

첨가제 함유 해수에 의한 아이스슬러리 제조

최상균, 백종현*, 홍희기**, †강채동***

전북대학교 기계공학부, *생산기술연구원 냉동공조연구팀,

경희대학교 기계산업시스템공학부, *전북대학교 기계항공시스템공학부

Ice Slurry Formation Using a Sea Water with Additives

SangKyoon Choi , Jong-Hyeon Peck*, Hiki Hong**, † Chaedong Kang***

Department of mechanical Engineering, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea

*HVAC/R Research Team, KITECH, Chonan 330-820, Korea

**School of Mechanical and Industrial system engineering, KyungHee University, Yongin 449-701, Korea

***College of Engineering, Division of Mechanical Engineering, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea

ABSTRACT: Seawater cooling extends fishing time on the sea, and prevents death of fishes during transportation, i.e. creates high economical profits. As a preliminary study on an application of ice slurry to fish hold system, the ice slurry was formed by seawater including alcoholic material. Ice adhesion disturbs continuous ice formation from ice making system. In this study, the ice slurry was formed by the seawater including alcoholic material, such as PG(prophylene glycol) or ethanol with a batch type cooling system. At results, the alcoholic material influenced the ice adhesion in the seawater. Moreover, the seawater with the ethanol is more effective to suppress the ice adhesion than that with the PG.

Key words: Sea water(바닷물), IceSlurry(아이스슬러리), Additive(첨가제), Ice adhesion(빙부착) Cooling System(냉각시스템), Fishery chilling(수산냉장)

기 호 설 명

- T_{brine} : 냉각브라인 온도 [°C]
- $T_{mixture}$: 동결 개시이후의 시료 온도 [°C]
- W_{stir} : 교반 속도
- LD50 : 반수치사량 [mg/kg]
- ΔT_{sc} : 과냉도 [K]

1. 서론

대외적인 수산환경의 어려움은 연근해 어업의 환경개선등 기존 어업활동에 대한 새로운 대안을 절실히 요구하고 있어 이를 뒷받침 할 수 있는 보다 과학적이고 체계적인 기술개발이 절실한 실정이다. 한편, 소득증대와 식생활 수준의 향상으로 신선도가 높은 어류의 소비가 증대되고 있다. 이와 함께 육·해상 수송에서 어류의 폐사를 방지하고 신선도를 유지시키는 것은 고부가가치를 창출함과 직결되며, 해상에서 선박의 조업시간을 연장시킬 수 있는 냉각시스템에 대한 연구가 필

† Corresponding author
Tel.:+ 82-63-270-2318; fax:+ 82-63-270-2315
E-mail address: ckang@chonbuk.ac.kr

요한 실정이다.

아이스슬러리를 연속적으로 제빙하는 동적형 방식은 두꺼운 얼음층이 형성되지 않아 제빙효율이 높으며 얼음입자가 작아 해빙속도가 빠르기 때문에 부하추종성이 우수하며 단위 유량 당 냉열수송량이 크고 부하측에 얼음을 직접 반송할 수 있으므로 정밀한 온도 제어가 가능하다는 장점이 있다. 반면 아이스슬러리 제빙과정은 관내 빙부착에 의한 관 폐색의 문제점을 가지고 있다. 빙부착은 관내 슬러리의 유동성 및 열전달의 저하를 가져오는 주된 요인으로 시스템의 성능저하에 직접적인 영향을 준다.

수용액에 의한 아이스슬러리 형성에 관하여 여러 연구가 선행되었다. 특히 냉각면에서의 빙부착⁽¹⁾, 아이스슬러리의 수송⁽²⁾과 관련한 연구로부터 냉각조건, 제빙율(IPF)이 수송에 미치는 영향 등이 보고된 바 있다.

알코올계 브라인으로 널리 사용되고 있는 에틸렌글리콜(ethylene glycol)과 분자 구조가 비슷한 프로필렌글리콜(propylene glycol, 이하 PG)은 물에 혼합되기 쉬운 구조를 가지고 있으며, 물성이 상당 부분 알려져 있고 식품의약품에서 제시하는 독성도로서 LD(lethal dose) 50지수가 20,000 mg/kg으로 소량사용 시 환경에 큰 영향을 주지 않는 물질로 알려져 있다. 반면 에탄올(Ethanol)은 LD(lethal dose) 지수가 7,500 mg/Kg으로 PG의 약 3배의 독성을 지닌다. 현재 수산물 냉장에서는 얼음을 해수에 섞어 사용하거나 해수를 덩어리 형태로 제빙하여 사용하고 있다. 그러나 국내의 경우 해수를 직접 슬러리 형태로 제빙하여 수산냉장에 적용시킨 사례는 찾아볼 수 없다.

본 연구에서는 순수바닷물에 PG 또는 에탄올

을 소량 첨가시킨 수용액을 교반/냉각하여 제빙하는 동안 수용액의 농도 및 냉각속도가 빙부착에 미치는 영향을 관찰하여 해수에 의한 아이스슬러리의 적용 가능성 여부를 살피는 것을 목적으로 한다.

2. 실험방법

2.1 제빙실험

Table. 1은 바닷물의 조성을 나타낸 것으로서 국내연안 해수농도가 3.5 % 범위에 있고 본 실험에 사용된 바닷물 역시 이농도 범위에 포함되고 볼 수 있다.

Fig. 1에 제빙실험 및 측정 장치의 구성도를 나타내었다. 실험장치는 저온항온조, 교반기, 시료 비커, 계측장비로 구성된다.

Table. 2는 제빙에 사용된 수용액의 조성 및 제빙조건을 나타내고 있다. 조성은 질량비(mass%)로 구성되었으며, 각 조건에서 시료의 질량은 300 g으로 하였다. 제작된 혼합액은 스테인리스 재질의 용기($\phi 75 \times 120 \times 1 \text{ mm}$ ($D_o \times H \times t$), 용량 500 ml)에 담아 용기 외부를 저온항온조의 브라인으로 냉각하고 용기 내부의 혼합액은 강제대류가 형성되도록 교반기(익형: 수직평판식, $3 \times 2 \text{ cm}^2$ 익수: 3개)에 의해 120 rpm으로 교반하였다. 교반 냉각 중에는 공기로부터의 열 유입을 줄이기 위해 용기 상부를 교반방이 관통되는 발포 폴리스틸렌 마개로 씌웠다. 수용액 온도가 목표로 하는 과냉도에 이르렀을 때 약 1 g의 빙핵을 과냉각 상태의 수용액에 투입하여 강제적으로 동결시켰다. 제빙과정은 과냉각 해소와 함께 시작되

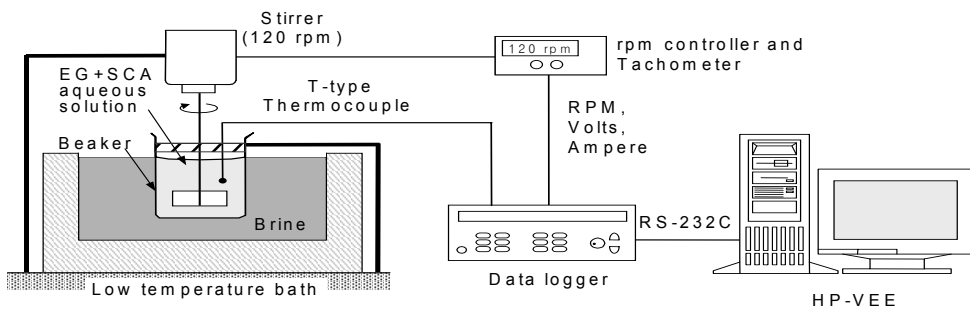


Fig. 1 Experimental apparatus for ice formation.

Table 1 The composition of a sea water

Substance	[mass%]	Substance	[mass%]
Chloride	55.04	Sodium	30.61
Sulphate	7.68	Magnesium	3.69
Calcium	1.16	Potassium	1.10

Table. 2 The condition of experiments [$\Delta T_{sc}=1K$]

$T_{brine}[^{\circ}C]$	Sea Water	PG (Ethanol) [mass%]		
	100	1	2	3
-5.5	-	-	Fig.9	-
-7.5	Fig.2	Fig.4	Fig.5 (Fig.10)	Fig.7
-9.5	-	-	Fig.9	-

며 제빙량을 일정하게 유지하기 위하여 각 수용액의 종료 시의 동결점을 추정하였다. 항온조 내부의 브라인 및 용기 내의 혼합액의 온도(용기 중심부의 교반의 상부근처)를 측정하기 위해 T-형 열전대(\varnothing 0.3 mm)를 사용하였다. 수용액 및 브라인의 온도, 교반기 모터로부터 송출된 전압 및 전류는 교반동력 계산을 위한 측정값으로 이전 연구에서의 변환방식을 개선·보완하였다. 교반기 모터에 허용되는 전압과 전류값을 데이터로거(Agilent 34970A)와 계측용 프로그램(HP-VE E)을 사용하여 5초마다 PC에 저장하였다. 또한 타코미터로 교반속도를 측정하여 마찬가지로 PC에 저장하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 바닷물

아이스슬러리의 상태 및 빙부착 특성을 냉각시간, 수용액의 조성, 성분 및 냉각 온도에 따라 달라진다는 결과가 이전 실험에서 보고된 바 있다. 특히, 계면활성제 첨가제에 의한 영향도 나타나고 있는데, 환경친화도를 고려하지 않은 이전 실험과는 달리 본 실험에서는 PG 또는 Ethanol 등의 친환경적 물질을 해수에 첨가하여 아이스슬러리 제빙과정동안 수용액의 교반에 사용되는 동력값을 각 용액에 대하여 상대적으로 측정하였다.

Fig. 2는 순수 바닷물 수용액의 냉각 과정으로서 수용액 및 브라인 온도, 교반회전수 및 교반동력의 변화를 나타낸 것이다. 브라인 온도가

-7.5 $^{\circ}C$ 로 일정하게 유지되고 있는 동안, 동결개시 후 얼음 증가와 함께 농도 증가에 따라 동결점이 서서히 강하하고 있으며 이와 동시에 생성되는 얼음의 저항증가에 의해 제빙개시 약 40분후부터 교반동력이 상승하고 있음을 알 수 있다.

또한 약 1시간 30분 이후에는 비커 벽면의 빙부착에 의해 교반동력이 급격히 상승함을 볼 수 있으며 실험 종료 시 교반동력은 25 W 이상으로 제빙초기 단계보다 월등히 높게 나타났으며 이것은 실험 중 비커 벽면에 비교적 완고한 아이스슬러리의 빙부착이 진행되었음을 나타낸다.

Fig. 3은 순수바닷물 (Sea Water 100mass%)을 냉각온도 - 7.5 $^{\circ}C$ 과냉도 6K에서 제빙한 후의 슬러리 입자의 모습을 나타낸 것이다. 그림으로부터 결정 경계부분이 비교적 거친 형태임을 알 수 있다.

3.2 PG 첨가

3.2.1 PG 1mass% 첨가

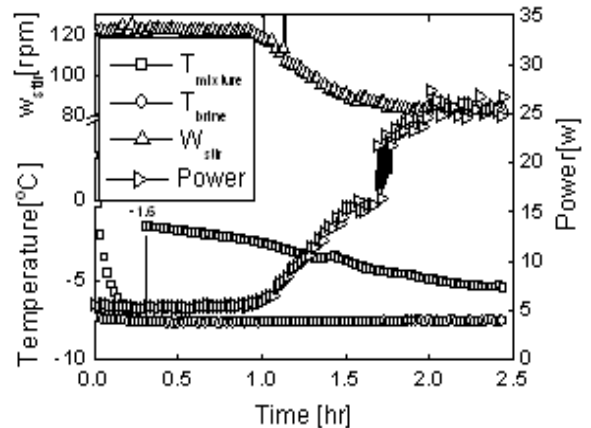


Fig. 2 Time history of temperature and power to an aqueous solution (Sea water 100 mass%, $\Delta T_{sc} = 6K$).

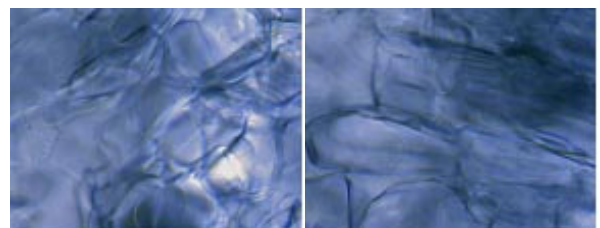


Fig. 3 Snapshot of ice slurry and its particles (Seawater 100 mass%, $\Delta T_{sc} = 6K$)

Fig. 4는 순수 바닷물과 PG 1 mass%의 혼합 수용액의 냉각과정으로서 수용액 및 브라인 온도, 교반회전수 및 교반동력의 변화를 나타낸 그래프이다. 실험 종료 시 교반동력 값이 약 10 W로 순수한 바닷물의 교반동력 25 W로 순수바닷물의 교반동력에 대해 절반이하로 감소하였다.

Fig. 5는 순수바닷물 (Sea Water 99mass%)과 PG(propylene glycol 1mass%)를 혼합한 수용액을 냉각온도 $-7.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 과냉도 1K 에서 제빙 후의 슬러리 입자의 모습을 나타낸 것이며 순수 바닷물에 의한 결정(Fig.4)에 비해 결정경계가 매끄러움을 엿볼 수 있다

3.2.2 PG 2mass% 첨가

Fig. 5은 순수 바닷물과 PG 2 mass%의 혼합 수용액의 냉각과정으로서 수용액 및 브라인 온도, 교반회전수 및 교반동력의 변화를 나타낸 그래프이다. 실험 종료 시 교반동력이 약 7.8 W로 가장 낮게 형성되었다.

Fig. 6은 순수바닷물 (Sea Water 98mass%)과 PG(propylene glycol 2mass%)를 혼합한 수용액을 냉각온도 $-7.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 과냉각도 1K 에서 제빙 후의 슬러리 입자의 모습을 나타낸 것이며 결정이 비교적 원형으로 균일하게 잘 형성되었음을 볼 수 있다. 이러한 아이스슬러리 결정형상은 Fig.4의 결정과는 다른 형상으로 비커벽면의 빙부착력을 억제함으로써 교반동력을 낮추는데 기여함이 추정된다.

3.2.3 PG 3mass% 첨가

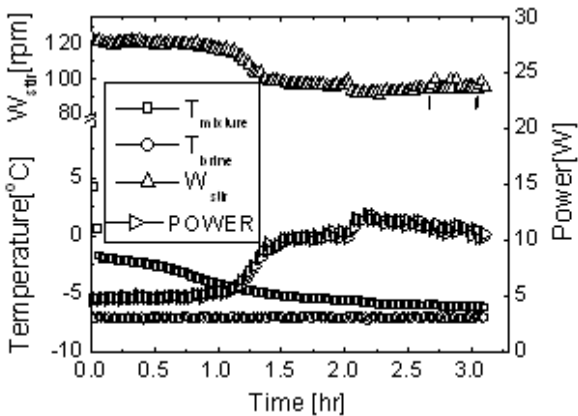


Fig. 4 Time history of temperature and power to an aqueous solution (Sea water 99mass%, PG 1mass%, $\Delta T_{sc} = 1\text{K}$)

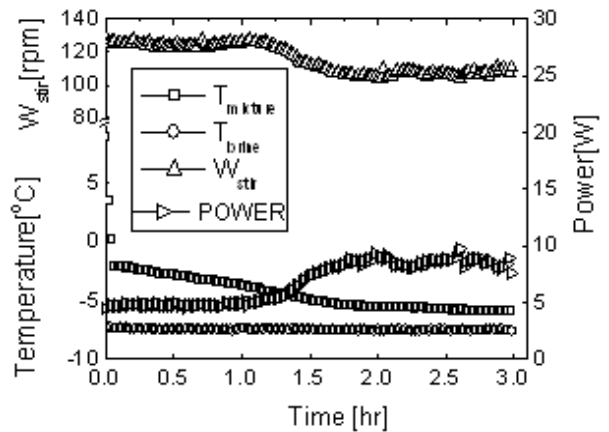


Fig. 5 Time history of temperature and Power to an aqueous solution (seawater 98 mass%, PG 2 mass%, $\Delta T_{sc}=1\text{K}$)



Fig. 6 Snapshot of Ice slurry and its particles (Sea Water 98 mass%, PG 2 mass%, $\Delta T_{sc}=1\text{K}$)

Fig. 7은 순수 바닷물과 PG 3 mass%의 혼합 수용액의 냉각과정으로서 수용액 및 브라인 온도, 교반회전수 및 교반동력의 변화를 나타낸 그래프이다. 실험 개시 1시간 후 교반동력이 증가하여 종료 시 교반동력이 약 8.3 W로 비교적 낮게 나타났음을 알 수 있다

3.3 냉각온도에 따른 변화(PG 2mass%)

3.3.1 냉각온도 $-5.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (PG 2mass%)

Fig. 8는 순수 바닷물과 PG 2 mass%를 혼합한 수용액의 냉각과정으로서 냉각온도를 $-5.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 로하여 수용액 및 브라인 온도, 교반회전수 및 교반동력의 변화를 나타낸 그래프이다. 실험 종료 시 교반동력이 약 7.9 W로 비교적 낮게 형성되었으며 실험 개시 후 30분이 흐른 뒤 교반동력이 증가하여 이후 변화 없이 일정하게 유지되었음을 알 수 있다.

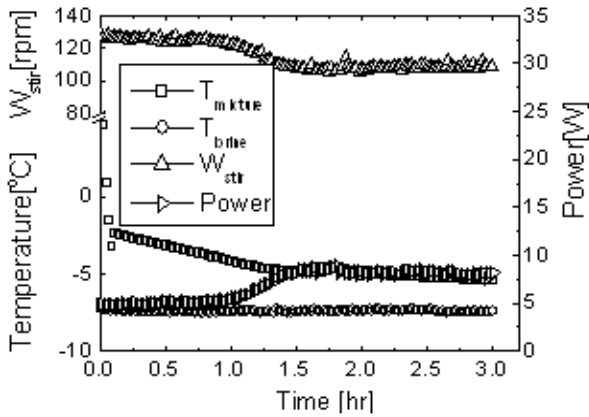


Fig. 7 Time history of temperature and power to an aqueous solution (Seawater 97mass%, PG 3mass%, $\Delta T_{sc} = 1K$)

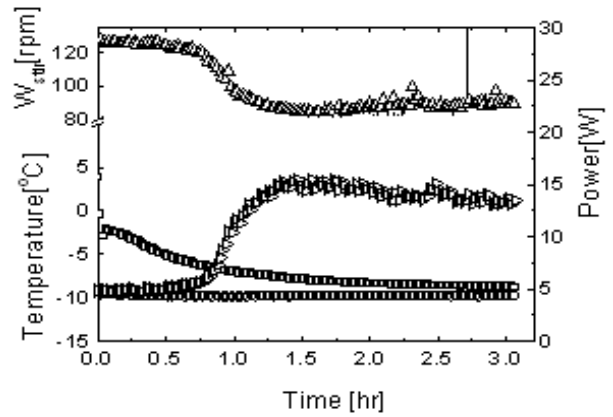


Fig. 9 Time history of temperature and power to an aqueous solution (Sea water 98, PG 2mass%, $\Delta T_{sc}=1K$, $T_{brine}=-9.5^{\circ}C$)

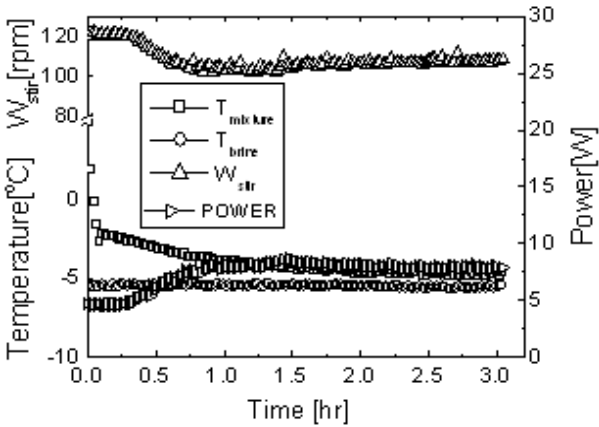


Fig. 8 Time history of temperature and power to an aqueous solution (PG 2 mass%, $T_{brine} = -5.5^{\circ}C$, $\Delta T_{sc} = 1K$)

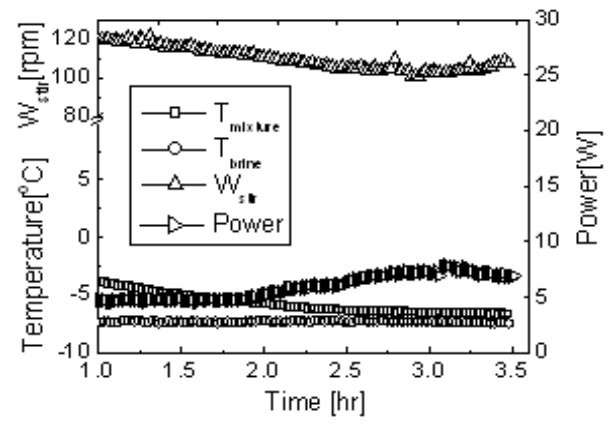


Fig. 10 Time history of temperature and power to an aqueous solution (Seawater 98mass%, Ethanol 2mass%, $\Delta T_{sc} = 1K$)

3.3.2 냉각온도 $-9.5^{\circ}C$ [PG 2mass%]

Fig. 9은 순수 바닷물과 PG 2 mass%를 혼합한 수용액의 냉각과정으로서 냉각온도를 $-9.5^{\circ}C$ 로 하여 수용액 및 브라인 온도, 교반회전수 및 교반동력의 변화를 나타낸 그래프이다. 실험 종료 시 교반동력이 약 13.3 W로 $T_{brine} = -5.5^{\circ}C$ 의 경우(Fig. 9) 매우 높게 형성되어 실험 개시 30분 경과 후 교반동력이 증가하여 1시간 30분 이후에 변화 없이 일정하게 유지되었음을 알 수 있다.

3.4 Etanol 첨가 [2 mass%]

가장 이상적인 PG 2 mass%와 동일 농도의 Ethanol(2 mass%)을 혼합하여 비교/분석하였다.

Fig. 10는 순수 바닷물과 Ethanol 2 mass%를

혼합한 수용액의 냉각과정으로서 냉각온도를 $-7.5^{\circ}C$ 로 하여 수용액 및 브라인 온도, 교반회전수 및 교반동력의 시간변화를 나타낸 그래프이다. 실험 종료 시 교반동력이 약 7 W로 나타났으며 실험 개시 후 2시간이 흐른 뒤 교반동력이 증가하여 이후 변화 없이 일정하게 유지되었음을 알 수 있다. Fig. 12은 순수바닷물 98 mass% 와

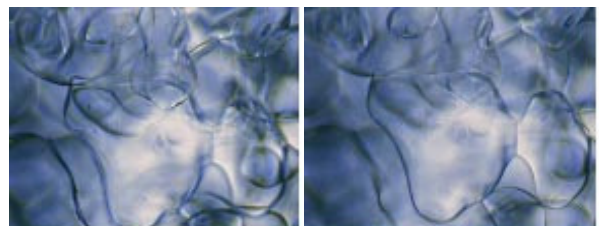


Fig. 11 Snapshot of ice slurry and its particles (Seawater 98, Ethanol 2 [mass%])

Ethanol 2 mass%를 혼합한 수용액을 냉각온도 -9.5 °C, 과냉각도 1K 에서 제빙한 후의 슬러리 입자의 모습을 나타낸 것이다. 입자의 형상이 상당히 거침을 알 수 있다.

4. 결론

해수에 첨가물질 PG(propylene glycol)를 비이커(75 × 120 × 1 mm³(D_o × H × t), 용량 500 ml)를 이용한 교반 제빙실험 실행하여 각각의 농도 1, 2, 3 mass%에 따른 교반동력을 산출하고 아이스슬러리 입자의 변화를 분석하였다. 또한 교반동력이 가장 낮은 2 mass%에 대한 동일 농도의 Ethanol에 대한 교반동력 및 입자형상을 분석하였으며 다음과 같은 빙부착 특성을 얻었다.

(1) 순수 바닷물만을 제빙하였을 때 교반동력은 25 W 이상 나타났으며, 벽면에 강한 부착이 있었다.

(2) PG 첨가 바닷물에서 농도별 조건이 2 mass%에서 교반동력이 7.9W로 나타났다.

(3) PG 2 mass%첨가 바닷물에서 농도 2일 때 아이스슬러리의 결정 형상은 둥글둥글하며 고르고 부드럽게 나타났으며, 비이커 벽면에 부착없이 아이스슬러리가 분리되었다.(Fig. 7)

(4) PG 2 mass%에서 냉각온도를 별 조건에서는 냉각온도 -5.5°C에서 7.9W로 -9.5°C에서 13.3 W 나타났다. 분리되었다.

(5) 동일 냉각온도 동일농도에서 조성변화에 따른 교반 동력값은 Ethanol 수용액이 PG 수용액보다 교반동력이 약 1 W 정도 낮게 나타났다.

후 기

본 연구는 산업자원부 에너지기술 학술진흥사업 (과제번호 2002-E-BD03-P-01-0-000)지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1. I-G HAN. et al. 2001, Heat Load Characteristics of Sea Water Cooling Apparatus on Inshore Fishing Boat, Proceedings of the KOSME Vol. 25 No. 6 pp. 139-145
2. In-Geun Han, 2002, Study on Characteristic Performance and Evaluation of Sea Water Chilling system, Report of pukyong Univ. RP. 02-
3. Kang, C. D. et al. 2002, Adhesion of IceSlurryin a Multicomponent Aqueous Solution with Stirring and Cooling, Proceedings of the SAREK Vol. 14 No. 12 pp. 1063-1070.on Cooling Wall, Trans. of the JSRAE, Vol. 18, No. 1, pp. 51-59
4. Seung. h, et al. 2003, Evaluation of Ice Adhesion in a Multi-component Mixture of Aqueous Solution, Funtional Materials and Ice Slurry, Proceedings of the SAREK 2003 winter Annual Conference, pp. 501-506.
5. Kang, C. D., et al. 2002, Adhesion of IceSlurry in an Aqueous Solution Cooling with Stirling, SAREK Vol. 14 No. 12 pp. 1071-1077.