

개질 에폭시수지 및 수소 첨가된 비스페놀-A형 에폭시수지계 차폐재의 열적 및 역학적 성질에 미치는 방사선 영향

조수행 · 홍순석 · 김익수 · 도재범 · 노성기

한국원자력연구소

(1997년 3월 14일 접수, 1997년 5월 13일 채택)

Effects of Radiation on Thermal and Mechanical Properties of Modified Epoxy Resin and Hydrogenated Bisphenol-A Type Epoxy Resin Based Shielding Materials

Soo-Haeng Cho, Sun-Seok Hong, Ik-Soo Kim, Jae-Bum Do, and Seung-Gy Ro

Korea Atomic Energy Research Institute, Taejeon 305-353, Korea

(Received March 14, 1997, Accepted May 13, 1997)

요약 : 방사성물질의 수송 및 저장용기 등에 사용하기 위하여 개발한 개질 에폭시수지 및 수소 첨가된 비스페놀-A형 에폭시수지계 중성자 차폐재들의 열분해온도, 열전도도, 열팽창 등의 열적 성질 및 인장강도, 압축강도, 굴곡강도, 비중, 무게변화, 수소함량변화 등의 역학적 성질에 방사선이 미치는 영향을 검토하였다. 방사선 조사선량의 증가에 따라 KNS(Kaeri Neutron Shield)-201과 KNS-302 차폐재들의 열분해온도는 증가하는 경향을 나타내었으나, KNS-202와 KNS-301은 0.5 MGy 이상에서는 감소하는 경향을 나타내었다. 또한 방사선 조사선량이 온도에 따른 차폐재들의 무게변화에는 거의 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 0.1 MGy까지 열전도도는 방사선 조사선량의 영향을 거의 받지 않는 것으로 나타났다. 또한 KNS-301과 302 차폐재들의 열팽창은 KNS-201과 202보다 방사선 영향을 적게 받는 것으로 나타났다. 0.1 MGy까지는 방사선 조사선량의 증가에 따라 KNS-202 및 KNS-301과 302 차폐재들의 인장, 압축 및 굴곡강도는 증가하는 경향을 나타내었다. 반면에 KNS-201은 방사선 조사선량의 증가에 따라 감소하는 경향을 나타내었다. 또한 조사선량의 증가에 따른 차폐재들의 비중, 무게 및 수소함량은 크게 변하지 않는 것으로 나타났다.

Abstract : Effects of radiation on the thermal and mechanical properties of modified epoxy resin and hydrogenated bisphenol-A type epoxy resin based neutron shielding materials to be used for radioactive material shipping and storage casks have been investigated. The onset temperatures of the shielding materials of KNS(Kaeri Neutron Shield)-201 and KNS-302 increased with the radiation dose, but those of KNS-202 and KNS-301 decreased at radiation dose above 0.5 MGy. In addition, the radiation dose rarely affected the change of weight of shielding materials with the variation in temperature. At radiation dose up to 0.1 MGy, thermal conductivities of shielding materials were not affected. The thermal expansion coefficients of the shielding materials of KNS-301 and 302 were affected to a less extent than those of KNS-201 and 202 by radiation. At radiation dose up to 0.1 MGy, the tensile strength, compressive strength and flexural strength of the shielding materials of KNS-202 and KNS-301 and 302 increased with the radiation dose. In contrast, those of KNS-201 decreased with an increase in the radiation dose. In addition, the amount of radiation dose on the shielding materials did not result in a measurable loss of specific gravity, weight and hydrogen content.

1. 서론

방사성물질의 수송 및 저장용기, 핵연료 재처리공장, 원자로, 액체급속로, 사이클로트론장치 등으로부터 발생되는 중성자는 에너지가 높고 투과력이 강하며, (n, γ) 반응에 의한 2차 감마선을 발생시켜 인체에 장애를 주기 때문에 중성자를 안전하게 차폐할 고성능 차폐재료 개발이 요망된다 하겠다. 고속중성자는 거의 같은 질량의 수소원자와의 충돌에 의하여 에너지가 흡수되면서 효과적으로 감속되기 때문에 수소원자수 밀도가 높은 고분자물질이 중성자 차폐재의 기본소재로 많이 사용되고 있다. 차폐효과를 높이기 위하여 고분자물질의 기본소재에 열중성자 포획단면적이 큰 붕소 혹은 붕소화합물, 리튬화합물 등이 첨가되며, 또한 각종 성능향상제가 첨가되어 제조되는 중성자 차폐재는 그 종류가 매우 다양하며[1-6], 또한 가공성, 차폐능, 내방사선성, 열적 및 역학적 성질 등이 서로 다른 특성들을 가진다[2-5]. 최근에는 고분자물질 및 cermet 등의 중성자 차폐재들이 미국, 일본 등지에서 개발 중에 있다[7-9].

특히 기계적 및 전기적성질, 내약품성, 내후성, 내부식성 및 치수 안정성 등이 우수한 비스페놀A형 에폭시수지계에 폴리프로필렌, 수산화알루미늄, 탄화붕소 등의 첨가제를 혼합하여 중성자 차폐재를 제조하여, 이들의 경화전의 유동성, 열적 및 역학적 특성, 차폐능 등을 고찰한 결과 외국인산 중성자 차폐재들보다 우수한 것으로 나타났다[10]. 그러나 본 연구에서는 열적 및 역학적 성질을 향상시키고, 특히 수소원자수 밀도를 높혀 중성자 차폐능을 향상시키기 위하여 알킬 그리시딜 에테르로 개질한 에폭시수지를 기본물질로 한 중성자 차폐재(KNS-201/202)와 수소 첨가된 비스페놀A형 에폭시수지를 기본물질로 한 중성자 차폐재(KNS-301/302)를 제조하였으며, 방사선 조사선량이 이들 중성자 차폐재의 열적 및 역학적 특성에 미치는 영향에 대하여 고찰하였다.

2. 실험

2.1. 실험재료

본 실험에서 수지계 중성자 차폐재의 기본물질로는 상온 경화용인 액상 에폭시수지를, 첨가제로는 고속중성자 감속에 매우 효과적인 수소원자수 밀도가 높은 폴리프로필렌을, 난연제로는 수산화알루미늄을, 그리고 열중성자 흡수제로는 탄화붕소를 각각 사용하였다.

기본물질로 사용된 액상의 프리 폴리머인 에폭시수지들은 비스페놀A형의 diglycidyl ether resin을 alkyl

glycidyl ether($R-O-CH_2\overset{O}{\text{C}}-CH_2$, $R = C_{12-14}$)로 개질한 저점도형 에폭시수지(YD-114E, 국도화학(주))와 비스페놀 A의 구조에서 공액2중결합을 가지는 페닐기가 포화된 시크로헥산 고리가 되도록 수소를 첨가한 비스페놀A형 에폭시수지(ST-3000, 국도화학(주))이다. 경화제로는 fatty acid, polymerized acid 및 tetraethylene pentamine의 혼합물을 탈수축합에 의해 제조한 폴리아미도아민(G-A0533, 국도화학(주))과 폴리에테르디아민인 polyoxypropylenediamine(JEFFAMINE, D-230)을 사용하였다. 그리고 중성자 차폐재의 수소원자 밀도를 증가시키기 위한 목적으로 폴리프로필렌(호남정유, 입자크기, $112\mu m$)을 첨가하였으며, 저속 혹은 열중성자에 대한 차폐효과를 크게 하기 위하여 붕소화합물중에서 열중성자 포획저시단면적이 크고, 중성자 차폐시에 고준위의 2차 방사선이나 장수명 2차 부산물을 발생시키지 않는 등 중성자 흡수재로서 이상적인 특징을 많이 갖고 있는 탄화붕소(B_4C)(유니온 카바이드사, 입자크기, $5\sim 8\mu m$)를 첨가하였다. 또한 차폐재에 유독가스를 발생시키지 않으면서, 난연성을 부여하고 자기소화성을 촉진시키는 것으로 알려져 있고, 결정수형으로 약 35%의 물을 함유하고 있어, 고속중성자를 열중성자로 감속시키는 작용을 하는 수산화알루미늄(입자크기, $21\mu m$)을 첨가하였다[10].

2.2. 실험장치 및 방법

본 연구에 사용한 실험장치는 중성자 차폐재 제조의 기본물질인 액상 에폭시수지와 경화제, 분말형태의 폴리프로필렌, 수산화알루미늄, 탄화붕소 등의 첨가제들을 균일하게 혼합하기 위하여 Dispermat VL-C형의 진공혼합기(VAM-GETZMANN GMBH)를 사용하였다. 혼합시에는 정해진 무게비율로 각 시료들을 준비하여 액상의 프리 폴리머인 에폭시수지와 경화제를 당량비율로 혼합한 후, 소포제(BYK-Chemie GmbH, BYK-066)와 분말 시료들을 진공혼합기에 넣어 일정시간동안 진공하에 혼합하였다. 기포가 제거된 후 각종의 시편들에 액상의 혼합물을 넣고 상온에서 경화시켜서 특성시험에 알맞은 시편을 제작하였다[11].

본 연구에서는 열적 및 역학적 성질을 향상시키고, 특히 수소원자수 밀도를 높혀 중성자 차폐능을 향상시키고 동시에 우수한 내방사선성, 가공성의 용이성 및 중성자 차폐재의 다른 특성을 고려하여 제조된 중성자 차폐재의 조성비를 Table 1에 나타내었다.

제조된 시편에 대한 방사선 조사실험은 대단위 조사시설의 방사선원(Co-60, 86,500 Ci)에 의한 고준위 감마선조사(high intensity gamma irradiation, (HIGI))에 의

Table 1. Composition of Resin-Type Shielding Materials

Shielding Material	Composition (wt.%)				
	Resin	Hardener	Polypropylene	Al(OH) ₃	B ₄ C
KNS-201	27.5	10.5	-	59	3
KNS-202	27.5	10.5	3	56	3
KNS-301	27.5	10.5	-	59	3
KNS-302	27.5	10.5	3	56	3

해 행하였다[11]. 조사된 시편들의 열분해온도, 열전도도, 열팽창계수 등의 열적 특성 및 인장강도, 압축강도, 굴곡강도, 비중, 무게변화 등의 역학적 특성 그리고 차폐재의 주요 구성원소인 수소(H)함량 등의 변화를 측정하였다.

2.3. 분석

열안정성시험은 ASTM E537에 따라서 시료 10~15 mg을 취하여 질소 유속 90 ml/min, 가열속도 5 °C/min, 상온에서 800 °C까지 TGA 측정을 하였다. 열전도도시험은 ISO 8894-1에 따라서 hot wire method인 QTM-500 (Kyoto Electronics)에 의해 열전도도를 측정하였으며, 시편의 크기는 50 mm(W)×100 mm(L)×10 mm(T)이었다. 열팽창시험은 ASTM D696에 따라서 DuPont 2100 Thermal Analysis(TMA)에 의해 열팽창계수를 측정하였으며, 시편의 크기는 6 mm(W)×6 mm(L)×4 mm(T)이었다.

인장강도, 압축강도 및 굴곡강도시험은 KS M3015에 따라서 행하였으며[11], 차폐재의 한가지 시험값을 얻기 위하여 4개의 동일한 시편을 만들어 각각의 강도를 측정하고 평균치를 차폐재의 인장, 압축 및 굴곡강도값으로 하였다. 주요 구성원소인 수소의 조사 후의 변화량을 측정하기 위한 수소원소는 CHN-1000 Elemental Analyzer (LECO Co.)로 분석하였다. 또한, 각 차폐재 시편에서 10개의 시료를 취하여 Sartorius Research RC 210P에 의해 비중값을 측정하여 그들의 평균값을 그 시편의 비중값으로 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 열적 특성

고분자물질에 방사선을 조사하면 여러 가지 원자들의

자유라디칼 혹은 여기상태의 분자가 동시 다발적으로 생성되며, 중간체를 형성하는 다단계반응과 반응물질들 간에 여러 형태의 화학반응이 경쟁적으로 일어나 고분자물질의 화학구조가 변화하게 되며, 이로 인해 방사선의 조사는 고분자물질의 특성에 큰 영향을 미치게 된다. 본 연구에서는 이 영향들을 규명하기 위하여 평균 조사선량이 5 kGy/h인 고준위 방사선원을 사용하여 차폐재에 방사선을 조사하여 차폐재의 열적 성질에 미치는 영향을 고찰하였다.

3.1.1. 열안정성에 대한 영향

방사선 조사선량이 중성자 차폐재, KNS-201/202 및 KNS-301/302의 열분해온도에 미치는 영향을 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 0.5 MGy까지는 방사선 조사선량의 증가에 따라 열분해온도가 증가하는 경향을 나타내었다. 특히 KNS-301 차폐재의 열분해온도의 증가폭은 0.1 MGy까지는 다른 차폐재들보다 크게 나타났다. 이는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 KNS-301 차폐재의 적외선 스펙트럼을 보면 0.1 MGy인 경우 1460 cm⁻¹ 영역근처에서 흡수봉우리가 나타났으며, 이 구역은 CH₂와 CH₃ 변형의 영역이며[12], 이들의 변형으로 가교결합 등이 일어나 화학구조적으로 안정성이 향상되었기 때문에 열분해온도가 높아진 것으로 생각된다. 또한 방사선 조사선량이 온도변화에 따른 차폐재들의 무게변화에 미치는 영향을 Figs. 3~6에 나타내었다. 이들은 각 차폐재들의 TGA 결과를 나타낸 것이며, 대체적으로 방사선 조사선량에 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 특히 Fig. 5에서 보는 바와 같이 방사선 조사선량이 KNS-301 차폐재의 온도에 따른 무게변화에는 거의 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

3.1.2. 열전도도에 대한 영향

방사선 조사선량이 중성자 차폐재의 열전도도에 미치는 영향을 Table 2에 나타내었다. Table 2에서 보는 바와 같이 0.1 MGy까지는 차폐재, KNS-201/202 및 KNS-301은 방사선 조사선량에 거의 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 또한 Figs. 3~5에서 보는 바와 같이 방사선 조사선량의 증가에 따른 차폐재들의 무게변화 사이의 폭이 좁고 그 양상이 유사하여 0.1 MGy 이상에서도 방사선 조사선량이 이들 차폐재들의 열전도도값에 크게 영향을 미치지 않을 것으로 생각된다. 그러나 Table 2에서 보는 바와 같이 KNS-302 차폐재의 열전도도값만이 감소하는데, 이는 Fig. 6에서 보는 바와 같이 KNS-302 차폐재는 0.1 MGy에서는 무게가 감소하는 경

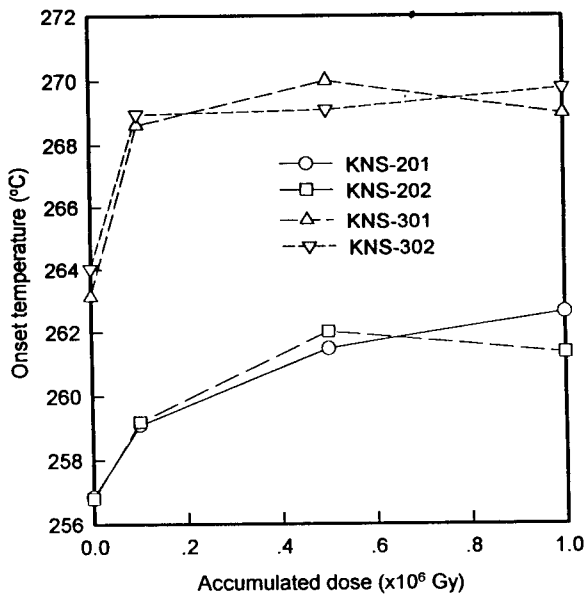


Fig. 1. Effects of radiation on onset temperature of shielding materials.

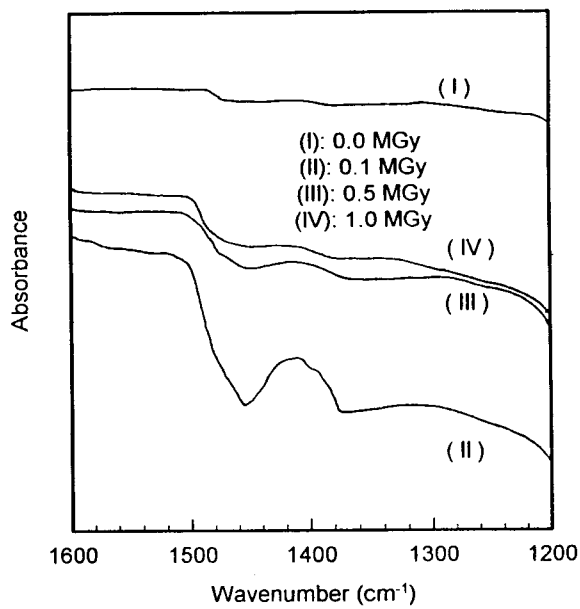


Fig. 2. IR spectrum of irradiated shielding material, KNS-301.

향이 큰데 기인한 것으로 생각된다.

3.1.3. 열치수 안정성에 대한 영향

방사선 조사선량이 중성자 차폐재의 열팽창에 미치는 영향을 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7에서 보는 바와 같이 방사선 조사선량이 KNS-301/302 차폐재의 열팽창에는 거의 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 이는 비스페

Table 2. Thermal Conductivities of Shielding Materials

Dose (MGy)	Shielding material(thermal conductivity(W/m · K))			
	KNS-201	KNS-202	KNS-301	KNS-302
0	1.0063	0.9258	0.9515	0.9356
0.1	1.0120	0.9227	0.9528	0.9170

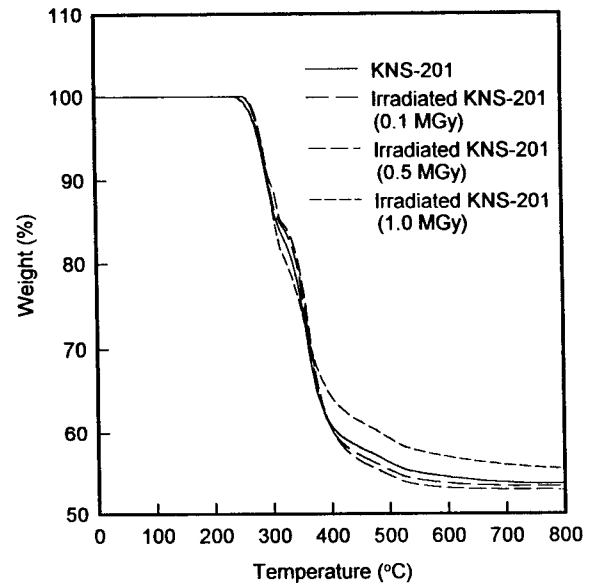


Fig. 3. TGA curves for modified epoxy resin based shielding material, KNS-201.

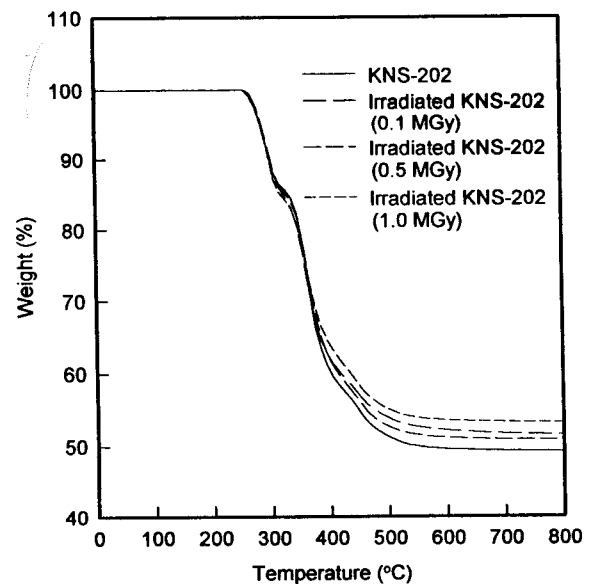


Fig. 4. TGA curves for modified epoxy resin based shielding material, KNS-202.

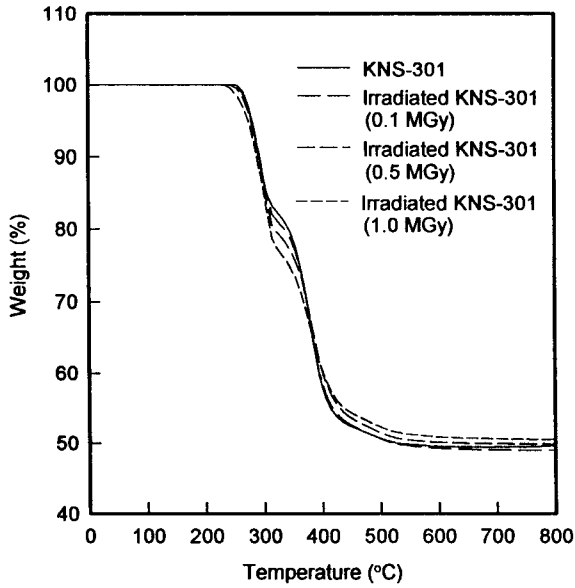


Fig. 5. TGA curves for hydrogenated epoxy resin based shielding material, KNS-301.

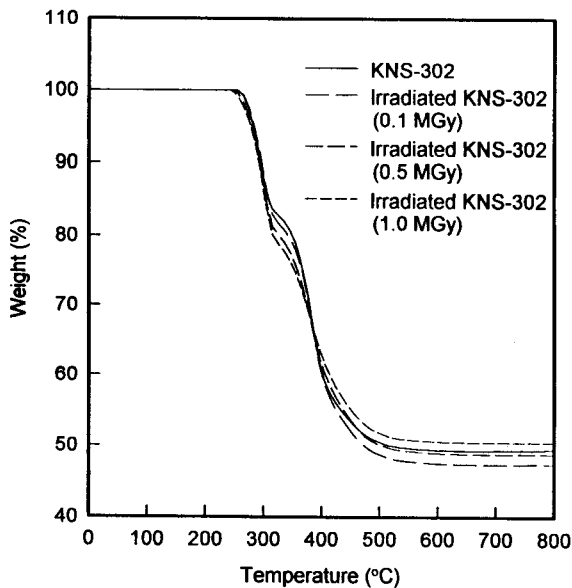


Fig. 6. TGA curves for hydrogenated epoxy resin based shielding material, KNS-302.

놀A 구조 중에서 페닐기가 시크로헥산 고리로 포화된 비스페놀A형 에폭시수지가 열적 팽창이 적기 때문으로 생각된다. 아울러 Fig. 7에서 보는 바와 같이 폴리프로필렌이 첨가된 KNS-202와 KNS-302 차폐재의 열팽창 계수값이 폴리프로필렌이 첨가되지 않은 KNS-201과 KNS-301 차폐재보다 큰 것으로 보아 폴리프로필렌(무계분율, 3wt.%)이 열치수 안정성에 어느 정도 영향을 미치는 것으로 나타났다.

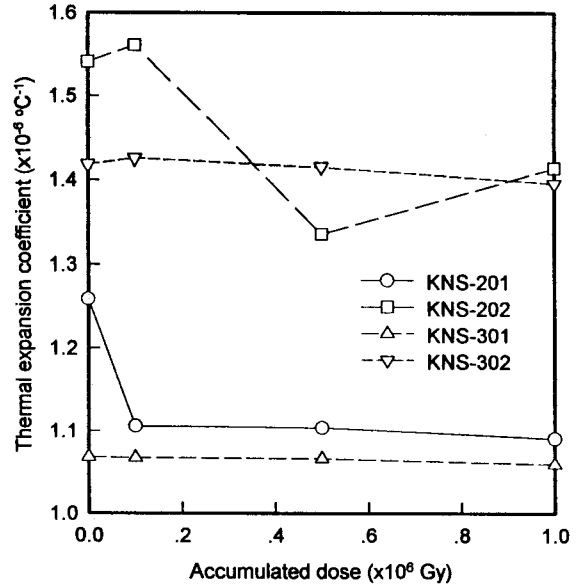


Fig. 7. Effects of radiation on thermal expansion of shielding materials.

3.2. 역학적 특성

일반적으로 고분자에 방사선을 조사하면 주쇄(main chain)의 절단, 측쇄(side chain)의 절단 및 분해기체의 발생과 불포화결합의 생성이 경쟁적으로 일어나며, 주쇄 절단으로 생긴 말단의 자유라디칼은 서로 반응하여 불균등화 또는 재결합을 하며, 측쇄절단으로 생긴 자유라디칼은 서로 반응하여 절단 혹은 가교결합을 하게 되어 [13,14] 분자의 구조가 바뀌게 된다. 본 연구의 실험에서는 이러한 구조의 특성들을 규명하기 위하여 평균 조사선량률이 5 kGy/hr인 고준위 방사선원을 사용하여 차폐재에 방사선을 조사하여 차폐재의 역학적 성질에 미치는 영향을 고찰하였다. 또한 방사선조사에 의한 인장강도, 압축강도 및 굴곡강도의 시험결과 평균값의 편차는 0.3%~7.6% 정도의 범위였다.

3.2.1. 인장강도에 대한 영향

방사선 조사선량이 증성자 차폐재, KNS-201/202 및 KNS-301/302의 인장강도에 미치는 영향을 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 8에서 보는 바와 같이 방사선 조사선량이 0.1 MGy까지 증가함에 따라, KNS-202, KNS-301 및 302 차폐재들의 인장강도는 증가하다가, 0.1 MGy 이상에서는 조사선량의 증가에 따라 인장강도가 감소하는 경향을 나타내었다. 이와 같이 방사선 조사선량의 증가에 따라 초기의 인장강도값이 증가하는 이유는 주쇄의 절단보다는 측쇄에 생긴 자유라디칼간의 결합이 우세하여 망상구조를 이루는 가교결합수가 증가하기 때문으로

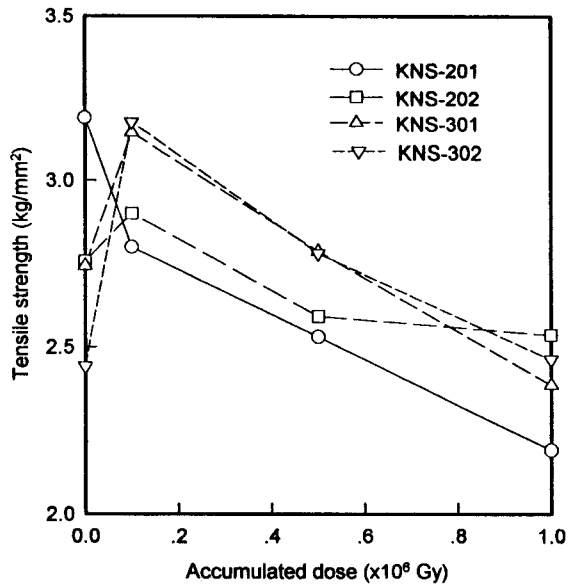
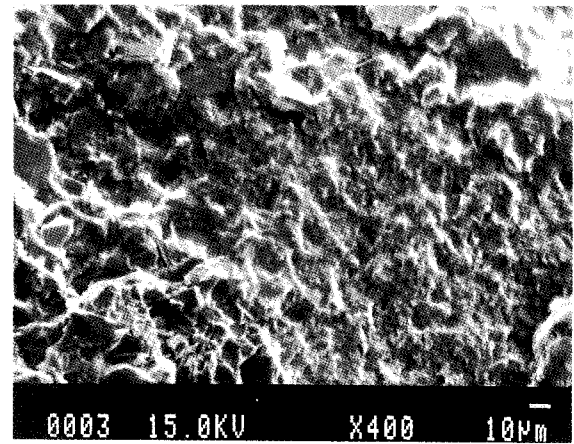


Fig. 8. Radiation-induced tensile strength of shielding materials.

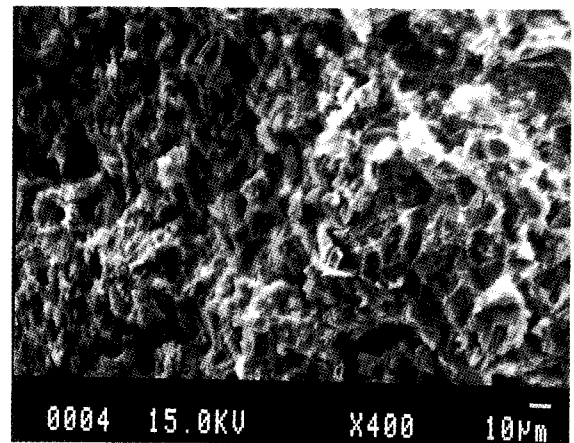
해석할 수 있으며[15], 수지와 분말형의 무기물질과의 계면에서 발생하는 내부응력이 사슬(chain)절단으로 완화된 것에 기인한 것으로 생각되며[16], 또한 Fig. 9에 나타난 전자현미경 사진에서 보는 바와 같이 방사선 조사에 의해 첨가물의 입자들이 균일하게 분포한 것에 기인한 것으로 생각된다. 그러나 방사선 조사선량이 0.1 MGy 이상에서는 축쇄가교결합에 의한 인장강도의 증가효과 보다는 수소의 탈리나 절단에 의해 생긴 주쇄라디칼이 재결합을 하지 않고 불균등화반응으로 절단되는 반응이 활발해져 인장강도가 감소하는 것으로 생각된다. 한편으로 폴리프로필렌이 함유된 KNS-202 및 KNS-302 차폐재들의 인장강도의 증가폭은 크나, 감소폭은 좁게 나타났다. 이는 방사선 조사선량이 0.1 MGy 이하에서는 폴리프로필렌과 에폭시수지와와의 가교결합이 활발하나 그 이상에서는 폴리프로필렌이 가교결합보다는 절단반응이 우세한 것에 기인한 것으로 생각된다[17].

3.2.2. 압축강도에 대한 영향

방사선 조사선량이 중성자 차폐재의 압축강도에 미치는 영향을 Fig. 10에 나타내었다. Fig. 10에서 보는 바와 같이 방사선 조사선량이 0.1 MGy까지 증가함에 따라 KNS-202 및 KNS-302 차폐재들의 압축강도는 증가하는 경향을 나타내었으나, 0.1 MGy 이상에서는 KNS-302 차폐재의 압축강도가 거의 변화하지 않는 반면에 KNS-202는 감소하는 경향을 나타내었다. 이때 0.1 MGy까지 압축강도가 증가하는 것은 에폭시수지와 폴리프로필렌



(a)



(b)

Fig. 9. SEM of the fractured surfaces of shielding material, KNS-301.

(a) non-irradiated, (b) irradiated (0.1 MGy)

과의 가교결합수가 많아져 압축강도가 증가하는 것으로 판단된다. 또한 수소 첨가된 에폭시수지의 중성자 차폐재인 KNS-301의 압축강도는 방사선 조사선량에 거의 영향을 받지 않는 것으로 나타났지만, 알킬 그리시딜 에테르로 개질된 에폭시수지 중성자 차폐재인 KNS-201은 방사선 조사선량의 증가에 따라 압축강도가 감소하는 것으로 나타났다.

3.2.3. 굴곡강도에 대한 영향

방사선 조사선량이 중성자 차폐재의 굴곡강도에 미치는 영향을 Fig. 11에 나타내었다. Fig. 11에서 보는 바와 같이 방사선 조사선량이 0.1 MGy까지 증가함에 따라 KNS-301과 302 차폐재들의 굴곡강도가 증가하다가, 0.1 MGy 이상에서는 감소하는 경향을 나타내었으나, KNS-

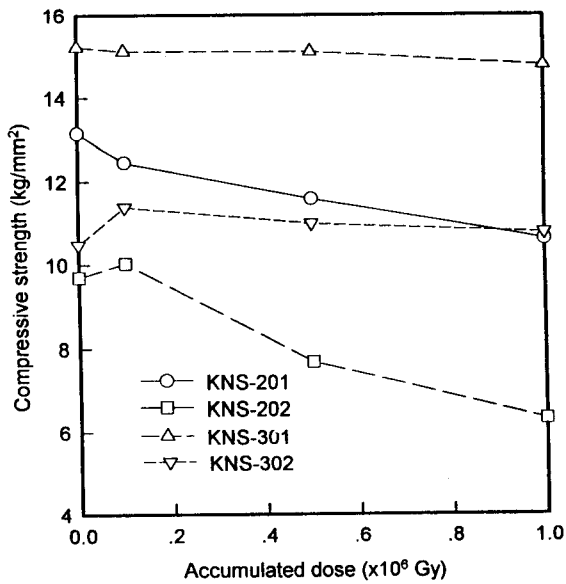


Fig. 10. Radiation-induced compressive strength of shielding materials.

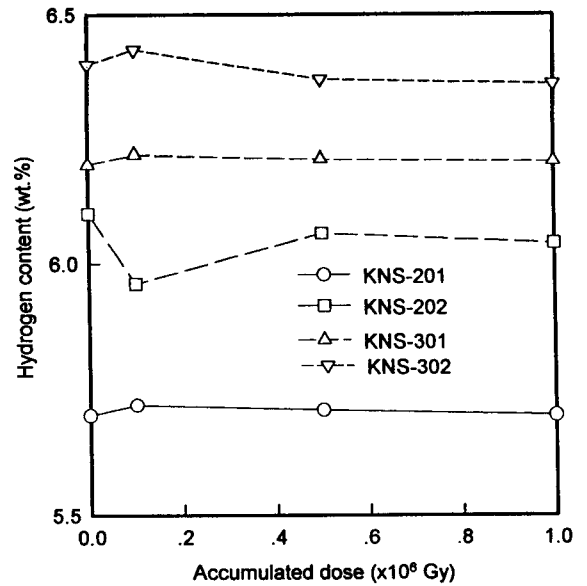


Fig. 12. Effects of radiation on the hydrogen content of shielding materials.

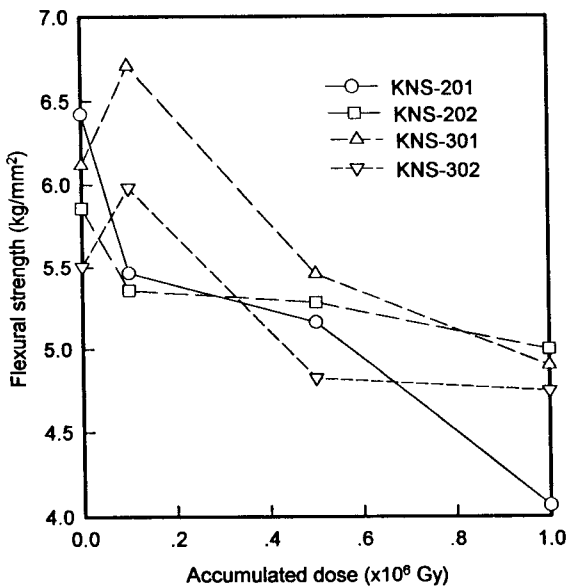


Fig. 11. Radiation-induced flexural strength of shielding materials.

201과 202는 방사선 조사선량의 증가에 따라 점점 감소하는 경향을 나타내었다. 특히 KNS-201은 다른 차폐재들보다 굴곡강도가 크게 감소하는 경향을 나타내었는데, 이는 방사선에 의한 저분자 기체의 발생에 의하여 기공이 생성되기 때문으로 생각되며, 1.0 MGy까지 조사된 시편의 표면에는 생성된 기공이 육안으로도 볼 수 있었다.

3.2.4. 비중 및 무게변화에 미치는 영향

방사선 조사선량이 중성자 차폐재의 비중 및 무게변화에 미치는 영향을 Table 3과 Table 4에 나타내었다. Table 3에서 보는 바와 같이 방사선조사선량이 증가함에 따라 KNS-201/202 및 KNS-301/302 차폐재들의 비중은 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. 또한 방사선 조사선량이 차폐재들의 무게변화에 미치는 영향을 Table 4에 나타내었다. Table 4에서 보는 바와 같이 방사선 조사선량이 증가함에 따라 차폐재의 무게에는 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과로부터 차폐재에 함유된 첨가물 중에서 특히 붕소가 방사선의 조사선량이 1.0 MGy까지 되어도 큰 손실이 없어 열중성자 차폐효과에 거의 영향을 받지 않을 것으로 판단된다.

3.2.5. 수소함량에 변화에 미치는 영향

방사선 조사선량이 중성자 차폐재의 수소함량 변화에 미치는 영향을 Fig. 12에 나타내었다. Fig. 12에서 보는 바와 같이 방사선 조사선량이 차폐재들의 수소함량에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 따라서 중성자 뿐만아니라 γ 선 등의 방사선을 많이 내는 방사성물질을 차폐하는 차폐재들의 중성자 차폐성능은 거의 영향을 받지 않을 것으로 판단된다.

4. 결 론

이상과 같은 본 연구의 결과 다음의 몇 가지 결론을

Table 3. Effects of Radiation on Specific Gravity of Resin-Type Shielding Materials

Dose (MGy)	Shielding material (specific gravity)											
	KNS-201			KNS-202			KNS-301			KNS-302		
0	1.673	1.674	1.672	1.622	1.615	1.619	1.659	1.656	1.662	1.604	1.603	1.605
0.1	1.674	-	-	1.624	-	-	1.660	-	-	1.606	-	-
0.5	-	1.673	-	-	1.617	-	-	1.654	-	-	1.605	-
1.0	-	-	1.671	-	-	1.621	-	-	1.660	-	-	1.608

Table 4. Effects of Radiation on Weight of Resin-Type Shielding Materials

Dose (MGy)	Shielding material (weight(g))											
	KNS-201			KNS-202			KNS-301			KNS-302		
0	13.774	13.832	13.760	13.185	13.265	13.211	13.650	13.687	13.280	13.222	13.128	12.782
0.1	13.776	-	-	13.187	-	-	13.647	-	-	13.223	-	-
0.5	-	13.830	-	-	13.266	-	-	13.618	-	-	13.126	-
1.0	-	-	13.755	-	-	13.210	-	-	13.274	-	-	12.786

얻을 수 있었다.

1) 방사선 조사선량이 수소 첨가된 비스페놀-A형 에폭시수지계 중성자 차폐재인 KNS-301과 302의 열안정성, 열전도도 및 열치수 안정성보다 개질된 비스페놀-A형 에폭시수지계 중성자 차폐재인 KNS-201과 202에 더 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 이는 KNS-301과 302 차폐재가 KNS-201과 202 차폐재보다 열적 성질에서 내방사선성이 우수하다는 것을 보여주는 것이다.

2) 중성자 차폐재, KNS-301과 302의 인장강도, 압축강도 및 굴곡강도는 KNS-201과 202 차폐재보다 방사선 조사선량의 영향을 적게 받는 것으로 나타났으며, 이와 같은 결과로부터 KNS-301과 302 차폐재가 KNS-201과 202 차폐재보다 역학적 성질에서 내방사선성이 우수함을 알 수 있다.

3) 방사선 조사선량이 KNS-201과 202 및 KNS-301과 302 차폐재들의 비중, 무게변화 및 수소함량에는 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. H. Taniuchi, T. Iida, F. Matsuda and H. Nagahama, IAEA-SM-286, 123(1987).

2. L. W. Dickson, AECL-9556 (1988).
 3. T. Iida, H. Taniuchi and K. Fujisawa, *RAMTRANS*, **2**, 79 (1991).
 4. C. B. Saunders, L. W. Dickson and A. Singh, AECL-9084 (1987).
 5. H. Wilski, *Radiat. Phys. Chem.*, **29**, 1 (1987).
 6. Y. Morita, M. Hagiwara and N. Kasai, *J. Appl. Polym. Sci.*, **27**, 3569 (1982).
 7. J. P. Aleksander and A. A. Ilhan, *J. Am. Ceram. Soc.*, **72**, 775 (1989).
 8. K. A. Blakely, M. F. Gaffney and P. T. B. Shaffer, *Trans. Am. Nucl. Soc.*, **34**, 199 (1980).
 9. H. J. Rack, S. A. Dupree and J. F. Smugeresky, SAND78-2317 (1979).
 10. S. H. Cho, J. B. Do, S. G. Ro and C. H. Do, *J. Korean Ind. & Eng. Chem.*, **7**, 597 (1996).
 11. S. H. Cho, S. S. Hong, H. Y. Kim, J. B. Do and S. G. Ro, *J. Korean Ind. & Eng. Chem.*, **8**, 92 (1997).
 12. S. E. Wiberley, "Introduction to Infrared and Raman Spectroscopy", ed. N. B. Colthup and L. H. Daly, Academic Press, Inc., San Diego(1990).
 13. O. Sisman and W. W. Parkinson, "Engineering

- Compendium on Radiation Shielding”, Vol. II. Shielding Materials, R. G. Jaegar and A. Hoenig, eds., Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 294 (1975).
14. R. W. King, N. J. Broadway, R. A. Mayer and S. Palinchak, “Effects of Radiation on Materials and Components”, ed. J. F. Kircher and R. E. Bowman, Reinhold Publishing Corporation, New York(1964).
15. R. R. Burn and G. R. Blessing, *Trans. Am. Nucl. Soc.*, **39**, 429 (1981).
16. K. S. Seo, R. E. Fornes, J. D. Memory and R. D. Gilbert, *Polymer Preprints*, **28**, 313 (1987).
17. K. W. Wolf, J. D. Memory, R. D. Gilbert and R. E. Fornes, *J. Appl. Phys.*, **54**, 5558 (1983).