

3차원 魚群行動 計測 시스템의 開發과 魚群行動의 數值 모델링에 관한 研究*

I. 3차원 魚群行動 計測 시스템

金東守 · 張鎬榮** · 金錫載*** · 金榮燮****

麗水水産大學校, **群山大學校, ***韓國海技研修院, ****釜慶大學校

(1997년 9월 10일 접수)

Studies on the Development of Three-Dimensional Positioning System and Numerical Modeling of Fish Behavior*

I. Three-Dimensional Positioning System for Investigating Fish Behavior

Dong-Soo KIM, Ho-Young CHANG**, Suk Jae KIM*** and Young-Seup KIM****

National Fisheries University of Yeosoo, **Kunsan National University,

Korea Marine Training and Research Institute, *Pukyong National University

(Received September 10, 1997)

Abstract

In order to investigate the fish behavior in the water tank, the three dimensional positioning system with two CCD cameras was designed. The positioning system was tested at the vertical circulation water channel with observational part of 1,500L×1,500W×500H mm and the circular water tank with 2,050 ϕ_1 ×1,850 ϕ_2 ×400H mm.

The observational error of vertical direction was larger than that of horizontal direction, and the observational error became enlarged in all directions according to the increase of depth and distance from the visual axis. The maximum observational errors of horizontal and vertical directions at the circulation channel ranged from -1.7 cm to 1.8 cm (2.4%) and zero to 2.1 cm (4.2%), respectively. But the errors of horizontal and vertical directions at the circular tank ranged from -1.3 cm to 1.3 cm (1.3%) and zero to 1.3 cm (3.3%), respectively.

序 論

魚群行動의 모델링을 위해서는 水槽內에서 3차원 공간을 유영하는 각 個體의 3차원 위치 時系列 데이터가 基礎資料로서 필요하며, 이러한 3차원

위치 時系列 데이터로부터 個體 및 魚群의 遊泳速度, 個體相互間의 最近接距離, 遊泳 깊이, 水槽의 벽과 個體 사이의 距離, 魚群의 3차원적 構造 등을 평가할 수 있다. 그러나, 일반적인 光學 計測器機를 이용한 방법으로는 魚群行動을 분석하기 위

* 이 논문은 1995년도 敎育부 學術연구조성비에 의한 연구 결과의 일부임.

한 연속적인 3차원 위치 時系列 데이터를 取得하기가 쉽지 않으며, 현재 實驗 · 研究用으로 개발되어 있는 畫像解析 시스템(Personal Image Analysis System, Twinkle Laser Sheet 可視化 畫像處理 System 등)은 매우 高價이기 때문에 쉽게 구입하여 사용할 수 없는 실정이다.

魚群의 構造 및 그 行動을 3차원적으로 解析하기 위한 研究로서는 Cullen et al.(1965), Symons(1971), Pitcher(1973), 井上 등(1979), 長谷川 · 坪井(1981), 長谷川 · 添田(1984), Long et al.(1985) 등이 있으며, 最近에는 지 등(1995)이 畫像處理 技法을 이용하여 實驗水槽에서의 移動物體의 運動을 2차원적으로 計測한 바 있다.

水槽內에서의 魚群行動을 3차원적으로 計測하기 위해서는 2대 이상의 카메라를 사용하는 것이 효과적인데, 3차원 計測을 위한 2대의 카메라를 배치하는 방법은 直角方向으로 배치하는 방법과 나란하게 배치하는 방법이 있다. 2대의 카메라를 나란하게 배치하는 방법은 直角方向으로 배치하는 방법에 비해 精度는 다소 낮으나, 圓形水槽와 같이 水槽 벽면에 觀測窓을 만들기 곤란하거나 觀測視野가 制限을 받는 경우에 적합하다.

따라서, 이 研究에서는 魚群行動의 모델링을 위한 個體 및 魚群의 3차원 위치 時系列 데이터의 取得을 용이하게 하기 위하여, 水槽 上部에 視軸을 나란하게 배치한 2대의 高解像 CCD 카메라로 촬영한 映像을 畫像處理하여 水槽內의 3차원 공간에서 游泳하는 각 個體의 3차원 위치를 연속적으로 計測할 수 있는 시스템을 構成하고, 그 實用性을 檢討하였다.

裝置 및 方法

1. 裝置의 構成

魚群行動을 3차원적으로 計測하기 위한 시스템의 構成은 Fig. 1에 나타낸 바와 같다. 水槽 觀測部의 촬영을 위해서는 實驗室 여건 및 實驗水槽의 크기를 고려하여 水槽 上部에 3.5 mm 렌즈(Avenir, SE0354, F1.4)를 부착한 2대의 觀測用 高解像 CCD 카메라(삼성항공, SAC-410ND)를 설치하였으며, Video Time Generator(칠성 엔지

니어링, CVT-600A)를 이용하여 동시에 각각의 畫面에 撮影時刻이 표시되도록 하였다. 魚群行動의 分析을 위한 畫像의 錄畫 및 再生을 위하여 2대의 S-VHS VCR(Victor, HR-X3)을 사용하였으며, Grabber card(두인전자, PCVision & Grabber)를 이용하여 畫像情報(PCX file; 분해능 320×200)로 변환시켜 각각의 컴퓨터(PC 586)의 모니터로 魚群行動을 관찰하면서 HDD에 저장하고, 저장된 畫像을 컴퓨터의 모니터에 出力시켜 각 個體의 位置座標를 mouse로 sampling할 수 있게 하였다.

實驗水槽는 垂直 循環型 回流水槽와 圓形水槽

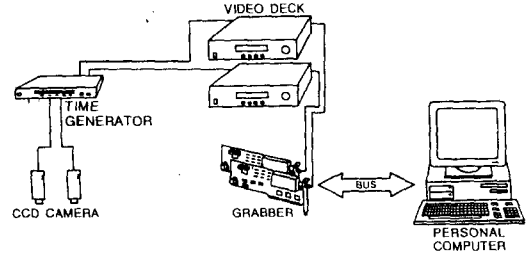


Fig. 1. Schematic diagram of the positioning system.

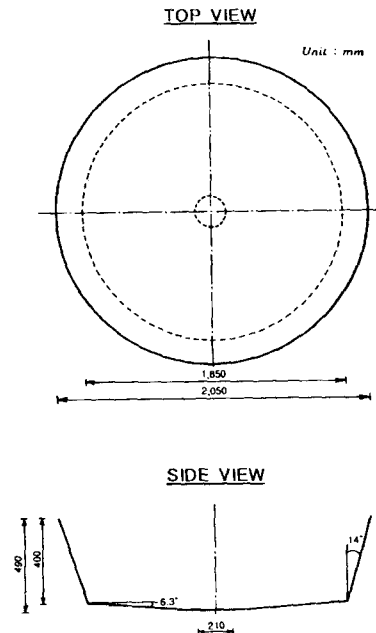


Fig. 2. Construction of the experimental circular water tank.

를 사용하였다. 回流水槽는 李 등(1995)에서 사용한 것과 같으나, 觀測部の 크기를 1,500L×1,500W×500H mm로 하였다. 한편, 圓形水槽의 構造와 크기는 Fig. 2에 나타낸 바와 같다.

두 카메라 사이의 距離는 각각 30 cm와 21 cm가 되도록 하여 水面으로부터 각각 186 cm와 168 cm의 水槽 觀測部 上部에 두 카메라의 視軸이 平行하게 설치하였다.

水槽內的 照明은 觀測部 주위에 照明用 螢光을 세우고, 그 上部에 螢光燈(40W×2)을 설치하여 觀測部 水面上的 照度を 100 lux(CTIS, P-114)로 유지하였다.

2. 解析方法

水面上 m 인 거리에 水面과 수직하게 나란히 설치한 2대의 高解像 CCD 카메라 F_1, F_2 와 水面下 H 의 위치에 있는 물체 A 와의 위치관계를 나타낸 것은 Fig. 3과 같다. 水中에 있는 물체 A 의 3차원 座標는 카메라 F_1 의 視軸과 水面과의 交點을 原點 $O(0, 0, 0)$ 라 하고, 이 原點 O 에서 연장한 두 카메라 렌즈의 중심을 연결한 線分과 직각인 方向을 X 軸, 水面에서 두 카메라 렌즈의 중심을 연결한 線分과 平行한 방향을 Y 軸, 水面에 鉛直한 방향을 Z 軸으로 定하여 다음과 같이 구하였다.

Fig. 3에서 ϕ_1 과 ϕ_2 는 각각 카메라 F_1 과 F_2 에서 물체 A 를 보는 경우의 入射角이며, γ_1 과 γ_2 는 각각의 入射角에 대한 屈折角이다. 두 카메라의 視軸이 水面과 接하는 위치에서 각각의 入射位置 B 와 C 까지의 距離를 y_1 과 y_2 , 각 入射位置 사이의 距離를 y_3 , 물체 A 로부터 Y 軸에 平行한 線分과 B, C 에서 내린 垂線과의 각 交點 D 와 E 까지의 물체 A 로부터의 水平距離를 y_4 와 y_5 라 하고, 두 카메라의 視軸이 水槽의 바닥과 接하는 點을 각각 G 와 I , 카메라 렌즈를 통하여 보는 경우 물체 A 의 바닥에 投影된 위치를 각각 J 와 K 라 하였을 때 G 와 J 사이의 距離는 a_1 , I 와 K 사이의 距離는 a_2 , D 와 E 로부터 각각 바닥으로 내린 垂線이 바닥과 接하는 點으로부터 J 와 K 까지의 距離는 각각 a_y, a'_y 이다.

먼저, 물체 A 와 두 카메라 사이의 位置關係에서 水面으로부터 물체 A 까지의 鉛直距離 H (Z 軸의 座標 z)를 구하면,

i) 물체 A 가 카메라 F_1 과 F_2 사이에 위치할 때 이 경우에는, Fig. 3-1에서

$$y_1 = a_1 - a_y \quad (1)$$

$$y_2 = a_2 - a'_y \quad (2)$$

$$y_3 = y_4 + y_5 = H(\tan \gamma_1 + \tan \gamma_2) \quad (3a)$$

이고, 두 카메라 사이의 距離 F 는

$$F = y_3 + y_3 + y_3 \quad (4a)$$

이므로, 水面으로부터 물체 A 까지의 鉛直距離 H 는 式 (4a)에 式 (1), (2), (3a)를 代입하여

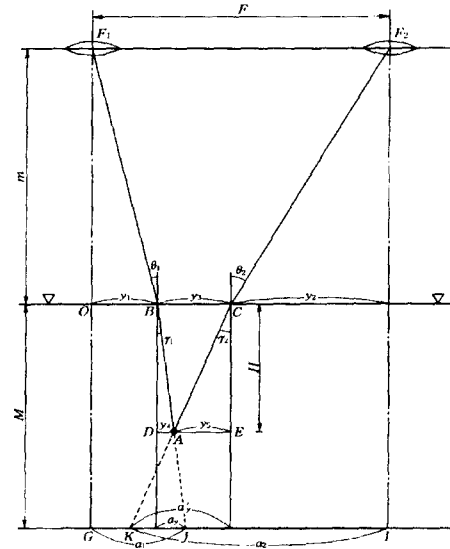


Fig. 3-1. Diagram of the positional correction by the image taken from two CCD cameras when the object in water is located between F_1 and camera F_2 .

A : object, F : distance between two cameras, H : depth of object in water from surface, m : distance from camera to surface, M : distance from surface to bottom.

$$H = \frac{F - (a_1 + a_2)}{\tan \gamma_1 + \tan \gamma_2} + M = M \left\{ \frac{F - (a_1 + a_2)}{a_y + a'_y} + 1 \right\} \quad (5a)$$

에 의해 구할 수 있다.

ii) 물체 A가 카메라 F1의 왼쪽에 위치할 때 이 경우에는, Fig. 3-2에서

$$y_1 = a_1 - a_y \quad (1)$$

$$y_2 = a_2 - a'_y \quad (2)$$

$$y_3 = y_5 - y_4 = H(\tan \gamma_2 - \tan \gamma_1) \quad (3b)$$

이고, 두 카메라 사이의 거리 F는

$$F = y_2 + y_3 - y_1 \quad (4b)$$

이므로, 水面으로부터 물체 A까지의 鉛直距離 H는 式 (4b)에 式 (1), (2), (3b)를 대입하여

$$H = \frac{F + (a_1 - a_2)}{\tan \gamma_2 - \tan \gamma_1} + M = M \left\{ \frac{F + (a_1 - a_2)}{a'_y - a_y} + 1 \right\} \quad (5b)$$

에 의해 구할 수 있다.

iii) 물체 A가 카메라 F2의 오른쪽에 위치할 때 이 경우에는, Fig. 3-3에서

$$y_1 = a_1 - a_y \quad (1)$$

$$y_2 = a_2 - a'_y \quad (2)$$

$$y_3 = y_4 - y_5 = H(\tan \gamma_1 - \tan \gamma_2) \quad (3c)$$

이고, 두 카메라 사이의 거리 F는

$$F = y_1 + y_3 - y_2 \quad (4c)$$

이므로, 水面으로부터 물체 A까지의 鉛直距離 H는 式 (4c)에 式 (1), (2), (3c)를 대입하여

$$H = \frac{F - (a_1 - a_2)}{\tan \gamma_1 - \tan \gamma_2} + M = M \left\{ \frac{F - (a_1 - a_2)}{a_y - a'_y} + 1 \right\} \quad (5c)$$

에 의해 구할 수 있다. 따라서, 水面으로부터 물체 A까지의 鉛直距離 H는 물체 A의 위치에 따라

式 (5a), (5b), (5c)를 이용하여 각각 a_y 와 a'_y 의 값을 결정하면 H를 계산할 수 있다.

다음으로, a_y 와 a'_y 를 구하기 위해서는

$$\sin \theta_1 = \frac{y_1}{\sqrt{m^2 + y_1^2}}, \quad \sin \gamma_1 = \frac{a_y}{\sqrt{M^2 + a_y^2}}$$

이므로, n을 공기에 대한 물의 屈折率이라 하면

$$n = \frac{\sin \theta_1}{\sin \gamma_1} = \frac{y_1 \sqrt{M^2 + a_y^2}}{a_y \sqrt{m^2 + y_1^2}} \quad (6)$$

이다. 따라서,

$$y_1 = \frac{nm}{\sqrt{(M/a_y)^2 + 1 - n^2}} \quad (7)$$

이며, 式 (7)을 式 (1)에 대입하면,

$$a_1 - a_y = \frac{nm}{\sqrt{(M/a_y)^2 + 1 - n^2}} \quad (8)$$

이다.

같은 방법으로 a'_y 는

$$a_2 - a'_y = \frac{nm}{\sqrt{(M/a'_y)^2 + 1 - n^2}} \quad (9)$$

으로 구할 수 있다. 따라서, 式 (8) 및 式 (9)에서 a_1, a_2, n, m, M 은 既知의 값이므로, a_y 및 a'_y 는 逐次代入法으로 구할 수 있다.

또한, Y軸의 座標 y는 Fig. 3에서와 같이 $y_4 = H \cdot \tan \gamma_1 = (H/M)a_y$ 이므로,

$$y = y_1 + y_4 = a_1 - a_y + H \tan \gamma_1 = a_1 - a_y (1 - H/M) \quad (10)$$

이다.

한편, X軸의 座標 x는 畫面上에서 읽은 X軸의 成分을 b_1 이라 하면,

$$x = (b_1/a_1)y \quad (11)$$

에 의해 구할 수 있다.

3. 位置補正

上記의 解析方法에 의해 구해지는 位置座標는 물의 屈折率, 被寫體의 遠近, 被寫體의 視軸으로부터의 偏倚 등은 고려되었으나, 畫像處理에 의한 畫面上의 位置座標는 카메라 렌즈의 曲率에 의한 歪曲, Grabber의 解像度에 따라 畫面을 구성하는 畫素(pixel)의 數, 畫面의 構成比(Aspect ratio) 등이 다르기 때문에 실제 位置座標와 畫像處理에 의한 畫面上의 位置座標 사이에는 복합적으로 誤差가 발생한다. 따라서, 이러한 誤差를 補正하기 위하여, 回流水槽에서는 Fig. 4에 나타낸 바와 같이 카메라 F1의 視軸과 水面이 만나는 점 $C_1'(0, 0, 0)$ 를 原點으로 잡아 觀測部內에 補正點을 설정하였으며, 圓形水槽에서는 Fig. 5 및 Fig. 6에 나타낸 바와 같이 水槽 중앙의 $O'(0, 0, 0)$ 를 原點으로 잡아 水槽內에 補正點을 설정하고, 既知의 각 補正點의 실제 위치와 계산에 의한 위치를 비교하여 誤差가 선형적으로 변하는 區間을 찾아 水中物體가 위치하는 각 區間別로 誤差를 補正하였다. 한편, 畫像處理에 의한 3차원 위치의 解析 및 補正을 위한 프로그램의 흐름도는 Fig. 7에 나타낸 바와 같다.

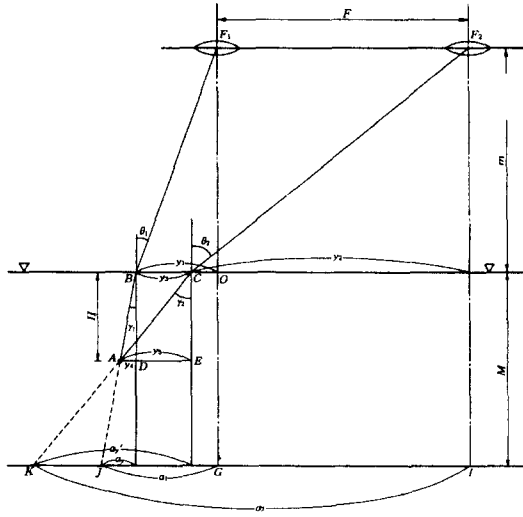


Fig. 3-2. Diagram of the positional correction by the image taken from two CCD cameras when the object in water is located on the left from camera F_1 .

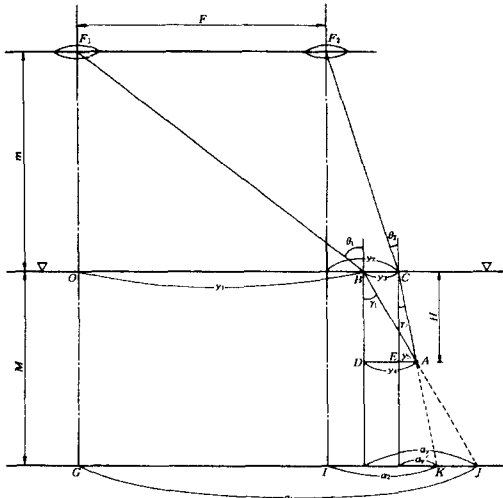


Fig. 3-3. Diagram of the positional correction by the image taken from two CCD cameras when the object in water is located on the right from camera F_2 .

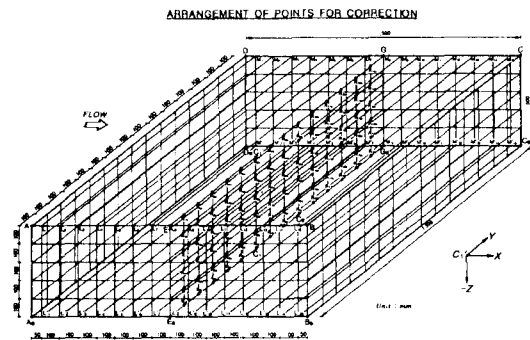


Fig. 4. Arrangement of the established points for the positional correction in the circular water tank.

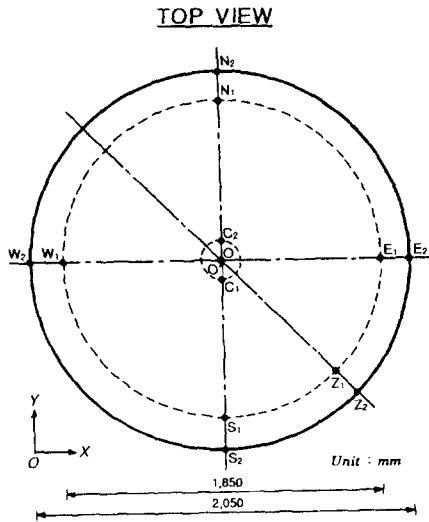


Fig. 5. Top viewed arrangement of the established points for the positional correction in the circular water tank.

ARRANGEMENT OF POINTS FOR CORRECTION

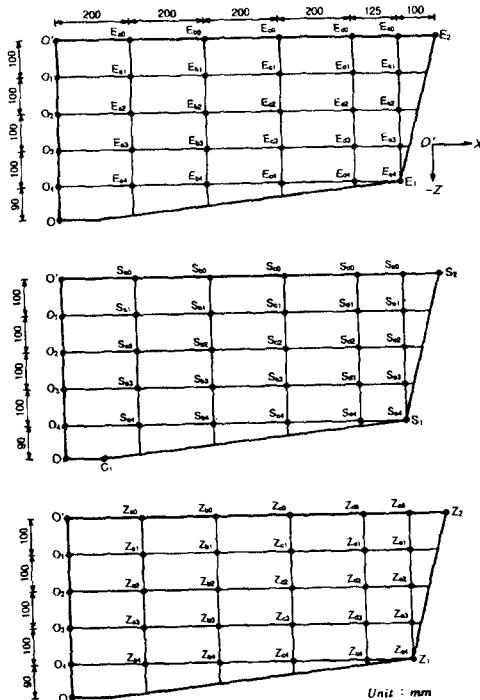


Fig. 6. Front sectional viewed arrangement of the established points for the positional correction in the circular water tank.

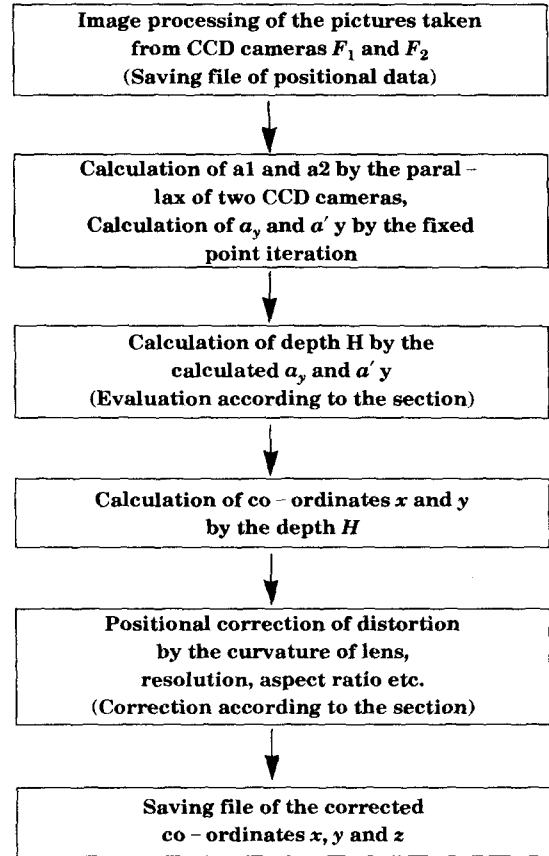


Fig. 7. Flow chart for the calculation of 3-dimensional position by the image taken from two CCD cameras.

結 論

水中의 물체를 空氣中에서 관찰하는 경우에는 공기에 대한 물의 屈折로 인해 실제의 위치와는 차이가 생기게 된다. 屈折率 n 인 液體의 液面下 H 인 깊이에 있는 물체를 鉛直方向과의 角을 이루는 방향에서 보면, 鉛直方向으로는 $-H/n \cos^3 (1 - \sin^2/n^2) - 3/2$ 인 깊이에, 水平方向으로는 $H/n \cos^3 (1 - 1/n^2) \sin^3 (1 - \sin^2/n^2) - 3/2$ 만큼 실제 위치보다 앞쪽으로 당겨진 위치에 있는 것 처럼 보이게 된다(後藤 등; 1967).

水深 및 入射角度에 따른 鉛直方向 및 水平方向의 偏倚距離는 Fig. 8에 나타낸 바와 같다. 즉, 水面으로부터 50 cm의 깊이에 있는 물체를 入射角

$\theta=30^\circ$ 인 方向에서 觀測하는 경우 鉛直方向으로 는 약 33 cm의 깊이에, 水平方向으로는 실제 위치 보다 앞쪽으로 약 1.7 cm당겨진 위치에 있는 것처럼 觀測된다.

한편, 實驗에 사용한 回流水槽 및 圓形水槽에서 의 실제 위치와 2대의 高解像 CCD 카메라를 水槽 上部에 視軸을 나란하게 배치하여 촬영한 映像을 畫像處理하여 구한 위치를 비교한 것은 각각 Table 1 및 Table 2에 나타낸 바와 같다.

回流水槽 觀測部內에서의 偏倚距離는 Table 1 에서와 같이 X軸 成分이 $-1.7 \sim +1.6$ cm, Y軸 成分이 $-1.6 \sim +1.8$ cm, Z軸 成分이 $0 \sim +2.1$ cm 인 것으로 나타나 水平方向과 鉛直方向의 測定誤差는 각각 2.4%, 4.2%로서 圓形水槽에 비해 測定誤差가 다소 큰 것으로 나타났다. 이것은 水面으로부터 觀測 카메라까지의 거리가 圓形水槽에 비해 回流水槽의 경우가 멀고, 測定水深이 깊기 때 문이다.

또한, 圓形水槽內에서의 偏倚距離는 Table 2에 서와 같이 X軸 成分이 ± 1.3 cm, Y軸 成分이 ± 1.0 cm, Z軸 成分이 $0 \sim +1.3$ cm인 것으로 나타나 水平方向과 鉛直方向의 測定誤差는 각각 1.3%,

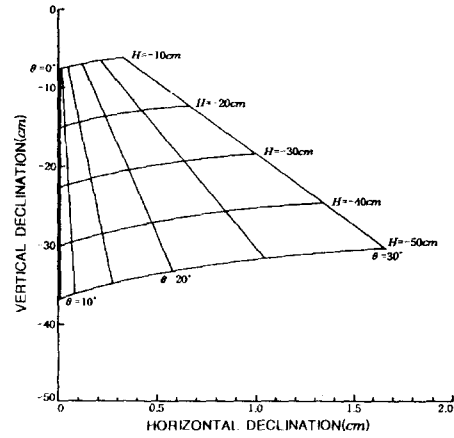


Fig. 8. Declination of the object in water according to the incidence angle(θ) and depth(H).

3.3%로서 鉛直方向이 水平方向에 비해 다소 컸으며, 測定誤差는 對象 物體가 視軸으로부터 멀리 위치할수록, 또 깊은 곳에 위치할수록 커지는 것으로 나타났다. 이것은 對象 物體가 水面으로부터 동일한 깊이에 있다 하더라도 視軸으로부터 멀어 질수록 入射角이 커지므로 屈折角이 커지고, Fig. 8에서와 같이 水平方向에 비해 鉛直方向의 偏倚가 크기 때문이다.

Table 1. Comparison between the practical coordinate and the calculated coordinate by the image taken from two CCD cameras for the circular water tank unit : cm

Practical coordinate			Calculated coordinate			Practical coordinate			Calculated coordinate		
X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
-75.0	-60.0	0.0	-76.1	-60.9	-0.4	-40.0	0.0	0.0	-40.3	-0.1	-0.1
-75.0	-60.0	-50.0	-73.7	-58.9	-51.8	-40.0	0.0	-50.0	-39.2	-0.2	-51.0
-75.0	15.0	0.0	-76.0	15.2	-0.2	-20.0	0.0	0.0	-20.1	0.0	0.0
-75.0	15.0	-50.0	-74.2	14.5	-51.0	-20.0	0.0	-50.0	-19.4	-0.1	-50.9
-75.0	90.0	0.0	-76.6	91.8	-0.6	20.0	0.0	0.0	20.1	0.0	0.0
-75.0	90.0	-50.0	-73.3	88.4	-52.1	20.0	0.0	-50.0	19.4	-0.1	-50.9
0.0	-60.0	0.0	0.2	-60.5	-0.2	40.0	0.0	0.0	40.3	-0.1	-0.1
0.0	-60.0	-50.0	0.5	-59.3	-51.4	40.0	0.0	-50.0	39.2	-0.2	-51.2
0.0	0.0	-50.0	0.1	0.1	-50.8	0.0	-40.0	0.0	0.2	-40.4	-0.1
0.0	30.0	-50.0	0.3	29.4	-51.0	0.0	-40.0	-50.0	0.4	-39.3	-51.1
0.0	90.0	0.0	0.5	91.5	-0.3	0.0	-20.0	0.0	0.1	-20.1	0.0
0.0	90.0	-50.0	0.8	88.6	-51.8	0.0	-20.0	-50.0	0.3	-19.5	-50.9
75.0	-60.0	0.0	76.1	-60.9	-0.4	0.0	20.0	0.0	0.1	20.1	0.0
75.0	-60.0	-50.0	73.7	-58.9	-51.8	0.0	20.0	-50.0	0.3	19.5	-50.9
75.0	15.0	0.0	76.0	15.2	-0.2	0.0	40.0	0.0	0.2	40.3	0.0
75.0	15.0	-50.0	74.2	14.5	-51.0	0.0	40.0	-50.0	0.4	39.4	-51.0
75.0	90.0	0.0	76.6	91.8	-0.6	0.0	60.0	0.0	0.2	60.4	0.0
75.0	90.0	-50.0	73.3	88.4	-52.1	0.0	60.0	-50.0	0.5	59.5	-51.6

Table 2. Comparison between the practical coordinate and the calculated coordinate by the image taken from two CCD cameras for the circular water tank unit : cm

Practical coordinate			Calculated coordinate			Practical coordinate			Calculated coordinate		
X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
0.0	-10.5	-49.0	0.1	-10.2	-49.8	0.0	-20.0	0.0	0.1	-20.1	0.0
0.0	10.5	-49.0	0.1	10.2	-49.8	0.0	-20.0	-40.0	0.2	-19.6	-40.5
102.5	0.0	0.0	103.8	-0.2	-0.2	0.0	-40.0	0.0	0.1	-40.3	0.0
92.5	0.0	-40.0	91.2	-0.8	-41.3	0.0	-40.0	-40.0	0.3	-39.5	-40.6
-102.5	0.0	0.0	-103.8	-0.2	-0.2	0.0	-60.0	0.0	0.1	-60.5	-0.1
-92.5	0.0	-40.0	-91.2	-0.8	-41.3	0.0	-60.0	-40.0	0.4	-59.4	-40.8
0.0	102.5	0.0	0.2	103.5	-0.2	0.0	-80.0	0.0	0.2	-81.0	-0.2
0.0	92.5	-40.0	0.6	91.3	-41.3	0.0	-80.0	-40.0	0.6	-79.0	-41.1
0.0	-102.5	0.0	0.2	-103.5	-0.2	0.0	-92.5	0.0	0.2	-93.5	-0.2
0.0	-92.5	-40.0	0.6	-91.3	-41.3	0.0	-92.5	-40.0	0.6	-91.3	-41.3
20.0	0.0	0.0	20.1	0.0	0.0	14.1	-14.1	0.0	14.2	-14.2	0.0
20.0	0.0	-40.0	19.4	-0.1	-40.6	14.1	-14.1	-40.0	13.5	-13.7	-40.4
40.0	0.0	0.0	40.3	0.0	0.0	28.3	-28.3	0.0	28.5	-28.4	0.0
40.0	0.0	-40.0	39.3	-0.1	-40.6	28.3	-28.3	-40.0	27.6	-27.9	-40.5
60.0	0.0	0.0	60.4	0.0	-0.1	42.4	-42.4	0.0	42.7	-42.7	0.0
60.0	0.0	-40.0	59.2	-0.3	-40.8	42.4	-42.4	-40.0	41.7	-41.9	-40.6
80.0	0.0	0.0	81.1	-0.1	-0.2	56.6	-56.6	0.0	57.0	-57.1	0.0
80.0	0.0	-40.0	79.1	-0.6	-41.1	56.6	-56.6	-40.0	55.9	-56.6	-40.7
92.5	0.0	0.0	93.7	-0.2	-0.2	65.4	-65.4	0.0	66.0	-66.0	-0.1
92.5	0.0	-40.0	91.2	-0.8	-41.3	65.4	-65.4	-40.0	64.6	-64.8	-40.8

이 研究에서의 3.5 mm 렌즈(F1.4)를 부착한 2대의 高解像 CCD 카메라를 이용하여 촬영한 映像을 畫像處理하여 구한 위치의 偏倚距離는 長谷川 · 添田(1984)의 50 mm 렌즈(F1.4 및 F1.8)를 부착한 2대의 카메라를 사용한 結果에 비해 水平方向의 偏倚距離가 다소 큰 것으로 나타났으나, 長谷川 · 添田(1984)의 研究에 비해 測定範圍가 水平方向이 두 배 이상이고 鉛直方向은 비슷하므로 오히려 測定誤差는 작다고 할 수 있다.

計測 시스템의 測定誤差를 더욱 줄이기 위한 方案으로는 水平方向의 誤差는 CCD 카메라의 焦點距離가 가능한 큰 것을 사용하여 카메라 렌즈의 曲率에 의한 歪曲을 줄이는 것이 좋다. 鉛直方向의 誤差는 두 카메라 사이의 距離를 가능한 넓혀 視差를 크게 하여 分解能을 높이고, 카메라의 위치는 가능한 水面으로부터 가까운 곳에 설치하는 것이 좋으나, 實驗室 여건 및 實驗水槽의 크기, 觀測 카메라의 測定範圍 등을 고려하여야 할 것이다. 또한, 解像도가 높은 Frame Grabber를 사용하면 畫像의 分解能이 높아지므로 誤差를 더욱 줄일 수 있을 것으로 생각된다.

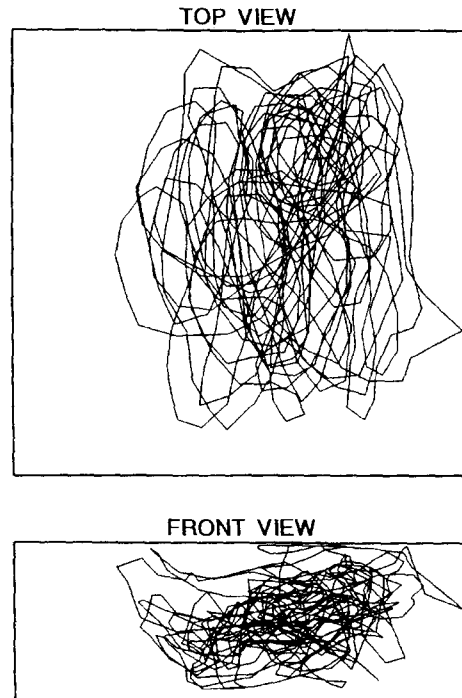


Fig. 9. Swimming trajectory of common minnow in the circular water tank for 5 minutes.

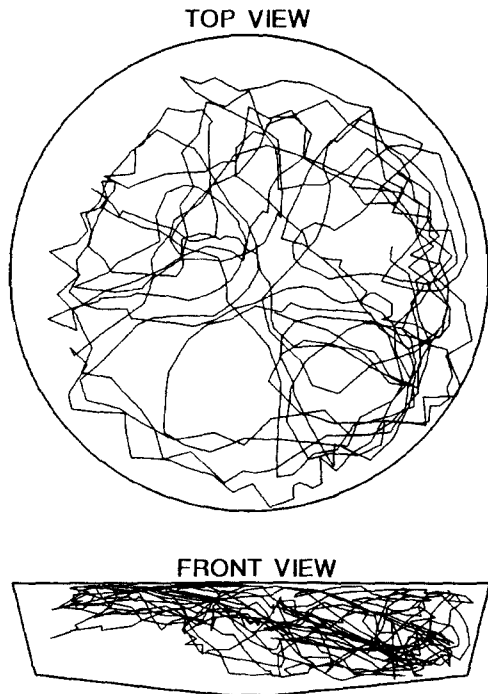


Fig. 10. Swimming trajectory of mullet in the circular water tank for 5 minutes.

한편, Fig. 9 및 Fig. 10는 3차원 魚群行動 計測 시스템을 사용하여 回流水槽와 圓形水槽에서 각각 수영하고 있는 피라미와 송어의 위치를 0.5초 간격으로 計測하여 각 點을 직선으로 연결한 遊泳軌跡의 한 例로 나타낸 것이다.

따라서, 上記한 바와 같이 3차원 魚群行動 計測 시스템은 畫像處理에 의해 水槽內에서 수영하는 個體 및 魚群의 연속적인 위치 計測을 가능하게 하여 魚群行動의 모델링을 위한 각 個體의 3차원 위치 時系列 데이터를 쉽게 取得할 수 있으며, 이러한 3차원 위치 時系列 데이터로부터 個體 및 魚群의 遊泳軌跡, 遊泳速度, 個體相互間의 最近接距

離, 遊泳 깊이, 水槽의 벽과 個體 사이의 距離, 魚群의 3차원적 構造 등의 魚群行動 特性을 효과적으로 分析할 수 있게 된다.

參 考 文 獻

- 李秉錡·李 吳在·張鎬榮·金錫載 (1995): 模型 그물에 대한 魚群行動의 數值 모델링에 관한 研究. 模型 그물이 없는 水槽에서의 무지개송어의 遊泳特性. 한국어업기술학회지, 31(1), 74 - 83.
- 長谷川英一·坪井 均 (1981): 2臺のカメラによる海産魚類の群れ構造の三次元的解析. La mer, 19, 179 - 184.
- 長谷川英一·添田秀男 (1984): 2臺のカメラによる水中物體の3次元座標の求の方. 日水誌, 50(10), 1685 - 1691.
- 井上 實·長谷川英一·有元貴文 (1979): パラタナゴおよびアブラハヤの群れ構造の光學的測定とその解析. La mer, 17, 37 - 49.
- 지명석·김성근·정석권·김상봉 (1995): 화상처리 기법을 이용한 어장 조성효과의 모니터링 시스템 개발, 1. 실험수조에서의 이동물체에 대한 운동계측. 한국수산학회지, 28(3), 309 - 315.
- 後藤憲一·山本邦夫·神吉 健 (1967): 詳細物理學演習, 上卷. 共立出版, 東京, pp. 353 - 354.
- Cullen, J. M., E. Shaw and H. A. Baldwin (1965): Methods for Measuring the Three - Dimensional Structure of Fish Schools. *Anim. Behav.*, 13, 534 - 543.
- Pitcher, T. J. (1973): The Three - Dimensional Structure of Fish Schools in the Minnow, *Phoxinus phoxinus (L.)*. *Anim. Behav.*, 21, 673 - 686.
- Symons, P. E. K. (1971): Estimating Distances between Fish Schoolings in an Aquarium. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 28(11), 1805 - 1806.