

CO₂냉매를 이용한 빙상 경기장용 제빙·제습 설비 소개

안전하고 쾌적한 빙상 경기장 건립을 위하여 에너지 절약이 가능하고 일반 경기시설과는 다른 제빙·제습 설비 기술을 소개하고자 한다.

서론

최근 우리나라 선수들의 활약과 더불어 피겨 스케이팅나 컬링 등 빙상경기에 대한 관심이 높아지고 있는 반면 경기가 열리는 빙상 경기장의 설비에 대해서는 보편적으로 널리 알려져 있지 않다.

그림 1은 빙상 경기장 내의 모습을 나타낸다. 빙상 경기장은 일반적인 스포츠 시설과 비교해 빙상 경기에 적합한 설비 설계가 되어있다는 점에서 큰 차이가 있다. 먼저 경기에 필요한 아이스링크는 링크 면에 얼음이 균일하게 형성되도록 제빙 설비가 설계되어 있다. 또한 빙상 경기장 안은 항상 10~15℃ 정도의 온도로 유지되고 있어 온도가 높은 외기는 시설 안의 결로나 연무 발생의 원인이 된다. 따라서 안전하고 쾌적한 경기환경을 조성하기 위해서는 시설 내 공기의 제습 설비가 필요하다. 이러한 설비는 시즌 내내 가동되기 때문에 다량의 전력을 소비하는데다 그 전력 비용은 시설 전체의 운용비 중 큰 비율을 차지하고 있다. 또한 전력 소비량의 증가는 결과적으로 발전 시의 온실가스 배출량을 증가시키게 되므로 경제적, 환경적 측면에서 제빙·제습 설비의 에너지 절약이 크게 요구되고 있는 실정이다.

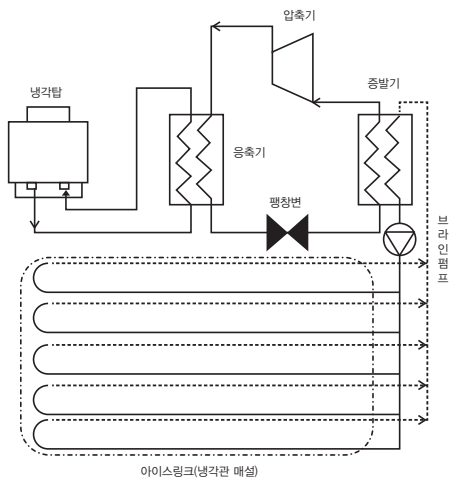


[그림 1] 빙상 경기장 내의 모습(니가타(新潟) Asahi Alex Ice Arena)

아이스링크의 제빙 설비

브라인을 이용한 기존 방식의 제빙 설비

그림 2는 빙상 경기장의 제빙 설비 개요를 나타낸다. 제빙 설비는 냉동기 유닛, 브라인 펌프와 링크에 매설되어 있는 냉각관으로 구성된다. 냉동기의 1차 냉매(압축기 냉매)로는 프레온이나 암모니아가 널리 사용되고 있다. 또한 브라인으로는 에틸렌 글리콜이나 염화칼슘 수용액이 사용되고 있다. 냉동기 유닛을 통해 제조된 1차 냉매액은 증발기를 통해 브라인과 열교환함으로써 브라인을 냉



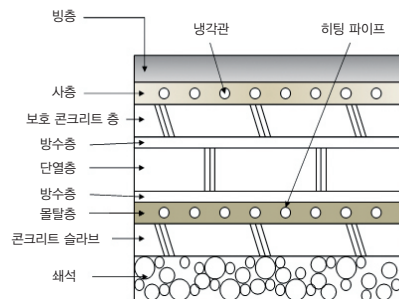
[그림 2] 빙상 경기장의 제빙 설비 개요

각한다. 냉각된 브라인은 펌프를 통해 냉각관으로 보내지고 링크를 냉각한다.

그림 3은 링크의 단면도를 나타낸다. 링크는 다층구조로 되어 있고 냉각관이 매설되어 있는 사층(砂層) 위에 빙층(氷層)이 형성된다. 또한 모르타르층에는 히팅 파이프가 매설되어 있어 5°C 정도의 온브라인이 흐르고 있다. 온브라인은 사층이 빙점 이하가 되면서 수분이 얼게 되어 링크가 들뜨는 현상(동상)을 방지해준다.

그림 4 상단은 브라인을 이용한 기존 방식의 제빙 설비 운전온도와 브라인 펌프 동력을 나타내고 있다. 이 방식은 브라인이 가지는 현열로 링크를 냉각하는 점이 특징이다. 우선 냉동기로 얻어지는 -16°C 정도의 1차 냉매와 브라인이 열교환기에서 열교환함으로써 브라인은 -11°C 정도까지 냉각된다. 냉각된 브라인은 링크의 냉각관으로 펌프에 의해 이동되고 -8°C 정도가 되어 증발기로 돌아온다. 브라인은 링크의 냉각관을 평균 -9.6°C 정도로 흐르고 있으며 얼음 표면을 -3~-5°C 정도로 유지하고 있다.

표 1의 왼쪽에는 브라인의 대표적인 예로서 45 wt% 에틸렌 글리콜 수용액의 물성치를 나타내고 있다. 이 방식은 냉매가 일정한 압력의 브라인이므로 펌프, 배관, 밸브 등의 구성 부품의 설계압력이 0.3 MPa 정도가 된다. 따라서 배관류의 비용이 적게 드는 것과 동시에 배관 설계·관리가 용이한 점에서 우수한 설비라 할 수 있다.



[그림 3] 링크 단면도

한편, 송액량 당 이동하는 냉매량이 적고 브라인 점도가 높기 때문에 필요 펌프 동력이 매우 높아지게 된다. 따라서 대형 펌프가 필요하게 되고 펌프의 초기 비용과 전력 소비량이 많이 들게 된다. 또한 기존의 증발기는 건식 열교환기를 이용하고 있으며 1차 냉매와 브라인 사이에 5℃ 정도의 온도차가 필요하게 된다. 따라서 1차 냉매온도는 -16℃정도까지 온도를 내려야 하므로 압축기의 압축비가 그만큼 커지게 된다. 그 결과 냉동기의 COP(성적계수)가 저하하고 전력 소비량이 크게 증가하게 된다. 또한 브라인은 냉각관 입구에서 출구로 향할수록 온도가 상승하므로 링크의 온도 분포가 불균일하게 형성된다. 컬링 등의 섬세한 경기에서는 얼음의 온도가 균일해야 하므로 이러한 경우 질 높은 경기환경정비가 곤란하게 된다.

이러한 요인으로 인하여 기존형 브라인 방식에는 펌프의 초기 비용, 펌프 · 냉동기의 전력소비량, 그리고 경기환경의 정비와 관련해 해결해야 할 과제가 존재한다. (주) Patine Leisure와 페사는 이러한 과제 해결을 목표로 CO₂브라인을 이용한 새로운 방식의 제빙 설비의 공동 개발을 진행해왔다. CO₂브라인이란, 액체 CO₂의 기화열을 이용한 열교환매체를 말한다.

〈표 1〉 각 브라인의 주요 물성치(-10℃)

냉매방식	기존 브라인방식	CO ₂ 브라인 방식
냉매종류	에틸렌 글리콜 45 wt%	액체 CO ₂
비중(kg/m ³)	1059.2	977.7
점도(Pa·s)	1.02×10 ⁻²	1.25×10 ⁻⁴
비열(kJ/kg·℃)	3.46	2.11
증발잠열(kJ/kg)	-	257.7
설계압력(MPa/abs.)	0.1~0.3	4.0
열수송밀도(kJ/m ³)	1.10×10 ⁴ (브라인 온도차 : 3℃)	2.52×10 ⁵ (브라인 온도차 : 0℃)

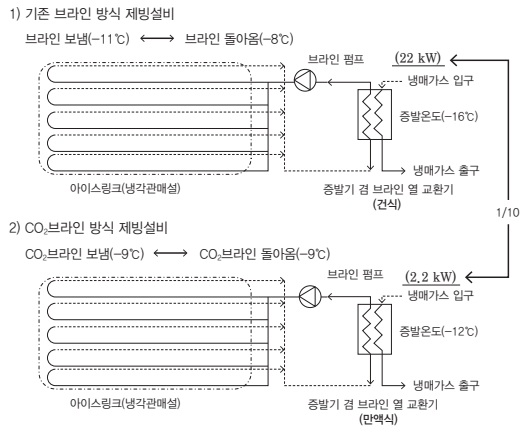
지금부터는 CO₂브라인을 이용한 제빙 설비를 소개함과 동시에 기존 방식과 비교를 하겠다.

CO₂브라인을 이용한 제빙 설비

그림 4 하단은 CO₂브라인을 이용한 제빙 설비 개요를 나타낸다.

이 방식에서는 기존 브라인 대신 CO₂브라인을 이용한 점이 기존 방식과 크게 다르다. 아이스링크로 보내진 액체 CO₂는 아이스링크에서 기화됨으로써 얼음을 냉각하고 브라인 열교환기로 돌아와 재액화된다.

표 1은 CO₂브라인의 주요 물성치를 나타낸다. 기존 방식이 현열로 냉열을 옮기는 것에 반해 CO₂브라인 방식은 잠열로 냉열을 수송하기 때문에 열의 수송 밀도가 매우 높다. 따라서 필요한 브라인 유량은 기존 방식에 비해 25분의 1정도가 되기 때문에 유량을 대폭 절감할 수 있으며 CO₂브라인의 점도 또한 낮다. 이러한 특징으로 본 방식에서는 필요 펌프 사이즈와 전력 소비량을 대폭 저감시킬 수 있다. 그 뿐만 아니라 이 방식은 만액방식의 증발기를 채용하여 열교환능력을 높이고 1차 냉매와 브라인의 온도차를 3℃정도까지 저하시키기 때문에 1차 냉매의 온도는 -12℃정도까지 높일 수 있



〈그림 4〉 각 제빙 설비의 운전온도와 동력

고 압축기의 압축비를 작게 할 수 있다. 그 결과 압축기의 COP가 개선되고 전력 소비량 절감이 가능하다.

이러한 요인들로 인해 CO₂브라인 방식은 매우 큰 전력소비량 절감이 가능하다.

한편, 이 방식은 냉매가 고압의 브라인이므로 펌프, 배관, 밸브 등의 구성 부품 설계압력이 4.0 MPa 정도가 된다. 따라서 배관류에 드는 비용이 부분적으로 많아지게됨과 동시에 설비설계·관리에 특수 엔지니어링 기술이 필요하다.

그림 5는 기존 방식과 CO₂브라인 방식 제빙 설비의 월별 전력 소비량 비교를 나타낸다. 이러한 데이터는 실제 빙상 경기장에서 수집한 것이며, CO₂브라인 방식의 6, 7월 전력 소비량은 추정치를 사용하고 있다. 두 방식 모두 연간 가장 전력 소비량이 많은 때는 여름철이다. 이것은 빙상의 차가운 공기와 지면으로의 방열 부하가 커진 점이 기인하고 있다.

또한, 겨울철은 그 방열 부하가 작아지게 되므로 전력 소비량이 저하한다.

방식별로 비교하면 CO₂브라인 방식은 기존형 방식에 대한 전력 소비량의 절감률이 4월에 최대 56%를 달성하고 있으며 연간 평균으로는 45%의 전력 소비량 절감률을 달성하고 있다.

이러한 점에서 CO₂브라인 방식은 어떠한 계절에도 우수한 에너지 절약 효과를 발휘하고 시설 운

용비를 큰 폭으로 절감시킬수 있음을 알 수 있다.

이 뿐만 아니라 CO₂브라인 방식은 CO₂브라인 온도가 냉각관 입구에서 출구까지 균일하게 유지되기 때문에 링크 내 온도변화가 발생하지 않으므로 링크의 얼음은 균일한 온도로 유지되어 이상적인 빙상 경기 환경을 실현할 수 있다.

상기와 같이 CO₂브라인 방식의 제빙 설비는 높은 에너지 절약과 질 높은 경기 환경을 실현하는 새로운 설비로서 많은 빙상 경기장에 이용되는 설비라 할 수 있다.

빙상 경기장 제습설비

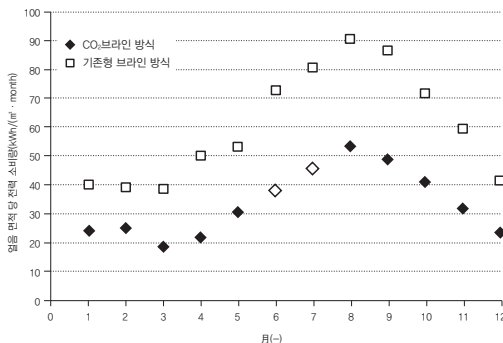
제습 환경과 기존형 제습기

빙상 경기장 안은 여름철에도 10~15℃ 정도의 온도를 유지하고 있으며 환기 등에 의해 투입되는 습도 높은 외기 때문에 경기장 벽이나 천장에 결로나 연무가 발생하게 된다. 결로수는 얼음이 되어 고드름을 형성하고 연무는 빙상 선수들의 시야를 흐리게 하므로 경기에 방해가 된다. 따라서 빙상 경기장 내의 공기 제습은 안전하고 쾌적한 경기환경 정비를 위해 매우 중요하다.

일반 공조에서는 에어컨 제습과 같은 냉각제습 방식이 널리 이용되고 있고 공기를 노점 이하로 냉각함으로써 공기 중의 수분을 결로시켜 제거하고 있다.

그러나 이 방식으로는 빙상 경기장 안의 저온 공기를 제습했을 때 결로수가 열교환기 표면에서 빙결하기 때문에 능력이 현저히 저하된다. 따라서 제상(성에 제거) 시간이 필요하게 되고 안정적인 제상운전이 불가능하다. 이처럼 저온공기를 제습할 때에는 결로수가 발생하지 않는 흡착제습방식인 데시칸트 제습기가 적합하다고 할 수 있다.

데시칸트 제습기는 실리카겔 등의 흡착제가 공기 중의 수분을 흡착 제거함으로써 공기 중의 습도



[그림 5] 각 제빙 설비의 월별 소비 전력

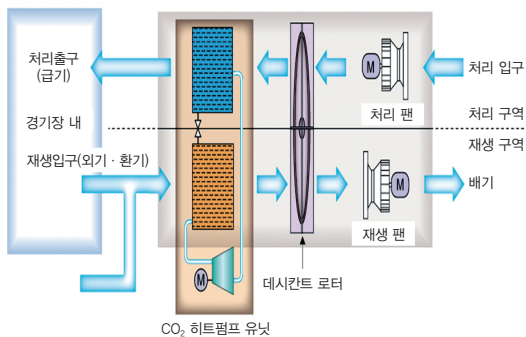
를 낮춘다. 그 후 흡착제에는 열을 가해 재생시키고 다시 제습을 반복한다. 일반적으로 이러한 재생 열원으로는 수증기나 전기 히터를 사용하고 있는데 다량의 에너지 소비가 필요하게 된다. 또한 열원의 설치 공간이 별도로 필요하기 때문에 공간 절약화를 꾀해야 하는 과제도 있다.

이러한 과제를 해결하기 위해 폐사는 재생용 열원을 CO₂히트펌프(이하 CO₂HP)로 공급하는 CO₂HP형 데시컨트 제습기(폐사 상품명 : *chris*)를 개발했다.

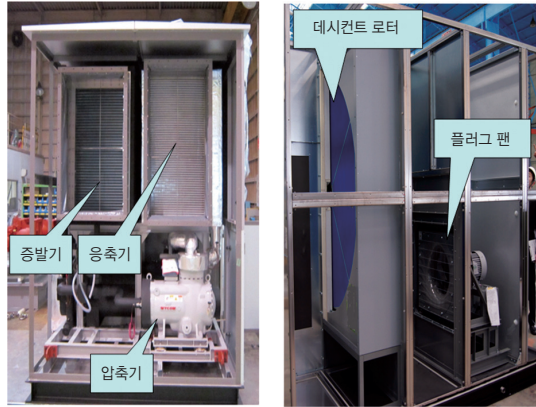
지금부터는 CO₂HP형 데시컨트 제습기를 소개하고 기존 데시컨트 제습기와의 전력소비량을 비교한다.

CO₂히트펌프형 데시컨트 제습기

그림 6은 CO₂HP형 데시컨트 제습기(폐사 상품명 : *chris*)의 구성도, 그림 7은 내부·외부 외관, 표 2에는 제원을 나타낸다. CO₂HP형 데시컨트 제습기는 기존 재생열원을 대신하여 CO₂HP 응축기를 설치하고 증발기는 흡착제를 바른 로터 뒤에 배치된다. 먼저 CO₂HP 응축기에 의해 70~80°C로 데워진 재생용 공기는 데시컨트 로터를 거쳐 흡착제를 재생시킨다. 그다음 외기 또는 빙상 경기장 안의 처리 공기가 재생된 데시컨트 로터를 거쳐 흡착제에 의해 처리 공기가 제습된다. 이때 생긴 흡착



[그림 6] CO₂HP형 데시컨트 제습기의 구성도



[그림 7] CO₂HP형 데시컨트 제습기의 내부·외관사진

<표 2> CO₂HP형 데시컨트 제습기 제원

CO ₂ HP 열원 데시컨트유닛(<i>chris</i>)	
형식명	DH-2HT-C
설치 치수(L×W×H)	4,500 mm×2,400 mm×2,800 mm
유닛 중량	5,000 kg
전원 제원	3 × 200 V×50 Hz/60 Hz
급기팬	
타입	고효율 플러그 팬
모터 출력	3.75 kW
재생(배기팬)	
타입	고효율 플러그 팬
모터 출력	3.75 kW
CO ₂ HP 유닛	
압축기 타입	레시프로
냉매	R-744(CO ₂)
모터 출력	25 kW
데시컨트 로터	
사용재료	흡착제
동력	0.1 kW

열로 인해 처리 공기는 약 40℃정도까지 데워지지만, CO₂HP 증발기에 의해 15℃정도까지 냉각된 후 경기장 안으로 돌아간다.

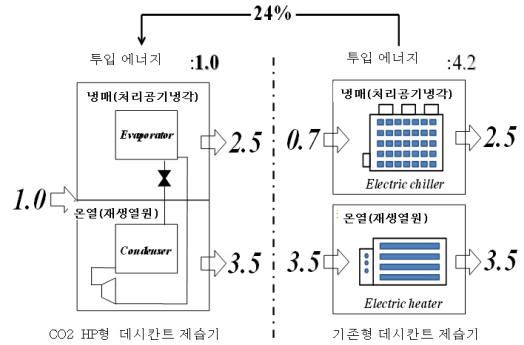
데시컨트 로터는 회전하면서 이러한 제습·재습을 반복하여 연속적으로 제습이 가능하게 된다.

그림 8은 CO₂HP형 데시컨트 제습기와 기존 데시컨트 제습기의 소비전력량 비교를 나타낸다. CO₂HP는 투입된 전력에 의해 온열과 냉열을 효과적으로 만들어낼 수 있기 때문에 CO₂HP는 1.0의 투입전력에 대해 데시컨트 제습기에 필요한 온열량 3.5와 냉열량 2.5를 동시에 얻을 수 있다.

한편, 기존 방식의 데시컨트 제습기는 재생열 원으로 수증기 또는 전기히터를, 처리 공기의 냉각에는 칠러를 각각 이용하고 있기 때문에 같은 양의 냉열량과 온열량을 각각 얻기 위해서 전기히터는 3.5, 칠러는 0.7의 전력량을 투입할 필요가 있다(전기히터 COP : 1.0, 칠러 COP : 3.3으로 해서 산출).

상기 결과에 따르면 CO₂HP형 데시컨트 제습기로는 기존 방식과 같은 양의 온열·냉열량을 얻기 위해서 24%정도의 전력량만으로도 충분하다는 것을 알 수 있다. 이처럼 데시컨트 제습기에 CO₂HP를 조합함으로써 제습에 필요한 에너지 양을 대폭적으로 절감 가능하다.

표 3은 작년 6월에 오픈한 「효고 니시노미야



[그림 8] 각 제습기의 전력 소비량 비교

<표 3> CO₂HP 데시컨트 제습기 운전 데이터

항목		7月 14日					
		0:00	4:00	8:00	12:00	16:00	20:00
처리 공기 입구 (빙상 경기장 환기)	온도(℃)	12.9	12.4	12.9	15.8	16.9	13.6
	상대습도(%RH)	66.7	66.6	63.4	57.5	58.0	65.0
	절대습도(g/kg)	6.17	5.95	5.85	6.40	6.91	6.28
처리 공기 출구 (빙상 경기장 급기)	온도(℃)	10.3	10.8	10.7	11.7	12.3	10.0
	상대습도(%RH)	40.2	37.3	36.7	41.2	43.0	41.7
	절대습도(g/kg)	3.10	2.97	2.91	3.49	3.81	3.16
재생 공기 입구 (외기)	온도(℃)	26.8	26.1	28.8	31.4	33.8	26.5
	상대습도(%RH)	81.3	85.8	75.9	68.6	59.3	87.7
	절대습도(g/kg)	18.0	18.4	19.0	20.0	19.8	19.2
CO ₂ HP	축동력(kW)	15.0	13.7	13.8	15.7	17.2	15.2
	온열량(kW)	57.9	54.1	52.8	58.7	61.4	58.8
	냉매량(kW)	42.9	40.5	39.1	43.0	44.2	43.5
	COPheating(-)	3.85	3.96	3.83	3.74	3.57	3.87
	COPcooling(-)	2.86	2.96	2.83	2.74	2.57	2.86
	COPtotal(-)	6.71	6.92	6.66	6.48	6.14	6.73
제습량(kg/h)		30.0	29.7	28.1	27.5	28.2	29.5
처리풍량(계산치)(m ³ /h)		7,922	8,065	7,718	7,642	7,361	7,606
재생풍량(계산치)(m ³ /h)		4,212	3,872	3,976	4,804	5,211	4,260

빙상경기장에 도입된 CO₂HP형 데시컨트 제습기의 운전 데이터를 나타낸다. 이 운전은 외기의 공기가 흡수되지 않으므로 처리 공기 입구에는 빙상 경기장 안의 공기가, 재생 공기 입구에는 외기가 공급된다. 처리 공기용 팬은 항상 정격으로 작동하고 있고 풍량에 큰 변동은 없다. 한편 재생 공기용 팬은 처리 공기의 입구온도와 상대습도에 맞춰 제어하고 있으며 풍량에 변동이 생긴다. 외기의 절대습도는 18~20 g/kg이며 빙상 경기장 안은 12~16℃ 정도의 온도가 유지되고 있다. 이 조건에서는 제습 설비를 운전하지 않을 경우, 외기의 유입에 의해 결로가 발생할 가능성이 높다. 이러한 높은 습도의 외기와 낮은 온도의 처리 공기가 공존하는 엄격한 조건에서도 빙상 경기장 안의 상대습도는 57~66% 정도 유지되고 있으며 결로와 연무가 발생하지 않는 안전·쾌적한 경기환경이 실현됨을 알 수 있다. 또한, 처리 공기의 출구온도는 입구에 비해 2~4℃ 정도 낮아져 있으므로 흡착열을 충분히 냉각하고 있음을 알 수 있다. 또한 전체 COP는 6 이상을 달성하고 있는 것으로 보아 에너지 소비량이 극히 적은 제습운전을 실시하고 있음을 알 수 있다.

따라서 CO₂HP형 데시컨트 제습기는 빙상 경기장 안의 낮은 온도의 공기 제습에 적합한 새로운 에너지 절약 제습 설비라는 점을 알 수 있다.

결론

빙상 경기장은 일반적인 경기시설과는 많이 다르게 설비설계가 되어 있으며 특히 제빙·제습 설비에 큰 특징이 있다. 이러한 설비는 연간 가동시간이 길어 에너지 절약화가 많이 요구된다.

본고에서는 기존 빙상경기장의 제빙·제습 설비에서 대폭적인 에너지 절약화를 실현한 CO₂냉매를 이용한 새로운 제빙·제습 설비를 소개함과 동시에 기존 방식과의 비교를 실시하였다.

제빙 설비에서는 CO₂브라인 방식의 도입으로 전력 소비량 최대 56%의 절감과 연평균 45%의 절감효과를 얻을 수 있음을 확인하였다.

제습 설비에서는 CO₂히트펌프형 데시컨트 제습기의 도입으로 기존 방식과 비교해 전력 소비량을 약 24%정도까지 절감할 수 있음을 확인하였다. 또한 실제 빙상 경기장에 도입된 기기의 운전데이터에서 높은 습도의 외기와 낮은 온도의 실내 공기가 공존하는 조건에서도 충분한 제습 성능과 에너지 절약 성능을 확인할 수 있었다.

이러한 CO₂ 냉매를 이용한 제빙·제습 설비가 빙상 경기장에 적극적으로 도입됨으로써 에너지 절약과 안전·쾌적한 빙상 경기장이 널리 보급되기를 기대해본다. ❄️