

PC 카메라를 이용한 수돗물의 과망간산칼륨소비량 적정 자동화

이형춘[†]

서원대학교 식품영양학과
(2007. 12. 31. 접수/2008. 2. 14. 채택)

Automatic Titration for $KMnO_4$ Consumption Test of Tap Water Using Personal Computer Camera

Hyeong-Choon Lee[†]

Dept. of Food and Nutrition, Seowon University, Cheongju 361-742, Korea
(Received December 31, 2007/Accepted February 14, 2008)

ABSTRACT

An automatic titration system using a PC-camera with a color filter on its lens was used in the $KMnO_4$ consumption test of tap water and distilled water in relation to blank tests. The very faint pink color of titration end point could be effectively detected by using a yellow cellophane paper as a color filter. The average hue value (Havg) of 192 pixels in the image of the sample solution being titrated was computed and followed up at regular time intervals during titration in order to detect the titration end point. The Havg decrease of 2 degrees from the average of first 10 Havg's was regarded as reaching the end point. The volume of 0.01N $KMnO_4$ consumed by a tap water sample was 0.728 ± 0.022 ml in manual titration and 0.735 ± 0.013 ml in automatic titration ($p=0.580$). The volume of 0.01N $KMnO_4$ consumed by a distilled water sample was 0.383 ± 0.015 ml in manual titration and 0.367 ± 0.015 ml in automatic titration ($p=0.252$). The high p-values for t-test suggested that there were good agreements between manual and automatic titration data and the automatic method proposed in this article was considered to effectively replace the manual titration.

Keywords: automatic titration, PC camera, $KMnO_4$ consumption

I. 서 론

적정과 같은 화학분석 작업을 자동화하면 일반적으로 많은 양의 시료를 처리할 경우 노력과 시간소모를 줄일 수 있다는 이점이 있다. 과망간산칼륨소비량 적정의 경우에는 적정 종말점에서 열린 홍색을 검출해야 하므로 특히 숙달되지 않은 실험자의 경우 적정 오차가 커질 수 있는데, 적정종말점을 자동으로 검출할 수 있으면 열린 홍색 검출의 재현성이 높아지므로 적정오차를 줄일 수 있다.

Personal computer의 화상 카메라(이하 PC 카메라)는 저렴하고 PC에 연결하여 편리하게 사용할 수 있으므로 적정과 같은 화학분석 작업의 자동화에 이용하면 유리하다. PC 카메라를 사용한 적정 자동화 연구는 활발성

염기질소 분석시 수행한 것¹⁾과 식초, 우유 및 탁주의 산도 분석시 수행한 것²⁾이 있다. 전자의 연구는 적정 종말점에서 혼합 지시약의 색이 적색에서 녹색으로 변화하는 것을 PC 카메라로 검출하여 적정액의 공급을 제어하였는데, 구체적인 검출방법은 적정 중 피적정액의 화상에서 한개 화소의 green 값이 red 값보다 어느 값 이상으로 커지는 것을 적정 종말점으로 설정하는 방식이었으며, 종말점 이전에 색을 띄지 않는 경우에는 적용할 수 없는 방법이다. 후자의 연구에서는 한개 화소가 아닌 여러 화소의 색 정보를 이용하였으며, 색 정보로서 hue값을 사용하였다. Hue 값은 HSI(hue, saturation, intensity) 색 모델에서 색을 나타내는 3가지 특징인 색상, 채도, 명도 중 색상을 나타내는 값으로서 일반적으로 적색을 기준(0도)으로 하여 각 색상을 360도의 각도로 나타낸다³⁾. 즉, 적정 중 피적정액의 PC 카메라 화상에서 144개 화소의 hue 값의 평균치(Havg)를 산출하고 이 평균치가 종말점에서 증가 또는 감소하는 것을 추적하여 적정 종말점을 검출하는 방법을 사

[†]Corresponding author : Dept. of Food and Nutrition, Seowon University
Tel: 82-43-299-8744, Fax: 82-43-299-8744
E-mail: hclee@seowon.ac.kr

용하였는데, 이 방법은 종말점 이전에 색을 띄지 않는 경우를 포함하여 색변화를 이용하여 종말점을 검출하는 대부분의 적정에 이용할 수 있는 방법이라고 생각된다.

과망간산칼륨소비량 분석은 수질 시료내 유기물질량을 측정하기 위해 수행하는 분석이며, 음료수 수질 평가^{4,5}, 상수원 수질 평가^{6,7}, 상수처리 효과 측정⁸, 고도정수처리 효과 측정^{9,10}, 수영장 수질 평가¹¹, 합성수지 또는 합성고무제품의 유기물 용출 정도 측정¹² 등에 사용된다. 과망간산칼륨소비량 분석시 수행하는 적정의 특징은 지시약을 따로 사용하지 않고 과망간산칼륨용액의 옅은 홍색이 잔류할 때까지 적정한다는 것이며 종말점에서 피적정액의 홍색이 짙어질수록 오차는 더 커진다. 따라서, PC 카메라를 사용하여 과망간산칼륨소비량 적정을 자동화하고자 할 경우 오차를 최소한으로 줄이기 위해서는 옅은 홍색을 정밀하게 검출할 수 있어야 한다.

PC 카메라를 이용하여 과망간산칼륨소비량 적정을 자동화하기 위해 피적정액 화상 중 여러 화소의 Havg의 변화로 적정종말점을 검출하는 방법²을 사용하여 보았으나 옅은 홍색을 띄는 종말점 전후의 Havg들이 큰 차이를 보이지 않아서 효과적으로 옅은 홍색을 검출할 수 없었다. 그러나, 색필터를 사용하여 렌즈에 도달하는 빛의 투과파장을 선별할 경우 옅은 홍색 출현전후의 Havg의 차이가 커져서 종말점 검출의 정밀도가 증가할 수도 있다고 생각되었으므로, 여러 종류의 색필터로 예비실험한 결과 황색 셀로판지를 필터로 사용할 경우 가장 효과적으로 옅은 홍색을 검출할 수 있었다.

따라서, 본 연구는 색필터로써 황색 셀로판지를 부착한 PC 카메라를 이용한 자동적정 방법이 적정액 소비량이 적어서 적용이 까다로운 수돗물의 과망간산칼륨소비량 적정에 적용 가능한가를 평가하기 위하여 수행되었다.

II. 연구방법

1. 시료

정수처리되었기 때문에 적정액 소비량이 적은 수돗물을 시료로 사용하여 본 논문의 자동적정 방법이 적정액 소비량이 적어서 상대오차가 커질 경우에도 효과적으로 적용될 수 있는가를 알아보았다. 같은 이유로 증류수를 사용하는 공시험에도 적용 가능한가를 알아보았다.

2. 과망간산칼륨소비량 분석 방법

먹는물수질공정시험방법¹³에 근거하였다. 즉, 수돗물

또는 증류수 100 ml를 5개의 비등석을 넣은 삼각플라스크(250 ml)에 넣고 증류수와 황산(Jin Chemical Pharmaceutical Co., Ltd., Korea)을 2:1로 혼합한 묽은 황산 5 ml와 0.01N KMnO₄ 용액 10 ml를 넣어 5분간 끓인 후 0.01N Na₂C₂O₄ 용액 10 ml를 넣어 탈색시킨 다음 뷰렛(50 ml)으로 0.01N KMnO₄ 용액을 수동 또는 자동으로 가하여 옅은 홍색이 10초간 유지될 때까지 소비된 0.01N KMnO₄ 용액의 양(ml)을 측정하여 결과로 나타내었다. 0.01N KMnO₄ 용액과 0.01N Na₂C₂O₄ 용액은 각각 0.1N KMnO₄ 표준용액(DC Chemical Co., Ltd., Korea)과 0.1N Na₂C₂O₄ 표준용액(DC Chemical Co., Ltd., Korea)을 증류수로 10배 희석하여 사용하였다.

3. 자동적정 시스템

자동적정 시스템의 모식도는 Fig. 1과 같다. 그림에서와 같이 PC 카메라(LPC-U30, LG, Korea), PC(M2700, Samsung, Korea), LCD모니터(CX931B, Samsung, Korea; 해상도설정-1280×1024 픽셀), D/A 변환기(PCL812PG, Advantech, Taiwan), 튜빙펌프(SMP-23S, Eyela, Japan), 테플론 튜빙(내경 0.8 mm), 튜빙 어댑터(Upchurch scientific, USA), 스테레스 스틸관(내경 2 mm), 뷰렛(50 ml) 및 마그네틱 교반기(ECM5, GmbH, Germany)를 사용하여 구성하였다.

4. 색필터

예비실험 결과 녹색, 적색 및 청색 필터는 효과가 없었고, 황색 필터 종류가 Havg의 변동폭을 감소시키는 효과가 있었으며, 황색 필터 중에서도 황색 셀로판지를 사용한 경우가 가장 좋은 효과를 나타내었으므로 황색 셀로판지를 필터로 사용한 경우와 필터를 사용하지 않

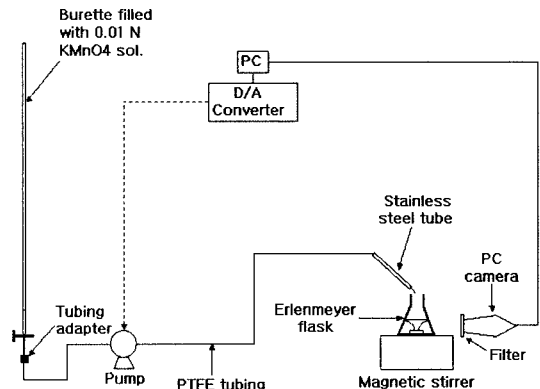


Fig. 1. Schematic diagram of the automatic titration system for KMnO₄ consumption test.

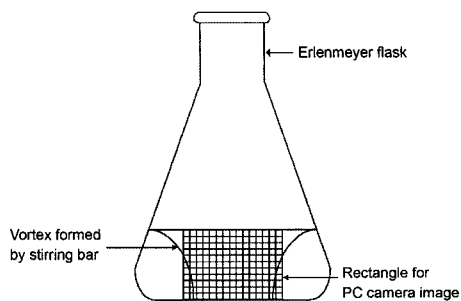


Fig. 2. Diagram of erlenmeyer flask containing solution to be titrated and rectangular PC camera image from which 192 pixels were selected and the average of 192 hue values for those pixels was calculated.

은 경우의 실험결과를 서로 비교하였다.

5. 자동적정 방법

PC 카메라를 삼각플라스크의 밑부분과 서로 직각이 되게 설치(Fig. 1)하였는데, 설치위치를 일정하게 하기 위하여 플라스크내의 시료용액이 stirring bar에 의하여 교반되는 상태에서 형성되는 용액의 위 가로선과 아래 가로선을 PC 카메라에 의하여 형성되는 직사각형 화상의 위 가로선과 아래 가로선에 맞추었다. 설정된 직사각형 화상 전체로부터 가로와 세로 공히 일정 간격으로 192개의 픽셀을 선택하였다(Fig. 2). 선택된 픽셀들 중 서로 이웃하는 픽셀 사이의 픽셀 번호의 차이는 20이었다.

선택된 192개 픽셀의 red 값, green 값 및 blue 값을 읽어 들어서 hue 값으로 변환하고 192개 hue 값의 평균치(Havg)를 산출하여 초기에 산출되는 10개의 Havg의 평균치를 기준치(Href)로 저장한 다음, 이 기준치와 적정과정에서 일정시간 간격으로 반복적으로 산출되는 Havg와의 차이값(Diff)을 산출하여 차이값이 2 미만이면 유량을 0.88 ml/min로 하고 차이값이 2이상이면 펌프를 정지시키는 조작을 반복하다가 차이값이 2 이상으로 약 10초간 유지되면 적정을 종료하는 것으로 하였다(Fig. 3). Red, green 및 blue 값으로부터 hue 값을 산출하는 식³⁾은 다음과 같다.

$$\theta = \cos^{-1} \left[\frac{(R - G) + (R - B)}{2\sqrt{(R - G)^2 + (R - B)(G - B)}} \right]$$

$$Hue = \begin{cases} \theta & \text{if } B \leq G \\ 360 - \theta & \text{if } B \geq G \end{cases}$$

여기에서, R = red값, G = green값, B = blue값
 자동적정 프로그램은 Microsoft Visual Basic 6.0으

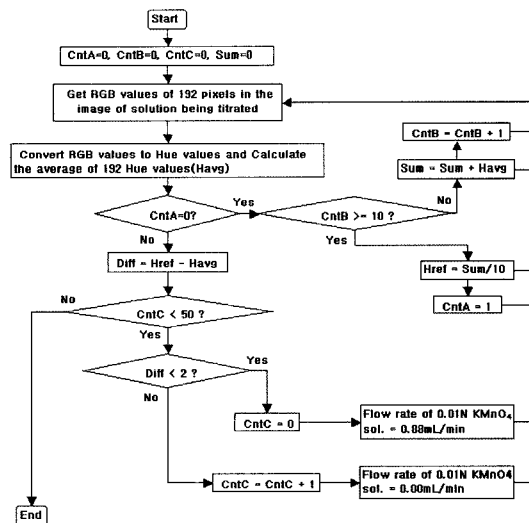


Fig. 3. Flowchart for the automatic titration in KMnO₄ consumption test.

로 작성하였다. 자동적정 실험은 태양광을 차단하고 100룩스 이상의 조도에서 수행하였다.

6. 통계처리

Microsoft Excel 5.0을 사용하여 실험결과를 평균±표준편차로 나타내는 동시에, 수동적정과 자동적정의 결과에 대하여 유의수준 0.05로 t-test를 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

Fig. 4는 선택된 픽셀들 중 서로 이웃하는 픽셀 사이의 픽셀 번호의 차이에 대하여 컴퓨터가 한 개의 Havg를 산출하는데 걸리는 시간을 계산하여 나타낸 것

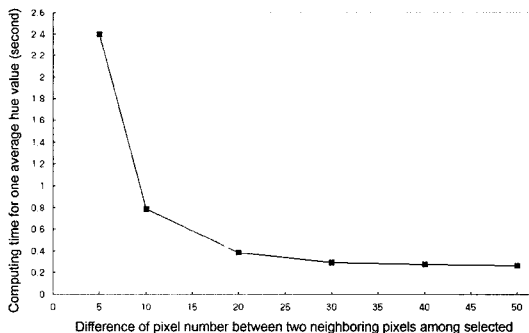


Fig. 4. Computing time for one average hue value to pixel sampling size expressed as difference of pixel number between two neighboring pixels among all selected pixels in PC camera image.

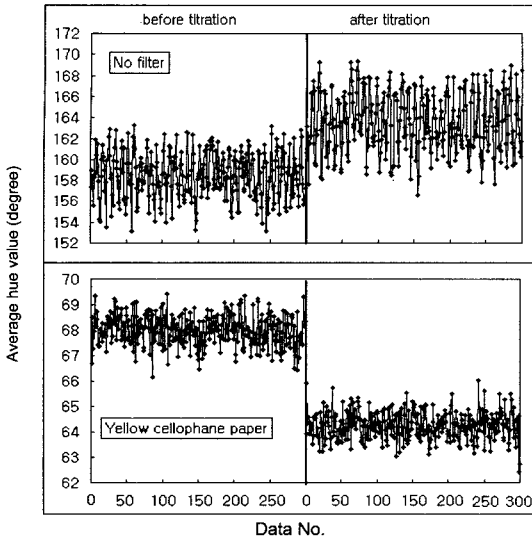


Fig. 5. Improvement in endpoint detection sensitivity by using a yellow cellophane paper as a color filter over using no filter (In both cases, the variation of 300 average hue values of the colorless sample solution before beginning the titration was compared with that of the solution having reached the very faint pink colored endpoint).

이다. 픽셀번호의 차이 5, 10, 20, 30, 40 및 50은 각각 픽셀 선택수 2745, 713, 192, 88, 48 및 35개에 해당하며, 한 개의 Havg 산출시간은 각각 0.264, 0.277, 0.292, 0.383, 0.784 및 2.4초였다. 픽셀번호의 차이가 20보다 더 작아지면, Havg 산출시간이 급격히 증가하는 양상을 보였으므로 색조변화 검출의 정밀도를 최대한 확보하면서 정상적인 자동적정을 수행하기 위해서는 픽셀 번호의 차이를 픽셀 선택수 192개에 해당하는 20으로 하는 것이 적정하다고 판단된다.

Fig. 5는 필터를 사용하지 않은 경우와 황색 셀로판지 필터를 사용한 경우를 서로 비교하여 필터 사용의 효과를 나타낸 것이다. 두 경우 공히 색을 띄지 않는 적정 전 피적정액의 Havg값 300개의 변동양상과 적정 후에 아주 옅은 홍색을 띄는 피적정액의 Havg 값 300개의 변동양상을 서로 비교하였다. 필터를 사용하지 않은 경우에는 적정 전 300개 데이터의 평균과 표준편차는 158.50 ± 2.25 였고, 적정 후 300개 데이터의 평균과 표준편차는 163.56 ± 2.84 였으며, 황색 셀로판지 필터를 사용한 경우에는 각각 67.99 ± 0.62 와 64.26 ± 0.56 이었다. 필터를 사용하지 않은 경우에는 적정 전에 비하여 적정 후에 300개 Havg의 평균이 5.06만큼 증가하여 색변화를 감지하기는 하였으나, 적정전과 적정후의 변이계수가 각각 1.42 및 1.74로 변동폭이 커서 적정 전후의 데이터들이 효과적으로 분리되지 않았기 때문에

종말점에서 나타나는 옅은 홍색으로의 변화를 효과적으로 검출할 수 없었다. 황색 셀로판지 필터를 사용한 경우에는 적정 전후의 변이계수가 각각 0.91 및 0.87로 필터를 사용하지 않은 경우에 비하여 작아서 적정 전후의 데이터들이 효과적으로 분리되었다. 황색 셀로판지 필터를 사용한 경우 필터를 사용하지 않은 경우에 비하여 Havg의 변동폭이 작아진 것은 황색계통의 필터가 푸른색 계통의 단파장 빛을 차단한 결과라고 생각된다.

수돗물 시료에 대하여 수동적정과 황색 셀로판지 필터를 사용한 자동적정을 각각 4회 수행한 후 0.01N KMnO₄ 용액의 소비량으로서 나타낸 결과는 Table 1과 같다. 즉, 수동적정에서는 4회의 적정액 소비량이 각각 0.72 ml, 0.74 ml, 0.75 ml 및 0.70 ml로 얻어져서 평균과 표준편차는 0.728 ± 0.022 ml였으며, 자동적정에서는 0.72 ml, 0.75 ml, 0.74 ml 및 0.73 ml로 얻어져서 평균과 표준편차는 0.735 ± 0.013 ml였다. 이 데이터에 대하여 t-test를 실시한 결과 양측검정의 p 값이 0.580로 크게 얻어져서 수동적정과 자동적정의 데이터 사이에 유의차가 없으며(p>0.05), 서로 잘 일치하는 것으로 나타났다.

다음으로 공시험용 증류수 시료에 대하여 수동적정과 황색 셀로판지 필터를 사용한 자동적정을 각각 3회 수행한 후 0.01N KMnO₄ 용액의 소비량으로서 나타낸 결과는 Table 2와 같다. 즉, 수동적정에서는 3회의 적정액 소비량이 각각 0.37 ml, 0.40 ml 및 0.38 ml로 얻어져서 평균과 표준편차는 0.383 ± 0.015 ml, 자동적정에서는 0.35 ml, 0.38 ml 및 0.37 ml로 얻어져서 평균과

Table 1. Volume of 0.01N KMnO₄ solution added to a tap water sample for manual and automatic titration in KMnO₄ consumption test

Volume of 0.01N KMnO ₄ added (ml)		t-value	p-value ²⁾
Manual titration	Automatic titration		
0.728 ± 0.022 ¹⁾	0.735 ± 0.013	-0.585	0.580

¹⁾mean±standard deviation for 4 replicates.

²⁾p-value for the two-tailed test.

Table 2. Volume of 0.01N KMnO₄ solution added to distilled water for manual and automatic titration in KMnO₄ consumption test

Volume of 0.01N KMnO ₄ added (ml)		t-value	p-value ²⁾
Manual titration	Automatic titration		
0.383 ± 0.015 ¹⁾	0.367 ± 0.015	1.336	0.252

¹⁾mean±standard deviation for 3 replicates.

²⁾p-value for the two-tailed test.

표준편차는 0.367 ± 0.015 m이었다. t-test 결과 p값이 0.252로 얻어져서 수돗물 시료보다는 작았으나, 수동적 정과 자동적정의 데이터 사이에 유의차가 없으며 ($p > 0.05$), 서로 잘 일치하는 것으로 나타났다. 증류수 시료의 p 값이 수돗물 시료보다 작은 것은 수돗물 시료에 비하여 증류수 시료의 측정치가 작기 때문에 측정치에 대한 오차의 비율이 큰 것이 주요한 이유라고 생각된다.

수돗물 시료의 경우 변이계수가 수동적정의 경우에는 3.02이고 자동적정의 경우에는 1.77로서 자동적정의 경우가 데이터의 재현성이 더 높은 것으로 나타났으며, 증류수 시료의 경우에는 각각 3.92 및 4.09로서 거의 비슷한 것으로 나타났다.

수돗물 시료 및 증류수 시료 두 가지 모두 적정액 소비량이 적은 경우인데도 불구하고 자동적정과 수동적정의 데이터가 잘 일치하고 자동적정 데이터의 재현성이 수동적정 데이터에 비하여 열등하지 않으므로 황색 셀로판지 필터를 부착한 PC 카메라를 사용한 자동적정이 수동적정을 대체할 수 있다고 생각된다. 또한, 본 논문의 방법이 미소한 색변화를 검출하여야 하는 다른 적정의 자동화에도 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

수돗물 시료에 대하여 수행한 네 번의 자동적정에서 적정시간 경과에 따른 Havg의 변화는 모두 거의 비슷한 양상을 나타내었으므로 그 중 한 가지를 Fig. 6에 나타내었다. 적정 개시후 약 3.1초까지는 Havg들의 평균이 65.58이고 표준편차가 0.51이었으나, 이후 약 48.6초까지는 평균이 65.61이고 표준편차가 1.08로서 Havg들의 평균은 거의 변화하지 않았으나, 변이가 커짐으로서 표준편차가 2배 이상 증가하였다. 이후 약 67.0초까지는 이전에 비하여 작은 변이를 보이면서

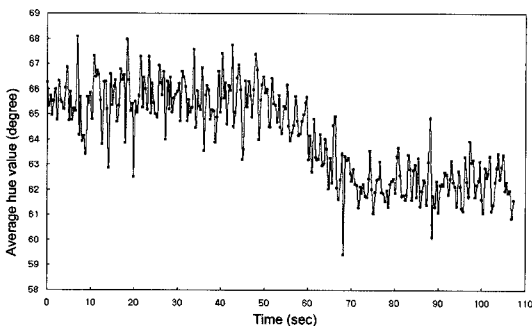


Fig. 6. Average hue value change during automatic titration to measure the amount of 0.01N $KMnO_4$ solution consumed by a tap water sample in $KMnO_4$ consumption test.

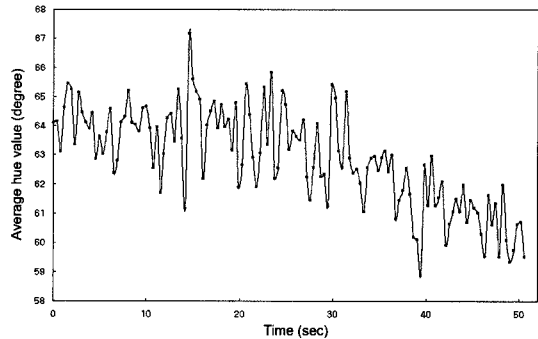


Fig. 7. Average hue value change during automatic titration to measure the amount of 0.01N $KMnO_4$ solution consumed in blank test of $KMnO_4$ consumption test.

Havg가 감소하였고, 이후 두 번의 큰 변이를 보이기는 하였으나 증가나 감소 없이 일정범위를 유지하였다. 67.0초 이후의 Havg들의 평균은 62.3이고 표준편차는 0.81이었다. 약 3.1초까지 Havg의 변동이 작은 이유는 이 기간이 기준치(Href)(65.60)를 산출하는 기간이어서 적정액의 공급이 없었기 때문이다. 이후 변동이 커진 것은 기준치에 근거하여 적정액이 공급되었기 때문이다. 약 67.0초 이후 감소를 보인 것은 시료중의 환원성 물질이 거의 소모되고 공급되는 0.01N $KMnO_4$ 용액의 일부가 잔류함으로써 미홍색을 띄게 되었기 때문이다. 3.1초부터 67.0초까지의 기간에 비하여 67.0초 이후가 변이가 더 작은 것은 67.0초 이후는 적정종말점에 가까운 기간이므로 적정액의 공급이 적었기 때문이다. 97.3초 이후 Havg가 기준치보다 2미만인 63.58미만으로 10초간 유지되었으므로 적정이 종료되었다.

증류수 시료에 대한 세 번의 자동적정에서 적정시간 경과에 따른 Havg의 변화는 모두 거의 비슷한 양상을 나타내었으므로 그 중 한가지를 Fig. 7에 나타내었다. 그림에서와 같이 수돗물 시료의 경우와 유사한 양상을 나타내었다. 기준치는 64.38이었으며, 40.6초 이후 Havg가 기준치보다 2미만인 62.4미만으로 10초간 유지되었으므로 적정이 종료되었다.

IV. 결 론

색필터를 부착한 PC 카메라를 이용한 자동적정 시스템을 사용하여 과망간산칼륨소비량 적정을 자동화하였다. 색필터로서 황색 셀로판지를 사용할 경우 적정종말점에서의 아주 옅은 홍색의 검출이 가능하였다. 황색 셀로판지 필터를 부착한 PC 카메라에 의해 형성된 피적정액의 화상에서 선택된 192개 픽셀(pixel)의 hue 값

의 평균치(Havg)를 일정 시간 간격으로 산출하고, 이 평균치가 기준치(초기 10개 Havg의 평균치)에 비하여 2이상 감소하는 것을 종말점으로 하였다. 수돗물을 시료로 하여 적정한 결과 0.01N KMnO₄ 용액의 소요량이 수동적정에서는 0.728±0.022 ml, 자동적정에서는 0.735±0.013 ml였다. 공시험용 증류수를 시료로 하여 적정한 결과 수동적정에서는 0.383±0.015 ml, 자동적정에서는 0.367±0.015 ml였다. 수동적정 데이터와 자동적정 데이터에 대하여 t-test를 수행한 결과 수돗물 시료의 경우에는 p 값이 0.580이고, 증류수 시료의 경우에는 0.252로 얻어져서 수동적정데이터와 자동적정 데이터 사이에 유의차가 없으며(p>0.05), 서로 잘 일치하는 것으로 나타났으므로 자동적정이 수동적정을 대체할 수 있다고 생각된다.

참고문헌

1. Lee, H. C. : Automatic titration using PC camera in volatile basic nitrogen analysis by microdiffusion method. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, **34**(1), 135-137, 2005.
2. Lee, H. C. : Automatic titration using PC camera in acidity analyses of vinegar, milk and Takju. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, **36**(12), 1583-1588, 2007.
3. Gonzalez, R. C. and Woods, R. E. (Ha, Y. H., Nam, J., Y., Lee, Y. J. and Lee, C. H.) : Digital Image Processing, Green Press, Seoul, 2004.
4. You, E. H., Lee, J. K. and Kim, S. J. : A study on the water quality of domestic mineral water(saengsu). *Korean Journal of Environmental Health*, **16**(2), 41-45, 1990.
5. Moon, C. S., Moon, D. H., Shin, H. L. and Kim, S. C. : A study on the quality of filtered water serviced at pleasure resorts in Pusan area. *Inje Medical Journal*, **11**(3), 347-360, 1990.
6. Lee, S. Y. and Chung, T. H. : Evaluation of bank filtrate water quality in Galjon, the downstream of the Nakdong river. *Journal of the Korean Society of Water and Wastewater*, **17**(4), 487-494, 2003.
7. Lee, J. H. and Lee, I. S. : Comparison of water quality between private and simple-piped drinking water supply in rural community. *Korean Journal of Environmental Health*, **20**(1), 54-61, 1994.
8. Lee, H. K., Paik, N. W. and Paik, D. H. : A study on efficient simple water supply system in rural areas. *Korean Journal of Environmental Health*, **22**(3), 103-115, 1996.
9. Kang, Y. T. and Jung, D. C. : The study on the system for an advanced water treatment by BAF and BAC. *Journal of Korean Society of Water and Wastewater Treatment technology*, **2**(3), 43-58, 1994.
10. Kang, Y. T., Kim, D. J. and Kim, K. D. : The characteristic of BAC process on the advanced water treatment. *Journal of Korean Technological Society of Water and Waste water Treatment*, **6**(4), 3-13, 1998.
11. Jung, M. S. and Lim, H. T. : A study on the quality of water on the swimming pool in Kwangju. *Journal of Sport and Leisure Studies*, **13**(1), 811-817, 2000.
12. Choe, K. B. : An experimental study on the extractives from rubber packing of plastic lunch boxes. *Journal of the Korean Public Health Association*, **9**(2), 35-40, 1983.
13. Ministry of Environment : Standard Examination Methods for Drinking Water, 2000.