

## 소형어선용 어창내의 열유동특성 해석

한인근\*, 문춘근\*\*, 김재돌\*\*\*, 윤정인\*\*\*\*

### Numerical Analysis of Fluid and Thermal Characteristics on Live Fishing Tank of Small Fishing Boat

I-G Han, C-G Moon, J-D Kim and J-I Yoon

**Key words** : Fish hold storage(어창), Numerical analysis(수치해석), Circulating flow rate(환수량), Flow characteristics(유동특성), Temperature distribution(온도분포)

#### Abstract

The depression of the external situation like the departure of WTO system and the plan of EEZ proclaim is forcing fishery into improving their fishing condition. By this international and domestic circumstance, development of the sea water cooling apparatus for fish hold storage is demanded sincerely. This study represents the thermal characteristics of the fish hold storage during transportation. The numerical analysis in this study is the finite volume method with the SIMPLE computational algorithm to study the seawater flow behavior in the fish hold storage. The computation were carried out with the variations of the circulating flow velocity and depth of fish hold storage. As the result of the three dimensional simulations, the mean temperature doesn't almost change by the circulating flow rate. And the mean temperature is suddenly changed by the ratio of depth of fish hold storage.

#### 1. 서론

한일어업협정 및 연근해 어장의 황폐화로 일시 다획성 어종의 어획량이 줄어들고 있을 뿐만 아니

라, EEZ(배타적 경제수역) 선포로 연근해 어장의 상실에 따른 어획량의 감소가 예상되고 있다. 현행의 해수와 육상빙을 반씩하여 어획물을 저장 운반하는 방법인 수빙식은 선도 유지가 잘 되지 않음

(주)에이알  
\*\* 부경대학교 대학원 냉동공조공학과  
\*\*\* 동명대학 건축기체설비과  
\*\*\*\* 부경대학교 기계공학부(냉동공조전공)

므로 선도 저하된 일시 다회성 어종은 대부분이 사료로 이용되고 있는 실정이다.

활어회의 선도유지를 위해서는 어장의 해수온도를 일정온도의 범위로 낮추어야 하며, 수온이 높은 하절기의 조업을 위해서는 어장의 수온관리를 위한 장치가 필수적이다. 이를 위하여 소형 어선의 어장용 해수냉각시스템의 개발은 어민의 생산성 향상뿐만 아니라 경제, 사회적인 파급효과가 크리라 생각한다. 어선이나 양식장의 해수 냉각시스템에 관한 실험적 연구<sup>1)</sup>는 일부 이루어지고 있으나 이론적인 접근은 거의 이루어지지 않고 있다.

본 연구에서는 활어수송을 위한 소형어선용 어장 해수냉각장치의 개발을 위하여 어장의 열 및 유체유동의 공학적 특성을 수치해석하여 환수량, 어장의 깊이에 따른 평균온도와 평균유속의 변화를 파악하여 어류의 선도를 유지하기 위한 최적환경을 구축하기위한 기초자료를 얻고자 하였다.

## 2. 이론 해석

### 2.1 해석모델 및 지배방정식

해수냉각장치용 어장내의 열유체 유동의 해석을 위하여 실험 논문과 동일한 기하학적 형상에 대하여 해석을 수행하였다. Fig. 1은 실험장치의 개략도를 나타낸 것이다. 모델수조의 크기는 가로, 세로가 0.6m이고, 높이가 0.6m이며 이 수조내의 유동은 폐회로로 구성되어 있다. 유입구의 크기는 한 변이 0.02m의 정사각형이고, 유량을 균등하게 하기 위해서 분배기로 4곳에서 유입된다. 유출구는 오른쪽 벽면에 3개가 위치해 있으며 오버플로우되어 유출되며 크기는 유입구와 같다.

계산조건은 유입 유량을 0.27~0.33min/s로 하였고 유입구 온도는 2.9℃, 수조 주위의 대기온도는 3.5℃의 조건으로 하였고 해수의 평균농도가 3.5wt%인 점을 감안하여 순환수로 3.5wt%의 염화나트륨수용액을 사용하였다.

수조내 유동은 정상상태, 비압축성, 온도차에 의한 부력의 영향을 고려한 3차원 난류유동으로 가정한 지배방정식은 다음과 같다.

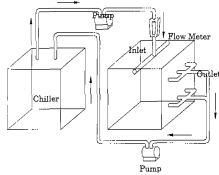


Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus and aquarium model

연속방정식;

$$\frac{\partial U_i}{\partial X_i} = 0 \quad (1)$$

운동량 방정식;

$$\frac{\partial (\rho U_i U_j)}{\partial X_i} = -\frac{\partial P}{\partial X_i} + \frac{\partial}{\partial X_j} \left[ \mu \left( \frac{\partial U_i}{\partial X_j} + \frac{\partial U_j}{\partial X_i} \right) \right] - \frac{\partial}{\partial X_i} [\rho \overline{u_i u_j}] + \delta_{ij} \rho g \beta \Delta T \quad (2)$$

### 2.2 난류모델 선정

난류계산을 할 경우 벽 근처의 점성저층까지 포함하여 벽면까지의 상세한 계산을 위하여 제안된 저 레이놀즈 수 모델이 있지만, 본 연구에서는 벽면의 효과를 충분히 고려할 수 있는 벽 법칙을 이용하여 가장 가까운 격자점에 대하여 벽합수를 적용시켜 계산을 하였고, 난류모델로서는 공학적으로 그 가치가 인정되어 폭넓게 사용되고 있는 표준 k-ε 모델<sup>2)</sup>을 채택하였다.

난류에너지 방정식;

$$\frac{\partial (\rho U_i k)}{\partial X_i} = \frac{\partial}{\partial X_j} \left[ \left( \frac{\mu}{\sigma_k} + \mu \right) \frac{\partial k}{\partial X_j} \right] + G - \rho \epsilon - g \beta \frac{\mu_t}{\rho_t} \frac{\partial T}{\partial X_2} \quad (3)$$

난류에너지 소산 방정식;

$$\frac{\partial (\rho U_i \epsilon)}{\partial X_i} = \frac{\partial}{\partial X_j} \left[ \left( \frac{\mu}{\sigma_\epsilon} + \mu \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial X_j} \right] + C_1 \frac{\epsilon}{k} G - C_2 \rho \frac{\epsilon^2}{k} - g \beta \frac{\mu_t}{\rho_t} \frac{\partial T}{\partial X_2} \quad (4)$$

여기서 난류생성항 G는 다음과 같다.

에너지 방정식;

$$\frac{\partial \rho U_j T}{\partial X_j} = \frac{\partial}{\partial X_j} \left[ \left( \frac{\mu}{Pr} + \frac{\mu}{\sigma_t} \right) \frac{\partial T}{\partial X_j} \right] \quad (6)$$

또한, 위의 방정식에서 사용된 모델계수는 다음과 같은 값을 사용하였다.

$$C_1 = 1.44, C_2 = 1.92, \sigma_e = 1.3, \sigma_k = 1.0, \\ C_\mu = 0.09, \sigma_t = 0.7$$

### 2.3 경계조건 및 수치계산법

위의 지배방정식을 풀기 위하여 사용된 경계조건은 입구속도는 유입원수량 Q로부터 환산한 값으로 하였으며, 유입속도의 수평성분 유속은 0으로 하였다. 또한 유출구 출구의 방향과 수직인 모든 변수의 기울기는 항상 0이 되는 Neumann조건을 적용하였다. 유입구의 온도는 2.9℃로 하고, 대기면에 접하는 부분은 대기의 온도 3.5℃로 하였으며 그 외 5면에 대한 온도는 단열 조건으로 하였다.

이상의 경계조건과 주어진 방정식으로부터 각각의 변수를 구하기 위하여 유한체적법(Finite Volume Method)을 채택하였으며, 압력항의 계산은 SIMPLE 알고리즘<sup>10)</sup>을 채택하였고, 격자수는 X×Y×Z=32×(8~32)×32로 하였다. 여기서, Y방향의 격자는 3방향 모두 등간격 격자를 사용하기 위함과 동시에 깊이에 따라서 격자수가 변하기 때문이다.

### 2.4 수치계산과 어칭작용

구체적인 변수로는 유입원수량을 2.7~3.3min/s로 변화시키고 동시에 수조의 깊이를 0.1~0.43m로 하여, 공간의 경제적 활용도가 높은 사각형에 대하여 한변의 길이가 0.6m인 수조(유입구 및 유출구의 한변이 0.02m)에 대하여 원수량과 수조의 깊이를 변화시켜 각각에 대한 수치계산과 하여 유동 및 온도 환경에 대하여 비교 검토한다.

### 3. 해석결과 및 고찰

Fig. 2는 Y/d=0.5의 수평단면에서 수조의 유동을 나타내었다. 유출구쪽으로 움직이는 유동이 지배적이며 사각형의 모서리에서는 유동이 정체되어 있음을 알 수 있다. Fig. 3은 X/d=0.5의 수직단

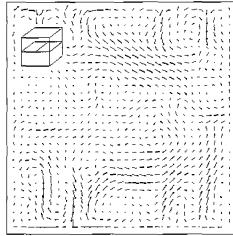


Fig. 2 Visualization photograph and velocity vectors by calculation, X-Z plane, Y/d=0.5

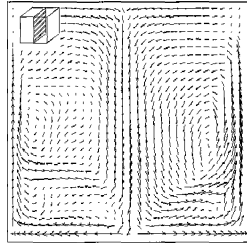


Fig. 3 Visualization photograph and velocity vectors by calculation, Z-Y plane, X/d=0.5

면에 대한 유동을 나타내었다. 유입구로 부터의 주류가 바닥면으로 하향하는 유동특성이 나타나고 양옆벽으로 상승하는 유동이 나타남을 알 수 있다. Fig. 4, 5, 6은 원수량 Q=0.3min/s인 경우, 수조깊이 d=0.43m에 대한 수조 Y/d가 0.5 되는 단면에 대한 속도와 온도를 나타낸 것이다. 속도 벡터의 크기는 유입원수량에 의해 정해지는 유입속도로 각 단면에 대한 속도를 무차원화 시켰으며 온도는 다음의 식에 의한 무차원화된 값을 나타

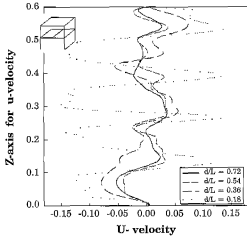


Fig. 4 Velocity distribution on X-Z plane with fish hold storage, Y/d=0.5, Q=0.3min/s

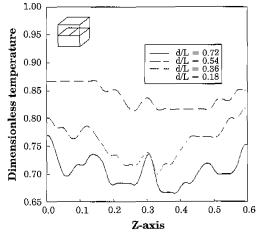


Fig. 6 Temperature distribution on X-Z plane with fish hold storage depth, Y/d=0.5, Q=0.3min/s

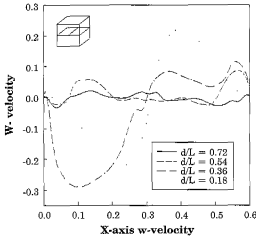


Fig. 5 Velocity distribution on X-Z plane with fish hold storage depth, Y/d=0.5, Q=0.3min/s

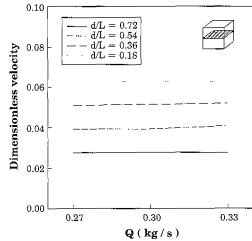


Fig. 7 Mean velocity distribution with flow rate, Y/d=0.5

낸다. 여기서,  $T_{s,i,k}$ 는 계산된 입의 위치에 대한 온도,  $T_{sur}$ 은 수조표면의 대기온도,  $T_{imp}$ 는 유입구 측의 온도를 각각 나타낸다.

$$\frac{T_{i,j,k} - T_{sur}}{T_{imp} - T_{sur}} \quad (7)$$

수조깊이가 일정하고 유입환수량이 변할 경우 는 속도분포, 온도분포는 거의 상사적인 분포를 하였다.

그러나 동일 환수 량일지라도 수조깊이에 따라

서는 유동패턴은 물론이고 온도분포도 크게 변동 하였다.

Fig. 7은 유입환수량에 따른 수조 Y/d가 0.5가 되는 단면평균속도를 나타낸 것이다. 종속의 무차원 속도는 Y/d가 0.5가 되는 X-Z평면에 대한 각 위치의  $\bar{U} = \sqrt{(U^2 + W^2)}$ 의 단면 평균치를 의미한다. 즉 단면 평균 유속은 유입 환수량에 따라서 거의 변화가 없는 것이 나타났다.

그리고 동일 환수량에 대해서는 수조깊이의 비

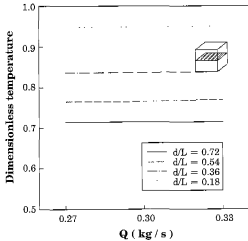


Fig. 8 Mean temperature distribution with flow rate,  $Y/d=0.5$

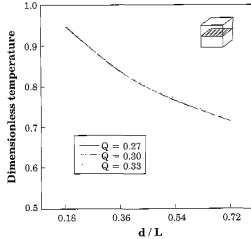


Fig. 10 Mean temperature distribution with fish hold depth,  $Y/d = 0.5$

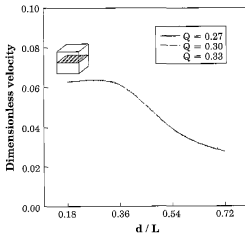


Fig. 9 Mean Velocity distribution with fish hold depth,  $Y/d=0.5$

$d/L$ 이 작을수록 수조내의 평균유속이 상승함을 나타낸다.

Fig. 8은 유입환수량 변화에 따른 수조 중간 ( $Y/d=0.5$ )의 단면 평균온도를 나타낸 것이다. 수조 깊이의 비  $d/L$ 이 일정할 때 단면평균온도는 유입 환수량에 따라서 거의 변화가 없는 것으로 나타났고 동일환수량에 대해서는 수조깊이의 비  $d/L$ 이 작을수록 수조내 평균온도가 낮아지는 것으로 나타내고 있다. 이것은 유입환수량이 증가하면 수조 전체의 유속이 증가하기 때문에 유입된 찬 해수의

온도가 수조 전체에 영향을 미치게 됨을 의미한다.

Fig. 9는 수조의 깊이가 변화 할 때의 수조 중간 ( $Y/d=0.5$ )의 단면평균속도 분포를 나타낸 것이다. 수조깊이의 비  $d/L$ 이 작아질수록 평균유속이 상승함을 나타내고 있다. 이 그림은 수조내의 유속의 크기는 유입 환수량에 의한 것보다는 수조의 깊이가 큰 영향을 미치는 인자임을 알 수 있고, 실제 수조의 설계에 있어서 수조 깊이의 설계가 대단히 중요함을 나타내었다.

Fig. 10은 Fig. 9의 유속분포에 해당하는 부분에 대한 단면내 평균 온도 분포를 나타낸 것이다. 이 단면에서의 온도는 수조깊이의 비가 작아짐에 따라서 급격하게 낮아지는 것을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

소형어선용 활어조 해수냉각장치개발을 위한 기초연구의 일환으로 어장내의 열 및 유동특성을 이론적으로 파악하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 수조의 깊이와 유입 환수량을 파라미터로서 유입 환수량의 변화보다는 어장의 깊이를 적절히 제어함으로써 수조의 온도를 적절히 유지할 수 조내의 연와나트륨수용액 온도와 유동변화를 알 수 있었다.

(2) 유입 환수량의 변화보다는 어장의 깊이를

적절히 제어하므로써 수조의 온도를 적절히 유지할 수 있다.

(3) 여름철 어창의 저온화 유지는 수조의 깊이를 가능한 작게 취하는 것이 보다 경제적이고 어창내의 청정유지를 확보할 수 있음을 알 수 있었다.

## 후 기

본 연구는 2000, 2001년 해양수산부 수산특질과제의 연구비 지원으로 이루어졌으며, 이에 관계자 여러분들께 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 정효민 1997, "육상 수조식 양식장내의 열 및 유동특성", 공기조화 냉동공학회 '97하계학술발표회 논문집, pp 628~633
2. 윤정인, 1998, "어창용 해수냉각장치에 관한 실험적 연구", 공기조화 냉동공학회 '98동계학술발표회 논문집, pp 66~71
3. 김경교, 1996, "장이통발이선 활어창 냉각시스템 개발", 한국어선협회, pp. 150~178
4. 이종섭, 1994, "순환어과식 사육수조의 수리학적 연구", 한국수산학회지, 27권, 2호, pp 173~182
5. 명현국, 1995, "수치유체역학", 한미출판사, pp 125~140
6. 이재현, 1988, "열전달 및 유체유동 수치해석", 대한교과서주식회사, pp 129~155

## 저 자 소 개



### 한인익(韓寅稷)

1962년생. 1988년 부산수산대학교 냉동공학과 졸업. 1993년 수산대학교 대학원 냉동공학과 졸업(공학석사). 1999년 동대학원박사수료. 현재 (주)에이알 대표이사.



### 문훈근(文春根)

1971년생. 1997년 부경대학교 냉동공조공학과 졸업. 1999년 부경대학교 대학원 냉동공학과 졸업(공학석사). 현재 동 대학원 냉동공조공학과 박사과정



### 김재원(金在彰)

1967년생. 1991년 부산수산대학교 냉동공학과 졸업. 1993년 부산수산대학교 대학원 냉동공학과 졸업(공학석사). 1996년 동대학원 졸업(공학박사). 현재 동명대학교 건축기계설비시스템과 조교수.



### 윤정인(尹政仁)

1962년생. 1988년 부산수산대학교 냉동공학과 졸업. 1990년 부산수산대학교 대학원 냉동공학과 졸업(공학석사). 1995년 동경농공대 대학원 졸업(공학박사). 현재 부경대학교 기계공학부 냉동공조에너지전공 부교수.