 접합점을 무시하고 벽과 벽 및 벽과 상을 무시한다. 특히 단단히 하여 방열을 잘하여 실내 온도가 저온으로 잘 내려가서 공기가 농축되어 파괴를 막아서 이 점에서 증기벽을 겹치게 한다. 따라서 보이지 않게 금이 가는 것을 막아서 동결실 온도가 서서히 내려가게 한다. 가능하면 수 주일은 절릴 것이다.

결론으로 방열실(냉장, 동결 및 저장실) 또는 기타 냉난방 건물을 설계할 때는 우리 자신의 두뇌와 생각을 충분히 활용하여 30년간은 견딜 수 있게 완전하고 짜임새있는 시공이 되어야 한다.

새로운 우수하고 값싼 자재로 가공하여 조립식 판넬의 경제성을 고려한 방열 자재를 선택하여야 한다. 그리고 기포가 고무 형성한 방열재로 가공하여 올바른 시공이 되어야 한다. 그러나 재래식 방법으로 콜크를 복합층으로 겹쳐서 시공하여도 좋으나 벽에 증기가 생기는 것을 막도록 하여야 한다.

방열재외 적정 두께를 결정할 때는 설계하는 특수 직업인의 사명감을 살려나가야 한다.

오늘날 새로운 방열재가 더 열 효과가 있음에도 불구하고 옛날의 방열재 콜크만을 더 많이 사용하고 콜크만을 표준 방열재로 생각하는 폐습을 깨끗이 버리어야 한다.