

## 통제된 익사 실험에서 구조 3종의 장기별 회수율 분석

홍정원 · 김윤신

조선대학교 의학전문대학원  
법의학교실

### The Analysis of Reclaiming Ratio for 3 Diatom Species from Experimentally Drowned Animal Organs

Jeong-Won Hong, Youn Shin Kim

Department of Forensic Medicine, Chosun University School of Medicine, Gwangju, Korea

Drowning is one of the most common causes accidental death worldwide, but its diagnosis remains a challenging task in forensic pathology. Several authors have suggested that diatom analysis be conducted via an enzymatic digestion method that uses proteinase K to provide objective evidence for drowning; we employed this method in our study because of its superior applicability as compared to the conventional disorganization methods. The purpose of this study was to examine the reclaiming ratio of diatoms from experimentally drowned animal organs, which could be influenced by diatom morphology. The authors injected 3 diatoms species (*Cyclotella striata*, *Navicula incerta*, and *Pleurosigma angulatum*) into a rat's airway and compared the detection rate to investigate the factors that influence the sensitivity of diatom analysis. The results are as follows: (1) Average reclaiming ratio in the lungs was 81.07 for *Navicula incerta*, 48.26 for *Cyclotella striata*, and 5.35 for *Pleurosigma angulatum*. (2) The detection rates from the closed organs in 15 experimental animals were highest in the kidney (73%, 11/15), followed by the heart (67%, 10/15), brain (60%, 9/15), and liver (53%, 8/15). (3) Two *Cyclotella striata* was detected in the kidney of postmortem control group which suggest the possibility of contamination during laboratory procedure. In conclusion, the authors propose that diatom size could be a significant influencing factor for diatom extraction from the organs of drowned bodies; therefore, the results of diatom analysis must be interpreted after considering the diatom population of the drowning medium at the scene and the possibility of contamination during the laboratory procedure.

**Key words :** Diatom, Drowning, Proteinase K, Reclaiming ratio

접 수 : 2013년 1월 30일  
수 정 : 2013년 2월 8일  
게재승인 : 2013년 2월 21일

이 논문은 2011학년도 한국연구재단의 지원을 받아 연구되었음.

책임저자 : 김윤신  
(501-759) 광주광역시 동구 서석동 375  
조선대학교 의학전문대학원 법의학교실  
전화 : +82-62-230-6998  
FAX : +82-62-234-4584  
E-mail : ysk007fm@hotmail.com

## 서 론

익사는 주변에서 가장 흔히 발생하는 외인사의 원인 중의 하나로서, 익사에 의한 죽음은 세계적으로 매해 약 45만 건으로 추정되고 있다.<sup>1)</sup> 그러나 익사를 진단하는 일은 검시 실무에서 매우 어려운 과제로 여전히 자리매김하고 있다. 침수에 의한 죽음은 익수의 기도 내 흡입으로 야기되는 저산소 혈증, 후두 경련, 전해질 장애와 저체온증 등이 사망의 기전으로 작용할 수 있지만, 이를 진단할 수 있는 특징적인 형태학적인 소견은

확보되기가 쉽지 않으며,<sup>2)</sup> 신선한 수중 시체는 물론, 특히 부패한 시체는 익사의 사인 판단을 위한 법의학적 소견이 이미 소실되었거나, 남아있다 하더라도 비특이적인 경우가 많기 때문이다.<sup>3)</sup> 이러한 이유로 아직 과학적이고 합리적으로 확신할 만한 익사의 증거로서의 생물학적, 화학적 표지는 어떤 것도 받아들여지지 않고 있으나, 오직 구조검사만은 많은 논란 중에서도 객관적인 진단방법으로 간주되고 있다.<sup>3)</sup>

익사의 과정에서 인체의 폐포 내로 흡입된 익수매질은 확산과 삼투로 혈액으로 들어오고, 이때 함께 흡입된 구조류가 심장박동에 따라 혈류를 타고 몸의 여러 장기에 퍼지게 된다. 이

러한 특성에 근거하여 수중시체의 폐에서 검출되는 다량의 규조나 전신의 내부 폐쇄장기에서 검출되는 규조류는 익사를 증명해 주는 결정적인 증거가 된다고 여겨져 왔고, 규조검사가 익사를 진단하는 데 보조적인 증거로 활용되는 것은 이러한 이유에 기인한다.<sup>4)</sup> 규조는 크기가 약 5  $\mu\text{m}$ ~3 mm인 단세포 생물로 담수와 해수 모두에 풍부하게 분포하고 있으며 규조의 대칭성에 따라 방사형태의 대칭성을 띠는 중심목(Centrales)과 좌우 대칭인 우상목(Pennales)으로 나누어진다.<sup>5)</sup> 기도 내로 흡입된 후에 폐포벽을 통과하여 전신순환에 들어갈 수 있는 규조의 크기는 대략 10~40  $\mu\text{m}$ 로 알려졌으나, 수압 등의 영향에 의해 사후에도 익수 매질이 호흡기계로 침투할 수 있기 때문에 이러한 규조류 분석을 통한 익사 진단의 가치는 여전히 상당한 한계를 안고 있다.<sup>6)</sup> 또한 익사체의 조직에서 규조류가 검출되지 않은 경우가 있다는 점,<sup>7)</sup> 규조분석법의 낮은 민감도 등 때문에 익사 진단을 위한 규조검사의 신뢰성은 아직도 논란 중이고, 이 때문에 수중시체의 사인 판단을 위한 적극적인 진단법은 상당한 도전에 직면해 있다.

이러한 익사 진단의 한계를 극복하기 위한 노력의 목적으로, 본 연구는 통제된 조건에서 크기와 형태를 알고 있는 3종(種)의 규조를 기도 내에 주입하는 익사 실험을 통해 실험동물의 각 장기에서 확인되는 규조류의 회수율을 비교 분석하고자 하였다. 이를 통해 규조의 형태 및 크기에 따라 회수율의 차이가 나타나는지 확인하여 익사체에서 규조 검출의 낮은 민감도에 영향을 미치는 인자와 그 정도를 파악함으로써 수중시체의 사인규명을 위한 규조분석법의 확립과 그 결과 해석을 위한 기준을 제시하고자 한다.

## 실험재료 및 방법

### 1. 익수 시료

실험에 쓰인 규조는 중심목(目)인 *Cyclotella striata* (KMMCC No. 832)와, 우상목(目)인 *Navicula incerta* (KMMCC No. 17), *Pleurosigma angulatum* (KMMCC No. 846) 3종(種)이고, 실험을 위해 각각의 형태와 크기를 고려하여 한국해양미세조류은행(Korea Marine Microalgae Culture Center, KMMCC)으로부터 규조 용액을 분양받았다. *Cyclotella striata*는 지름이 5~13  $\mu\text{m}$ 인 중심류 Coscinodiscaceae과의 1속(屬)으로 원반상의 규조각을 갖고

있다. *Navicula incerta*는 크기가 18~23  $\mu\text{m}$ 이며 모양은 마름모꼴 또는 타원형으로 상하 좌우 대칭형이다. *Pleurosigma angulatum*의 크기는 53~75  $\mu\text{m}$ 이고 피각은 S자형의 축역을 갖는 특징을 보인다. 각 규조 용액 1 ml 내 규조의 개체수를 계수하여 기도 내로 주입될 개체 수를 미리 확인하여 익수 매질(drowning medium)로 준비하였고, 이렇게 준비된 익수 매질을 0.5 ml씩 기도 내로 주입하여 익사 상황을 실험실적으로 유도하였다. 실험에 사용된 규조 3종의 세부 사항은 Table 1에 요약하였고, 모양은 Fig. 1에 제시하였다.

### 2. 익수 시료 내 규조 계수

플랑크톤 계수용 Sedgwick Rafter chamber에 커버글라스를 비스듬히 걸쳐 놓고 চে임버(chamber) 내에 거품이 생기지 않게 규조 용액 1 ml를 조심스럽게 피펫으로 채운 후, 세포 수를 계수하기 전에 규조의 침전을 위해 약 15분간 방치하였다. 광학현미경으로 검사하여 চে임버 내에 구획된 일정한 크기의 격자 안에 있는 규조를 계수하는데, 이러한 격자를 무작위로 20개 이상 선정하여 격자 내에 위치하고 있는 세포 수를 계수하였다. 계수를 위한 공식은 다음과 같다.<sup>8)</sup>

$$\text{개체수} / \text{ml} = \frac{C}{A \times D \times N} \times 1,000$$

C = 계수된 개체수의 합

A = 격자의 면적 ( $\text{mm}^2$ ) = 1

D = 검경한 격자의 깊이 (Sedgwick Rafter chamber depth, 1 mm)

N = 검경한 시야의 횟수

### 3. 동물실험

총 20마리의 Sprague-Dawley 쥐를 실험에 사용하였다. 9주령의 수컷으로 체중은  $300 \pm 30$  g이었고, 체중 300 g 당 졸라세팜과 틸레타민(졸레틸) 0.2 ml (conc. 10 mg)를 복강 내 주사하여 마취시켰다. 실험은 크게 실험군과 대조군으로 나누어 진행하였고, 실험군은 규조 종(種)을 달리하여 세 그룹으로 나누어 *Cyclotella striata*를 주입한 Group 1 (n=5), *Navicula incerta*를 주입한 Group 2 (n=5), *Pleurosigma angulatum*을 주입한 Group 3 (n=5)으로 분류하여 동물 실험을 수행하였으

Table 1. The Features of Microalgal Species Used for the Study

No.	Bacillariophyceae	Species	Source of strain (KMMCC*, No.)	Size ( $\mu\text{m}$ , mean $\pm$ SD) (length / width)	Cell count (/ml)
1	Centrales	<i>Cyclotella striata</i>	832	$8.8 \pm 2.7$ / —	110,200
2	Pennales	<i>Navicula incerta</i>	17	$19.3 \pm 1.9$ / $4.4 \pm 0.7$	258,000
3	Pennales	<i>Pleurosigma angulatum</i>	846	$68.0 \pm 5.7$ / $9.8 \pm 0.9$	100,754

\*KMMCC: Korea Marine Microalgae Culture Center

며 다음 순서에 따라서 진행하였다. 마취제의 복강 내 주입 후 일정 시간을 기다려 통증에 대한 반응이 저하된 것을 확인한 후, 경부의 피부를 세로로 절개하여 기관(氣管)을 노출한 다음 메스를 이용하여 기관을 가로로 절개하고 카테터를 삽입하였다. 카테터를 통해 규조 용액 0.5 ml을 1 ml 주사기를 이용하여 기도 내로 투여하였고, 1회 환기량이 약 2.3 ml 되도록 기계호흡기(ventilator, SAR-830, CWE, INC. USA)로 호흡을 15분간 유지하면서 심장박동이 유지되고 있음을 확인하였다. 15분 동안 심장박동과 호흡을 확인한 후, 경추 탈구법을 통해 실험동물을 희생시켜 각 실험군의 장기를 떼, 심장, 간, 신장, 뇌의 순으로 적출하였고 여기에 단백분해효소를 처리하여 조직을 용해하고 규조를 검출하였다.

대조군은 음성 대조군(Group NC, n=2)과 사후 대조군(Group PM, n=3)으로 분류하여 실험을 진행하였다. 음성 대조군은 같은 마취 유도 후에 기도 내 규조 용액의 주입 없이 기관 절개 후 카테터를 삽입, 기계 호흡기만을 적용하여 15분간 호흡 및 심장박동을 유지했다. 사후 대조군은 *Cyclotella*

*striata*를 투여한 Group PM-1 (n=1), *Navicula incerta*를 투여한 Group PM-2 (n=1), *Pleurosigma angulatum*을 투여한 Group PM-3 (n=1)으로 분류하였다. 사후 대조군은 마취 유도 후 경추 탈구법을 통해 실험동물을 희생시켜 심장박동과 호흡이 정지된 것을 확인한 후, 즉 사후에 쥐의 경부를 절개하여 같은 방법으로 카테터를 통해 익수 매질 0.5 ml을 기도 내로 주입하고 일정 시간 동안 대기 중에 방치하였다. 실험군과 마찬가지로 대조군 쥐의 장기도 폐, 심장, 간, 신장, 뇌의 순으로 적출하였고 단백분해효소를 처리하여 조직을 용해하고 규조를 검출하였다. 실험과정은 조선대학교 동물실험윤리위원회의 규정에 따라 진행하였다.

#### 4. 규조 검사

각 실험군에서 적출한 장기는 증류수로 물로 씻은 후 가위를 이용하여 잘게 분쇄하였다. 조직을 용해하기 위해 조직 1 g 당 완충용액 10 ml (2% SDS, 0.01M Tris-HCl, pH 7.5)와

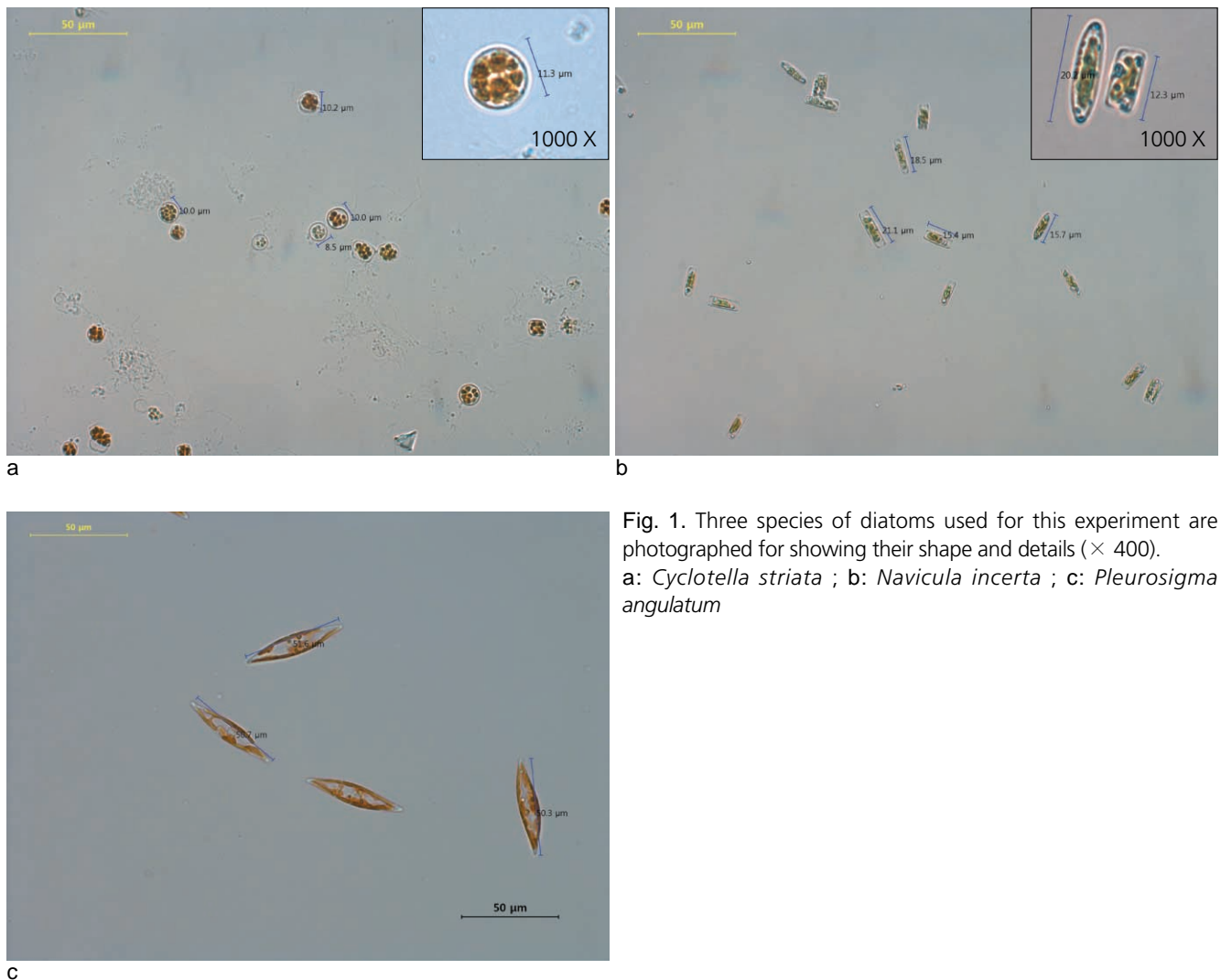


Fig. 1. Three species of diatoms used for this experiment are photographed for showing their shape and details ( $\times 400$ ). a: *Cyclotella striata* ; b: *Navicula incerta* ; c: *Pleurosigma angulatum*

Proteinase K (20 mg/ml, TaKaRa, Japan)를 25  $\mu$ l 첨가하여 50°C 인큐베이터 안에서 4시간 동안 반응시켰다. 반응이 끝난 후 검체를 3,000 rpm에서 15분간 원심분리하여 상층 액은 제거하고 침전물을 회수하였다. 이렇게 회수된 침전물은 3차 증류수 10 ml로 물로 씻은 후 다시 같은 조건으로 원심분리를 반복하였고, 다시 상층 액은 제거하고 남은 침전물을 3차 증류수 600  $\mu$ l로 현탁 시켰다. 얻어진 최종 양의 절반인 300  $\mu$ l를 유리 슬라이드 위에 올린 후 건조기(slide warmer)에서 건조해 봉입제나 커버글라스를 사용하지 않고 표본 슬라이드를 제작하여 광학현미경 (LEICA DM 2500, Germany) 하에서 구조를 계수하였다. 폐 조직의 경우처럼 구조 개체 수가 너무 많아 슬라이드 상에서 계수가 곤란한 경우에는, 남은 검체 300  $\mu$ l를 Sedgwick Rafter chamber에 넣고 앞에서 방법과 공식에 따라 구조를 계수하였다.

## 결 과

쥐의 기도 내로 구조 용액이 투입되면 실험동물은 순간 혈떡 호흡을 보이거나 약 10여 초간의 일시적인 호흡정지 상태를 보인 후 곧 호흡을 회복하였으나 이때부터는 흉곽을 사용하는 거친 호흡을 보였다. 이때 이미 확보해 둔 기도를 통해 기계 호흡기를 작동시켜 실험동물의 호흡과 심장박동을 유지할 수 있었다. 구조용액의 기도 내 주입 직후부터 실험동물은 호흡곤란을 보였고 따라서 기도 내에 포말이 형성되면서 코와 입을 통해 거품이 뿜어져 나오기도 하고, 투여된 익수 매질이 일부 역류하는 때도 있어, 이러한 역류가 실험결과에 일부 영향을 미쳤을 가능성도 추정되었다. 효소 처리 후 각 장기에서 검출된 구조의 형태는 효소 처리 전의 고유 형태를 비교적 그대로 유지하고 있었다(Fig. 2).

### 1. 실험군-Cyclotella striata

*Cyclotella striata*는 기도를 통해 약 55,100 개체가 주입되었고, 단백효소분해법을 통해 회수된 개체 수는 폐에서 최대 36,000 개체, 최소 20,412 개체가 확인되었고, 평균 26,589 개체가 검출되어, 평균 회수율  $\pm$  표준오차는  $48.26 \pm 4.87\%$ 이었다. 5 마리의 실험군에서 장기별로 검출된 전체 개체 수를 보면, 신장에서 총 216 개체, 심장은 총 102 개체, 뇌는 총 76 개체, 간(肝)은 총 20 개체였고, 평균 회수율  $\pm$  표준오차는 신장  $0.078 \pm 0.018\%$ , 심장  $0.037 \pm 0.009\%$ , 뇌  $0.028 \pm 0.007\%$ 이었으며, 간은 평균  $0.007 \pm 0.004\%$ 로 간에서 가장 낮은 회수율을 나타냈다.

### 2. 실험군-Navicula incerta

*Navicula incerta*의 경우에는 약 129,000 개체가 기도 내로

투입되었고 폐에서 검출된 구조 개체 수의 범위는 최대 128,232 개체에서 최소 95,448 개체 수가 검출되었으며, 평균 104,575 개체가 확인되어, 평균 회수율  $\pm$  표준오차는  $81.07 \pm 4.75\%$ 이었다. 5 마리의 실험군에서 폐 이외의 장기별로 검출된 전체 개체 수를 보면, 신장에서 총 68 개체, 심장에서 총 48 개체, 간은 총 24 개체, 뇌에서 총 12 개체가 검출되었고 평균 회수율  $\pm$  표준오차는 신장  $0.011 \pm 0.002\%$ , 심장  $0.007 \pm 0.002\%$ , 간에서  $0.004 \pm 0.001\%$ , 뇌에서  $0.002 \pm 0.001\%$ 의 회수율을 보였다.

### 3. 실험군-Pleurosigma angulatum

*Pleurosigma angulatum* 주입 실험군은 약 50,377 개체의 구조가 기도로 주입되었고 폐에서의 검출 개체 수 범위는 최대 7,440 개체에서 최소 240 개체로 큰 차이를 보였다. 폐에서 평균 2,694 개체가 검출되어 평균 회수율  $\pm$  표준오차는  $5.35 \pm 2.56\%$ 로 낮은 수치를 보였다. 그 밖의 장기를 보면, 5마리의 실험군 중 심장에서는 한 개체도 검출되지 않았고 간과 신장, 뇌에서 각각 4 개체의 구조를 확인하였으며, 3종의 실험군 중에서 가장 낮은 회수율을 보였다.

### 4. 음성대조군

음성 대조군에서는 폐를 비롯한 모든 장기에서 구조가 전혀 검출되지 않았다.

### 5. 사후대조군

사후에 *Cyclotella striata*가 기도 내로 약 55,100 개체가 주입되었고 구조검사를 통해 폐에서 회수된 개체 수는 24,600 개체로, 44.65%의 회수율을 보였다. 사후 투여군으로 심장, 간, 뇌에서는 구조가 전혀 검출되지 않았으나, 신장에서 2 개체의 구조가 검출되어, 실험과정에서의 오염의 가능성을 보여주었다.

*Navicula incerta*의 경우, 약 129,000 개체가 기도 내로 주입되었고, 폐에서 회수된 개체 수는 76,104 개체로, 59.00%의 회수율을 보였다. 폐 이외의 나머지 장기에서는 전혀 검출되지 않았다.

*Pleurosigma angulatum*의 경우, 약 50,377 개체가 기도로 주입되었고, 폐에서 회수된 개체 수는 9,600 개체로, 19.06%의 회수율을 보였다. 폐 이외의 장기에서는 전혀 검출되지 않았다.

본 실험의 결과를 정리하면, 음성대조군을 제외하고 실험군 Group 1, Group 2, Group 3과 사후 대조군 Group PM-1, Group PM-2, Group PM-3은 폐에서 모두 구조가 확인되었다. 폐에서의 평균 회수율은 *Navicula incerta* 투여군(Group



2)에서  $81.07 \pm 4.75\%$ 로 가장 높게 나타났고, *Pleurosigma angulatum* 투여군(Group 3)은  $5.35 \pm 2.56\%$ 로 가장 낮았으며, 이 수치는 사후 대조군에서의 회수율(19.06%)보다 더 낮

았다. 전체 15두의 실험군 중에서 폐를 제외한 각 말초 장기별 구조 검출률을 살펴보면, 신장이 73% (11/15), 심장은 67% (10/15), 뇌 60% (9/15), 간 53% (8/15)로 장기에 따른 양성

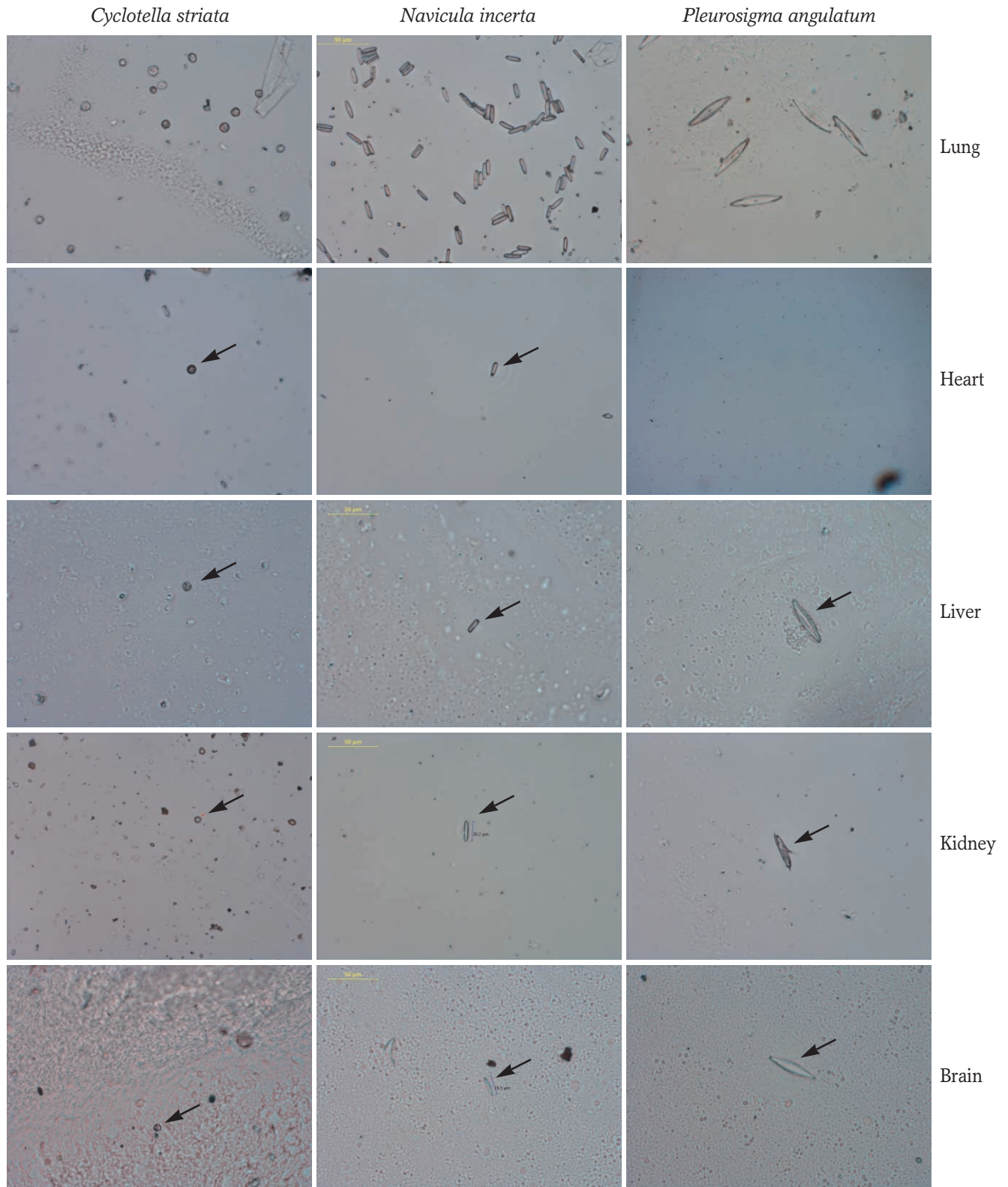


Fig. 2. Photographs show the diatoms extracted from experimentally drowned rat's organs ( $\times 400$ ).

검출률의 차이도 확인되었다. 실험군별 장기별 규조 검출 및 회수율은 Table 2와 Table 3에 요약하였다.

## 고 찰

익사의 진단을 위한 규조검사의 기본 가정은 익수매질 안에 떠 있는 규조를 익사의 과정에서 기도 내로 들이키게 되면, 폐로 흡입된 규조가 폐포를 파열시키고 폐모세혈관을 거쳐 순환계를 통해 말초장기에 도달하게 된다는 것이다. 즉 익사의 과정에서 인체의 폐포 내로 흡입된 익수매질은 확산과 삼투로 혈액으로 들어오고, 이때 함께 흡입된 규조가 심장박동에 따라 혈류를 타고 몸의 여러 장기에 퍼지게 되는데, 이러한 특성에

근거하여 수중시체의 폐에서 검출되는 다량의 규조나 전신의 내부 폐쇄장기에서 검출되는 규조는 익사를 증명해 줄 수 있는 의미 있는 증거가 된다고 여겨지고 있다.<sup>4)</sup> 그러나 이와 같은 규조 분석법을 익사의 확진법으로 적용하기에는 아직도 몇 가지 한계가 제기되고 있다. 즉, 익사가 아닌 시체의 장기에서도 플랑크톤이 검출된다는 보고<sup>9)</sup>와, 그 반대로 익사체의 장기에서 플랑크톤이 검출되지 않는다는 보고,<sup>7)</sup> 조직을 용해하기 위해 처리한 강산이 일부 규조류까지도 용해할 수 있다는 점,<sup>10)</sup> 그리고 수중 표류 중의 수압 등의 영향에 따른 사후 오염의 가능성<sup>11)</sup> 등이 그것이다.

본 실험을 통해 사후 대조군 한 예의 신장 조직에서 두 개체의 규조가 검출되었고, 이는 폐를 제외한 12건의 실험 장기

**Table 2.** Total Number of Extracted Diatom Cells in Analyzed Organs of Rats

No.	Species	Lung	The closed organs				Total
			Heart	Liver	Kidney	Brain	
1	<i>Cyclotella striata</i>	24,000	24	— <sup>†</sup>	36	12	72
2		28,536	30	4	24	24	82
3		20,412	30	—	60	12	102
4		36,000	6	12	24	4	46
5		24,000	12	4	72	24	112
Subtotal		UC*	102	20	216	76	414
6	<i>Navicula incerta</i>	96,516	16	8	8	4	36
7		128,232	12	—	12	4	28
8		104,640	8	8	24	—	40
9		95,448	8	4	16	4	32
10		98,040	4	4	8	—	16
Subtotal		UC	48	24	68	12	152
11	<i>Pleurosigma angulatum</i>	1,230	—	—	—	4	4
12		7,440	—	4	—	—	4
13		240	—	—	—	—	0
14		3,360	—	—	4	—	4
15		1,200	—	—	—	—	0
Subtotal		UC	0	4	4	4	12
16	PM- <i>Cyclotella striata</i>	24,600	—	—	2	—	2
17	PM- <i>Navicula incerta</i>	76,104	—	—	—	—	0
18	PM- <i>Pleurosigma angulatum</i>	9,600	—	—	—	—	0
19	Negative control (1)	—	—	—	—	—	0
20	Negative control (2)	—	—	—	—	—	0
Total		UC	150	48	290	92	580

\*U: Uncalculated ; <sup>†</sup>(—): no diatoms present

**Table 3.** Reclaiming Ratio of Diatoms by Experimental Groups and Organs

Organs	Experimental group			Post-mortem control group		
	<i>Cyclotella striata</i> (Ave., %)	<i>Navicula incerta</i> (Ave., %)	<i>Pleurosigma angulatum</i> (Ave., %)	<i>Cyclotella striata</i> (%)	<i>Navicula incerta</i> (%)	<i>Pleurosigma angulatum</i> (%)
Lung	48.26 ± 4.87	81.07 ± 4.75	5.35 ± 2.56	44.65	59.00	19.06
Heart	0.037 ± 0.009	0.007 ± 0.002	—	—	—	—
Liver	0.007 ± 0.004	0.004 ± 0.001	0.002 ± 0.002	—	—	—
Kidney	0.078 ± 0.018	0.011 ± 0.002	0.002 ± 0.002	—	—	—
Brain	0.028 ± 0.007	0.002 ± 0.001	0.002 ± 0.002	—	—	—

서 한 예의 두 개체 검출인바, 그 빈도가 흔하다고는 할 수 없지만, 실험과정에서의 오염 가능성이 완전히 차단되지 않고 있음을 확인할 수 있었다.

중심목 구조인 *Cyclotella striata*와 우상목인 *Navicula incerta*, *Pleurosigma angulatum*이 각 장기에서 검출되는 정도를 비교해 보면, *Navicula incerta*의 경우 폐에서 평균 81.07%의 회수율을 보여 주입했던 구조의 대부분이 회수되는 양상을 보였으나, *Cyclotella striata*의 경우 평균 48.26%, *Pleurosigma angulatum*의 경우는 평균 5.35%의 회수율을 보여 검출 과정에서 상당수의 구조가 유실될 수 있고, 그 정도는 장기 내로 침투한 구조의 절반을 웃돌 수 있음을 시사하였다. 이러한 유실의 원인을 추론해 본다면, 그 첫째는 익사의 경우, 거친 호흡으로 말미암은 익수 매질의 역류 또는 포말과 형성을 통한 유실이 가능하겠고, 두 번째는 구조의 크기가 관여하고 있을 것으로 추정된다. 즉, 크기가  $8.8 \pm 2.7 \mu\text{m}$ 인 *Cyclotella striata* 보다 크기가 2배 정도 큰 *Navicula incerta* ( $19.3 \pm 1.9 \mu\text{m}$ )가 유실이 적었고, 3종 중에 크기가 가장 큰 *Pleurosigma angulatum* ( $68.0 \pm 5.7 \mu\text{m}$ )의 유실이 가장 심한 점에 비추어 구조 검사의 검출률은 구조의 크기에 따라 영향을 받을 수 있음을 시사하였다. 이러한 결과를 근거로 너무 크거나 너무 작은 구조는 분석과정에서 그 유실의 정도가 크다는 사실을 반영하여 검출 단계에서의 세심한 조작과 결과 해석과정에서의 고려가 필요할 것으로 생각된다.

폐를 제외한 폐쇄장기에 대한 검출률에 대한 고찰도 필요하다. 어떤 보고에서는 신장과 뇌에서 구조의 검출률이 높았다<sup>12)</sup>고 하였지만, 또 다른 연구자에 의하면 간 조직에서 구조의 검출률이 높다<sup>13)</sup>고 보고하여 연구결과 사이에 상당한 차이가 나타나고 있다. 이는 아마도 구조의 크기 및 형태를 포함한 종(種) 속성의 차이이거나 검출방법의 특성의 차이에 따른 결과로 생각되는데 본 실험에서도 *Cyclotella striata*는 실험군 5건 중 폐쇄장기에서 검출된 전체 개체 수를 비교해보면 신장, 심장, 뇌, 간의 순서로 검출률이 높았고 *Navicula incerta*의 경우에는 신장, 심장, 간, 뇌의 순서로 검출률이 높았다. 전반적으로 보면 *Cyclotella striata*의 경우는 5건 중 4건에서, *Navicula incerta*의 경우에는 5건 중 3건에서 신장의 검출률이 가장 높았다. 또한, 크기가  $68.0 \pm 5.7 \mu\text{m}$ 인 *Pleurosigma angulatum*가 폐 이외의 장기에서도 검출되었고 특히 뇌에서 플랑크톤의 검출은 8주령의 쥐의 경동맥 평균 안지름이  $1.18 \pm 0.06 \text{ mm}$ 인 점<sup>14)</sup>을 고려했을 때 뇌조직도 진단에 유용한 장기로 적용될 수 있음을 확인해 주었다.

익사진단을 위한 구조분석법의 또 다른 한계점으로 익사체에서 구조검사의 낮은 민감도를 들 수가 있는데, 그 이유에 대한 고찰도 필요하다. 앞선 설명처럼 다량의 플랑크톤이 기도 내로 흡입되었다 하더라도, 내부 장기로부터의 플랑크톤 검출 과정에서 유실되었을 가능성이 있기 때문에, 익사 현장의 수생 환경에 플랑크톤 분포 개체 수가 적은 상황이라면 익사의 경우

라 하더라도 위음성의 결과를 초래할 가능성이 높다고 생각된다. 이는 선행 연구인 가거도 인근 해수에서의 플랑크톤 분포와 분석방법에 따른 검출률의 차이 비교에 대한 보고<sup>15)</sup>에서 언급했듯이 특정 지역에 서식하는 플랑크톤의 분포 개체 수가 예상외로 적을 수도 있다는 점이 플랑크톤 검사의 낮은 민감도에 대한 원인이 될 수 있다는 점을 이해하고 있어야 하겠다. 본 연구의 결과, 구조의 종에 따라 말초 장기에서 검출되는 개체 수와 검출률에 상당한 차이가 있음을 확인하였고, 이는 결국 구조검사를 통해 익사를 정확하게 진단하기 위해서는 수중시체가 발견된 위치의 수생환경을 분석해야 할 당위성을 강조해 주는 결과라고 생각된다.

보고에 따르면 폐 조직 10g 당 20개의 구조가 검출되고 그 밖의 장기에서는 5개 이상의 구조가 검출되면 익사로 간주한다.<sup>4)</sup> 이렇듯 전신 폐쇄장기에서 일정 개체 이상의 플랑크톤이 검출되는 것이 익사의 진단을 위해서는 필수적이지만, 폐 조직에서만 검출되는 경우라 하더라도 그 개체 수가 일정 수 이상이라면 익사의 근거로 삼을 수 있다는 주장이 있다. 그러나 이러한 연구결과가 검시 실무에 적용되기 위해서는 실험실상의 오염 가능성을 최대한 차단하여야 하고, 아울러 시체가 발견된 위치의 수생환경, 즉 서식 우점종 구조 및 그 크기와 형태 등에 대한 정보가 확보되어 구조검사 결과의 해석에 반영될 필요가 크다고 생각된다.

## 참 고 문 헌

1. Soar J, Deakin CD, Nolan JP, et al. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2005. Section 7. Cardiac arrest in special circumstances. Resuscitation 2005;67S1:135-70.
2. Zhu BL, Quan L, Li DR, et al. Postmortem lung weight in drownings: a comparison with acute asphyxiation and cardiac death. Leg Med (Tokyo) 2003;5:20-6.
3. Piette MH, De Letter EA. Drowning: Still a difficult autopsy diagnosis. Forensic Sci Int 2006;163:1-9.
4. Ludes B, Coste M, Tracqui A, et al. Continuous river monitoring of the diatoms in the diagnosis of drowning. J Forensic Sci 1996;41:425-8.
5. Sidari L, Nunno ND, Costantinides F, et al. Diatom test with Soluene-350 to diagnose drowning in sea water. Forensic Sci Int 1999;103:61-5.
6. Lunetta P, Penttila A, Hallfors G. Scanning and transmission electron microscopical evidence of the capacity of diatoms to penetrate the alveolo-capillary barrier in drowning. Int J Legal Med 1998;111:229-37.
7. Pollanen MS, Cheung C, Chiasson DA. The diagnostic value of the diatom test for drowning, I. Utility: a retrospective analysis of 771 cases of drowning in Ontario, Canada. J Forensic Sci 1997;42:281-5.
8. Woelkerling WJ, Kowal RR, Gough SB. Sedgwick-Rafter cell counts : a procedural analysis. Hydrobiologia

1976;48:95-107.

9. Foged N. Diatoms and Drowning - Once More. *Forensic Sci Int* 1983;21:153-9.
10. Ming M, Meng X, Wang E. Evaluation of four digestive methods for extracting diatoms. *Forensic Sci Int* 2007;170:29-34.
11. Ludes B, Quantin S, Coste M, et al. Application of a simple enzymatic digestion method for diatom detection in the diagnosis of drowning in putrified corpses by diatom analysis. *Int J Legal Med* 1994;107:37-41.
12. Krstic S, Duma A, Janevska B, et al. Diatoms in forensic expertise of drowning - a Macedonian experience. *Forensic Sci Int* 2002;127:198-203.
13. He F, Huang D, Liu L, et al. A novel PCR-DGGE-based method for identifying plankton 16S rDNA for the diagnosis of drowning. *Forensic Sci Int* 2008;176:152-6.
14. Kwon JS, Park NK, Jeong IH, et al. A slight variation in the age of rats commonly used as a carotid artery injury model results in a large difference in neointima formation. *Korean Circ J* 2007;37:78-83.
15. Hong JW, Lee KL, Kim YS. The comparison of plankton detection by two analysis methods in the seawater of Gageo island. *Korean J Leg Med* 2012;36:144-50.