

열전소자를 이용한 활어 수송용 무수 컨테이너의 개발

윤 태 복[†], 김 남 진, 이 재 용, 김 중 보^{*}

인하대학교 기계공학과 대학원, ^{*}인하대학교 기계공학과

Development of a Waterless Container Utilizing Thermoelectric Modules for Live Fish Transportation

Tae-Bok Yoon[†], Nam-Jin Kim, Jae-Yong Lee, Chong-Bo Kim^{*}

Graduate School, Inha University, Incheon 402-751, Korea

^{*}Department of Mechanical Engineering, Inha University, Incheon 402-751, Korea

(Received January 5, 2000; revision received March 16, 2000)

ABSTRACT: The purpose of this study is to develop a low temperature waterless container for live fish transportation which is economical and efficient. The principle of the waterless transportation is that a live fish becomes asphyxial at about 5°C so it can survive without water for a long time. A low temperature waterless container is developed for this purpose, which utilizes thermoelectric modules for rather smaller and lighter cooling system with precise temperature control devise compared to the existing mechanical system. At first, we succeeded in making flounders alive in the waterless container for 24 hours. Also when flounders were transported in a round trip from Incheon to Pusan in the waterless container, carried in a car, they survived in the waterless container for over 21 hours.

Key words: Thermoelectric module(열전 소자), Live fish transportation(활어 수송), Waterless container(무수 컨테이너), Thermoelectric cooling(열전 냉각)

기 호 설 명

A : 면적 [m²]

D : 물질의 저온부와 고온부의 차이

h : 열전달계수 [W/m² · K]

I : 전류 [A]

K : 열전도계수 [W/m · K]

P : 전력 [W]

Q : 냉각 부하 [W]

R : 저항 [Ω]

T : 온도 [K]

X : 길이 [m]

그리스 문자

α : 제백 계수 [V/K]

ϵ : 방사율

σ : 스테판-볼츠만 상수

하첨자

[†] Corresponding author

Tel: +82-32-860-7313; fax: +82-32-868-1716

E-mail address: cbkim@inha.ac.kr

amb: 외기

c : 저온
h : 고온

1. 서론

1.1 연구배경

최근 양식어업의 발달로 인하여 활어의 공급량이 증가하고 생활수준의 향상으로 다양한 생리적 기능성을 갖는 건강식품으로서 활어회의 소비량이 증가함에 따라 소비자들은 맛, 향 및 신선도가 산지 활어와 동일한 정도의 수준을 요구하고 있으므로 보다 경제적이고 효율적인 활어 수송 기술이 요구되고 있다. 이에 반해 국내에서의 활어 수송 방법은 아직까지 트럭에 수조를 장착하여 수송하는 재래식 방법이 가장 보편적이다. 이 방법은 FRP(섬유 강화 플라스틱)제 활어 수조에 산소 공급 장치를 갖추고 물 80%, 활어 20%의 비율로 적재하여 수송하는 방법으로써 어종별 온도 및 생리 특성 등을 무시한 채 경제성만을 고려하여 무리하게 수송함으로써 수송중 활어가 폐사하는 경우가 발생한다. 또 이를 막기 위해서 수송 밀도를 저하시키면 다시 수송 경비가 증가하는 악순환이 반복되고 품질저하 또한 커다란 문제점으로 대두되므로 활어 수송 방법의 개선이 요구되고 있다.

1.2 연구동향 및 연구내용

지금까지 연구되어 온 활어 수송 방법들은 크게 네 가지로 나눌 수 있다. 첫째 수조내의 수온을 낮추어 활어의 신진 대사를 최소화시킴으로써 수송 밀도를 높이는 냉각 수조 수송 방법, 둘째 활어에 전기 쇼크를 가함으로써 신진 대사를 최소화시키는 전기 쇼크 수송 방법, 셋째 저온 영역에서 가사 상태로 만들어 신진 대사를 최소화시켜 수송하는 인공 동면 수송 방법 그리고 마취제를 이용하여 활어의 수송 밀도를 높이는 마취 수송 방법이 있다.^(1,2) 위의 수송 방법들 중 본 논문에서 사용된 인공 동면 수송 방법의 구체적인 연구 사례를 알아보면 조영제 등⁽³⁾은 납치가 5℃에서 무수상태로 18시간까지 생존한다는 것을 입증하였고, 윤석만 등⁽⁴⁾은 활어 수송용 저온 무수 컨테이너 개발을 위한 기초 연구로서 저온 유수

컨테이너를 개발하여 납치를 시료로 실험하였을 때 저장 온도가 높을수록 해수 중 용존 산소량의 저하가 빠르다는 것과 납치가 3℃ 이하에서 저온 충격으로 치사한다는 것을 알았다. 또한 암모니아의 농도가 30mg/l 정도 되면 납치가 치사하는데 5℃에서 이 수치에 가장 늦게 도달한다는 것을 알아냄으로써 무수 수송에 가장 적합한 온도가 5℃라고 보고하였다. 또한 일본에서는 가사상태의 활어를 냉수가 풍부하게 머금어 스며든 연질다공성의 물질로 활어를 감싸고 외부 냉장고에 의해 저온을 유지하여 무수 수송하는 시스템이 특허 등록되어 있다.

본 논문의 연구 목적은 기존 활어 수송 방식의 문제점을 해결하기 위하여 무수 수송 방식을 도입하고 활어 수송용 저온 무수 컨테이너를 개발하여 활어의 생존율을 높이고 적재율을 향상시켜 궁극적으로 경제적이고 효율적인 활어 수송을 도모하는 것이다. 따라서 본 연구에서는 소형 경량의 활어 수송용 저온 무수 컨테이너를 개발하기 위하여 기존의 냉각 방식인 냉매를 이용하는 증기 압축식 냉동이 아닌 정밀한 온도조절이 가능한 열전소자를 이용하였으며, 실험실에서 24시간 생존실험을 통하여 무수수송의 가능성을 확인하고, 인천-부산간 수송실험을 통하여 실제 수송조건하에서 무수 수송의 실용화 여부를 입증하고자 한다.

2. 열전 냉각의 이론적 배경⁽⁵⁾

2.1 펠티어 효과(Peltier Effect)

Fig. 1은 열전 소자의 원리를 나타낸 그림이다. 열전소자의 대부분은 Bismuth Telluride (Bi_2Te_3)에 소량의 불순물을 첨가하여 만들어진 전자가 정상보다 많은 n형(negative type) 반도체와 전자가 정상보다 적은 p형(positive type) 반도체로 이루어져 있다. Fig. 1에서 전류는 n형 반도체에서 p형 반도체 쪽으로 흐르고 이에 따라 T_c 는 주위로부터 열이 흡수됨에 따라 낮아지고 T_h 는 흡수된 열이 방출됨에 따라 높아진다. 이 현상은 p형 반도체와 n형 반도체의 에너지 레벨의 차에 기인하는데 즉, 에너지 레벨이 낮은 p형 반도체에서 에너지 레벨이 높은 n형 반도체로 전자가 이동하면서 저온부에서 흡열이 발생한다. 또한

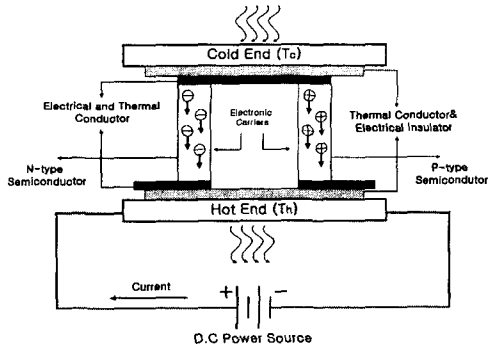


Fig. 1 Operation principle of a thermoelectric cooling module.

전자가 다시 p형 반도체로 돌아오면서 고온부에서 열이 방출된다. 이러한 현상을 펠티어 효과라고 한다.

2.2 열전 냉각의 특징과 원리

열전 냉각 시스템은 기계적인 작동 부분이 없기 때문에 소형, 경량의 시스템 구성이 가능하고 소음이 거의 없다. 또한 전기만으로 작동하므로 냉매에 의한 환경 문제를 발생시킬 염려가 없으며 각각의 열전 모듈에 공급하는 전압을 제어함으로써 조건에 맞추어 냉각 부하를 조절할 수 있는 장점을 가지고 있다. 이러한 장점들을 가지고 있는 반면에 압축식 냉동기에 비해 성능계수가 낮고 대용량의 냉각 부하가 필요한 냉동기에는 경제적, 기술적 측면에서 아직 활용이 어렵다는 단점도 가지고 있다.

열전 모듈의 냉각 능력은 어떤 물체를 정해진 온도까지 얼마나 빠르게 냉각시킬 수 있는지를 결정짓는 요소이며 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q = a T_c I - \frac{1}{2} I^2 R - K \Delta T \quad (1)$$

위 식에서 좌변은 열전 모듈의 냉각능력을 나타내고 우변의 첫 항은 펠티어 효과에 의한 흡열량을 둘째 항은 전류의 흐름 때문에 발생하는 열량을 나타내며 셋째 항은 T_h 와 T_c 의 온도차 때문에 저온부에서 고온부로 이동하는 열중 일부가 다시 저온부로 전도되는 열을 말한다.

식 (2)는 열전 모듈을 작동시키는 데 필요한

$$P = aI(T_c - T_h) + I^2 R \quad (2)$$

전력을 나타내는 식으로서 우변의 첫 항은 제백 효과(Seebeck Effect)에 의한 전력 소모량이고 둘째 항은 전기 저항에 의한 전력 소모량으로 이 두 항의 합이 총 소요 전력량이다. 식 (1)과 (2)로부터 성능계수를 구해보면 식 (3)과 같이 표현된다.

$$COP = \frac{Q}{P} = \frac{a T_c I - \frac{1}{2} I^2 R - K \Delta T}{aI(T_h - T_c) + I^2 R} \quad (3)$$

어떤 물체를 냉각하려고 할 때 뺏어야 하는 열량은 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$Q_c = Q_{active} + Q_{passive} \quad (4)$$

식 (4)에서 우변의 첫째 항인 Q_{active} 는 냉각 장치에 의해 발생하는 열을 의미한다. 일반적으로 전력 입력량(VI)과 같다.

$$Q_{passive} = Q_{conduction} + Q_{convection} + Q_{radiation} \quad (5)$$

식 (5)에서 $Q_{passive}$ 는 3가지 발생열로 구성되어 있는데 $Q_{conduction}$ 은 전선이나 나사 등에 의해 냉각 시스템에서 외부로 열이 전달되는 경우를 말하고 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_{conduction} = KA \frac{DT}{X} \quad (6)$$

$$Q_{convection} = hA(T_{amb} - T_c) \quad (7)$$

$Q_{convection}$ 은 외부와 냉각되는 장치 사이의 온도차에 의해 발생하는 열량을 말하며 식 (7)과 같이 표현된다. 복사에 의한 $Q_{radiation}$ 은 일반적으로 무시되는 경우가 많은데 Q_{active} 가 작거나 ΔT 가 클 때 혹은 진공 상황에서는 중요하게 간주되며 식 (8)과 같이 표현된다.

$$Q_{radiation} = \alpha A \epsilon (T_{amb}^4 - T_c^4) \quad (8)$$

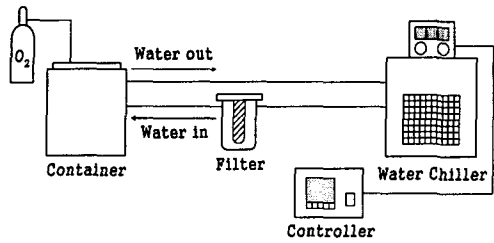


Fig. 2 Schematic diagram of water container system.

3. 실험장치

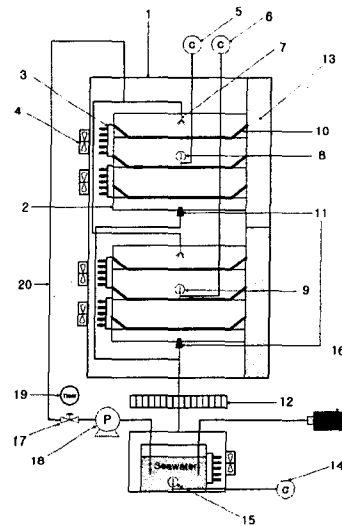
3.1 유수 컨테이너 시스템

저온 유수 컨테이너 시스템은 활어를 무수 수송할 수 있는 조건인 가사 상태로 만들고 무수 수송 후 실험 전 상태로 회복시키는 장치이다. Fig. 2는 유수 컨테이너 시스템의 개략도이다. 이 시스템은 활어를 저장하는 컨테이너와 컨테이너 안의 해수를 냉각 혹은 가열할 수 있는 냉각장치 그리고 이 냉각 장치를 제어하는 온도 조절기로 구성되어 있다. 또한 냉각 장치에서 컨테이너로 가는 해수를 여과하는 필터가 부착되어 있으며 컨테이너 안에는 활어의 호흡에 필요한 산소를 공급하기 위한 산소 발생기가 설치되어 있다. 컨테이너 내에는 활어를 분리해서 수용할 수 있는 서랍 형태의 수납 적재대가 있어 최대 8마리까지 수용이 가능하다.

3.2 활어 수송용 무수 컨테이너 시스템

DC 12 V에서 작동하는 열전 소자의 특성상 자동차 배터리에 연결하여 별도의 보조장치 없이 자동차에서 발생하는 전력만으로 사용 가능한 COP 0.5 정도의 활어 수송용 무수 컨테이너 시스템을 제작하였다. 또한 기존에 개발했던 장치⁽⁶⁾가 한 번에 활어 2마리를 실험할 수 있었던 데 반하여 이 장치는 활어 6마리를 동시에 실험할 수 있으므로 실험의 신뢰성을 높일 수 있게 하였으며 단열과 시스템 효율성을 개선하여 열전 모듈 5개만을 사용하여 최대 전력 소비량이 300 W 정도로 차량 배터리에 연결하여 사용하는 것이 가능하게 되었다.

Fig. 3은 활어 수송용 무수 컨테이너 시스템의 개략도이다. 이 시스템은 Fig. 3에서 보듯이 활어 적재함이 두 부분으로 나누어져 상, 하부 내통 안에 설치된 온도계(8, 9)로 감지된 온도에 따라 별도의 온도 조절기(5, 6)로 각 내통의 온도를 $5 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 로 제어할 수 있다. 각각의 내통(2)에는 활어를 3마리씩 저장할 수 있으며 내통 위쪽 부분에 스프레이(7)가 설치되어 있어 활어에 수분과 용존산소를 동시에 공급한다. 스프레이를 통해 공급된 해수는 상, 하부 내통에 각각 설치된 배수관(11)으로 빠져 나와 활어의 분비물 등을 처리하는 여과 장치(12)를 통과한 후 해수통으로 모여 계속 순환하게 된다. 두 개의 내통은 하나의 외통(1)으로 둘러싸여 있고 외통과 내통 사이에는 단열재가 들어있어 열의 출입을 막는다. 내통마다 두개의 열전 모듈(3)이 부착되어 내통의 온도를 조절하고 각각의 열전 모듈마다 냉각팬(4)이 설치되어 발생된 열을 외부로 방출시킨다.



- | | |
|--------------------------------|------------------------------|
| 1. Outer container | 11. Drain |
| 2. Inner container | 12. Filter |
| 3. Thermoelectric module | 13. Cover |
| 4. Cooling fan | 14. Water controller |
| 5. Upper container controller | 15. Thermometer |
| 6. Lower container controller | 16. O ₂ generator |
| 7. Spray | 17. Valve |
| 8. Upper container thermometer | 18. Pump |
| 9. Lower container thermometer | 19. Timer |
| 10. Basket | 20. Circulation hose |

Fig. 3 Schematic diagram of the waterless container.

외통 밑에는 수분과 산소를 공급하기 위한 장치실이 있어 해수를 순환시키기 위한 펌프(18)와 해수 순환관(20)을 통해 공급되는 유량을 조절하기 위한 타이머(19) 그리고 개폐 밸브(17)가 설치되어 있다. 해수를 냉각하기 위하여 열전 모듈과 냉각 팬이 각각 1개씩 설치되어 있으며 해수통 안에 설치된 온도계(15)에 의해 감지된 온도에 따라 온도 조절기(14)로 해수의 온도(5℃)를 제어할 수 있으며 산소는 장치실 외부에 설치된 산소 발생기(16)로부터 공급된 산소는 해수에 녹아서 수분과 함께 내통 안에 스프레이를 통해 공급된다.

4. 실험 방법

4.1 실험실에서의 생존 실험

실험 재료로는 마리당 중량 500 g 가량의 넙치 6마리를 사용하였고 상하부의 내통 안에 각각 설치된 분무 장치를 이용하여 해수를 27 ml/min의 양으로 공급하였으며 해수 저장통에 산소 발생기를 설치하여 해수에 산소를 용해시키고 분무장치를 통하여 물과 함께 공급하였다. 또한 넙치 표면의 수분 유지를 위하여 각각의 넙치 밑에 면으로 된 천을 깔아주었다. 먼저 넙치가 적재돼 있는 유수 컨테이너 안의 해수의 온도를 13℃에서 2℃/h의 하강율로 5℃까지 온도를 낮춘다. 이 과정은 정상의 넙치를 점진적으로 온도를 낮추어 활동량을 적게 하고 호흡량을 줄어들게 하여 가사 상태가 되게 하는 과정이다. 유수 컨테이너 안의 수온이 5℃가 된 후 3시간 동안 넙치를 유수 컨테이너 안에 유지시켜 가사 상태로 빠지게 하였다. 2단계는 가사 상태가 된 넙치를 저온 무수 컨테이너에 옮겨 수송 실험을 하는 동안 저온 유수 컨테이너 안의 수온을 5℃로 일정하게 유지하는 것이다. 1단계의 역으로 온도를 상승시키는 것이 3단계이다. 3단계는 저온 무수 컨테이너 시스템에서의 수송 실험이 끝난 후 다시 저온 유수 컨테이너로 넙치를 옮겨 2℃/h의 상승률로 온도를 올려 회복시키는 단계이다. 4단계는 넙치의 최적 생존 수온인 13℃를 유지시켜 넙치를 저장하는 것이다. 위와 같은 과정을 거쳐 24시간 동안 저온 무수 컨테이너에서 넙치를 유지시켜 생존 여부를 확인하였다. 실험은 2회에 걸쳐 이루

어졌고 넙치의 생존 여부는 활동성과 아가미 호흡의 유무를 육안으로 관찰하여 3시간마다 확인하였다.

4.2 실제 수송 실험

실험실에서의 실험 후 실제 수송 조건하에서의 적용성 여부 확인을 위한 실험을 행하였다. 인천에서 출발하여 부산에 간 후 24시간만에 인천에 다시 돌아오는 실제 수송경로 상에서 승합차에 장치를 적재 후 차량 배터리에 DC 12 V의 장치 전원을 연결하여 차량의 발전기에서 발생시키는 전기를 동력원으로 하여 가사 상태의 넙치 6마리를 무수 상태로 수송하면서 생존 여부를 확인하였다. 저온 무수 컨테이너를 장착한 차량의 주행 시간은 편도 7시간씩 14시간이고 나머지 10시간은 시동을 켜 채 정지해 있는 상태에서의 실험이었다. 실험 조건과 생존 여부 확인은 실험실에서의 실험과 같다.

5. 실험 결과 및 고찰

5.1 24시간 생존 실험

넙치를 6마리씩 2회에 걸쳐 24시간 동안 무수 상태로 유지시키며 생존 여부를 확인한 실험결과는 Table 1과 같다. Table에서 좌측의 숫자 1, 2는 생존 횟수이고 우측의 숫자 2는 실험횟수를 의미한다. 무수 상태에서 18시간이 경과할 때까지 넙치 12마리가 모두 생존하였고 21시간이 경과하면서 실험 전 상태가 좋지 않은 넙치들이 치사하기 시작하여 24시간이 경과하였을 때는 12마리 중에 7마리가 생존한 것을 알 수 있다. 실험 결과에 의해 넙치의 실험 전 상태에 관계없이 18시간 이상 생존하는 것을 확인함으로써 무수 수송의 실용화 가능성을 확인하였다.

5.2 실제 수송 실험

실제 수송 경로 상에서 행한 24시간 무수 수송 실험의 결과는 Table 2와 같다. Table 2에서 무수 상태로 21시간이 경과할 때까지 넙치 6마리가 모두 생존하였고 24시간 경과 후 확인하였을 때 2마리가 치사하였음을 알 수 있다. 실험의 결과

Table 1 Experimental Results in Laboratory

time	fish	upper 1st	upper 2nd	upper 3rd	lower 1st	lower 2nd	lower 3rd
0h		2/2	2/2	2/2	2/2	2/2	2/2
18h		2/2	2/2	2/2	2/2	2/2	2/2
21h		1/2	1/2	1/2	2/2	2/2	2/2
24h		1/2	1/2	1/2	1/2	2/2	1/2

Table 2 Experimental Results in Field

time	fish	upper 1st	upper 2nd	upper 3rd	lower 1st	lower 2nd	lower 3rd
0h		1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1
18h		1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1
21h		1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1
24h		0/1	1/1	1/1	1/1	1/1	0/1

는 동일한 장치와 조건으로 실험실에서 이루어진 실험의 결과와 유사하다. 무수 상태에서 24시간 경과하였을 때 실험실에서의 실험의 생존율은 58%이었고 실제 수송 실험에서는 67%이었다. 두 실험 모두 18시간이 경과하기 전에 단 한 마리의 넙치도 치사하지 않았으며 실제 수송 실험에서 차량의 진동 등으로 인한 추가적인 저해 요인에도 불구하고 넙치의 무수 수송이 크게 영향을 받지 않음을 알 수 있었다. 실험의 결과로 활어의 무수 수송이 전국 어디로나 가능하다는 것을 입증하였고 선박이나 항공기를 이용한 해외 수송도 가능할 것으로 생각된다.

6. 결론

본 연구에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 차량 탑재용 저온 무수 컨테이너로 실험실에서의 실험과 인천 부산간 수송 구간에서의 실증 실험을 한 결과 실험한 넙치가 18시간 이상 100% 생존하였다. 실험실에서의 실험과 실증 실험 결과 사이에 큰 차이가 없는 것으로 보아 수송시 차량의 진동 등이 무수 수송에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 생각한다.

(2) 무수 상태에서 18시간 이상 모든 넙치가

생존한 것은 전국 어디로나 차량에 의한 무수 수송이 가능하다는 것을 의미하며 항공기, 선박 등에 의한 해외 수송도 가능할 것으로 생각된다.

(3) 본 연구를 통하여 무수 수송 기법을 도입하고 활어 수송용 무수 컨테이너를 만드는데 있어서 열전 소자를 사용함으로써 소형·경량의 시스템 구성과 정밀한 온도제어가 가능하게 되어 경제적이고 효율적인 활어 수송이 가능하게 되었다.

후 기

본 연구는 과기처 지원 황해권 수송 시스템 연구센터 연구과제의 지원에 의하여 수행되었으며 실험장치 제작에 협조하신 (주)삼천정공 관계자 여러분께 감사의 뜻을 표합니다.

참고문헌

1. Ministry of Maritime Affairs and Fisheries, 1996, Development of Live Fishes Distribution, First Report, pp. 13-71
2. Ministry of Maritime Affairs and Fisheries, 1997, Development of Live Fishes Distribution, Final Report, pp. 19-101
3. Cho, Y. J., Kim, Y. Y., Lee, N. G. and Choi, Y. J., 1994, Basic Studies on Developing Equipment for Waterless Transportation of Live Fish, Korean Fish Soc. 25(5), pp. 501-508
4. Yoon, S. M., Kim, C. B., Cho, Y. J. and Hur, B. K., 1998, Study of the temperature container system for a live fish transportation, Korean Journal of Air-conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 3, pp. 343-347
5. D. M. Rowe, 1995, CRC Handbook of THERMOELECTRICS, CRC Press, pp. 597-631
6. Kim, N. J., Yoon, T. B., Jeong, J. M., Seo, T. B. and Kim, C. B., 1999, Development of Optimum Refrigerating Container System for Transportation, Inha University, R.I.S.T., Vol. 27, pp. 29-34