

# 축산물 냉동냉장시설 분쟁에 관한 연구

축산물 도축시설의 냉동설비 성능이 당초 계획된 것과 상이하게 설치된데 따른 분쟁에 관한 감정결과를 소개하고자 한다.

김 천 용 / 사업이사

한미설비주식회사(cykim@hanmitab.co.kr)

## 분쟁배경

경기도소재 축산물 도축설비의 냉동설비 건설에 대하여 당초 건축주가 제시한 설계조건과 상이하고 부적법하게 설계, 설치되어 있다는 건축주의 손해배상청구와 관련된 분쟁이다. 본 연구에서는 법원으로 부터 의뢰된 감정 요청사항을 기초로 하여 건축주인 원고측과 설계자, 시공자인 피고측 사이에 이견이 크게 있는 급냉터널 부분을 중심으로, 발주자의 기본(세부설계)과업지시서와 설계자의 설계도서 그리고 설계자의 설계도서와 시공 상태와의 차이점을 검토하여 설계·감리·시공상의 문제점을 파악하여 문제점에 대한 평가와 보완방향에 대한 검토의견을 제시하고, 원고측이 기시공된 설비를 보완한 것에 대한 적정성 여부와 추가적인 보완이 필요할 때에는 이에 대한 방향을 제시하고자 한다.

## 연구내용

### 설계검토

건축주 측에서 제시한 냉동설비 성능평가 보고서를 통하여 가장 문제가 있다고 제시하고 있는 급냉터널과 관련된 부분에 대하여 건축주의 기본(세부설계)과업지시서를 기초로, 제시된 설계조건에 맞도록 냉동시스템이 설계되었는지를 검토하고, 또한 설계자가 작성한 설계도서가 적정한지의 여부를 주요 항목별로 재계산을 통하여 확인하였다.

### • 기본 과업지시서와 설계비교

급냉터널 부분에 대한 냉동설비의 설계타당성을 파악하기 위하여 설계의 기초가 되는 처리용량과 지육냉각방식, 지육냉각조건, 냉각시간, 급냉실 온도조건 등에 대하여 건축주가 제시한 기본(세부설계)과업지시서의 내용과 설계자가 작성한 설계도서를 비교하여 차이점과 문제점을 표 1과 같이 검토하였다.

### • 급냉터널 부하계산서 검토

급냉 터널에 대하여 설계자가 기재한 온도조건 -25℃와 -8℃를 기준으로 할 때 설계자, 건축주 및 본 연구팀에서 계산한 결과를 비교하면 표 2와 같다. 부하계산 결과에 따르면 설계자가 산출한 급냉터널 전체의 총 냉각용량은 본 연구팀에서 산출한 설계용량 443.9 RT와 비교할 때 4.3%인 18.9 RT가 부족하였다. 이는 안전율을 고려하지 않을 때의 용량인 403.5 RT보다는 5.3% 많은 425 RT이며, 설치 냉동기 용량을 449.8 RT로 선정하였으므로 총 용량 상에는 문제가 거의 없다고 판단된다. 또한 건축주가 제시한 자료에서 나온 총 용량 499 RT와 비교하여 볼 때, 이는 안전율을 25%로 적용한 것이므로 본 감정팀에서 적용한 10%로 하면 439 RT가 나오므로 본 연구팀에서 산출한 용량보다 약간 적게 나온다. 다만 급냉터널 별로 용량을 구분하는 과정에서 표 2와 같이 용량상의 차이가 발생하여 터널별로의 조건을 만족시키지 못하고 있는 것으로 보여진다.

부하계산은 모든 냉동설비의 용량을 결정하고 성

능을 좌우할 수 있는 기본이 되며, 건축주 측이 제기한 급냉터널의 실내온도가 내려가지 않는다고 주장하는 주요한 원인의 하나가 될 수 있으므로 표 2의 내용에 대하여 급냉터널 별로 세부적인 차이점을 비교하여 보았다. 그 중에서도 부하에 큰 영향을 주는 외기부하와 지육의 냉각부하에 대하여 자세히 검토한다.

1) 급냉터널 1부분

우선 환기부하에 있어서 설계자 측은 급냉터널 1, 2, 3 전체에 대하여 환기회수를 1회로 하고 냉각시간을 1/2로 하여 총 외기부하량을 149,299.2 kcal/h (44.97 RT)로 계산하였다. 이 외기부하는 거의 대부분이 급냉터널 1에 작용하는 것이므로 터널분리시 이 부하량을 급냉터널 1에 계산하여야 하나 3개 터널로 나누어 적용함으로써 급냉터널 1호의 부하량

이 실제보다 적게 산출된 것으로 보여진다.

건축주가 제시한 부하계산서를 보면 외기량을 74,304 m<sup>3</sup>/h로 계산하여 외기로 인한 손실열량을 452,511.4 kcal/h(136.3 RT)로 산출하였다. 이를 환기회수를 계산하여 보면 117.3 회/h가 되어 엄청난 양으로 입구유효면적과 풍속을 과대하게 적용한 것으로 여겨진다.

본 연구팀에서는 ASHRAE HANDBOOK에 있는 개구부에 있어서 온도차에 따른 환기손실열량의 계산 방법을 적용하여 계산하였으며, 그 결과는 95,787 kcal/h로 산출되었다. 이에 대한 타당성을 재확인하기 위하여 현재의 여건에서의 실제 외기부하량을 계산하여 보았다. 그 결과는 급냉터널 3호를 통하여 빠져나가는 개구부 부분의 통과 풍속을 실제 측정하고 개구면적을 곱하여 풍량을 산출하면 7,733 m<sup>3</sup>/h이 된다. 이는 입구를 통하여 들어오는 풍량과 출구로

<표 1> 설계과업지시 비교

항 목	과업지시서(건축주)	설계도서	문제점
처리 용량	돼지 450두/H	돼지 450두/H	없음
지육 냉각방식	방식지정 없음	급속냉각 방식	여러 방식이 있으므로 정확한 방식 지정이 필요.
지육냉각조건, 시간	조건제시 없음	40℃ → 8℃ 90분	냉각시간에 따라 냉동설비용량의 차이가 발생
급냉터널 조건	구체적 조건 없음. 단 과업지시서 1-3-30에 따르면 세부설계는 발주처에 의하여 수행한다라고 명시됨.	급냉 1,2터널 : -25℃ 급냉 3터널 : -8℃	여러 방식이 있으므로 정확한 방식의 지정이 필요함.
급냉터널 구분	명시 없음	부하계산서에는 급냉실 전체를 하나로 계산하고 유니트쿨러는 1,2,3 터널로 구분하였음.	터널구분 방법에도 여러 가지가 있으므로 온도조건과 시간이 달라짐.

<표 2> 급냉터널 냉각부하 비교

단위 : kcal/h

급냉터널 위치	설계자	연구팀	건축주
급냉터널 1	(99.44 RT)	468,503 (141.1 RT)	901,267.7 (271 RT)
급냉터널 2	(225 RT)	804,629 (242.4 RT)	475,473.8 (143.2 RT)
급냉터널 3	(103.23 RT)	200,597 (60.4 RT)	281,388 (84.8 RT)
계	1,411,000 (425 RT)	1,473,729 (443.9 RT)	1,658,129.5 (499 RT)



빠져나가는 풍량은 같으므로 이 풍량을 기준할 때 외기로 인한 손실열량은 100,219.2 kcal/h(30.2 RT)가 산출되었다.

다음은 지육으로 인하여 발생하는 냉각부하를 비교하여 본다. 지육이 40℃인 상태에서 급냉터널 1로 입고되어 8℃로 급냉터널 3을 나가야 하므로 떨어지는 온도는 32도가 된다. 그리고 시간당 3,600 kg의 지육이 급냉터널로 들어오고 지육의 비열이 0.68 kcal/kg 이므로 급냉터널 1,2,3의 총 냉각부하는 783,360 kcal/h가 된다. 그러므로 급냉터널 별 냉각부하는 각 급냉터널에서 냉각되는 온도를 기준으로 하여 계산하면 각 급냉터널의 지육으로 인한 냉각부하가 된다. 각 급냉터널 별 지육냉각온도는 지육의 평균온도를 기준으로 하며 첨부된 **그림 1**과 같이 실제 측정자료를 이용하여 검토한 결과 1터널에서 9.4℃, 2터널에서 18.6℃, 3터널에서 4℃로 나왔다. 급냉터널 1부분에서의 지육으로 인한 계산결과를 보면, 설계자 측은 터널별로 구분이 되어 있지 않았고, 건축주 자료는 168,912 kcal/h이고, 본 감정팀은 230,112 kcal/h이다. 안전율은 계산된 실제 부하량에 여유율을 곱하는 것이므로 여유율을 얼마로 적용하느냐에 따라 총 부하에 큰 영향을 미칠 수 있다. 설계자 측은 10%를, 건축주 자료는 25%를 고려하였으나 과도한 값으로 판단되고, 본 감정팀은 10%를 적용하였다. 급냉터널 1에 대한 부하계산 결과의 비교는 **표 3**과 같다. 결과적으로 급냉터널 1의 용량은 당초 설계용량보다 41.66 RT가 더 필요한 것으로 나타났다. 다만 온도가 높은 지육이 입고됨에 따라 실

내온도는 실 전체에 걸쳐 -25℃를 유지하는 것은 이론적, 물리적으로 불가능하며 입구를 지나 터널 안쪽으로 들어 갈수록 점차 내려가게 된다.

2) 급냉터널 2부분

우선 환기로 인한 손실열량은 3터널과의 개구부 부분에서 온도차이가 17℃이므로 28,956 kcal/h가 발생한다. 설계자의 계산서에는 급냉터널 전체에 대하여 환기부하를 계산하였으므로 2터널 부분은 구분되지 않았고, 건축주 측은 고려하지 않았다. 다음으로 지육으로 인하여 발생하는 냉각부하는 급냉터널 1에서 30.6℃로 들어와 12℃인 상태로 나가 온도차가 18.6도가 되므로 455,328 kcal/h가 된다. 또한 급냉터널 2로 들어온 지육표면의 일부는 **그림 1** 지육의 온도분포 그래프와 같이 동결 되므로 동결 잠열을 고려하여야 한다. 이 잠열은 93,312 kcal/h가 된다. 설계자는 지육의 냉각부하를 구분하지 않았으므로 정확히 알 수 없고, 동결잠열은 고려하지 않았다. 건축주 측이 제시한 자료의 지육냉각부하를 보면 257,040 kcal/h로써 상당히 적게 계산되었다. 이 경우 온도차이를 15℃로 보았으며 냉각시간에 따른 적용 방법이 달라 적게 산출된 것으로 보이며, 동결 잠열은 고려하지 않았다. 급냉터널 2의 부하계산결과 비교는 **표 4**와 같다. 그러므로 급냉터널 2는 당초 설계용량보다 7.7% 정도인 17.4 RT가 더 필요하게 된다. 이로 인하여 실내온도는 첨부된 측정결과와 같이 약간 높은 상태를 나타내고 있음을 알 수 있다.

<표 3> 급냉터널 1의 부하량 비교

열부하 항목	설계자	단위 : kcal/h	
		연구팀	건축주
구조체 부하	구분안됨	2,126	5,442.8
환기 부하	"	95,787	452,511.4
지육 부하	"	230,112	168,912
조명,송풍기 부하	"	59,168	53,595
제상 부하	"	38,719	40,549
소 계	"	425,912	721,010.2
안전율	"	42,591 (10%)	180,252.5 (25%)
총 부하	(99.44RT)	468,503 (141.1 RT)	901,262.7 (271 RT)

3) 급냉터널 3부분

환기로 인한 손실열량은 예냉실 쪽의 온도가 높으므로 개구부를 통하여 빠져나가는 열량은 7,379 kcal/h이고, 급냉터널 2의 개구부로 부터는 -28,956 kcal/h가 산출되었다. 설계자는 급냉터널 1,2,3 전체에 대하여 환기회수를 계산하였으므로 분리된 결과가 없다. 건축주의 부하계산서를 보면 외기량을 74,304 m<sup>3</sup>/h로 계산하여 외기로 인한 손실열량을 155,146.8 kcal/h(46.7 RT)로 산출하였다. 이는 급냉터널 1에서도 동일한 공기가 들어오고 3터널에서도 들어오게 되어 전체적인 풍량의 평형이 맞지 않는다. 다음은 지육으로 인하여 발생하는 냉각부하를 비교하여 본다. 지육의 온도가 12℃인 상태에서 급냉터널 3으로 입고되어 8℃로 급냉터널을 나가므로 냉

각된 온도는 4도가 된다. 그러므로 냉각부하는 97,920 kcal/h가 된다. 설계자의 결과는 구분되지 않아 확인할 수 없다. 건축주가 제시한 결과는 지육의 온도차이를 -4℃로 보아 -51,898 kcal/h가 되었다. 이는 급냉터널 2를 나온 지육의 평균온도가 4℃인 것을 나타내므로 3터널에서는 냉각을 할 필요성이 없다는 것을 나타내므로 적용에 문제가 있는 것으로 보인다.

급냉터널 3에 대한 부하계산결과와의 비교는 표 5와 같다.

표 5의 결과와 같이 당초 설계용량이 70% 정도 과하게 설계되어 있으므로 실내온도 측정결과와 같이 설계조건대로 -8℃를 잘 유지하고 있음을 볼 수 있다.

<표 4> 급냉터널 2의 부하량 비교

단위 : kcal/h

열부하 항목	설계자	연구팀	건축주
구조체 부하	구분안됨	2,677	6,207.3
환기 부하	"	28,956	0
지육 부하	"	548,640	257,040
조명,송풍기 부하	"	84,710	76,583
제상 부하	"	66,498	40,549
소 계	"	731,481	380,379
안전율	"	73,148	95,094.8
총 부 하	(225 RT)	804,629 (242.4 RT)	475,473.8 (143.2 RT)

<표 5> 급냉터널 3의 부하량 비교

단위 : kcal/h

열부하 항목	설계자	연구팀	건축주
구조체 부하	구분안됨	5,590	5,589.6
환기 부하	"	-21,577	155,146.8
지육 부하	"	97,920	-51,898
조명,송풍기 부하	"	83,850	75,723
제상 부하	"	16,578	40,549
소 계	"	182,361	225,110.4
안전율	"	18,236 (10%)	56,277.6 (25%)
총 부 하	(103.2 RT)	200,597 (60.4 RT)	281,388 (84.8 RT)



• 냉동기, 유니트쿨러 용량

앞에서 산출된 부하를 기준으로 냉동기의 용량과 각 급냉터널에 필요한 유니트쿨러의 용량을 비교하면 표 6, 표 7 과 같다.

급냉터널용 냉동기의 총 용량을 검토하여 보면 본 감정팀의 결과는 443.9 RT로써, 설계자가 선정한 449.8 RT보다 5.9 RT가 적다. 이는 앞에서도 언급한 바와 같이 안전을 범위 내에 있으므로 냉동기의 설계 총 용량에는 문제가 없는 것으로 판단된다. 건축주의 자료를 검토하여 보면 용량은 499 RT로 계산되었으나 이는 앞의 부하계산 검토내용에서 설명한 바와 같이 안전율을 25%로 적용한 결과이므로 감정팀에서 기준한 10%로 적용하여 다시 계산하면 439 RT가 나와 거의 비슷한 결과를 보여준다.

다음으로 유니트쿨러의 용량을 검토하여 보면 급냉터널 1에 있어서는 설계자가 설계한 용량이 앞의 부하계산 항목에서 설명하였듯이 환기부하와 지육 부하에 대한 온도차 등을 세분하여 계산하지 않고 전체 부하를 분할하는 방법으로 선정한 결과 29.5% 정도인 41.6 RT가 부족한 것으로 나타났다. 이는 급냉터널의 온도를 낮추지 못하는 원인의 하나로 파악된다. 물론 지육이 입고되면 입구부분에서는 많은 부하가 걸리므로 입구 부분의 온도는 물리적으로 기준온도로 정한 -25℃보다는 훨씬 높게 되며, 입구를 지나며 급냉터널 내 온도는 측정 결과와 같이 점차 내려가게 된다.

급냉터널 2에 있어서도 설계용량이 7.2% 정도인

17.4 RT가 부족한 것으로 나타났다. 이것은 안전율 10% 범위 내에 있기는 하나 1터널의 용량이 부족하여 2터널에 영향을 미치므로 실제 측정된 실내온도가 설계온도도 약간 못 미치는 결과를 보여 주고 있다.

급냉터널 3에서는 오히려 필요용량의 70% 정도인 42.83 RT가 남도록 되어 있으므로 실내온도는 설계 온도인 -8℃를 충분히 유지하고 있는 것을 측정결과를 통하여도 알 수 있다.

• 급냉터널용 냉매배관의 관경 검토 및 선정

냉매 순환량 및 과정을 검토한 결과 표 8 및 표 9 와 같이 나타난다. 그 결과를 검토하여 보면 급냉터널 1, 2의 냉매 배관경은 당초 설계의 관경이 40 mm로 되어 있으나 재계산한 결과 80 mm가 필요하므로 교체가 필요하다. 건축주가 이미 보완공사를 한 후의 상태가 80 mm이므로 현재는 적당한 것으로 판단된다. 급냉터널 3과 소예냉실의 공급배관이 40 mm로 설계되어 있으나 재계산 결과 60.4 RT와 34.2 RT인 94.6 RT용량을 공급하여야 하므로 50 mm가 필요한 것으로 판단된다. 그러나 급냉터널 3만을 위하여는 40 mm면 가능하다. 건축주가 보완공사를 통하여 급냉터널 3과 소예냉실을 구분하여 40 mm 두 가닥으로 하였으므로 현재는 적당한 것으로 판단된다.

다음으로 저압수액기와 냉매펌프사이의 관경을 검토하여 보면 표 10과 같다. 이 배관의 관경이 작게 되면 냉매의 증발로 인한 캐비테이션 현상이 일어날 수 있으므로 상당히 중요하다. 당초 설계에는 80 mm로 되어 있으므로 부족한 것으로 보인다. 건축주 측에서

<표 6> 냉동기 용량비교

구분	설계자	연구팀	건축주
용량	157 RT × 2대 135.8 RT × 1대	141.1 RT, 242.4 RT 60.4 RT	271 RT, 143.2 RT 84.8 RT
계	449.8 RT	443.9 RT	499 RT

<표 7> 유니트쿨러 용량 비교

구분	설계자	연구팀	건축주
급냉터널 1	12.43 × 8대 = 99.44 RT	141.1 RT	271 RT
급냉터널 2	25 × 9대 = 225 RT	242.4 RT	143.2 RT
급냉터널 3	11.47 × 9대 = 103.23 RT	60.4 RT	84.8 RT

<표 8> 라인별 냉매순환량

구 분	설계자		연구팀		건축주	
	유닛쿨러 연결 용량	냉매순환량 (lpm)	유닛쿨러 연결 용량	냉매순환량 (lpm)	유닛쿨러 연결 용량	냉매순환량 (lpm)
급냉터널 1라인	12.43 RT×5대, 계 62.15 RT	자료없음	12.431 RT×8대 41.66 RT 25RT×2대 계 191.1 RT	412.8	271 RT	585
급냉터널 2라인	12.43 RT×3대 25 RT×9대 계 262.29 RT	"	25 RT×7대 17.4 RT×1대 계 192.4 RT	415	143.2 RT	309
급냉터널 3라인	11.47 RT×9대	"	11.47 RT×6대	142.5	11.47 RT×9대	243

<표 9> 냉매 배관경

구분	설계자			연구팀			건축주		
	냉매 순환량 (lpm)	액 배관경 (mm)	리턴 배관경 (mm)	냉매 순환량 (lpm)	액 배관경 (mm)	리턴 배관경 (mm)	냉매 순환량 (lpm)	액 배관경 (mm)	리턴 배관경 (mm)
급냉터널 1라인	-	40	200	412.8	80	200	585	80	200
급냉터널 2라인	-	40	200	415	80	200	309	80	200
급냉터널 3라인	-	40	150	142.5	40	100	243	40	150

<표 10> 저압수액기, 펌프연결 배관경

구 분	저압수액기 4호	저압수액기 5호	저압수액기 6호
당당열부하(RT)	191.1	192.4	94.6
냉매순환량(lpm)	413	416	223
관 경(mm)	φ125A	φ125A	φ80A

<표 11> 냉매펌프의 용량 비교

단위: lpm

구분	설계자	연구팀	건축주
급냉터널 1라인	200	415	585
급냉터널 2라인	200	415	309
급냉터널 3	200 (소예냉실과 겸용)	142.5	243

는 표 10과 같이 보완하였으므로 현재는 적합하다.

• 냉매펌프의 용량 검토

냉매펌프는 저압수액기에서 유닛쿨러로 냉매를 이

송시키는 역할을 하는 것으로 유닛쿨러에서 필요로 하는 양을 충분히 공급할 수 있는 용량이어야 한다. 이때 배관에 연결된 유닛쿨러의 용량을 기본으로 라인별로 냉매펌프를 설치하여야 하므로 당초 설계의



배관시스템을 참고로 할 경우 (3)항에서 계산한 결과를 이용하여 펌프의 순환유량을 구하며, 그 결과는 표 11과 같다.

• 급냉터널용 저압수액기의 용량 검토

검토결과 터널별로 1대씩 제상운전을 하는 것으로 하면 당초 설계용량에 무리가 없는 것으로 산출되었다.

• 냉매 배관시스템 검토

이 시스템은 Liquid Overfeed Systems으로 앞의 문제점을 제외하고는 전체적인 시스템은 큰 문제가 없는 것으로 판단되며, 한가지 아쉬운 것은 작업 중 제상이 필요할 수도 있으므로 유닛쿨러의 제상을 위하여 한 대씩 제상을 할 수 있는 배관 시스템이 갖추어지지 못한 것이다. 기존 설계도면을 보면 2대 또는 3대씩 동시에 제상하도록 연결되어 있으므로 제상 시에는 냉각용량의 감소로 인하여 냉각성능이 부족하게 되는 문제점을 가져올 수도 있다.

냉동설비 시스템 성능 검토

• 급냉터널의 시공상태

현장 시공상태를 점검한 결과 냉매배관 및 시스템은 대체적으로 실제도면에 나타난 대로 시공되어 큰 문제점은 없는 것으로 나타났다. 다만 유닛쿨러의 제상수 배수배관과 급냉실의 외기침입이 일부 문제점으로 조사되었다. 이에 대한 내용은 다음과 같다.

1) 급냉실 유닛쿨러의 제상수 배수배관의 보온기능이 상실되어 배수배관 내 동결로 인하여 배수가 되지 않아 제상수 배수가 급냉실 바닥으로 흘러내려 급냉실 바닥에 얼음이 쌓여있는 실정이다. 이것은 배수배관에 설치된 동파방지용 열선이 그 기능을 상실한 것으로 조사되었다.

2) 급냉터널 3에 설치된 유닛쿨러의 공기토출방향이 예냉실 쪽의 출입구를 향하게 되어 있어 비교적 많은 풍량이 외부로 빠져나감에 따라 급냉 1터널로 외기가 유입되어 이로 인한 손실열량이 많은 것으로 조사되었다. 토출공기의 방향을 조절하면 급냉터널의 환기로 인한 냉각부하를 줄일 수 있다.

• 설계와 시공상태 비교

냉동배관 시스템에 대하여 당초 설계와 시공상태를 비교하기 위하여 제출된 시공도를 기준으로 보면 완벽하지는 않지만 여러 부분에서 당초 설계규격을 보완 또는 변경하여 시공계획을 하였음을 볼 수 있다. 예를 들어 냉동시스템에서 냉매배관 라인의 추가구분, 냉동기의 흡입배관 헤더의 관경 확대 등이 있다. 시공 전 냉매 라인에 대한 세부검토를 하였다면 지금과 같이 공사 완료 후에 보완공사를 하지 않고, 공사과정 중에 설계변경을 통하여 처리하는 것이 가장 바람직한 길이었다고 보인다. 그 이외에는 대체로 양호한 상태이다.

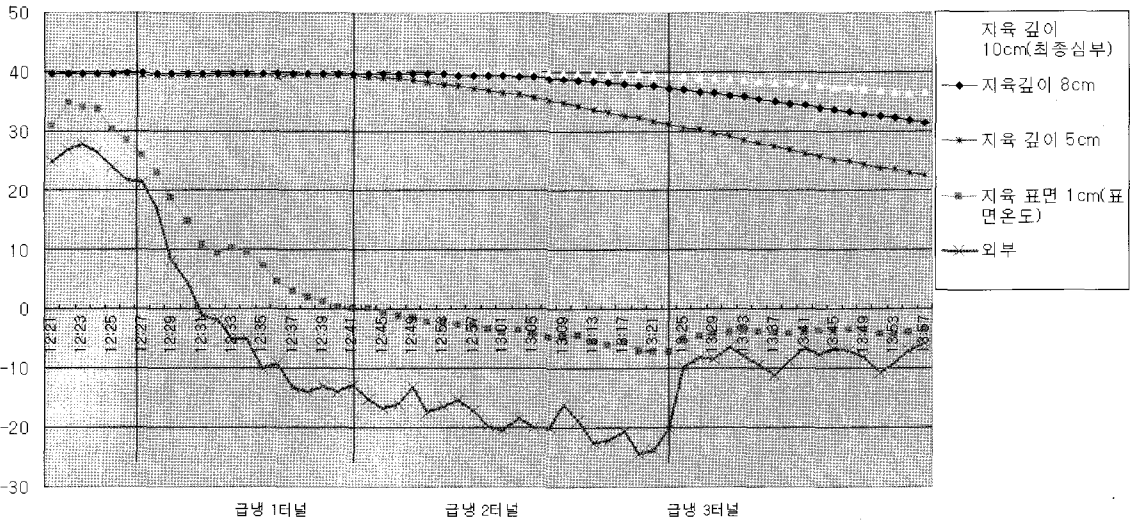
• 급냉터널 내의 온도상태

급냉터널 내의 여러 개소별 온도변화 상태를 알아보기 위하여 각 센서를 실내에 고정시킨 상태에서 시간단위로 측정하였다. 그 값을 표 12, 표 13에 나타내었다. 또한 이와는 별도로 실제 돈육이 급냉 1터널로 들어가서 급냉 3터널로 나올 때까지의 시간대별 실내온도 변화를 알아보기 위하여 1분간 단위로 측정하였다. 측정결과 실내의 온도는 그림 1과 같이 나타났다.

표 12의 결과와 같이 현재 운전되고 있는 급냉터널 1 및 급냉터널 2의 평균온도는 -2.5℃ 및 -16.4℃로써 설계온도 -25℃와는 크게 차이가 있는 것으로

<표 12> 급냉터널 내 온도측정 결과

구분	설계값	실 측 값			비고
		입구	출구	평균	
급냉터널 1	-25℃	6.0	-10.9	-2.5	
급냉터널 2	-25℃	-	-	-16.4	분포를 평균한 값
급냉터널 3	-8℃	-	-	-7.4	"



[그림 1] 지육온도변화 측정그래프(측정부위 : 둔부)

<표 13> 급냉터널 각 구간별 온도 비교표

구 분		실내온도		표 피		중 심 부		지육 평균 온도	
		설계값	측정값	설계치	측정치	설계치	측정치	설계치	(추정치)
급냉1터널	입구	-25	21.4	40	26	40	40.2	40	40
	출구	-25	-14	10	0.5	36.2	39.9	32	30.9
급냉2터널	출구	-25	-23.8	-5	-7.1	34.5	39.4	16	12.5
급냉3터널	출구	-8	-5.7	-1	-3.5	31	36.4	8	10.3

나타났으며 급냉터널 3은 설계 값과 유사하게 나타났습니다. 여기에서 급냉터널 1의 경우에는 입구부분에서 높은 온도의 지육이 입고되면서 최대부하를 발생하고 또한 환기로 인한 최대부하가 작용되므로 설계 온도를 -25℃로 정하고 설계를 하여도 입구부분의 온도가 높게 나타나기 때문에 입구와 출구의 평균온도는 별 의미가 없다고 보여진다. 급냉터널 2에 있어서 입구부분의 온도가 높은 것은 1터널의 영향을 받은 것으로 출구 쪽으로 갈수록 설계값에 근접하고 있음을 알 수 있다. 급냉터널 3의 경우는 그림 1에서와 같이 설계조건인 -8℃ 전후로 아주 양호하게 운전되고 있음을 나타내고 있다.

• 터널내 지육의 온도변화 측정

그림 1은 돈육이 처음 급냉 1터널로 입고하여 급냉 2터널을 거쳐 3터널로 나올 때까지를 각 부위별(표면, 5 cm, 10 cm 및 15 cm 길이)로 측정한 것을 나타내고 있다. 이때의 처리 용량은 돈육 388두 84 kg/시간이다. 이는 설계치인 450두 80 kg/시간과는 차이가 있다. 이 측정은 실내온도 변화에 대한 돈육 온도변화 상태를 알아보기 위하여 실시하였으며 현장여건상 맨 마지막에 투입되는 돈육을 대상으로 한 결과이므로 중간투입 돈육은 측정된 결과와 다르게 나타날수도 있다. 돈육의 표면온도는 대체적으로 터널 내 온도에 영향을 받아 급속히 하강하는데 반해 돈육 중심온도는 급냉터널 2를 지나서야 온도가 서서히 강하하는 것을 보여준다. 이것은 돈육의 표면 열전도 저항에 비하여 내부열전도 저항이 큰대 기인





하는 것으로써 중심부 온도의 변화에는 일정시간이 필요하다는 것을 증명한다.

표 13는 당초 설계 시 예상한 각 구간별 온도와 실제 측정온도의 비교를 보여준다.

- 급냉터널 온도측정결과 다음과 같이 분석되었다.
- 1) 당초 설계 시 냉동용량 산정에 적용한 지옥의 온도 자료와는 큰 차이가 있는 것을 알 수 있다. 당초 예상한 자료의 조건에 대한 명확한 근거가 미비하여 이에 대한 분석은 곤란하나 한가지 분명한 것은 당초 예상한 실내 평균 풍속보다 실제 풍속이 상당히 높아 이로 인한 표면 열전달율의 증가로 돈육에서의 초기 취득열량이 많은데도 원인이 있는 것으로 판단된다.
  - 2) 급냉터널 1의 실내온도가 설계값보다 상당히 높게 나타나는 것은 돈육의 방출 열량이 당초 예상치 보다 큰데 원인이 있다. 이는 설계시 적용한 급냉터널 전체 부하량에 대한 급냉터널 1의 부하량이 상대적으로 작게 배분되었다고 볼 수 있으며, 반면에 급냉터널 3의 냉동능력은 필요 이상으로 크게 되어 있는 것으로 나타났다.
  - 3) 당초 설계시 적용한 부하계산서에는 돈육이 급냉터널 3을 통과시 완전해빙 상태인 것으로 간주하여 동결잠열의 부하를 무시하였으나 실제 측정된 결과 돈육이 급냉터널 3을 나올 때의 표피온도가 -3.5℃로써 표피 일부는 동결 상태로 예냉실로 출고되므로 이에 대한 잠열부하가 있으므로 부하계산시 이에 대한 고려가 요구된다.
  - 4) 측정된 자료를 근거로 급냉터널의 온도를 당초 설계 기준인 -25℃로 유지하기 위한 필요 냉동

능력을 산정하기에는 좀 더 정밀한 자료가 필요하게 된다.

이것은 실제 돈육의 온도 변화에 대한 국내 및 국외 연구자료가 미비하기 때문이며 보다 정확한 자료를 얻기 위해서는 당해 설비와 동일한 조건에서 실험적, 이론적 연구가 이루어져야만 될 것으로 판단된다. 다만 현재의 급냉 1터널 실내를 평균온도 -25℃로 유지하기 위하여는 현재의 용량보다 큰 냉동설비가 필요할 것으로 판단되고, 현재 건축적인 터널 배치 구조로는 추가적인 용량증설이 어려운 것으로 보인다.

- 5) 급냉터널을 통과한 돈육의 중심부 온도를 당초 설계 예상온도인 31℃로 낮추기 위하여는 돈육의 열전도 저항치를 극복할 수 있는 절대적인 시간이 필요하다. 급냉 측정된 돈육의 온도변화 추이를 근거로 현 시스템에서 추정한다면 급냉 3터널의 통과시간을 현재 34분에서 54분 정도로 약 20분정도 길게 하면 중심부 온도가 설계 예상치인 31도 이내로 갈 것으로 판단된다. 이 경우 현재 급냉터널의 건축적 배치를 재구성하여야 하므로 어려움이 예상된다.

• 유닛 쿨러의 성능측정

현재 설치된 급냉터널의 유닛쿨러의 성능을 확인하기 위하여 유닛 쿨러의 풍량과 흡입 및 토출온도를 측정하여 설계값과 비교하였다. 측정결과는 비교적 양호한 결과로 나타났다. 현장에서 유닛쿨러의 정확한 성능을 알아내기란 상당히 어려우나 급냉 측정된 자료를 근거로 계산한 개략적인 성능은 표 14과 같다.

<표 14> 유닛 쿨러의 성능

구분	설 계 값 (대 당)			측 정 값 (대 당)			비 고
	풍량 (CMH)	입출구온도 (℃)	능력 (kw)	풍량 (CMH)	입출구온도 (℃)	능력 (kw)	
급냉 1터널용	58,100	-24/-25.9	46.5	52,065	-10.2/-12.6	48.7	
급냉 2터널용	77,600	-24/-26.9	93.9	70,416	-15.8/-18.2	91.1	
급냉 3터널용	90,700	-7.3/-8.4	42.1	82,125	-7.2/-7.8	19.0	제어운전

## 보완방향

건축주가 보완한 냉매배관 관경 및 라인 확대와 냉매펌프의 증설 내용을 그대로 살리는 전제 하에, 연구 결과에 따라 보완한다면 급냉터널 1과 2에 유닛쿨러 용량을 각각 41.66 RT와 17.4 RT를 추가로 증설하고 3터널은 42 RT를 줄이는 것이 용량문제를 해결하는 방법이다. 그러나 이와 같은 방법은 기존 건축물에 유닛쿨러를 증설하기에는 설치공간이 협소하여 설치할 수 없고 대부분을 철거한 후 재시공하여야 하는 문제가 발생하므로 현실적인 대안이 되기는 어렵다고 사료된다. 그러므로 이 방법은 본 연구의 범위를 벗어나 상세한 기술검토와 재설계를 통하여 해결할 수 있는 문제라 여겨진다.

이에 대한 대안으로 급냉터널 3은 용량이 많이 남아 현재는 부분부하 상태로 운전하고 있으므로 현재 설치된 시설을 이용하여 최대 용량 상태로 운전한다면 터널 3의 실내온도를 -8℃보다 훨씬 낮출 수 있으

므로, 3터널에서 많은 부하를 감당하는 방식으로 전환해 사용할 수 있으리라 사료된다. 이때 3터널의 실내온도조건이 당초 조건보다 낮아짐에 따라 발생할 수도 있는 육질과 관련된 문제는 건축주 측에서 검토해 보아야 할 문제이지만 외국의 사례를 보면 -25℃로 100분의 급속냉각방식, -20℃로 90분의 냉각방식 등도 있으므로 고려해 볼만한 방법이라 보여진다. 이 경우 급냉터널 3의 냉각용량이 늘어나므로 냉매공급관의 관경을 50 mm로 교체하여야 한다. 그리고 총용량 중 부족한 18.9 RT는 안전을 범위 안에 있으므로 추가적인 설치는 위와 같은 방법으로 바꾸어 운전한 후 판단할 사항으로 판단되며 그 후에도 부족하면 급냉터널 입구부분에 위치한 급냉전실에 부족용량에 해당하는 유닛쿨러의 설치를 고려할 수 있다. 끝으로 유닛쿨러의 제상방법은 2, 3대 연동으로 하도록 되어 있는 것을 개별로 하는 것이 바람직하다. ❀