

2003년 추계학술발표회 논문집

한국원자력학회

이온교환수지의 고화체 안정화 특성연구

A Development of the Stabilization Technology for the Solid Form of Ion Exchange Resin

*김태국, 이영희, 강일식, 배상민, 안섬진, 이강무, 김길정, 손종식, 홍권표

한국원자력연구소

대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

본 연구에서는 고화보조제를 아스팔트에 첨가하여 전처리 공정없이 입상수지를 직접 고화처리 함으로서 시멘트 고화체처럼 형태안정성을 지니는 아스팔트 고화체를 제조하는 방법을 개발하고 이 방법에 의해 제조된 고화체의 침출특성을 평가하여 실제 방사성 폐이온 교환수지 처리에 적용함을 그 목적으로 하였다. 고화보조제는 방사성폐기물 포장 및 수집용으로 사용되어 폐기물로 발생되는 폴리에틸렌(PE) 필름을 재사용을 목적으로 사용하였다. 실험결과 고화보조제인 폴리에틸렌은 아스팔트와 폐수지가 혼합된 고화체내에서 가교역활을 하며 PE 함유량이 10 wt% 이상일 때 장기간 노출실험에서도 고화체 형태를 그대로 유지하였다. 최적조업조건은 폐수지의 함유량이 무게비로 40wt%이고 PE의 함유량이 10wt%이며 이때 고화체 내부에 수지입자의 밀도는 약 1.15g/cm^3 으로 균일하게 분포됨을 확인하였다. 실험은 폐이온교환수지를 분쇄 과정없이 도로포장용 직류아스팔트 60/70를 혼합하고 여기에 폴리에틸렌(PE) 필름을¹⁾ 고화보조제로 첨가함으로서 고화체의 균일성, 강도강화, 수분과 접촉시 고화체의 팽윤 및 침출을 최저로 하는 안정된 고화체를 개발 하였다.

Abstracts

In this study, a modified bituminization technology has been developed, which needs no grinding of the granular resin waste, and enables the solid form to keep its shape stability as good as that of a cemented solid form. Also, the study intended to apply the developed technology to the practical treatment of radioactive resin waste. In the experiment, the granular type resin was used and the straight-run distillation bitumen with penetration rate 60/70 was used as the solidifying agent. The PE was used as the additive. The shape stability increased remarkably with the additive of PE, which act as a binder in the solid form. The

shape of the solid form was maintained without failure during the long-term exposure test when the additive content of spent PE is more than 10wt %. The proper ranges of bitumen content, PE content and operating temperature are 30-50wt%, 10-20wt% and 180°C respectively. The bituminized solid form of radioactive resin waste by the technology of this study has the remarkably superior quality than the conventional solid forms, partially for the shape stability.

1. 서 론

액체폐기물 처리과정에서 발생하는 폐이온교환수지는 고화처리시 고화체내에 이온교환수지의 균일한 밀도를 가진 안정한 고화체로 만들어야 한다. 방사성액체폐기물 처리과정에서 발생하는 폐이온교환 수지는 주로 시멘트, 아스팔트, 고분자물질(Polymer)에 의하여 고화 처리되고 있다.²⁻⁵⁾ 시멘트 고화체에 비하여 아스팔트 고화체는 폐기물 감용율이 우수하고 방사성물질의 침출율이 낮다는 장점이 있다. 그러나 아스팔트 고화처리시 고화체내의 균일한 밀도를 만들기 위하여 폐수지의 경우에 분쇄와 같은 전처리공정을 거쳐야 한다. 또 폐수지로 고화 처리된 아스팔트 고화체는 안정한 형태로 장기간 저장이 어려울 뿐만 아니라 물과 접촉시 팽윤등으로 인하여⁶⁾ 방사성물질이 누출된다는 단점이 있다. 본 연구는 아스팔트고화와 관련된 국내외 연구현황을 문헌을 통하여 고화처리의 매질로 사용되는 아스팔트의 물리, 화학적성질 및 아스팔트이용과 아스팔트 고화체의 특성, 열 및 기계적 안정성 등을 조사하고 고화처리기술과 고화공정을 조사하였다. 이 문헌연구를 토대로 폐이온교환수지를 분쇄하는 전처리 과정을 없애고 처리함량을 최대로 하는 형태가 안정된 고화체를 제조하기 위하여 액체폐기물 처리시 이온교환공정에서 사용하고 있는 입상형 양이온교환수지에 도로포장용 직류아스팔트를 혼합하고 여기에 폴리에틸렌을 고화보조제로 첨가하였다. 실험결과 고화체내의 수지의 균일성, 강도강화, 수분과 접촉시 고화체의 팽윤 및 침전을 최저로 하는 안정된 아스팔트 고화체를 개발 하였다. 본 연구는 방사성액체폐기물 처리과정에서 발생하는 이온교환수지에 Poly Ethylene을 고화보조제로 사용하여 아스팔트로 고화처리 함으로써 장기간 저장에도 형태안정성이 유지되므로 안정성을 확보할 수 있었으며 고화시 폐수지의 함량을 높힘으로 감용율을 증대할 수 있고 방사성 폐이온교환수지의 제약 요건인 고화체의 불균일성, 수분과 접촉시 고화체의 팽윤 및 침출을 최저로 하는 안정된 아스팔트 고화체를 개발하고 고화체내의 불균일한 밀도분포등의 단점을 해소하므로써 고화체 안정성확보에 기여하고자 한다.

2. 실험 재료 및 방법

2.1. 실험재료

2.1.1. 아스팔트의 기계적, 유동학적 성질

아스팔트는 점성액체로서 또는 신축성 있는 고체로 행동하며, 이 두가지 형태사이의 중간적 행동도 관찰된다. 아스팔트는 열가소성이며 다양한 기계적 작용을 받기 쉽다. 이러한 성질은 원유의 상태와 증류공정의 과정에서 첨가하거나 아스팔트에 남아 있는 용매에 의해 영향을 받는다. 변형에 대한 기계적 저항성의 척도는 절대점도 단위인 poise로 측정될 수 있다. 아스팔트에 있어서 흐름은 순수액체 또는 뉴턴유체의 흐름에서 이탈하는 것이 일반적이며 소성(plastic)적 행동의 다양한 형태가 발견 된다. 어떤 상태하에서는 아스팔트에 탄성(elasticity)이 나타나는데 뉴턴유체 또는 의가소성 뉴턴유체에서 탄성은 렌트켄 효과 또는 충격에 대한 반작용으로서 나타난다. 이런 영향은 실질적 사용에서 다양하게 적용된다. 렌트켄 효과는 특히 동적인 충격이 높은 도로에서의 이용에 중요하다.

아스팔트의 가장 중요한 특성은 흐름 또는 유동학적 성질이다. 아스팔트는 순수한 점성적 흐름특성을 가지는 것과 소성적 흐름특성을 가지는 것으로 나눌 수 있다. 소성적 아스팔트(plastic bitumen)는 아스팔텐을 더 많이 함유하고 점성적 아스팔트(viscous bitumen)에서 만큼 잘 분산되지 않는다. 경험적인 실험이 아스팔트의 흐름특성을 측정하는데 이용되고 있으며, 가장 중요한 실험은 침입도와 연화점이다. 침입도와 경도는 서로 관련이 있는데 예를들면 침입도가 낮을수록 경도(hardness)는 더욱 더 커진다. 아스팔트는 침입도가 5 또는 그 이하에서 부터 300 이상까지 다양하게 침입도 등급을 생산한다. 침입도와 연화점은 아스팔텐 함유량과 관계가 있으며 점성적 아스팔트의 점도는 직접 측정하기는 어렵지만 아래식에 의하여 침입도로 부터 대략적인 값을 얻을 수 있다.

$$\text{점도(poise)} = \frac{5.31 \times 10^9}{(\text{침입도})^{1.93}}$$

다양한 목적에 비해 순수한 점성적 흐름 특성을 지닌 아스팔트는 적응성이 만족스럽지 못하다. 가장 단단한 점성적 아스팔트조차 작은 압력에도 시간이 지남에 따라 흐름이 있을 수 있다. 지붕을 이는 아스팔트는 흐름을 야기시키는 지붕의 경사때문에 작은 중력에 저항할 수 있는 소성적 아스팔트(plastic bitumen)를 쓰는 것이 좋은 예이다. 점성적 아스팔트에 공기를 불어 넣어 산화시킴으로서 소성적 아스팔트를 만들어 낸다. 이것은 수지성 분산매체의 함유량을 감소시키고 아스팔텐 함유량을 증가시킨다.

아스팔트의 압축성은 아스팔트-폐기물 고화체의 땅속 매립에 중요한 요소가 된다. 압력하에서 일정량의 순수 아스팔트의 부피변화는 온도에 따른 부피변화와 비교하여 상대적으로 적다. 아스팔트의 압축성은 $40 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{kg}$ 이고 1°C 당 열팽창 계수가 600×10^{-6} 이므로 온도 1°C 하강에 따른 부피변화는 압력에서 15 kg/cm^2 상승에 따른 부피변화량과 같다.

아스팔트 점도에 대한 압력의 영향은 아스팔트 형태에 의존하고 그 영향은 매우 클 수 있다. 뉴턴유체 처럼 행동하는 아스팔트에 1000 kg/cm^2 의 압력을 적용하면

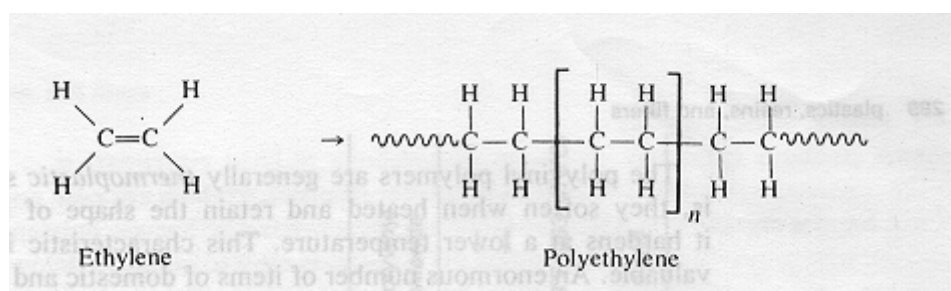
점도는 10^5 또는 방사선 저항성⁷⁾ 방사성폐기물의 아스팔트고화처리에서 α , β , γ 방사선에 대한 아스팔트 고화매질의 안정도는 결정적 중요성을 갖는다. 특히 안전하게 저장할 수 있는 아스팔트 매질내 최대 방사능양에 대한 문제로 귀착된다.

다양한 방사선원으로 내부와 외부에서 $1 \sim 700$ rad/sec 선량율로 조사했을때 아스팔트 물질의 방사선 저항성에 대한 연구는 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 총 선량이 10^9 rad 이하라면 아스팔트는 충분히 안정성을 갖는다.
 - 10^8 rad 흡수시 아스팔트 1g당 약 $0.5 \sim 1\text{cm}^3$ 의 H_2 발생 (25°C , 1기압)
 - 10^{10} rad 이상의 선량을 흡수한 아스팔트는 화학적구조가 파괴된다.
 - 10^7 rad의 조사는 단지 아스팔트 성질의 최소변화만을 일으킨다.
 - 총 조사선량이 같을 때 선량율이 감소하면 아스팔트 변화량도 감소한다.
 - 10^8 rad 이상의 선량에서 아스팔트가 단단해진다.
 - 방사선 분해에 기인한 부피증가는 산화아스팔트가 직류아스팔트보다 적다.
- 아스팔트의 물리적 성질을 요약하면 Table 1과 같다.⁸⁾

2.1.2. Polyethylene

폴리에틸렌은 포화지방족 탄화수소계 폴리머이며 화학적으로는 고분자량의 파라핀으로 볼 수 있다. 폴리에틸렌은 화학적으로 매우 안정된 플라스틱이며, 많은 약품에 잘 견디는데 할로젠이나 강산화성 물질에는 침식된다. 방향족 탄화수소 및 염화 탄화수소계의 용제는 70°C 이상에서 용해하지만 상온에서는 저항성이 있다. 폴리에틸렌의 성질은 밀도에 따라서 차이가 있는데 $0.91 \sim 0.925$ g/cm³을 저밀도 폴리에틸렌(LDPE), $0.926 \sim 0.94$ g/cm³을 중밀도 폴리에틸렌(MDPE), $0.941 \sim 0.965$ g/cm³을 고밀도(HDPE)로 분류한다. 수증기, 기체, 액체의 투과율은 밀도가 증가할수록 낮으며, 충격강도 또한 낮아진다. 밀도가 커지면 인장강도는 증가한다. 폴리에틸렌의 화학구조를 보면 다음과 같다.



폴리에틸렌은 일반적으로 열안정성은 좋은 편인데 산소에 접촉하지 않을 때는 290°C 까지 용융할 뿐 안정하며 300°C 이상에서는 분해를 개시한다. 연화온도는 저밀도 일때는 105°C , 고밀도일때는 124°C 정도이다. Table 2는 밀도에 따른 폴리에틸렌의 성질을 요약한 것이다.

실험에 사용된 폴리에틸렌은 농업용 필름제조에 주로 사용되는 저밀도 폴리에틸렌(LDPE)으로 사업적으로 제조된 칩형태를 사용하였다.

Table 1. Physical properties of Bitumen

Property	Value
Specific density	$1.04 \pm 0.03 \text{ kg}/\ell$ (at 25°C)
Coefficient of cubical expansion	$6.1 \times 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ (in the range $15 \sim 200^\circ\text{C}$)
Specific heat	$1.88 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
Thermal conductivity	$0.54 \text{ kJ}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{ }^\circ\text{C}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$
Permeability of H_2O vapour	$9.75 \times 10^{-11} \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$ (at 25°C)
Surface tension	$(29 \pm 1) \times 10^{-5} \text{ N}/\text{cm}$ (at 100°C)
Total surface energy	$51 \pm 0.1 \text{ } \mu\text{J}/\text{cm}^2$
Resistivity / conductivity	$10^{14} \Omega\cdot\text{cm}$ (at 30°C)
Dielectric strength	$20 \sim 30 \text{ kV}/\text{mm}$ (at 20°C ; flat electrodes)
Dielectric constant	2.7 (at 20°C)
Dielectric loss	$0.015 \tan \delta$ (50 Hz ; 20°C)
Viscosity	$10^3 \sim 10^{20} \text{ P}$ (in the range $50 \sim 0^\circ\text{C}$)
Heat combustion	$4.2 \times 10^4 \text{ J}/\text{g}$
Compressibility	$\approx 4 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{kg}$
Permeability of H_2 diffusivity	$\approx 3 \times 10^{-12} \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$ (at 25°C)

2.2. 실험장치 및 방법

방사성 페이온교환수지를 고화하여 고화체내의 수지의 균일성 및 고화체의 팽윤 등 안정된 아스팔트고화체를 개발하기 위하여 고화매질로 침입도 60/70의 낮은 침입도를 갖는 직류 아스팔트를 사용하였으며 저밀도 폴리에틸렌(LDPE)은 연화온도가 105°C 이므로 수지와 함께 혼합된 아스팔트에서 가교역활을 하여 쉽게 용융되며 아스팔트고화체를 장기간 저장시 수지의 침강 및 형태안정을 위하여 폴리에틸렌 필름을 고화보조제로 사용하였다. 또한 실험에 사용된 이온교환수지는 입상형 양이온수지를 분쇄하지 않고 실험에 직접 사용하였다. 회분식 Pot형 아스팔트 고화장치는 아스팔트 고화장치 중에서 가장 단순한 형태이며 폐기물에 포함된 입자의 크기가 미세하지 않아도 장치에 손상을 주지 않으므로 입자가 있는 폐기물에 적합하며 유지관리가 편리하다. 용량이 4ℓ인 실험장치의 반응기는 이중벽으로 만들었으며 교반모터는 RPM 조절이 가능하게 하였다. 혼합물이 용이하게 배출할 수 있도록 Mixer는 스크류 형태로 제작하였고 반응기의 뚜껑은 혼합시 증발되어 나오는 증기를 응축할 수 있도록 하였다.

Table 2. Properties of Polyethylene

Property	Low density	Medium density	High density
Compression moulding temperature	135 ~ 177℃	150 ~ 315℃	150 ~ 230℃
Density	0.91 ~ 0.925g/cm ₃	0.926 ~ 0.94g/cm ₃	0.941 ~ 0.965g/cm ₃
Tensile strength	- -	- -	18.61 ~ 24.82 MPa 2700 ~ 3600 lb/in ²
Water absorbance (24 h, 1/8 in thick)	<0.01%	<0.01%	<0.01%
Flammability(burn rate)	1.04 in/min	1.00 ~ 1.04 in/min	1.00 ~ 1.04 in/min
Average extent of burning	0.8 in	0.6 in	-
Average time of burning	<5 ~ 25 s	10 ~ 60 s	-
Effect of weak acid	Resistant	Very resistant	Very resistant
Effect of strong acid	Attacked by oxidizing acids	Attacked slowly	Attacked slowly
Effect of weak alkalies	Resistant	Very resistant	Very resistant
Effect of strong alkalies	Resistant	Very resistant	Very resistant
Effect of organic solvents	Resistant below 60℃ except to chlorinated solvents	Resistant below 60℃ except to chlorinated solvents	Resistant below 80℃

고화체의 형태안정, 점도, 팽윤상태 및 고화체내의 수지의 밀도분포 상태등 고화체의 특성을 규명하기 위하여 본 실험에서 고화보조제인 폴리에틸렌을 아스팔트에 대한 무게비를 기준으로 하고 수지의 함유율은 고화체 전체에 대한 무게비를 기준으로 하여 아스팔트, 고화보조제, 수지의 무게를 달아 반응기에 넣고 서서히 열매체유를 가열하여 실험온도인 180℃로 고정하였다. 제작된 실험장치를 이용하여 혼합하고 완전히 혼합된 혼합물은 각각의 실험항목에 맞도록 mold용기에 시료를 받았

으며 실온에서 24시간 냉각 시킨후 mold를 제거하여 실험을 수행하였다. 실험항목으로는 고화보조제 첨가량에 따른 혼합 및 혼합물 배출가능성을 관찰하고 대기중에 고화체시료를 장기간 놓아 고화체의 형태안정성평가 하였다. 폐수지 함량을 40wt%, 50wt%, 60wt%로 하고 PE의 양을 10wt%로 첨가하여 제조된 시료를 증류수에 일정 기간동안 침수시켜 팽윤을 및 침출을 관찰하였다. 또한 고화체내의 수지 밀도분포 상태규명을 위하여 고화체를 3등분하여 상중하의 밀도를 측정하였으며 ASTM D36의 Ring and Ball 방법을 사용하여 고화체의 점도를 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 고화체 혼합 및 배출조건

고화체 제조 조건으로 반응온도 180℃, 반응시간 60분, 교반기 회전수 250 rpm으로 고정하였다. 실험에 사용된 아스팔트와 폴리에틸렌의 용융온도는 각각 49℃ 와 105℃ 이므로 혼합물의 반응온도를 서서히 증가시키면 50℃ 전후에서 아스팔트

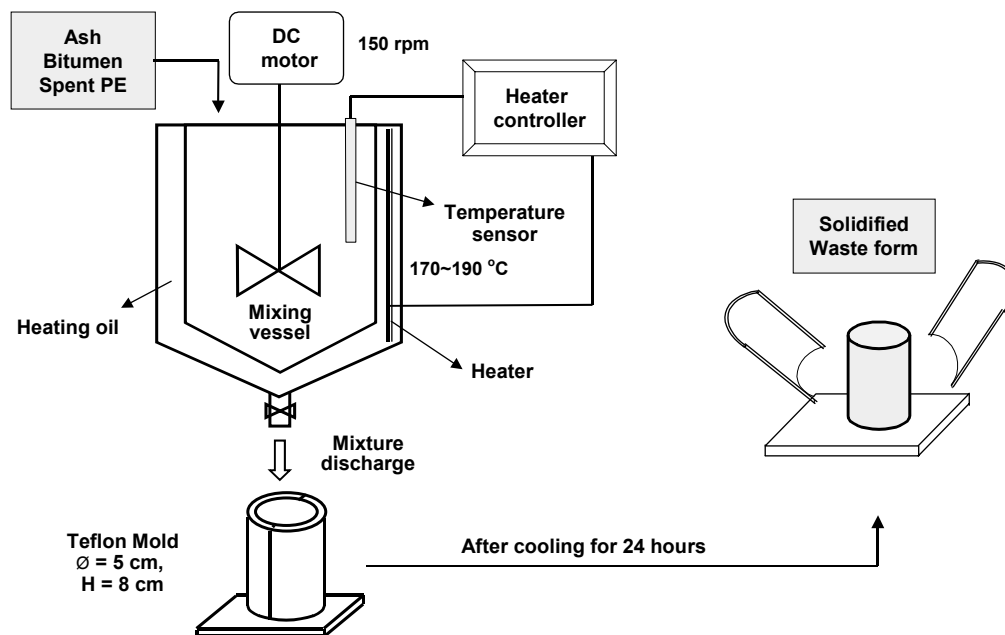


Fig. 1. View of heated mixing vessel and mixing blade for the production of laboratory scale asphalt waste forms

가 먼저 용융되기 시작하였고 100℃ 전후에서 폴리에틸렌이 용융되어 반응적정 온도인 180℃에서는 아스팔트와 폴리에틸렌, 폐수지가 완전히 혼합되었다. 폴리에틸렌의 함유율이 10wt% 이상으로 증가됨에 따라 폴리에틸렌의 용융속도는 더욱 증가하여 혼합은 짧은 시간내에 이뤄졌으며 이는 폴리에틸렌과 이온교환수지의 함유량이 증가할수록 PE와 아스팔트의 밀도차이에 의한 이온교환수지가 침강하는 부분적 상분리 현상이 없어지는 것으로 생각된다. 그러나 폐수지가 40wt% 이고 폴리에틸렌의 함유비가 25wt%를 초과하면 혼합물의 점도가 급격히 증가하여 Mixer 중앙부분으로 혼합물이 편중됨에 따라 혼합물배출이 잘 이뤄지지 않았다.

3.2. 연화점측정

아스팔트는 연화점이 낮아 상온에서도 고화체드럼으로 부터 미세한 공간을 통하여 아스팔트가 흘러나옴으로서 저장관리 측면에서 많은 문제점을 야기시킬 수 있다. 따라서 아스팔트에 PE를 첨가하면 고화체강도가 증가하고 연화점도 상승될것으로 판단되어 PE를 첨가한 고화체를 대상으로 Ring and Ball 방법에 의하여 연화점 측정시험을 수행하였다.

PE 함유율을 0wt%, 5wt%, 10wt%, 15wt%, 20wt%로 증가시키고 수지함량을 30, 40, 50, 60wt%로 변화시키면서 제조된 고화체의 연화점을 측정한 결과로서 수지함량과 PE함량이 증가할수록 연화점은 증가하였다. 이는 고화체내에서 PE가 아스팔트와 혼합되면서 체인고리 역할을 하여 고화체의 밀도분포를 균일하게 하고 강도를 증가시켜 연화점을 높혀 준다고 생각된다.

3.3. 밀도분포도

수지 입자는 아스팔트내에서 고화되는 동안 침전이 일어날 경우 불균일성으로 인해 고화체에 creak을 야기시킬 수 있다. 따라서 제조된 고화체를 실온에서 24시간 냉각후 3등분하여 상중하의 밀도를 측정하였다. 고화체내 수지밀도 분포도 실험에서는 폐수지 함유량이 40wt%이고 PE첨가 함유율이 0wt%, 5wt%, 10wt%, 15wt% 일 때 폴리에틸렌의 첨가량에 따라 고화체내의 수지 밀도분포를 측정 하였고 수지 함유량이 각각 40, 30wt%일때 PE첨가 함유율을 0wt%, 5wt%, 10wt%, 15wt% 로 변화시켰으며 PE함량을 5wt%로 고정하고 수지함량을 30, 40, 50wt%로 변화시키면서 제조된 고화체의 상중하의 밀도를 측정한 결과 PE첨가 함유율이 5wt% 이상 만되면 고화체내 수지의 밀도분포는 약 1.1-1.3g/cm³으로 균일하게 분포되었으며 폴리에틸렌 15wt% 첨가시 수지함량 40wt%의 고화체 밀도는 1.12g/cm³로 폐수지는 고화체내 상중하부분에서 매우 균일하게 분포되었다. 이것은 혼합물이 냉각되는 동안 PE가 아스팔트와 수지사이에서 가교역활을 하여 수지가 침강되는 것을 방지하는 것으로 판단된다. PE 함유율을 5wt%, 10wt%, 15wt%, 20wt%로 증가시키고 수지함량을 30, 40, 50, 60wt%로 변화시키면서 제조된 고화체의 밀도를 측정한 결

과로서 수지함량이 증가할수록 고화체의 밀도는 증가하나 PE함량이 증가할수록 밀도가 저하된다 이 원인은 저밀도의 PE가 많이 첨가될수록 고화체내의 전체적인 밀도는 낮아지는 결과로 생각된다.

PE이 아스팔트고화체내에서 어떤 역할을 하는가를 알아보기 위하여 Brookfield Viscometer와 ASTM Spindle을 사용하며 25℃ ~ 240℃까지 시료의 온도를 일정하게 유지할 수 있는 Thermocell System을 부착하여 점도를 측정하였으며 ASTM D5 의 방법으로 100g의 추가 부착된 바늘이 25℃ 실온에서 5초동안 침투한 깊이를 알아보는 침입도시험을 수행하였다. 아스팔트에 PE를 첨가하여 고화한 고화체를 SEM으로 찍어본 결과 아스팔트내부 및 표면에 PE가 실처럼 늘어져 화학적 결합이 아닌 물리적인 그물구조로 분포됨으로서 고화체의 형태안정, 팽윤저지, 균일한 밀도 분포, 연화점 및 압축강도를 높혀준다고 생각된다.

따라서 폴리에틸렌 함유량이 10wt% 이상이면 입상이온교환수지의 침전을 막을 수 있어 이온교환수지를 분쇄하지 않고도 고화체내 밀도분포가 균일한 고화체를 만들 수 있다. 고화한 폐수지의 함유량이 무게비로 40wt%이고 PE의 함유량이 10wt%일때 고화체의 형태는 장기간 유지되었으며 90일간 준유동법으로 Cs과 Co를 침출실험한 결과 고화체의 침출특성은 확산(diffusion) 으로 해석이 가능하였다.¹⁰⁻¹³⁾ 침출실험초기에는 다량의 이온들이 검출되었는데 이는 고화체 표면에 붙어 있는 많은 이온들이 용출된 것으로 보여지며 침출시작 4일 이후부터는 Cs과 Co의 침출은 거의 일어나지 않았다.

4. 결 론 및 기대효과

SK-1B 입상형 양이온교환수지에 폴리에틸렌을 첨가하여 아스팔트 고화한 “이온교환수지의 고화체 안정화 특성연구”에 관한 본 연구에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 폴리에틸렌과 이온교환수지의 함유량이 증가할수록 PE와 아스팔트의 밀도 차이에 의한 부분적 상분리 현상이 없어지며 혼합시간도 짧아졌으며 침수실험에서 이온교환수지 함유량(건조기준)이 40w%일 때 전혀 팽윤이 없어 고화체내에 폐수지의 함량을 증가시켜 처리할 수 있었다.
2. 폴리에틸렌 함유량이 10wt% 이상이면 입상이온교환수지의 침전을 막을 수 있어 이온교환수지를 분쇄하지 않고도 고화체내 밀도분포가 균일한 고화체를 만들 수 있다.
3. 침수실험에서 이온교환수지 함유량(건조기준)이 40w%일 때 전혀 팽윤이 없었으며, 50w%일 때 표면이 조금 팽윤되며, 60w%일 때 전체적으로 팽윤이 일어났다. 또한 이온교환수지의 이온치환기가 방사성핵종으로 포화될수록 적게 팽윤되었다.
4. 폴리에틸렌 함유량이 10wt% 이상이면 고화체의 장기적 형태안정성을 유지하

였으며 고화체 전체면을 노출하는 침출시험도 가능하였으며 이온교환수지 아스팔트 고화체의 침출 메커니즘은 확산(Diffusion) model로 해석되며 침출 저항성이 매우 높은 것으로 판명되었다.

본 연구결과를 토대로 방사성액체폐기물 처리과정에서 발생하는 폐이온 교환수지에 PE를 고화보조제로 사용하여 아스팔트고화 처리하면 고화체 품질은 다음과 같이 기대된다.

- 형태안정성이 우수하므로 장기 저장시 안정성을 확보할 수 있다.
- 아스팔트 고화체에 별도의 공학적 보강이 불필요하다.
- 고화시 폐수지의 함량을 높힘으로 감용율을 증대할 수 있다.
- 시멘트고화처리를 대체할 수 있는 향상된 방법이다.
- 아스팔트 고화체의 장기 침출특성을 예측할 수 있다.

참 고 문 헌

1. IAEA, "Immobilization of low and intermediate level radioactive wastes with polymers", technical Reports Series No. 289, (1988)
2. Hoberg, A. J., watson, C. D., and West, G. A., "An evaluation of asphalt and other materials for lining radiochemical waste storage basins", ORNL- 2508, P. 50 (1958).
3. Rodier, J., Scheidhauer, J., and Malabra, F., "The conditioning of radioactive waste by bitumen", CEA-1992, P.23 (1961)...
4. Hild, W., Kluger, W., and Krause, H., "Bituminization of radioactive wastes at the nuclear research center karlsruhe-experience from plant operation and development work", ISBN 92-64-01509-4, P. 129-145 (1976).
5. Eschrich, H., "The bitumination of radioactive waste solutions at Eurochemic", ISBN 92-64-01509-4, P. 26-55 (1976).
6. IAEA, "Bituminization of radioactive wastes", *Technical reports series No.* 116 (1970).
7. Doyle, R. D., and Rastberger, S. B., "Operating a transportable volume reduction and solidification system", ANS 53, P. 126-127, 1986
8. Burns, R. H., "Solidification of low-and intermediate-level wastes", atomic energy review 9, P. 547-599, 1971