



해수 슬러리 얼음 냉동시스템의 제어특성 및 경제성 분석

Economic Analysis and Control Characteristics of Seawater Slurry Refrigeration System for Fishing Vessel

문춘근*†

Choon-Geun Moon*†

(Received 18 April 2019, Revision received 23 April 2019, Accepted 23 April 2019)

Abstract: In this study, the economic feasibility of applying freshwater crushed ice and seawater slurry ice maker to ship were analyzed by using life cycle method and investment recovery period method. As the result of the economic analysis using the life cycle method, the ratio of each cost item to the total life cycle cost (ten years) of the seawater slurry ice-maker shows that the initial investment cost is over 50 %. In case of fishing vessel loading ice, it is sold at a low price of 40,000 won per ton. As the result of the economic analysis, the total life cycle cost is calculated as the criterion for producing ice suitable for five tons of ice load at one time sailing, seawater slurry ice-maker is about 11 million won less than fresh water crushed method. The life cycle cost is integrated and it is confirmed that the investment cost can be recovered after seven years and nine months when using slurry ice-maker. The use of seawater slurry ice contributes to the improvement of the quality of the fish, the distribution of seafood and the advancement of processing of the seafood.

Key Words : Seawater, Slurry ice refrigeration system, Coefficient of performance, Economic analysis

1. 서 론

현행 국내의 원근해 어선들은 육상용 각 얼음을 선적하여 보관 후 어획물 조업 후에 어획물의 선도 유지를 위하여 보관 중인 얼음으로 냉각을 하고 있다. 이러한 방법은 얼음의 운반이나 저장 시에 얼음의 품질 저하가 발생할 수 있고, 조업선에서 인력 및 시간 지연 등 문제가 있다. 이에 어선에 해수 슬러리 제빙 시스템을 설치하여 운반 및 얼음 구입비용을 감소시키고 어획물의 선도를 유지시킴으로써 담수 각빙을 사용할 경우에 발생

하는 문제점을 해결할 수 있을 것이다.

담수 각빙은 입자가 크고 날카로워 이송 중에 어획물의 표면을 손상시킬 수 있다. 어선에서 보관된 어획물을 하역하여 육상에서 유통하는 과정에서 어획물의 손상 없이 선도를 유지하는 것도 어획물의 가격과 직접적인 관계가 있다. 결정이 큰 담수 각빙을 어선의 어창에 해수와 함께 보관할 경우 밀도가 낮은 얼음 덩어리들은 수면으로 뜨게 되어 어창 내에서 상하의 온도구배가 생기게 된다. 또한 결정이 크기 때문에 어체와 접촉면이 줄어들어 어획물의 표면과 접촉면이 줄어들어

*† 문춘근(ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3183-6591>) :
 이사, ㈜대일
 E-mail : drmchg@gmail.com, Tel : 051-730-8500

*† Choon-Geun Moon (ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3183-6591>) : Director, Daeil Co., Ltd.
 E-mail : drmchg@gmail.com, Tel : 051-730-8500

속한 온도 강하가 어렵다. 크고 각이 저 날카롭기 때문에 저장시나 하역시에 어획물에 상처를 만들게 되어 어획물의 품질에 큰 문제가 되고 있다.

슬러리형 얼음의 온도는 액체의 동결점과 같으며 이로 인하여 수용액의 농도를 조절하여 담수보다 더 낮은 온도를 만들어 수산물을 저온 저장할 경우에 수산물을 동결시키지 않으면서 가장 낮은 온도로 안전하게 보관할 수 있는 수단이다. 슬러리형 얼음의 장점으로 인해 슬러리형 아이스에 관한 연구는 1990년대 후반부터 진행되고 있다.¹⁻⁴⁾

이와 같은 담수 각빙에 의한 냉각방식의 문제점을 해결하기 위한 고품질의 슬러리 얼음생산을 위한 제빙장치를 이용하여 어민 소득증대와 수산물의 유통 및 가공을 위한 선진화 기술 개발을 도모할 필요성이 부각되고 있다.⁵⁻⁸⁾

본 논문에서는 기존 선박에서 어획물의 선도유지를 위한 냉각을 위하여 육상에서 제조한 담수 각빙을 선적하여 사용하는 방식과 해수 슬러리 제빙기를 선박에 탑재하여 어획물을 냉각할 경우에 대하여 생애주기법을 사용하여 경제성 분석을 수행하고 장치 설비에 따른 투자회수기간을 확인하고자 한다.

2. 제어특성 분석 및 방법

2.1 해수 슬러리 제빙기 제어특성 결과

해수 슬러리 얼음 제빙기는 제어특성 분석을 위한 실험 장치는 실증시험에 앞서 육상실험용으로 제작되었으며, 선박과 유사한 성능실험을 위해 제빙기로 공급되는 냉각수와 냉수는 각각의 냉각수 탱크와 냉수 탱크에서 냉각기로 설정 온도로 일정하게 유지하여 실험 동안에 공급되도록 하였다. Fig. 1은 실험장치의 사진을 나타낸 것이다.

성능 분석을 위하여, 냉각수 온도와 유량은 3 2℃, 50 LPM으로 조절하였고, 제빙기에 공급되는 냉수는 5.8 LPM으로 하였으며, 제빙기 출구 온도는 -2.08℃의 해수 슬러리 얼음이 제조되었다. 본 논문의 해수 슬러리 제빙장치는 Fig. 2와 같이

139톤 대형 트롤선인 207 상진호에 탑재하여 현장 실증 시험을 진행하였으며, 경제성 평가 자료는 공인인증 결과로 수행하였다.

해수 슬러리 제빙기의 운전 전력은 약 6 kW로 소형이기 때문에 별도의 발전기의 설치 없이 선박 본체의 발전기를 사용하여 수행할 수 있었다. 본 경제성 분석에서는 이러한 사실에 기반하여, 제빙 시스템으로 담수를 각 얼음의 형태로 제빙 후 분쇄하는 비용을 고려한 것이 아니라, 만들어진 담수 각 빙을 구매하여 사용하는 것으로 분석하였다. 해상용 슬러리형 제빙장치는 해수를 이용하여 빙층전율(IPF) 30% 이하의 슬러리형 얼음을 생산한다. 바닷물을 직접적으로 이용하며, 냉매의 응축에 사용되는 응축기 역시 해수를 이용한 수냉식이다.



Fig. 1 Experimental equipment of the seawater cooling system

Table 1 Experimental results

Parameter	Value	Unit
Sea water flow rate	5.75	kg/min
Ice packing factor	20.90	%
Ice production	1730.52	kg/day
Motor power input	2.79	kW
Compressor power input	5.61	kW
Total power input	8.4	kW



Fig. 2 Vessel 207 Sangjinho

바닷물의 온도는 계절의 영향을 받기 때문에, 해상용 슬러리형 제빙장치의 소비동력 및 얼음 생산량은 계절에 따라 달라진다. 계절에 따른 변화를 모두 고려하여 계산하기에는 무리가 있으므로 본 경제성 분석에서는 동해, 서해, 남해안의 바닷물 연 평균 온도 17℃이며, 경제성 분석은 공인인증에 사용된 해수 온도 32℃를 기준으로 하였다. Table 1에 해상용 슬러리 얼음 제빙장치의 공인 인증 시험 데이터를 나타내었다.

2.2 경제성 분석 방법

경제성 평가의 방법으로는 생애주기법(Life Cycle Cost)과 투자 회수 기간법을 사용하였다. LCC는 Life Cycle Cost의 약칭으로 시설물의 기획, 설계, 시공, 운용관리, 폐기처분에 이르는 시설물의 생애 동안에 필요한 모든 비용을 말한다. 즉 LCC 분석 기법은 각 대안의 경제적 측면에서의 평가를 포함하여 기능, 환경 등 경제외적 요소도 대안평가의 항목으로 선정, 평가하여 의사 결정을 지원하는 기법이다. 투자 회수 기간법은 대안의 투자로 인해 예상되는 편익이 투자된 금액까지 도달하는데 필요한 시간을 구하는 방법이다. 따라서 본 연구에서는 생애주기법을 통해 각 냉각 방식에 따른 설치 및 운전에서 필요한 총 소요비용을 구하고, 이 결과를 바탕으로 투자 회수 기간법을 통해 기존의 냉각 방식과 비교하여 해상용 슬러리 제빙장치의 투자 회수 기간을 산정

하였다.

2.2.1 생애주기비용(Life Cycle Cost)계산

생애주기비용은 일반적으로 제품의 생산부터 폐기처분까지 발생하는 비용의 합을 의미한다. 생애주기비용의 현재가치를 산출하는데 있어 연등가액(A)에 연등가액환산계수(PWAF)를 곱하여 계산할 수 있다.⁹⁻¹⁰⁾ 먼저, 연등가액환산계수를 계산하는 방법은 아래 식 (1)과 같다. 그 연등가액환산계수에 연등가액을 곱하여 식 (2)와 같이 계산하였다.

$$PWAF = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \quad (1)$$

$$PV = PWAF \times A \quad (2)$$

여기서, i 는 할인율(%), $PWAF$ 는 연등가액현재가치환산계수, A 는 연등가액이다.

2.2.2 연간 에너지 비용 및 얼음 생산량

담수 각 빙은 얼음을 구매하여 쓰는 방법이기 때문에 연간 에너지 비용이 발생하지 않는다. 해상용 슬러리형 제빙장치 구동에 사용되는 에너지는 전기로, 선박용 발전기로부터 발전되며 발전기 효율은 4.3 kWh/Liter로 계산하였다. 기준 선박의 연료로 사용되는 저유황경유는 면세유류이며 한국 석유 공사에서 제공하는 17년도 월별 가격의 평균값을 사용하였다.

경제성 분석은 1회 출항시의 얼음 적재량(5ton/1회 출항)을 고정하고 이 담수 각 빙의 양과 같은 양의 얼음을 슬러리형 아이스의 형태로 제빙하는 방법으로 진행하였다. 대상 선박에서는 1회 출항시에 약 5ton의 얼음을 적재하여 출항하는 것으로 파악되었다. 이경우의 에너지 비용 및 얼음 생산량을 1회 출항 기준 및 년 기준으로 나타내면 Table 2와 같다. Table 2의 에너지 요금을 연간 발생 비용으로 정의하고, 내용 연수 10년, 정의된 실제 할인율($i=1.15\%$)을 통해 연간 발생하는 에너지 비용과 총 에너지 비용을 현재법을 적

용하여 10년 동안의 총에너지 비용은 31,033,097 원이다.

2.2.3 초기 투자비 선정

Table 2 Ice production and Energy cost

Parameter	One time sailing	1 year
Ice production [kg]	5,000	240,000
Energy cost [Won]	68,812	3,302,960

Table 3 Initial investment for the slurry ice system

Parameter	Cost (thousand Won)
Slurry ice maker machine	30,000
Facilities	10,000
Total initial cost	40,000

담수 각얼음은 얼음을 구매하여 쓰는 방법이기 때문에 초기 투자비 역시 발생하지 않는다. 해상용 슬러리형 제빙장치의 초기 투자비는 Table 3 과 같다.

2.2.4 경제성 분석 조건

대상으로 한 선망어선은 1회 조업 시 얼음 사용량 5 ton으로, 평균 주 1회 조업을 나가는 것으로 조사되었다. 연간 발생하는 담수 각얼음 구입 비용은 LCC 비용 항목 중 유지관리비에 포함시켜 분석하였다. 구매하는 얼음량 및 얼음가격은 1 ton당 4만원을 적용하여 월 20만원으로 연 960만원으로 계산되며, 10년 동안의 담수 각얼음 구매 비용을 현가법을 적용하여 계산하면 90,197,199원이 된다. 해상용 슬러리형 제빙장치의 연간 유지 관리 비용은 분석 조건에 따라 초기 투자비의 2%로 계산하였으며, 10년 동안의 해상용 슬러리형 제빙장치의 연간 유지 관리 비용을 현가법을 적용하여 계산하면 7,516,433원이 된다.

3. 총 생애주기비용

위에서 구한 비용 항목들을 통합하여 담수 각 얼음과 해상용 슬러리형 해수장치의 총 생애주기 비용(10년간)을 Table 4에 정리하여 나타내었다.

Table 4 Total LCC cost

Division	Fresh rock ice		Slurry ice maker	
	Cost (thousand Won)	Rate [%]	Cost (thousand Won)	Rate [%]
Initial cost	-	0	40,000,	50.92
Energy cost	-	0	31,033	39.51
Maintenance	93,652	100	7,516	9.57
Total LCC (10years)	93,652	100	78,549	100

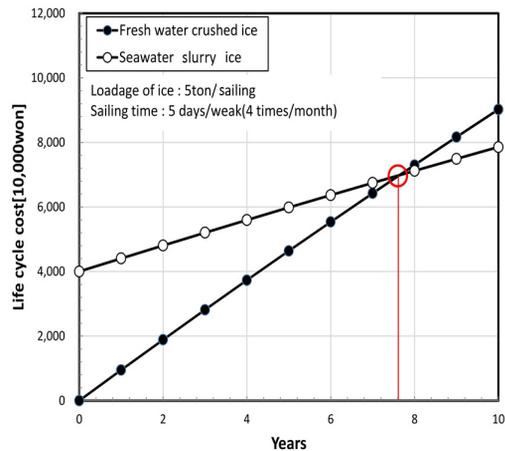


Fig. 3 Payback period of slurry ice maker

먼저 담수 각얼음은 초기 투자비와 에너지 비용이 발생하지 않는 대신 높은 유지 관리비(구매 비용)을 보인다. 초기 투자비의 경우 얼음 적재량을 기준으로 하였을 경우와, 슬러리형 제빙 장치의 얼음 생산량을 기준으로 하였을 때 모두 50프로를 넘는 비율을 보여 해상용 슬러리형 제빙 장치에서 초기 투자비가 큰 비율을 차지함을 확인하였다.

투자 회수 기간을 분석하기 위하여 위에서 구한 담수 각얼음과 해상용 슬러리 제빙장치의 비용 항목들을 경과 년수에 따라 통합하여 투자 회수 기간을 Fig. 3에 나타내었다. 얼음 적재량 5 ton에 알맞는 얼음을 생산하는 기준으로 계산한 경우 7년 2개월 후에 투자비용의 회수가 가능한 것을 확인하였다.

4. 결 론

생애주기법(Life Cycle Cost)과 투자 회수 기간법을 사용하여 현재 대다수의 수산물의 유통, 보관 및 판매 현장에서는 담수 각얼음을 구매하여 사용하는 방법과, 현재 연구 중인 해상용 슬러리형 해수 제빙장치를 이용하여 슬러리형 얼음을 생산하는 시스템의 경제성을 분석하였다. 해상용 슬러리형 제빙장치의 내용 연수는 10년으로 가정하였으며, 평균 이자율과 물가 상승률을 이용하여 실제 할인율을 적용, 비용 통합 분석은 수명주기에 발생하는 모든 투자비용과 절감액을 현재 시점을 기준으로 등가 환산하는 방법인 현재 가치법을 사용하여 분석하였다.

생애 주기법을 이용한 경제성 분석 결과, 해상용 슬러리형 제빙 장치의 총 생애주기비용(10년간)에 각 비용 항목들이 가지는 비율을 살펴보면, 초기 투자비가 분석 조건에 따라 50.92%, 50.16%로 50%를 넘는 비율을 보여 초기 투자비의 비율이 매우 높음을 확인하였다. 어선에 적재되는 담수 각얼음은 시스템을 통하여 직접 생산하는 시스템이 아니고, 생산된 담수 각얼음을 구매하는 과정에서 유통비와 판매 이윤 등이 포함된다. 하지만 어선 적재용 얼음의 경우 1 ton당 40,000원이라는 다소 저렴한 가격에 판매되어 경제성 분석 결과 총 생애 주기 비용(10년)은 1회 출항 시 여유율을 두고 얼음 적재량 5 ton에 알맞는 얼음을 생산하는 기준으로 계산한 경우 담수 각얼음에 비해 약 1,100만원이 적은 비용을 가짐을 확인할 수 있었다.

생애 주기법에서 적용시킨 현재 가치법을 이용하여 연간 발생하는 생애주기비용을 통합하여 투

자 회수 기간을 알아보았다. 투자 회수 기간을 살펴보면 먼저 1회 출항 시 여유율을 두고 얼음 적재량 5 ton에 알맞는 얼음을 생산하는 기준으로 계산한 경우 7년 9개월 후에 투자비용의 회수가 가능한 것을 확인하였다.

하지만, 본 경제성 분석은 해수 슬러리형 얼음을 사용함으로써 인해 담수 각얼음을 사용했을 때보다 어획물의 품질이 향상되어 얻게 되는 금전적인 이윤을 제외하였으며, 슬러리형 제빙 장치에서는 슬러리형 얼음뿐만 아니라 얼음 양에 3배 정도의 -2°C 냉각 해수를 생산하기 때문에 실제 투자회수 기간은 훨씬 짧아질 것이라 사료된다.

해수 슬러리형 얼음을 사용함으로써 인해 담수 각얼음을 사용했을 때보다 어획물의 품질이 향상되는 것과 수산물의 유통, 가공 선진화를 도모하여 국민의 식문화 향상에 기여할 수 있을 것이라 기대된다.

후 기

이 논문은 2017년 해양수산부 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(육해상용 샤베트형 해수 제빙장치 개발).

References

1. M. Kauffeld, M. Kawaji and P. W. Egolf, 2005, "Handbook on Ice slurries", Fundamentals and Engineering, Paris, France: International Institute of Refrigeration.
2. I. Bellas and S. A. Tassou, 2005, "Present and future applications of ice slurries", International Journal of Refrigeration, Vol. 28, No. 1, pp. 115-121.
3. S. Fukusako, Y. Kozawa and M. Yamada, 1999, "Research and development activities on ice slurries in japan", Second IIR Workshop on Ice Slurries, Switzerland, pp. 83-105.
4. A. B. Russell, P. E. Cheney and S. D. Wantling, 1999, "Influence of freezing conditions on ice

- crystallisation in ice cream", *Journal of Food Engineering*, Vol. 39, No. 2, pp. 179-191.
5. J. I. Yoon, C. H. Son, S. K. Heo, M. J. Jeon and T. Y. Jeon, 2016, "Performance Analysis of a Seawater Ice Machine Applied Two-stage vapor compression refrigeration system for Various Refrigerants", *Journal of the Korean Society for Power System Engineering*, Vol. 20, No. 2, pp. 85-90.
(DOI:10.9726/kspse.2016.20.2.085)
 6. C. H. Son, J. I. Yoon, M. J. Jeon, H. K. Lee and S. K. Heo, 2017, "Performance Characteristics of Two-stage Compression Seawater Ice Machine Applied Drum type Evaporator", *Journal of the Korean Society for Power System Engineering*, Vol. 21, No. 2, pp. 77-82. (DOI:10.9726/kspse.2017.21.2.077)
 7. C. H. Son, J. I. Yoon, K. H. Choi, H. K. Lee, K. S. Lee, C. G. Moon, and S. H. Seol, 2017, "Effects of seawater flow rate and evaporation temperature on performance of Sherbet type ice making machine", *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*.
(DOI:10.1088/1757-899X/297/1/ 012069)
 8. J. I. Yoon, H. K. Lee, M. J. Jeon, C. G. Moon, K. H. Choi, C. H. Son, 2018, "Experimental study on the characteristics of a sherbet type seawater ice maker using scraper", *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, Vol. 42, No. 1 pp. 10~15.
(DOI:10.5916/jkosme.2018.42.1.10)
 9. J. B. Kee, S. H. Cho, B. C. Min, D. Y. Hong, and W. J Lee, 2011, "A study on the reliability method development for the LCC analysis", *Proceedings of spring conference of the korean reliability society*, pp. 319-328.
 10. H. Y. Song and J. U. Kim, 2015, "A study of renewable energy optimal design using the LCC analysis", *Journal of Energy Engineering*, Vol. 24, No. 2, pp 45-50..