

種苗幼魚の連続計数システムに関する研究

陳 滄*・矢田 貞美*・戸田 勝善*

Study on successive counting system for seedlings fry

HU CHEN*, SADAMI YADA*, and MASAYOSHI TODA*

Abstract: In order to change the intermittent counting course into a successive counting course, a system constituted by alternately operating two suction rooms was produced. In this paper, relationship among the counting efficiency of the system and the time of ball valves rotating from opening condition to shutting condition, length of inside suction tube and suction velocity were described, and what an appropriate counting system was theoretically analyzed. The results are as follows.

1. When a fry was sucked in one course at suction velocity of 0.9 m/s, 1.2 m/s and 1.5 m/s, the suitable time of ball valves rotating from opening condition to shutting condition were 4.5 s, and 5.0 s, 5.5 s, and the suitable suction time of a fry were 32.5 s, 23.9 s, and 22.5 s.

2. When two or three fry were sucked in one course at suction velocity of 1.0 m/s, the suitable time of ball valves rotating from opening condition to shutting condition was 4.5 s, and the suitable suction time of fry were 24.5 s, and 24.8 s.

3. The system constituted with two suction rooms could count 4,800 fry per hour. If inside suction room was lengthen to 2.93 m, or fry sucked by three suction rooms with the ball valve which rotating time is 0.5 s, the system could count 38,400 fry per hour.

Depend on the studies as described above, the system could be considered as an effective and practical method of counting fry.

1. はじめに

種苗の生け簀替え、出荷および放流時に魚数を把握する方法としては、一般に見掛けの魚と水の混合容積当たりの尾数を推定する方法、あるいは平均体重から尾数を推定する方法の何れかが採られているが、何れも経験と勘を要するうえ最大計数誤差は最大で50%もある。また、従来の光センサ式魚数計（藤本，1993）では、魚体重複と気泡に起因すると推定される計数誤差が多い場合には-48.6%から+17.2%の範囲にあるため、実用に耐えないから高性能な計数システムの開発が関係者から要望されている。

そこで、吸引室は外筒および内筒から構成され、内筒は吸引ホースから排出ホースまでの管路の一部に該当する間欠作動式計数システムを試作した（矢田ら，1993）。本システムでは、吸引ホースに設けた測定用矩形管によ

り高精度な計数が可能となったが、吸引・排出行程が交互に作動する間欠作動式なので単位時間当たりの計数能率は低い。

本報では、間欠作動式計数システムの高効率化を目的として吸引・排出行程を間欠作動式から連続作動式に改良するため、並列配置の2つの吸引室が交互に作動する計数システム（以後、連続計数システムと称する）を試作し、計数能率と、各バルブの開閉時間、吸引速度および内筒長等の関係について検討した。

2. 実験方法および実験装置

1) 実験装置

Fig. 1a に連続計数システムの概要を示す。吸引ホースから吸引された魚と水の混合水（以後、魚水と称する）は吸引側で分岐して、並列する2つの吸引室9および同10に入り、排出側で合流して排出ホースで排出される。開閉機構は吸引側3および同4、吸引側バルブ5および同6、排出側11および同12、排出側バルブ17および

*東京水産大学海洋生産学科漁業工学講座
〒108 東京都港区港南4-5-7

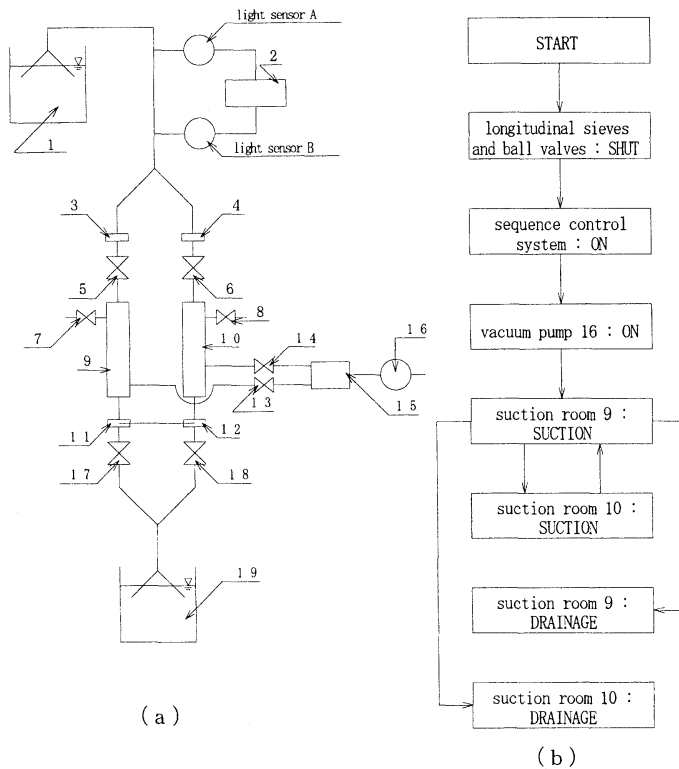


Fig. 1. System outline (a) and flow chart (b) of successive counting system. 1,19 : water tanks, 2 : speedometer, 3,4 : longitudinal sieves of suction side, 5,6 : ball valves of suction side, 7, 8 : admission valve, 9,10 : suction room, 11,12 : longitudinal sieves of exhaust side, 13,14 : change valves of suction room, 15 : tank for pressure control, 16 : vacuum pump, 17,18 : ball valves of exhaust side.

同18より構成される。篩の表面を被覆する魚体損傷防護材は、ゴムチューブから柔軟な多重ゴム網（厚さ6mm）に変更された。吸引室は既報と同じ構造と大きさの内筒および外筒から構成される。真空ポンプ16と2つの吸引室との連結を切替える電磁弁（以後、吸水切替弁13および同14と称する）の設置により、吸引室9および同10は交互に吸引する。吸引室内の魚水は自重により落下・排出させるため、各外筒に入気弁7および同8を設けた。篩、バルブ、入気弁および吸水切替弁の各作動はシーケンス制御した。なお、各行程における魚体の移送状況の観察を容易にするため外筒、内筒および吸引ホースは透明材を用いた。

既報（矢田ら、1993）の方法と同様に、魚体の吸引速度はホース吸引口から5mの位置に0.3m間隔でセンサAおよび同Bを設置し、速度計2（Takada Riken 製 TR 5821）により計測した。

2) 実験装置の作動行程と調整

Fig. 1 b にシーケンス制御される本システムのフローチャートを示す。システムの電源を入れると、真空ポンプ16が駆動され、所定の真空圧が得られる時間（以後、真空時間と称する）の経過後に、吸水切替弁13、吸引側バルブ5、吸引側篩3が順次開放され、魚水は吸引室9内に吸引される。吸引側バルブ5の設定開閉時間の経過後、同バルブ全閉後に入気弁7、排出側篩11および排出側のバルブ17が順次開放され、吸引室9内の魚水は排出される。吸引室9内の魚水の排出と同時に、吸水切替弁14、吸引側バルブ6および吸引側篩4が順次開放され、吸引ホース内の魚水は吸引室10内に吸引され、魚水の排出と同時に吸引室9が吸引を開始する。

なお 半自動式のため本計数システムの電源を入れて真空ポンプを駆動し、手で吸引口を遊泳するコイの幼魚（体長42から59mm）まで移動させて頭部から吸引した。

以上のように、吸引室9および同10は吸引・排出を交互に繰返して魚水を連続的に吸引・排出する。その際、調圧タンク15により吸引速度を調整し、シーケンス制御の各吸引・排出側バルブの開閉時間および真空時間をそれぞれ実験方法に示す数値に設定した。

3) 実験方法

吸引速度を0.9, 1.2および1.5m/sの3段階に、また吸引側バルブの開閉時間を4.0sから6.0sまで0.5s間隔の5段階に設定し、幼魚を単尾ずつ吸引させ、吸引ホース内および吸引側篩の直前における魚体の移送状況について目視で観察した。本システムの計数能率について検討するため、魚水の吸引に必要な真空時間ならびに吸引室から魚水の排出に必要な排出側バルブの開閉時間をストップウォッチで計測した。また、魚体の吸引口から排出口までの吸引・所要排出時間（以後、所要計数時間と称する）を計測し、各吸引速度における吸引側バルブの好適な開閉時間、ならびに本システムの計数能率について検討した。

次に、同様な方法により、吸引速度1.0m/sで2および3尾の頭尾を相互に接して吸引させ、吸引側バルブの好適な開閉時間、ならびに本システムの計数能率について検討した。

3. 結果および考察

1) 単尾吸引時における所要計数時間

内筒内の真空圧は一定なので、回転バルブの開口断面と内筒内断面との重複断面（以後、ボールバルブの開口断面積と称する）を徐々に拡大すると、吸引ホース内の吸引速度は徐々に速くなる。それ故、ボールバルブの開口断面積と魚体の吸引速度の関係について検討する。

(1) ボールバルブの開口断面積と吸引速度

Fig. 2aに吸引中におけるボールバルブの開口状態の正面を、同図bに平面を示す。流れ方向のボールバルブ内径を $2R$ 、流れに垂直方向のボールバルブの内径を $2r$ 、ボールバルブの回転角を β とすると、ボールバルブの内口半径は内筒と同じなので内筒の半径は r となり、式(1)が成立する。

$$\left. \begin{aligned} EF &= R \cos \beta - r \\ CE &= r \sin \beta \\ CF &= CE - EF \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ボールバルブ開口の投影と同開口の中心線の投影の交差点をC、内筒内径の投影とボールバルブ開口の中心線

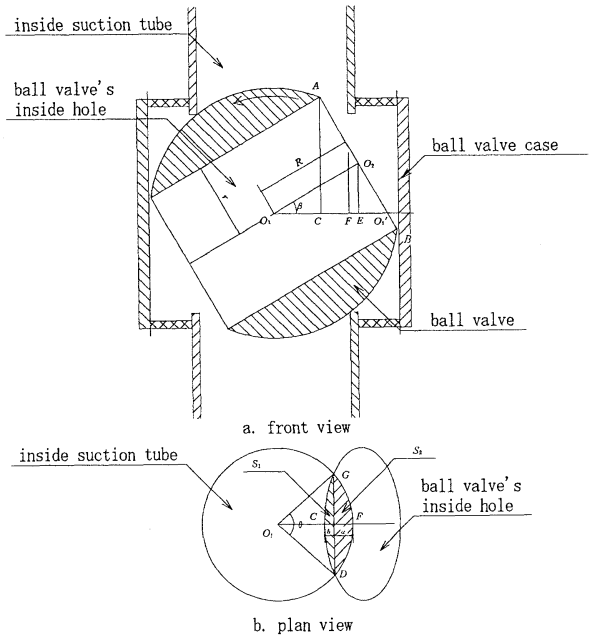


Fig. 2. Opening conditions of ball valve when fry was sucked by vacuum pump. β : rotation angle of ball valve,

S_1 : hole section area of opening ball valve, S_2 : hole section area of opening inside suction tubem,

θ : angle formed by center O_1 of inside suction tube and cross point D and G between S_1 and S_2 , a : hole section length between opening ball valve and cross point D and G , b : hole section length between opening inside suction tube and cross point D and G , CF : hole section length of opening ball valve.

の投影の交差点をFとする。ボールバルブの開口断面長CFは、式(1)より式(2)で示される。

$$CF = r + r \sin \beta - R \cos \beta \quad (2)$$

また、ボールバルブ内口と内筒内径とが交差する垂直方向の投影点をD、Gとすると、バルブ開口からDGまでの断面長bと内筒の開口からDGまでの断面長aとの関係は式(3)で示される。

$$\left. \begin{aligned} b &= a \sin \beta \\ a + b &= CF \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

ボールバルブの開口断面積 S 、ボールバルブの開口投影面積 S_1 と内筒の開口断面積 S_2 は式(4)および(5)（スピーゲル、1984）で示される。

$$\left. \begin{aligned} S &= S_1 \\ S_1 &= S_2 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$$S_2 = \frac{1}{2} r^2 (\theta - \sin \theta) \quad (5)$$

ただし、 S_1 と S_2 の交差点 DG と内筒の中心 O_1 のなす角度を θ とする。

式(2)、(3)、(4)および(5)より、ボールバルブの回転中における開口断面積 S は式(6)で示される。

$$S = r^2 (2 \cos^2 \alpha \cdot \cos^{-1}(k_1 \cdot \tan \alpha) - k_1 \cdot \sin 2\alpha \cdot \sqrt{1 - k_1^2 \cdot \tan^2 \alpha}) \quad (6)$$

ただし、 $\alpha = \frac{\pi}{4} - \frac{\beta}{2}$ 、 $k_1 = \frac{R}{r}$ とする。

調圧タンクにより吸引室内は定圧に保持されるため、回転中のボールバルブの開口内の流速は、同ボールバルブの全開時の魚体の吸引速度と同じである。また、ボールバルブの形状および管内抵抗による水頭損失を無視すると、吸引ホース内の流量はボールバルブの開口内と同じなので、式(4)と連続の式(片岡, 1993)より、吸引側バルブが回転して開口断面積が増減する場合における吸引ホース内の瞬間吸引速度 V (即ち、魚水の吸引速度) は式(7)で示される。

$$V = \frac{V_0}{\pi} (2 \cos^2 \alpha \cdot \cos^{-1}(k_1 \cdot \tan \alpha) - k_1 \cdot \sin 2\alpha \cdot \sqrt{1 - k_1^2 \cdot \tan^2 \alpha}) \quad (7)$$

ここで、吸引側バルブの全開時における魚水の吸引速度を V_0 とする。

(2) 吸引側バルブの回転当たり魚水の吸引距離

吸引側バルブの所要回転時間を t_1 とすると、吸引側バルブの回転当たり魚水の吸引距離 L_1 は式(8)で示される。

$$L_1 = \int_0^{t_1} V \cdot dt \quad (8)$$

t_1 を実測に基づき 1.5s、計数 k_1 を式(6)より 1.25 とすると、式(7)および(8)より、本システムにおける実際の魚水の吸引距離 L_1 は式(9)で示される。

$$L_1 = 0.5592 V_0 \quad (9)$$

式(9)より、吸引速度がそれぞれ 0.9、1.2 および 1.5 m/s の場合における吸引側バルブの回転当たりの魚水の吸引距離は 0.50、0.67 および 0.84m となる。

吸引側バルブの回転に伴って、同バルブの開放および

閉鎖時における吸引ホース内の流速は徐々に増減し、吸引側バルブが全開すると、吸引速度は最大になる。すなわち、吸引室 9 および同 10 は交互に吸引するので定速吸引ではなく、加速、定速、減速を繰返して変動することになる。コいの幼魚は吸引ホース内の流速が一定速度以下になると、すなわち約 0.29m/s 以下の流速では水流に抵抗して吸引できない場合が観察された (陳, 1992)。

(3) 魚体の所要計数時間

吸引室 9 および同 10 の吸引開始から排出完了までは 1 行程とすると、吸引側バルブの開閉回数 N は吸引口から排出口までの所要行程数と同じなので、開閉回数 N における魚水の合計吸引距離 L は式(10)で示される。

$$L = (2N - 1)L_1 \quad (10)$$

また、吸引側および排出側バルブの開放および閉鎖の所要回転時間は各 3.0s (回転当たりの時間 1.5s × 2) なので、式(10)より吸引側バルブの 1 行程に要する時間 (すなわち、同バルブの開閉時間) T は式(11)で示される。

$$T = \frac{12 + (1 - 2N)L_1}{N \cdot r} + 3 \quad (11)$$

後述するように排出側バルブの開閉時間は 4.5s 以下では魚体が排出側バルブに挟持されないで、開閉時間を 4.5s に設定すると、魚体の吸引・排出総所要時間 ΣT は式(12)で示される。

$$\Sigma T = N \cdot T + 4.5 \quad (12)$$

本シーケンス制御システムのバルブ開閉の設定時間の最小間隔は 0.5s なので、式(11)および同(12)より、吸引速度および吸引側バルブの開閉時間における所要計数時間は、吸引速度が 1.5m/s 以下では、理論値と実測値はほぼ一致した (Fig. 3 参照)。しかし、同以上では真空圧が低いと、本真空ポンプの作動が不安定となり、吸引速度の変動が大きくなるため実測誤差の増大が推定される。これに対応するためには、安定した低真空圧が得られ、流量が多い真空ポンプを利用すると、実測誤差は減少するものと考えられる。

吸引側バルブが開閉する際、吸引魚体と開閉する篩との強い衝突は見受けられなかった。拡大鏡 (倍率 20) による観察でも魚体に損傷がないことが確認された。各排出側バルブの開閉時間を 4.5s 以下に設定すると、吸引室内の在留魚体には排出側バルブの挟持に起因する損傷が認められた。また、真空時間を 3.0s 以下に設定すると真空圧 90kPa 以上となり、真空圧が不足するため魚

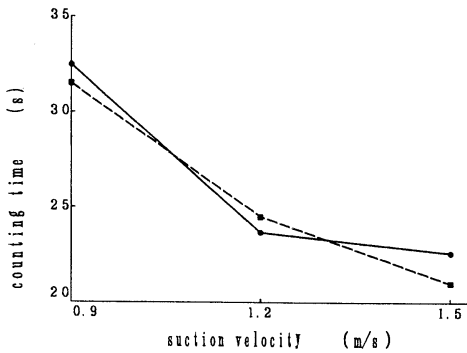


Fig. 3. Relationship between suction velocity and counting time (experimental values (●), theoretical values (■)).

水は吸引できなかった。真空時間を 3.0s 以上に設定しても、吸引速度は真空時間が 3.0s の場合とほぼ同程度であった。

以上より、本システムの排出側バルブの開閉時間を 4.5s、真空時間を 3.0s にする必要がある。

吸引速度が 0.9, 1.2 および 1.5m/s の場合、吸引側のバルブの開閉時間と、魚体と所要計数時間との関係を Fig. 4 示す。実線で示す吸引速度が 0.9, 1.2 および 1.5 m/s の場合、吸引側バルブの開閉時間をそれぞれ 4.5, 5.0 および 5.5s とすると、魚体の吸引側篩の通過待ち時間がほぼ零となるため、魚体の所要計数時間は最少 32.5, 23.9 および 22.5s にそれぞれなった。

2) 複数尾吸引時におけるバルブ開閉時間と、吸引速度および吸引間隔の関係

複数尾の合計体長が内筒長より長いと、魚体の重複による魚体損傷が発生し易い。本システムの内筒長は 380mm であり、魚体長は約 60mm なので、魚体損傷の防止のためには内筒内の吸引魚数は 6 尾 (内筒長 ÷ 魚体長) 以下に限定する必要がある。すなわち、内筒内に 6 尾吸引後、吸引側バルブを直ちに閉鎖する必要がある。ここで、魚体の吸引間隔を L_s 、魚体長を L_f とすると、内筒内に N_f 尾吸引するための所要時間 t_s は式 (13) で示される。

$$t_s = \frac{N_f \cdot (L_f + L_s)}{V_0} \quad (13)$$

また、バルブの開放および閉鎖の所要回転時間は 3.0s なので、式 (13) より、魚体が損傷しない吸引側バルブの開閉時間 T は式 (14) で示される。

$$T = 3 + \frac{N_f (L_f + L_s)}{V_0} \quad (14)$$

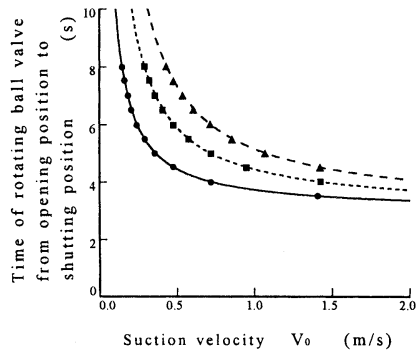


Fig. 4. Relationship between time of rotating ball valve from opening position to shutting position and suction velocity (● : $L_s=L_f$, ■ : $L_s=3L_f$, ▲ : $L_s=5L_f$). L_s = intervening space of sucked fry, L_f : length of fry body.

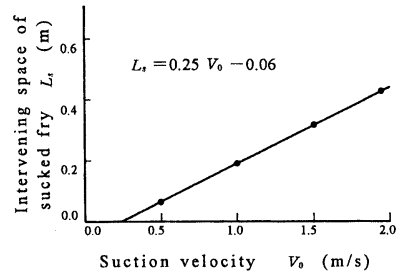


Fig. 5. Relationship between intervening space of sucked fry and suction velocity.

吸引魚数 N_f を 6 尾とすると、魚体の吸引間隔が魚体長の 1, 3 および 5 倍の場合、式 (14) より吸引側バルブの開閉時間 T とバルブ全開時の吸引速度 V_0 との関係を図 4 に示す。最高吸引速度 1.95m/s における吸引側バルブの開閉時間は 3.5s となる。しかし、排出側バルブの開閉には 4.5s が必要なので、吸引側バルブの開閉時間を 4.5s に設定する必要がある。この開閉時間 4.5s における吸引速度と吸引間隔との関係を Fig. 5 に示す。魚体の吸引間隔は最高吸引速度 1.95m/s の場合では 0.43m に、最低速度 0.24m/s では零に設定する必要がある。しかし、幼魚は 0.29m/s 以上の流速では水流に抵抗して吸引できないので、最低吸引速度を 0.29m/s 以上に設定する必要がある。

単尾の場合と同様に 2 尾以上を排出する場合には、排出側バルブの開閉時間を 4.5s、真空時間を 3.0s に設定する必要がある。

ここで、魚体長を 60mm、吸引速度を 1.0m/s とすると、便宜的に、2 尾が頭尾を接する場合における理論的

な所要吸引時間は、1尾増える毎に0.06s（魚体長÷吸引速度）多くかかることになる。また、吸引速度が1.0 m/sの場合、2および3尾が頭尾を接する場合における吸引バルブの開閉時間を4.5sに設定する必要がある、魚体の所要計数時間は、それぞれ24.5sおよび24.8sであった。

3) 本システムの計数能率

式(13)より、2室の吸引室が交互に作動して連続吸引する場合における N_f 尾の行程当たり所要吸引時間は t_s なので、本システムの単位時間当たりの吸引魚数 P は式(15)で示される。

$$p = \frac{3600}{t_s} N_f \text{ (尾/h)} \quad (15)$$

吸引側バルブの設定開閉時間を4.5s、1吸引室の行程当たりの吸引魚数を6尾とすると、本システムでは単位時間当たり最大4,800尾を計数できることになる。

4) 本システムの実用方法

本報では、既報（矢田ら、1993）の間欠作動式システムを連続作動化するため、内筒長が380mmの吸引室を2つ設け、その作動限界について検討した。前述のように排出側バルブの開閉時間は4.5sなので、吸引側バルブの最少開閉時間を4.5sに設定する必要がある。単位時間当たり4,800尾以上を計数するためには、下記の3方法により、最高吸引速度における吸引間隔を短縮すると、本システムの計数能率の向上に寄与するものと考えられる。

(1) 内筒長の長大化

魚体の頭尾を交互に接して1.95m/sで連続吸引する場合、吸引側バルブの開口時間は1.5s（開閉時間4.5s－所要回転時間1.5s×2）なので、魚体損傷の防止の観点から内筒長を2.93m（吸引速度×開口時間）に設定する必要がある。その場合には、内筒に魚体長0.06mの48尾（内筒長÷魚体長）を吸引することが可能となり、式(15)より、本システムでは単位時間当たり最大38,400尾の計数が可能となる。また、単位時間当たり1、2および3万尾を計数する場合には、それぞれ0.78、1.5および2.28mの内筒長が必要と試算される。

(2) 吸引室の増設

前項による方法では、内筒が長いと、運搬・設置などに支障を生じる場合が危惧される。そこで、吸引室を新

たに1室を増設して3室とし、吸引を1室で排出を2室で行うように設定すると、吸引側バルブの開口時間が短縮でき、高速吸引時においても魚体の頭尾を交互に接した場合にも、吸引が可能と考えられる。ここで、A、BおよびCの3吸引室の吸引・排出順を次のように設定すると、計数能率は大幅に向上するものと推定される。すなわち、吸引室Aは吸引開始から3.5s後に排出を開始し、同Bは吸引室Aの排出開始と同時に吸引開始3.5s後に排出を開始する。各吸引室の所要排出時間は4.5sなので、吸引室Aおよび同Bの排出には1s間重複しており、同Bが排出を開始してから同Cは吸引を開始する。吸引室Cが吸引開始1s後に同Aは排出を完了し、次行程の吸引態勢に入る方式である。

例えば、最高吸引速度を1.95m/s、内筒長を1.0m、吸引側バルブの開閉時間を3.5sとすると、式(15)より、3つの吸引室を有するシステムでは、時間当たり最大16,500尾が計数可能となる。吸引計数速度は1.95m/sが最高であり、吸引側篩の手前における魚体の待ち時間がなくなるため、3室以上に吸引室を増設しても、単位時間当たりの計数増大は期待できないことになる。

(3) バルブの所要回転時間の短縮

バルブを交換して同回転時間を現行の1.5sから0.5sに高性能化すると、同バルブの開閉時間は1.5s、排出側のバルブの開閉時間は2.5sになり、式(15)より、前項の3つの吸引室を有するシステムでは、単位時間当たり最大38,400尾の計数が可能となる。

前項により内筒を長大化するか、または3つの吸引室システムを3、6および8系列化すると、単位時間当たり10、20および30万尾の計数が可能になるものと推定される。

4. 要約

幼魚計数の高能率化を目的として吸引・排出行程を間欠作動式から連続作動式にするため、並列配置する2つの吸引室が交互に作動する連続計数システムを試作し、計数能率と各バルブの開閉時間、吸引速度および内筒長等の関係について検討した。結果の概要は次のとおりである。

1. 吸引速度が0.9、1.2および1.5m/sの場合、単尾吸引時における吸引側バルブの開閉時間はそれぞれ4.5、5.0および5.5sが、また所要計数時間はそれぞれ32.5、23.9および22.5sに設定する必要がある。

2. 吸引速度が1.0m/sの場合、2および3尾が頭尾

を接する場合における吸引側バルブの開閉時間は4.5sにする必要があり、所要計数時間はそれぞれ24.5および24.8sであった。

3. 2つの吸引室システムでは、単位時間当たり4,800尾の計数ができる。内筒長を2.93mに長大化するか、または吸引室の3室化および所要回転時間0.5sのバルブと交換すると、単位時間当たり38,400尾の計数が可能になるものと推定される。

文 献

藤本 宏 (1993): 魚数計を用いたトラフグ種苗の計数

について. さいばい, 65, 27-33.

片岡義雄 (1981): 水力学, コロナ社, 東京, pp. 40-41.

スピーゲル (著)・氏家勝巳 (訳) (1984): 数学公式・数表ハンドブック, マグロウヒル, 東京, p. 7.

陳 汜 (1992): 稚魚の計数システムに関する研究.

東京水産大学修士論文, p. 30-38.

矢田貞美・陳 汜・酒井久治・秋澤速夫 (1993): 種苗幼魚の吸引計数システムに関する研究. 水産工学, 30 (2), 93-100.

1995年4月7日 受領

1966年4月4日 受理