방사선가교로 제조된 폴리아크릴산 코팅 스테인리스그물망에 의한 유수 분리

노영창[1,*] · 신정웅[1] · 박종석[1] · 임윤묵[1] · 전준표[1] · 강필현[1]

[1]한국원자력연구원 첨단방사선연구소

Separation of Water and Oil by Poly(acrylic acid)-coated Stainless Steel Mesh Prepared by Radiation Crosslinking

Young-Chang Nho[1,*], Jung-Woong Shin[1], Jong-Seok Park[1], Youn-Mook Lim[1], Joon-Pyo Jeun[1] and Phil-Hyun Kang

[1]*Research Division for Industry & Environment, Korea Atomic Energy Research Institute*

Abstract - The stainless steel mesh coated with poly(acrylic acid) hydrogel was fabricated and applied for the separation of water and oil. The stainless steel mesh was immersed in aqueous poly (acrylic acid) solution, and then irradiated by radiation to introduce poly(acrylic acid) hydrogel on the surface of mesh by crosslinking. It was possible to separate oil and water from mixtures of oil/water effectively using the hydrogel-coated mesh. The effect of irradiation dose, coating thickness, size of mesh on the separation efficiency was examined.

Key words : Radiation, Crosslinking, Separation, Steel mesh

서 론

바다는 지구 전 표면적의 약 70%를 차지하고 있고, 다양한 생물자원과 광물자원이 풍부하여 인간이 지구 환경을 잘 보존해야 되지만, 대규모 공단으로부터 유출되는 공장폐수, 대도시에서 배출되는 생활폐수, 유조선 사고로 인한 기름 유출, 육상 유류 운송 중 기름 유출, 세차장으로부터의 기름 유출 등의 원인으로 급격히 수상 생태계가 황폐화되고 있다.

특히 해양사고로 인해 선박으로부터 유출된 기름은 유출 사고 초기뿐만 아니라 사고 후에도 장기간에 걸쳐 해양 생태계를 파괴하여 인류에 돌이킬 수 없는 재앙을 가져온다. 유출된 유류는 방제 및 정화작업을 통하여 일부 제거되기도 하지만, 대부분 복잡한 풍화과정을 거치면서 환경 내에 잔류하여 각종 해양 생물에 치명적 해를 주게 되므로 기름 유출시 효과적으로 신속하게 방제작업을 수행하는 것이 피해를 최소화할 수 있다.

기름 회수기술은 원심분리식 또는 기계적으로 기름을 흡입하는 기름제거 장치 활용법(Gaaseidnes *et al*. 1999; Nakano 2003), 화학/생화학적 처리법, 유출유 소각법 등이 이용되고 있다. 기계 장치에 의한 흡입방식은 기름과 함께 물도 흡입되므로 기름을 효과적으로 처리하기는 쉽지 않다. 화학약품을 사용하여 수면상의 폐유를 제거하는 경우도 화학약품과 함께 기름도 함께 응고하여 침전되기 때문에 해수면의 기름을 제거한다고 하여도 침전된 잔류 기름에 의해 2차적인 환경을 오염시킬 수 있다.

이러한 문제점을 해소하는 방법으로 기름만을 흡유하는

* Corresponding author: Young-Chang Nho, Tel. +82-63-570-3060, Fax. +82-63-570-3069, E-mail. ycnho@kaeri.re.kr

흡유재가 활용되고 있는데, 흡유재로는 친유성 폴리프로필렌부직포(Lee *et al*. 2010; Patel *et al*. 2014)나 자체로 친유성 특성을 발현하는 카폭과 같은 식물, 동물 털 등을 멧트 형태로 제작하여 흡유재로 활용하고 있다. 친유성 부직포는 주로 폴리프로필렌 재질을 이용하여 가늘게 방사한 섬유를 니들펀칭이란 기술로 만든 일종의 압착솜이다. 폴리프로필렌 섬유는 친유성이고, 섬유가 엉켜있어 표면적이 매우 넓기 때문에 효과적으로 기름을 흡수한다. 이들 흡유재는 일반적으로 기름을 흡착시킨 후, 소각 처리하는 과정에서 유독가스를 발생할 수 있는 단점이 있다.

국내에서는 바다에서 기름 유출사고가 났을 때 일반적인 처리과정을 보면 우선 기름의 확산을 막기 위해 사고 지역에 큰 울타리, 즉 오일펜스를 설치해 기름을 가둬놓은 다음에 이들 기름덩어리를 걷어내는 도구인 스키머(scimmer)로 걷어내거나 흡착기로 빨아들인다(Topham 2002; Broje *et al*. 2007; Durkee 2008). 그런 뒤에도 바다의 수면 위에는 오일필름이라는 엷은 기름막이 물 속의 산소공급을 차단해 양식장을 황폐화시키기 때문에 기름막을 효과적으로 제거하여야 하는데, 지금까지 적합한 방법이 없다.

본 연구에서는 스테인리스 망에 친수성 고분자를 방사선 가교기술로 코팅하여 물과 기름 중, 물만 친수성 망을 통과하게 하여 물과 기름을 효과적으로 분리하는 기술을 개발하고자 하였다.

고분자 중에는 물에 잘 용해되는 고분자가 있는데, 대표적인 것으로 폴리아크릴산, 폴리비닐알콜(PVA), 폴리비닐피로리돈(PVP), 카르복시메틸셀룰로오스(CMC) 등을 들 수 있다. 이들을 물에 용해시키고, 방사선을 조사하면 고분자 중의 일부 원자가 탈리되어 라디칼이 발생되며, 라디칼 형성된 고분자쇄(polymer chain) 사이에 상호 결합이 이루어지면 고분자쇄 간에 망상결합이 형성되어 더 이상 물에 녹지 않는 하이드로겔이 형성된다. 이렇게 하여 만든 하이드로겔은 화상, 상처 치료용 드레싱재료, 아토피 치료용 드레싱재료, 유착방지막, 생리용 흡착재 등에 활용될 수 있다.

하이드로겔 제조할 때 방사선을 이용하면 촉매나 가교제 등 독성이 있는 화학약품을 사용하지 않고 방사선 조사하여 제조하기 때문에 독성물질이 하이드로겔에 잔류하지 않는 우수한 하이드로겔을 제조할 수 있으며, 조사량, 고분자 수용액 농도, 방사선 조사 분위기 등을 조절하면 원하는 물성을 갖는 하이드로겔을 제조할 수 있다(Lee *et al*. 2003; Park *et al*. 2003; Zhao *et al*. 2003; Elliot *et al*. 2004; Lee *et al*. 2006; Nizam *et al*. 2009; Zu *et al*. 2010).

본 연구에서는 아주 가는 금속 망, 즉 분말 입자를 크기별로 분리하는 데 사용하는 금속 sieve를 고분자 수용액에 침지하여 금속 망에 고분자용액을 부착시키고, 이것을 방사선 조사/가교시켜 금속 망 주위에 일정한 두께의 하이드로겔층이 형성되도록 하였다. 고분자 수용액의 농도, 침지시간에 따라 수용성 고분자의 코팅 두께가 달라지게 된다. 이렇게 금속 망에 친수성인 고분자 수용액을 코팅하고 방사선 가교처리하면 코팅된 고분자는 물에 용해하지 않게 되고, 이 금속 망은 극 친수성 형태를 나타낸다. 물과 기름 혼합물을 이 금속 망에 통과시키면 친수성인 물만 금속 망으로 빠지고 기름만 남게 된다.

이러한 방법으로 특별히 압력을 가하지 않고도 기름과 물을 효율적으로 분리할 수 있다. 방사선 가교로 인하여 친수성 고분자가 3차원 망상구조를 형성하여 친수성을 나타내면서도 물에 용해하지 않아 장기간 사용이 가능하여 산업적으로 쉽게 활용할 수 있을 것으로 예측된다. 본 연구에서는 방사선조사량, 금속 망의 간격, 하이드로겔의 코팅 두께, 하이드로겔의 팽윤도, 접촉각 등의 차이에 따라 유수 분리 성능을 평가하였다.

재료 및 방법

1. 실험의 재료

본 연구에서 사용된 폴리아크릴산(poly(acrylic acid))은 Wako Pure Chemical Industries, Ltd (Tokyok Japan)에서 구입하였으며, 분자량(Mw)은 1,000,000인 것을 사용하였다. Aluminium sulfate (AH)와 ethylene carbonate는 Sigma Chemical Co. (St. Louis, Mo, USA)에서 구입하여 사용하였다.

2. 금속 망에 폴리아크릴산의 코팅

Poly(acrylic acid) (PAA) 와 polyethylene glycol (PEG) 15 wt%를 정제수(DIW)에 넣고 교반기를 이용하여 2,000 rpm의 속도로 1시간 동안 교반하여 고분자 수용액을 제조하였다(Table 1). 스테인레스 철망(100, 150, 200, 325, 400 mesh)을 직경 7 cm로 절단한 것을 이용액에 딥핑하여 스테인레스 철망에 고분자용액을 코팅하였다. 그리고 코팅 층이 물에 용해되지 않도록 방사선조사시켰다(Fig. 1).

코팅 수용액의 겔화를 촉진하기 위해 Aluminium sulfate (AH) 5 wt%, ethylene carbonate (EC) 1 wt%, DIW 94 wt%를 교반기를 이용하여 2,000 rpm의 속도로 1시간 동안 교반하여 제조한 용액을 PAA와 PEG가 코팅된 스테인레스 철망

Table 1. Coating composition and irradiation dose for stainless steel mesh

PAA (wt%)	PEG (wt%)	EC (wt%)	AH (wt%)	Absorbed dose (kGy)
15				10
20	15	1	5	25
25				50

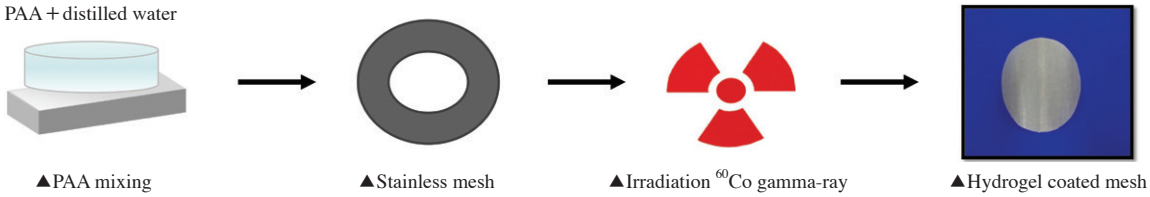


Fig. 1. Preparation process of PAA hydrogel-coated mesh for separation of oil and water.

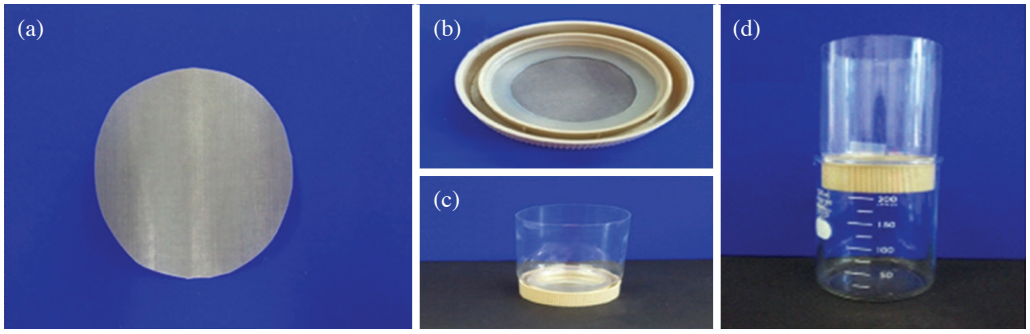


Fig. 2. Separation apparatus of oil and water by hydrogel-coated stainless steel mesh (a: stainless mesh, b, c: sealing gasket, d: beaker).

에 스프레이 방식으로 분사 후, 철망을 80°C의 오븐에서 약 1시간 동안 건조하였다.

이렇게 처리한 금속 망을 감마선을 조사하여 유수 분리할 수 있는 하이드로겔이 코팅된 금속 망 구조체를 제조하였다.

3. 가교율 측정

하이드로겔이 코팅된 금속 망에서, 하이드로겔의 가교율을 측정하기 위하여, 코팅 금속 망을 직경 10 mm 원형으로 절단한 다음 이것을 증류수에 48시간 동안 침지시켜 가교되지 않는 부분은 용해시켰다. 용해되지 않은 부분을 진공 오븐에 넣어 37°C에서 48시간 건조시킨 후 건조된 겔의 무게를 측정하였다. 겔화율 구하는 식은 다음과 같다.

$$\text{겔화율}(\%) = Wd/Wi \times 100$$

여기에서 Wd는 증류수에 침지시킨 후 꺼내어 용해되지 않고 남아있는 하이드로겔의 건조된 무게를 나타내며, Wi는 증류수에 넣기 전 건조된 하이드로겔만의 무게를 나타낸다.

4. 팽윤도 측정

하이드로겔이 코팅된 금속 망에서 하이드로겔의 팽윤도를 측정하기 위하여, 코팅 금속 망을 직경 10 mm 원형으로 절단한 다음 이것을 증류수에 48시간 동안 침지시킨 후, 꺼내어 겔 표면의 물기를 닦아준 후, 무게를 측정하였다. 팽윤되는 하이드로겔의 무게(Ws)와 건조된 하이드로겔의 무게(Wd) 차이를 건조된 겔의 무게로 나누어 백분율로 나타냈다.

$$\text{팽윤도}(\%) = (Ws - Wd)/(Wi) \times 100$$

5. 접촉각 측정

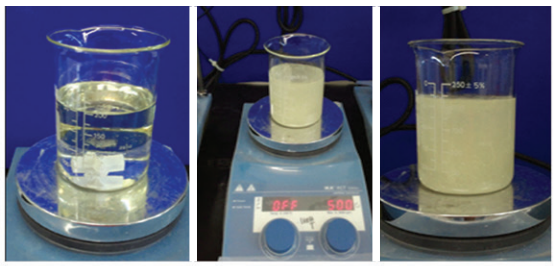
하이드로겔이 코팅된 스테인레스 그물망의 친수성의 변화를 확인하기 위해 물 접촉각을 측정하였다. 시료는 직경 9 mm로 제작하였으며, 10 μL의 물방울을 떨어뜨린 후 10초 후에 접촉각을 측정하였다.

6. 유/수 분리 성능 평가

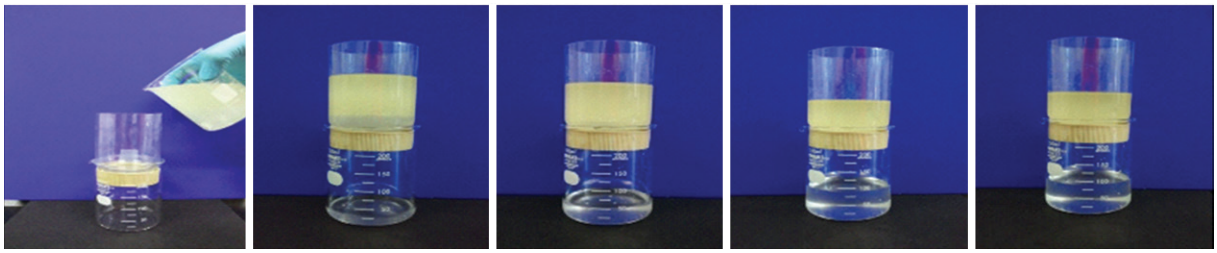
하이드로겔이 코팅된 스테인레스 그물망의 유/수 분리 성능을 평가하였다. Fig. 2와 같이 기름 수거용 구조체를 비커 및 투명용기와 결합시켰다. 증류수 100 ml 와 대두유 100 ml를 교반기를 이용하여 1,000 rpm의 속도로 30분간 교반하여 혼합액을 만들었다. 제조된 유/수 혼합액을 Fig. 3과 같은 과정으로 하이드로겔이 코팅된 스테인레스 그물망이 결합된 병에 부어 유/수 분리 성능을 평가하였다.

7. 내구성 평가

하이드로겔이 코팅된 스테인레스 그물망의 반복적인 사용에 따른 내구성 및 내수성을 측정하기 위하여, 하이드로겔이 코팅된 스테인레스 그물망을 DIW가 담긴 수조에 담근



Oil and water mixing



Separation process of oil and water

Fig. 3. Separation process of oil and water by hydrogel-coated stainless steel mesh.

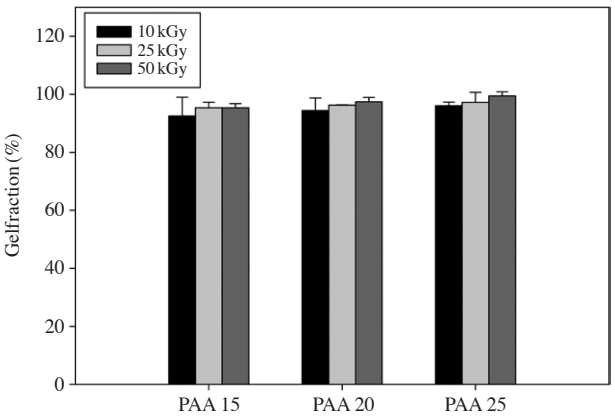


Fig. 4. Gel fraction of hydrogel coated on stainless steel mesh after radiation irradiation.

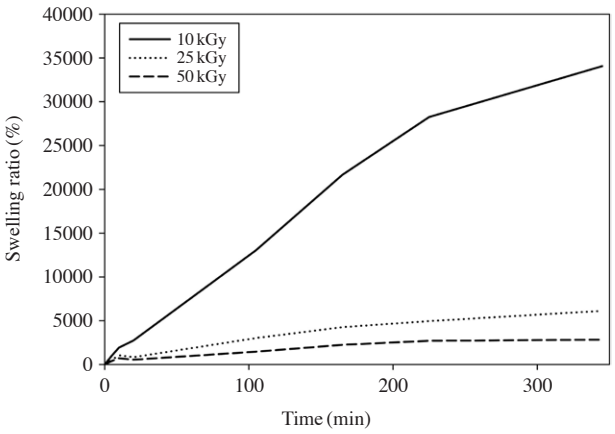


Fig. 5. Swelling ratio of hydrogel coated on stainless steel mesh after radiation irradiation (concentration of PAA: 15 wt%).

후, 1,000 rpm의 속도로 24시간 동안 세척하였으며, 이를 80 °C의 오븐에서 48시간 동안 건조 후, 세척 전/후의 무게를 측정하여 친수성 고분자의 잔류량을 측정하였다.

결과 및 논의

PAA 하이드로겔의 방사선 조사량에 따른 하이드로겔의 겔화율을 나타냈다. Fig. 4에서와 같이 방사선 조사량이 증가할수록 PAA/PEG 하이드로겔의 겔화율은 증가하였다. 이는 감마선 조사가 가교도를 높이는 역할을 한다는 것을 나타낸다. 특히, 감마선 조사량이 50 kGy에서는 PAA의 함량이 15 wt%에서도 약 95% 이상의 높은 겔화율을 나타냈다. 또한, PAA의 함량이 증가할수록 하이드로겔의 가교율은 증가하였다. 50 kGy에서 PAA의 함량이 25 wt%일 때 하이드로겔은 99% 이상의 가교율을 나타냈다.

Fig. 5는 PAA의 농도가 15 wt%일 때 방사선 조사량에 따른 하이드로겔의 팽윤도를 나타냈다. 방사선 조사량이 10 kGy일 때 하이드로겔의 팽윤도는 약 30,000% 이상을 나타냈으며, 25 kGy에서는 5,000% 이상의 팽윤도를 나타냈다. 방사선 조사량이 증가할수록 하이드로겔의 팽윤도는 감소하였다. 이의 결과는 Fig. 4의 겔화율의 결과와 반대되는 경향을 나타내고 있는데, 감마선 조사로 인한 하이드로겔의 높은 가교밀도로 고분자 사슬의 mobility가 감소되어 수분의 함유량이 크지 못하기 때문인 것으로 사료된다.

PAA 하이드로겔이 코팅된 구조체 표면의 친수성을 평가

하기 위해 물 접촉각 분석을 실시하였다. Figs. 6과 7은 방사선이 50 kGy 조사된 PAA 하이드로겔이 코팅된 금속 망 구조체의 물 접촉각 및 이미지를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 순수 스테인레스 금속 망(control)의 물 접촉각은 약 70도의 접촉각을 나타냈다. 하지만, PAA 하이드로겔이 금속 망에 코팅되어 접촉각이 감소하는 경향을 나타냈다. PAA 함량이 20 wt%일 때는 약 30도의 접촉각을 나타냈으며, PAA 함량이 25 wt%일 때는 약 18도의 물 접촉각을 나타내어 친수성이 급격하게 증가하였다.

PAA 하이드로겔이 코팅된 금속 망 구조체의 유/수 분리 특성을 평가하기 위하여 Fig. 2와 같이 소규모 유/수 분리장치를 제작하였다. 증류수 100 ml와 대두유 100 ml를 교반기를 이용하여 1,000 rpm의 속도로 30분간 교반하여 혼합액을 만들었다. 제조된 유/수 혼합액을 Fig. 3과 같은 과정으로 하이드로겔이 코팅된 스테인레스 그물망이 결합된 병에 부어 유/수 분리 성능을 평가하였다.

Fig. 8은 PAA 하이드로겔이 코팅된 금속결합망의 유/수 분리 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이, 순수 금속 스테인레스망은 유/수 분리가 되지 않고 유/수 모두 통과되어 층으로 분리되어 있다. 하지만, PAA 하이드로겔이 코팅된 금속 망의 경우 유/수 분리가 되는 것을 확인할 수 있었다. PAA가 15 wt% 코팅된 금속 망은 통과된 물 속에 기름이 일부 잔류되어 약간 탁한 색은 나타냈지만, PAA의 함량이 증가할수록 물의 색깔이 점점 투명해지는 것을 확인하였다. Fig. 8의 결과로부터 스테인레스 금속 망에 PAA 하이드로겔 코팅으로 금속 망의 친수성이 증가하여 물과 기름의 분리 성능이 증가함을 확인할 수 있었다.

Fig. 9는 PAA (25 wt%) 하이드로겔의 코팅 횟수에 따른 금속결합망의 유/수 분리 결과를 나타냈다. 그림에서 보는 바와 같이 코팅 횟수가 증가함에 따라서 분리된 물의 색깔이 점차 투명해져 물과 기름을 거의 완벽하게 분리하고 있음을 확인할 수 있었다.

Fig. 10는 PAA 하이드로겔 코팅 횟수에 따른 200 ml 유/수 혼합물의 분리시간을 나타냈다. 코팅횟수가 1회인 경우에는 200 ml의 유/수 혼합물을 분리하는 데 약 20 sec가 소요되었지만, 코팅횟수가 4회인 경우에는 약 80 sec의 시간이

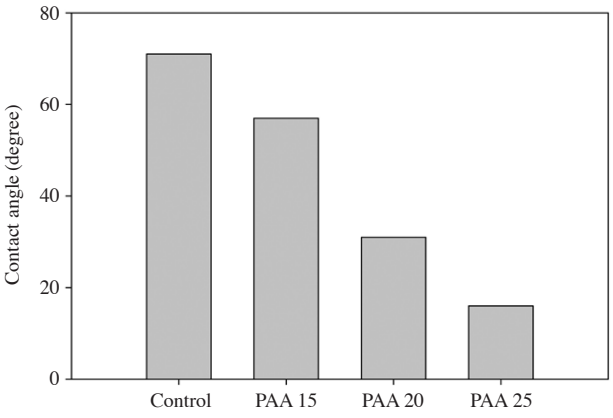


Fig. 6. Water contact angle of hydrogel coated on stainless steel mesh after radiation irradiation.

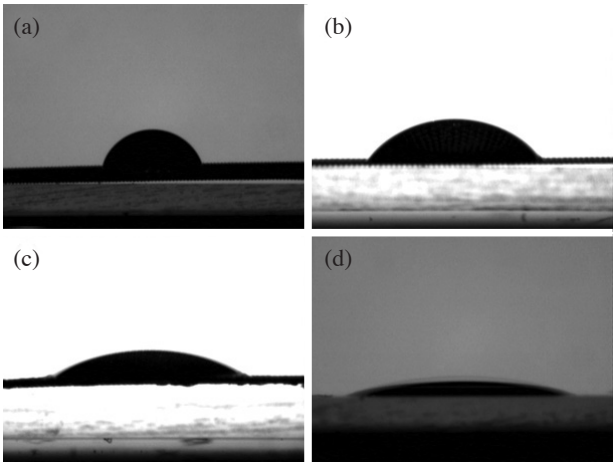


Fig. 7. Water contact angle image of hydrogel coated on stainless steel mesh after radiation irradiation (a: water droplet on non-coated mesh, b: water droplet on mesh coated with 15wt% PAA, c: water droplet on mesh coated with 20 wt% PAA, d: water droplet on mesh coated with 25 wt% PAA.

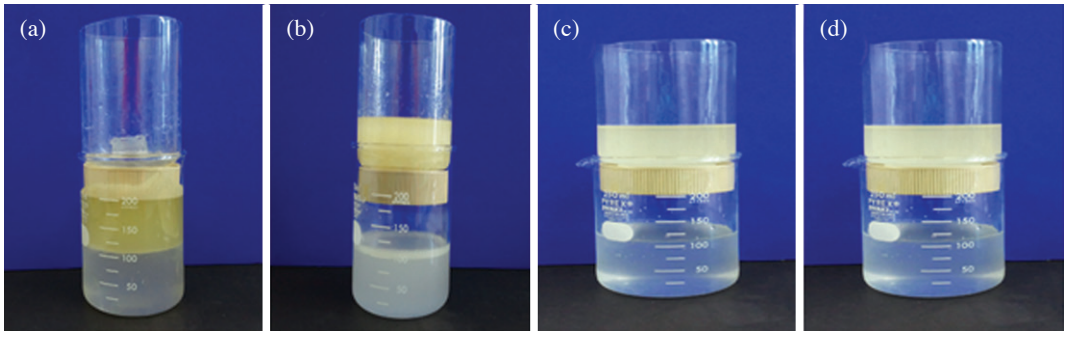


Fig. 8. Separation image of oil and water from oil/water mixture by hydrogel - coated stainless steel mesh: (a) non-coated mesh, (b) mesh coated with 15 wt% PAA, (c) mesh coated with 20 wt% PAA, (d) mesh coated with 25 wt% PAA.

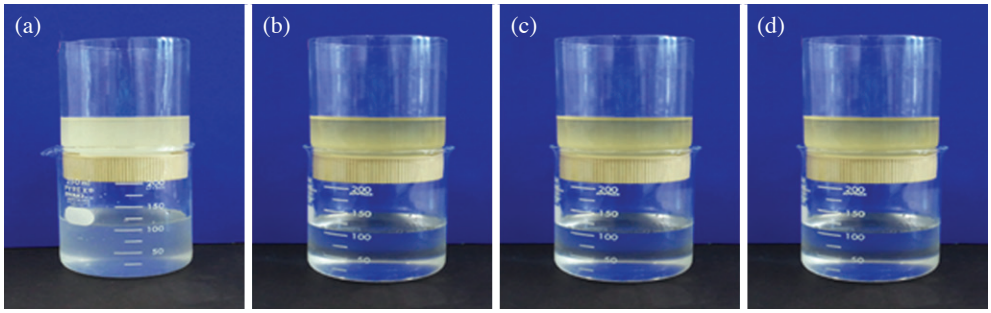


Fig. 9. Separation image of oil and water from oil/water mixture by hydrogel - coated stainless steel mesh: (a) one time dipping of mesh in PAA aqueous solution, (b) two times dipping of mesh in PAA aqueous solution, (c) three times dipping of mesh in PAA aqueous solution (d) four times dipping of mesh in PAA aqueous solution.

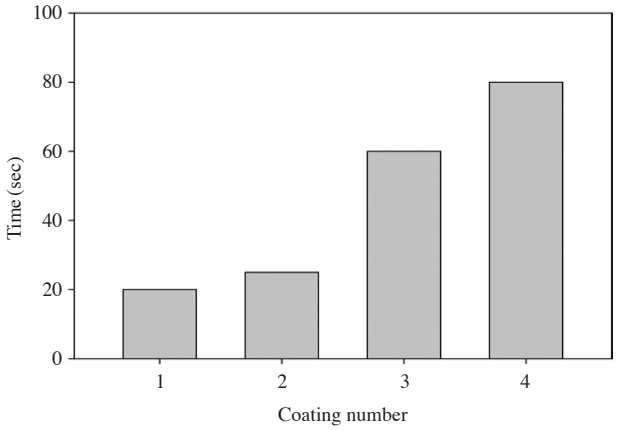


Fig. 10. Time needed to separate water from oil/water mixture by hydrogel - coated stainless steel mesh: (a) one time dipping of mesh in PAA aqueous solution (25 wt%), (b) two times dipping of mesh in PAA aqueous solution, (c) three times dipping of mesh in PAA aqueous solution, (d) four times dipping of mesh in PAA aqueous solution.

Table 2. Time needed to separate water from oil/water mixture as a function of different mesh size (coated with PAA 25 wt%)

	100 mesh	150 mesh	200 mesh	325 mesh	400 mesh
Mesh size (μm)	150	106	75	45	37
Separation time (sec)	×	×	80	240	540

소요되어 4배 이상의 시간이 추가적으로 더 필요했다. 코팅 횟수가 증가하면 유/수를 좀 더 완벽하게 분리할 수 있지만, 그물망 간극을 친수성 고분자가 채우기 때문에 물이 그물망을 통과하는 데 오랜 시간이 걸린다. 하지만, 코팅횟수가 2회인 경우에는 유/수 분리시간이 25초 정도로 1회 코팅횟수와 비교하여 분리시간이 큰 차이를 나타내지 않으면서도 분리성능은 4회에 거의 비슷한 분리성능을 나타냈다.

Table 2는 금속 망 간극에 따른 유/수 혼합액(200 ml)을 분리하는 데 걸리는 시간을 나타냈다. 모든 금속 망은 PAA 25 wt%을 1회 코팅하였다. 100, 150 mesh의 금속 망은 망의 간격이 너무 커서 유/수 분리가 되지 않고 혼합액이 모두 통과하였다. 200 mesh 금속 망의 경우 100 ml의 물을 분리하는 데 평균 80초가 소요되었고, 400 mesh의 경우 간극이 너무 좁아 100 ml의 물을 분리하는 데 평균 540 초의 시간이 소요되었다.

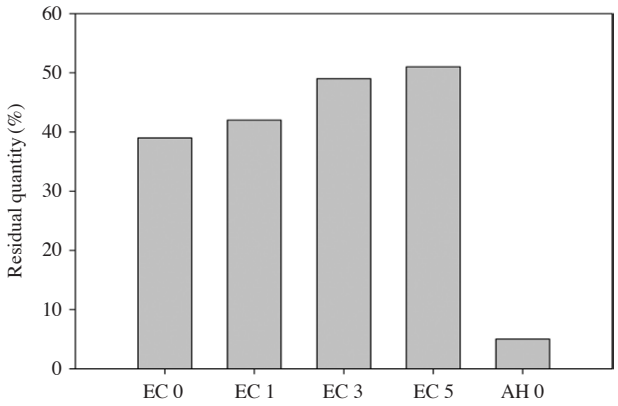


Fig. 11. Residual quantity percent of PAA as a function of additive.

PAA는 친수성 고분자로 해수나 강 등에 사용 시에는 물의 흐름에 의해 녹기 때문에 장기간 사용에 한계가 있다. 이에 방사선 조사를 통하여 가교구조를 형성하고, 내수성을 강화하기 위하여 AH와 EC를 스프레이 방식으로 분무하였다.

하이드로겔이 코팅된 스테인레스 그물망의 반복적인 사용에 따른 내구성 및 내수성을 평가하기 위하여, 하이드로겔이 코팅된 스테인레스 그물망을 DIW가 담긴 수조에 담근 후, 1,000 rpm의 속도로 24시간 동안 세척하였으며, 이를 80 °C의 오븐에서 48시간 동안 건조 후, 세척 전/후의 무게를 측정하여 친수성 고분자의 잔류량을 측정하였다.

Fig. 11은 내수성 첨가제의 함량에 따른 PAA 하이드로겔이 코팅된 스테인레스 금속 망의 고분자 잔량을 나타냈다.

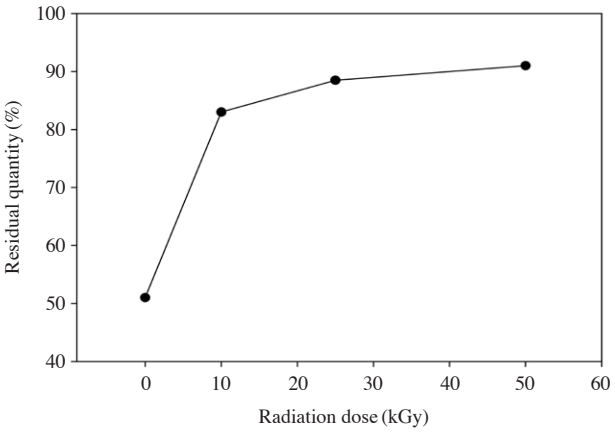


Fig. 12. Residual quantity percent of PAA as a function of radiation dose.

하이드로겔의 내수성 강화를 위하여 AH와 EC 정제수에 녹여 교반하여 제조한 용액을 PAA가 코팅된 스테인레스 철망(200 mesh)에 splay 방식으로 분사 후, 철망을 80°C의 오븐 내에서 약 1시간 동안 건조시켜 내수성 강화층을 형성 후, 방사선 조사전 내수성 강화제 첨가에 따른 영향성을 평가하였다. Fig. 11에서 보는 바와 같이, 내수성 강화제가 전혀 들어가지 않은 시료(AH 0)는 고분자 잔량 5% 수준으로 물에 거의 전량 녹았으나, AH가 5 wt% 첨가된 시료(EC 0, EC 1, EC 3, EC 5)는 약 40% 이상의 고분자 잔량을 나타냈다. 또한, 내수강화제 중 EC의 함량이 증가할수록 고분자 잔량은 증가하였다. EC가 들어가지 않은 시료(EC 0)의 잔량은 약 40%의 수준을 나타냈으나, EC가 5 wt% 첨가된 시료(EC 5)는 약 50% 이상의 고분자 잔량을 나타내 내수성이 증가함을 확인할 수 있었다.

Fig. 12는 방사선 조사량에 따른 내수성 강화제(AH 5 wt%, EC 5 wt%)가 분무되어 PAA (25 wt%) 하이드로겔이 코팅된 스테인레스 금속 망의 고분자 잔량을 나타냈다. 그림에서 보는 바와 같이, 방사선 조사량이 증가할수록 고분자 잔량은 증가하였다. Fig. 1의 겔화율 결과와 같이 감마선 조사가 PAA 고분자의 가교성을 높이는 역할을 한다는 것을 나타낸다. 특히, 감마선 조사량이 50 kGy에서 약 90% 이상의 고분자 잔량을 나타냈다.

Figs. 11, 12의 결과를 통하여, PAA 고분자에 내수성 강화제의 첨가와 방사선 조사를 통한 고분자의 가교로 친수성 고분자가 코팅된 금속 망 구조체의 내구성 및 내수성이 급격히 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

결 론

본 연구에서는 스테인리스 망에 친수성 고분자를 방사선 가교기술로 코팅하여 물과 기름 중, 물만 친수성 망을 통과하게 하여 물과 기름을 효과적으로 분리하는 기술을 개발하였다.

친수성 고분자로 poly(acrylic acid)를 사용하였고, 스테인리스 망에 친수성 고분자를 침지방법으로 코팅하였고, 코팅층이 물에 용해되지 않도록 화학적인 방법과 방사선 처리방법을 동시에 사용하였다. poly(acrylic acid)를 스테인리스 망에 코팅하고 가교처리함으로서 스테인리스 망을 친수성으로 전환시킬 수 있었다. Aluminium sulfate 5 wt%와 ethylene carbonate 1 wt% 수용액을 poly(acrylic acid)로 코팅한 금속 망에 스프레이한 다음, 방사선 조사함으로써 물에 대한 내구성이 우수한 유수 분리 망을 제조할 수 있었다.

제조한 유수 분리 망의 친수성은 접촉각을 측정하여 확인할 수 있었다. 본 실험에서 제작한 친수성 코팅 금속 망의 유수 분리 특성을 확인하기 위해 대두유와 물을 1 : 1로 혼합한 것을 코팅 금속 망에 통과시켰다.

순수 금속 스테인리스망은 유/수 분리가 되지 않고 유/수 모두 통과되어 층으로 분리되어 있었지만, PAA 하이드로겔이 코팅된 금속 망의 경우 유/수 분리가 되는 것을 확인할 수 있었다.

사 사

이 연구는 한국원자력연구원 자체연구사업으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

Broje V and Keller AA. 2007. Effect of operational parameters on the recovery rate of an oleophilic drum skimmer. *J. Hazard. Mat.* **148**:136-143.

Durkee J. 2008. The second cleaning process: The oil skimmer-Part 1. *Met. finish* **106**:86-88.

Elliot JE. Macdonald M, Nie J and Bowman CN. 2004. Structure and swelling of poly(acrylic acid) hydrogels: effect of pH, ionic strength, and dilution on the crosslinked polymer structure. *Polymer* **45**:1503-1510.

Gaaseidnes K and Turbeville J. 1999. Separation of oil and water in oil spill recovery operations. *Pure Appl. Chem.* **71**:95-101.

Lee CH, Johnson N, Drelich J and Yoke KY. 2010. The performance of superhydrophobic and superoleophilic carbon nanotube meshes in water-oil filtration. *Carbon* **49**:669-676.

Lee JH, Park KR, Nho YC and Son TI. 2003. Preparation and

characterization of hydrogels by radiation. *J. Chitin Chitosan* **8**:10-17.

Lee SB, Park EK, Lim YM, Cho SK, Kim SY, Lee YM and Nho YC. 2006. Preparation of alginate/poly (N-isopropylacrylamide) semi-interpenetrating and fully interpenetrating polymer network hydrogels with γ-ray irradiation and their swelling behaviors. *J. Appl. Polym. Sci.* **100**:4439-4446.

Nakano F. 2003. Oil-water separation/recovery apparatus. Jpn. Kokai Tokkyo Koho JP. 251,102.

Nizam ED, Hegazy HM and Ibraheim DM. 2009. Synthesis and characterization of hdrogels based on gamma irradiation of acrylic acid and methacrylic acid. *Polym. Compsos.* **30**:569-575.

Park KR and Nho YC. 2003. Synthesis of PVA/PVP hydrogels having two-layer by radiation and their physical properties. *Rad. Phys. Chem.* **67**:361-365.

Patel US and Chase GG. 2014. Separation of water droplets from water-in-disel dispersion using superhydrophobic polypropylene fibrous membranes. *Separ. Purif. Technol.* **126**:62-68.

Topham DR. 2002. An analysis of the performance of weir type oil skimmers. *Spill Sci. Technol. Bull.* **7**:289-297.

Zhang JL, Huang WH and Han YC. 2006. A composite polymer film with both superhydrophobicity and superolephilicity. *Macromol. Rapid Comm.* **27**:804.

Zhao L, Mitomo H. Zhai M, Yoshii F, Nagasawa N and Kume T. 2003. Synthesis of antibacterial PVA/CM-chitosan blend hydrogels with electron beam irradiation. *Carbohyd. Polym.* **53**:439-446.

Zu J, He S, Nho YC, Jeun JP and Yan F. 2010. Preparation of adsorbent for palladium ions by amination of acrylonitile grafted polypropylene nonwoven fabrics. *J. Appl. Polym. Sci.* **116**:1414-1421.

Received: 2 April 2015
Revised: 13 April 2015
Revision accepted: 14 April 2015