

# PVA 하이드로겔의 내열특성에 방사선 가교와 열처리가 미치는 효과

박경란 · 노영창<sup>†</sup>

한국원자력연구소 방사선이용연구부  
(2004년 11월 15일 접수, 2005년 3월 8일 채택)

## Effect of the Radiation Crosslinking and Heating on the Heat Resistance of Polyvinyl Alcohol Hydrogels

Kyoung Ran Park and Young Chang Nho<sup>†</sup>

Radiation Application Division, Korea Atomic Energy Research Institute, Daejeon 305-353, Korea  
(Received November 15, 2004; accepted March 8, 2005)

본 연구에서는, 방사선 가교와 열처리에 의해 내열특성을 가진 polyvinyl alcohol (PVA) 수화겔을 제조하였다. 제조된 수화겔의 겔화율, 팽윤도와 겔강도 같은 기계적 특성을 측정하였다. DSC와 XRD를 이용하여 구조적 변화를 알아보았다. 수화겔의 겔화율과 겔강도는 방사선 조사 후에 열처리 과정을 했을 경우에 방사선 조사만 했을 때보다 높은 값을 보였다. 또한, 방사선 조사한 수화겔과 방사선 조사 후에 열처리 과정을 한 수화겔이 고온에서의 내열특성이 우수하였다.

Polyvinyl alcohol (PVA) hydrogels were prepared by the irradiation and heating. Irradiation and heating processes were carried out to improve the heat resistance of PVA hydrogels at high temperature. The physical properties such as gel content, degree of swelling and gel strength for the synthesized hydrogels were examined. The structure variations were investigated using the following techniques: differential scanning calorimetry (DSC) and X-ray diffraction (XRD). Gel content and gel strength of the hydrogels were higher when the two steps of irradiation followed by heat treatment were used rather than only with the irradiation. The hydrogels prepared by the irradiation and the two steps had good heat resistance at high temperature.

**Keywords:** polyvinyl alcohol, radiation, heating, heat resistance

### 1. 서 론

생체의학 분야에서 천연 물질과 인공 물질로 생체 조직을 대신하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 생체 의학적 응용 면에서 이러한 목적에 가장 적합한 물질 중 하나가 수화겔(hydrogel)이다. 수화겔은 혈액, 체액 및 생체조직과 접촉했을 때 우수한 생체 적합성을 갖는다. 그래서 수화겔은 약물 전달 시스템, 상처 치료용 드레싱, 콘택트 렌즈, 인공 연골, 막 등의 응용 분야에서 많은 연구가 수행되고 있다[1-4].

수화겔은 대개 두 개 이상의 조성으로 이루어지는데, 그 중 하나는 친수성 고분자이다. 친수성 고분자의 고분자 사슬들이 서로 결합하여 3차원 망상구조를 만들어 물에 녹지 않게 된다. 이러한 수화겔은 원래의 형태를 유지하면서 평형상태에 이를 때까지 물에서 팽윤하게 된다. 수화겔이 팽윤하는 이유는 고분자 사슬의 -OH, -COOH, -CONH<sub>2</sub>, -CONH-, -SO<sub>3</sub>H 기능기들과 물 사이의 수화화 삼투압 현상, 모세관 현상의 작용 때문이다. 또한, 친수성 고분자로 제조된 수화겔이 물에 용해하지 않는 이유는 정전기적 작용과 친유성 작용 때문이기도 하다.

하지만 대부분은 고분자 사슬 사이에 공유결합을 하기 때문이다[5].

Polyvinyl alcohol (PVA)는 다양한 수화겔[6-10]과 막(membrane)의 제조에 자주 사용되어왔다[11]. PVA 수화겔은 우수한 생체적합성을 갖고 있어 생체의학 분야에서의 응용이 증가하고 있다. PVA 수화겔은 PVA 수용액의 동결융해(freezing and thawing)의 반복으로 얻을 수 있는데[12,13], 이렇게 제조된 수화겔은 비교적 약한 물리적 가교로 이루어져 55 °C의 온도에서 용해된다. 또한 글루타알데히드(glutaraldehyde)에 의한 화학적 가교에 의해 PVA 수화겔을 얻을 수 있는데[14], 이렇게 제조된 수화겔은 끓는 물에서 용해된다. 제조된 수화겔이 생체의학 분야에서 이용되려면 고압증기반응기(autoclave)에서나 끓는 물에서의 증기멸균과정(steam sterilization)을 견뎌야 한다. 따라서 PVA 수화겔의 고온에서의 내열성은 매우 중요하다.

본 연구에서는, 방사선 가교와 열처리 방법을 이용하여 고온의 물에서도 내열성을 갖는 PVA 수화겔을 제조하고자 하였다. 즉 방사선 가교와 열처리에 의해 제조된 수화겔의 가교 정도에 따라 고온 내수성이 어떠한 영향을 받는지 알기 위하여 수화겔의 겔화율을 측정하고, 수화겔이 상처 치료용 드레싱으로 이용되기 위해서 중요한 물성인 상처에서 분비되는 혈액과 삼출물의 흡수 정도를 파악하기 위하여 수화

<sup>†</sup> 주 저자(e-mail: ychno@kaeri.re.kr)

겔의 팽윤도를 측정하였으며, 그리고 수화겔이 고온의 증기멸균과정을 거친 후에도 상처 치료용 드레싱으로 이용되기에 적합한 강도를 갖는지 판단하기 위하여 수화겔의 겔강도를 측정하였다. 제조된 수화겔의 고온 내수성은 70, 80, 90, 100, 120 °C의 물에 20 min간 침지시킨 후에 겔화율과 팽윤도, 겔강도를 측정하여 알아보았다.

## 2. 실험

### 2.1. 시료 및 시약

PVA는 분자량(MW)  $8.5 \times 10^4 \sim 1.46 \times 10^5$ 인 것을 Aldrich사(WI, USA)에서 구입하여 사용하였다. 사용된 고분자는 정제과정 없이 사용되었고, 사용된 물은 3차 증류수이었다.

### 2.2. 하이드로겔의 제조 방법

PVA를 증류수에 녹여 20 wt% PVA 수용액을 제조하였다. 이 때 PVA는 121 °C의 고압증기반응기에서 50 min 동안 용해시켰다. 제조된 PVA 수용액 12 g을 용기(petri dish, 87×15 mm)에 붓고, 상온(25 °C)에서 24 h 동안 건조시켜 PVA 필름을 제조하였다.

#### 2.2.1. PVA의 열처리 후 방사선 가교

제조된 PVA 필름을 100, 125, 150, 175 °C의 오븐(oven)에서 5 min 동안 열처리하였다. 열처리한 PVA 필름을 증류수에 10 min 동안 침지하여 팽윤시켰다. 팽윤시킨 후에 50, 100, 150, 200 kGy의 조사선량으로 전자선을 조사하였다. Figure 1의 A 방법과 같다.

#### 2.2.2. PVA의 방사선 가교 후 열처리

제조된 PVA 필름을 증류수에 10 min 동안 침지하여 팽윤시켰다. 팽윤시킨 후에 50, 100, 150, 200 kGy의 조사선량으로 전자선을 조사하였다. 조사한 PVA 수화겔을 상온(25 °C)에서 24 h 동안 건조시킨 후, 100, 125, 150, 175 °C의 오븐(oven)에서 5 min 동안 열처리하였다. Figure 1의 B 방법과 같다.

## 2.3. 특성 평가

### 2.3.1. 겔화율

가교 반응에 참여하지 않은 고분자를 제거하기 위해 제조된 수화겔을 70, 80, 90, 100, 120 °C의 물에 침지시킨다. 침지된 수화겔을 꺼내어 표면의 물을 닦아낸다. 그리고 진공 오븐에 넣어 70 °C에서 48 h 건조하여 무게를 잰다. 이 때의 무게가 가교된 겔의 무게이다. 건조된 겔의 무게를  $W_d$ 로, 처음 사용한 고분자 무게를  $W_i$ 로 나타낸다.

$$\text{겔화율(\%)} = \frac{W_d}{W_i} \times 100 \quad (1)$$

식 (1)을 이용하여 건조된 겔의 무게( $W_d$ )와 처음 사용한 고분자 무게( $W_i$ )로부터 겔화율을 계산하였다.

### 2.3.2. 팽윤도

팽윤도는 함수율로 나타낼 수 있다. 제조된 수화겔을 70, 80, 90, 100, 120 °C의 물에 침지시킨다. 침지된 수화겔을 꺼내어 표면의 물을 닦아낸 후, 무게를 잰다. 이 때의 무게가 팽윤된 겔의 무게( $W_s$ )이다. 무게를 잰 후, 팽윤된 겔을 진공 오븐에 넣어 70 °C에서 48 h 건조하여 무게를 잰다. 건조된 겔의 무게를  $W_d$ 로 나타낸다.

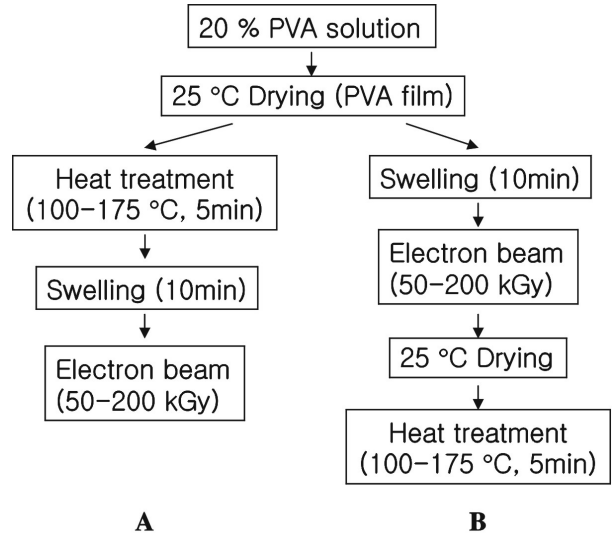


Figure 1. Flow chart for the preparation of PVA hydrogels by irradiation after heat treatment (A method) and heat treatment after irradiation (B method).

$$\text{팽윤도(\%)} = \frac{W_s - W_d}{W_d} \times 100 \quad (2)$$

식 (2)를 이용하여 팽윤된 겔의 무게( $W_s$ )와 건조된 겔의 무게( $W_d$ )로부터 팽윤도를 계산하였다.

### 2.3.3. 겔강도

INSTRON series IX (Instron Co., Universal Testing System Model 4400)를 이용하여 겔의 인장강도를 측정하였다. 인장강도를 측정하기 위한 수화겔 시편의 폭은 10 mm, 길이는 60 mm이었다. 인장강도 측정 시 cross head speed는 15 mm/min, span의 길이는 30 mm로 하였다.

### 2.3.4. 분석

용융온도는 differential scanning calorimetry (1020 Series DSC 7, Perkin-Elmer사, USA)로 질소분위기에서 10 °C/min의 승온속도로 250 °C까지 측정하였다.

방사선 가교에 따른 결정화도의 변화를 알아보기 위해서 X-선 회절(X-ray diffraction) 분석을 하였다. Siemens D500 X-선 회절기를 이용하여 결정화도를 측정하였다. 선원은 Cu·K 음극선이고, Ni 필터, 흑연 2차 단색기를 사용하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. PVA의 열처리 후 방사선 가교

Figure 2는 Figure 1의 A 방법으로 제조된 PVA 수화겔의 겔화율을 보여준다. 겔화율 측정 시 물의 온도는 70 °C였다. PVA의 내수성을 증가시키는 방법으로는 결정화(crystallization) 방법과 가교(cross-linking) 방법이 있다[15]. PVA를 결정화하기 위해 열처리 방법을 이용하는데, 열처리에 의해 결정화된 PVA는 비교적 낮은 온도의 물에서 내수성을 갖는다. 열처리만 한 필름 중에 175 °C의 높은 온도에서 열처리한 PVA 필름은 결정화가 많이 진행되어, 방사선 조사를 하지 않아도 70 °C 물에서 높은 겔화율을 보였다. 제조된 수화겔의 겔화율

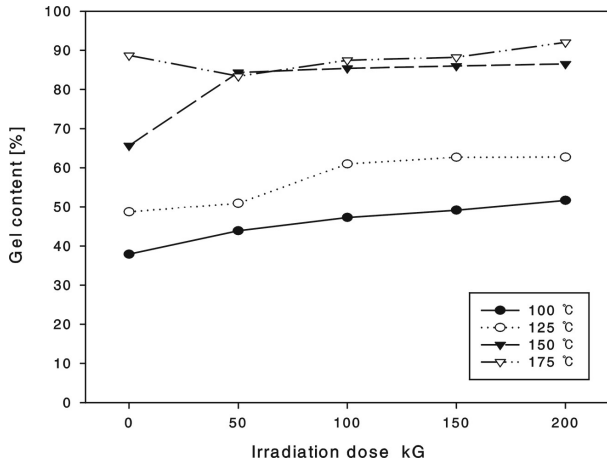


Figure 2. Gel content of PVA hydrogels by irradiation after heat treatment for 5 min.

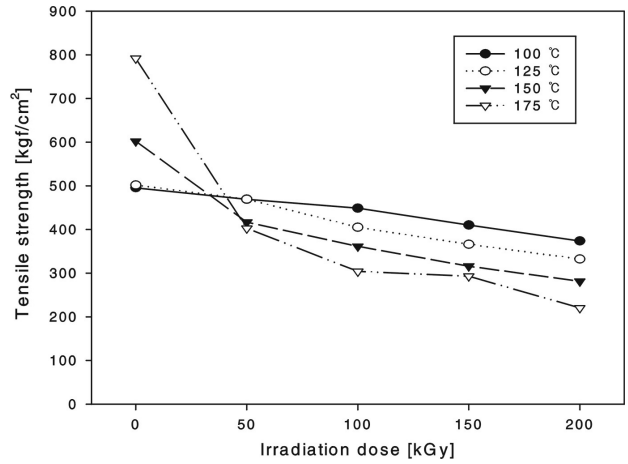


Figure 4. Tensile strength of PVA hydrogels by irradiation after heat treatment for 5 min.

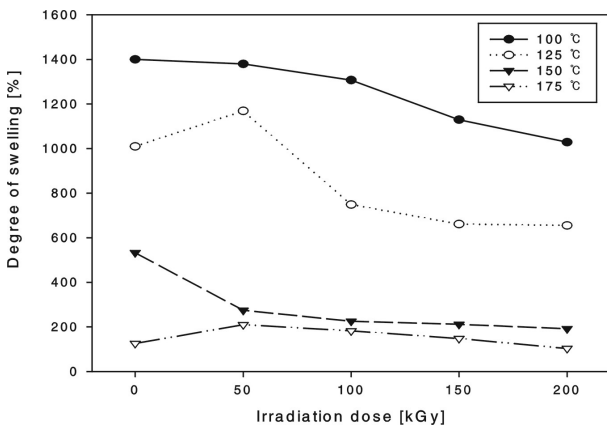


Figure 3. Degree of swelling of PVA hydrogels by irradiation after heat treatment for 5 min.

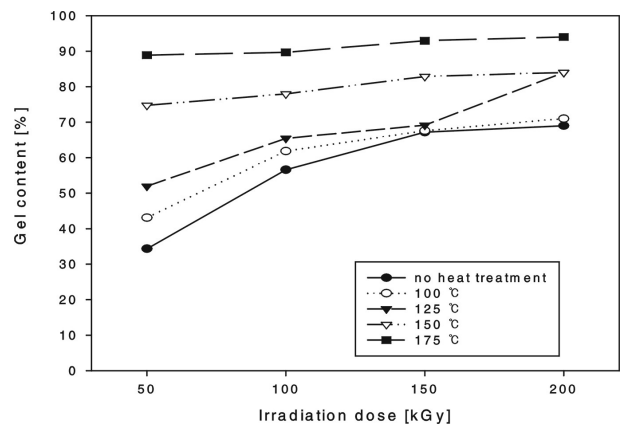


Figure 5. Gel content of PVA hydrogels by heat treatment for 5 min after irradiation.

은 열처리 온도가 높아질수록, 방사선 조사선량이 증가할수록 큰 값을 가졌다. 또한 PVA 필름을 열처리만 한 경우보다, 열처리 후 방사선을 조사한 경우에 겔화율의 향상을 가져왔다.

Figure 3은 Figure 1의 A 방법으로 제조된 PVA 수화겔의 팽윤도를 보여준다. 팽윤도 측정 시 물의 온도는 70 °C였다. 제조된 수화겔의 팽윤도는 열처리 온도가 높아질수록, 방사선 조사선량이 증가할수록 작은 값을 가졌다. Figure 1에서 높은 겔화율을 보였던 수화겔이 Figure 2에서는 작은 팽윤도 값을 갖는 것을 알 수 있는데, 이와 같은 현상은 가교가 진행될수록 가교된 3차원 망상구조가 증가하여 겔 내부에 물을 함유할 수 있는 체적이 감소하기 때문이다. 따라서 가교가 많이 진행되어 겔화율이 높은 경우에 팽윤도는 겔화율과 반비례적으로 감소하였다[16,17].

Figure 4는 Figure 1의 A 방법으로 제조된 PVA 수화겔의 겔강도를 보여준다. 열처리만 한 필름은 열처리 온도가 증가할수록 높은 겔강도 값을 갖고, 열처리 후 방사선을 조사한 수화겔은 열처리 온도가 높을수록, 방사선 조사선량이 증가할수록 작은 겔강도 값을 보였다. 높은 온도에서 열처리할수록 PVA 필름은 결정화가 많이 진행되어 높은 겔강도를 갖는다. 그러나 열처리한 PVA 필름에 방사선을 조사하여 가교가 더 진행되면 결정화도가 감소하고 완벽한 결정 구조들이 깨지게 된다[18]. 따라서 방사선 조사선량이 증가할수록 겔강도는 감소하

고, 열처리 온도가 높을수록 방사선 조사에 의한 겔강도 감소가 뚜렷이 나타난다.

### 3.2. PVA의 방사선 가교 후 열처리

Figure 5는 Figure 1의 B 방법으로 제조된 PVA 수화겔의 겔화율을 보여준다. 겔화율 측정 시 물의 온도는 70 °C였다. 제조된 수화겔의 겔화율은 방사선 조사선량이 증가할수록, 열처리 온도가 높아질수록 큰 값을 가졌다. 또한 PVA 필름을 방사선 조사만 한 경우보다, 방사선 조사 후 열처리를 한 경우에 겔화율의 향상을 가져왔다. 가교 반응은 라디칼(radical)반응[19]으로 고분자 사슬에 가교 반응을 할 수 있는 라디칼이 형성되어야 하는데, 방사선 조사에 의한 고에너지가 반응을 일으키는 구동력이 된다. 큰 에너지를 받을수록 라디칼 반응이 더 활성화되어 가교가 더 많이 일어나게 된다. 따라서 조사선량이 큰 경우가 더 큰 겔화율을 나타낸다.

Figure 6은 Figure 1의 B 방법으로 제조된 PVA 수화겔의 팽윤도를 보여준다. 팽윤도 측정 시 물의 온도는 70 °C였다. 제조된 수화겔의 팽윤도는 방사선 조사선량이 증가할수록, 열처리 온도가 높아질수록 작은 값을 가졌다.

Figure 7은 Figure 1의 B 방법으로 제조된 PVA 수화겔의 겔강도를 보여준다. 방사선만 조사한 수화겔은 조사선량이 증가할수록 겔강도

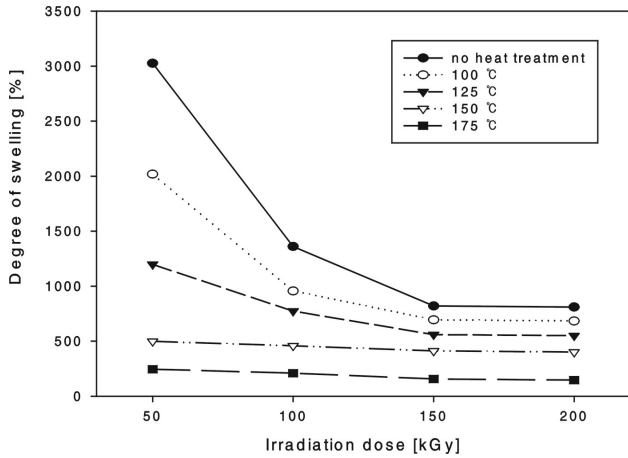


Figure 6. Degree of swelling of PVA hydrogels by heat treatment for 5 min after irradiation.

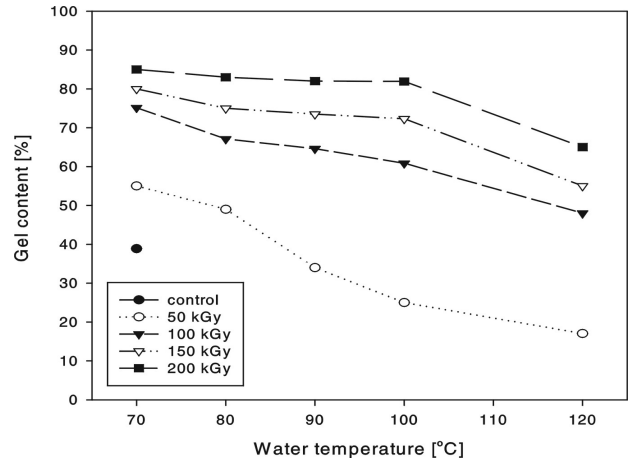


Figure 8. Gel content of PVA hydrogels by irradiation vs. water temperature.

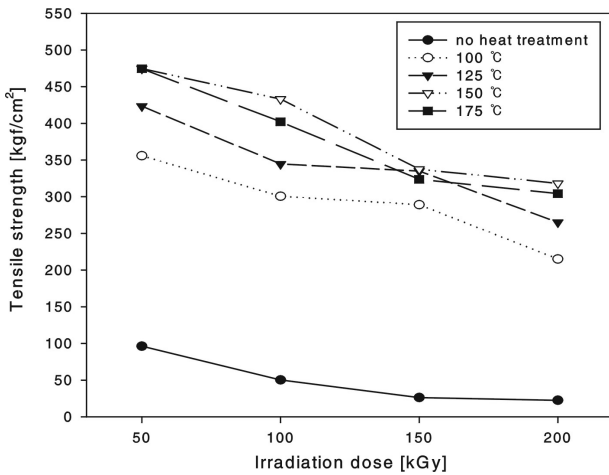


Figure 7. Tensile strength of PVA hydrogels by heat treatment for 5 min after irradiation.

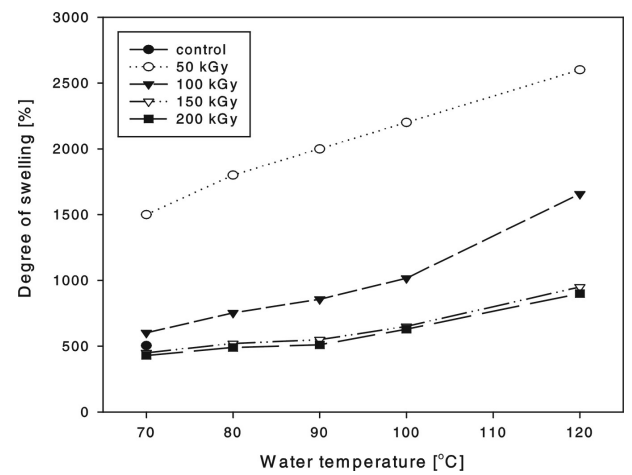


Figure 9. Degree of swelling of PVA hydrogels by irradiation vs. water temperature.

가 감소하였다. 그리고 방사선 조사 후 열처리한 수화겔은 방사선 조사선량이 증가할수록 겔강도가 감소하였고, 열처리 온도가 높을수록 겔강도가 증가하였다. 이는 방사선 조사선량이 증가할수록 가교 밀도가 높아지면서 PVA 수화겔은 부서지기 쉽고(brittle), 딱딱한(stiff) 상태가 되어 겔강도가 감소하게 된다[20].

### 3.3. 고온 내수성 평가

제조된 수화겔의 고온 내수성은 70~120 °C의 물에 20 min 동안 침지시킨 후에 꺼내어 겔화율과 팽윤도, 겔강도를 측정함으로써 알아 보았다.

Figure 8은 PVA 수용액을 건조하여 제조한 PVA 필름(control)과 Figure 1의 A 방법에 따라 제조된 방사선을 조사한 한 수화겔의 물 온도에 따른 겔화율 변화를 보여준다. 단순히 PVA 필름을 건조하여 만든 것은 70 °C의 물에서는 내수성을 가졌지만, 그 이상의 온도에서는 내수성을 갖지 못하고 녹아버렸다. 방사선 조사하여 제조된 PVA 수화겔은 120 °C의 고온의 물에서도 내수성을 갖게 되는 것을 확인할 수 있었으며, 방사선 조사선량이 증가할수록 더 강한 고온 내수성을 갖게 되었다.

Figure 9는 Figure 8의 PVA 수화겔의 물 온도에 따른 팽윤도 변화

를 보여준다. 방사선 조사선량이 증가할수록 작은 팽윤도 값을 보였고, 물의 온도가 높아질수록 높은 팽윤도를 보였다.

Figure 10은 Figure 8의 PVA 수화겔의 물 온도에 따른 겔강도 변화를 보여준다. 방사선 조사선량이 증가할수록 높은 겔강도를 보였고, 물의 온도가 높아질수록 낮은 겔강도를 보였다.

Figure 11은 PVA 수용액을 건조하여 제조한 PVA 필름(control)과 제조된 PVA 필름을 175 °C에서 5 min 동안 열처리 한 PVA 필름, 제조된 PVA 필름을 175 °C에서 5 min 동안 열처리하고 10 min 동안 팽윤시킨 후 100 kGy를 조사한 PVA 수화겔, 제조된 PVA 필름을 10 min 동안 팽윤시킨 후 100 kGy를 조사한 PVA 수화겔, 제조된 PVA 필름을 10 min 동안 팽윤시킨 후 100 kGy 조사하고 건조한 후 175 °C에서 5 min 동안 열처리한 PVA 수화겔의 물 온도에 따른 겔화율 변화를 보여준다. PVA 필름은 70 °C의 물에서는 내수성을 가졌지만, 그 이상의 온도에서는 내수성을 갖지 못하고 녹아버렸다. 175 °C에서 열처리 한 필름과 175 °C 열처리 후 100 kGy 조사한 수화겔은 80 °C의 물에서는 내수성을 가졌지만, 그 이상의 온도의 물에서는 내수성을 갖지 못하고 녹아버렸다. 100 kGy 조사한 수화겔과 100 kGy 조사 후 175 °C에서 열처리한 수화겔은 120 °C의 고온에서도 내수성을 갖고 있음을 확인할 수 있었다. 열처리 한 PVA 필름과 열처리 후 방사선

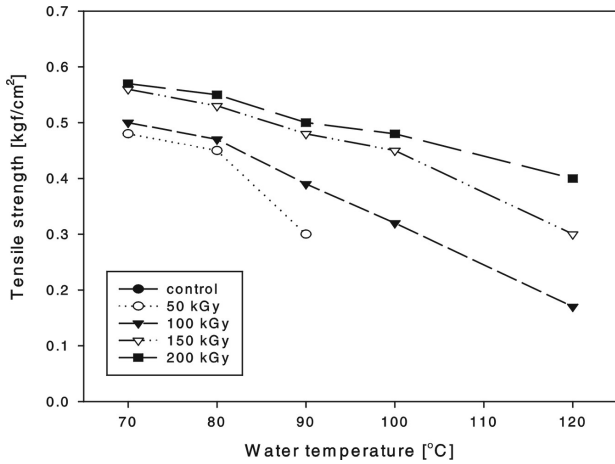


Figure 10. Tensile strength of PVA hydrogels by irradiation vs. water temperature.

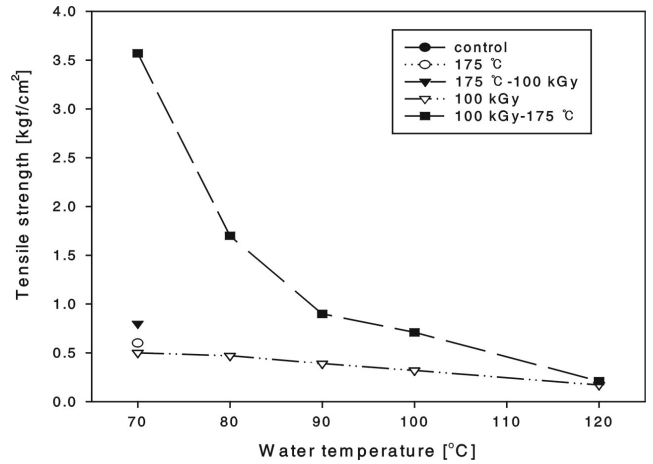


Figure 13. Tensile strength of PVA hydrogels immersed in water for 20 min vs. water temperature.

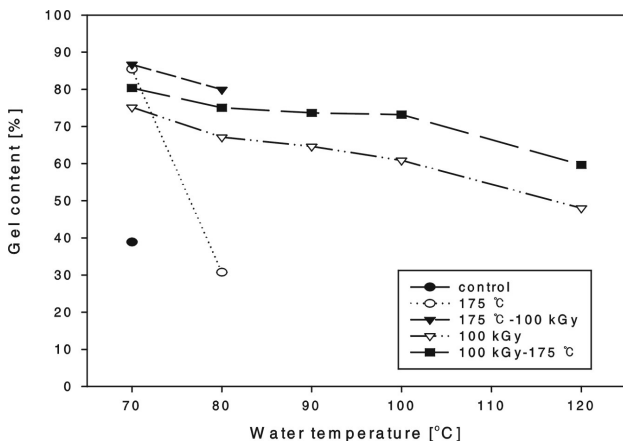


Figure 11. Gel content of PVA hydrogels immersed in water for 20 min vs. water temperature.

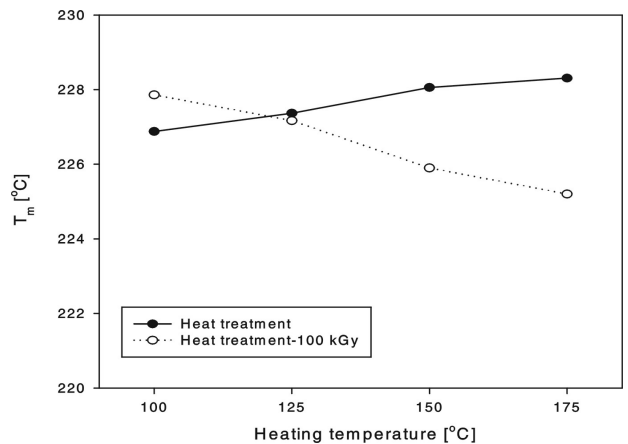


Figure 14. The melting temperature  $T_m$  of PVA hydrogels vs. heating temperature.

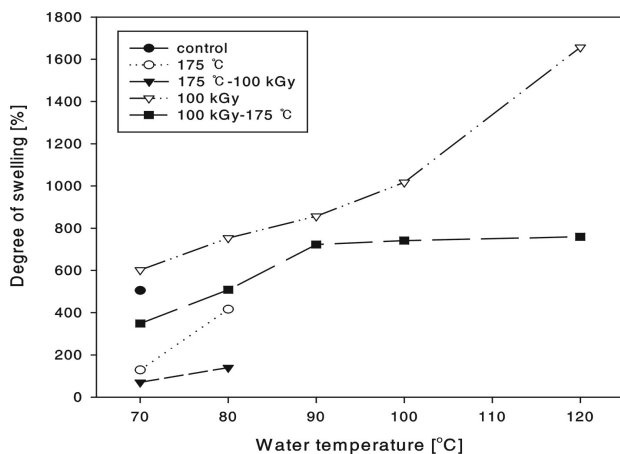


Figure 12. Degree of swelling of PVA hydrogels immersed in water for 20 min vs. water temperature.

조사한 수화겔은 고온 내수성을 갖지 못한 반면, 방사선 조사에 의해 제조된 수화겔과 방사선 조사 후 열처리 한 수화겔은 고온 내수성을 가졌다. 또한, 방사선 조사만 한 수화겔보다 방사선 조사 후 열처리

한 수화겔이 더 강한 고온 내수성을 갖게 되는 것도 확인하였다.

Figure 12는 Figure 11의 PVA 수화겔의 물 온도에 따른 팽윤도를 보여준다. 물의 온도가 높아질수록 높은 팽윤도 값을 보이고, 겔화율이 높은 수화겔이 작은 팽윤도 값을 보였다.

Figure 13은 Figure 11의 PVA 수화겔의 물 온도에 따른 겔강도를 보여준다. 70~120 °C의 물에 20 min 동안 침지시킨 후에 꺼내어 겔강도를 측정하였다. 물의 온도가 높아질수록 낮은 겔강도 값을 가졌다. 고온의 물에서 겔화율이 높았던 방사선 조사 후 열처리한 PVA 수화겔이 방사선 조사만 한 PVA 수화겔보다 큰 겔강도를 가졌다.

### 3.4. 분석

Figure 14, 15는 Figure 1의 A 방법에 따라 제조된 열처리한 PVA 필름과 열처리 후, 팽윤시키고 100 kGy로 방사선을 조사하여 제조된 PVA 수화겔의 용융온도( $T_m$ )와 용융열( $\Delta H_m$ )을 DSC로 알아본 결과이다. 열처리한 한 필름은 열처리 온도가 증가할수록 결정화가 진행되어 용융온도와 용융열이 증가하였고, 열처리 후 방사선을 조사한 수화겔은 열처리 온도가 증가할수록 용융온도와 용융열이 감소하였다. 이는 열처리한 한 PVA 필름은 높은 온도에서 열처리할수록 PVA의 결정화가 많이 진행되어 결정화도가 커지기 때문이고, 열처리 후 방

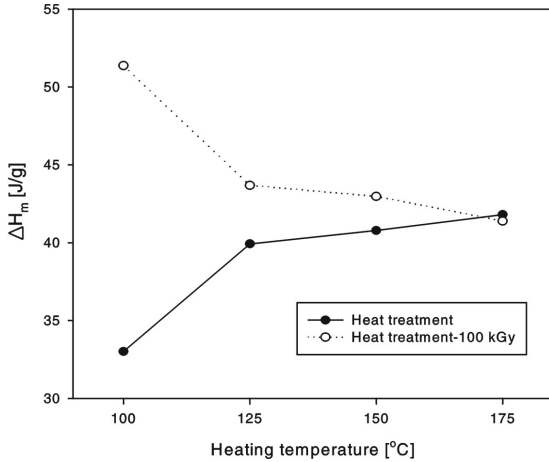


Figure 15. The enthalpy of fusion  $\Delta H_m$  of PVA hydrogels vs. heating temperature.

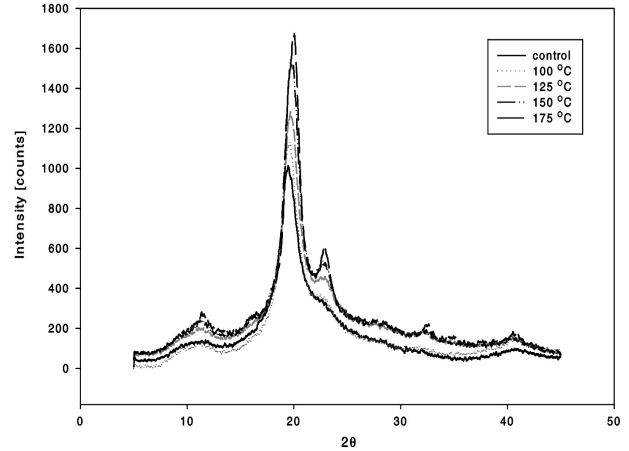


Figure 17. XRD patterns of PVA hydrogels by heat treatment vs. heating temperature.

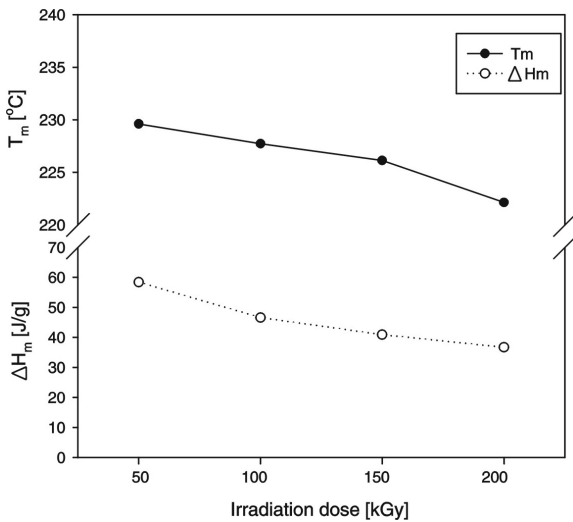


Figure 16. The enthalpy of fusion  $\Delta H_m$  and the melting temperature  $T_m$  of PVA hydrogels vs. irradiation dose.

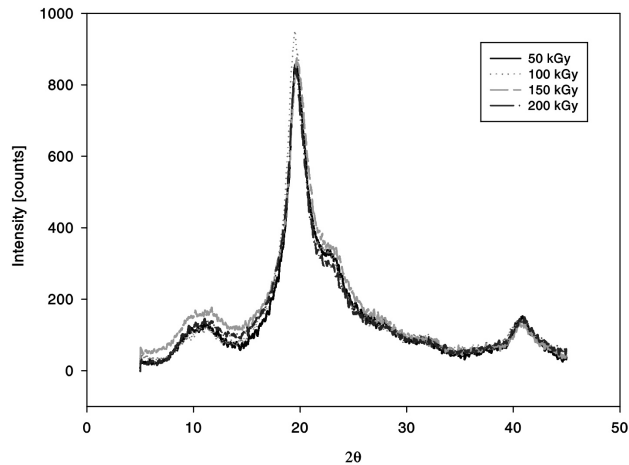


Figure 18. XRD patterns of PVA hydrogels by irradiation vs. irradiation dose.

사선 조사한 PVA 수화겔은 열처리하여 결정화가 많이 진행되어있는 상태에서 방사선을 조사하면 가교가 더 진행되고, 완벽한 구조를 이루었던 결정들이 깨져 결정화도가 감소하기 때문이다[18].

Figure 16은 Figure 1의 B 방법에 따라 제조된 방사선 조사만 한 PVA 수화겔의 용융온도( $T_m$ )와 용융열( $\Delta H_m$ )을 DSC로 알아본 결과이다. 방사선 조사선량이 증가하여 가교가 진행될수록 결정화도는 감소하여 용융온도와 용융열이 감소하였다.

Figure 17은 Figure 1의 A 방법에 따라 제조된 열처리만 한 PVA 필름의 결정화도를 XRD로 알아본 결과이다.  $2\theta$ 가 19일 때에 PVA의 특성 피크가 나타나고, 열처리 온도가 증가할수록 이 피크의 크기가 증가하였다. 이는 열처리 온도가 증가할수록 결정화도가 증가함을 보여주며, Figure 13, 14의 DSC의 결과와도 일치한다.

Figure 18은 Figure 1의 B 방법에 따라 제조된 방사선 조사만 한 PVA 수화겔의 결정화도를 XRD로 알아본 결과이다.  $2\theta$ 가 19일 때에 PVA의 특성 피크가 나타나고, 방사선 조사선량이 증가할수록 이 피크의 크기가 감소하였다. 이는 방사선 조사선량이 증가할수록 결정화도가 감소함을 보여주며, Figure 15의 DSC의 결과와도 일치한다.

#### 4. 결 론

본 연구는 PVA의 고온 내수성을 향상시키는데 열처리 방법과 방사선 가교 방법을 이용하였다. 제조된 수화겔의 열처리 온도와 방사선 조사선량에 따른 물성과 고온의 물에서 PVA 수화겔이 내수성을 갖는지 겔화율, 팽윤도, 겔강도로 알아보았다. 제조된 PVA 수화겔은 34~94%의 겔화율을 보였는데, 열처리 온도와 방사선 조사선량이 증가할수록 겔화율이 증가하여 94%까지의 높은 겔화율을 보였다. 열처리만 한 PVA 필름은 열처리 온도가 증가할수록 500~790 kgf/cm<sup>2</sup>의 높은 겔강도를 갖고, 열처리 후 방사선 조사한 PVA 수화겔은 열처리 온도와 방사선 조사선량이 증가할수록 겔강도가 감소하여 220 kgf/cm<sup>2</sup>까지의 겔강도 값을 가졌다. 방사선만 조사한 수화겔은 22~96 kgf/cm<sup>2</sup>의 겔강도 값을 가지며 방사선 조사선량이 증가할수록 겔강도가 감소하여 22 kgf/cm<sup>2</sup>까지 작아졌고, 방사선 조사 후 열처리한 수화겔은 방사선 조사선량이 감소할수록 열처리 온도가 증가할수록 겔강도가 증가하여 475 kgf/cm<sup>2</sup>까지의 높은 겔강도를 보였다. 이 중에 고온 내수성을 갖는 수화겔은 방사선만 조사한 수화겔과 방사선 조사 후 열처리한 수화겔이었다. 방사선만 조사한 수화겔은 120 °C의 물에서 65%

까지의 겔화율을 보였고, 방사선 조사 후 열처리한 수화겔은 120 °C의 물에서 60%까지의 겔화율을 보였다. 80 °C의 물에서 녹는 PVA에 방사선을 조사하거나 방사선 조사 후 열처리하면 120 °C의 물에서도 녹지 않는 고온 내수성을 갖고 있음을 확인하였다. 따라서, 방사선 가교 방법과 열처리 방법을 이용하여 PVA 수화겔의 고온 내수성을 향상시키려면, 방사선 조사 후에 열처리를 하는 것이 효과적이었다.

## 감 사

본 연구는 과학기술부 원자력연구개발사업에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

1. F. H. Silver and C. Doillon, *Biocompatibility. Interactions of Biological and Implantable Materials*, VCH Publ. Inc., New York (1989).
2. N. A. Peppas, *Hydrogels in Medicine and Pharmacy*, ed. Boca Raton, **1**, CRC Press. Inc., Florida (1986, 1987).
3. B. D. Ralner, *Biomedical Applications of Hydrogels: Review and Critical Appraisal*, ed. D. F. Williams, 145, CRC Press, Boca Raton (1981).
4. V. Kudela, *Polymers: Biomaterials and Medical Applications*, ed. J. I. Kroschwitz, 228, John Wiley & Sons, New York (1989).
5. J. M. Rosiak, *J. Controlled Release*, **31**, 9 (1994).
6. K. R. Park and Y. C. Nho, *Polymer(Korea)*, **25**, 728 (2001).
7. Y. C. Nho and K. R. Park, *J. Appl. Polym. Sci.*, **85**, 1787 (2002).
8. K. R. Park and Y. C. Nho, *Polymer(Korea)*, **26**, 792 (2002).
9. K. R. Park and Y. C. Nho, *Radiat. Phys. Chem.*, **67**, 361 (2003).
10. K. R. Park and Y. C. Nho, *J. Appl. Polym. Sci.*, **91**, 1612 (2004).
11. K. Burczak, T. Fujisato, M. Hatada, and Y. Ikada, *Biomaterials.*, **15**, 231 (1994).
12. M. Nambu, Rubber-like poly(vinyl alcohol) gel, *Polym. Applic.*, **32**, 523 (1983).
13. S. H. Hyon and Y. Ikada, Radiation crosslinking of biomedical hydrogels, 6th Symp. on Radiation Chemistry, 657, Balatonszeplak, Hungary (1986).
14. T. Hirai, *High Polym.*, Japan, **40**, 524 (1991).
15. J. W. K. Sptizen, Ph.D. Dissertation, Twente University, The Netherlands (1988).
16. C. Tranquilan-Aranilla, F. Yoshii, A. M. Dela Rosa, and K. Makuuchi, *Radiat. Phys. Chem.*, **55**, 127 (1999).
17. L. F. Miranda, A. B. Lugão, L. D. B. Machado, and L. V. Ramanathan, *Radiat. Phys. Chem.*, **55**, 709 (1999).
18. M. Krumova, D. López, R. Benavente, C. Mijangos, and J. M. Pereña, *Polymer*, **41**, 9265 (2000).
19. R. L. Clough and S. W. Shalaby, *Radiation effects on polymers*, 271, Maple Press. Inc., York, PA (1990).
20. F. Yoshii, K. Makuuchi, D. Darwis, T. Iriawan, M. T. Razzak, and J. M. Rosiak, *Radiat. Phys. Chem.*, **46**, 169 (1995).