Journal of the Korean Ceramic Society
Vol. 25, No. 2, pp. 101 ~ 110, 1988.

저·중준위 방사성 폐기물의 고화처리 및 처분용 용기 개발을 위한 기초연구(I)

홍원표·정수영*·황의환·조헌영·김철규
충남대학교 화학공학과
*충남대학교 건축공학과
(1987년 11월 3일 접수)

A Basical Study on the Preparing of Container Used for Treatment and Disposal of Low-and Intermediate-Level Radioactive Wastes (I)

Won-Pyo Hong, Soo-Young Jung*, Eui-Hwan Hwang, Hun-Young Cho and Chul-Gyu Kim.
Dept. of Chem. Eng., Chung Nam National Univ.
*Dept. of Archi. Eng., Chung Nam National Univ.
(Received November 3, 1987)

요 약

원자력 발전소에서 폐기되는 각종 중·저준위 방사성 폐기물의 처리 및 처분용 콘크리트 용기를 개발하기 위한 기초연구로서, 보통 포틀랜드 시멘트, 수밀성 포틀랜드 시멘트 및 에폭시-포틀랜드 시멘트로 각종 콘크리트 공시체를 제작하여, 방사성 폐기물 처분용기에 요구되는 특성 즉 강도, 수밀성, 내산성, 동결융해 저항성, 내화성 및 감마선 차폐시험 등에 대하여 실험한 결과 에폭시-포틀랜드 시멘트 콘크리트가 가장 우수한 물성을 나타내었으며 또한 수밀성 포틀랜드 시멘트 콘크리트도 보통 포틀랜드 시멘트 콘크리트에 비하여 우수한 물성을 나타내었다.

ABSTRACT

In order to improve the physical properties of concrete used for treatment and disposal container of low-and intermediate-level radioactive wastes, OPC (ordinary portland cement), ACPC (asphalt coated portland cement) and EPC (epoxy-portland cement) concrete specimens were prepared, and the physical properties of each concrete specimen were tested.

According to the experimental results, EPC concrete showed better physical properties than ACPC and OPC concrete, however, ACPC concrete proved to be a best material for treatment and disposal container of radwastes in view of economic aspect and physical properties.

1. 서 론

우리나라의 원자력 발전소에서 발생되는 각종 저·중준위 방사성 폐기물은 대게 시멘트등으로 고화처리[1,2]하여 철재드럼 속에 넣어 원자력 발전소내 저장고에 임시 저장하고 있으나 그중 일부는 심한 부식현상을 일

으켜(1호기 폐기물 팩키지) 영구처분 하려면 또 다른 처분용기에 옮겨서 처분해야 하는 어려움이 있다. 방사성 폐기물의 처분용기는 용기내에 수용된 방사능이 자연소멸되어 주위 환경을 오염시키지 않도록 해야 하므로 300년은 안전하게 유지 되어야 한다. 이러한 내구성을 갖는 방사성 폐기물의 처리 및 처분용 용기를 개발하기 위하여 일본등에서는 강섬유를 보강한 콘크리트 용기를 만든 다음 모노머를 함침시키고 중합하는 이른바 강섬유보강 폴리머함침 콘크리트 용기[3~5] (SFPIC : Steel Fiber Reinforced Polymer Impregnated Concrete)를 개발하여 실용화 과정에 있다고 보고되고 있다. 그러나 이 용기는 제작과정이 복잡하고 고가이기 때문에 실용화에는 여러가지 문제점이 제기되고 있다

방사성 폐기물 처분용기로서 갖추어야 할 특성을 IAEA에서 제시한 일반적인 요구사항, 방사성물질등의 포장 및 운반에 관한 규정[6], 처분장에서의 처분최소요건[7]을 감안하여 살펴보면 기계적강도(압축, 인장, 충격강도등), 수밀성, 내화성, 내구성, 내약품성 및 차폐기능이 우수해야 한다.

본 연구에서는 상기와 같은 특성을 갖춘 방사성 폐기물의 처리·처분용 용기를 개발하는데 있어 기초자료를 얻기 위하여 수밀성 포틀랜드 시멘트[8,9](asphalt coated portland cement, 이하 ACPC라 칭함), 에폭시-포틀랜드 시멘트[10](epoxy-portland cement, 이하 EPC라 칭함) 및 보통 포틀랜드 시멘트(ordinary portland cement, 이하 OPC라 칭함) 콘크리트로 각종 공시체를 제작하여 처분용기에 요구되는 특성 즉 강도, 수밀성, 내산성[11], 내화성, 동결융해 저항성 및 감마선 차폐시험등을 수행하였으며 그 결과를 보고하고자 한다.

2. 실 험

2.1 실험계획

2.1.1 에폭시 바인더(epoxy binder)의 첨가량 증가에 따른 콘크리트의 물성변화에 대한 배합설계[10]

에폭시 바인더/시멘트 비와 물/시멘트 비의 합이 항상 50%가 되도록 물/시멘트 비를 50%에서 20%까지 5%씩 감소시킴에 따라 에폭시 바인더/시멘트비는 0%에서 30% 까지 5%씩 증가시켜 표1과 같이 배합설계 하였다.

2.1.2 에폭시 바인더와 강섬유를 보강한 콘크리트의 배합설계[12]

표2에서 보는 바와 같이 OPC, ACPC, EPC를 사용하여 강섬유를 혼입하지 않은 3종의 배합(OI, AI, EI)과 강섬유를 각각 1%(OⅡ, AⅡ, EⅡ), 2%(OⅢ, AⅢ, EⅢ) 혼입한 6종의 배합등 총 9종에 대하여 배합설계를 하였다. 배합설계는 슬럼프치를 10 cm로 고정시키기 위하여 강섬유의 혼입량이 많아 질수록 잔골재율을 높였으며 에폭시 바인더의 량은 이미 실시한 표1의 실험결과로부터 20%를 넣어 배합설계 하였다.

2.2 실험재료

2.2.1 시멘트

본 실험에 사용한 시멘트는 국내 S사 제품인 보통 포틀랜드 시멘트이며 그 화학적조성과 물리적 특성은 표3, 표4와 같다.

2.2.2 아스팔트와 카본블랙

아스팔트는 대한석유공사 제품의 Straight Asphalt를 사용하였으며, 카본블랙은 국내 L사 제품의 안료용을 사용하였다.

Table 1. Mixing Proportion of Concrete.

No. of sample	W/C (%)	resin/cement (%)	slump (cm)	resin (kg/m³)	water (kg/m³)	V(l/m³)			W(kg/m³)		
						C	S	G	C	S	G
OI	50	0	8	0	167	106	266	451	334	673	1168
EI	45	5		16 70	150. 3	106	266	451	334	673	1168
EⅡ	40	10		33. 40	133. 6	106	266	451	334	673	1168
EⅢ	35	15		50. 10	116. 9	106	266	451	334	673	1168
EⅣ	30	20		66. 80	100. 2	106	266	451	334	673	1168
EV	25	25		83 50	83. 5	106	266	451	334	673	1168
EⅥ	20	30		100. 20	66. 8	106	266	451	334	673	1168

2.2.3 에폭시 수지와 경화제

에폭시 수지는 비스페놀계 수지를 사용하였으며, 경화제는 폴리아마이드계 수지를 사용하였다.

2.2.4 유화제와 소포제

유화제는 국내 D사 제품의 비이온성 Emulon-EPO-I을 사용하였으며, 소포제는 실리콘 계통의 것을 사용하였다.

2.2.5 골 재

굵은 골재는 비중이 2.59 g/cm³, 최대칫수가 15 mm 이내의 것을 사용하였으며, 잔골재는 비중이 2.53 g/cm³, 최대칫수가 2.5 mm 이내의 것을 사용하였다.

2.2.6 강섬유

인장강도 70~80 kg/mm², 직경 0.5 mm, 길이 30 mm의 것을 사용하였다.

2.2.7 감마선 선원

Co-60의 1 Ci 급 선원을 사용하였다.

2.3 실험방법

2.3.1 ACPC의 제조

특수교반기가 부착된 아스팔트 코팅용 장치내부에 시멘트 중량의 0.25 %량의 아스팔트를 첨가한 시멘트를 넣고 450 rpm으로 30분 정도 교반시키면 시멘트 자체의 마찰열에 의하여 온도가 120 ℃정도 상승되면서 코팅이 완료된다. 코팅이 끝나면 시멘트 중량의 0.35 % 카본블랙을 첨가하고 다시 10분간 교반하여 ACPC를 제조하였다.

2.3.2 에멀젼 에폭시의 제조

에폭시 수지를 교반용 3구 플라스크에 넣은 다음에 폭시 수지량의 7.5 % 유화제와 0.5 % 소포제를 넣고 300 rpm으로 20분간 교란하면서 적정량의 물을 첨가하여 균일하게 유화시켰다.

2.3.3 슬럼프 및 공기함유량 측정 시험

슬럼프는 KS F 2402, 공기함유량은 KS F 2421에 의하여 측정하였다.

2.3.4 압축 및 인장강도 시험

KS F 2403에 따라 제작하고 양생한 공시체를 압축강도는 KS F 2405, 인장강도는 KS F 2423에 의하여 측정하였다(단, 에폭시 수지를 첨가한 공시체는 공기중에서 양생하였다.).

2.4.5 내산성 시험

5 % 황산수용액에 KS F 2403에 의하여 제작하고 양생(28일)한 압축강도용 공시체를 2개월 침적한 다음 중량변화와 압축강도변화를 측정하였다.

2.4.6 내화성 시험

KS F 2403에 의하여 제작하고 양생(28일)한 압축강도용 공시체를 800 ℃의 등유 화염속에 30분간 받

Table 3. Chemical Compoents of Portland Cement.

CaO (%)	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	MgO (%)	SO_3 (%)	Insoluble (%)	Ign. loss (%)
63.0	21.7	4.6	3.60	2.2	2.0	0.4	2.3

Table 4. Physical Properties of Portland Cement.

Specific gravity	Blaine (cm²/g)	88 Residue (%)	Soundness	Time of setting	
				initial (min)	final (min)
3.15	2.982	2.8	good	160	380

Table 2. Mixing Proportion of Concrete.

Mixing proportions of concrete															Ramarks
No. of sample	W/C (%)	Slump (cm)	S/a (vol%)	water (kg/m³)	epoxy binder/cement (wt%)	epoxy binder/F.C (kg/m³)	steel fiber/F.C (vol %)	steel fiber/F.C (kg/m³)	V(l/m³)			W(kg/m³)			F.C: fresh concrete
									C	S	G	C	S	G	
OI	50	10	48.3	206	0	0	0	0	132	319	342	412	807	886	
OII	50	10	58.2	226	0	0	1	78.5	145	368	264	452	932	683	
OIII	50	10	77.8	248	0	0	2	157	159	431	123	496	1091	318	
AI	50	10	48.3	206	0	0	0	0	132	319	342	412	807	886	
AII	50	10	58.2	226	0	0	1	78.5	145	368	264	452	932	683	
AIII	50	10	77.8	248	0	0	2	157	159	431	123	496	1091	318	
EI	30		48.3	123.6	20	82.4	0	0	132	319	342	412	807	886	
EII	30		58.2	135.6	20	90.4	1	78.5	145	368	264	452	932	683	
EIII	30		77.8	148.8	20	99.2	2	157	159	431	123	496	1091	318	

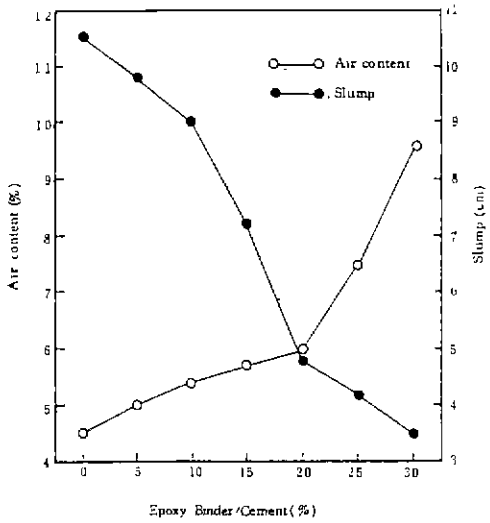

Fig. 1. Variation of air content and slump of fresh concrete with the addition ratio of epoxy binder.

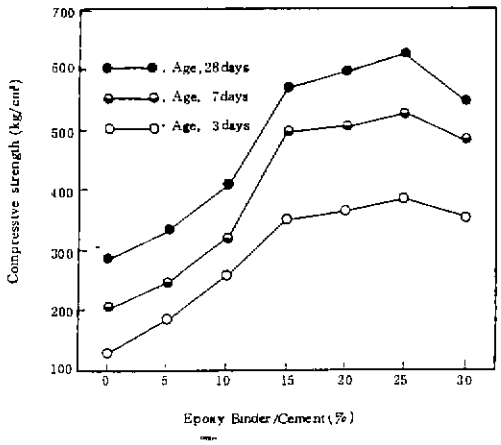

Fig. 2. Development of compressive strengh with the addition ratio of epoxy binder.

치한 후에 중량변화, 압축강도변화를 측정하였다.

2.4.7 투수시험

중공원통형 공시체를 각 종류당 3개씩 제작하고 양생(7일, 28일)한 다음 공시체의 외측에서 수압을 가하여 시험하였다.

2.4.8 동결융해 시험

7.5 cm×7.5 cm×35 cm의 각주 몰드를 사용하여 KS F 2403에 따라 공시체를 만들고 양생한 다음 KS F 2456 에 의하여 측정하였다.

2.4.9 감마선 차폐시험

감마선 선원 앞에 콘크리트 차폐체를 놓고 선원으로부터 1 m 떨어진 지점에서 선량율을 측정하여 차폐효과를 구하였다

3. 결과 및 고찰

3.1 에폭시 바인더의 첨가량이 콘크리트의 물성에 미치는 영향

표 1 과 같이 물/시멘트비를 5 %씩 감소시킴과 동시에 에폭시 바인더/시멘트비를 5 %씩 증가시켜 배합하였을때 굳지 않은 콘크리트의 공기함유량과 슬럼프 변화를 그림 1에 또 그때의 압축강도 변화를 그림 2에 각각 나타내었다. 그림 1에서 에폭시 바인더의 첨가량이 증가함에 따라 공기함유량은 증가하는 반면 슬럼프 값은 감소하는 현상을 나타내고 있다 에폭시 바인더의 첨가량 20 %를 기점으로 하여 공기함유량은 서서히 증가하다가 20 %를 넘어서면 급격히 증가하는 반면 슬럼프 값은 비교적 급격히 감소하다가 20 %를 넘어서면 서서히 감소하는 현상을 보여주고 있다. 이것은 에폭시 바인더가 공기연행제와 같은 작용을 하면서 점성이 커서 엉겨 붙게 하는 성질이 있기 때문으로 생각된다. 결국 에폭시 바인더의 첨가량이 20 %를 넘게되면 공기연행이 과다하게 되고 시공성이 저하하게 되므로 적정량을 20 %이하에서 결정하게 되는 것이 좋으리라 생각된다. 그림 2에서 에폭시 바인더의 첨가량이 증가함에 따라 3일, 7일, 28일 양생한 콘크리트 공시체의 압축강도는 에폭시 바인더 첨가량 15 % 까지 상당히 흔족으로 증가하고 15～25 % 사이에서 완만히 증가 하다가 25 %를 넘게되면 오히려 감소되는 현상을 보여주고 있다. 이와같은 현상으로부터 매트릭스와 계면결합력을 증진시키는데 필요한 에폭시 바인더의 적정량은 15 %～20 %라는 것을 알 수 있다. 에폭시 바인더 25 % 이상에서 강도감소 현상이 나타나고 있는데 이것은 시공성이 불량하고 공기량이 과다하게 되기 때문으로 생각된다.

3.2 에폭시 바인더와 강섬유를 보강한 콘크리트의 특성

3.2.1 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프 및 공기함유량 특성

그림 3에서 보는 바와 같이 강섬유의 혼입량이 증가할수록 3종류의 굳지 않은 콘크리트 모두 슬럼프치는 감소하나 예인되는 공기량은 증가하는 현상을 볼 수 있다. 이러한 현상은 강섬유의 혼입에 의해 시공성이 불량하게 되고 갇힌 공기가 증가되기 때문으로 생각된

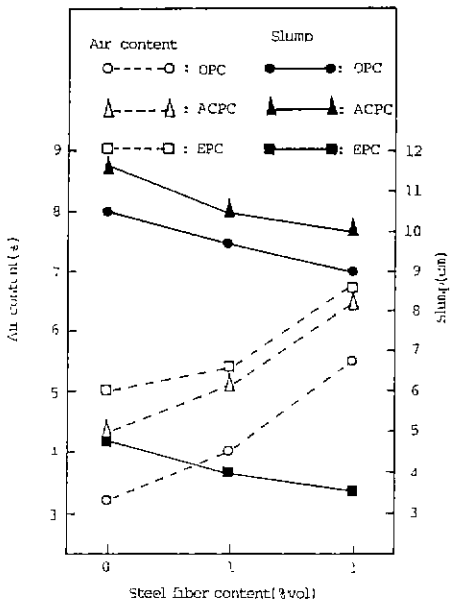

Fig. 3. Variation of air content and slump with the increase of steel fiber content.

다. 아스팔트나 에득시 바인더의 첨가에 의하여 공기 함유량이 증가되고 있음을 알 수 있는데 이것은 첨가한 수지가 공기연행제 또는 표면활성제[10]로서의 역활을 하기 때문으로 생각된다.

3.2.2 경화 콘크리트의 압축 및 인장강도 특성

강섬유의 혼입량에 따른 압축 및 인장강도 특성을 그림 4, 그림 5에 각각 나타내었다.

그림 4에서, 강섬유를 1% 혼입하였을 경우의 압축강도는 혼입하지 않았을 경우의 압축강도보다 3종류의 콘크리트 모두 약간씩 증가하나 2% 혼입하였을 경우의 압축강도는 감소함을 알 수 있다. 강섬유를 2% 혼입하였을 경우 압축강도가 감소되는 이유는 강섬유에 의한 보강효과 보다는 갇힌 공기량의 증가에 따른 강도감소현상과 시공성의 불량으로 치밀한 공시체를 제작하지 못하였기 때문으로 생각된다. 그러나 인장강도는 압축강도와는 달리 그림 5에서 보는 바와 같이 강섬유의 혼입량이 증가 될수록 훨씬 증가됨을 알 수 있다. 강섬유의 혼입량이 많아 질수록 인장 강도가 증가되는 것은 콘크리트 속에서 매트릭스를 구속[13]하고 있는 강섬유가 인발되는데 상당한 에너지를 흡수하기 때문으로 생각된다.

3.2.3 강섬유의 혼입량이 수밀성에 미치는 영향

투수시험 공시체를 7일 양생하여 10 kg/cm²의 수압에서 24시간 시험한 결과, ACPC와 EPC의 공시체는 전혀 투수가 되지 않았으나 OPC 공시체는 투수

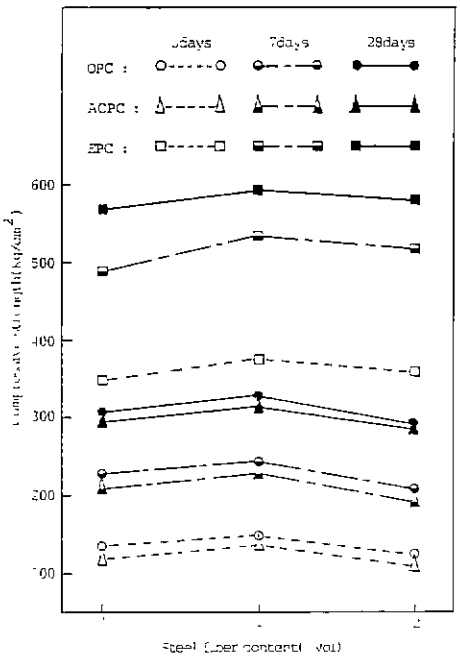

Fig. 4. Variation of compressive strenght with the increase of steel fiber content.

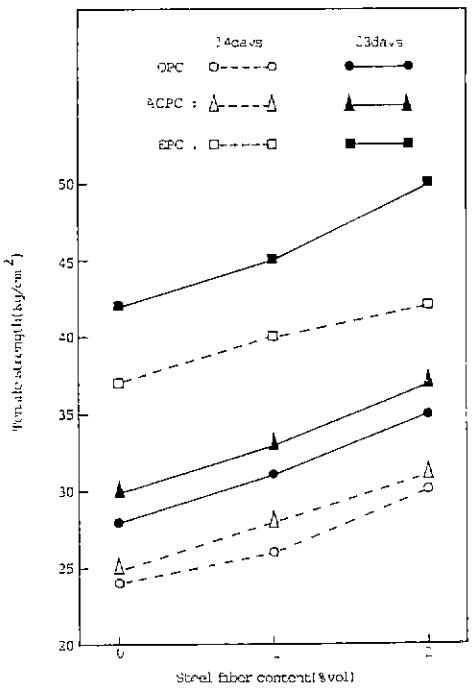

Fig. 5. Variation of tensile strength with the increase of steel fiber content.

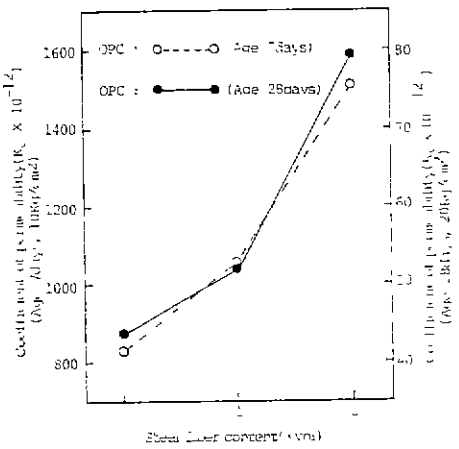

Fig. 6. Influence of steel fiber content on permeability coefficient of OPC concrete specimen.

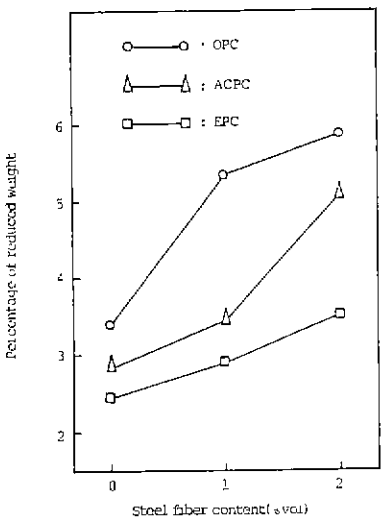

Fig. 7. Variation of reduced percentage of specimen weight after sulphuric acid immersion test.

가 되었다. 그림 6에 OPC 공시체의 투수계수를 나타내었다. 7일 양생하여 10 kg/cm² 의 수압에서 시험하였을 때의 투수계수가 28일 양생하여 20 kg/cm² 의 수압에서 시험하였을 때의 투수계수 보다 대략 20배 정도 큰 것을 알 수 있으며 강섬유의 혼입량 증가에 따라 투수계수가 상당히 증가됨을 알 수 있다. 강섬유의 혼입에 의하여 수밀성이 저하되는 이유는 강섬유를 혼입하는 과정에서 갇힌 공기가 많이 형성될 뿐만 아니라 강섬유에 의한 작업성 분량으로 치밀한 공시체의 제작이 어렵게 되고 또한 강섬유와 매트릭스간에 간격이 생길 가능성이 증대되기 때문으로 생각된다. ACPC와 EPC 콘크리트가 수밀성이 우수한 이유는 콘크리트의 경화과정에서 발생되는 응력을 수지가 완충함으로서 크랙발생을 막아주고 또한 콘크리트 속에서 수많은 누적층을 형성하여 공극과 공극의 연결을 차단하는 역할을 하기 때문으로 생각된다.[14]

3.2.4 황산 수용액에 대한 내산성

콘크리트 공시체를 5% 황산 수용액에 2개월간 침적한 후의 중량감소율 및 압축강도 감소율을 그림 7, 그림 8에 각각 나타내었다. 그림 7에서, OPC 공시체가 중량감소가 가장크고 ACPC가 중간이며, EPC가 가장 적게 일어나고 있음을 알 수 있다 수지침가에 의하여 중량감소가 적게 일어나는 것은 내산성이 우수한 아스팔트나 에폭시 수지가 콘크리트 속에서 누적층[5,10]을 이루고 있어 산과의 접촉을 차단함으로서 반응이 억제되기 때문으로 생각된다. 또 강섬유의 혼입에 의하여 중량감소가 크게 일어나는 것은 강섬유에 의하여 갇힌 공기가 콘크리트 속에 많이 형성 됨으로써

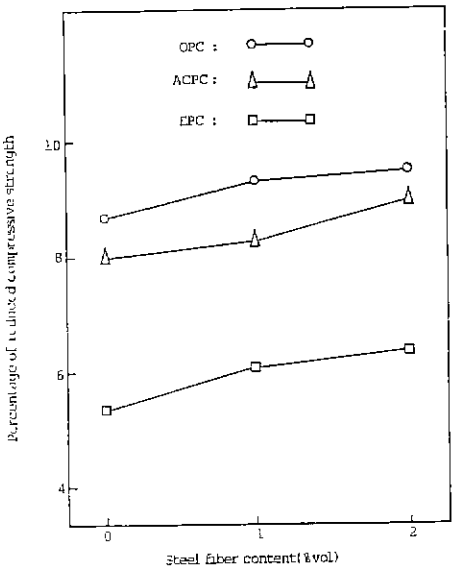

Fig. 8. Variation of reduced percentage of compressive strength after sulphuric acid immersion test.

치밀한 조직을 이루지 못하였으며 산에 노출된 강섬유를 따라 반응이 촉진되기 때문으로 생각된다 압축강도 감소율도 중량감소율과 비슷한 특성을 보여주고 있음을 알 수 있다.

3.2.5 화재에 의한 콘크리트의 중량 및 강도변화 특성

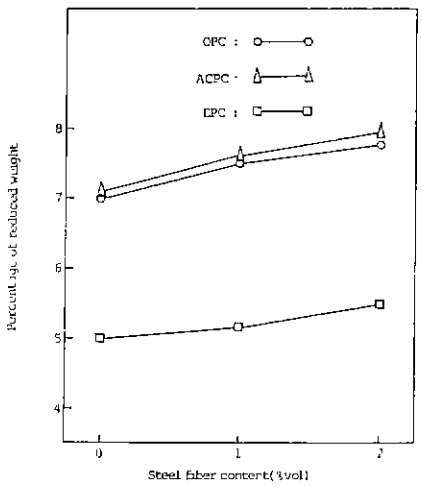

Fig. 9. Variation of reduced percentage of specimen weight after flame test.

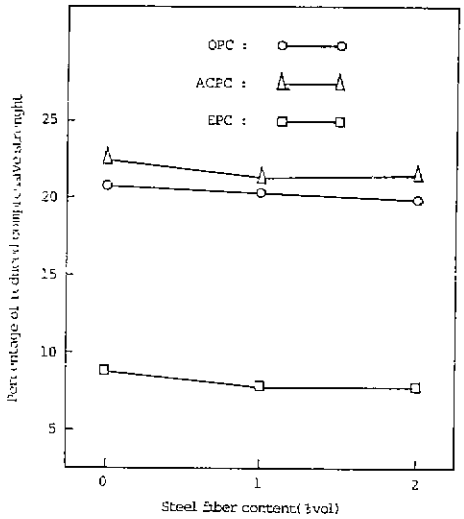

Fig. 10. Variation of reduced percentage of compressive strength after flame test.

800 ℃ 정도의 등유화염 속에서 공시체를 30분간방치한 후의 중량감소율 및 압축강도 감소율을 그림 9, 그림 10에 각각 나타내었다. 그림 9에서, EPC공시체의 중량 감소율이 OPC나 ACPC의 공시체 중량감소율 보다 훨씬 낮게 나타나고 있는데 이것은 EPC공시체를 제작할 때 물/시멘트비를 OPC나 ACPC보다 낮게 하였기 때문에 증발할 수 있는 유리수의 양이 적은데 기인되는 것으로 생각되며 대체적으로 ACPC 보다는 OPC가 열안정성이 좋게 나타남을 볼 수 있다. 그림 10에서, 압축강도 감소율은 EPC공시체가 가장 낮고 OPC가 ACPC보다 약간 낮게 나타남을 알 수 있다. 일반적으로 수지를 첨가한 콘크리트는 내화성이 약한 것으로 알려져 있으나 본 실험결과에서 EPC 공시체가 OPC 공시체 보다 압축강도 감소가 낮게 나타나는 이유는 에폭시 바인더의 분해온도에 도달되지 못한 공시체의 중앙 부분으로 갈수록 열경화성 수지인 에폭시 수지가 더 완전한 경화를 이루기 때문으로 생각된다.

3.2.6 동결융해 사이클에 대한 내구성

그림 11에서, 등결융해 25사이클 마다 상대동탄성계수를 구해본 결과 EPC의 동결융해 저항성이 가장 우수 하였으며, ACPC가 중간정도, OPC가 가장 낮게 나타났다. 수지첨가에 의하여 콘크리트의 동결융해 저항성이 증가하는 것은 수지가 콘크리트에 미세한 공기를 연행하는 특성이 있고, 동결융해 작용에 의해 일어나는 콘크리트 내부의 응력을 수지가 흡수해 주기 때문이라고 생각된다. 또한 강섬유의 혼입에 의해 동결

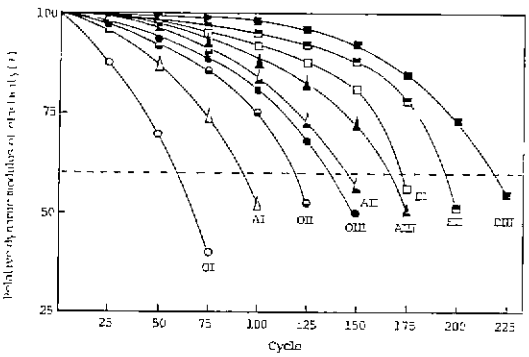

Fig. 11. Curves of relative dynamic modulus of elasticity with freezing and thawing cycles.

융해 저항성이 증가하는 것은 강섬유가 콘크리트의 메트릭스를 구속하고 있기 때문에 균열의 발생이나 발생한 균열의 확장을 방지하기 때문으로 생각된다.

3.2.7 감마선에 대한 콘크리트의 차폐효과

콘크리트 차폐체(두께 5 cm)를 놓지 않고 측정하였을 때의 Co-60 선량율과 OPC, ACPC 및 EPC 콘크리트 차폐체를 놓고 측정하였을 때의 선량율을 아래식으로 구하여 보면 그 값은 각각 다음과 같다

$$\dot{x} = N_x \times i$$

여기서, $N_x = 1.188 \times 10^{11}$ R/h·A

$$i = C \times \frac{\Delta v}{\Delta t} \times k_{tp}$$

$$\dot{x}_0 = 0.48435\ R/h$$
$$\dot{x}_{OPC} = 0.25774\ R/h$$
$$\dot{x}_{ACPC} = 0.26493\ R/h$$
$$\dot{x}_{EPC} = 0.26191\ R/h$$

상기 값으로부터 각 콘크리트 차폐체의 차폐효과를 구하여 보면

$$SE_{OPC} = \frac{0.48435 - 0.25774}{0.48435} \times 100 = 46.786\ \%$$

$$SE_{ACPC} = \frac{0\ 48435 - 0.26493}{0.48435} \times 100 = 45.302\ \%$$

$$SE_{EPC} = \frac{0.48435 - 0.26191}{0.48435} \times 100 = 45.926\ \%$$

와 같다.

일반적으로 감마선 또는 x선에 대한 차폐효과는 차폐체의 밀도에 비례하게 되므로 상기의 차폐효과 값이 유의적인 차이를 나타내지 못하는 것은 3종류의 차폐체 콘크리트 밀도($\rho_{OPC} = 2.324\ g/cm^3$, $\rho_{ACPC} = 2.312\ g/cm^3$, $\rho_{EPC} = 2.319\ g/cm^3$)가 별차가 없기 때문으로 생각된다. 방사선 차폐를 목적으로 한 콘크리트를 제조하기 위해서는 비중이 큰 철광석을 사용하여 콘크리트의 비중($3.0 \sim 3.9\ g/cm^4$)을 높일 필요가 있다고 생각된다.

3.2.8 방사성 폐기물 처분용기에 사용되는 콘크리트의 제조기준 비교

방사성 폐기물 처분용기에 사용되는 콘크리트를 제조하는데 있어서 국내(한국전력), 프랑스(프라마톰사) 및 본 실험결과를 비교하여 보면 표 5와 같다.

표 5에서 보는 바와 같이 우리나라는 아직 상세한 기준을 규격화 하지 못한 상태이다. 본 실험 결과로부터 EPC 콘크리트는 국내기준 뿐만 아니라 프랑스 프라마톰사 기준보다 훨씬 우수한 성능을 나타내고 있으며, OPC와 ACPC도 압축, 인장강도외에는 모두 프라마톰사 기준치 이상의 우수한 성능을 보여주고 있다. 본 실험의 배합설계에서 OPC와 ACPC의 물/시멘트 비를 50 %로 하였으나 국내기준치 45 % 이하로 배합설계할 경우 국내 압축강도 기준치(350 kg/cm^2)에 도달될 것으로 생각된다. 그러나 방사성 폐기물 처리 • 처분용기에 사용되는 콘크리트의 물성은 강도특성도 중요하지만 이에 못지 않게 수밀성, 내약품성, 내구성 및 충격강도 등도 대단히 중요하므로 국내에서 규정하고 있는 압축강도 또는 몇가지 배합 조건만으로 방사성 폐기물 처분용기에 사용되는 콘크리트의 제조조건을 규정하는 것은 문제가 있다. 왜냐하면 방사성 폐기물 처분용기는 장기간(300 년)에 걸쳐 안전성이 보장되어야 하기 때문이다. 콘크리트의 압축강도는 간단히 배합설계의 변경만으로 고강도를 얻을수 있으나 상기 기술한 특성들은 복합강화 방법(강섬유, 폴리머의 혼입등)을 사용하지 않고는 얻을 수 없는 특성들이다. 따라서 방사성 폐기물 처분용기로서의 요구조건을 갖추기 위해서는 위에 기술한 특성들을 보강한 특수 콘크리트로 방사성 폐기물 처분용기를 만들어야 할 것이다.

3.2.9 재료의 원가분석

표 6에서 보는 바와 같이 강섬유나 에폭시 바인더를 첨가 함으로서 원가는 상당히 상승됨을 알 수 있다. OPC 배합에 대한 ACPC 배합의 원가 상승율은 1.17 (AⅠ / OⅠ), 1.05 (AⅡ / OⅡ), 1.03 (AⅢ / OⅢ)이며 OPC 배합에 대한 EPC 배합의 원가 상승율은 9.7 (EⅠ / OⅠ), 3.7 (EⅡ / OⅡ), 2.7 (EⅢ / OⅢ)배로 각각 나타남을 알 수 있다. 결국 강섬유나 에폭시 바인더를 첨가함으로서 앞서 기술한 바와같이 콘크리트의

Table 5. Comparison of Preparing Standard of Radwaste Container.

구 분	국 내 (한전)	프랑스 (프리마톰사)	본 실험 결과	비 고
압축강도 (kg/cm^2) (재령 28일)	350	408	OPC : 295 ~ 330 ACPC : 290 ~ 320 EPC : 570 ~ 600	프랑스 프라마톰사에서 측정한 압축강도값 (510 kg/cm^2)은 입방공사체를 사용한 것이므로 이를 실린더 공시체의 경우로 환산한 값임.
인장강도 (kg/cm^2) (재령 28일)	–	46	OPC : 27 ~ 35 ACPC : 30 ~ 37 EPC : 43 ~ 50	
동결융해 저항성 (재령 28일, 25 사이클)	–	압축, 인장 강도 80 % 이상	OPC(OI) : 84 % ACPC(AI) : 95 % EPC(EI) : 99 %	
밀 도 (g/cm^3)	–	2.3 이상	OPC : 2.32 ACPC : 2.31 EPC : 2.32	
슬 럼 프 (cm)	–	4 이상	OPC : 9 ~ 10.3 ACPC : 10 ~ 11.5 EPC : 3.6 ~ 4.8	
최소 시멘트량 (kg/m^3)	–	370 이상	412	
물 / 시멘트비	45% 이하	–	OPC : 50 ACPC : 50 EPC : 30	

물성은 크게 개선 할 수 있지만 경제성이라는 측면에서 문제가 있다. 그러나 ACPC의 가격은 OPC의 가격과 큰차가 없고 방사성 폐기물 처분용기로써 갖추어야 할 특성을 고루 갖추고 있다는 점에서 신용화에 문제가 없을 것으로 고찰된다.

4. 결 론

방사성 폐기물의 처리 및 처분용 용기로서 갖추어야 할 제 특성에 대하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 에폭시 바인더의 첨가량 증가에 따른 콘크리트의 제 특성 시험결과로부터 에폭시 바인더의 적정량은 20 %이었다.

2) 강섬유의 혼입에 의하여 압축강도는 약간 상승되었으나 인장강도는 혼입량의 증가와 더불어 상당히 증가되었다.

3) 대체적으로 에폭시 바인더를 첨가한 콘크리트의 성능이 가장 우수하였고, 다음으로 ACPC 콘크리트, OPC 콘크리트 순이었으며, 감마선에 대한 차폐효과는 별다른 차이가 없었다.

4) 방사성 폐기물 처리·처분 용기재료로서 성능면과 경제성을 함께 고려해 볼때 ACPC가 적합할 것으로 사료된다.

이 논문은 과학재단의 연구비 지원에 의하여 작성된 것임.

REFERENCES

1. IAEA, "Conditioning of low-and intermediate-level radioactive wastes" IAEA. TR-222, (1983).
2. International Atomic Energy Agency, "Management of low-and intermediate-level radioactive waste (proc, symp, Aix-en-provence", 1970), IAEA, Vienna (1970).
3. Chichibu Cement Co., Ltd., Ozawa Concrete Co., Ltd., "Container for low-to-intermeate level radioactive waste disposal/processing with polymer-impregnated concrete lining", JAPAN.
4. Rio, A., and S. Biagini, "Recent progress in the field of polymer impregnated concrete", proceedings of the First International Congress on polymer Concretes, London, May 1975, page 22.
5. Donato, A., "Studies on polymer impriginated cement for radioactive waste conditioning in Italy" Proc. Second Int. Congr. on polymers in concrete, Austin, TEXAS 25-27 October 1978.
6. USA, 10 Code of Federal Regulations 61.56.

Table 6. Raw Material Cost Analysis.

Material / Mix designation	Cement	Sand	Gravel	Steel fiber	Epoxy Resin	Hardner	Total cost of fresh concrete (₩/m³)
OⅠ	22, 770	1, 860	2, 736	0			27, 366
OⅡ	25, 025	2, 071	2, 110	66, 725			95, 931
OⅢ	27, 445	2, 664	952	133, 450			164, 511
AⅠ	27, 324	1, 860	2, 736	0			31, 920
AⅡ	30, 030	2, 071	2, 110	66, 725			100, 936
AⅢ	32. 934	2, 664	952	133, 450			170, 000
EⅠ	22, 770	1, 860	2, 736	0	173, 880	64, 584	265, 830
EⅡ	25, 025	2, 071	2, 110	66, 725	189, 840	70, 512	356, 283
EⅢ	27, 445	2, 664	952	133, 450	208, 320	77, 376	450, 207

*재료의 원가는 86년 9월의 가격이며 ACPC는 카본블랙 및 아스팔트의 가격과 제조가격을 OPC에 기산한 가격임.

7. IAEA, "Regulations for the safe transport of radioactive materials", Safety Series No. 6, 1973 Revised Edition IAEA, Vienna, (1979).
8. W. P. Hong, "Portland cement process for preparing SAME and compositions containing SAME" U.S. Patent, No. 4, 537, 633 (1985).
9 홍원표, "수밀성 포틀랜드 시멘트 제조방법", 대한민국 특허 제 859호 (공고번호 83-2008)
10. Mcclain, R. R. "Epoxy modified cement admixtures" Proc. Second Int. Congr. on polymers in concrete, Austin, TEXAS 25-27 October 1978.
11. "コンクリートの 浸液浸也き 耐藥品性試驗方法", (JIS 案), コンクリート工學による, Vol. 23, No. March (1985), pp. 59-62.
12. 纖維補强 コンクリート 研究專門委員會報告, "鋼纖維の 付着特性に 關する 調査研究", V-3, June 昭 58.
13. 小林一輔, "引張强度は 大幅に 改善できるか", コンクリート工學, Vol. 14, No. 3, March (1976). pp. 32-33.
14. 김철규, "아스팔트와 카본브랙이 콘크리트의 수밀성에 미치는 영향", 학위논문, 충남대학교 대학원, (1984)