HWAHAK KONGHAK Vol. 34, No. 2, April, 1996, pp. 237-242
(Journal of the Korean Institute of Chemical Engineers)

방사선 조사선량이 중성자 차폐재의 역학적 성질에 미치는 영향

조수행 · 오승철 · 도재범 · 심정섭* · 강 용*†

한국원자력연구소
*충남대학교 화학공학과
(1995년 7월 11일 접수, 1996년 3월 29일 채택)

Effects of Radiation Dose on Mechanical Properties of Neutron Shielding Materials

Soo Haeng Cho, Seung Chul Oh, Jae Bum Doh, Jung Sup Shim* and Yong Kang*†

Korea Atomic Energy Research Institute, Taejon 305-353
**Department of Chemical Engineering, Chungnam National University, Taejon 305-764*
(Received 11 July 1995; accepted 29 March 1996)

요 약

사용후 핵연료 수송용기 등에 사용되는 중성자 차폐재를 실리콘고무를 기본물질로 하고 폴리프로필렌, 수산화알루미늄 그리고 탄화붕소 등을 첨가재로 하여 제조하였으며, 방사선 조사선량이 차폐재의 인장강도, 압축강도, 경도, 비중, 무게변화 및 수소함량변화 등 역학적 성질에 미치는 영향 등을 검토하였다. 방사선 조사선량의 증가에 따라 DC-70, DC-49(Dow Corning사의 Sylgard) 차폐재의 인장강도는 증가하였으나, HR-39(해룡 실리콘(주)) 차폐재의 인장강도는 감소하는 경향을 나타내었다. 또한 조사선량의 증가에 따라 DC-70, DC-49, HR-39 차폐재들의 압축강도, 경도 등이 증가하는 경향을 나타내었으며, 방사선조사선량에 따른 차폐재의 비중과 무게 그리고 수소함량은 크게 변하지 않는 것으로 나타났다.

Abstract—Effects of radiation dose on the mechanical properties of silicone rubber based neutron shielding materials such as tensile strength, compressive strength, hardness, specific gravity and changes of weight and hydrogen content have been investigated. As the radiation dose has been increased, the tensile strength of shielding materials of DC-70 and DC-49 have been increased, however, that of HR-39 has been decreased, respectively. The compressive strength and hardness of shielding materials of DC-70, DC-49 and HR-39 have been increased with an increase in the radiation does on them. The amount of radiation dose on the materials of DC-70, DC-49, and HR-39 has not resulted in a measurable loss of weight and hydrogen content of them.

Key words: *Mechanical Property, Neutron Shielding Material*

1. 서 론

방사성물질의 수송/저장용기, 핵연료 재처리공장, 원자로, 액체금속로, 싸이클로트론장치 혹은 방사성동위원소 등으로부터 발생되는 중성자는 에너지가 높고 투과력이 강하며, (n, γ)반응에 의한 2차 감마선을 발생시키므로 인체에 장애를 줄 수 있고 원자력시설의 구조재나 기기를 손상시킬 수 있으며, 이들은 방사화를 일으킬 수 있기 때문에 중성자를 안전하게 차폐할 재료가 절실히 요망된다 하겠다.

현재 물이나, 콘크리트, 고분자물질, cermet, 붕소합금, 그리고 금속수소화물 등이 사용장소 및 조건에 따라서 중성자 차폐재로서 사용되고 있으며, 중성자 중 고속중성자는 거의 같은 질량의 수소원자와의 충돌에 의하여 에너지가 흡수되면서 효과적으로 감속되기 때문에 수소원자 밀도가 큰 물질이 고속중성자의 차폐에 효과적이라 할 수 있다. 따라서 수소원자 밀도가 높은 고분자물질이 기본소재로 많이 사용되고 있다. 이들은 열가소성수지, 열경화성수지, 고무 등의 고분자물질로 그 종류가 매우 다양하며, 이들 혹은 이들의 고분자 혼합물의 기본소재에 열중성자 포획단면적이 큰 붕소 혹은 붕소화합물, 리튬화합물 등이 첨가되며, 또한 각종 성능향상제가 첨가되어 제조되는 중성자 차폐재는 그 종류가 매우 다양하다[1-6]. 많은 종류의 고분자계 중성자 차폐재들은 가공성, 차폐능, 내방사선성, 열적 성질, 기계적 성질 등이 서로 다른 특성들을 가지며, 또한 제조가격에 있어서도 차이가 많다[2-5].

사용후 핵연료 수송용기의 중성자 차폐재로서 물 혹은 물과 에틸렌글리콜과 같은 혼합물들을 사용할 때는 온도증가에 따른 부피팽창을 고려하여 여분의 공간이 필요하며, 이 여분의 공간은 중성자 차폐효과를 고려하여 복잡한 구조로 만들어야 하므로 수송용기의 두께 및 무게는 증가하게 되고 수송용기의 용량이 감소하게 되는 단점도 가지고 있다. 이러한 중성자 차폐재들의 단점을 보완하기 위해 최근에는 고분자물질 및 cermet 등의 중성자 차폐재들이

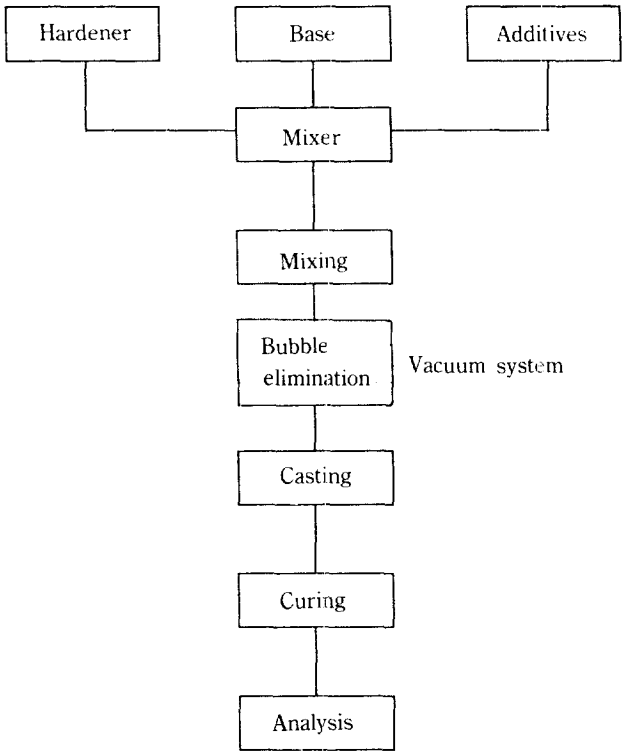

Fig. 1. Flow chart of specimen preparation.

미국, 일본 등지에서 개발 중에 있다[7-9]. 그러나 개발된 중성자 차폐재들에 미치는 방사선 조사량의 영향에 관한 실질적인 자료들은 국내·외를 막론하고 매우 미흡한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 내열성, 난연성이 우수한 액상 실리콘고무를 기본물질로 하고 여기에 폴리프로필렌, 수산화알루미늄, 탄화붕소 등의 첨가제를 혼합하여 중성자를 효과적으로 차단할 수 있는 중성자 차폐재를 제조하였으며, 방사선 조사선량이 제조된 중성자 차폐재의 역학적 특성에 미치는 영향에 대하여 고찰하였다. 이와 같은 연구를 통해 최적의 조건으로 제조된 중성자 차폐재는 앞으로 방사성물질의 수송용기 등에 매우 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

2. 실 험

2-1. 실험장치 및 방법

본 연구에 사용한 실험장치는 중성자 차폐재 제조의 기본물질인 액상 실리콘고무와 분말형태의 폴리프로필렌, 수산화알루미늄, 탄화붕소 등의 첨가제들을 균일하게 혼합하기 위하여 Rheodrive 5000에 의해 rotor가 구동되며 가열 및 냉각장치에 의해 자동으로 온도를 조절하여 일정한 온도에서 혼합할 수 있는 HAAKE Rheomix 600을 사용하였다. 혼합기의 rotor는 가장 좋은 혼합도를 나타내는 것으로 알려진 sigma형을 사용하였다. 혼합시의 조건은 혼합기의 내부온도 및 압력은 상온, 대기압, rotor의 회전속도는 60 rpm, 시료의 부피는 60-80 cm^3, 혼합시간은 10-15분이었다. 실험방법은 Fig. 1의 흐름도에서 볼 수 있듯이 혼합시에는 정해진 무게비율로 각 시료들을 준비하여 액상 실리콘고무의 주제와 경화제를 같은 무게비율로 혼합한 후, 분말시료들을 혼합기에 넣어 일정시간 동안 혼합하였다. 액상 실리콘고무는 점도가 높은 액체상의 물질이며 여기에 무기

Table 1. Composition of shielding materials

Shield material	Composition(wt %)			
	Silicone	$Al(OH)_3$	B_4C	P.P
DC-70	70	18	2	10
DC-49	49	49	2	-
HR-39	39.2	58.8	2	-

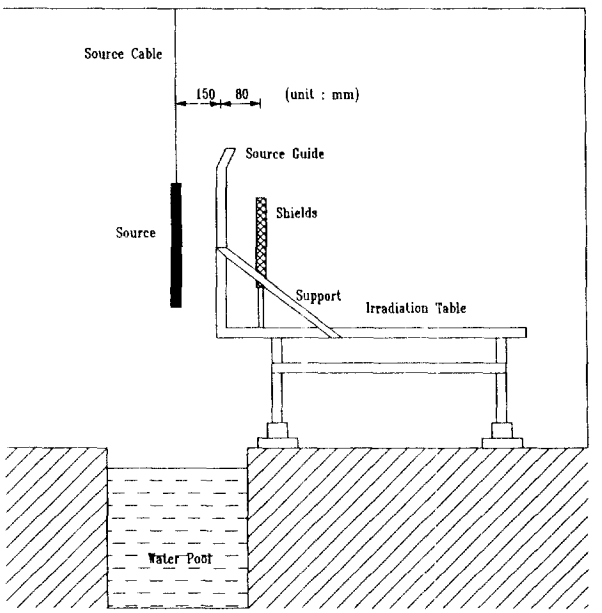

Fig. 2. Schematic arrangement of source and shields.

물질인 분말형의 첨가제를 넣고 혼합하면 액상과 분말의 계면에 아주 작은 기포들이 많이 존재하게 되므로 이를 제거하기 위해서 진공도 10 mbar 내외의 진공데시케이터 안에서 15-20분 동안 두어 혼합물 내부의 기포를 완전히 제거하였다. 기포가 제거된 후 특성시험에 알맞는 시편을 제작하기 위해 각종의 시편틀에 액체혼합물을 투입한 후 75℃의 오븐속에서 30-40분 동안 경화시켰다. 본 연구에서는 고속중성자, 저속 및 열중성자의 차폐효과에 관계되는 수소원자밀도와 붕소원자밀도, 가공성의 용이 및 중성자 차폐재의 다른 특성을 고려하여 제조된 세 종류의 중성자 차폐재시편의 조성비는 Table 1에 나타내었다.

제조된 시편에 대한 방사선 조사실험은 대단위조사시설의 방사선원(Co-60, 86,500 Ci)인 고준위 감마선조사(high intensity gamma irradiation(HIGI))에 의해 행하여졌으며, 방사선 조사시험을 위한 장치의 개요를 Fig. 2에 나타내었다. 시험에 사용한 조사선량은 5 Mrad, 50 Mrad 및 100 Mrad이고 이들은 각각 평균조사선량 0.5 Mrad/hr에서 10시간, 100시간 그리고 200시간 동안 조사하여 얻었다. 방사선 조사시 조사면적의 크기에 따른 조사선량의 편차를 줄이기 위하여 100 mm(W)×360 mm(L)×80 mm(H) 크기의 상자에 시편들을 넣어 조사대 전면판과 8 cm 되는 거리에 평행하게 설치하여 조사하였다. 방사선 조사후 각각의 제조된 시편에 대한 인장강도, 압축강도, 경도, 비중, 무게변화 및 차폐재의 주요 구성원소인 수소(H)함량의 변화를 측정하였다.

2-2. 실험재료

본 실험에서 수지계 중성자 차폐재의 기본물질로는 내열성 및

난연성이 우수한 상온 경화용 액상 실리콘고무를, 첨가재로는 고속 중성자 감속에 매우 효과적인 수소원자 밀도가 높은 폴리프로필렌, 난연제로 수산화알루미늄을, 그리고 열중성자 흡수재로는 탄화붕소를 사용하였다. 액상 실리콘고무는 미국 Dow Corning사의 Sylgard 170 및 국내 해룡 실리콘(주)의 HR-NS-120이었으며, 이들은 모두 주제(base, part A)와 경화제(hardener, part B)의 2성분으로 나누어 공급되는 부가형 2성분형 액상 실리콘고무로서 사용직전에 주제와 경화제의 무게비율(또는 부피비율)을 1 : 1로 균일하게 혼합하면 상온에서도 완전히 경화가 되나, 가열하면 보다 빠르게 경화된다. 점도가 낮은 HR-NS-120은 보강제인 실리카의 함량이 무게비율로 38%이며, Sylgard 170은 43%이다. 중성자 차폐재의 수소원자 밀도를 증가시키기 위한 목적으로 사용된 폴리프로필렌은 호남정유에서 생산되는 것으로 입자가 100/200 mesh이었다. 그리고 붕소는 저속 혹은 열중성자에 대한 차폐효과가 크기 때문에 붕소화합물 중에서 중성자 차폐재에 가장 많이 사용되는 탄화붕소(B_4C)를 사용하였다. 특히 탄화붕소는 붕소함량이 많기 때문에 열중성자 포획면적이 넓고, 중성자로 조사할 때에도 고준위의 2차 방사선이나 장수명 2차 부산물을 발생시키지 않는 등 중성자 흡수재로서 이상적인 특징을 많이 갖고 있는데, 본 실험에서는 Union Carbide사의 325 mesh의 구형인 B_4C TS-5071을 사용하였다. 수산화알루미늄은 차폐재에 유독가스를 발생시키지 않으면서, 난연성을 부여하고 자기소화성을 촉진시키는 것으로 알려져 있으며[10], 결정수형으로 약 35%의 물을 함유하고 있다. 또한 실리콘고무와 함께 고속중성자를 열중성자로 감속시키는 작용을 하는 수산화알루미늄은 일본 경금속(주)에서 생산되는 60/70 mesh의 구형인 건조 수산화알루미늄(B-53)을 사용하였다.

2-3. 분석

본 연구의 실험에서는 일정한 방사선 조사후 각 특성시험을 위한 시편들의 인장강도, 압축강도, 경도, 비중, 무게변화 및 차폐재의 주요 구성원소인 수소(H)함량의 변화를 측정하였다. 이들 값들의 재연성을 확인하기 위해서 각 시료에서의 분산 상태를 전자현미경으로 관찰하였으며, 측정값들의 표준편차는 0.15% 범위 내에 있었다. 인장시험은 Zwick Model 1446 인장시험기를 사용하였으며 Crosshead 속도를 500 mm/min로 일정하게 유지하면서 인장강도를 측정하였다. 시편은 KS M 6518-1986의 규격에 따라 아령형 3호형으로 제작하였으며, 한가지 시험값을 얻기 위하여 5개 이상의 동일한 시편을 만들어 각각의 인장강도를 측정하고 평균치를 그 재료에 대한 인장강도값으로 하였다. 압축시험은 MTS 25 ton 용량의 만능재료시험기를 사용하였으며 시험속도는 2 mm/min로 일정하게 유지하면서 압축강도를 측정하였으며, 시험시편은 38 mm (W)×51 mm(L)×38 mm(H) 크기의 알루미늄형틀에서 경화시켜 시편을 제작하였다. 경도시험은 Rex Durometer Model 1000인 스프링식 경도시험기(shore A 경도시험기)를 사용하여 측정하였다. 이 때 사용된 시편은 Φ29 mm×12.5 mm(H)의 크기가 되도록 SUS 판형틀에 의해 제작하였다. 경도를 측정할 때는 시험기의 누르는 바늘이 시험편 측정면에 수직이 되도록 가압면을 가볍게 접촉시켜 눈금을 읽고 한 가지 시험시편에 대하여 5개소의 측정값의 평균치를 그 시편에 대한 경도값으로 하였다. 주요 구성원소인 수소의 조사후의 변화량을 측정키 위한 수소원소 분석은 Perkin Elmer Model 240C Elemental Analyzer를 사용하여 분석하였다. 2-3 mg의 시료를 취하여 platinum boat에 넣고 산소 분위기의 970℃에서 연소시켰는데, 운반기체로는 헬륨가스를 사용하였다. 산소는 환원관을 지날 때 제거되고 수소는 H_2O로써 검출기에서 열전도도 측정에 의하여 분석된다. 또한, 각 차폐재시편에서 10개의 시료를 취하여 Sartorius Research RC 210P에 의해 비중값을 측정하여 그들의 평균값을 그 시편의 비중값으로 하였다.

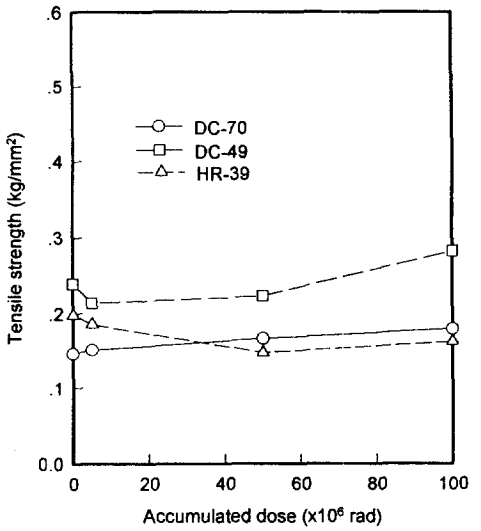

Fig. 3. Radiation induced tensile strength of shielding materials.

시료들에서 각 재료들의 분산 및 혼합상태 그리고 재연성을 확인하기 위하여 전자현미경에 의한 분산상태의 관찰을 하였는데, 재료의 최적 혼합시간은 10-15분 정도가 적당하였으며 이 때에 시료의 비중값의 표준편차는 1.583×10^{-3}-4.129×10^{-3} 정도로 그 재현성이 양호한 것으로 판단되었다.

3. 결과 및 고찰

고분자물질에 방사선을 조사하면 여러 가지 원자핵의 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 연구의 실험에서는 이 영향들을 규명하기 위하여 평균조사 선량률이 0.5 Mrad/hr인 HIGI를 사용하여 차폐재 시편에 방사선을 조사하였다. 또한 방사선 조사에 의한 인장강도 및 압축강도의 실험결과 평균값의 편차는 0.4-6.4% 정도의 범위였다.

3-1. 인장강도에 대한 영향

일반적으로 폴리머에 방사선을 조사하면 주쇄(main chain)의 절단, 측쇄(side chain)의 절단 및 분해가스의 발생과 불포화결합의 생성이 경쟁적으로 일어나며, 주쇄절단으로 생긴 말단의 자유라디칼은 서로 반응하여 불균등화 또는 재결합을 하며, 측쇄절단으로 생긴 자유라디칼은 서로 반응하여 절단 혹은 가교결합을 하게 된다[11, 12]. 따라서 방사선 조사선량이 차폐재 시편의 인장강도에 영향을 미치게 되는데 이를 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 방사선의 조사선량을 100 Mrad까지 증가시켰을 때, DC-70 차폐재의 인장강도는 점차적으로 약간씩 증가하는 경향을 보이고, DC-49 차폐재는 조사선량의 증가에 따라 인장강도가 처음에는 약간 감소하다가 다시 약간 증가하는 경향을 보였으나, HR-39 차폐재의

인장강도는 감소하는 경향을 나타내었다. 방사선 조사선량의 증가에따라 차폐재의 인장강도가 증가하는 이유는 주쇄의 절단보다는 측쇄에 생긴 자유라디칼간의 결합이 주로 일어나 망상구조를 이루는 가교결합수가 증가하기 때문으로 해석할 수 있다. 본 실험에서 기본소재로 사용한 실리콘고무의 기본구조는 폴리디메틸실록산(polydimethylsiloxane; $[(CH_3)_2SiO)_n]$으로, Si-O 구조를 갖고 있는데, 화학결합의 강도를 나타내는 결합에너지측면을 살펴보면 실리콘구조로 되어 있는 Si-O(101 Kcal/mole)의 결합에너지는 다른 구조를 이루고 있는 Si-C(50-80 Kcal/mole), C-C(83.2 Kcal/mole) 그리고 C-H(98.8 Kcal/mole)의 결합에너지보다 큰 것으로 알려져 있다. 이것은 Si-O의 전기음성도차가 크기 때문에 Si-O가 이온결합에 가깝게 되어 있어서 에너지적으로 안정화가 되어 있기 때문이라 알려져 있다[12]. 따라서 폴리디메틸실록산고무에 방사선을 조사하면 결합에너지값으로 볼 때 주쇄절단보다는 측쇄절단으로 생긴 라디칼의 가교결합이 우세하여 인장강도를 증가시키는 것으로 생각된다. 즉 첨가제의 양이 적고 실리콘고무가 주를 이룬 DC-70은 초기 가교결합인 C-C나 Si-O의 주쇄의 절단으로 생긴 주쇄라디칼의 재결합이 잘 이루어지며, 바로 이웃하는 생성된 측쇄라디칼의 가교결합이 잘 이루어지는 한편 첨가된 P.P와도 결합하여 조사선량의 증가에 따라 인장강도가 증가하는 것으로 판단된다. 그러나 실리콘고무가 DC-70 보다 적은 DC-49는 적은 양의 γ선 조사시에는 측쇄가교결합에 의한 인장강도의 증가 효과보다는 주쇄라디칼이 재결합을 하지 않고 불균등화반응으로 절단됨으로서 생기는 인장강도의 감소효과가 커서 전체적으로 인장강도는 감소되는 것으로 생각된다. 그러나 조사선량이 증가하면 가교결합이 활발해져 인장강도를 높이는 효과가 더 커서 인장강도가 증가되겠다. 한편으로 실리콘고무가 매우 적은 HR-39는 측쇄의 가교결합에 의한 인장강도의 증가 효과보다 주쇄절단라디칼이 첨가제에 의해 재결합이 방해되므로 불균등화반응이 주로 일어나 인장강도의 감소효과를 보다 더 크게 나타나게 하므로서 인장강도가 γ선 조사선량의 증가에 따라 인장강도가 감소하는 것이라 생각된다. 이와같이 차폐재를 구성하고 있는 고분자물질들이 방사선 조사에 의해 분해반응을 하거나 가교형성반응을 하는 것은 혼합고분자물질의 성분 및 특성, 첨가제 등에 의해 결정된다고 판단된다. 따라서 차폐재의 인장강도를 일정 수준이상으로 유지하기 위해서는 실리콘고무에서의 실리카함량의 조절이 필요하다고 하겠다. 실리콘고무의 기본물질에 탄화붕소를 첨가하여 제조된 외국산차폐재, Boraflex의 조사전의 인장강도는 0.11 kg/mm^2, 조사후(조사선량, 5×10^{10} rad), 0.28 kg/mm^{2}로 보고되었다[13].

3-2. 압축강도 및 경도에 대한 영향

방사선 조사선량이 고분자 차폐재의 압축강도 및 경도에 미치는 영향을 Fig. 4 및 5에 각각 나타내었다. Fig. 4 및 5에서 보는 바와 같이 방사선 조사선량이 100 Mrad까지 증가함에 따라 DC-70과 DC-49 고분자 차폐재들의 압축강도 및 경도의 증가 경향이 HR-39 보다 크게 나타났음을 알 수 있다. 이는 방사선 조사에 의하여 차폐재의 기본물질인 실리콘고분자의 측쇄절단으로 생성된 자유라디칼간의 가교결합이 HR-39 보다 DC-70과 DC-49가 우세하므로 압축강도 및 경도가 보다 더 증가하는 것으로 판단된다. 특히 폴리프로필렌이 첨가된 DC-70의 경우는 Fig. 4에서 보는 바와 같이 조사선량이 증가함에 따라 DC-49 차폐재보다 압축강도가 보다 더 증가하는데, 이는 폴리프로필렌과 실리콘폴리머사이의 가교결합도 함께 이루어지기 때문인 것으로 판단된다. 외국산차폐재, Boraflex

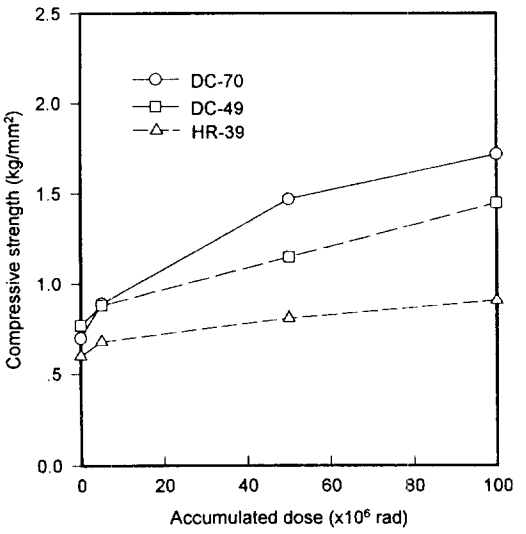

Fig. 4. Radiation induced compressive strength of shielding materials.

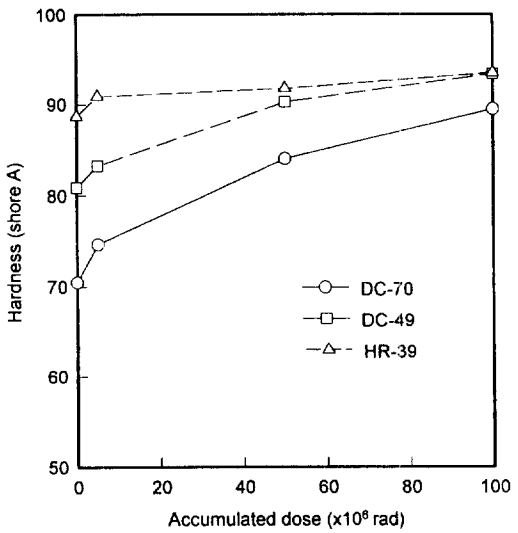

Fig. 5. Radiation induced hardness of shielding materials.

의 조사전의 압축강도는 0.17 kg/mm^2, 조사후(조사선량, 5×10^{10} rad), 0.45 kg/mm^{2}이고, 조사전의 경도는 87, 조사후는 95로 보고되었다[13].

방사선 조사선량의 증가에 따른 하중-변위관계를 Fig. 6에 나타내었다. 일반적으로 고분자물질은 방사선에 조사되면 분자구조가 절단됨으로서 약해지는 물질이 있는 반면에 가교결합을 하여 망상구조를 갖게 됨으로서 더욱 단단하게 되는 물질도 있는 것으로 보고되고 있다[13]. Fig. 6에서 보는 바와 같이 방사선 조사선량이 증가함에 따라 고분자 차폐재물질의 최대하중은 증가하는 반면에 하중에 대한 변위가 감소하는 경향을 나타내는데, 이는 가교결합에 기인된 것이며 단단한 중합체로 되기 때문인 것으로 판단된다. 이는 고분자 차폐재에 방사선이 조사되면 가교결합이 발달되어 차폐재가 더욱 고밀도화하는 경향을 나타낸다고 할 수 있다. 이와같은 차폐재의 고밀도화는 차폐재 내의 탄화붕소 결정립(grain)사이로 통과될 수 있는 중성자의 통과 확률을 줄일 수 있으므로 결국 중성자의 통과를 억제하는 효과를 가져올 수 있다고 하겠다. 실리콘고무를

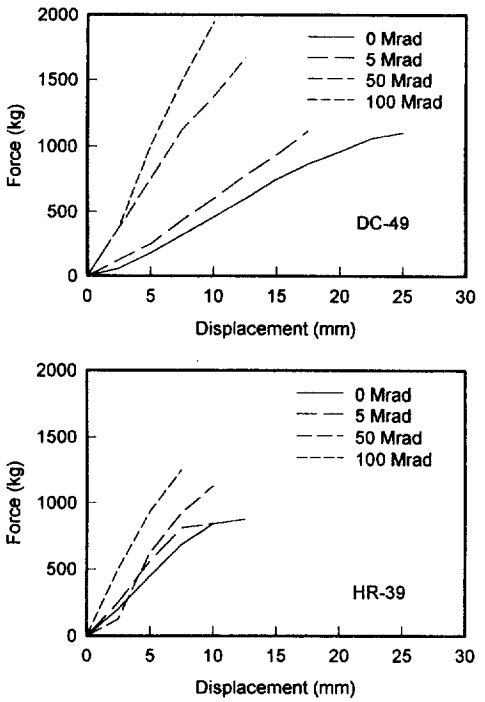

Fig. 6. Force-displacement curves for shielding materials.

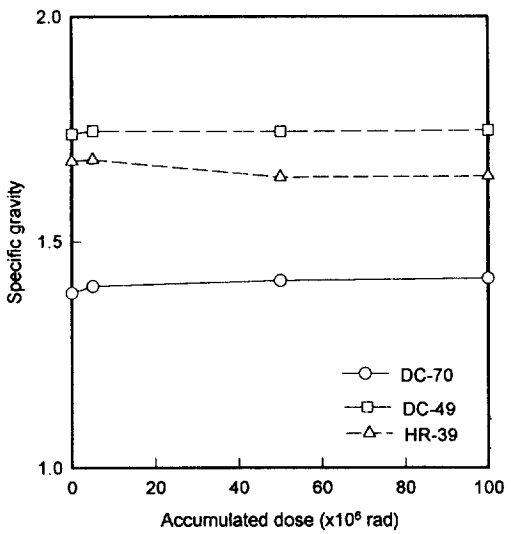

Fig. 7. Effects of radiation on specific gravities of shielding materials.

기본물질로 한 중성자 차폐재가 방사선 조사에 의하여 비중이 증가되어, 고밀도화됨으로써 중성자의 차폐능이 다소 향상된다는 연구의 결과들이 이를 입증한다고 볼 수 있다[13]. DC-49는 HR-39보다 최대 하중이 크며, 또한 하중에 대한 변위도 크게 나타났다[14].

3-3. 비중에 미치는 영향

방사선 조사선량이 고분자 차폐재의 비중에 미치는 영향을 Fig. 7에 나타내었는데, 이 그림에서 보는 바와 같이 방사선 조사량이 증가함에 따라 DC-70과 DC-49 차폐재의 비중에는 큰 변화가 없는 것으로 나타났다. 한편, 방사선 조사선량의 변화에 따른 고분자 차폐재의 무게변화를 Table 2에 나타내었다. Table 2에서 보는 바와

Table 2. Effects of radiation on weights of shielding materials

Dose	Shielding materials : weights(gm)								
	DC-70			DC-49			HR-39		
0 Mrad	104.62	104.79	105.17	130.07	129.94	128.95	125.97	127.05	126.87
5 Mrad	104.65	-	-	130.05	-	-	125.96	-	-
50 Mrad	-	104.89	-	-	129.95	-	-	127.06	-
100 Mrad	-	-	105.35	-	-	129.01	-	-	126.91

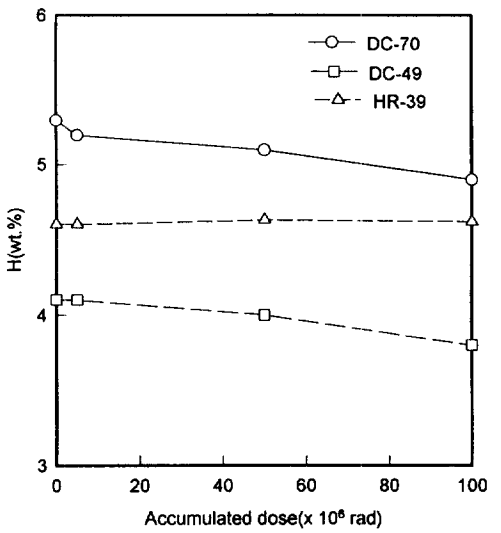

Fig. 8. Effects of radiation on hydrogen component of shielding materials.

같이 방사선 조사선량이 증가함에 따라 고분자 차폐재의 무게에는 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 이와같은 결과로부터 차폐재에 함유된 붕소 등의 첨가물들이 방사선의 조사량이 100 Mrad까지 되어도 큰 손실이 없다고 판단된다.

3-4. 수소함량 변화에 미치는 영향

방사선 조사선량이 고분자 차폐재의 수소함량 변화에 미치는 영향을 Fig. 8에 나타내었다. 중성자의 감속효과를 증가시키기 위해 수소원자밀도가 큰 폴리프로필렌을 첨가한 DC-70과 DC-49의 경우에는 방사선 조사선량의 증가에 따라 수소함량이 약간 감소하는 것으로 나타났으며, 실리콘고무의 함량이 적은 HR-39의 경우에는 수소함량이 거의 변화가 없는 것으로 나타났다.

DC-70과 DC-49의 경우 방사선 조사량의 증가에 따른 약간의 수소함량의 손실도 차폐재의 중성자 차폐성능에는 크게 영향을 미치지 못할 것으로 사료된다[13].

4. 결 론

이상과 같은 본 연구의 결과 다음의 몇 가지 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 중성자 차폐재의 기본물질인 실리콘고무에서의 실리카 함유량과 첨가물들의 혼합비율에 따라 차폐재의 분해 특성을 예견할 수 있었으며, 측쇄절단으로 생긴 가교생성반응이 우세한 DC-70, DC-49 차폐재는 방사선 조사선량의 증가에 따라 인장강도가 대체로 증가하는 반면에 주쇄절단의 영향이 큰 HR-39 차폐재는 인장강도가

감소하는 경향을 나타내었다.

(2) DC-70과 DC-49 차폐재들은 HR-39 차폐재보다 방사선 조사에 의해 보다 많은 가교반응으로 방사선 조사선량의 증가에 따라 압축강도와 경도가 크게 증가하는 경향을 나타내었다.

(3) 방사선 조사에 의해서 DC-70 및 DC-49 차폐재들이 고밀도화가 됨으로서 차폐효과가 증가될 것으로 판단된다.

(4) 방사선 조사선량이 DC-70, DC-49 및 HR-39 고분자 차폐재들의 수소함량과 비중 및 무게변화에는 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. Taniuchi, H., Iida, T., Matsuda, F. and Nagahama, H.: IAEA-SM-2861/135, 123(1987).
2. Japan Kokai Tokyo Koho: JP 80119099(1980).
3. Iida, T., Taniuchi, H. and Fujisawa, K.: RAMTRANS, 2, 79 (1991).
4. Maeda, M., Nagaoka, T., Fujitani, K. and Sakaida, T.: JP 86173198 A2(1986).
5. Wilski, H.: *Radiat. Phys. Chem.*, **29**, 1(1987).
6. Morita, Y., Hagiwara, M. and Kasai, N.: *J. Appl. Polym. Sci.*, **27**, 3569(1982).
7. Aleksander, J. P. and Ilhan, A. A.: *J. Am. Ceram. Soc.*, **72**(5), 775(1989).
8. Blakely, K. A., Gaffney, M. F. and Shaffer, P. T. B.: *Trans. Amer. Nucl. Soc.*, **34**, 199(1980).
9. Rack, H. J., Dupree, S. A. and Smugeresky, J. F.: SAND78-2317 (1979).
10. Japan Kokai Tokyo Koho: JP 82147095 A2(1982).
11. Sisman, O. and Parkinson, W. W.: Engineering Compendium on Radiation Shielding, Vol. II Shielding Materials, R. G. Jaegar and A. Hoenig, eds., Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 294(1975).
12. Silicone and Its Application, Japan Toshiba, Co. Ltd.(1988).
13. Burn, R. R. and Blessing, G. R.: *Trans. Amer. Nucl. Soc.*, **39**, 429(1981).
14. Spevens, M. P.: "Polymer Chemistry", Addison-Wesley Pub., New York(1975).