

## 화합물 작용기와 화학구조에 따른 수용액의 빙부착 억제 효과

정 동 열, 백 종 현<sup>†</sup>, 강 채 동\*, 홍 희 기\*\*

한국생산기술연구원,

\*전북대학교 기계공학과, \*\*경희대학교 기계산업시스템공학부

### The Effect of Ice Adhesion according to Functional Group and Chemical Structure of Additive

Dong-Yeol Chung, Jong-Hyeon Peck<sup>†</sup>, Chaedong Kang\*, Hiki Hong\*\*

Korea Institute of Industrial Technology, Chonan 330-825, Korea

<sup>†</sup>Dept. of Mechanical Engineering, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea

\*\*School of Mechanical and Industrial System Engineering, KyungHee University, Yongin 449-701, Korea

(Received June 28, 2007; revision received July 30, 2007)

**ABSTRACT:** This paper investigated that the functional group and chemical structure of additives affect ice adhesion in aqueous solutions cooling with stirring. In order to compare the effect on the ice adhesion in aqueous solutions, the functional group like carboxyl (-COOH), hydroxyl(-OH) or amine(-NH<sub>2</sub>) one were compared each other. Among the functional group, the strength of the hydrogen bonding force order is amine, hydroxyl and carboxyl one. It supports that ethylene diamine 7 mass% solution including amine group was effective to suppress the ice adhesion, though it is corrosive. Also, the ice adhesion were effectively resisted and formed lots of ice slurries in cooling experiment of 7 mass% solution of 1, 2-and 1, 3-propanediol which is different molecular structure but equal molecular weight each other.

**Key words:** Ice adhesion(빙부착), Function group(화합물 작용기), Chemical structure(화학구조), Additive(첨가제), Hydrogen bonding force(수소결합력)

#### 기 호 설 명

$T_{brine}$  : 브라인 온도 [°C]  
 $T_{slurry}$  : 아이스슬러리 온도 [°C]  
 $T_{fp}$  : 동결점 [°C]  
 $x$  : 수용액 농도 [mass%]  
 $P_{stir}$  : 교반동력 [W]  
 $\omega_{stir}$  : 교반회전수 [rpm]

#### 1. 서 론

정적형(static type) 제빙방식의 경우 냉각면에서의 지속적인 얼음층의 성장은 시간에 따른 제빙성능의 저하를 초래하고 냉동기 운전에 비효율적으로 작용한다. 이에 비해 동적형(dynamic type) 제빙방식은 냉각면 상에서 얼음의 생성 및 이탈을 연속적으로 수행하는 이점을 가지고 있어서 제빙효율이 향상되고 냉동기의 안정된 운전을 기할 수 있다.<sup>(1)</sup> 또한 생성된 얼음은 유동성을 갖는 얼음으로서 고밀도 에너지 수송이 가능하여 지역

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-41-589-8343; fax: +82-41-589-8330

E-mail address: pjh6240@kitech.re.kr

냉방 및 대규모 산업시스템에의 적용 가능성이 높아지고 있다.

아이스슬러리형 빙축열 시스템 가운데 기계구동(mechanical driving)식은 제빙기에 스크레이퍼, 스크류 또는 진동스프링과 같은 기계적인 구동부를 가지고 있는 방식이 널리 보급되고 있으나, 제빙기에서의 에너지 소비와 더불어 내구성에 취약한 문제점을 가지고 있다. 이에 따라 기계적 구동부 없이 아이스슬러리를 연속적으로 제빙가능하게 하거나 냉각면에서의 빙부착이 억제 되도록 유도함으로써 제빙성능의 향상을 꾀할 수 있다. 또한 아이스슬러리의 직접 수송 시 배관에서 발생하는 관폐색의 문제도 해결하려는 방법에 대한 연구가 다수 진행되고 있다.

Okada et al.은 계면활성제(유화제)의 일종인 실란커플링제(silane coupling agent)를 이용하여 물에 실리콘 기름이 분산된 유탁액(emulsion) 형태의 수용액을 만들어 제빙하였으며, 이때 제빙 표면에서의 빙부착이 효과적으로 억제되는 것을 관찰하였다.<sup>(2,3)</sup> 그러나 이러한 물질은 고가이고 독성이 강하며, 유탁액 형태를 지속적으로 유지할 수 없다는 문제점을 가지고 있다. 이와 유사한 효과를 얻기 위해 에틸렌글리콜(ethylene glycol, 이하 EG), 1,2-프로판디올(1,2-propanediol 또는 propylene glycol, 분자식:  $C_3H_8O_2$ ) 및 에탄올(ethanol) 등과 같은 첨가제를 이용한 연구가 진행되었다.<sup>(4,5)</sup> 특히 EG의 경우는 알코올계 브라인으로 물성이 상당부분 알려져 있으며, 물과 혼합되기 쉬워 현재 아이스슬러리 빙축열 시스템에서 널리 사용되고 있는 첨가제이다.

이밖에도 분자량이 89,000-98,000인 폴리비닐알콜(polyvinyl alcohol)을 첨가제로 사용하는 경우, 결정성장 및 재결정 억제에 효과적이라는 결과가 Yabe et al.에 의해 보고되었으며,<sup>(6)</sup> bio-surfactant를 첨가제로 사용한 연구도 있었다.<sup>(7)</sup>

이상에서 언급된 첨가제들은 수소결합력(hydrogen bonding force)을 가진 화학적 작용기가 물속에 용해되어 금속표면과 얼음 또는 얼음과 얼음사이에서 경계층 형성으로 빙부착을 억제할 수 있는 효과가 있을 것으로 예측된다. 따라서 본 연구에서는 분자구조가 EG와 같이 탄화수소결합체로 구성되어 있으며, 그 양 끝단에 수소결합 특성을 갖는 대표적인 작용기인 수산기(-OH), 카르복실기(-COOH) 및 아민기(-NH<sub>2</sub>) 등을 포함하고 있

는 첨가제를 사용하여 제빙실험시 각 작용기와 화학구조가 빙부착 억제 효과에 미치는 영향을 관찰하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 동결점 측정실험

서로 다른 첨가제가 포함된 수용액에 대한 제빙특성실험 시 동일한 과냉도(1 K)를 실현하기 위해 먼저 농도에 따른 수용액의 동결점을 측정하였다. Table 1은 본 실험을 위하여 카르복실기, 수산기 및 아민기의 작용기를 포함하는 첨가제들을 나타낸 것이다. 이들 첨가제의 수용액 농도는 증류수내에서 7-17 mass% 범위가 되도록 하였다. 각 수용액을 12 ml씩 T-형 열전대가 설치된 시험관에 주입한 후, -10 °C로 유지되는 저온항온조에 넣고 수용액의 온도변화를 측정하였다. 과냉각이 해소된 직후의 온도로부터 각 화합물 작용기가 첨가된 수용액의 동결점을 구하였으며, 이때의 수용액과 저온항온조의 온도는 데이터로거(agilent 34970A, 12 channels)와 계측용 프로그램(HP-VEE)을 이용하여 10초 간격으로 측정하였다. Fig. 1은 EG(분자식:  $C_2H_6O_2$ ), 1,3-프로판디올(분자식:  $C_3H_8O_2$ ) 및 에틸렌디아민(분자식:  $C_2H_8N_2$ )이 첨가된 수용액의 농도변화에 따른 동결점의 변화를 나타낸 것으로서, 7~15 mass%의 구간에서 선형에 가까운 변화를 보이고 있다. 동결점과 수용액 농도의 관계는 1차 함수로 최소제

Table 1 Classification of additives to functional group

Functional group	Additive	Formula
Carboxyl (-COOH)	Lactic acid	$C_3H_6O_3$
	Succinic acid	$C_4H_6O_4$
Hydroxyl (-OH)	Ethylene glycol	$C_2H_6O_2$
	1,2-propanediol	$C_3H_8O_2$
	(Propylene glycol)	
	1,3-propanediol	$C_3H_8O_2$
	1,6-hexanediol	$C_6H_{14}O_2$
Amine (-NH <sub>2</sub> )	Monoethanol amine	$C_2H_7NO$
	Ethylene diamine	$C_2H_8N_2$

곱법을 이용하여 식(1)~식(3)과 같이 근사하였다. 이 식들과 측정된 동결점은 농도에 대하여  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ (신뢰도 99%)의 범위에서 일치한다.

$$(1, 3\text{-propanediol}) T_{fp} = 1.027 - 0.4093 x \quad (1)$$

$$(\text{Ethylene glycol}) T_{fp} = 0.5114 - 0.4125 x \quad (2)$$

$$(\text{Ethylene diamine}) T_{fp} = 2.208 - 0.6769 x \quad (3)$$

여기서,  $T_{fp}$ 는 동결점이며,  $x$ 는 수용액의 농도이다.

## 2.2 제빙실험

Fig. 2는 제빙시험 및 측정장치의 구성도이다. 아이스슬러리 빙축열시스템에서 사용되는 EG 수용액의 농도는 7 mass% 전후이므로, 본 실험에서도 이를 기준으로 하여 수용액 950 g을 제작하였다. 이를 스테인리스(SUS 304) 용기(외경 102

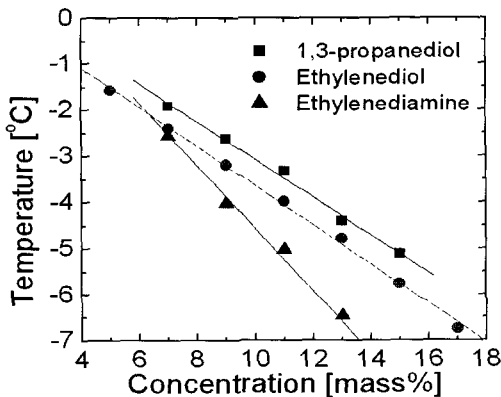


Fig. 1 Relations between concentration and freezing temperature.

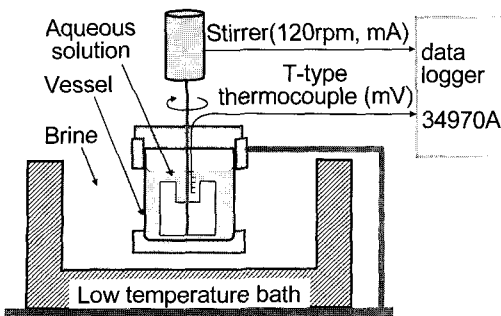


Fig. 2 Experimental apparatus for ice formation.

mm, 높이 170 mm, 두께 2 mm)에 담아 용기 외부를 저온항온조의 브라인으로 냉각하고 동시에 용기 내부의 수용액을 120 rpm으로 설정된 교반기를 이용하여 내부유동이 강제대류가 형성되도록 하였다. 제빙실험 시 제빙벽면만의 빙부착을 관찰하기 위해 용기의 상부와 하부는 MC(mono cast nylon)를 이용하여 단열하였으며, 대기에서의 열유입을 감소시키기 위해 교반봉이 관통하는 아크릴 마개(두께 20 mm)를 용기 상부에 장착하였다. 교반익은 수용액이 용기 내부에서 차지하는 높이(110 mm)로 용기 벽면과의 거리를 10 mm로 하여 교반에 의한 운동에너지가 제빙벽면 전체에 영향을 미칠 수 있도록 고려하였다.

냉각 및 제빙을 위해 저온항온조의 온도를  $-5^{\circ}\text{C}$ 로 설정하였으며, 각 수용액의 동결점을 고려하여 과냉도가 1 K일 때 빙핵을 투여하여 강제적으로 과냉각을 해소하였다. 제빙과정의 진행과 더불어 교반동력이 상승하다가 일정해지는 시점에서 제빙실험을 종료하였고, 실험용기를 기울여서 아이스슬러리와 수용액을 쏟아낸 후 제빙벽면에서의 얼음 부착 여부 및 부착량에 따라 빙부착 정도를 판단하였다. 교반동력은 교반기 모터에서의 전압과 전류를 측정하여 계산하였으며, 회전수와 함께 빙부착과 제빙량에 대한 정성적인 척도로 사용하였다. 또한 제빙량을 간접적으로 계산하기 위해 용기 내부의 아이스슬러리 온도(용기 중심부에서 측방향으로 3점)를 T-형 열전대를 이용하여 측정하였으며, 제빙과정을 통해 생성된 아이스슬러리는 광학현미경(optical microscope, Olympus사 BX60모델,  $\times 100\text{-}1000$ )을 이용하여 얼음입자의 형태와 크기를 관찰하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

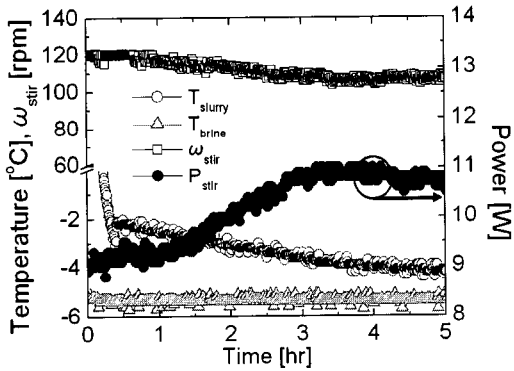
### 3.1 화합물 작용기에 따른 빙부착 억제 효과

탄소수(-C-C-)와 구조가 동일한 EG, 유산(lactic acid) 및 에틸렌디아민(ethylene diamine)의 작용기를 갖는 각각의 7 mass% 수용액에 대한 교반 제빙 실험결과이다. Fig. 3(a)는 분자구조상 양 끝에 히드록실기를 가지고 있는 EG가 7 mass% 첨가된 수용액의 냉각, 제빙 시 온도와 교반동력의 변화를 나타낸 그래프이다. 설정한 조건(과냉도 1 K)에서 빙핵을 투여하여 과냉각을 해소시켰으며 이후 아이스슬러리가 생성되기 시작하였다. 아이

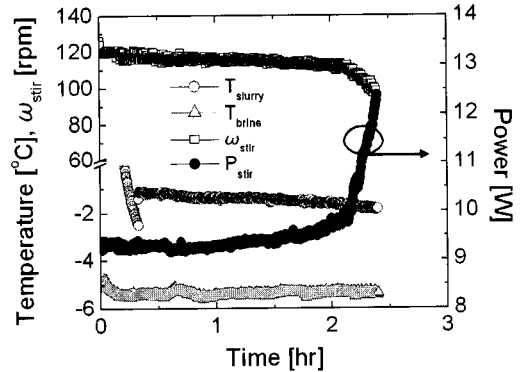
스슬러리의 생성은 교반 저항을 증가시켜 과냉각 해소 후 20분이 지난 시점에서부터 교반동력은 서서히 증가하고 회전수가 점차 감소하고 있다. 그러나 약 150분 경과후 교반동력과 회전수가 일정하게 유지되었으며 그로부터 약 2시간 후 제빙 실험을 종료하였다. 빙부착 여부를 확인하기 위해 실험용기를 기울여 아이스슬러리를 쏟아낸 후, 빙부착 여부를 관찰하였다. Fig. 3(b)는 EG 7mass% 수용액의 제빙종료 후 생성된 아이스슬러리를 쏟아낸 뒤의 제빙벽면의 모습을 촬영한 사진으로, 제빙벽면 일부분에서 빙부착이 나타났다(우측하단의 작은 사진은 제빙완료 후 실험용기를 비우기전 모습임).

Fig. 4(a)는 분자구조상 양 끝단에 카르복실기를 가지고 있는 유산이 7mass% 첨가된 수용액에 대한 냉각 및 제빙특성을 나타낸 그래프이며, Fig. 3(a)에서 나타난 교반동력과 회전수의 변화

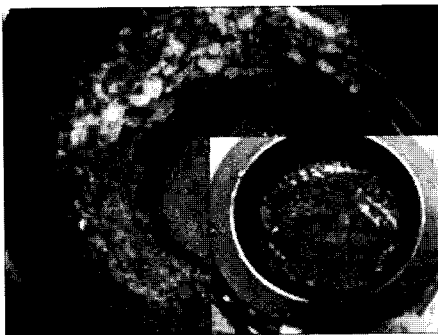
와는 다른 특성을 보인다. 즉 과냉각 해소 후, 교반동력과 회전수의 큰 변화를 볼 수 없으며 제빙 개시시점에서 2시간이 지난 후, 급격한 교반동력의 상승과 회전수의 감소를 엿볼 수 있다. 이는 제빙초기에 생성된 아이스슬러리가 제빙벽면에 고착되어 지속적으로 성장하기 때문에 상대적으로 용액 중의 아이스슬러리에 의한 내부유동 저항이 증가하지 않아서 교반동력과 회전수에서 큰 변화가 없는 것으로 추정된다. 그러나 교반익이 제빙벽면에 고착되어 성장한 얼음과 접촉한 시점부터는 교반동력의 급격한 상승과 회전수의 감소가 나타난 것이 확실시 된다. Fig. 4(b)는 유산 7mass% 수용액의 제빙이 완료된 후 제빙벽면의 상태와 제빙 후 아이스슬러리의 사진으로서 제빙벽면에서 빙부착이 두텁게 발생된 것을 볼 수 있다. 생성된 아이스슬러리의 상당부분은 제빙벽면에 부착되어 아이스슬러리 형태로 존재하는 양은



(a) Time history of temperature and stirring power



(a) Time history of temperature and stirring power



(b) Partial ice adhesion on cooling wall and ice slurry

Fig. 3 Ethylene glycol 7 mass%.



(b) Full ice adhesion on cooling wall and ice slurry

Fig. 4 Lactic acid 7 mass%.

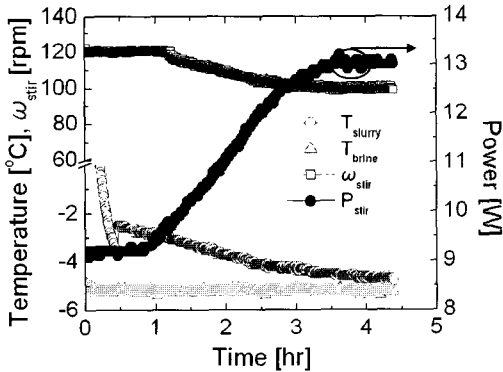
다른 물질의 경우에 비해 상대적으로 적었다.

Fig. 5(a)는 아민기를 분자구조 양 끝단에 포함하고 있는 에틸렌디아민이 7 mass% 첨가된 수용액의 냉각 및 제빙특성을 나타낸 것이다. Fig. 3(a)의 제빙거동과 유사한 양상을 보이나 교반동력은 약 2 W 정도 높게 나타났다. 제빙종료 시점에서 아이스슬러리의 온도(동결점)를 이용하여 Fig. 1 및 식(3)으로부터 농도를 산출, 그때의 제빙량을 간접적으로 추정하면, 에틸렌디아민 7 mass% 수용액이 EG 7 mass% 수용액의 경우보다 10~15% 정도 제빙량이 낮을 것으로 예상되었다. 그러나 EG 수용액의 경우 생성된 얼음의 일부분이 제빙벽면에 부착되면서 수용액 내에 존재하는 아이스슬러리 양이 감소하고, 이로 인해 내부유동 저항이 감소하여 제빙량은 많으나 교반동력은 상대적으로 작게 나타난 것으로 판단된

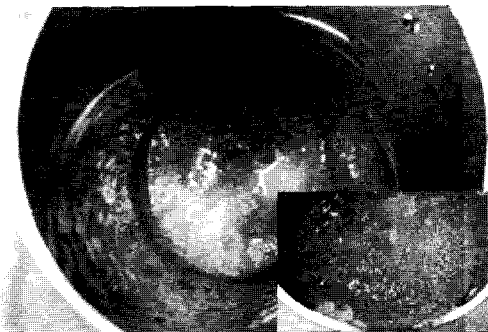
다. 따라서 제빙 시 교반동력은 수용액에 존재하는 아이스슬러리의 양에 대한 정성적인 지표로 사용이 가능함을 알 수 있었다. Fig. 5 (b)는 제빙종료 후, 제빙벽면에서의 빙부착 상태와 제빙된 아이스슬러리를 촬영한 사진이며, 제빙벽면에서 빙부착이 발생하지 않았다.

이상에서 언급한 세 가지 첨가제는 비록 구조적으로 양 끝단에 서로 다른 작용기를 가지고 있지만, 탄소수(-C-C-)와 구조가 동일함에도 불구하고 서로 다른 제빙양상을 보이고 있다. 제빙 후, 제빙벽면에서의 빙부착 정도는 에틸렌디아민 7 mass% 수용액이 타 물질에 비해 빙부착 억제에 매우 효과적이었다. 그러나 아민기를 포함하고 있는 물질은 독성을 가진 환경유해물질이며, 산화에 의한 강한 부식성을 가지고 있기 때문에 첨가제로 사용하기 어려운 문제점을 갖고 있다. 한편, EG 7 mass% 수용액은 일부분에서 빙부착이 발생하였으나 제한적으로 히드록실기에 의한 빙부착 억제에 효과가 있었으며, 유산 7 mass% 수용액은 빙부착 억제에 미치는 효과가 미미하였다.

Fig. 6 (a)와 (b)는 EG 7 mass% 수용액과 유산 7 mass% 수용액을 제빙하는 과정에서 일부 채취한 아이스슬러리를 광학현미경을 이용하여 100배의 배율로 촬영한 모습이다. 두 경우 모두 빙부착 여부와는 상관없이 수심에서 수백  $\mu\text{m}$ 의 얼음입자가 혼합된 미세한 아이스슬러리를 알 수 있다. 얼음입자는 생성과 동시에 성장을 시도하는데, 순수한 물의 경우 동일 냉각조건에서 침상(needle type)에 가까운 수상정(dendrite)으로 결정성장을 보이며 최종적으로는 얼음입자끼리 서로 붙게 된다. 반면, 작용기가 첨가된 수용액의 경우에는, 얼음이 생성된 후 성장을 시도할 때 얼음과 수용액이 접한 경계면에서 수용액의 농도가 높아지면서(동결점 하강) 얼음의 성장을 방해하게 되며, 이로 인해 얼음입자가 침상형이 아닌 둥글고 미세한 형태로 만들어진다. 이때 얼음입자는 수소결합이 가능한 작용기로 둘러싸이게 되며, 그 형태는 Fig. 7과 같이 작용기의 양쪽 모두나 한쪽만 이루어지는 형태 또는 이 두 가지 형태가 복합적으로 작용하여 존재할 것으로 예상할 수 있다. 작용기 양쪽 전부에서 수소결합이 이루어지는 경우에는 소수기에 의해 제빙면 또는 얼음간의 결합을 방지하는 효과가 있으나, 한쪽만 이루어지는 경우에는 Fig. 8과 같이 작용기 사이의 결합력으로 반대효과를 나타 낼 수 있다. 동

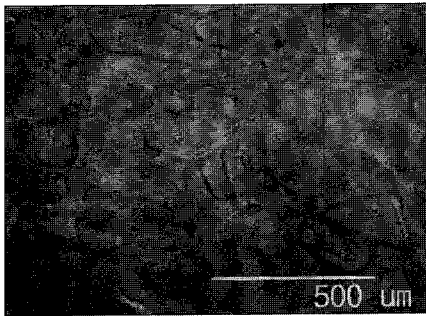


(a) Time history of temperature and stirring power

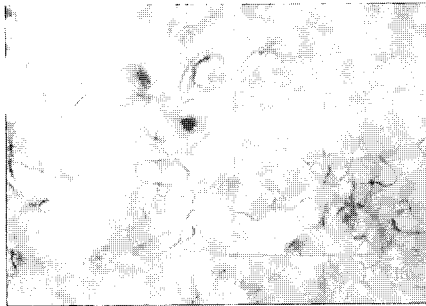


(b) Non-ice adhesion on cooling wall and ice slurry

Fig. 5 Ethylene diamine 7 mass%.



(a) Ethylene glycol 7 mass%



(b) Lactic acid 7 mass%

Fig. 6 Snapshots of ice slurry by optical microscope (×100).

일한 작용기 사이의 수소결합력은 카르복실기 > 히드록실기 > 아민기의 순이며, 제빙특성실험 결과를 통하여 작용기 사이 수소결합력의 크기와 빙부착 억제 효과와는 반대임을 알 수 있었다. 즉 작용기 사이의 수소결합력이 클수록 얼음과 얼음 사이의 결합력이 강해져 빙부착이 형성될 가능성이 커질 것이며, 약한 결합력을 갖는 아민기의 경우는 빙부착이 형성되기 전에 유체의 유동에 의해 작용기간의 수소결합이 끊어져 얼음간 또는 빙부착면에서 빙부착이 억제될 것으로 해석된다.

결과적으로 슬러리 형태의 구형 얼음입자를 얻기 위해서는 수소결합이 가능한 작용기를 가진 유기계열의 첨가제가 필요하나, 그 작용기의 수소결합력이 적정하여야 빙부착 억제에 효과가 있음을 알 수 있었다.

### 3.2 화학구조에 따른 빙부착 억제 효과

화합물 작용기의 종류에 따른 실험결과에서 아민기는 부식성 등의 문제점을 가지고 있으며, 카

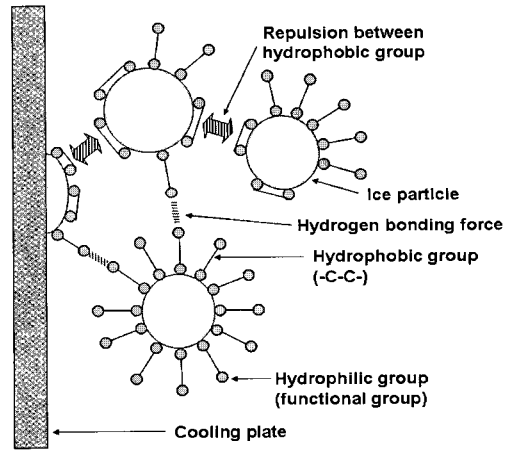
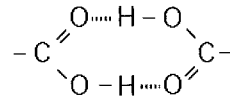
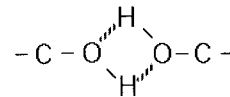


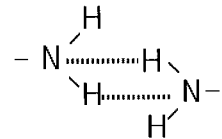
Fig. 7 Adhesion between ice particles by hydrogen bonding force of functional group.



(a) Carboxyl group



(b) Hydroxyl group



(c) Amine group

Fig. 8 Interaction of hydrogen bonding force between functional groups.

르복실기는 빙부착 억제 효과가 없는 것으로 판단되었다. 히드록실기는 빙부착 억제에 제한적인 효과를 가지므로 Table 2에 나타낸 바와 같이 EG와 유사한 화학구조를 가진 물질, 즉 분자 길이가 다른 물질이 빙부착에 미치는 영향에 대해 고찰하였다. 1,2-프로판디올은 1,3-프로판디올의 이성질체(isomer)로서, 분자량은 같으나 분자구조

가 다른 특징을 보인다.

식품첨가제인 1,3-프로판디올, 1,2-프로판디올 및 1,6-헥산디올을 첨가제로 하여 모두 7 mass%의 수용액으로 냉각 제빙 후 제빙벽면의 상태를 살폈다. Fig. 9(a), (b) 및 (c)는 각각의 빙부착과 제빙된 아이스슬러리 상태를 나타낸 사진이다. 1,3-프로판디올은 EG보다 탄소수가 하나 더 많은 사슬형태의 화학구조로 되어있으며, 7 mass% 수용액을 동일한 조건에서 제빙실험을 하였을 때, 제빙벽면에서 빙부착이 발생하지 않은 것을 확인할 수 있었다. 1,2-프로판디올 7 mass% 수용액에 대한 제빙실험 결과 1,3-프로판디올과 같이 빙부착이 발생하지 않았다. 상기 두 수용액의 경우, 제빙량에 대한 정성적 지표인 교반동력이 17~18 W로 다른 물질의 경우보다 매우 높은 수치를 나타내었으며, Fig. 9(a), (b)에서 보듯이 제빙량 역시 이전 실험에 비해 월등히 많은 것을 육안으로 관찰할 수 있었다. 또한 실험물질 중 가장 많은 탄소수를 가진 1,6-헥산디올 7 mass%

수용액의 경우, 제빙벽면에 전체적으로 빙부착이 형성된 것을 확인할 수 있었다.

이상에서 언급한 화합물질을 첨가제로 이용하여 제빙하였을 때, EG나 1,6-헥산디올은 Table 2에 나타낸 화학구조(회전 대칭구조)로 인해 한쪽의 히드록실기는 얼음과, 다른 한쪽은 밖으로 향하는 배치형태로 존재할 가능성이 높으며, 이 경우 히드록실기 간의 수소결합력이 빙부착 형성에 영향을 미칠 것으로 예상된다. 한편, 1,3-프로판디올의 히드록실기는 EG나 1,6-헥산디올의 경우와 달리 대칭구조로 이루어져 히드록실기 양쪽이 얼음과 수소결합하여 결국 얼음을 에워싸는 형태가 될 가능성이 높다. 이렇게 작용기로 에워싸인 얼음은 1,3-프로판디올의 소수기의 반발력에 의해 얼음과 얼음 사이에 또는 제빙면과 얼음 사이에 결합이 나타나지 않는 것으로 추정된다. 1,2-프로판디올은 1,3-프로판디올과 화학식은 동일하나 화학구조가 다르며, 가운데 위치한 히드록실기는 비교적 자유로운 회전이 가능하다. 이로 인해 히드록실기는 얼음에 부착되고 소수기는 수용액 쪽으로 위치하게 될 가능성이 크고 1,3-프로판디올의 경우와 유사한 현상을 나타낼 것이다.

상기 제빙실험을 통해 화학구조가 빙부착 형성에 영향을 줄 수 있으며, EG와 1,6-헥산디올의 경우는 1,3-프로판디올과 1,2-프로판디올의 경우에 비해 빙부착 억제에 대한 효과가 제한적이거나 전혀 효과가 없는 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

동일한 조건에서 수소결합 작용기를 갖는 화학물질을 첨가한 수용액의 제빙실험으로부터 다음과 같은 결론을 도출하였다.

Table 2 The chemical structure of additive with hydroxyl group

Additive	Chemical Structure
Ethylene glycol	<chem>OCCO</chem>
1,3-propanediol	<chem>OCCCO</chem>
1,2-propanediol (Propylene glycol)	<chem>CC(O)CO</chem>
1,6-hexanediol	<chem>OCCCCCCO</chem>



(a) 1,3-propanediol 7 mass%      (b) 1,2-propanediol 7 mass%      (c) 1,6-hexanediol 7 mass%

Fig. 9 Condition on cooling plate and ice slurry.

(1) 현재 아이스슬러리형 빙축열 시스템에서 사용하고 있는 EG 7 mass% 수용액은 제한적인 빙부착 억제효과를 가지고 있다.

(2) 아민기 첨가제 중 에틸렌디아민 7 mass% 수용액은 빙부착 억제에 효과적이거나, 유해성, 부식성을 가지며 환경유해물질인 특성으로 축열매체로는 부적합하다.

(3) 히드록실기를 갖는 첨가제 중, 동일한 조건에서 이성질체인 1,2-프로판디올과 1,3-프로판디올은 유사한 양상을 보였으며 빙부착 억제 및 아이스슬러리 생성에 효과적이다.

(4) 얼음간에 또는 제빙면과의 빙부착 억제효과는 적절한 수소결합력을 가진 작용기와 화학구조에 의해 영향을 받는다.

#### 참고문헌

1. Lee, D. W., Yoon, C. I. and Yoon, E. S., 2002, Experimental study on flow patterns and pressure drop characteristics of ice slurry in small size pipe, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 14, No. 5, pp. 385-390.
2. Tsuchida, D., Kang, C., Okada, M., Matsumoto, K. and Kawagoe, T., 2002, Ice formation process by cooling water-oil emulsion with stirring in a vessel, Int. J. of Refrigeration, Vol. 25, pp. 250-258.
3. Matsumoto, K., Shiokawa, Y., Okada, M., Kawagoe, T. and Kang, C., 2002, Ice storage system using water-oil mixture. Discussion about influence of additive on ice formation process, Int. J. of Refrigeration, Vol. 25, pp. 11-18.
4. Kang, C. D., Kang Y.-T. and Hong, H., 2002, Adhesion of ice slurry in a multi-component aqueous solution with stirring and cooling, Korean Journal of Air Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 14, No. 12, pp. 1063-1070.
5. Hong, H., Peck, J.-H. and Kang, C., 2004, Ice adhesion of an aqueous solution including a surfactant with stirring on cooling wall: ethylene glycol-a silane coupling agent aqueous solution, Int. J. of Refrigeration, Vol. 27, pp. 985-992.
6. Lu, S.-S., Inada, T., Yabe, A., Zhang, X. and Grandum, S., 2002, Microscale study of poly(vinyl alcohol) as an effective additive for inhibiting recrystallization in ice slurries, Int. J. of Refrigeration, Vol. 25, pp. 562-568.
7. Kitamoto, D., Isoda, H. and Nakahara T., 2002, Functions and potential applications of glycolipid biosurfactants-from energy-saving materials to gene delivery carriers, Journal of Bioscience and Bioengineering, Vol. 94, No. 3, pp. 187-201.
8. Saito, A., 2002, Recent advances in research on cold thermal energy storage, Int. J. of Refrigeration, Vol. 25, pp. 177-189.
9. Inaba, H., 2000, New challenge in advanced thermal energy transportation using functionally thermal fluids, Int. J. therm. Sci., Vol. 39, pp. 991-1003.