

침지시간에 따른 Chlorinated Polyvinyl Chloride 정밀여과용 평막의 내화학적 특성

유재상[†]·손재익·김희준·정건용

서울산업대학교 에너지환경공학과

(2009년 12월 1일 접수, 2009년 12월 23일 수정, 2009년 12월 23일 채택)

Chemical Resistance Characteristics of the Chlorinated Polyvinyl Chloride Microfiltration Flat-sheet Membrane with respect to Immersion Time

Jae Sang Ryu[†], Jae Ik Son, Hee Jun Kim, and Kun Yong Chung

Department of Energy & Environment Engineering, Seoul National University of Technology, Seoul 139-743, Korea

(Received December 1, 2009, Revised December 23, 2009, Accepted December 23, 2009)

요약: 본 연구는 정밀여과용 Chlorinated Polyvinyl Chloride (CPVC) 평막의 화학약품 수용액 내에서 경과시간에 따른 내화학적 특성을 측정하기 위하여 실시하였다. 화학약품으로는 막 세정에 주로 사용되는 유효염소 0.5 wt% NaClO 수용액과 산성인 HCl 1 wt%, pH 4 수용액 그리고 알칼리인 NaOH 4 wt%, pH 10 수용액을 사용하였다. 이상의 수용액중에 CPVC 분리막을 1일, 3, 5, 10일 동안 5, 25, 50°C에서 침지시킨 후, 각각의 인장강도와 파단시 신장율을 측정하여 내구성을 평가하였다. 막 세정시 주로 사용되는 유효염소 0.5 wt% NaClO 수용액의 경우 5°C 조건에서는 인장강도 변화는 5% 이내이지만 25, 50°C에서는 17%까지 감소하였다. CPVC 분리막의 내화학적 특성은 산성인 HCl 1 wt%와 pH 4 수용액에서 우수하였으나 NaOH 4 wt% 수용액에 대해서 가장 취약한 것으로 나타났다.

Abstract: This study aimed to measure chemical resistance properties of the microfiltration flat-sheet membrane made by Chlorinated Polyvinyl Chloride (CPVC) with respect to the immersed time. The solutions of effective chlorine 0.5 wt% NaClO, HCl 1 wt% and pH 4 buffer under acidic condition, NaOH 4 wt% and pH 10 buffer under alkine condition were used as widely applied chemicals for membrane washing. The CPVC membrane samples were immersed in the above chemical solutions during 1, 3, 5 and 10 days at 5, 25 and 50°C, respectively. After then, the tensile strength and elongation at break as the chemical durability for the samples were measured and evaluated. The tensile strength decreased within 5% at 5°C, but decreased up to 17% at 25 and 50°C for 0.5 wt% NaClO solution mainly used for membrane cleaning. The chemical resistance of CPVC membrane was good enough for HCl 1 wt% and pH 4 buffer acid solutions, but the most vulnerable for NaOH 4 wt% solution.

Keywords: chemical resistance, flat-sheet membrane, tensile strength, elongation at break, chlorinated polyvinyl chloride

1. 서론

현대사회는 급속한 산업발전과 인구 증가로 인한 수자원의 급격한 수요 증가를 초래하고 있고 이로 인한 하폐수의 증가는 수질의 오염도를 날로 악화 시키고 있어 효율적인 수처리 및 재활용 기술의 개발이 절실히 요구되

고 있다. 고분자 분리막을 이용한 수처리 및 하폐수 재활용 기술은 기존의 분리공정에 비하여 오염 물질의 제거 효율이 우수하며 적용범위가 넓고 공정 및 장치의 이동성이 양호한 장점이 있다. 또한 에너지 효율이 좋은 기술이어서 여러 분야의 응용기술로도 폭 넓게 활용이 되고 있다. 고분자막을 이용한 분리공정의 활용범위와 각기 기술에 대한 장단점에 대해서는 여러 가지 문헌에 자세히 설명되어 있다[1-4]. 수처리용 분리막 처리 공정

[†]주저자(e-mail : env563@ktr.or.kr)

은 이러한 여러 가지 장점에도 불구하고 수처리 공정상 불가피하게 막오염이라는 문제가 발생하여 일정 주기로 막 세정을 해야 하는 현상이 발생한다. 이러한 막오염 및 농도분극화 현상은 투과유속의 저하와 수처리용 분리막 여과 공정의 경제성을 크게 저하시키므로 막오염을 최소화할 수 있는 여러 가지 방법도 연구되고 있다[6-8].

수처리 공정 중 발생하는 막 오염에 의한 세정 공정은 막의 투과유속과 농도 분극화 현상을 해소 할 수는 있지만 막 세정시 사용되는 화학 세정제에 의하여 고분자 분리막의 손상을 유발 할 수도 있다. 연속 공정으로 이루어지는 수처리 공정에서 고분자 분리막의 손상은 막의 수명을 단축시킬 수 있을 뿐만 아니라 처리효율의 저하를 유발 시킬 수도 있다. 이러한 이유에서 투과율, 배제율 등의 막 분리 특성 외에도 우수한 내구성 및 내화학성을 갖는 고분자 분리막 소재의 개발에 많은 관심이 모여지고 있고 폴리프로필렌 다공성 분리막과 같이 산, 알칼리에 대한 내화학성이 좋고 기계적 성질이 우수하며 열적 안정성을 가지고 있는 막이 개발되기도 했다. 이렇게 내화학성이 우수한 분리막으로는 cellulose acetate, polysulfone 등이 있지만 분리공정에서 처리할 수 있는 용액의 pH의 범위가 약 2~8로서 제한적이다[9]. 내화학성이 높은 분리막 제조에 사용할 수 있는 고분자 소재는 극성, 비극성, 친수성, 소수성 등의 여러 가지 유기용제와 고온의 환경에서도 안정된 구조를 유지해야 하고 고분자의 수축 또는 팽윤의 정도가 적어야 한다. 이렇게 화학적으로 안정화된 고분자가 개발이 되고 내화학성이 우수한 분리막이 수처리 공정에 적용되어 실증 공정에서 운전이 되고 있지만 막의 내구성에 대한 기술자료가 부족하며 특히 막 세정에 사용되는 약품이나 수질의 pH 변화에 따른 분리막의 내화학적 물성변화의 연구자료는 부족한 실정이다.

본 연구에서는 Chlorinated Polyvinyl Chloride (CPVC) 정밀여과용 평막의 막 세정시 주로 사용되는 세정약품인 NaClO을 사용하여 분리막의 침지시간 변화에 따른 물성변화를 인장강도와 파단시 신장율의 변화를 통하여 내구성 거동을 조사하였으며 산, 알칼리 조건에서의 변화는 HCl, NaOH와 pH 4, 10 표준액을 사용하여 분석하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1. 분리막 및 실험재료

실험에 사용한 분리막은 퓨어엔비텍사의 공경크기 0.25

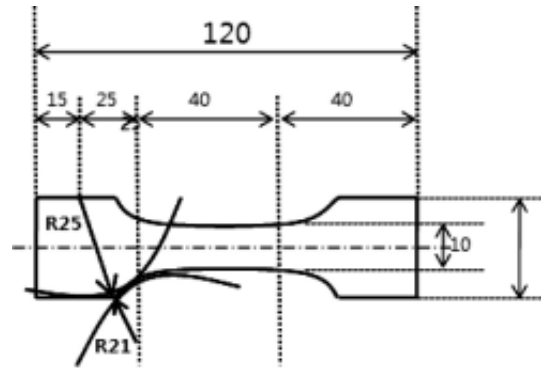


Fig. 1. A anti-chemical test sample of flat-sheet membrane.

μm 인 CPVC재질의 정밀여과용 침지형 평막이다. 내화학성을 실험하기 위한 분리막의 시험편은 침지 후의 측정 항목(인장강도, 파단시 신장율)에 따라 다양한 형태와 치수를 가진다. 시험편의 모양과 치수는 KS M ISO 527-3 및 KS M 6518에서 제시된 두께가 1 mm 이하의 플라스틱 필름이나 시트의 인장력을 측정하기 위한 방법 [10-12]과 Fig. 1에서와 같이 인장 특성을 측정하기 위한 아령형 시험편 1호형을 만들어 실시하였다. 내화학성은 하폐수 처리의 MBR 공정에 사용되는 침지형 정밀여과 평막의 막 세정에 주로 사용되는 약품인 NaClO 0.5 wt% 수용액을 제조하여 실험하였다. 별도로 산 알칼리의 조건에서 실험은 NaOH 4 wt% 수용액, HCl 1 wt% 수용액을 조제하여 사용하였고[13-15] pH 표준액은 DC Chemical사의 pH 4, 10의 표준액을 별도의 처리없이 직접 사용하여 실험하였다.

2.2. 실험장치

분리막의 내화학성을 조사하기 위한 전처리 장치인 내화학성 향온 표준 챔버장치는 Fig. 2에서와 같이 일정 온도를 유지할 수 있는 향온 챔버(1)에 열풍순환장치(2)를 설치하여 챔버안에서 온도가 골고루 퍼질 수 있도록 설계하였다. 챔버 바닥에는 shaking 판넬을 두고 그 위에 정밀여과막 시편을 시험용액에 침지시켜 고정 시킬 수 있는 사각형의 높낮이의 조절이 가능한 spring rack (3)를 설치하였고 spring rack은 시험용액에 정밀여과 시편을 침지할 수 있는 고무마개가 달린 직경이 4 cm이고 높이가 50 cm인 유리병 튜브(4)를 안정하게 고정 시킬 수 있는 구조로 설계되었다.

2.3. 실험방법

수처리용 정밀여과 평막의 내화학성을 시험하기 위한

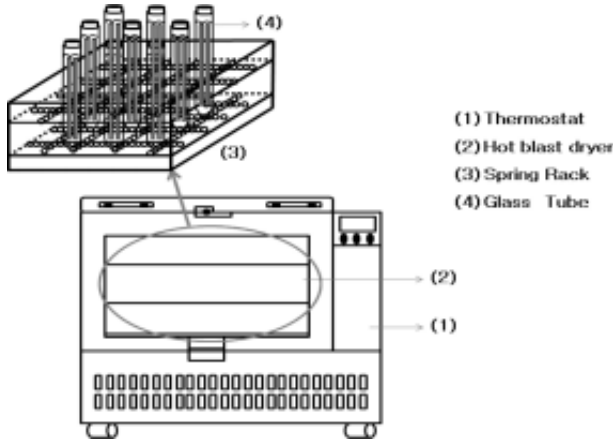


Fig. 2. A anti-chemical test standard equipment of flat-sheet membrane.

침지온도는 우리나라 계절 변화특성 및 분리막 세정온도 조건을 고려하여 $5 \pm 2^\circ\text{C}$, $25 \pm 2^\circ\text{C}$, $50 \pm 2^\circ\text{C}$ 에서 실시하였으며 침지시간은 1일, 3일, 5일, 10일 후의 변화를 측정하였다. 내화학성 평가를 위한 시험편의 전처리방법은 미리 제작된 시험편을 제조된 약품에 침지시킨다. 시험편의 위치는 준비된 유리병 튜브에 시험액에 완전히 잠기도록 하고 한개의 튜브에 5개의 시험편을 넣고 시험편에 대해서 시험편간 또는 용기벽과의 접촉을 최소화시켰다. 내화학성 표준챔버는 시험온도($5, 25, 50^\circ\text{C}$)를 유지하면서 회전속도는 50 rpm으로 설정하여 운전하였다. 일정시간 경과 후 (1, 3, 5, 10일) 분리막 시험 5가닥을 꺼내어 물로 세척 후 증류수에 시험편 전체가 침지하도록 하여 1일간 방치한 다음 약 40°C 의 항온드라이오븐에서 1일간 건조시켰다. 건조된 평막은 만능재료시험기(Universal Testing Machine, INSTRON 4465, USA)를 이용하여 시험속도 50 mm/min로 인장강도와 파단시의 신장율을 측정하였다. 인장강도의 측정은 만능재료시험기로 시험편이 끊어질 때까지의 최대 하중을 읽고, 파단시 신장율 측정은 절단 할 때의 눈금 사이의 길이를 밀리미터까지 측정하여 눈금사이의 길이에 해당하는 값을 구하였다. 인장강도, 신장율은 다음 식에 따라 계산하였다.

- 평균 인장강도의 경우

$$F = \sum F_i / n$$

여기에서 F : 인장강도(N)

$\sum F_i$: 인장강도 측정 값의 합(N)

n : 측정개수

- 개개의 시험편의 신장율은 다음 식에 따른다.

$$E_i = 100 \Delta L / L$$

여기에서 E_i : 개개의 시험편의 파단점에서의 신장율(%)

ΔL : 파단점에서 측정된 신장(mm)

L : 시험편의 파지 거리(mm)

- 파단시의 평균 신장율(%)은 다음 식에 따른다.

$$E = \sum E_i / n$$

여기에서 E : 파단점에서의 평균 신장율(%)

$\sum E_i$: 파단점에서의 신장율의 합(%)

n : 측정개수

3. 실험결과

3.1. 정밀여과용 평막의 재질 분석

정밀여과 평막의 내화학성을 시험하기 위해 시험 재료의 화학 분석을 실시하였다. 유기물, 무기물 중 공유결합을 갖는 모든 화합물은 적외선 영역에서 결합 에너지에 해당하는 진동수(파수)의 전자파를 흡수한다, 따라서 시료에 $4,000 \sim 400 \text{ cm}^{-1}$ 영역의 적외선을 조사하면 각 물질내의 결합에너지에 의한 고유 스펙트럼을 나타내고, 그 스펙트럼을 해석함으로써 미지 물질의 정성, 정량 분석을 행한다. 열분석은 고분자 물질을 포함한 유기물 및 무기물 등의 온도변화에 따른 무게변화, 엔탈피 또는 열용량 등의 변화를 측정한다[9,10]. 평막의 재질 분석은 FT-IR (Thermo Nicolet, Nexus, USA)와 TGA (TA2100, TA Instruments, USA)을 이용하여 분석하였고 분석 결과는 Fig. 3, Fig. 4와 같다. FT-IR분석결과 $2827.98 \text{ cm}^{-1} = \text{CH}_2 \text{ stretch}$, $1425.63 \text{ cm}^{-1} = \text{CH}_2 \text{ deformation}$, 1250.35 , $1344.17 \text{ cm}^{-1} = \text{CHCl}$ 그룹의 C-H deformation, $678.02 \text{ cm}^{-1} = \text{C-Cl}$ 의 stretch로 확인되고 이와 같은 결과로 CH_x 와 Cl의 결합의 CPVC로 확인 할 수 있었다. TGA분석 결과 상온에서 250°C 까지는 additive가 열분해 되었고, $250 \sim 380^\circ\text{C}$ 까지 약 35.3%가 열분해 되었는데, 이는 CPVC 속에 많이 함유되어 있는 염소의 탈염소화 반응으로 확인되었고, $380 \sim 600^\circ\text{C}$ 까지 약 46.1%가 열분해 되었는데, 이는 polyene 분해반응이라고 할 수 있다. 또한 600°C 부근에서 13.1% 정도가 확인되는데, 이는 무기 충전제 잔류량이라 판단된다. CPVC 막의 공경크기는 Capillary Flow Meter (CFP- 1200-AE, USA)를 사용하여 분석하였고 분석 결과는 Fig. 5와 같으며 막의 평균 공경크기

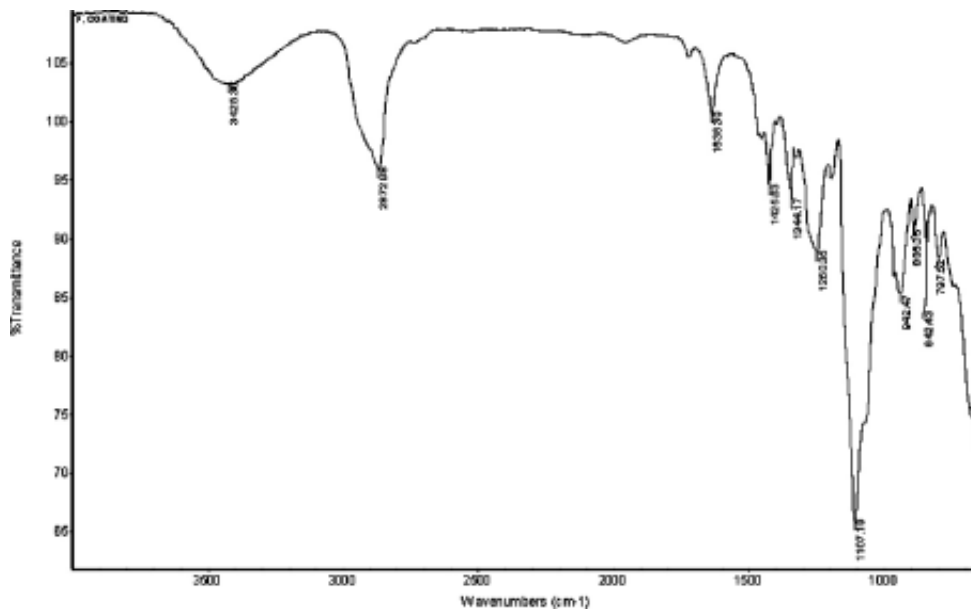


Fig. 3. FT-IR Spectrum of CPVC flat-sheet membrane.

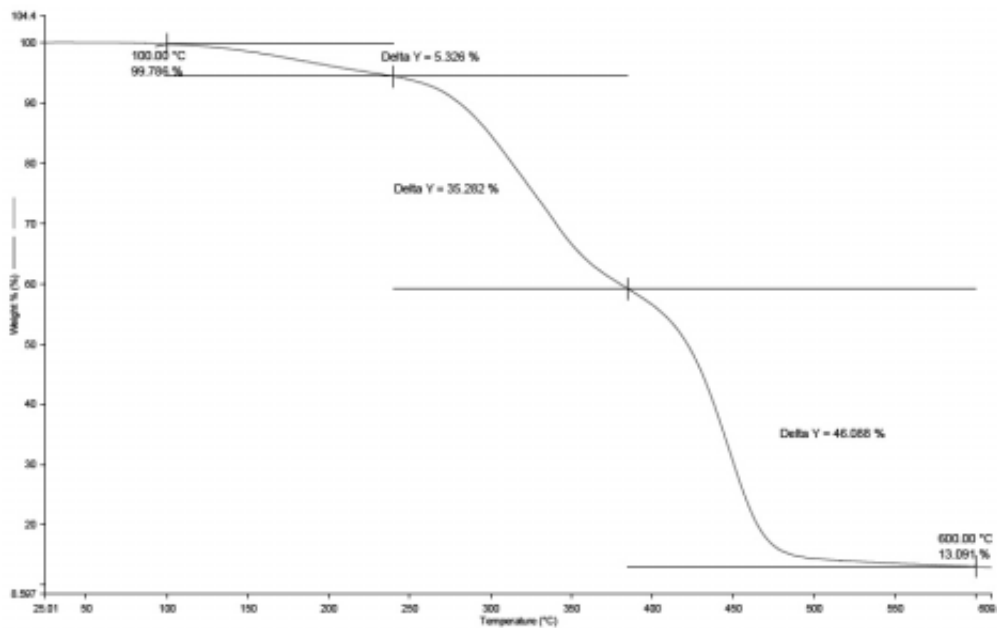


Fig. 4. TGA analysis of CPVC flat-sheet membrane.

는 0.25 μm 로 확인되었다 또한 막표면 구조의 측정은 전자형주사현미경(Stereoscan 440, Leica, U.K)으로 5,000 배율로 분석하였으며 분석결과는 Fig. 6과 같다.

3.2. 침지약품별 인장강도 및 신장율 변화

정밀여과용 평막의 내화학적 시험은 제조된 시험액(유효염소 0.5% NaClO 수용액, HCl 1 wt%수용액, pH 4

표준액, NaOH 4 wt%수용액, pH 10 표준액)에 Fig. 1에서 준비된 평막시편을 침지하여 Fig. 2의 내화학적 시험장치를 사용하여 시험하였다. 내화학적 시험장치는 열풍순환구조로 되어있고 온도조건은 5, 25, 50°C로 설정하여 각 온도조건별로 1, 3, 5, 10일 후에 침지된 시편을 채취하여 40°C로 1일 저온 건조한 다음 만능재료 시험기(Universal Testing Machine, Instron 4465, USA)

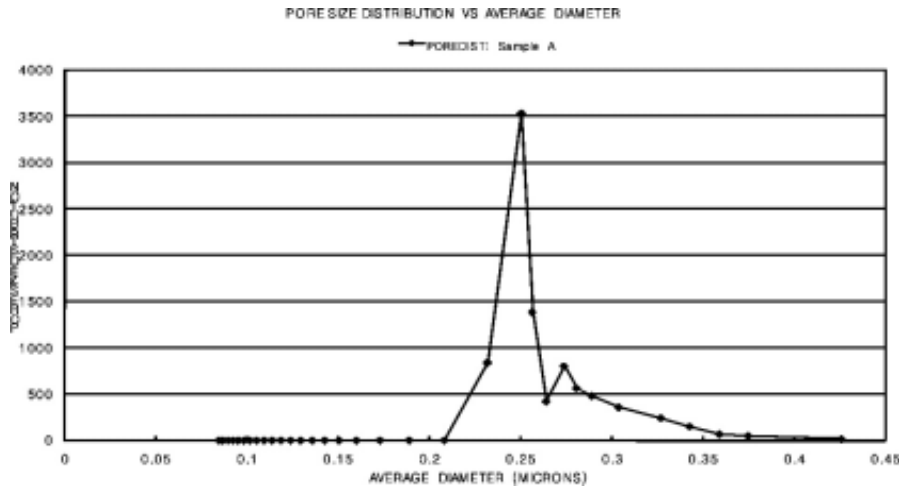


Fig. 5. Pore size analysis of CPVC flat-sheet membrane.

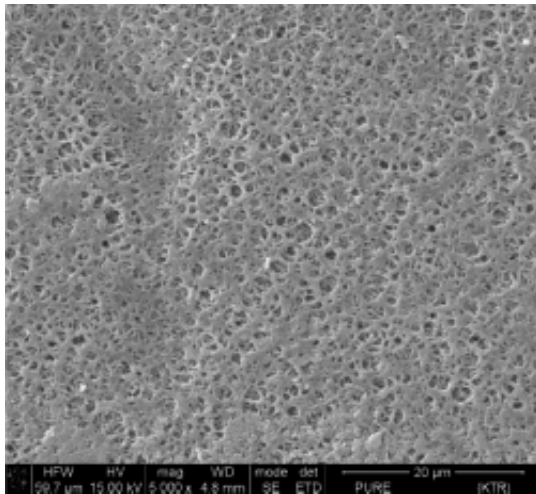
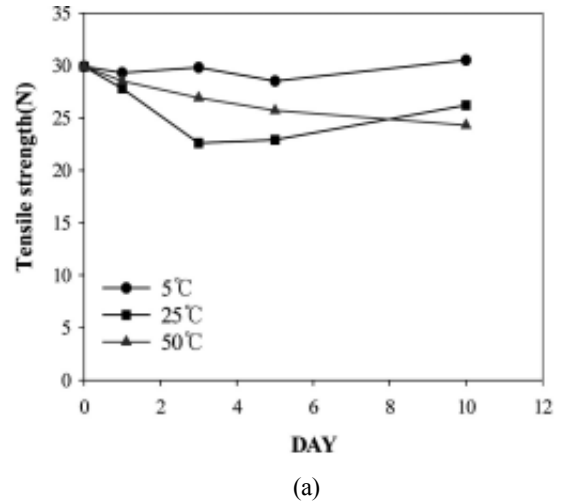
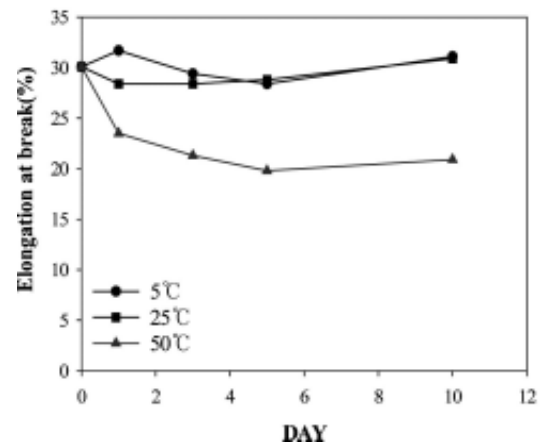


Fig. 6. SEM picture of CPVC flat-sheet membrane surface.

를 이용하여 인장강도와 파단시 신장율을 측정하였고 분석 결과는 Figs. 7~11과 같다. 막 세정시 주로 사용되는 유효염소 0.5% 차아염소산나트륨 수용액의 경우는 Fig. 7(a)에서와 같이 5°C 조건에서의 인장강도는 1일 후 29.3 N, 3일 후 29.8 N, 5일 후 28.5 N, 10일 후 30.5 N으로 강도의 변화는 5% 이내로 증가하였으나 25°C에서는 10일 후에 26.2 N, 50°C에서는 24.3 N으로 각각 12%, 17%씩 감소하였다. 파단시 신장율은 Fig. 7(b)에서와 같이 5°C와 25°C에서 10일 후에 각각 31.1%, 30.9%로 변화가 거의 없었으나 50°C에서는 1일 후에 23.5%, 3일 후에 21.3%, 5일 후에 19.8%, 10일 후에 20.9%로 급격하게 감소하였다.

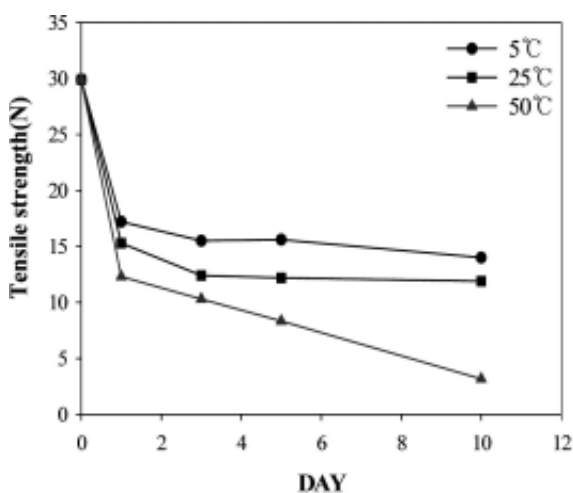


(a)

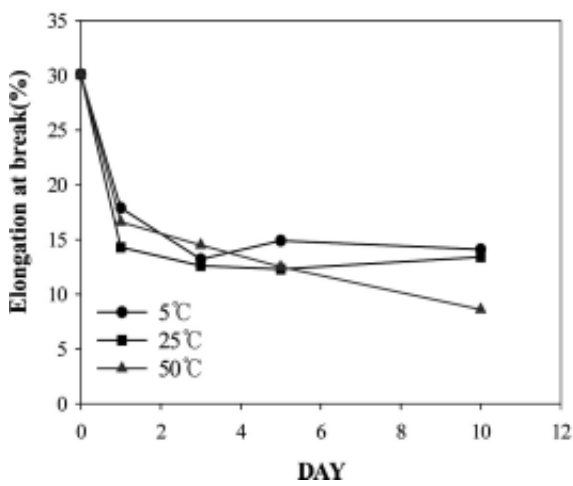


(b)

Fig. 7. (a) Tensile strength and (b) elongation at break of CPVC flat-sheet membrane with respect to immersion time in NaClO 0.5 wt% solutions at 5, 25 and 50°C.



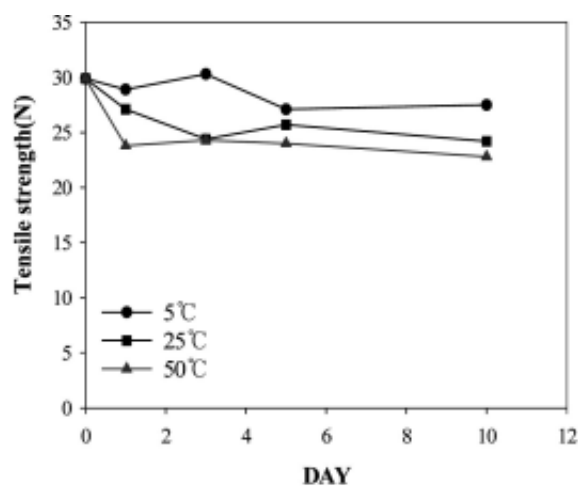
(a)



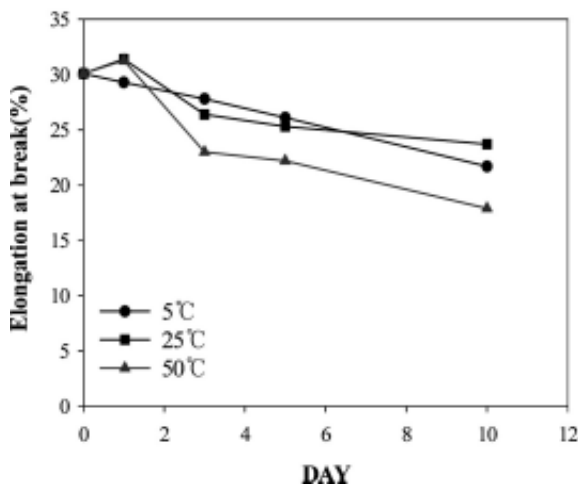
(b)

Fig. 8. (a) Tensile strength and (b) elongation at break of CPVC flat-sheet membrane with respect to immersion time in NaOH 4.0 wt% solutions at 5, 25 and 50°C.

NaOH 4 wt% 수용액에서는 Fig. 8에서와 같이 모든 온도조건에서 1일 후부터 인장강도와 파단시 신장율이 급격히 떨어졌으며 온도가 높아짐에 따라 감소율의 폭이 더욱 커졌다. 인장강도는 5°C에서 1일 후에 17.2 N, 3일 후에 15.5 N, 5일 후에 15.6 N, 10일 후에 14.0 N의 결과를 보였다. 25°C에서는 1일 후에 15.3 N, 3일 후에 12.4 N, 5일 후에 12.2 N, 10일 후에 11.9 N로 이었으며 50°C에서 1일 후에 12.3 N, 3일 후에 10.3 N, 5일 후에 8.33 N, 10일 후에 3.17 N로 초기치의 1/10까지 감소하였다. 파단시 신장율의 경우 또한 인장강도와 마찬가지로 1일 후부터 급격히 신장율이 감소하였으며 5°C에서 1일 후에 17.9%, 3일 후에 13.2%, 5일 후에 14.9%, 10



(a)

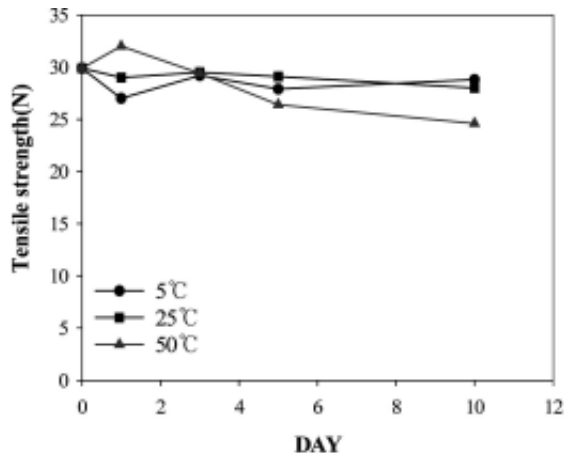


(b)

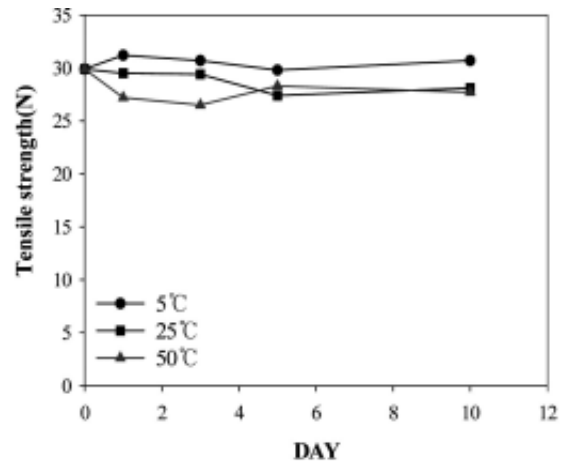
Fig. 9. (a) Tensile strength and (b) elongation at break of CPVC flat-sheet membrane with respect to immersion time in pH 10 standard solutions at 5, 25 and 50°C.

일 후에는 14.1%의 결과를 보였다. 25°C에서는 1일 후에 14.3%, 3일 후에 12.6%, 5일 후에 12.3%, 10일 후에는 13.4%로 조사되었고 50°C에서 1일 후에 16.6%, 3일 후에 14.5%, 5일 후에 12.5%, 10일 후에 8.61%의 결과를 보였다.

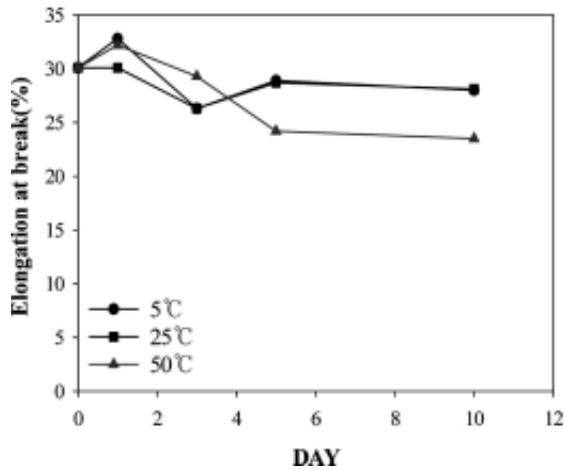
NaOH 수용액과 같은 알카리 조건인 pH 10 표준액을 사용하여 내화학적 분석한 결과를 Fig. 9에 나타내었다. 인장강도의 경우 5°C의 경우 1, 3, 5, 10일후에 각각 28.9 N, 30.3 N, 27.1 N, 27.5 N으로 10% 이내로 없었으나 25°C에서는 1일 후에 27.1 N, 3일 후에 24.4 N, 5일 후에 25.7 N, 10일 후에 24.2 N의 결과를 보였고 50°C에서는 1일 후에 23.8 N, 3일 후에 24.3 N, 5일 후에



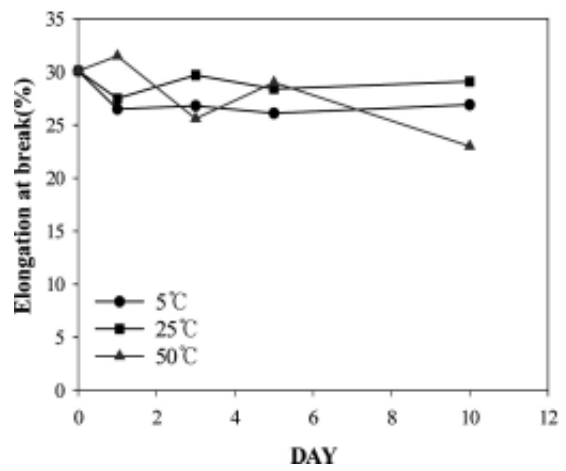
(a)



(a)



(b)



(b)

Fig. 10. (a) Tensile strength and (b) elongation at break of CPVC flat-sheet membrane with respect to immersion time in HCl 1.0 wt% solutions at 5, 25 and 50°C.

Fig. 11. (a) Tensile strength and (b) elongation at break of CPVC flat-sheet membrane with respect to immersion time in pH 4 standard solutions at 5, 25 and 50°C.

24.0 N, 10일 후에 22.8 N으로 온도가 높을수록 강도가 떨어짐을 알 수 있다. 그러나 NaOH 수용액의 경우보다는 최소 74% 이상 높게 유지되었다. 파단시 신장율의 경우는 5°C에서는 1일 후에 29.3%, 3일 후에 27.8%, 5일 후에 26.1%, 10일 후에 21.7%의 결과를 보였다. 25°C에서는 1일 후에 31.4%, 3일 후에 26.4%, 5일 후에 25.3%, 10일 후에 23.7%로 측정되었고 50에서는 1일 후에 31.3%, 3일 후에 23.0%, 5일 후에 22.2%, 10일 후에 17.9%로 NaOH 수용액의 경우보다 최대 108% 높게 나타났다.

HCl 1 wt% 수용액에서의 온도별 인장강도 변화를 보면 Fig. 10(a)에서와 같이 5°C, 1일 후에 27.0 N, 3일 후에 29.2 N, 5일 후에 27.9 N, 10일 후에 28.8 N이었고

25°C에서도 1일 후에 29.0%, 3일 후에 29.5%, 5일 후에 29.1%, 10일 후에 28.0%로 10% 이내로 감소하였다. 50°C 조건에서는 1일 후에 32.0 N, 3일 후에 29.4 N, 5일 후에 26.4 N, 10일 후에 24.6 N으로 감소된 결과를 보였다. 파단시 신장율도 5°C와 25°C에서는 각각 10일 후에 28.0%, 28.1%로 큰 차이가 없었다. 50°C, 1일 후에 32.2%, 3일 후에 29.3%, 5일 후에 24.2%, 10일 후에 후 23.5%로 NaOH에 비하여 내화학성이 강한 것으로 나타났다.

마지막으로 HCl과 같은 산성조건인 pH 4 표준액을 사용하여 내화학성을 시험한 결과를 Fig. 11에 나타내었다. 인장강도의 경우는 5°C, 25°C, 50°C에서 10일 후에 각각 30.7 N, 28.1 N, 27.7 N로 모든 온도조건에서 10%

이내로 감소하였다. 또한 파단시 신장율은 각각 26.9%, 28.1%, 23.0%로 인장강도 보다는 큰 감소를 보였으나 비교적 안정적이었다.

4. 결론 및 고찰

본 연구에서는 정밀여과용 평막의 내화학성을 시험하기 위한 시험 표준장치를 설계 제작하였다. CPVC 평막의 내화학성은 인장강도와 파단시 신장율 변화로서 측정되었으며 이를 요약하면 다음과 같다.

막 세정시 주로 사용되는 유효염소 0.5% 차아염소산 나트륨 수용액의 경우 5°C 조건에서는 인장강도 변화는 5% 이내이지만 25°C, 50°C에서는 17%까지 감소하였다. 또한 파단시 신장율은 5°C, 25°C에서는 변화가 없었으나 50°C에서는 시험 초기에 비하여 31% 감소하였다.

NaOH 4 wt% 수용액은 모든 온도조건에서 인장강도와 파단시 신장율이 급격히 감소하였다. 상온 조건인 25°C에서도 시험초기 대비 60% 이상 인장강도가 감소하였으며 10일 후 파단시 신장율 역시 50% 이상 감소하여 CPVC 평막에 대한 NaOH 내화학성이 불량하므로 분리막 세척시 세심한 주의가 요구된다. pH 10 표준액의 경우 인장강도와 파단시 신장율 변화는 NaOH의 경우보다는 작지만 모든 온도조건에서 감소하므로 PVC 평막으로 알카리 수용액을 처리할 경우 주의하여야 한다.

HCl 1 wt% 수용액의 경우 5°C와 25°C에서는 인장강도의 변화가 거의 없었다. 50°C에서도 시험초기 대비 18% 정도 감소하였고 파단시 신장율도 50°C에서 시험초기 대비 22% 감소하였다. 또한 pH 4 표준액을 사용하여 내화학성을 시험한 결과 모든 온도 조건에서 10% 이내로 감소하였으며 파단시 신장율 역시 HCl 수용액과 비슷하였다. 결국 CPVC 평막은 HCl 및 산성 수용액에 대한 내화학성이 우수한 것으로 판명되었다.

감 사

본 연구는 지식경제부에서 시행한 지식경제기술혁신사업(표준기술력 혁신사업)의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 도움을 주신 (주)퓨어엔비텍 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. M. Mulder, "Basic Principles of Membrane Technology", pp. 198-280, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht (1991).
2. M. C. Porter, "Handbook of Industrial Membrane Technology", pp. 136-259, Noyes Publications, Park Ridge (1990).
3. J. A. Howell, "Membranes in Bioprocessing: Theory and Applications", pp. 141-202, Chapman and Hall, London (1993).
4. K. Y. Chung, M. E. Brewster, and G. Belfort, "Dean vortices with wall flux in a curved channel membrane system 3. Concentration polarization in a spiral reverse osmosis slit", *J. Chemical Eng. Japan*, **31(5)**, 683 (1998).
5. J. Y. Jang, Y. S. Chung, Y. M. Lee, and S. Y. Nam, "Preparation and properties of membranes for the application of desalting, refining and concentrating for dye processing", *Membrane Journal*, **16(3)**, 213 (2006).
6. Y. S. Cho, J. P. Kim, and K. Y. Chung, "Permeation characteristics of the submerged membrane module using the rotating disks", *Membrane Journal*, **16(1)**, 51 (2006).
7. S. T. Nam and M. J. Han, "Fouling behavior of bentonite colloidal suspensions in microfiltration", *Membrane Journal*, **18(1)**, 53 (2008).
8. J. Y. Park and S. H. Lee, "Effect of water-back-flushing in advanced water treatment system by tubular alumina ceramic ultrafiltration membrane", *Membrane Journal*, **19(3)**, 194 (2009).
9. M. Cheryan, "Ultrafiltration Handbook", pp.35-43, Technomic Publishing Co., Lanchester (1986).
10. Korean Standards Association, "Plastics-Determination of tensile properties - Part 3:Test conditions for films and sheets", KS M ISO 527-3 (2006).
11. Korean Standards Association, "General rules of physical testing methods for vulcanized rubber", KS M 6781 (2007).
12. Korean Standards Association, "Waterproofing membrane coating for construction", KS F 3211 (2008).
13. Korean Standards Association, "Waterproofing sheets

- of synthetic polymer”, KS F 4911 (2007).
14. Korean Standards Association, “Plastics – Methods of test for the determination of the effects of immersion in liquid chemicals”, KS M ISO 175 (2006).
 15. Korean Standards Association, “Testing methods for chemical resistance of plastics under constant tensile deformation”, KS M 3046 (2009).