

One-Chip 마이크로컴퓨터를 사용한 휴대용 페놀 감지 시스템의 개발

沈允輔* · 金慶熙† · 元美淑‡ · 朴 炫 · 曹影秀

부산대학교 자연과학대학 화학과

† 동양공업전문대학 전자공학과

‡ 기초과학지원연구소 부산분소

(1995. 8. 24 접수)

Development of a Portable Phenol-Sensing System with a One-Chip Microcomputer

Yoon-Bo Shim*, Kyung-Hee Kim†, Mi-Sook Won‡, Hyun Park, and Chang-Soo Jin

Department of Chemistry, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea

† Department of Electronic Engineering, Dongyang College, Seoul 152-714, Korea

‡ Pusan Branch, Korea Basic Science Institute, Pusan 609-735, Korea

(Received August 24, 1995)

요 약. 적당한 지지체에 감응 물질을 고정시켜서 페놀 정량을 위한 감응부로 사용하였고, 광섬유, 디지털 표시와 one-chip 마이크로컴퓨터가 내장된 휴대용 페놀 감지 시스템을 제작하였다. 광섬유를 사용하는 자외-가시선 분광광도계 및 본 연구에서 제작한 휴대용 감지 시스템을 사용해서 페놀 감응을 위한 최적 분석 조건을 연구하였다. 감응물질과 지지체의 종류 및 사용량, 용액의 pH, 반응시간 등을 변화시켜서 실험 조건을 최적화하였다. 최적 분석 파장은 612 nm이고, 최적 pH는 9.2였다. 검량선은 1×10^{-2} M부터 5×10^{-4} M의 범위와 5×10^{-4} M부터 1×10^{-5} M 농도 범위에서 서로 다른 기울기를 가지면서 직선성을 보였다. 검출한계는 1×10^{-6} M이었다.

ABSTRACT. The phenol-sensing probe in aqueous solution was made of suitable supports containing the reagent. The portable phenol-sensing system was developed with an optical fiber, digital display, and one-chip microcomputer. The optimum analytical conditions for phenols were studied in various experimental conditions using a conventional UV-Vis. spectrometer with an optical fiber and the phenol-sensing system devised in the present study. We optimized the experimental conditions controlling the several parameters, such as the change of the reagent, the type and quantity of supports, the pH of medium, and the reaction time. The optimum analytical wavelength was 612 nm and pH was 9.2. The calibration plots had two slopes depending on the analyte concentration. One was the concentration between 1×10^{-2} M and 5×10^{-4} M and the other was between 5×10^{-4} M and 1×10^{-5} M. The detection limit was 1×10^{-6} M.

서 론

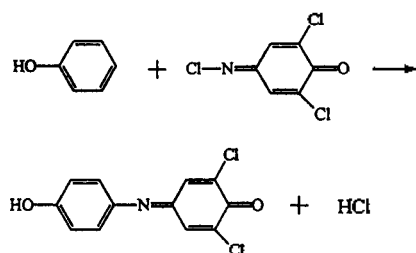
지속적인 환경오염 물질들에 대한 적절한 통제와 감시를 위해서는 보다 쉽고 정확한 오염물의 검출이 선행되어야 할 것으로 생각된다. 따라서 환경 오염 현장에서 직접 사용할 수 있는 선택적이고, 정확한 검출을 위한 값싸고 사용이 간편한 소형의 휴대용

감지 시스템을 개발할 필요성이 있다. 현재 환경오염물의 검출 및 정량에 널리 사용되고 있는 광학 장비 중 대표적인 것으로 자외-가시선 분광광도계를 들 수 있으나 몇 가지 점에서 환경오염물의 측정에 제한점이 있다. 즉, 큰 부피 및 무게로 인해 측정 현장까지 이동이 어렵고, 가격이 비싸며, 시료의 전

처리 과정이 필요하다. 그러므로 현장에서 측정할 수 있는 장비로써 시료의 전처리 없이 특정 물질만 선택적으로 검출할 수 있는 휴대 가능한 소형 감지기의 개발이 필요하다. 이와 같은 환경오염물의 간편한 검출을 위해서는 오염 물질과 쉽게 반응하여 신호를 얻을 수 있는 감지기를 개발하는 것이 필요하다.

여러 가지 감지기 중 광감지기의 일종인 광섬유를 이용한 화학감지기의 경우 역사가 그리 오래되지 않아 많은 편은 아니나 최근 여러 분야에서 몇 가지 중요한 연구들이 발표되고 있다.¹² 즉, 면역화학 시약을 광섬유에 처리시킨 저농도 생체분자의 검출을 위한 연구,³⁻⁵ 글루코즈 정량을 위해 효소를 광섬유의 끝부분에 고정시켜 만든 감지기,⁶ 캐니스린 정량을 위해 광섬유에 공유 결합시켜 얻은 고분자 층에 효소 처리된 감지기⁷ 등을 들 수 있다. 이와 같은 생체 물질에 대한 감지기들에 비해 환경오염물의 검출을 위한 광감지는 지금까지 많이 개발되지 않고 있다. 현재까지 잘 알려진 것으로 흔적량의 trichloroethylene과 chloroform의 검출을 위한 광감지기에 대한 연구를 들 수 있다.⁸ 이 외에도 최근에 발표된 것으로 대기 중의 오존,⁹ 질소산화물,¹⁰ 황산화물,¹¹ 염소,¹² 수소¹³ 기체의 검출을 위한 광검출법을 들 수 있다.

본 논문에서는 환경오염물질 중 일차적으로 용수 및 생체대사물질속의 페놀류에 대한 선택적 감응부의 개발 및 휴대용 감지 시스템의 개발을 위한 연구를 행하였다. 먼저, 페놀과 선택적으로 반응하여 발색을 하는 화합물을 조사하였으며 이 감응물질을 광섬유의 끝부분에 고정시키는 방법을 연구하였다. 본 연구의 경우, 페놀 유도체와 반응하여 발색될 수 있는 감응시약으로는 2,6-dichloroquinone-4-chloroimide를 사용하였다. 이 시약은 다음 그림과 같이 페놀과 축합반응을 통해 indophenol을 생성하며 이 생성물이 색변화를 일으키게 된다.¹⁴



이 시약을 PVC(poly vinyl chloride)와 거름종이를 이용하여 광섬유의 감응부에 고정 설치하여 페놀류의 검출 및 정량을 위한 감지부를 만들었으며, 최적의 정량 조건을 검토하고, 휴대용 소형 검출기를 설계, 제작하여 이를 사용한 실험조건을 함께 검토하였다.

실 험

시 약

감응물질인 2,6-dichloroquinone-4-chloroimide (Gibbs 시약, 98%)는 Aldrich Co.로부터 구입하여 정제없이 사용하였고, 지지체로서는 PVC 분말(low molecular weight, Fluka)과 거름종이(지름 11 cm, Azumi Filter Paper Co.)를 적당한 크기의 둥근 고리 모양으로 잘라서 사용하였다. 감응물질에 대한 용매로써 THF(GR, Junsei Chemical Co.)를 정제없이 이용하였다. 용액의 pH의 조절에는 borate 완충용액을 사용하였으며, 페놀(99.0%, Junsei Chemical Co.) 표준용액은 1×10^{-2} M부터 1×10^{-6} M까지 묽혀서 사용하였다.

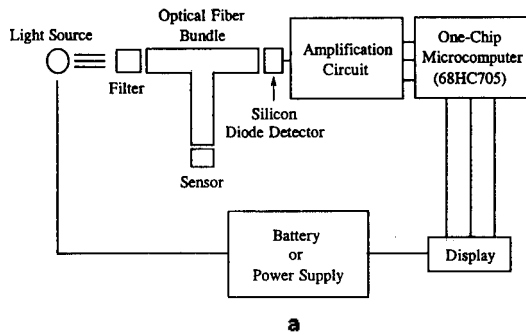
기 기

자외-가시선 분광광도계, 할로겐램프를 광원으로 사용하였으며, 광원으로부터 나온 빛은 토막기를 이용하여 31.6 Hz로 변조시켰다. 홀로그래피 회절발을 사용한 단색화장치는 단계식 모터 조절기(Stepping motor controller)로 400 nm에서 800 nm까지 조절하였고, 분해능은 0.5 nm였다. 단색화장치에서 나온 빛은 두가닥으로 나누어진 광섬유 다발의 한쪽 방향으로 전해지고 거울면에서의 반사로부터 나오는 빛은 광섬유 다발의 또 다른 한쪽을 통하여 실린 검출기에 들어가 전기적인 신호로 바뀐다. 모든 실험은 386 컴퓨터로 조절하였다.

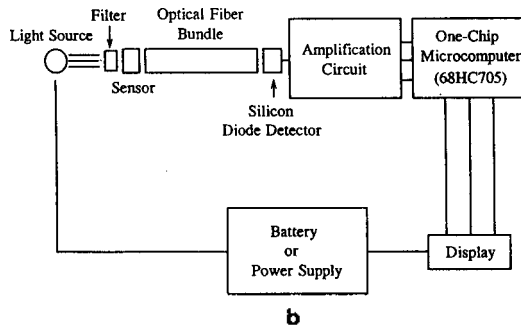
휴대용 감지 시스템. 광원으로는 LED(파장영역: 609.2~662.6 nm, λ_{\max} = 640 nm)와 휴대용 레이저 포인터(파장영역: 630~670 nm, Lyte Optronics Co.)를 사용하고, 필터, 규소 다이오드 검출기, 광섬유 및 자료 처리 프로그램을 내장시킨 one-chip 마이크로컴퓨터를 이용하여 검량선을 작성하였다. Fig. 1에 휴대용 감지 시스템의 개략도를 나타내었다.

감지 감응부의 제작

Fig. 2에는 테프론으로 제작된 반응셀의 모습을



a



b

Fig. 1. The block diagram of the portable optical sensor: The incident light (a) reflected by the mirror and (b) passed through the cell and then reached the detector.

나타내었다. 두께가 1.5 mm인 경질 유리를 통하여 광섬유에서 나온 빛이 시료를 통과하도록 하였다. 시료의 주입과 회수를 위해 셀 윗부분에 지름 2 mm의 구멍을 뚫었으며, 주사기를 사용하여 일정량의 용액을 주입하였다. 감응물질층을 입히기 위한 면은 광섬유로부터 나오는 빛을 잘 반사시킬 수 있도록 지름이 8 mm인 거울면을 사용하였다.

시료의 분석과정

휴대용 폐놀 감지 시스템에 감응물질을 고정시키는 방법에 따라 다음 두 가지의 분석과정을 행하였다.

PVC 고분자막에 고정시킨 감응막을 이용한 측정.
4% PVC/THF 용액으로 1×10^{-4} M 감응시약 용액을 만든 후, 용액을 거울면에 적당량 떨어뜨리고, 공기 중에서 천천히 용매를 휘발시킨 후 투명하고 일정한 두께의 고분자막(PVC/2,6-dichloroquinone-4-chloroimide)으로 감응물질층을 고정시킨다.

감응물질로 고정된 거울면을 반응셀에 장치하고 완충용액(pH 9.2)만을 주입하여 바탕스펙트럼을 구

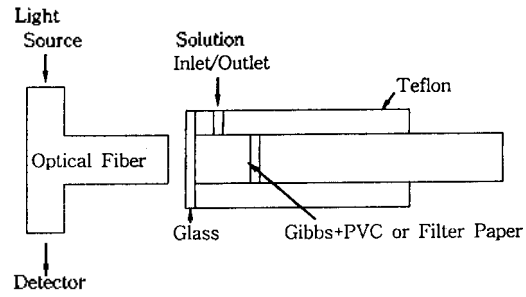


Fig. 2. Schematic views of the optical sensor probe.

한 다음 셀 안의 완충용액을 회수하고 시료용액을 주입한 후 흡광도를 측정한다. 시간에 따른 흡광도의 변화를 측정하여 90% 반응이 완결되는 지점을 찾는다. 폐놀의 농도를 1×10^{-2} M에서 1×10^{-5} M까지 변화시켰으며 각 농도에 대하여 3회 이상 측정하여 검량선을 구한다.

거름종이에 고정시킨 감응막을 이용한 측정. 감응물질/THF 용액 1×10^{-3} M을 제조한 후 이 용액에 거름종이 지지체를 5분 동안 담구어 두었다. 시간이 경과한 후 충분히 공기 중에서 용매를 휘발시킨다. 반응셀에서 광섬유가 닿는 유리면과 거울면 사이에 지지체를 넣고 바탕스펙트럼을 구한 후 시료용액 (0.25 mL)을 주입한다. 15분이 경과한 후에 스펙트럼을 관찰한다. 폐놀의 농도는 1×10^{-2} M부터 1×10^{-5} M까지 변화시켰으며, 각 농도에 대하여 3회 이상 측정하고, 17, 25, 30 °C로 온도를 변화시켜서 각 온도에 대한 검량선을 작성하였다.

결과 및 고찰

One-Chip 마이크로컴퓨터의 제작 및 구성. Fig. 3은 휴대용 감지 시스템에 사용된 one-chip 마이크로컴퓨터의 회로도이며, 측정장치는 다음의 전자회로들로 구성되어 있다. Op-amp 주변회로는 입력 신호를 증폭하기 위한 회로, 74LS245와 74LS573의 주변회로는 자판으로 입력되는 명령을 받아들이기 위한 회로, 74LS245와 LCD는 결과를 출력하기 위한 회로이며, op-amp를 통하여 68HC705 칩(chip)의 ANO 핀(pin)으로 입력된 감지의 신호는 68HC705 내부의 A/D 변환기에 의해서 디지털로 변환된다.

이 측정장치의 동작 알고리즘은 먼저 자판으로부터 '측정 명령'이 떨어지면, A/D 변환기에 의해 입

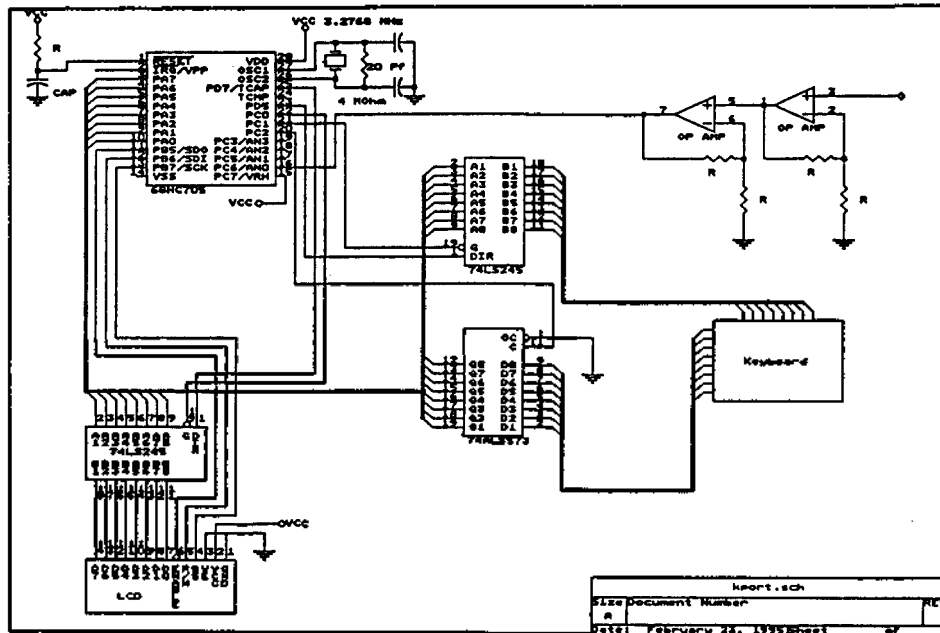


Fig. 3. The diagram of one-chip microcomputer for the optical sensor system.

력된 신호를 디지털로 변환하는데, 잡음에 의한 영향을 최소화하기 위하여 입력신호를 연속으로 받아들인 다음 이를 모두 가산하고 최대값과 최소값을 빼고 평균치를 계산하는 방법을 택하였다. 흡광도 값을 구하기 위하여 '결과 명령'을 주면 one-chip 마이크로컴퓨터는 '측정 명령'에 의하여 읽은 암전류, 비탕용액 및 시료용액에 대한 변환값을 Lookup table 방법과 보간법에 의해서 로그연산으로 처리하였다.

최적 pH의 결정. 페놀은 감응물질(Gibbs reagent)과 반응하여 색깔 변화를 나타내고 이의 반응 시간도 짧아 측정이 용이하다. 그러나, 반응하는 용액의 pH에 따라 색깔 변화가 달라진다. 이를 조사하기 위하여 pH를 3~10까지 변화시켜 가면서 흡광도의 변화를 관찰한 결과, pH 5.2에서 급격하게 흡수띠 모양과 최대흡수파장이 변화하였다. pH가 5.2 이하인 경우는 pH 4.2에서 최대흡수파장(λ_{max}) 520 nm로 나타나며, pH가 5.2 이상인 경우에는 pH 9.2에서 λ_{max} 가 612 nm이고 폭이 넓은 봉우리를 나타낸다. 흡광도는 반응 페놀의 농도가 증가함에 따라 증가하였다.

PVC 고분자막을 이용한 검출. 감응물질이 포함

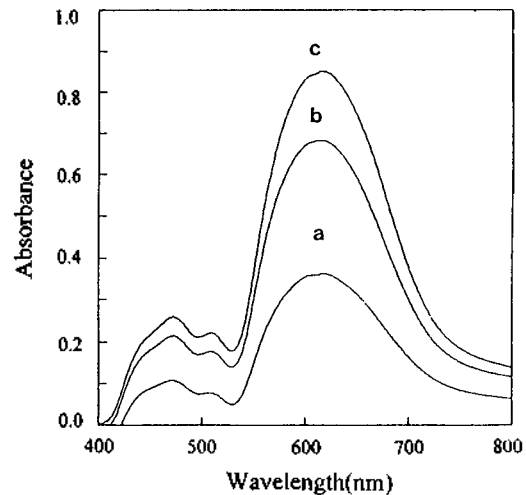


Fig. 4. Absorption spectra for the reaction of phenol with a 2,6-dichloroquinone-4-chloroimide in the PVC film support after (a) 5, (b) 10, and (c) 30 min in pH 9.2 borate buffer solution.

된 용액을 거울면에 떨어뜨리면 막의 색깔은 투명하고 노란색을 띄고 있으나, 공기 중에 노출시키거나 용액 중에 담가 두면 분홍색으로 서서히 변하며 30분 후에는 안정해진다. 따라서 실험은 막을 만든 후 공기

중에 30분간 방치한 후 사용하였다. 고분자막은 거울면에 매우 강하게 흡착되어 있으므로 실험 중에는 변화가 없었다.

Fig. 4는 거울면에 고분자막과 감응시약을 입힌 후, pH 9.2에서 페놀(5×10^{-4} M)과의 반응시간에 따른 흡광도의 변화를 나타낸 것이다. 반응 생성물의 형성으로 광학장치를 이용하여 구한 스펙트럼은 430, 510, 612 nm 부근에서 세 개의 흡수봉우리가 생기고, 흡광도 세기가 반응시간이 길어짐에 따라 증가하는 모습을 보여주고 있다. 430 nm과 510 nm 근처에서 나타나는 흡수봉우리는 시간에 지남에 따라 증가하나 페놀의 농도가 증가할수록 612 nm의 흡수도에 비해 상대적으로 작아진다. 이들 흡수봉우리를 확인하기 위하여 고분자막을 거울면에 입힌 다음 페놀을 넣지 않고 순수한 완충용액만으로 바탕실험을 해본 결과, 430 nm과 510 nm에서만 새로운 흡수봉우리가 시간이 지남에 따라 생겨남을 관찰할 수 있었다. 따라서 이 두 파장의 흡수봉우리는 거울면에 입혀진 고분자막에서 감응물질(Gibbs reagent)이 완충용액으로 용해되어 생겨나는 것으로 확인되었다.

612 nm에서 흡광도 세기가 아주 크게 증가하는 흡수봉우리는 페놀과 고분자막 속에 들어 있는 감응물질이 반응한 결과 나타나는 흡수봉우리의 변화로 관찰된다. 감응물질과 페놀의 반응은 PVC에 함께

입혀진 감응물질이 용액중으로 빠져 나와 용액 중의 페놀과 반응하여 흡수파장의 변화를 나타내는 것이다.

페놀의 농도 변화에 따른 스펙트럼을 비교해 보면 감응물질과 페놀이 반응하여 새로 생겨나는 흡수봉우리는 페놀의 농도가 증가함에 따라 최대흡수파장이 장파장쪽으로 이동함을 보여주고 있으며 반응이 완결상태가 되면 용액의 최대흡수파장은 612 nm가 된다. 이 봉우리는 반응시간에 비례하여 증가하는데 이것은 반응이 진행됨에 따라 용액의 최대흡수파장(612 nm)의 흡수띠가 증가함을 보여주고 있으며 반응이 안정화되는데 걸리는 시간은 농도가 묽을수록 오래 걸리며(30~40분) 농도가 진할수록 짧아졌다(20~30분).

감응물질의 지지체로 사용한 PVC막은 소수성을 가지므로 페놀과 감응물질의 반응속도가 느려지게 된다. 또한 PVC/THF 용액 제조시 PVC의 양이 필요 이상으로 높아지게 되면 거울면에 생성되는 PVC막이 균일하지 못하며 페놀과의 반응성이 떨어지게 된다. 본 실험에서는 4% PVC/THF 용액을 사용하여, 얇고 투명한 막을 형성시켜 감응물질이 용액으로 확산되는 속도를 개선함으로써 이러한 단점을 보완하였다. 거울면에 입혀진 고분자막은, 페놀 농도가 1×10^{-5} M 이하일 경우에는 4~5회 사용하여도 흡

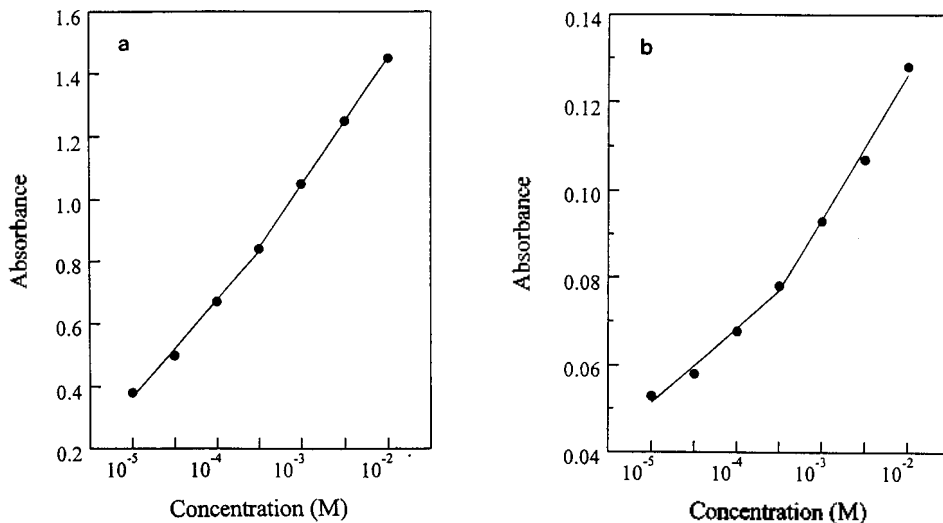


Fig. 5. Calibration plots for phenol using (A) PVC film and (B) the filter paper supports by a conventional Vis. spectrometer in the pH 9.2 borate buffer solution.

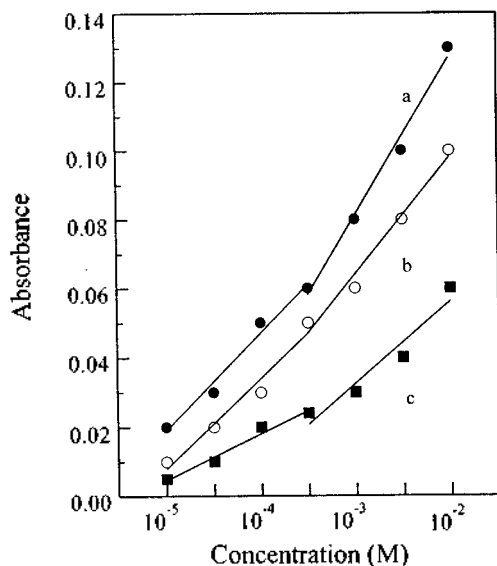


Fig. 6. Calibration plots for phenol using the filter paper supports by the portable optical sensor with LED light source at various temperature of (a) 30, (b) 25, and (c) 17 °C.

광도의 재현성이 우수하며, 2주일까지는 공기 중에 방치하여도 실험에 사용할 수 있었다.

Fig. 5는 거울면에 감응물질을 PVC막으로 고정시켜 pH 9.2에서 측정된 페놀 정량 실험의 검량선이다. $1 \times 10^{-2} \text{ M} \sim 1 \times 10^{-5} \text{ M}$ 범위에서 흡광도 대 농도를 도시하면 고농도에서의 기울기와 저농도에서의 기울기가 서로 달라서 $5 \times 10^{-4} \text{ M}$ 에서 변곡점이 나타난다(본 논문에서는 저농도와 고농도라는 용어를 $5 \times 10^{-4} \text{ M}$ 를 기준으로 해서 사용하였다). 이 현상은 농도에 따른 감도 차이로 인하여 나타난다. Fig. 5(a)는 이 경우의 검량선으로, 저농도는 $\text{Abs.} = 0.226(\pm 0.009) + c \times 0.0406(\pm 0.0003)$, 상관계수: 0.999로, 고농도는 $\text{Abs.} = 0.192(\pm 0.007) + c \times 0.0310(\pm 0.0017)$, 상관계수: 0.998로 나타난다. 저농도 영역의 검출 한계는 $1 \times 10^{-6} \text{ M}$ 이다.

거름종이를 이용한 검출. PVC막을 이용한 경우에서 반응시간이 길어지는(30분 이상) 단점을 해소하기 위해서, 감응물질 지지체로써 거름종이를 사용하였다. 거름종이를 외경이 0.9 cm이고 내경이 0.6 cm(질량 3 mg)인 고리로 잘라서, THF에 녹인 감응물질을 흡수시켰다. 용매를 완전히 휘발시킨 후 흡착된 감응물질의 양은 0.07 mg이었다. 거름종이 지

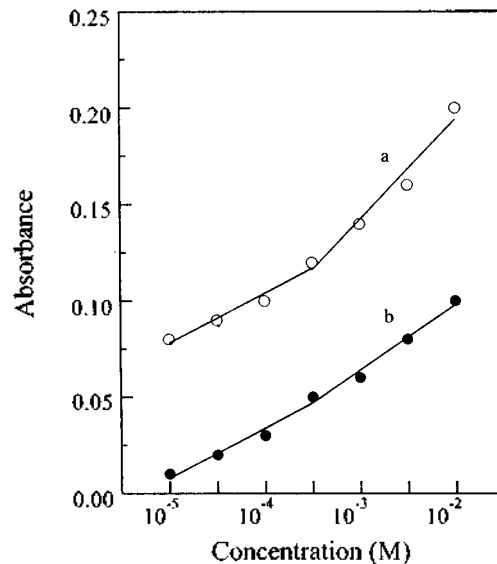


Fig. 7. Calibration plots for phenol by the portable optical sensor with two light sources of (a) Laser and (b) LED using the filter paper supports at 25 °C.

지체를 사용한 결과 반응시간을 15분으로 줄일 수 있었다. 거름종이 지지체와 기존의 광학장치를 이용한 경우 역시 PVC막을 이용한 경우와 같이 흡광도가 농도에 비례하였다. Fig. 5(b)은 저농도($\text{Abs.} = 0.0136(\pm 0.0007) + c \times 0.00170(\pm 0.00017)$, 상관계수: 0.990)와 고농도($\text{Abs.} = 0.0191(\pm 0.0007) + c \times 0.00328(\pm 0.00012)$, 상관계수: 0.995)에서의 검량선이며, 검출 한계는 $1 \times 10^{-6} \text{ M}$ 이었다.

먼저, LED를 광원으로 사용한 휴대용 페놀 감지 시스템을 이용하여 페놀의 흡광도를 측정하고자 하였으나 LED에서 나오는 빛의 세기가 약해서 거울면에 의해 반사된 빛을 검출하기가 곤란하였다. 이때문에 LED인 경우에는 빛이 광원에서 반응셀을 통과한 후 직접 광섬유를 통하여 검출기에 도달하는 형태로 감응부를 변경하였다(Fig. 1(b)). 재현성이 있는 입사광의 세기를 얻기 위하여, 전원을 연결한 후 일정한 시간이 경과한 후 흡광도를 측정하였다. 이렇게 하여 얻은 검량선을 Fig. 7에 나타내었다. 미지시료의 농도는 먼저 그 흡광도의 크기를 측정한 후 그 흡광도 값이 포함되는 영역의 검량선을 사용하여 결정 가능하다.

반응 온도에 의해서 검량선의 기울기가 변화하는

Table 1. Calibration plot parameters for the phenol reacted with 2,6-dichloroquinone-4-chloroimide on a filter paper by the portable optical sensor at the (1) low and (2) high concentration range

Temp. (°C)	(1) Low concentration range			(2) High concentration range		
	Slope	Intercept	Correlation coeff.	Slope	Intercept	Correlation coeff.
17	0.00134 (± 0.00016)	0.00717 (± 0.00038)	0.986	0.00236 (± 0.0020)	0.00103 (± 0.00013)	0.985
25	0.00260 (± 0.00014)	0.00138 (± 0.00015)	0.983	0.00340 (± 0.0018)	0.00166 (± 0.00012)	0.989
30	0.00280 (± 0.00028)	0.0159 (± 0.0012)	0.989	0.00460 (± 0.0010)	0.00219 (± 0.00020)	0.994

데 반응 온도가 높을수록 검량선의 기울기가 증가하였다. 이러한 현상으로부터 온도가 높을수록 반응 속도가 빨라져서 일정한 시간 경과 후의 흡광도가 증가함을 알 수 있었다. 17, 25, 30 °C에서 각각의 온도에 따른 검량선을 Fig. 6에 나타내었고, 각각의 기울기와 절편 및 상관계수를 Table 1에 나타내었다.

LED를 휴대용 감지 시스템의 광원으로 사용했을 경우 빛 세기가 약하고, 시간에 대해 감소하는 단점을 보완하기 위하여 휴대용 레이저 포인터로 광원을 교환하여 작성한 검량선을 Fig. 7의 a에 나타내었다. 휴대용 레이저 포인터를 사용한 경우 저농도에서의 검량선은 $Abs = 0.0206(\pm 0.0002) + c \times 0.00260(\pm 0.00034)$ (상관계수: 0.983)이고, 고농도에서의 검량선은 $Abs = 0.0298(\pm 0.006) + c \times 0.00520(\pm 0.00031)$ (상관계수: 0.983)였다. Fig. 7의 b는 광원이 LED인 경우이다. 동일한 농도에서 휴대용 레이저 포인터를 사용했을 때가 LED의 경우보다 흡광도가 크게 나타났다. 이는 휴대용 레이저 포인터가 더 큰 입사광의 세기를 가지며, 복사선 통과 거리(Fig. 1(a))가 LED 경우와 비교하면 2배가 되기 때문이다.

결 론

페놀을 정량하기 위한 감응물질 지지체로 PVC와 저름종이를 사용하여 감응막을 개발하였으며, 페놀의 농도 영역에 따라 두 가지 기울기의 직선성을 가지는 검량선을 얻을 수 있었다. 일반적인 자외-가시선 분광광도계와 본 실험에서 제작한 one-chip 마이크로컴퓨터로 구성된 휴대용 검출기를 사용하여 페놀을 정량한 경우 비슷한 실험결과를 얻을 수

었다. 따라서 환경오염물질을 측정할 때, 일반적인 자외-가시선 분광광도계가 가지는 문제점을 개선하면서 페놀을 정량적으로 검출할 수 있으면서 소형화된 휴대용 광학 감지 시스템을 개발하였다.

이번 연구에서 개발한 휴대용 광학 장치에서 다음과 같은 점이 보완된다면 더 좋은 결과를 얻을 수 있으리라 생각된다. 첫째, 가장 이상적인 광원의 최대 파장은 612 nm이어야 한다. LED와 휴대용 레이저 포인터의 경우는 각각의 λ_{max} 가 이 값과는 차이가 있으며, Lambert-Beer 법칙에서 벗어나는 부분이 생기게 된다. 그러므로 최대흡수파장이 정확히 일치하는 광원을 선택하거나, 더 적절한 필터를 사용해야 할 것이다. 둘째, 휴대용에 적합하도록 적은 전력으로 안정하고 강한 복사선을 내는 광원이 선택되어야 할 것이다.

본 연구는 93년도 한국과학재단 핵심전문연구 연구비(과제번호: 931-0300-024-2)의 지원에 의한 결과로 이에 감사드립니다.

인 용 문 헌

- Murray, R. W. *Chemical Sensors and Microinstrumentation*; ACS Symp. Ser., 1989.
- Arnold, M. A.; Meyerhoff, M. E. *CRC Critical Reviews in Analytical Chemistry* 1988, 20, 149~196.
- Sepaniak, M. J. *ACS Symp. Ser.* 1989, 318.
- Alarie, J. P.; Sepaniak, M. J.; Vo-Dinh, T. *Anal. Chim. Acta* 1990, 229, 169~176.
- Krull, J. U.; Brown, R. S.; Hougham, B. D.; Brock, I. H. *Talanta* 1990, 37, 801~807.

6. Abdel-Latif, M. S.; Suleiman, A. A.; Guilbault, G. G. *Analytical Letters* **1988**, *21*, 943~951.
7. Kulp, T. J.; Camins, I.; Angel, S. M. *Anal. Chem.* **1989**, *59*, 2849~2853.
8. Angel, S. M.; Ridley, M. N.; Langry, K.; Kulp, T. J.; Myrick, M. L. *ACS Symp. Ser.* **1989**, 345.
9. Schurath, U.; Speuser, W.; Schmidt, R. F. *Anal. Chem.* **1991**, *340*, 544~547.
10. Maartensson, J.; Arwin, H.; Lundstroem, I. *Actuator, B.* **1990**, *BI(1~6)*, 134~137.
11. Cook, R. L.; MacDuff, R. C.; Sammells, A. F. *Anal. Chim. Acta.* **1989**, *226*, 153~158.
12. Momin, S. A.; Narayanaswamy, R. *Anal. Chim. Acta.* **1991**, *244*, 71~79.
13. Butler, M. A. J. *Electrochem. Soc.* **1991**, *138*, L46~L47.
14. Gibbs, H. D. *J. Biol. Chem.* **1927**, *72*, 649.