

그물漁具의 流水抵抗과 模型守則

3. 模型守則의 樹立 및 理論的 檢討

金 大 安

麗水水産大學校 海洋生産學科

Flow Resistance and Modeling Rule of Fishing Nets

3. Establishment of Modeling Rule and its Theoretical Examination

Dae-An KIM

Department of Marine Science and Technology, Yosu National Fisheries University, Yosu 550-749, Korea

The problems in the existing modeling rules for fishing nets, especially in the Tauti's rule which had been used most commonly, were investigated and it was found that the rules could not give a good similarity between the prototype and model nets because they did neither analyze the flow resistance of nets accurately nor decide the ratio of flow velocity between the two nets properly. Thus, the modeling rule was newly derived by regarding the nets as holey structures sucking water into their mouth and then filtering water through their meshes as in the previous paper. The similarity conditions obtained, between the two nets distinguished by subscript 1 and 2, are as follows;

$$\frac{d_2}{d_1} = \sqrt{\frac{l_2}{l_1}}, \quad \frac{N_2}{N_1} = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^{1.5} \frac{L_2}{L_1}, \quad \varphi_1 = \varphi_2, \quad \frac{d_{r2}}{d_{r1}} = \sqrt{\frac{L_2(\rho_{r1} - \rho_{w1})}{L_1(\rho_{r2} - \rho_{w2})}}$$

$$\frac{N_{s2}}{N_{s1}} = \frac{W_{s1}}{W_{s2}} \left(\frac{L_2}{L_1}\right)^2, \quad v_1 = v_2 \quad \text{and} \quad \frac{R_2}{R_1} = \left(\frac{L_2}{L_1}\right)^2,$$

where L is the length of nettings, d the diameter of netting twines, $2l$ the mesh size, 2φ the angle between two adjacent bars, N the number of meshes at the sides of nettings, d_r the diameter of ropes, ρ_r the specific gravity of ropes, w_s the weight in water of one piece of float or sinker, N_s the number of floats or sinkers, v the flow velocity, and R the flow resistance of net. In the case where the model experiments aim at investigating the influence of weight in water of nettings on their shapes in nets subjected to the water flow of very low velocity, however, the following condition is added;

$$\frac{\rho_2 - \rho_{w2}}{\rho_1 - \rho_{w1}} = \frac{d_1}{d_2}.$$

where ρ is the specific gravity of netting twines.

Key words : fishing nets, similarity conditions, scale effect

緒 論

그물漁具의 模型守則은 Tauti (1934)에 의해 최초로 제시되었는데, 이 守則은 理論的으로 매우 具體的이고 小型의 模型까지 자유 자재로 製作·實驗할 수 있는 長點을 지닌다고 하여, Kawakami (1964)에 의해 줄 및 附屬具와 加速度를 無視할 수 없는 경우에 대해 擴張되는 등 그물漁具의 模型實驗에 널리 이용되어 왔다. 그러나, Tauti (1934)의 守則에 의한 模型實驗에서는 實物과 模型間에 誤差가 常存하였고 이 誤差는 模型이 작아질수록

두드러졌기 때문에, Kawakami (1964)는 그 原因이 縮尺比 影響에 있다고 하여 縮尺比는 經驗적으로 1/20 이상인 것이 바람직하다고 하였고, Miyazaki (1964-2)와 Kim (1979)은 Tauti (1934)의 守則에서 레이놀즈數의 影響이 無視된 때문이라고 하여, 각기 레이놀즈數의 影響을 고려한 補正則을 제시하였다. 한편, Fridman (1969)은 一般 流體 力學에서의 模型法則을 이용하여 레이놀즈數와 프roids數를 동시에 만족하는 方法을 제시하였으나, 이는 Tauti (1934)의 守則에서 레이놀즈數의 影響을 고려한 것에 지나지 않으며, 이 밖에도 Dickson (1954)의 研究가 있으나

Tauti (1934)의 守則보다도 具體的이지 못하다.

結局, 그물漁具의 模型守則은 Tauti (1934)의 守則과 그에 대한 補正則으로 綜合할 수 있는데, 이들 補正則들은 모두가 완벽하다고 인식되지 못하고 있기 때문에, Tauti (1934)의 守則은 問題點을 인정하면서도 아직도 그물漁具의 模型實驗에 그대로 이용되고 있는 實情이다. 따라서, 本 研究에서는 그물漁具의 模型守則에 관한 지금까지의 研究들을 종합하여 Tauti (1934)의 守則을 중심으로 問題點들을 檢討·分析하고, 前報 (Kim, 1995-1, 2)에서 구한 抵抗 理論에 근거하여 模型守則을 새로이 樹立하였으며, 이 守則과 既存의 守則들과의 差異點 및 實物과 模型間에 誤差를 유발하지 않는 模型實驗의 方法에 대해 考察하였다.

既存의 模型守則 檢討

Tauti (1934)는 그물을 構成하는 各各의 매듭과 발이 모두 相互干涉 없이 獨立的으로 流水抵抗을 받고 그 抵抗은 레이놀즈數 R_c 의 影響을 받지 않으며, 그물의 水中 形狀은 그물 各部에 作用하는 流水抵抗과 水中 무게와의 比에 따라 결정된다고 간주하고, 그물감의 길이를 L , 그물실의 지름 및 比重을 各各 d 및 ρ , 그물코의 크기 및 展開角을 各各 $2l$ 및 2ϕ , 流速을 v , 流水抵抗을 R 이라 할 때, 實物 그물(添字 1)과 模型 그물(添字 2)과의 相似關係를

$$\frac{d_1}{l_1} = \frac{d_2}{l_2}, \quad (1)$$

$$\phi_1 = \phi_2, \quad (2)$$

$$\frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{d_2(\rho_2-1)}{d_1(\rho_1-1)}} \quad (3)$$

및

$$\frac{R_2}{R_1} = \left(\frac{L_2}{L_1}\right)^2 \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^2 \quad (4)$$

으로 規定하였다.

한편, Tauti (1934) 以後의 研究들은 模型守則의 展開過程에서는 서로 약간씩 다르기는 하나, 窮極的으로는 모두가 Tauti (1934)의 守則에서 무시된 R_c 의 影響을 삽입한 것으로 集約할 수 있다. 즉, Miyazaki (1964-2)는 흐름에 수직으로 놓인 平面 그물감의 流水抵抗이 R_c 의 影響을 크게 받아 $v^{1.7}$ 에 비례한다는 것을 보고, Tauti (1934)의 守則에 대한 補正則으로

$$\left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{1.7} = \frac{d_2(\rho_2-1)}{d_1(\rho_1-1)} \quad (5)$$

를 提示하였으며, Fridman (1969)은 프로이드數 F 의 相

似를 (3)式으로 규정하고 R_c 의 相似는 물의 動粘性係數 ν 가 一定하다고 할 때

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{d_1}{d_2} \quad (6)$$

이라고 하여 (3)式과 (6)式을 동시에 만족하는 方法에 대해 考察하였다. 이들에 비해, Kim (1979)은 역시 ν 가 일정하다고 할 때 그물감의 抵抗係數가 $(dv)^{-m}$ 에 비례한다고 보고 流速比를

$$\left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{2-m} = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^{1+m} \frac{(\rho_2-1)}{(\rho_1-1)} \quad (7)$$

으로 定하였으며, m 의 값은 그물의 構造, 規格 등에 따라 달라지므로 模型實驗으로부터 구해야 한다고 하였다.

以上の 守則들을 檢討해 볼 때, 먼저 Tauti (1934)의 것은 그물의 流水抵抗 解析에서 크게 문제되는 것 같다. 즉, Tauti (1934)는 그물을 구성하는 各各의 매듭과 발이 모두 獨立的으로 抵抗을 받는다고 假定함으로써, 매듭과 발 各各間에 相互干涉을 일으키게 하는 伴流의 影響을 무시하고 R_c 에 관한 그물감의 대표치수도 발의 지름 d 로 선정하였으며, R_c 의 影響도 완전히 무시해버렸는데, 伴流의 影響을 무시할 수 없다는 것은 前報 (Kim, 1995-1, 2)에서 구체적으로 확인되었고, 그물감의 대표치수로서 발의 지름 d 가 적합하지 못하다는 것은 Miyazaki (1964-1)에 의해 지적된 바 있으며, 특히 前報 (Kim, 1995-1, 2)에서는 그물이 매듭과 발의 단순한 集合體가 아니라 그것의 領域圈 內로 물을 流入하였다가 領域圈 밖으로 透過시키는 하나의 有孔性 構造物이라는 것이 확인됨으로써, 그물감의 대표치수도 그물코의 面積에 대한 발의 體積의 比로 定하였을 때 R_c 의 相似가 매우 잘 성립한다는 것을 볼 수 있었다. 따라서, Tauti (1934)의 守則은 R_c 에 관한 그물감의 대표치수 選定에서도 적절하지 못하였지만, 더욱 크게 문제되는 것은 R_c 의 影響 자체를 무시해버린 것이라고 볼 수 있다. 즉, Tauti (1934)가 規定한 (3)式에 의하면 $d_2 < d_1$ 이어야 하므로 항상 $v_2 < v_1$ 이 되어야 하는데, 一般 流體力學에서는 R_c 의 影響이 무시되지 않을 경우 $v_2 > v_1$ 으로 하는 것이 慣例이기 때문에, 아무런 補正策 없이 항상 $v_2 < v_1$ 으로 하다 보면 R_c 의 影響이 무시되지 않을 경우 매우 큰 誤差를 誘發할 수가 있다. 물론, 前報 (Kim, 1995-1, 2)에서도 R_c 의 影響은 그다지 크지 않은 것으로 나타났으나, 실제로 사용되고 있는 그물감은 그 規格 및 操作 流速에 따라 R_c 의 값이 매우 다양하고 模型 漁具用 그물감까지를 함께 생각하면 더욱 그러하기 때문에, R_c 의 값을 매우 크게 해서 그 影響이 무시되는 경우에 限定해서 행하는 實驗이라면 문제되지 않을 수도 있으나, 그렇지 않은 大部分의 경우는 R_c 의 影響을 무시해서는 안된

다고 볼 수 있다.

따라서, Tauti (1934)의 守則에 의하고서는 그물의 流水抵抗에 誤差가 생길 수 밖에 없고, 그로 인해 그물의 水中 形狀도 차이날 수 밖에 없다고 볼 수 있는데, 이에 못지 않게 문제되는 것은 불충분한 資料로써 그물의 流水抵抗을 단순한 형태로 결론지어버린 것이라고 볼 수 있다. 즉, 그물漁具에 대한 模型實驗의 目的은 實物보다 작은 模型을 사용하여 實物의 水中 形狀과 流水抵抗을 推定하려는 데에 있고 그 中에서도 더 복잡하고 중요한 것은 流水抵抗이라고 볼 수 있는데, Tauti (1934)는 그물의 流水抵抗에 대해 복잡한 사항은 모두 무시해버리고 形狀이 일정할 경우 항시 v^2 에 비례한다고 단정해버렸기 때문에, 그물漁具의 流水抵抗에 대한 더 나은 解析을 가로막는 要因이 되었을 뿐만 아니라 模型實驗의 根本 目的에서도 벗어났다고 볼 수 있다.

또한, Tauti (1934)의 守則에서는 그물감의 水中 形狀이 그것에 作用하는 流水抵抗과 水中 무게와의 比에 따라 결정된다고 간주하고, 그 比를 이용하여 實物과 模型과의 流速比를 구하였는데, 이 方法에도 問題가 있는 것 같다. 즉, 그물감은 어떤 것이든지 그 固有의 무게가 있고 流水 中에 놓이면 抵抗을 받는 것이 사실이나, 어떤 그물이든지 바람직한 水中 形狀의 유지를 위해 뜰줄·발줄에서의 浮力·沈降力을 그물감의 水中 무게보다 훨씬 크게 하는 것이 보통이고, 그로 인해 그물의 入口 또는 領域圈의 크기는 기본적으로 뜰줄·발줄에서의 浮力·沈降力에 의해 결정되며, 그물감은 뜰줄·발줄이라고 하는 骨格 內에서 流水抵抗을 받아 變形할 뿐이기 때문에, 이 과정에서 그물감의 水中 무게가 形狀의 決定에 중요한 역할을 한다고 보기는 곤란하다. 물론, 流速이 극히 작아서 그물감이 충분히 展開되지 못하고 느슨해져 있을 경우는 水中 무게에 따라 形狀이 달라질 수도 있으나, 어떤 그물감도 流水抵抗이 作用하기만 하면 쉽게 날려 展開될 수 밖에 없고, 그물감이 충분히 展開되어 더 展開될 여유가 없다면 긴장하기 시작하여 張力이 생기기 때문에, 이 때에는 水中 무게가 차이난다 할지라도 形狀은 거의 달라지지 않는다고 볼 수 있다. 따라서, 그물감의 形狀이 水中 무게에 의해 달라지는 것은 張力이 생기지 않을 정도로 流速이 극히 작은 경우에 限하고, 流速이 어느 정도로 커져서 張力이 생길 때는 水中 무게에 따른 形狀의 差異는 거의 없어진다고 볼 수 있는데, 張力이 생기지 않을 정도로 流速이 작을 때의 形狀은 그물의 性能上 아무런 중요성을 가지지 못하기 때문에, 일반적인 경우에 있어서의 그물감의 水中 形狀은 그것에 作用하는 流水抵抗과 水中 무게에 의해 결정된다고 볼 것이 아니라, 그

것에 作用하는 流水抵抗과 뜰줄·발줄에서의 浮力·沈降力에 의해 결정된다고 보는 것이 더 낫다 하겠다.

따라서, 그물漁具의 模型實驗에서 그물감의 水中 무게의 影響을 고려해야 하는 것은 流速이 극히 작아서 流水抵抗이 水中 무게보다 작고 그것도 構成 材料의 變경에 따른 그물 形狀의 變化를 調査할 때와 같이 水中 무게의 影響 자체를 調査 對象으로 하는 특별한 경우에 限해야 한다고 볼 수 있으며, 그것을 제외한 대부분의 경우는 水中 무게의 影響을 무시하는 것이 좋다고 볼 수 있다. 그러나, Tauti (1934)의 守則에서는 이와 같은 특별한 경우만에 限해 고려해야 하는 그물감의 水中 무게를 一般 模型實驗 全體에 대해 고려하고 그로부터 實物과 模型과의 流速比를 정하였기 때문에, 그물漁具의 性質을 충분히 적용하지 못하였다고 볼 수 있을 뿐만 아니라, 그물감의 水中 무게가 무시되어 形狀이 차이어나지 않는 대부분의 경우에도 d_2/d_1 또는 ρ_2/ρ_1 의 값이 달라지지만 하면 (3) 式에 의해 v_2/v_1 의 값을 달리 해야 하기 때문에, 그로 인한 誤差를 피할 수 없다 하겠다. 結局, Tauti (1934)의 守則은 이러한 流速比에 따른 誤差 뿐만 아니라 前記했던 流水抵抗에서의 誤差도 함께 포함하고 있는 셈이므로, 全體的인 誤差는 경우에 따라 豫想 外로 커질 수 있다 하겠는데, 지금까지는 이러한 誤差를 그물실의 硬度 등에 기인한 縮尺比 影響 때문이라고 생각하여, 前記했던 바와 같이 縮尺比를 가능한 限 크게 할 것이 要求되기도 하였고 (Kawakami, 1964), 그물감 硬度의 影響을 數值化하려는 努力이 가해지기도 하였으나 (Machii, 1967; Nakajima, 1968), 以上の 檢討 結果로부터 볼 때 그 原因은 縮尺比 影響에 있는 것이 아니라 Tauti (1934)의 守則 자체에 있다는 것이 명백하기 때문에, Tauti (1934)의 守則에 의하고서는 縮尺比 影響을 定量化시키기가 곤란하다고 볼 수 있다.

한편, Tauti (1934)以後의 Fridman (1969)과 Miyazaki (1964) 및 Kim (1979)은 모두가 R_c 의 影響을 고려하긴 하였으나 대표치수의 選定에서부터 問題가 있고, 또 모두가 流速 v 의 比를 그물실의 지름 d 와 比重 ρ 로 구함으로써 그물감 各部의 매듭과 발이 모두 獨立的으로 抵抗을 받아 그것의 水中 무게와 함께 그물감의 形狀과 抵抗을 결정한다고 본 Tauti (1934)의 假定에서 벗어나지 못하였기 때문에, Tauti (1934)의 守則에서 생기는 誤差를 근본적으로 해결하지는 못하였다고 볼 수 있다. 따라서, 그물漁具의 模型守則은 流水抵抗을 비교적 명확하게 解析한 前報 (Kim, 1995-1, 2)의 結果에 근거하여 樹立하는 것이 바람직하다 하겠다.

模型守則의 樹立

前報 (Kim, 1995-1, 2)에 의하면, 그물을 그것의 領域圈 內로 물을 流入한 後 領域圈 밖으로 透過시키는 하나의 有孔性 構造物로 간주하고, 그물 壁의 面積 S를 基準面積으로 택하여 流速 v에서 받는 流水抵抗 R을

$$R = k S v^2 \tag{8}$$

으로 표시할 경우, 抵抗係數 k는 領域圈 內로의 물의 流入 程度와 領域圈 밖으로의 물의 透過 程度에 따라 달라지며, 이들 中 물의 流入 程度는 그물 入口의 斷面積을 S_m 이라 할 때 S_m/S 에 따라 달라지고, 물의 透過 程度는 흐름에 수직인 平面에 대한 그물의 總 投影面積을 S_n 이라 할 때 S_n/S_m 및 레이놀즈數 R_e 에 따라 달라지기 때문에,

$$k = f \left(R_e, \frac{S_m}{S}, \frac{S_n}{S_m} \right) \tag{9}$$

으로 주어진다.

따라서, 實物 그물과 模型 그물이 幾何學的 및 力學的으로 相似를 이루어 $k_1=k_2$ 가 되기 위해서는

$$R_{e1}=R_{e2}, \tag{10}$$

$$\frac{S_{m1}}{S_1} = \frac{S_{m2}}{S_2} \tag{11}$$

및

$$\frac{S_{n1}}{S_{m1}} = \frac{S_{n2}}{S_{m2}} \tag{12}$$

를 동시에 만족하도록 두 그물이 構成·操作되어야 하는데, 이들에서 R_e 와 S_m 및 S_n 은 모두 流速 v에 따라 크게 달라지므로, 이들 條件들을 동시에 만족하기 위해서는 우선 두 그물이

$$v_1=v_2 \tag{13}$$

를 만족한 상태에서 操作된다는 것을 前提로 하고 그물의 各部 規格이 정해져야 한다. 따라서, 이러한 前提下에서 먼저 (10)式的 關係부터 보면, R_e 는 그물감의 代表 치수를 λ , 물의 動粘性係數를 ν 라 할 때 $R_e=\lambda v/\nu$ 로 주어지고, λ 는 그물코의 面積에 대한 網의 體積의 比로 주어져서 그물실의 지름을 d , 그물코의 크기 및 展開角을 各各 $2l$ 및 2ϕ 라 할 때,

$$\lambda = \frac{\pi d^2}{2l \sin 2\phi} \tag{14}$$

으로 표시되므로 (Kim, 1995-1, 2), R_e 를 (10)式에 대입하되

$$\phi_1=\phi_2 \tag{15}$$

를 만족하게 하고, 대부분의 경우 $v_1=v_2$ 라는 것을 생각하면

$$\frac{d_2}{d_1} = \sqrt{\frac{l_2}{l_1}} \tag{16}$$

가 얻어진다.

다음, (11)式에 있어 S_2/S_1 는 그물의 代表치수 L의 比, 즉 縮尺比를 L_2/L_1 라 할 때 반드시

$$\frac{S_2}{S_1} = \left(\frac{L_2}{L_1} \right)^2 \tag{17}$$

이어야 하므로, (12)式과 함께 보면

$$\frac{S_{m2}}{S_{m1}} = \frac{S_{n2}}{S_{n1}} = \left(\frac{L_2}{L_1} \right)^2 \tag{18}$$

이 성립되어야 하며, 이들을 만족하기 위해서는 우선 實物과 模型의 各 邊의 길이 的 比를 縮尺比와 같게 할 것이 필요하다. 그러나, 그물은 全體的으로 柔軟하여 S_m 은 그물 入口에 작용하는 外力, 즉 入口에 놓인 網대줄과 附屬具의 水中 무게에 의해 생기는 入口 展開力과 그물감으로부터 전달되는 張力에 의해 결정되고, S_n 은 그물감의 規格과 흐름에 대한 그물감의 迎角 θ 에 의해 결정되며, 이 경우 θ 는 S_m 에 의해 결정되기 때문에, (18)식을 완전히 만족하기 위해서는 實物과 模型間의 入口 展開力의 比를 그물감에 의한 張力의 比와 같게 하고, θ 가 미리 정해진 것으로 간주하여 S_{n2}/S_{n1} 를 $(L_2/L_1)^2$ 과 같게 해주어야 한다. 따라서, 入口 展開力에 해당하는 網대줄의 水中 무게와 附屬具의 水中 무게를 各各 W_r 및 W_a 라 하고, 그물감에 의한 張力은 주로 그것에 작용하는 流水抵抗 R에 의해 결정된다고 보면, (8)式으로부터 R의 比는 (18)式을 모두 만족할 경우 $k_1=k_2$ 가 되어

$$\frac{R_2}{R_1} = \left(\frac{L_2}{L_1} \right)^2 \tag{19}$$

으로 주어지므로,

$$\frac{W_{r2}}{W_{r1}} = \frac{W_{a2}}{W_{a1}} = \left(\frac{L_2}{L_1} \right)^2 \tag{20}$$

이 성립해야 하고, 여기서 網대줄의 지름과 길이 및 比重을 各各 d_r, l 및 ρ_r , 附屬具 하나의 水中 무게 및 갯수를 各各 w_a 및 N_a , 물의 比重을 ρ_w 라 하면, W_r 와 W_a 는 各各

$$W_r = \frac{\pi}{4} d_r^2 l_r (\rho_r - \rho_w) \tag{21}$$

및

$$W_a = w_a N_a \tag{22}$$

로 주어지므로, 이들을 (20)式에 대입하면

$$\frac{l_2}{l_1} = \frac{L_2}{L_1} \tag{23}$$

$$\frac{d_{r2}}{d_{r1}} = \sqrt{\frac{L_2(\rho_{r1} - \rho_{w1})}{L_1(\rho_{r2} - \rho_{w2})}} \tag{24}$$

및

$$\frac{N_{a2}}{N_{a1}} = \frac{w_{a1}}{w_{a2}} \left(\frac{L_2}{L_1} \right)^2 \quad (25)$$

이 얻어진다. 한편, S_n 은 θ 가 S_m 에 의해 미리 결정되어졌고 ϕ 도 (15)식에 의해 미리 결정되었기 때문에, 各部 그물감의 가로 칸수 또는 세로 칸수를 N 이라 하면,

$$S_n \propto d l N^2 \quad (26)$$

로 주어지며, 이것을 (18)식에 대입하되 (16)식을 적용하면

$$\frac{N_2}{N_1} = \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^{1.5} \frac{L_2}{L_1} \quad (27)$$

이 얻어진다.

結局, 實物과 模型과의 幾何學的 및 力學的 相似는 以上の 條件들을 모두 만족함으로써 얻어지게 되는데, 특별한 경우, 예를 들면 操作 流速이 매우 작은 값으로 限定되는 그물에 있어서 그물감의 水中 무게의 差異에 따른 影響을 調査할 때와 같이, 그물 入口에 전달되는 그물감으로부터의 張力이 그물감의 流水抵抗만에 의해 결정되지 않고 流水抵抗과 水中 무게에 따라 결정된다고 보아야 할 경우는 그물감의 水中 무게 W_n 의 비가 (20)식에서와 같이

$$\frac{W_{n2}}{W_{n1}} = \left(\frac{L_2}{L_1} \right)^2 \quad (28)$$

으로 주어져야 하고, 여기서 W_n 은 近似的으로

$$W_n = \pi d^2 l (\rho - \rho_w) N^2 \quad (29)$$

으로 표시되며, 이것을 (28)식에 대입하되 (16)식과 (27)식을 적용하면

$$\frac{\rho_2 - \rho_w}{\rho_1 - \rho_w} = \frac{d_1}{d_2} \quad (30)$$

이 얻어지므로, 이 條件을 追加로 만족해야 한다. 그러나, 이 경우는 纖維 種類別로 ρ 값이 한정되어 있어서 ρ_2 의 選擇 幅이 매우 좁기 때문에, $\rho_2 > \rho_1$ 이 되도록 ρ_2 를 미리 정하여 d_2 를 구하고, (16)식에 의해 l_2 를 구하며 (27)식에 의해 N_2 를 구하는 것이 좋다 하겠다.

考 察

本 研究에서 樹立한 以上の 守則을 Tauti (1934)의 守則과 比較하면, 實物과 模型과의 相似를 결정하는 要素로서 Tauti (1934)의 守則에서는 하나의 그물을 구성하는 各部 그물감에 대한 流水抵抗과 水中 무게를 생각하였는데 비해, 本 研究에서 樹立한 守則에서는 하나의 그물全體에 대한 물의 流入·流出 特性을 생각하였다는 것이 크게 다르나, 구체적으로 보면 Tauti (1934)의 守則에 비

해 그물실의 지름 d 와 그물코의 크기 $2l$ 을 정하는 데 있어 (1)식 대신에 (16)식을 사용한 것과 流速 v 의 비를 (3)식 대신에 (13)식으로 規定함으로써 그물의 流水抵抗 R 및 入口 展開力 W 의 비를 (4)식 대신에 (19)식 및 (20)식으로 規定한 것 및 (20)식에서와 같이 一般의 경우에는 그물감의 水中 무게를 완전히 무시해버리고 그 무게를 무시할 수 없는 특별한 경우만에 限해 (30)식을 만족하게 한 것이 특히 다르다.

以上에서 (1)식 대신에 (16)식을 사용한 것은 模型 그물감의 規格을 정하는 데 있어 R_c 의 相似를 먼저 구하고, (18)식에서의 $S_{n2}/S_{n1} = (L_2/L_1)^2$ 은 (27)식에서와 같이 그물칸수 N 로써 조절하였기 때문인데, 이로 인해 縮尺比가 작아질 경우 d_2 를 매우 작게 해야 하는 Tauti (1934)의 守則에서보다 d_2 의 決定이 매우 쉬워졌다고 볼 수 있으나, d/l 의 값이 實物에서보다 模型에서 더 커지게 되어 그물감의 全體 投影面積 中 매듭이 차지하는 比率이 커지고, 그로 인해 매듭의 流水抵抗이 實物보다 模型에서 더 커질 수 있다는 것이 우려된다. 그러나, 前報 (Kim, 1995-1)의 結果에 의하면 그물감의 流水抵抗은 d/l 가 서로 다른 그물감일지라도 S_n/S_m 의 값에 따라 달라질 뿐 d/l 값 자체에는 無關하기 때문에, (12)식에서와 같이 S_n/S_m 의 값만이 일정하다고 하면 d/l 의 增大는 우려할 것이 못된다 하겠다.

다음, 流速 v 의 비를 (3)식 대신에 (13)식으로 規定한 것은 Tauti (1934)의 守則이 항상 $v_2 < v_1$ 인 것을 생각할 때, Tauti (1934)의 守則에서보다 v_2 를 크게 해야 한다는 불편을 수반한다. 즉, Tauti (1934)의 守則에서도 $d_1 = d_2$, $\rho_1 = \rho_2$ 이면 $v_1 = v_2$ 가 되나 模型實驗의 特性上 $d_2 < d_1$ 으로 할 수 밖에 없기 때문에 항상 $v_2 < v_1$ 이고, 여기서 v_2 의 크기는 d_2 및 ρ_2 의 크기를 변화시킴에 따라 상당한 범위까지 조절할 수 있는 데 비해, 本 研究에서 樹立한 守則에서는 항상 $v_1 = v_2$ 이어야 하기 때문에 實驗 條件이 매우 엄격하다는 短點을 가진다. 그러나, R_c 의 影響이 무시되지 않을 경우 $v_2 > v_1$ 로 해야 한다는 一般 流體力學에서의 通念을 생각하면, (13)식의 條件은 매우 편리한 方法이라고 볼 수 있을 뿐만 아니라 그물에 대한 물의 流入·流出 程度와 R_c 의 相似를 동시에 얻어내기 위한 필수적인 조치이기 때문에, 模型實驗의 正確性을 기하기 위해서는 (13)식을 반드시 만족해야 한다 하겠다. 또한, 流速의 비를 (3)식으로 規定하면 實物과 模型間은 물론이고 構造가 같고 規模만이 서로 다른 實物 그물들의 流水抵抗을 서로 비교하는 데 있어서도, 그물실의 지름이 차이나기만 하면 流速을 서로 換算하고 抵抗係數와 流速과의 關係를 다시 구하여 서로를 비교해야 하는 不便이 따르는데 비

해, 流速의 比를 (13)式으로 規定하면 實物과 模型間은 물론이고 規模가 다른 實物 그물끼리도 流速을 서로 換算함이 없이 抵抗係數를 바로 比較해도 된다는 편리함이 따른다.

한편, 本 研究에서 樹立한 守則이 Tauti (1934)의 守則과 가장 크게 다른 點은 一般 模型實驗의 경우 그물감의 水中 무게를 완전히 무시한 것이라 볼 수 있는데, Tauti (1934)의 守則에서는 ρ_2 를 임의로 정함으로써 v_2 가 결정되기 때문에 한편으로는 ρ_2 의 選擇이 자유로운 것으로 보이나, $\rho_1 > 1$ 이면 $\rho_2 > 1$ 이어야 하고 $\rho_1 < 1$ 이면 $\rho_2 < 1$ 이어야 하기 때문에, ρ_2 의 選擇이 물의 比重에 從屬된다는 短點을 가진다. 따라서, 模型 그물실은 外力의 作用에 대해 反抗하는 内力을 갖지 않도록 충분히 柔軟해야 한다는 것을 함께 생각하면, 模型이 작아질 경우 構成 그물실은 複合纖維 그물실로 제한될 수 밖에 없으나, 현재 生産 中인 複合纖維 그물실은 극히 小數이기 때문에, 比重이 물보다 큰 纖維와 작은 纖維間의 交換 使用을 許容하지 않은 Tauti (1934)의 守則에서는 模型 그물실의 材料 選擇이 그다지 자유롭지 못하다는 것을 알 수 있다. 그러나, 本 研究에서 樹立한 守則에서는 操作 流速이 매우 작은 값으로 限定되는 그물에 있어 그물감의 水中 무게의 差異에 따른 影響을 調査하는 특별한 경우가 아닌 限 ρ_2 의 選擇이 완전히 자유롭기 때문에, 模型 그물실의 材料 選擇이 크게 간편해졌다고 볼 수 있다.

한편, 그물漁具에 대한 模型實驗은 그물漁具의 特性上 各部 材料의 規格 測定과 製作이 一般 船舶이나 航空機 처럼 正確性을 기하기 어려울 뿐만 아니라, 漁具 자체가 柔軟하여 各部 材料의 規格이나 製作上에 조그마한 誤差가 생겨도 바로 形狀이 달라지기 때문에, 實驗 結果에서 나타나는 誤差는 縮尺比가 작아짐에 따라 크게 增大될 수 있다는 短點을 지니고 있다. 따라서, 本 研究에서 樹立한 守則을 이용할 때에도 縮尺比는 가능한 限 크게 하는 것이 좋다고 볼 수 있는데, 前記했던 相似條件 中 縮尺比와 아무런 關係 없이 獨立의로 정해지는 것은 (16)式의 d_2/d_1 이고, 그 값에 따라 模型 그물감의 柔軟度 및 (27)式의 N_2/N_1 값이 크게 달라지기 때문에, d_2/d_1 값의 決定이 적절하지 못하면 縮尺比에 關係 없이 相似 關係가 손상될 우려가 있다. 즉, 模型 그물감은 實物 그물감과 마찬가지로 外力의 作用에 대해 抵抗하지 않도록 충분히 柔軟할 것이 필요하나 d_2/d_1 의 값이 너무 크면 그것이 달성될 수 없고, (27)式에서와 같이 d_2/d_1 의 값에 따라 N_2/N_1 의 값을 자유로 조절할 수 있게 한 것은 實物 그물을 구성하는 各部 그물감의 全體 콧수가 무수히 많다는 前提 下에서 이루어진 것이라고 볼 수 있기 때문에,

N_2/N_1 의 값이 너무 작아서 模型 그물감이 이러한 前提를 벗어나게 되면 역시 相似 關係가 성립하기 곤란하다. 따라서, 그물漁具에 대한 模型實驗의 경우 縮尺比 影響은 縮尺比와 d_2/d_1 및 N_2/N_1 의 값에 따라 달라진다고 볼 수 있는데 N_2/N_1 는 d_2/d_1 에 따라 달라지기 때문에, 結局 縮尺比 影響은 縮尺比와 d_2/d_1 에 따라 달라진다고 볼 수 있으며, 그 影響을 줄이기 위해서는 가능한 限 縮尺比를 크게 하고 d_2/d_1 를 작게 하는 것이 좋다고 볼 수 있다.

要 約

本 研究에서는 그물漁具의 模型守則에 관한 既存의 研究 結果들을 綜合하고, 지금까지 가장 많이 이용되어 온 Tauti의 守則을 중심으로 하여 이들 守則이 지니는 問題點에 대해 주로 檢討하였다. 그 結果, 지금까지의 守則들은 그물의 流水抵抗을 精確하게 解析하지 못하였고 그것의 水中 形狀을 결정하는 重要 因子로써 그물감의 水中 무게를 택한 것에 問題가 있다는 것을 알 수 있었다. 따라서, 이러한 見解 대신에 그물을 그것의 領域圈 內로 물을 流入한 後 領域圈 밖으로 透過시키는 하나의 有孔性 構造物로 간주하고, 그것에 대한 물의 流入·流出 特性을 이용하여 流水抵抗을 解析한 前報의 結果를 基礎로 하여 實物과 模型과의 相似 關係를 새로히 구하였다. 즉, 그물의 各 邊의 길이를 L , 그물실의 지름을 d , 그물코의 크기 및 展開角을 各各 $2l$ 및 2ϕ , 뼈대줄의 지름과 길이 및 比重을 各各 d_r, l , 및 ρ_r , 뜰, 발돌 등의 附屬具 하나의 水中 무게 및 갯수를 各各 w_a 및 N_a , 물의 比重을 ρ_w , 流速을 v , 그물의 流水抵抗을 R 이라 할 때, 實物 (添字 1) 과 模型 (添字 2)이 相似를 이루기 위해서는

$$\frac{d_2}{d_1} = \sqrt{\frac{l_2}{l_1}}, \quad \frac{N_2}{N_1} = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^{1.5} \frac{L_2}{L_1},$$

$$\phi_1 = \phi_2, \quad \frac{d_{r2}}{d_{r1}} = \sqrt{\frac{L_2(\rho_{r1} - \rho_{w1})}{L_1(\rho_{r2} - \rho_{w2})}},$$

$$\frac{N_{a2}}{N_{a1}} = \frac{W_{a1}}{W_{a2}} \left(\frac{L_2}{L_1}\right)^2,$$

$$v_1 = v_2 \quad \text{및} \quad \frac{R_2}{R_1} = \left(\frac{L_2}{L_1}\right)^2$$

을 만족해야 하고, 操作 流速이 매우 작은 값으로 限定되는 그물에 있어서 構成 材料의 變更에 따른 水中 形狀의 變化를 調査할 때와 같이 그물감의 水中 무게의 影響 자체를 調査 對象으로 하는 경우에는 위의 條件들 외에

$$\frac{\rho_2 - \rho_{w2}}{\rho_1 - \rho_{w1}} = \frac{d_1}{d_2} \tag{30}$$

를 追加로 만족해야 한다는 것을 알 수 있었다.

參 考 文 獻

- Dickson, W., 1959. The use of model nets as a method of developing trawling gear, Modern fishing gear of world 1, 166~174, Fishing News (Books) Ltd., London.
- Fridman, A.L., 1973. The theory and design of commercial fishing gear (Translated from Russian), p. 122~187, Israel program for scientific translations, Jerusalem.
- Kawakami, T., 1964. The theory of designing and testing nets in model, Modern fishing gear of the world 2, 471~481, Fishing news (Books) Ltd., London.
- Kim, D. A., 1979. On the similarity law for fishing nets, Bull. Korean Fish. Soc. 12 (1), 1~6.
- Kim, D. A., 1995. Flow resistance and modeling rule of fishing nets, 1. Analysis of flow resistance and its examination by data on plane nettings, J. Korean Fish. Soc. 28 (2), 183~193. (in Korean)
- Kim, D. A., 1995. Flow resistance and modeling rule of fishing nets, 2. Flow resistance of bag nets, J. Korean Fish. Soc. 28 (2), 194~201. (in Korean)
- Miyazaki, Y., 1964. Basic investigations of the resistance of fishing nets-III, The resistance of plane nets, J. Tokyo Univ. Fish. 50 (2), 95~103. (in Japanese)
- Miyazaki, Y., 1964. Basic investigations of the resistance of fishing nets-XII, Discussion on the law of similarity for fishing nets, J. Tokyo Univ. Fish. 50 (2), 185~189. (in Japanese)
- Machii, K., 1967. A study on the scale effect of model trawl nets, Unpublished master thesis, Tokyo Univ. Fish., 1~133. (in Japanese)
- Nakajima, S., 1968. A study on the small model nets, Unpublished master thesis, Tokyo Univ. Fish., 1~101. (in Japanese)
- Tauti, M., 1934. A relation between experiments on model and full scale of net, Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 3 (4), 171~177.

1997년 2월 19일 접수

1997년 6월 30일 수리