

논문 94-3-3-05

당량점 예측 알고리즘에 의한 가성소다 처리 섬유감량 시스템용 자동적정 장치 설계

曹辰鎬, 陳景贊, 兪炳熙, 具成謨, 金明南, 李鍾玄, 李興洛*

Design of an Automatic Titration System for Caustic Soda Treatment System Using the Equivalent Point Estimation Algorithm

Jin-Ho Cho, Kyoung-Chan Jin, Byoung-Heui You, Sung-Mo Koo, Myoung-Nam Kim,
Jong-Hyun Lee and Heung-Lark Lee*

요 약

폴리에스 섬유의 감량을 위한 가성소다 처리 시스템에서 감량정도를 알기 위해서는 가성소다의 농도 측정 장치가 필요하다. 감량공정에서는 여러번의 농도측정이 요구되므로 단위농도 측정 공정은 빠르고 정확하게 이루어져야 하며, 이에 따른 당량점 검출 알고리즘이 제시되어야 한다. 본 논문에서는 매 적정액 주입 후 측정되는 각 pH값들로써 적정곡선을 추정하였고, 정확한 당량점을 예측하기 위해서 카디날 스플라인 알고리즘을 사용하였다. 처리시간이 경과되는 동안의 여러 당량점들을 이용하여 섬유의 감량 직선을 자동적으로 추정하고 그래프로 나타낼 수 있게 하였으며 섬유감량 시스템의 감량종료 신호를 발생시킬 수 있는 자동적정 장치의 하드웨어와 소프트웨어를 설계하였다.

Abstract

Caustic Soda Treatment Systems need a concentration measurement device in order to monitor the weight reduction amount of polyester fabrics. Since the reduction process requires several concentration measurements, we have to do the unit titration fast and exactly. Therefore, a proposition of estimation algorithm for finding the equivalent point in the titration process is needed. In this paper, we used the cardinal spline algorithm, to estimate the proper curve with the measured pH-values after each injection of titration solution, to predict the equivalent point. While the processing time is elapsed, several equivalent points are estimated and drew the line graph of fabrics weight reduction automatically. Finally, we designed the hardware and the software of an automatic titration system that can generate the reduction ending signal of Caustic Soda Treatment System.

1. 서 론

경북대학교 전자공학과
(Dept. of Electronics, Kyungpook National University)
*경북대학교 화학과
(Dept. of Chemistry, Kyungpook National University)
<접수일자 : 1994년 9월 2일>

감량(減量)공정은 폴리에스테르 섬유를 가공하는 과정에서 원단의 질감과 촉감을 향상시키기 위하여 염색 업체에서 필수적으로 이루어지고 있는 작업이다. 따라서 국내에서도 이러한 작업에 사용되는 외국산 감량장치와 유사한 장치가 개발되었지만, 감량의 정도를 알려

주는 측정장치는 현재까지 전량 수입에 의존하고 있는 형편이다. 또한 간헐적으로 전기 전도도나 pH값을 측정함으로써 감량정도를 근사적으로 추정하기 위한 노력도 이루어 지고 있지만, 처리수의 pH는 통상 13 이상으로 대단히 높기 때문에 기존의 pH측정기만으로 감량을 산출하기란 거의 불가능하다. 또한 감량 도중에 발생하는 부산물 때문에 전도도를 측정하는 방법도 정확도가 떨어진다. 그러므로 최근의 감량측정기는 대부분 적정방법을 사용하고 있다[1-3]. 그러나, 적정방법의 측정기에서는 감량시간이 적게 소요되는 직물에 대하여도 감량 종료시간을 효과적으로 예측할 수 있도록 농도측정을 위한 단위 적정시간을 되도록 짧게 하여야 한다.

최근의 외국산 기존제품의 단위 적정시간은 5분 정도이고 재현 오차는 $\pm 1\%$ 정도이지만, 사용자가 조작하기에 너무 어렵고 복잡하다. 단위 적정시간을 짧게 하기 위해서는 액류흐름을 관장하는 다수의 액츄에이터들을 효과적으로 제어하여 조기에 당량(當量)점을 얻기 위한 알고리즘의 개발이 필요하다. 또한 주기적으로 샘플링된 처리수에 대한 당량점을 구한 다음, 농도 변화 직선을 추정하여 감량종료 신호를 발생시킬 수 있는 알고리즘과 사용자가 측정장치를 쉽게 쓸 수 있도록 하는 사용자 인터페이스 프로그램도 필요하다.

본 논문에서는 당량점 예측 알고리즘에 의한 섬유 감량기용 자동 적정 시스템을 설계하였다. 이를 위해 현장의 데이터 분석을 토대로 하여 매 적정액 주입 동작 후에 얻어지는 pH값들에 카디날 스프라인 곡선의 보간 알고리즘을 이용함으로써 당량점을 효과적으로 측정하는 알고리즘을 제안하였다. 또한 처리시간 경과에 따른 각 처리수의 당량점들로서 이루어지는 감량직선을 추정하여 감량종료 신호를 정확하게 발생시킬 수 있는 알고리즘들을 제안하였다. 제안된 알고리즘에 의해 시스템이 작동할 수 있도록 제어회로 및 액류흐름계통으로 구성되는 하드웨어 부분, 모니터 디스플레이 부분, 사용자 인터페이스부 및 제어 알고리즘 등의 관련 소프트웨어들을 설계 제작하였다.

II. 섬유 감량과 제어시스템

1. 감량 알고리즘

폴리에스테르 섬유의 감량은 97°C 정도의 가성소다 용액 속에 직물을 넣어 필요량의 폴리에스테르를 용해

시켜 제거하는 과정이다. 일반적으로 감량의 정도는 주입된 가성소다의 농도, 처리조의 온도 및 반응시간의 함수로 나타난다. 감량 시스템의 구조는 그림 1에서 보였으며, 가성소다를 저장하는 탱크, 직물의 용해가 일어나는 처리조, 데이터를 처리하여 감량을 종료시키는 측정 및 데이터 처리부 등으로 구성된다.

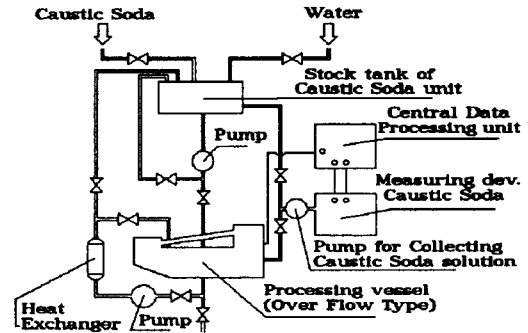


그림 1. 폴리에스테르 섬유감량 시스템의 구성

Fig. 1 Schematic diagram system for polyester fabrics.

이 중에 본 연구에서 다루는 부분은 농도측정 및 데이터 처리부에 대한 시스템 설계이다. 이에 대한 이해를 돕기 위하여 먼저 감량을 측정하기 위한 제어의 흐름도를 그림 2에서 보였다. 흐름도의 좌측은 감량기 부분이며, 우측은 측정 및 데이터 분석 부분이다. 측정기에서는 감량기 부분에서 보낸 승온신호(昇溫信號)를 체크한 후에 초기농도를 분석하게 된다. 초기농도의 측정이 감량종료 시간 예측에 커다란 영향을 미치므로 실제 시스템에서는 현장 데이터를 바탕으로 승온신호를 체크하고, 몇 분간의 지연후에 처리수 농도를 분석한다. 여기서, 지연은 가성소다와 물이 제대로 섞이기 위한 시간 지연이다. 초기농도가 분석되면 2-4회 정도의 처리수 분석을 하게 되는데, 이는 처리수의 승온이 끝났음을 알리는 릴레이 신호를 받아서 이루어진다. 이때 처리수 농도의 분석의 회수는 그림 3에 나타난 알고리즘에 따른다. 즉 시간에 따라 감량정도가 제각기 다른 여러가지 폴리에스테르 직물의 감량정도를 분석하기 위해서이다. 그림 3의 알고리즘에서는 종료예고 시간도 추정되고, 이를 감량기 쪽에 보냄으로써 감량공정이 끝나게 된다.

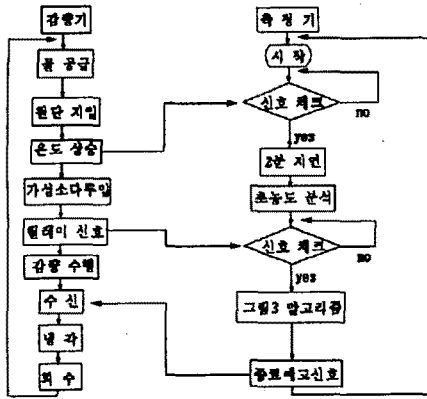


그림 2. 폴리에스테르 섬유의 감량을 위한 제어 흐름도

Fig. 2. The control flow for weight reduction of polyester fabrics.

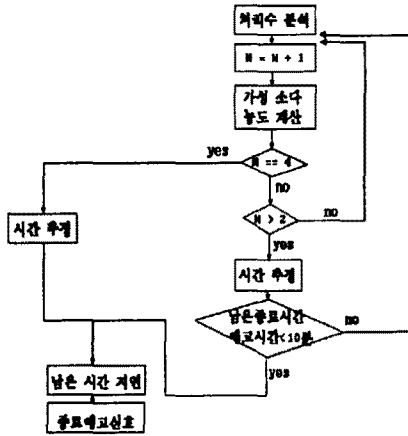


그림 3. 샘플 분석을 위한 알고리즘

2. 시스템 제어 회로 설계

감량장치로부터 처리수를 계량 샘플링하여 교반 및 희석 등을 한 후, 적정조작을 통해 농도를 측정하기 위한 제어회로의 개략도를 그림 4에 나타내었다. 적정처리조 내의 pH값에 해당하는 신호는 온도 보상된 pH프 리앰플를 통해 A/D변환 블록을 거침으로써 12비트의 디지털 값으로 변환된다. 이 신호는 PIO보드를 거쳐 메인 프로세서로 입력된다. 메인 프로세서에는 당량점 예측 알고리즘의 연산 및 제어에 따라 피스톤 펌프, 샘플 펌프 및 교반기 등 10개의 액츄에이터 소자들을 구

동한다. 여기서 제어용 메인 프로세서는 내구성이 뛰어난 IBM PC/AT급의 산업용 PC보드(PCA 6126 : Advantech사)를 사용하였다.

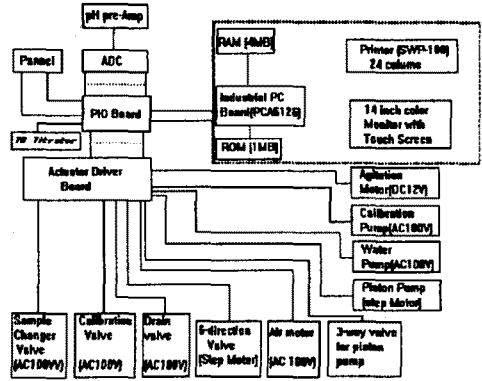


그림 4. 제어회로의 블럭도

Fig. 4. Block diagram of control circuit.

3. 당량점 예측 알고리즘

감량기 내부의 처리액 농도는 투입된 직물의 무게, 처리액의 초기농도 및 감량 소요시간에 따라서 그 변화 폭이 매우 넓다. 설계된 적정장치는 이와같이 넓은 범위내에서 임의의 농도를 갖는 처리액의 샘플로부터 신속하고 정확하게 자동 적정이 이루어질 수 있게 하여야 한다. 가성소다-황산의 적정곡선 상에서 당량점을 전후로한 pH값은 대단히 급하게 변화하기 때문에 정확한 당량점을 얻기위해 황산을 소량씩 나누어 주입할 필요성이 있다. 그러나 적정을 위한 황산의 단위 주입량이 작을수록 농도가 진한 처리액 샘플에 대해서는 적정시간이 매우 길어지는 문제점이 있다. 이를 극복하기 위해서 샘플된 처리액의 초기 pH로부터 당량점을 미리 예측한 다음 필요한 황산을 처음에는 많이 주입하고 당량점이 가까워 감에따라 황산 주입량을 줄여 나가도록 적정 알고리즘을 만들었다. 이를위해 당량점 전 후에 주입되는 황산용액의 부피와 샘플링된 용액의 pH값 사이의 값을 정리하면 다음과 같은 식으로 주어진다.

1) 당량점 전

$$pH = \log(nfv - NFV) - \log(v + V_w + V) \quad (1)$$

2) 당량점

$$pH = \log(v + V_w + V) - \log nfv + 7. \quad (2)$$

3) 당량점 후

$$pH = \log(v + V_w + V) - \log(NFV - nf) \quad (3)$$

여기서 n, f, v는 각각 가성소다의 농도, 농도계수 그리고 부피를 나타내며 N, F, V는 황산의 농도, 농도계수 및 부피를 의미한다. 또한 V_w 는 물의 부피이다. 이들 식에 따라 황산 주입량에 따른 pH변화 곡선을 그린 것이 그림 5이다.

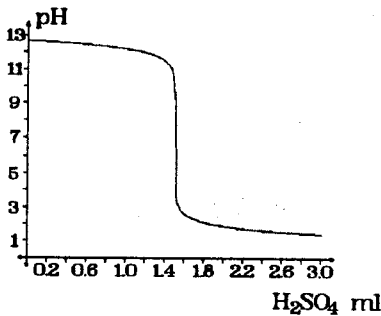


그림 5. 황산의 주입량과 pH값의 관계
Fig. 5. The relationship between pH-values and injected volumes of H_2SO_4 .

적정을 할 때 사용한 용액의 조건은 각각 $n = 0.5N$, $f = 1.0$ 및 $v = 3ml$ 의 가성소다에 대하여 30ml의 물을 넣고, $F = 1.00$ 인 1N의 황산을 서서히 주입하는 것이다. 적정시간을 최대한 단축시키기 위한 알고리즘의 첫 단계에서는 적정조에 입력된 용액의 초기 pH값의 정보를 이용한다. 그러나, 초기 pH값을 측정할 때 다음 그대로 당량점을 예측할 경우에 신뢰성이 떨어지는 점을 막기 위하여 다음과 같이 적정 알고리즘을 구성하였다.

단계 1 : 적정을 위해서 3ml의 NaOH용액과 30ml의 물을 희석시켜 샘플링한 후에 1.5ml의 황산을 주입한다.

단계 2 : pH값을 측정하여 들어갈 황산의 양 x_n 을 다음 식으로 도출한다.

$$x_n [(33.0 + x_{n-1}) \times 10^{(pH_n - 14)} + x_{n-1}] \quad (4)$$

(여기서, $x_0 = 1.5 ml$, $n = 0, 1, \dots$)

단계 3 : x_n 의 크기를 판단하여 일정치(0.1ml)이상이면, $[n] \times x_n$ 의 황산을 더 주입하고, 단계 2로 돌아간다. 만약 일정치 이하가 되면 단계 4로 간다.

$$[n] = (0.8, 0.8, \dots), \quad n = 0, 1, \dots$$

단계 4 : pH 7 미만일 때까지 0.04ml씩 등간격으로 주입한다.

단계 5 : 카디널 스피라인(cardinal spline) 알고리즘을 이용하여 곡선을 추정할 뒤, pH 7에 아주 가까운 황산양을 추정하여 당량점을 구한다.

4. 스피라인 곡선을 이용한 당량점 추정

당량점을 추정하기 위해 제어 알고리즘에 따라 얻어지는 적정 곡선상의 각 점들은 연속된 점이 아닌 이산된 점들이므로 매끄러운 곡선을 얻어야 곡선상의 중앙 부근에 존재하는 당량점 좌표를 정확히 추정할 수 있다. 이에 따라 스피라인 곡선을 이용한 당량점 추정작업이 필요하며, 이는 주어진 점들로부터 각 점들을 지나가는 보간된 스피라인 곡선을 만들어 내므로써 이루어진다. 보간된 스피라인 곡선이란, 입력된 모든 노트(knot)를 말하는데, 각 노트들을 연결하면 가장 부드러운 곡선이 만들어 진다. 카디널 스피라인은 카물롬(catmull-rom) 스피라인에 텐션이 추가된 스피라인 곡선이다[4-7]. 텐션이 0.5일때 카물롬 스피라인이 생성된다. 여기에서 텐션이란, 스피라인 곡선이 어느 정도로 노트에 접근하는가를 말한다. 낮은 텐션값은 각각 노트를 연결한 직선에 가까운 곡선이 되며, 높은 텐션값은 스피라인 곡선을 완전한 곡선에 가깝도록 부드러운 곡선으로 표현한다. 카디널 스피라인 곡선으로 표현된 매트릭스는 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} -t & 2-t & t-2 & t \\ 2t & t-3 & 3-2t & -t \\ -t & 0 & t & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

실제로 카디널 스피라인 곡선을 사용해서 당량점을 추정할 때, 사용된 텐션값은 0.5이었으며, 추정된 그래프를 그림 6에 보였다.

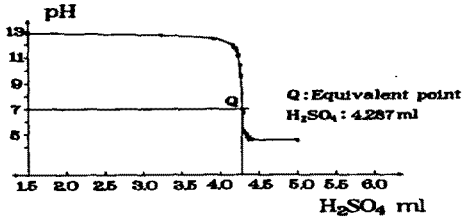


그림 6. 카디날 스피라인을 사용한 당량점 추정 그래프

Fig. 6. The graph of equivalent point estimation using cardinal spline.

5. 종료신호의 추정

초기농도와 여러 번의 처리수 농도의 분석을 통해서 직선추정을 하며, 종농도와 겹치는 점까지의 시간을 추정하여 종료신호를 발생한다.

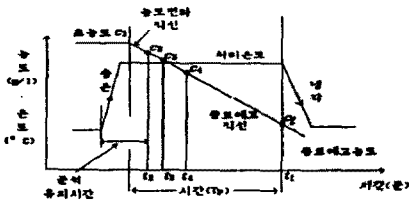


그림 7. 종료신호의 추정을 위한 그래프
Fig. 7. The graph for the estimation of end point signal.

그림 7에서 c_1 은 초기농도이며, c_2, c_3, c_4 는 각각 t_2, t_3, t_4 에서 처리수의 용액을 일정량 샘플링해 얻은 농도이다. $t_1-t_2, t_2-t_3, t_3-t_4$ 사이의 시간 간격은 다를 수 있으며, 각각의 차이를 생각해서 직선을 추정해야 한다. 이 직선의 추정과정은 아래와 같다.

단계 1 : c_1 을 기준으로 하여 최소 기울기와 최대 기울기를 구한다.

단계 2 : 최소 기울기에서 최대 기울기로 $\alpha \{n\}$ 만큼 증가시키면서 평균자승오차를 구한다.

$$(\alpha \{n\} = (0.8, 0.8, \dots), n = 0, 1, \dots)$$

단계 3 : 최소 평균 자승 오차가 되는 기울기 S를 구한다. 위에서 구해진 기울기 S로부터 종농도 c_t 가 되는 시간 t_t 는 다음식을 이용하여 구한다. 즉, 종료시간 t_t 는

$$t_t = \frac{1}{S}(c_1 - c_t) + t_1 \quad (6)$$

로 구하며, 이 식에서 사용되는 종농도 c_t 는 아래의 식을 이용해 구한다.

$$c_t = c_1 - 10 \left(\frac{(W \times X \times Y)}{1000} \right) / (K \times V_t) \quad (7)$$

여기서, W, X, Y 및 V_t 은 각각 적물의 무게, 목표 감량을, 감량 예고율 및 종농도 산출 계수이다.

III. 실험 및 결과

당량점 예측 알고리즘을 통한 감량장치용 자동적정 장치의 능력을 살펴보기 위해서 폴리에스테르 섬유의 감량이 진행되고 있는 공장의 현장에서 얻어진 시료를 가지고 실험하였다. 감량처리되는 직물명은 100% 폴리에스테르 파일이며, 승온셋팅 온도는 97℃이었다. 감량 목표율은 14%이며, 감량에 소요된 시간은 34분이었다. 승온시작 전부터 감량이 종료될 때까지 6번의 시료를 채취하였다. 시료를 채취한 시간 간격은 초기농도 분석용 처리수의 샘플링 후부터 각각 12분, 7분, 5분, 5분 및 5분 간격이 1 각각 500ml씩 채취하였다. 각각 채취한 샘플에 대해서 당량점 예측 알고리즘을 적용하여 샘플의 농도를 측정하였다.

자동적정의 한 예로서 5번째 샘플에 대한 당량점을 구하기 위해 알고리즘을 적용하여 얻은 적정곡선을 본 연구에서 개발된 시스템의 모니터 화면에 나타난 결과는 그림 8과 같다. 이에 따르면 처음에 주입한 황산의 일정량인 1.5ml로부터 읽어들이는 pH값으로부터 다음에 주입할 황산의 양을 결정하게 됨을 알 수 있다. 그림 9에서는 그림 8에서 구한 pH값들을 황산양에 대해 2차 미분한 그래프를 보였다. 영(零)라인을 가로 지르는 선에 대한 황산의 양으로부터 실제로 측정된 샘플의 농도를 간단히 추정할 수 있다. 이렇게 하여 각 샘플의 단위적정에 따른 농도를 측정하게 되며, 단위적정에 소요되는 시간과 적정오차를 알아보기 위하여 동일 시료에 대하여 9번의 적정실험을 수행한 결과를 표 1에 나

타내었다. 이 표로부터 본 장치가 갖는 측정값의 재현성은 $\pm 1\%$ 이내이며, 최단 적정시간은 4분 30초 정도임을 알 수 있다. 감량종료시간 예고능력을 시험하기 위하여 6개의 샘플중 5개의 샘플에 대하여 당량점에서 황산 주입량을 자동적정을 통해 얻고, 이를 이용해 산출된 각 샘플의 농도를 구한 결과는 표 2와 같다. 이들 농도로부터 감량직선을 추정하여 처리수의 농도가 목표 감량치인 14%에 해당되는 농도에 도달되는 시간을 계산하면 종료시간 t_f 는 34분이 됨을 그림 10에서 알 수 있다. 추정된 감량직선 즉, 5개의 점 사이를 가로지르는 직선은 6번째의 샘플농도와 일치선상에 존재하는 것도 확인되었다. 그리고 실제의 시스템에서 감량기와 연동하여 제안된 시스템을 운전하여 본 결과 적정과 감량종료 시간의 예고 및 화면상의 표시 등 예정된 일련의 작동들이 자동적으로 이루어짐을 확인하였다.

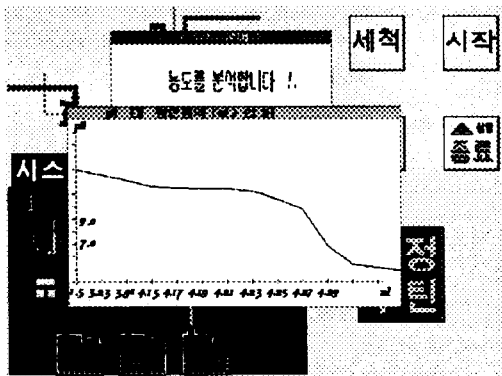


그림 8. 적정곡선의 화면
Fig. 8. The screen of titration curve.

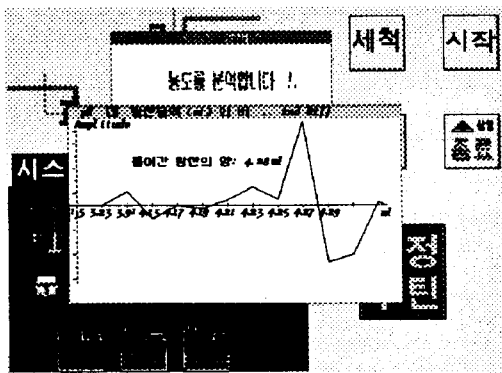


그림 9. 적정곡선의 2차 미분 결과
Fig. 9. The result of the second derivative of the titration curve.

표 1. 동일 시료에 대하여 단위적정에 소요되는 시간과 적정오차

Table 1. Required titration time and titration error of the developed automatic titration system for same sample volume.

회	F=1.0:N=0.5 NaOH (ml)	F=0.9:N=1.0 H ₂ SO ₄ (ml)	적정 시간	오차 (%)
1	3.0	1.66	4.4분	-0.4
2	3.0	1.67	4.5분	+0.2
3	3.0	1.66	4.4분	-0.4
4	3.0	1.675	4.7분	+0.5
5	3.0	1.67	4.5분	+0.2
6	3.0	1.65	4.3분	-1.0
7	3.0	1.66	4.4분	-0.4
8	3.0	1.65	4.3분	-1.0
9	3.0	1.67	4.5분	+0.2

표 2. 당량점에서 H₂SO₄ 주입량과 NaOH 농도
Table 2. Injected H₂SO₄ and NaOH concentration resulted from titration at equilibrium.

회	시간(분)	당량점 황산주입량(ml)	농도(g/l)
c ₁	0	4.88	C ₁ = 65.06
c ₂	12	4.76	C ₂ = 63.47
c ₃	19	4.58	C ₃ = 61.06
c ₄	24	4.45	C ₄ = 59.3
c ₅	29	4.30	C ₅ = 57.3

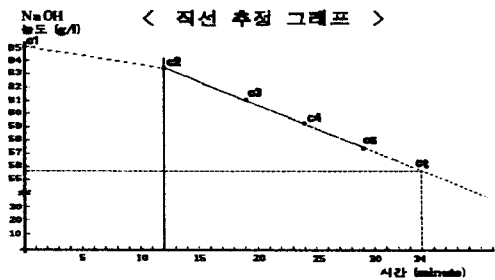


그림 10. 감량공정의 측정으로부터 얻은 추정 그래프

Fig. 10. Estimated graph resulted from the measurement of reduction processing.

그림 11은 완성된 섬유 감량기용 자동적정 시스템의

외관을 나타낸 것이다.



그림 11. 개발된 시스템의 외관
Fig. 11. Photograph of developed system.

IV. 결론

본 논문에서는 당량점 예측 알고리즘에 의한 섬유 감량기용 자동 적정 시스템을 설계하였다. 이를 위해 현장의 데이터 분석을 토대로 하여 매 적정마다 얻어지는 pH값들에 대해서 카디날 스프라인 곡선 보간 알고리즘을 이용함으로써 당량점을 효과적으로 측정하는 알고리즘을 제안하였다. 아울러 처리시간 경과에 따른 각 처리수의 당량점들으로써 이루어지는 감량직선을 추정하여, 감량종료 신호를 정확하게 발생시킬 수 있는 알고리즘을 만들었다. 제안된 알고리즘에 따라 시스템이 작동할 수 있는 제어회로 및 액류흐름 계통으로 구성되는 하드웨어 부분, 모니터 디스플레이 부분, 사용자 인터페이스부 및 제어 알고리즘 등의 관련 소프트웨어들을 설계 제작하였다.

현장실험 결과, 설계 제작된 시스템은 최단적정 시간 4분 30초 및 측정의 재현성이 $\pm 1\%$ 이내의 성능을

을 나타내었다. 또한 효과적으로 감량종료 신호를 발생함으로써 설계된 하드웨어 및 소프트웨어 알고리즘들의 타당성을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] "SAT-100형 process titrator specification sheet," 日本, DKK社.
- [2] "공업용 적정장치 PTW-1 catalog," 日本, 東亞電波株式會社, pp. 1-4, 1992.
- [3] "상압 감량가공기 설치 시운전 설명서," 복신공업주식회사, 일본, pp. 1-100, 1989.
- [4] E. Catmull and R. Rom. "A class of interpolatingsplines," Computer Aided Geometric Design, Academic Press, pp. 317-326, 1974.
- [5] T. DeRose and B. Barsky, "Geometric continuity, hape parameters, and geometric constructions for Catmull-Rom splines," ACM Transaction on Graphics, 7(1):1-41, 1988.
- [6] L. Piegl, "Hermite- and Coons-like interpolants using rational *Beizier* approximation form with infinite control points," Computer Aided Design, 20(1):2-10, 1988.
- [7] P. Hartley and C. Judd, "Parametrization and shape of B-spline curves," Computer Aided Design, 2(5):235-238, 1980.
- [8] "Fully Automatic Caustic Treatment System," WAKO Technical research Co., pp. 1-7, 1989.
- [9] W. J. Tompkins and J. G. Webster, "Interfacing sensors to the IBM PC," Pretrice Hall Inc., 1988.
- [10] S. E. Derenzo, "Interfacing a laboratory approach using the microcomputer for instrumentation, data analysis and control," Pretrice Hall Inc., 1990.
- [11] "Intergrated Circuits Data Book," BURR BROWN Co., 1989.

著 者 紹 介



조진호

1953년 1월 22일생. 1977년 2월 경북대학교 공업교육과(전기전공) 졸업. 1979년 8월 경북대학교 대학원 전자공학과 공학석사학위 취득. 1988년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 공학박사학위 취득. 1984년 ~ 현재 경북대학교 전자공학과 부교수. 1984년 ~ 현재 경북대학교 병원 의공학실장 겸무. 주관심 분야 : 센서의 의용계측 응용, 센서응용 시스템개발 등임.

이종현

『센서학회지 제1권 1호』 논문 92-21 p. 194 참조.
현재 경북대학교 전자공학과 교수

이홍락

『센서학회지 제1권 1호』 논문 92-10 p. 91 참조.
현재 경북대학교 화학과 교수



김명남

1964년 4월 10일생. 1988년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업. 1990년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 공학석사학위 취득. 1990년 3월 ~ 현재 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정. 주관심 분야 : 영상 및 의용 신호처리, 디지털 하드웨어 등임.



구성모

1964년 7월 2일생. 1987년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업. 1993년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 공학석사학위 취득. 1993년 3월 ~ 현재 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정. 주관심 분야 : 영상 및 의용 신호처리, 센서응용 시스템개발 등임



유병희

1966년 11월 25일생. 1992년 8월 경북대학교 전자공학과 졸업. 1993년 3월 ~ 현재 경북대학교 대학원 전자공학과 석사과정. 주관심 분야 : 영상 및 의용 신호처리, 디지털 하드웨어 등임.



진경찬

1971년 8월 1일생. 1993년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업. 1993년 3월 ~ 현재 경북대학교 대학원 전자공학과 석사과정. 주관심 분야 : 영상 및 의용 신호처리, 디지털 하드웨어 등임.