

# 최적 양식환경을 위한 수조식 양식장내의 유동특성에 관한 연구

## Study on fluid flow characteristics of aquarium for optimum environment

정 호 민, 정 한 식\*  
H. M. Jeong, H. S. Chung

**Key words** : Circulating flow rate(환수량), Aquarium(양식장 수조), Numerical analysis(수치해석),  
Sectional mean temperature(단면 평균온도)

### Abstract

This study was performed to analyze the fluid flow characteristics and the temperature distribution of the aquarium for fish breeding. In this study, the finite volume method and turbulence  $k-\epsilon$  model with the SIMPLE computational algorithm are used to study the water flow in the aquarium. The calculation parameters are the circulating flow rate and the basin depth, and the experiments were carried out for the water flow visualization

This numerical analysis gives reasonable velocity distributions in good agreement with the experimental data.

As the results of the three dimensional simulations, the sectional mean velocity increased as the sectional mean temperature increases for constant basin depth, and the mean velocity increased more rapidly for small basin depth than that of large basin depth. The mean velocity and temperature can be expressed as the function of the circulating flow rates and the basin depth.

### 기 호 설 명

### 그리스 문자

$Q$  : 유입 환수량  
 $U_t$  : 시간평균속도  
 $X_i$  : 좌표  
 $T$  : 온도  
 $u_i$  : 변동속도

$\rho$  : 밀도  
 $\sigma$  : Prandtl 수  
 $\mu$  : 점성계수  
 $\delta_{ij}$  : kronecker Delta  
 $\epsilon$  : 난류에너지 소산율  
 $\beta$  : 체적 팽창계수  
 $\sigma_t$  : 난류 Prandtl 수  
 $\mu_w$  : 와 점성계수

\* 경상대학교 선박기계공학과 · 해양산업연구소

$k$  : 난류 에너지  
 $\sigma_k, \sigma_\epsilon, \sigma_c, C_1, C_2$  : 모델상수

## 1. 서 론

최근 연안 환경의 급속한 산업화와 도시화에 의해 부영양화가 급속히 진전되고 있으며 한정된 양식 가능 수역에서의 장기간에 걸친 대량생산 및 자가오염으로 생산성과 품질이 저하하는 현상이 나타나고 있다. 보다 다양하고 고품질의 수산물을 생산하기 위한 양식시설로써 자연적인 지형을 이용한 지중양식, 가두리식, 육상 수조식 양식장 등이 있으나, 이 중에서 지중양식은 지형적인 특성이 뒤따르지 않으면 불가능한 큰 단점이 있고, 가두리식 또한 최근 하계에 빈번히 나타나는 적조현상에는 대응책이 어려운 것이 현실이다. 이러한 제반 현실을 고려해 볼때 육상 수조식 양식장에서의 양식은 앞으로 많은 발전이 요구되는 분야이다.

육상 수조식 양식장은 폐공간에 해수를 유입시켜 순환시키는 기본적인 특성에 기인하는 관계로 약간의 부주의 및 잘못된 설계는 양식어의 폐사에까지 큰 영향을 끼치고 있다. 또한, 어종별로는 각각 최적의 서식온도가 존재함이 이미 밝혀져 있으며<sup>(1-3)</sup> 이러한 환경을 사계절에 무관하게 유지하기는 극히 힘든 일인 동시에 필수적인 과제이다.

예를들면, 넙치의 성장은 수온과 밀접한 관계를 가지고 있으며 25°C 이상의 고수온과 15°C 이하의 저수온에서는 성장이 둔화하며, 25°C 이상이 되면 폐사율이 급격히 증가<sup>(4)</sup>한다.

한편, 온도의 환경뿐만 아니라 유속의 크기에 대해서도 양식어는 큰 영향을 받는다. Hiraishi<sup>(5)</sup> 등에 의하면 넙치의 경우 흐름 방향의 상류측에 머리를 향하며, 일정 유속이상이 되면 요동을 치게 되어 결국 자기피로에 의하여 폐사한다고 보고하였다.

우리나라와 마찬가지로 어류의 소비량이 많은 일본에서는 Takagi<sup>(6)</sup>에 의해 비교적 체계적인 육상 수조식 시설에 관한 일련의 보고가 있지만 이것 또한 양식장 내에서의 어군 행동에 관한 모델링으로서 보다 기초적이고 공학적인 양식장 설계 문제는 공학적인 전문지식이 요구되는 관계로 거의 전무한

실정이고, 양식장 시설에 대한 어군 행동에 관한 연구<sup>(7-10)</sup>가 대부분을 차지하고 있다. 한편, 이종섭<sup>(11)</sup>은 사육수조의 수리학적 특성에 대하여 보고하였다 그러나 대상양식어에 따라서는 수조내의 유동특성은 물론이고 적절한 온도 환경이 아주 중요하다.

이처럼 양식 대상의 각 어종에 대한 최적수온을 유지시켜 주기 위해서는 고수온기에는 양식장 유입 해수의 환수율을 높게 하고, 저수온기에는 가열된 해수를 공급시킬 필요가 있으며, 유입 해수량에 따라서도 양식대상어에는 치명적인 영향을 미칠수가 있다. 따라서, 본 연구에서는 육상 수조식 양식장내의 열 및 유체유동의 공학적 특성을 고려하여 보다 고품질의 양식을 위한 최적환경을 구축하고자 한다.

## 2. 모델수조의 유동실험

Fig.1은 수조내의 유동패턴을 조사하기 위한 실험장치의 개략도 및 모델 수조를 나타낸다. 모델 수조의 크기는 가로, 세로가 0.2m이고 높이가 0.1m이며 이 수조내의 유동은 폐회로로 구성되어 있으며 유입구측에는 유량계와 적정온도 유지를 위한 온도 제어 장치가 부착되어 있고, 주변의 온도와 유입수의 온도가 실험중에는 일정히 유지되도록 항온실험실에 설치를 하였다. 또한, 암실의 환경에서 레이저 광원에 의해 비쳐진 각 단면의 유동분포를 측면에 설치된 카메라로 촬영하였다.

Fig.2는  $Y/d=0.005$ 의 수평단면으로서 수조의 바닥면 부근의 유동가시화 사진과 계산결과를 나타내었다. 바닥면에서는 유출구를 중심으로 선회하는 유동이 크게 지배적이고 사각형의 모서리에서는 유동이 정체되어 있음을 알 수 있다.

Fig.3은  $X/L=0.005$ 의 벽면 근처에 대한 유동을 나타내었다. 유입구로부터의 강한 주류가 이 벽면을 따라서 대각선 방향으로 하향하는 유동 특성이 명확하다. 특히, 이 단면의 우측상부의 구석부분은 가시화 사진에서도 속도가 영인 사각형의 영역이 뚜렷하며, 계산에서도 명확히 재연되고 있음을 알 수 있고, 이 부분이 수조내로 유입하는 유입구이다.

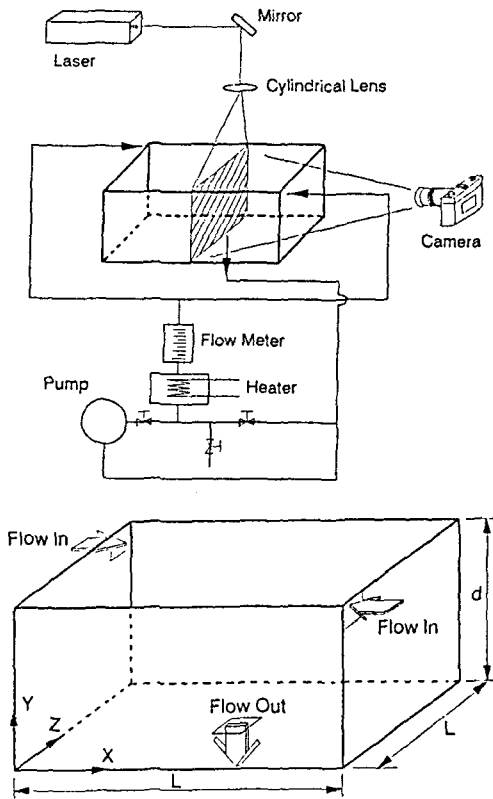


Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus and aquarium model

이상에서와 같이 실험과 동등의 조건으로 계산한 수치계산은 정성적인 경향의 일치로 보이고 있어 이와 유사한 형상에 관한 유동은 수치계산의 방법으로 충분한 예측이 가능하리라 생각된다.

또한, 실험 및 계산의 조건은 유입 유량을  $1/m$  으로 하였고 유입온도는  $20^{\circ}C$ , 수조 주위의 대기 온도는  $15^{\circ}C$ 의 조건으로 하였다. 이 온도는 동계의 육상 수조식 양식장의 환경으로 가정한 것이다.

### 3. 수치해석

#### 3.1 지배방정식

수조내의 유동은 유입수의 온도와 대기와의 온도 차가 반드시 존재하므로 이에 관한 정확한 계산을

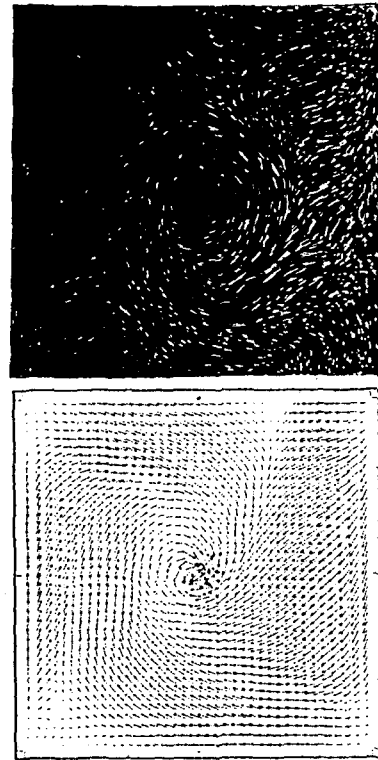


Fig.2 Visualization photograph and velocity vectors by calculation, X-Z plane,  $Y/d=0.005$

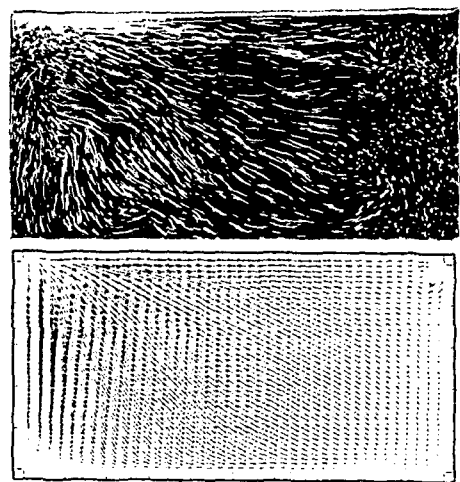


Fig.3 Visualization photograph and velocity vectors by calculation, Z-Y plane,  $X/L=0.005$

위해서 온도차에 의한 부력의 영향을 고려하고 정상상태, 비압축성을 가정한 3차원 난류유동으로 가정한 지배방정식은 다음과 같다.

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

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

### 3.2 난류모델의 선정

난류 유동장에서는 시간평균속도가 벽 근처에 있어서는 큰 기울기를 가진다. 난류계산을 할 경우 이러한 벽 근처의 점성저층까지 포함하여 벽면까지의 상세한 계산하기 위하여 제안된 저 레이놀즈 수 모델(low Reynolds Number model)이 있다. 이 저 레이놀즈 수 모델의 대표적인 것으로서 Launder<sup>(12,13)</sup>, Rodi<sup>(14)</sup> 등에 의한 모델이 폭넓게 사용되고 있다. 이 모델은 벽면 근처에서 작은 차분간격을 설정하지 않으면 정확한 계산치를 얻을 수 없는<sup>(15)</sup> 큰 단점도 지니고 있다. 그래서, 본 연구에서는 벽면의 효과를 충분히 고려할 수 있는 벽 법칙을 이용하여 벽에서 가장 가까운 격자점에 대하여 벽함수<sup>(16,17)</sup>를 적용시켜 계산을 행한다.

난류모델로서는 공학적으로 그 가치가 인정되어 폭넓게 사용되고 있는 표준  $k-\epsilon$  모델을 채택하였다.

위식의 운동량 방정식에서  $-\overline{\rho u_i u_j}$  는 레이놀즈 응력으로서 평균속도 기울기의 함수로 가정한다. 즉, Boussinesq의 와점성의 가정을 채택하여, 다음과 같이 레이놀즈 응력을 모델링한다.

$$-\overline{\rho u_i u_j} = \mu \left( \frac{\partial U_i}{\partial X_j} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \quad (3)$$

여기서, 대문자  $U$ 는 평균속도, 소문자  $u$ 는 변동속도 성분을 나타낸다. 또한,  $\mu$ 는 와점성 계수로서 층류의 점성계수와는 달리 물성치가 아니며 오히려 난류의 구조에 의존하는 양으로서 다음식과 같이 모델링한다.

$$\mu = C_\mu \rho \frac{k^2}{\epsilon} \quad (4)$$

이 와점성계수는 다음식 2개의  $k-\epsilon$  수송 방정식으로부터 구해진다.

$$\begin{aligned} \text{난류에너지방정식} \\ \frac{\partial(\rho U k)}{\partial X_j} = \frac{\partial}{\partial X_j} \left[ \left( \frac{\mu}{\sigma_k} + \mu \right) \frac{\partial k}{\partial X_j} \right] + G - \rho \epsilon \\ - g \beta \frac{\mu}{\sigma_t} \frac{\partial T}{\partial X_2} \end{aligned} \quad (5)$$

난류에너지 소산 방정식

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho U \epsilon)}{\partial X_j} = \frac{\partial}{\partial X_j} \left[ \left( \frac{\mu}{\sigma_\epsilon} + \mu \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial X_j} \right] \\ + C_1 \frac{\epsilon}{k} G - C_2 \rho \frac{\epsilon^2}{k} - g \beta \frac{\mu}{\sigma_t} \frac{\partial T}{\partial X_2} \end{aligned} \quad (6)$$

여기서 난류생성항  $G$ 는 다음과 같다.

$$G = \mu \left( \frac{\partial U_i}{\partial X_j} + \frac{\partial U_j}{\partial X_i} \right) \frac{\partial U_i}{\partial X_j} \quad (7)$$

이상에서 난류의 유동장이 구해지면 다음식의 온도에 관한 에너지식을 이용하여 수조내의 온도 분포를 계산할 수 있다. 즉,

$$\begin{aligned} \text{에너지 방정식} \\ \frac{\partial(\rho U T)}{\partial X_j} = \frac{\partial}{\partial X_j} \left[ \left( \frac{\mu}{P_r} + \frac{\mu}{\sigma_t} \right) \frac{\partial T}{\partial X_j} \right] \end{aligned} \quad (8)$$

또한, 위의 방정식에서 사용된 모델정수는 다음과 같은 값을 사용하였다.

$$\begin{aligned} C_1 = 1.44 \quad C_2 = 1.92 \quad \sigma_\epsilon = 1.3 \\ \sigma_k = 1.0 \quad C_\mu = 0.09 \quad \sigma_t = 0.7 \end{aligned} \quad (9)$$

### 3.3 경계조건 및 수치계산법

위의 지배방정식을 풀기 위하여 사용된 경계조건은 입구에서의 속도의 경우 유입환수량  $Q$ (Cir./Day)로부터 환산한 값으로 하였으며, 유입속도의 수직성분의 유속은 0으로 하였다. 또한, 유출구에 대하여서는 출구의 방향과 수직인 모든 변수의 기울기는 항상 0이 되는 Neumann조건으로 하였다. 유입구의 온도는 20°C로 하고, 대기면에 접하는

부분은 대기의 온도 15°C로 하였으며 이 외의 5면에 대한 온도는 단열 조건으로 하였다.

이상의 경계조건과 주어진 방정식으로부터 각각의 변수를 구하기 위하여 유한체적법(finite volume method)을 채택하였으며, 압력항의 계산은 SIMPLE 알고리즘을 채택하였고,<sup>(7)</sup> 격자분할은 엇갈림격자를 사용하였고, 격자수는  $X \times Y \times Z = 52 \times (7 \sim 10) \times 52$ 으로 하였다. 여기서 Y방향의 격자는 수조의 깊이 변화에 대응시키기 위함이다. 해의 수렴성의 판정에 관해서는 입구의 운동량 및 유량으로 무차원화 한 각 방향의 운동량 방정식 및 연속의 식의 오차가 0.1% 미만일때를 수렴조건으로 하였다.

### 3.4 수치계산과 양식장예의 적용

실제로 양식업의 현장에서는 다양한 기하학적 형태가 사용되고 있다. 이 중에서도 수평면의 형태가 원형인 것과 사각형, 혹은 사각형의 모서리 부분을 원형처리한 것 등과 같이 유효적절한 공간 활용등의 측면에서 다양한 모양을 사용하고 있다. 본 연구에서는 가장 기초적이고 공간의 경제적 활용도가 높은 사각형에 대하여 한변의 길이가 5m인 수조(유입구 및 유출구의 한 변이 0.2m)에 대하여 환수량과 수조의 깊이를 변화시켜 각각에 대한 수치계산을 하여 유동 및 온도환경에 대하여 비교 검토한다. 또한, 양식어의 활동영역에 관해서는 수조의 바닥 근처에 대한 유동 및 온도가 대단히 중요하므로 이 부분에 대한 유동 및 온도 분포를 중점적으로 조사한다. 실제 양식 현장의 경우, 양식장 유입수를 가온할 시기인 2월 경에는 유입 환수량 Q를 약 10회로 하고 있다. 이 수치는 양식업자들의 다년간 경험에 의한 것으로서 연간 변동하는 해수의 온도(2월에는 약 10°C)와 같은 수치이다. 또한, 수조의 깊이는 수조의 길이  $L=5 \sim 10$ m의 중대형 수조에서 0.5~0.8m( $L=5$ m인 경우,  $d/L=0.1 \sim 0.16$ )로 설치되어 있는 경우가 많다. 따라서, 구체적인 수치계산 변수로서는 1일 유입환수량  $Q(\text{Cir./Day})$ 를 5~20로 변화시키고 동시에 수조의 길이  $d/L$ 를 0.08~0.16으로 변화시켜 각각에 대하여 유동패턴과 온도분포를 비교 검토하였다.

### 3.5 환수량 및 수조깊이 따른 유동 및 온도

Fig.4~Fig.7은 환수량  $Q=10$ 인 경우, 수조깊이  $d=0.4, 0.6$ m에 대한 수조 바닥면에 대한 속도 및 온도분포이다. 속도 벡터의 크기는 유입환수량에 의해 정해지는 유입속도로 각 단면에 대한 속도를 무차원화시켰으며, 온도는 다음의 식에 의한 무차원화된 값을 나타낸다.

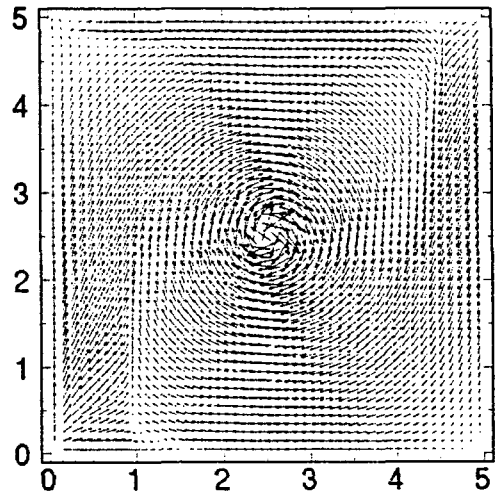


Fig.4 Velocity vectors on X-Z plane,  $d=0.4$ m,  $Y=0.05$ m

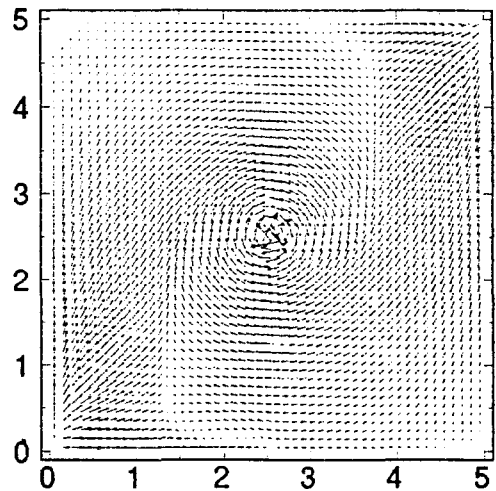


Fig.5 Velocity vectors on X-Z plane,  $d=0.6$ m,  $Y=0.05$ m

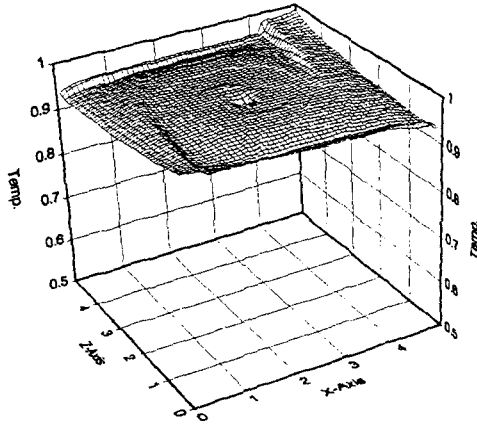


Fig.6 Temperature on X-Z plane,  $d=0.4m$ ,  $Y=0.05m$

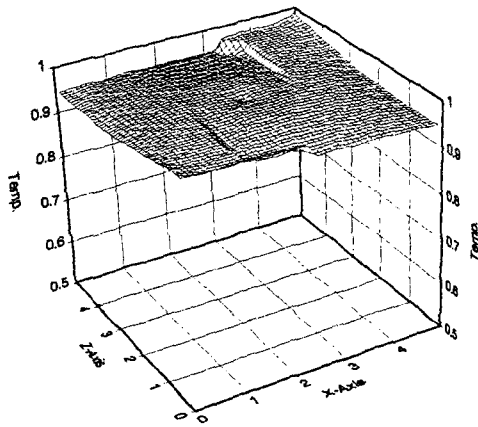


Fig.7 Temperature on X-Z plane,  $d=0.6m$ ,  $Y=0.05m$

$$\frac{T_{i,j,k} - T_{sur}}{T_{in,p} - T_{sur}} \quad (10)$$

여기서  $T_{i,j,k}$ 는 계산된 임의의 위치에 대한 온도,  $T_{sur}$ 은 수조 표면의 대기온도,  $T_{in,p}$ 는 유입구측의 온도를 각각 나타낸다.

수조깊이가 일정하고 유입 환수량이 변할 경우의 속도분포는 상사적인 분포를 유지하면서 증가하였으나, 수조깊이가 변함에 따라서는 유동패턴이 크게 변동하였다. 즉, Fig.4 및 Fig.5와 같이 수조깊이가 깊어지면 유속은 전 단면에 걸쳐서 약화됨을

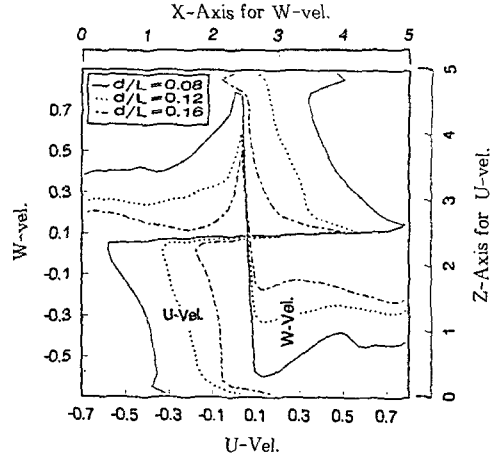


Fig.8 Velocity distribution on X-Z plane with aquarium depth,  $Y/d=0.005$

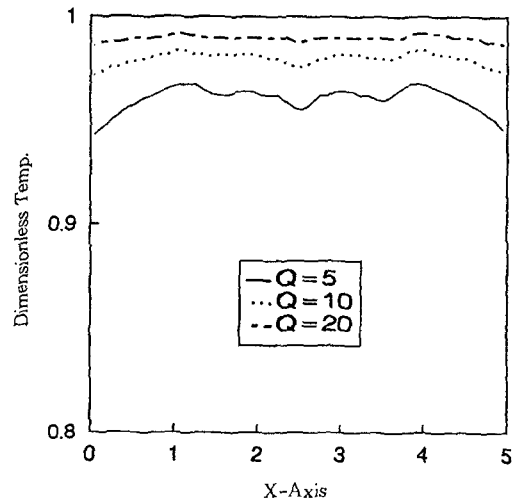


Fig.9 Temperature distribution on X-Z plane with aquarium depth,  $Z/L=0.05$ , center line

알 수 있다. 또한, Fig.6과 Fig.7에서와 같이 급격한 온도기울기가 수조의 중심으로 이동하고 있는 것은 속도 벡터의 방향이 바뀌는 영역과 일치하고 있다.

Fig.8은 유입 환수량  $Q$ 가 10일 경우, 수조 바닥면에 대한 속도를 수조깊이 변화와 함께 나타낸 것이다. 수조의 깊이가 작을수록 큰 속도 분포를 보이고 있어 수조 깊이가 유동 변화에 큰 영향을 미치게 함을 알 수 있다. Fig.9는 수조 및 바닥의 중

심선(Z/L=0.5)에 대한 온도 분포이며 온도는 유량 증가에 따라 증가하는 경향을 보였다.

3.6 환수량 변화에 따른 속도 및 온도 특성식

Fig.10에 유입 환수량 변화에 따른 수조의 바닥(Y=0.05m)의 단면 평균 유속을 나타내었다. 종축의 무차원 속도는 Y=0.05m의 X-Z평면에 대한 각 위치의  $\bar{U} = \sqrt{U^2 + W^2}$ 의 단면 평균치를 의미한다. 즉, 단면 평균 유속은 유입 환수량에 따라서 증가함을 나타내고, 이 속도 증가의 상관식은 유입 환수량 Q의 함수로서 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\bar{U} = a \cdot Q^b \tag{11}$$

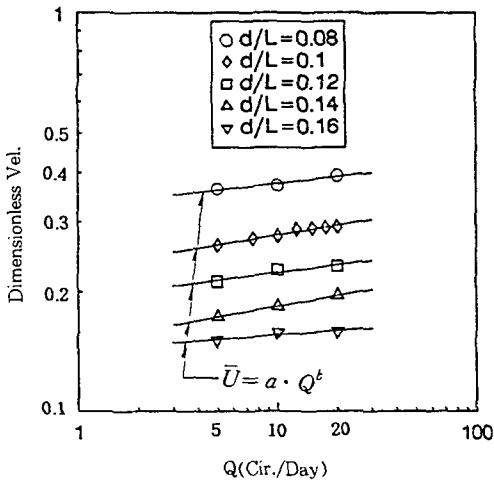


Fig.10 Mean velocity distribution with circulating flow rate

Table 1 Constant values on the mean velocity equation

d/L	a	b
0.08	0.3291	0.0573
0.1	0.2297	0.0826
0.12	0.1924	0.0650
0.14	0.1496	0.0999
0.16	0.1431	0.0372

다음의 Table 1은 단면내 평균 속도 상관식의 계수 a, b의 값을 나타낸다.

Fig.11에 유입 환수량 변화에 따른 수조의 바닥(Y=0.05m)의 단면 평균 온도를 나타내었다. 이 단면 평균온도는 유입 환수량의 증가에 따라서 온도가 상승함을 알 수 있다. 또한, 유입 환수량이 20이상일 경우에는 무차원 온도가 1이 되어 유입구의 고온이 수조전체를 지배함을 나타낸다. 여기서 유입 환수량 Q와 단면 평균온도의 상관식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\bar{T} = a \cdot Q^b \tag{12}$$

이 식의 계수 a, b는 다음의 Table 2와 같다.

Table 2 Constant values on the mean temperature equation

d/L	a	b
0.08	0.9258	0.0224
0.1	0.9244	0.0233
0.12	0.9372	0.0192
0.14	0.9464	0.0162
0.16	0.9550	0.0136

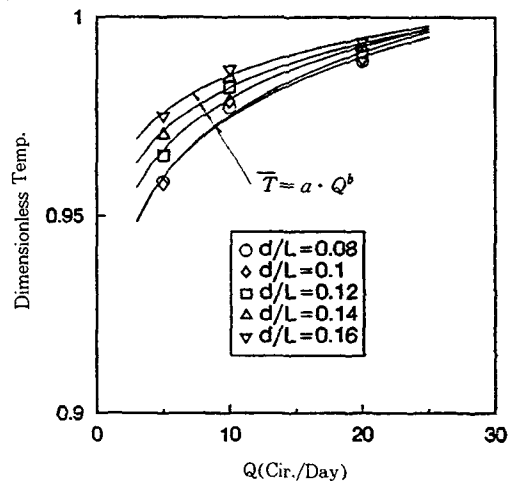


Fig.11 Mean temperature distribution with circulating flow rate

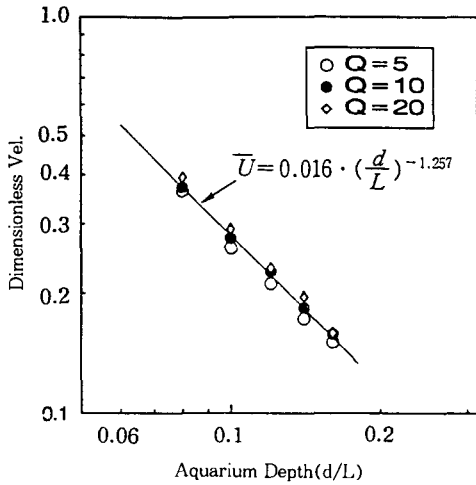


Fig. 12 Mean velocity distribution with aquarium depth

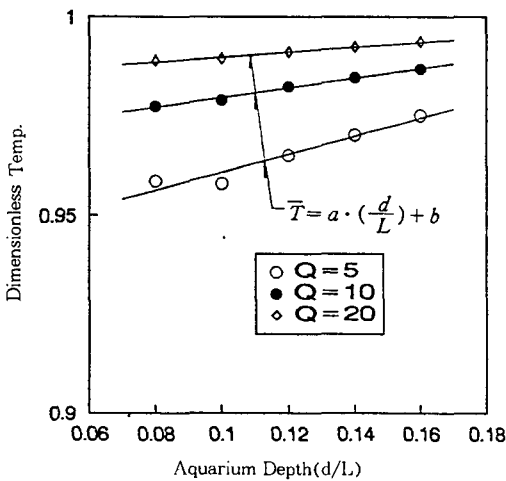


Fig. 13 Mean temperature distribution with aquarium depth

3.6 수조깊이 변화에 따른 유속 및 온도

Fig.12에 수조의 깊이가 변화할때의 수조 밑면 (Y=0.05m)에서의 단면 평균 속도 분포를 나타내었다. 수조깊이의 비 d/L이 작을수록 수조내의 평균 유속이 급격히 상승함을 나타내고 있고 이들은 다음의 수식으로 나타낼 수 있었다.

$$\bar{U} = 0.016 \cdot \left(\frac{d}{L}\right)^{-1.257} \quad (13)$$

이 그림은 수조내의 유속의 크기는 유입 환수량에 의한 것보다는 수조의 깊이가 큰 영향을 미치는 인자임을 알 수 있고, 실제 양식장의 설계에 있어서는 수조의 깊이 설정이 대단히 중요함을 나타낸다.

Fig.13에는 Fig.12의 유속 분포에 해당하는 부분에 대한 단면내 평균 온도 분포를 나타내었다. 이 단면내의 온도는 수조깊이의 비 d/L이 약 0.12까지는 온도가 급강하하지만, d/L이 0.12보다도 클 경우에는 온도가 증가하는 특성을 보였다. 또한, 이 단면내의 평균온도는 다음의 쌍곡선 함수식으로 표시할 수 있다.

$$\bar{T} = a \cdot \left(\frac{d}{L}\right) + b \quad (14)$$

이 식의 계수 a, b는 다음의 Table 3과 같다.

Fig.11~Fig.13을 종합하면, 유입 환수량의 변화에 대한 속도의 증가는 비교적 완만하지만, 수조 깊이에 대한 속도 변화율은 아주 큰 것을 알 수 있고, 온도는 수조의 깊이에 대한 증가와 환수량의 증가에 비례하여 온도가 상승한다. 또한, 수조내의 온도에 관해서는 어느 경우에도 무차원 온도 0.95 이상을 유지하고 있기 때문에 유입수의 높은 온도가 수조전체에 지배적임을 알 수 있다.

따라서 양식 대상의 어종이 비교적 고수온의 환경이 적절한 경우에는 수조의 깊이를 가능한한 깊게 하든지 혹은 환수량을 증가시키므로써 고수온 환경을 유지시킬 수 있다. 그러나 수조내의 무차원 온도가 평균 0.95 이상을 유지하고(Fig.11, Fig.13) 있으므로 이것은 유입수의 고온이 거의 수조 전체에 영향을 미치는 것을 의미한다. 따라서 양식장내의 환경은 유속의 크기에 크게 좌우된다고 볼 수 있다. 즉, 유량의 증가 변화에 대하여 평균 유속의 증가는 약 0.1 정도이지만(Fig.10), 수조의 깊이 변

Table 3 Constant values on the mean temperature equation

Q	a	b
5	0.2275	0.9381
10	0.1225	0.9674
20	0.0625	0.9836



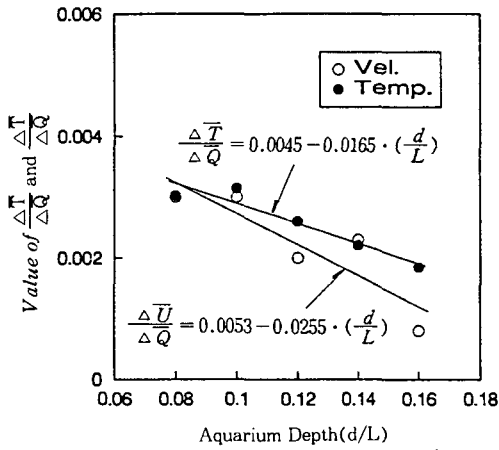


Fig.14 Increment of mean temperature and velocity with aquarium depth

화에 대해서는 유속이 크게 변동함(Fig.12)을 알 수 있다. 따라서 양식어의 특성상 수조내에는 양식어가 먹다 남은 사료, 배설물등의 배출을 효과적으로 할 필요가 있고, 이를 위해서는 수조의 깊이를 가능한한 작게 하여 유속을 크게 하는 것이 양식환경으로서는 최적이라 생각된다.

Fig.14에는 임의의 수조깊이에 대하여 환수량 증가에 대한 단면 평균 온도 및 속도의 증가율을 나타내었다. 유입 환수량이 1Cir./Day 증가함에 따라 단면 평균 유속  $\bar{U}$  및 단면 평균 온도  $\bar{T}$ 의 변화율을 수식으로 표시하였다. 즉, 단면 평균 유속 및 온도에 대한 구체적인 수식은 다음과 같다.

$$\frac{\Delta \bar{U}}{\Delta Q} = 0.0053 - 0.0255 \cdot \left(\frac{d}{L}\right) \quad (15)$$

$$\frac{\Delta \bar{T}}{\Delta Q} = 0.0045 - 0.0165 \cdot \left(\frac{d}{L}\right) \quad (16)$$

또한, 이 그림은 기존의 양식장을 운영하는데 있어서 환수량을 변화시키게 되면 이에 따른 온도 및 속도가 어떻게 변화하는가를 나타내기 때문에 어종이 상이한 양식에 대해서도 수조내의 환경을 예측할 수 있으리라 생각된다.

#### 4. 결 론

동계 혹은 하계철의 육상 양식장으로의 유입수는

온도가 크게 변하고 이에 따라서 유입 환수량도 수시로 변할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 유입 환수량과 수조의 기하학적 형상이 변화할 때 양식장 수조내의 속도 및 온도 분포가 어떻게 변화하는가를 실험 및 수치해석으로 연구한 결과는 다음과 같다.

(1) 모델 수조에 의한 실험과 수치해석을 비교 검토한 결과, 수치해석의 타당성을 검증할 수 있었다. 따라서 본 연구에서 채택한 기하학적 유사형의 각종 수조에 대하여서는 실험 등에 의존치 않고도 수조내의 열 및 유체 환경의 예측이 가능하게 되어 보다 경제적이고 손쉬운 양식장의 기본 설계가 가능하다.

(2) 유입 환수량의 변화보다는 수조의 깊이를 적절히 제어하므로써 다어종 고품질의 양식 환경을 유지할 수 있다.

(3) 동계의 육상 수조식 양식장의 고온화 유지는 수조의 깊이를 가능한 작게 취함과 동시에 유입 환수량을 많게 하는 것이 보다 경제적이고, 양식장내의 청정성 유지를 확보할 수 있다.

(4) 기존의 양식장에서 타어종 양식으로 전환할 경우, 수조내의 온도 및 유속의 변화를 예측할 수 있는 상관식을 도출하였다.

#### 후 기

이 논문은 1996년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구된 결과이며, 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. 국립수산진흥원, 1986, "어류축양핸드북", 제 2호, pp. 165~174.
2. 국립수산진흥원, 1984, "수산기술지", pp. 3~21.
3. 수산양식, 1992. 7월호, "넙치양식발전 방향", pp. 64~76.
4. 수산양식, 1991. 4월호, "질병과 예방", pp. 72~75.
5. 平石智德, 梨本勝昭, 高木 力, 鈴木建吾, 本宋

- 敬一郎, 1995, “網生簀竹内におけるヒラメとスナガレイの流れに対する定位能力”, 日本水産學會誌, 61卷, 3號, pp. 363~368.
6. 高木 力, 梨本勝昭, 1993, “形状と大きさの異なる水槽内における魚群行動について”, 日本水産學會誌, 59卷, 8號, pp. 1279~1287.
  7. Partridge, B. L., 1989, “The structure and function of fish school”, Sci. Am. Vol. 246, pp. 90~99.
  8. Sannomiya, N. and Matuda, K., 1987, “Least squares estimation in fish behavior model”, Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., Vol. 53, pp. 1951~1957.
  9. 秉廣春之, 鈴木 試, 1985, “定置網模型に對する魚群行動實驗およびその解析”, 日本産學會誌, 51卷, pp. 1983~1988.
  10. 井上 實, 王 明彦, 1986, “昇り勾配に對する魚の行動に關する水槽實驗”, 日本水産學會誌, 52卷, pp. 453~458.
  11. 이종섭, 1994, “순환여과식 사육수조의 수리학적 연구”, 한국수산학회지, 27권 2호, pp. 173~182.
  12. Launder, B. E. and Sharma, 1974, “Application of the energy dissipation model of turbulence to the calculation of flow near a spinning disc”, Letters in Heat and Transfer, Vol. 1, pp. 131~138.
  13. Jones, W. P. and Launder, B. E., 1973, “The calculation of low-Reynolds-number phenomena with a two-equation model of turbulence”, Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 16, pp. 1119~1130.
  14. Patel, V. C., Rodi, W. and Scheuerer, G., 1985, “Turbulence models for near-wall and low Reynolds number flows: A Review”, AIAA J., Vol. 23, No. 9, pp. 1308~1319.
  15. 小竹進, 土方邦夫, 1990, “熱と流れ”, (株)丸善 出版, pp. 14~20.
  16. 香月正司, 中山顯, 1990, “熱流動の数値シミュレーション”, 森北出版, pp. 50~54.
  17. Launder, B. E. and Spalding, D. B., 1974, “The numerical computation of turbulent flows”, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, pp. 269~289.
  18. Patankar, S. V., 1984, “Numerical heat transfer and fluid flow”, Hemisphere Publishing corporation.