

중·저준위 방사성 폐기물 처분용기용 보강 콘크리트의 특성

황의환 · 황선태 · 홍원표* · 조현영*

한국표준연구소 방사선연구실

*충남대학교 화학공학과

(1988년 7월 11일 접수)

Properties of Reinforced Concrete Used for Disposal Container of Low- and Intermediate-level Radioactive Wastes

Eui-Hwan Hwang, Sun-Tae Hwang, Won-Pyo Hong* and Hun-Young Cho*

Radiation Lab., Korea Standards Research Institute

*Dept. of Chem. Eng., Chung Nam National University

(Received July 11, 1988)

요 약

방사성 폐기물의 처분용기에 사용되는 콘크리트는 기계적 강도, 수밀성, 내구성등이 우수해야 된다. 보통 콘크리트의 이와같은 물성을 향상시키기 위하여 보통 포틀랜드 시멘트와 수밀성 포틀랜드 시멘트로 제조하는 콘크리트에 각각 고성능 감수제, 에폭시수지 및 강섬유를 첨가하여 복합강화 콘크리트를 개조하였다. 복합강화 콘크리트로 각종 콘크리트 공시체를 제작하여 실험한 결과 중·저준위 방사성 폐기물의 처분용기 재료로서 에폭시수지와 강섬유를 보강한 복합강화 콘크리트가 일반 콘크리트와 수밀성 콘크리트에 비하여 훨씬 우수한 물성을 나타내었다.

ABSTRACT

Concrete used for radwaste container should have excellent properties such as mechanical strength, water-tightness, durability, etc. In order to improve such properties of ordinary portland cement concrete, superplasticizer, steel fiber, and/or epoxy resin were added to ordinary portland cement concrete respectively. Various concrete specimens were prepared and the physical properties of each concrete specimen were tested. From the experimental results, the properties of steel fiber and epoxy resin reinforced concrete were proved to be better qualified than others for low- and intermediate-level radwaste container.

1. 서 론

과학의 발달과 더불어 원자력 발전소, 병원, 연구소 및

기타 산업체로 부터 불가피하게 발생하는 방사성 폐기물의 량은 날로 증가하고 있다. 방사성 폐기물은 대부분 원자력 발전소에서 발생되고 있는데 이러한 방사성 폐기물

은 시멘트, 아스팔트, 폴리머, 유리등¹⁾으로 고화처리한 다음 처분용기에 담아 처분함으로써 환경으로의 유출을 방지하고 있다. 방사성 폐기물의 처분용기는 폐기물의 종류 처분장의 여건에 따라 탄소강 용기, 콘크리트 용기, 강섬유 보강 폴리머 함침 콘크리트 용기,²⁾ 고건전성 용기등이 사용되고 있으나 방사성 폐기물의 처분용기로서 갖추어야 할 세 기능³⁾을 고려해 볼때 개선해야 될 점이 많다. 세계 각국에서는 몇가지 재료를 상호보완해서 좀더 만족스러운 처분용기를 개발하고자 노력하고 있다

본 연구에서는 중·저준위 방사성 폐기물의 처분용기에 사용되는 콘크리트의 물성을 향상시키기 위하여 보통 포틀랜드 시멘트 콘크리트와 수밀성 포틀랜드 시멘트^{5,6)} 콘크리트에 각각 고성능 감수제, 강섬유, 에폭시수지를 첨가하여 제조한 복합강화 콘크리트로 각종 공시체를 제작하여 방사성 폐기물의 처분용기에 요구되는 특성 즉 기계적강도(압축, 인장, 휨, 충격강도) 수밀성, 내구성, 내열성등에 관하여 실험하였으며 그 결과를 보고하고자 한다.

2. 실험

2.1 실험계획

본 실험에서 사용한 시멘트(OPC, ACPC, EPC)의 조성과 제조방법은 전보⁷⁾와 같은 것을 사용하였으며, 고성능 감수제(NP-10)의 첨가량을 2%, 이형 강섬유(2.5 cm)의 첨가량을 1.5%, 에폭시 바인더(에폭시 수지+경화제)의 첨가량을 15%로 각각 택하여 표 1 과 같이 배합설계 하였다. 표 1에서 O-1, A-1은 아무것도 보강하지 않은 배합이며, E-1은 에폭시 바인더만 15% 첨가한 배합이다. O-2, A-2는 고성능 감수제를 첨가하여 물·시멘트비를 50%에서 40%로 감소시킨 배합이며, E-2는 고성능 감수제를 첨가하여 물·시멘트비를 35%에서 28%로 감소시키는 동시에 에폭시 바인더를 보강한 배합이다. O-3, O-4, A-3, A-4, E-3, E-4는 각각의 O-1, O-2, A-1, A-2, E-1, E-2 배합에 강섬유를 보강한 배합이다.

Table 1. Mix Proportions of Complex Reinforced Concrete.

Mix proportions																
Specimen designation	W/C (%wt)	Slump (cm)	s/a (% vol)	Steel	fiber	Water reducer (%wt)	E. B./ cement (%wt)	E. B. (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	V(l/m ³)			W(kg/m ³)			Remarks
				Content (% vol)	Content (kg/m ³)					C	S	G	C	S	G	
O-1	50	10	47.5	0	0	0			207	132	310	342	414	803	879	OPC
O-2	40		47.5	0	0	2			166	132	330	346	414	854	935	
O-3	50		65.6	1.5	118	0			237	151	386	202	474	1000	519	
O-4	40		65.6	1.5	118	2			190	151	417	218	474	1080	560	
A-1	50		47.5	0	0	0			207	132	310	342	414	803	879	ACPC
A-2	40		47.5	0	0	2			116	132	330	364	414	854	935	
A-3	50		65.6	1.5	118	0			237	151	386	202	474	1000	519	
A-4	40		65.6	1.5	118	2			190	151	417	218	474	1080	560	
E-1	35		47.5	0	0	0	15	62.1	145	132	310	342	414	803	879	EPC
E-2	28		47.5	0	0	2	15	62.1	116	132	324	357	414	839	918	
E-3	35		65.6	1.5	118	0	15	71.1	166	151	386	202	474	1000	519	
E-4	28		65.6	1.5	118	2	15	71.1	133	151	408	213	474	1057	547	

OPC : Ordinary Portland Cement

ACPC : Asphalt Coated Portland Cement

EPC : Epoxy resin Portland Cement

2. 2 실험방법

2. 2. 1 강섬유 보강 콘크리트의 제조방법

강제 비빔믹서(공칭용량 100 l)를 사용하여 우선 세골재와 조골재를 동시에 투입해서 30 초간 비비고 다시 시멘트를 가하여 30 초간 비빈 다음 물을 가하고 1 분간 비벼서 베이스 콘크리트를 제조하였다. 그 다음 믹서를 회전시키면서 1 분 이내에 강섬유를 균일하게 분산 투입하고 다시 1 분간 비벼서 강섬유 보강 콘크리트를 제조하였다.

2. 2. 2 에폭시 바인더 보강 콘크리트의 제조방법

강제 비빔믹서를 사용하여 세골재와 조골재를 동시에 투입해서 30 초간 비비고 다시 시멘트를 가하여 30 초간 비빈 다음 에멀전 에폭시 수지, 경화제, 물을 첨가 직전에 균일하게 혼합하여 첨가하고 다시 1 분간 비빈다. 1 분간 휴지시키고 다시 2 분간 비벼서 에폭시 바인더 보강 콘크리트를 제조하였다.

2. 2. 3 슬럼프 및 공기함유량 시험방법

KS F 2402 및 KS F 2421에 의하여 측정하였다.

2. 2. 4 압축 및 휨강도 시험

KS F 2403에 따라 제작한 공시체를 KS F 2405, KS F 2423 및 KS F 2407에 의하여 각각 측정하였다.

2. 2. 5 충격강도 시험⁸⁾

낙추법으로 측정하였다.

2. 2. 6 투수시험

중공원통형 공시체를 공시체의 외측에서 수압을 가하여 시험하였다.

2. 2. 7 열중량 분석시험

콘크리트의 탈수거동과 내열성을 알아보기 위하여 DUPONT 9900 형의 열분석 기기로 상온에서 900°C까지 가열(승온속도 20°C/min)하면서 측정하였다.

2. 2. 8 공극율 측정시험

콘크리트 공시체의 페이스트 부분만을 파쇄한 다음 2.5~5mm 입도분포의 시료를 채취하여 아세톤으로 세정하였다. 세정한 시료를 48 시간 동안 건조기에서 건조시킨 후 AMIN Co. Porosimeter로 15000 Psi 까지 수은을 압입하여 기공의 크기와 분포를 측정하였다.

2. 2. 9 동결융해 시험

SOILTEST INC, MODEL CT-110의 기기를 사용하여 KS F 2456에 의거 측정하였다.

2. 2. 10 주사 전자현미경 관찰

콘크리트 공시체의 시멘트 페이스트 부분에서 시료를 채취하여 골드코팅한 다음 Akashi, Model ISI DS-130

의 주사 전자현미경으로 미세구조를 관찰하였다.

2. 2. 11 중성화 시험

투수시험 공시체(φ 15 cm× H 30 cm)를 실험실내에서 500 일간 방치시킨 후 세로로 절단하여 페놀프탈레인 1% 용액을 절단 부분에 분사하여 나타나는 색변화를 보아 콘크리트 표면으로부터 중성화된 깊이를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3. 1 복합강화 콘크리트의 공기함유량 및 슬럼프 특성

그림 1에서 보는 바와 같이 공기함유량은 ACPC가 가장 높고, 다음으로 EPC, OPC의 순으로 점차 낮게 나타났으며, 강섬유를 첨가(No.3, No.4)함으로써 현저히 증가되는 것을 알 수 있다. ACPC나 EPC 콘크리트가 OPC 콘크리트에 비하여 공기함유량이 많게되는 원인은 첨가한 아스팔트나 카본블랙 또는 에폭시 바인더가 공기연행제⁹⁾와 같은 특성을 나타내기 때문으로 생각되며, 강섬유를 첨가한 콘크리트의 공기함유량이 많게되는 원인은 강섬유에 의한 시공성의 불량으로 갇힌 공기의 양이 증대되기 때문

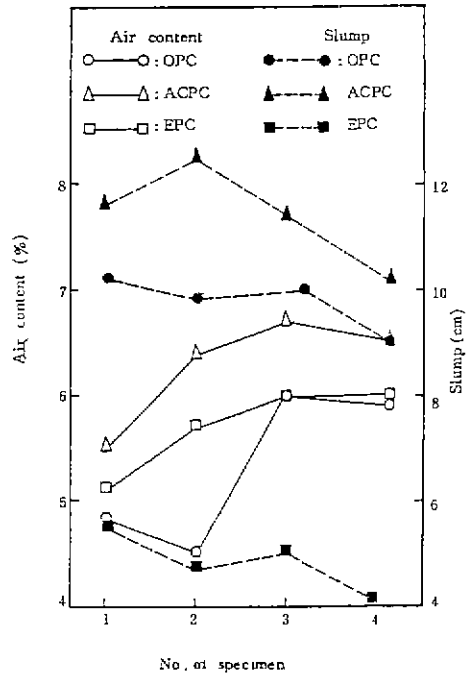


Fig.1. Variation of air content and slump of fresh concrete for various mix proportions.

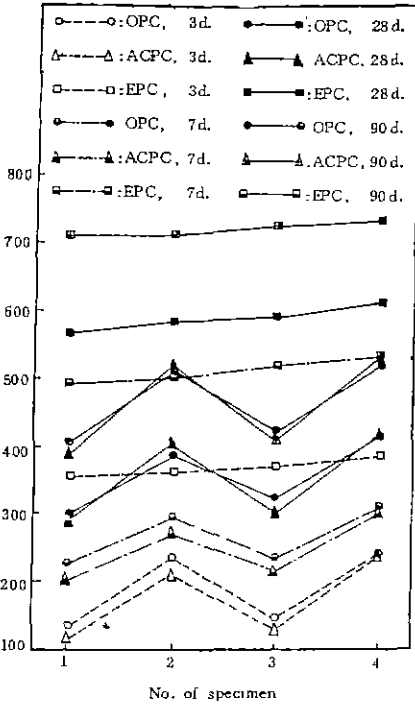


Fig. 2. Properties of compressive strength for the various mix proportions.

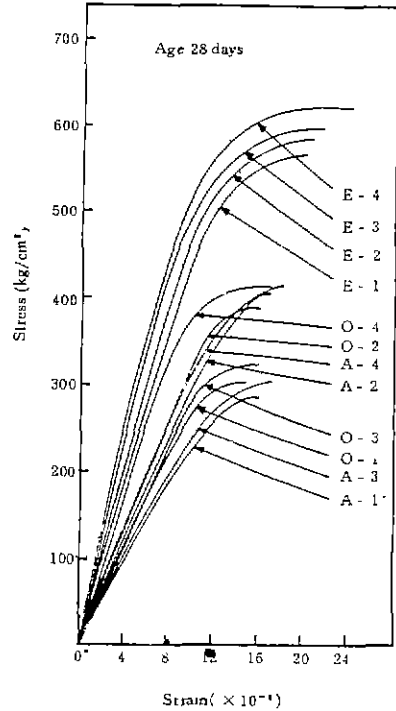


Fig. 3. Stress-strain curves for the various concrete specimens.

으로 생각된다.

3. 2 압축 및 인장강도 특성

복합강화 콘크리트의 압축강도, 응력-변형곡선, 인장강도 특성을 그림 2, 그림 3, 그림 4에 각각 나타내었다. 그림 2에서 보는 바와같이 채령 3일, 채령 7일의 압축강도는 OPC 콘크리트가 ACPC 콘크리트보다 높으나 채령 (28일, 90일)이 길어지고 물·시멘트가 낮아지게 되면 (50%에서 40%) ACPC 콘크리트의 강도도 OPC 콘크리트의 강도와 별다른 차이가 없는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 수밀성 포틀랜드 시멘트(ACPC)의 입자가 스폰지 형태의 아스팔트로 코팅¹⁰⁾되어 있을 뿐만 아니라 카본블랙이 혼입되어 있어 초기의 수화반응을 억제하나 양생기간이 길어지고 물·시멘트비가 낮아지면 결국 ACPC 콘크리트의 수화발열량도 OPC 콘크리트와 같아지게 되면서¹¹⁾ 첨가된 미세한 카본블랙 입자들이 무수히 많은 미세균열이나 공극을 충전함으로써 보강효과¹²⁾가 증진되기 때문으로 생각된다. 그러나 EPC 콘크리트의 압축강도 발현특성은 OPC 콘크리트나 ACPC 콘크리트와는 달리 첨가한 에

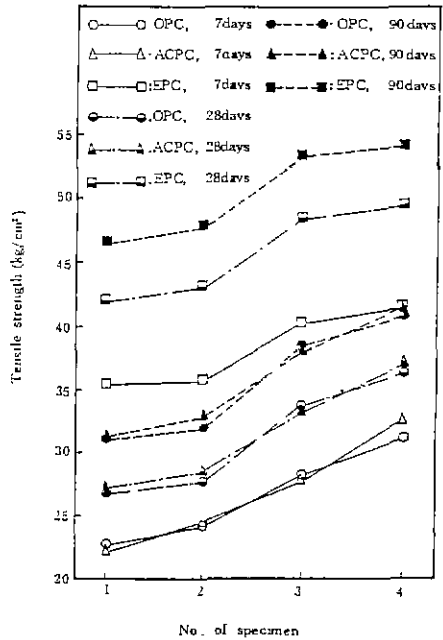


Fig. 4. Properties of tensile strength for the various mix proportions.

특시 바인더가 매트릭스의 강도와 계면결합력을 상당히 증진¹³⁾시키므로 재령초기 부터 고강도를 나타내고 있다. 압축강도는 대체적으로 강섬유를 첨가함으로써 약간 향상(3~5%)되는 것으로 나타났다.

압축강도 측정시의 응력에 대한 변형곡선을 살펴보면 고강도를 발현하는 EPC 콘크리트는 응력 초기에서 변형이 OPC, ACPC 콘크리트보다 적으나 파괴응력에 가까워질수록 오히려 더 커지는 경향이 있으며 또한 동일한 응력에 대하여 ACPC 콘크리트가 OPC 콘크리트보다 변형이 크게 일어나고 있음을 알 수 있다. 동일한 배합조건에서 강섬유를 첨가하게되면 파괴응력에 가까워질수록 변형이 크게 일어남을 관찰할 수 있었다

인장강도 측정(그림 4)에서 OPC 콘크리트와 ACPC 콘크리트는 별다른 차이가 없었으나 EPC 콘크리트는 훨씬 우수한 성능을 나타내었으며 강섬유를 첨가함으로써 인장강도는 상당히 향상(20~30%)되는 것으로 나타났다. 이러한 특성은 매트릭스를 구속하고 있는 강섬유가 인발되는데 상당한 에너지를 흡수하기 때문으로 생각된다.

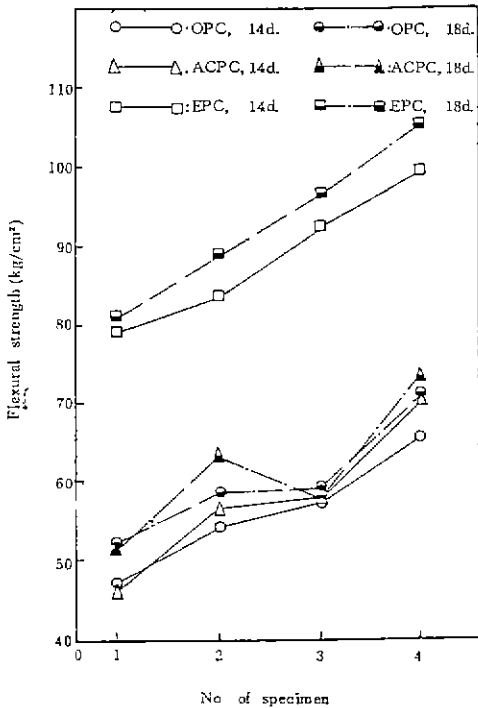


Fig. 5. Variation of flexural strength for the various mix proportions.

3. 3 휨 및 충격강도 특성

그림 5에서, EPC 콘크리트의 휨강도가 OPC 콘크리트나 ACPC 콘크리트보다 월등히 높게 나타났으며, 강섬유의 첨가에 의하여 현저하게 향상(20% 내외)되었음을 볼 수 있다. 휨강도 시험한 공시체의 파단면을 보면 OPC와 ACPC 콘크리트는 매트릭스와 골재와의 계면에서 대부분 파괴가 일어나지만 EPC 콘크리트는 에폭시바인더에 의한 계면결합력 증가로 골재자체가 수직으로 파괴되었음을 관찰할 수 있었다.

그림 6에서, 낙추법에 의한 충격강도 시험결과 EPC 콘크리트가 가장 우수하고, ACPC가 중간, OPC가 가장 낮음을 볼 수 있으며 강섬유의 첨가에 의하여 대략 4배 정도 향상되는 것으로 나타났다. 수지첨가에 의하여 충격강도가 증가되는 이유는 취성재료인 콘크리트에 수지를 첨가함으로써 인성이 증대¹³⁾되고 수지에 의해 순간적인 충격을 흡수할 수 있기 때문으로 생각된다. 또한 강섬유를 보강함으로써 콘크리트 매트릭스의 구속력을 대폭적으로 증가시킬 수 있어¹⁴⁾ 순간적으로 큰 충격을 받아도 잘 파괴되지 않고, 충격에 의해 균열이 발생하여도 균열의 파급이 잘 이루어지지 않는 것으로 생각된다.

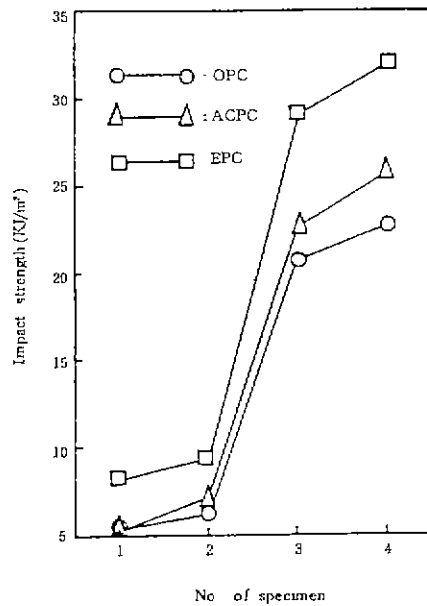


Fig. 6. Variation of impact strength for the various mix proportions.

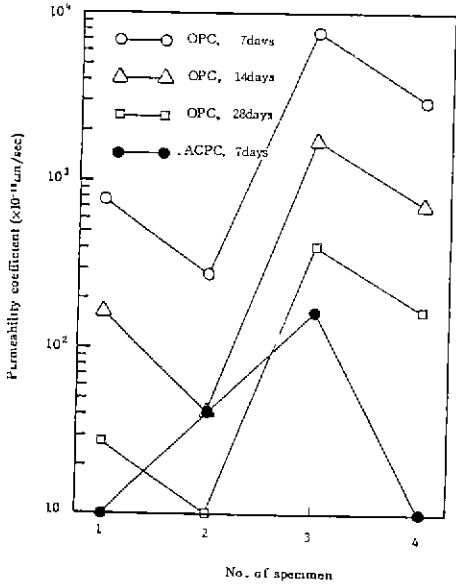


Fig. 7. Variation of permeability coefficient for the various mix proportions

3. 4 보강 콘크리트의 수밀성

그림 7에 각 공시체의 수밀성을 투수계수로 나타내었다. 투수시험결과 OPC 콘크리트 공시체는 모두 투수되었으나 ACPC 콘크리트 공시체는 세령 7일에서만 약간 투수되었을 뿐 세령 14일 후부터 전혀 투수되지 않았고 EPC 콘크리트 공시체는 세령에 관계없이 투수되지 않아 그래프에 나타내지 못하였다. ACPC 및 EPC 콘크리트가 수밀성이 우수한 이유는 첨가한 수지가 콘크리트내에서 누적

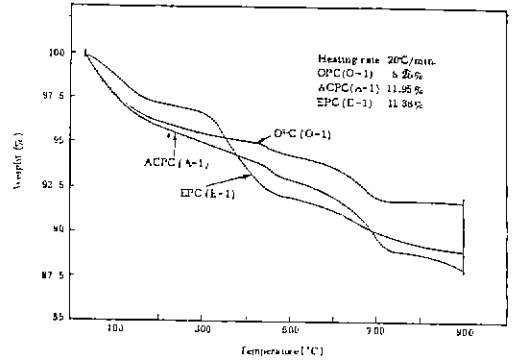


Fig. 8 TGA curves for various samples.

층을 이루고 있어 경화과정중에 발생하는 응력을 원충함으로써 균열의 발생을 막아주고 카본블랙과 더불어 무수히 많은 공극의 주위에 달라 붙어 공극간의 연결을 차단하기 때문으로 생각된다. 강섬유의 첨가에 의하여 수밀성은 상당히 저하됨을 알 수 있는데 이것은 강섬유를 혼입하는 과정에서 삼힌 공기가 많이 연행될 뿐만 아니라 강섬유에 의한 작업성 불량으로 치밀한 공시체의 제작이 어렵게 되기 때문으로 생각된다.

3. 5 열적 특성

그림 8에서 EPC 콘크리트 시편의 중량감소곡선을 살펴보면 상온에서 320°C까지는 중량감소가 서서히 진행되나 320~430°C범위에서 빠르게 진행되며, 430°C이상에서 비교적 완만하게 진행되는 것을 볼 수 있다. 320°C까지 중량감소가 가장 적게 일어나는 것은 콘크리트를 혼합할때 물·시멘트비를 OPC나 ACPC콘크리트 보다 낮게 하였

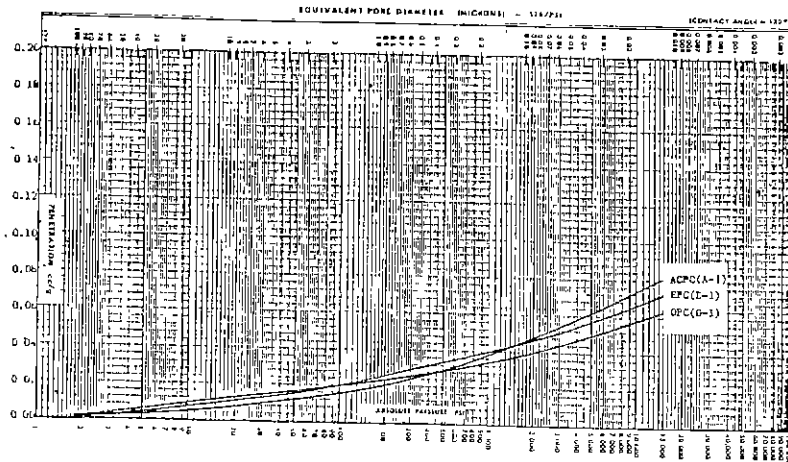


Fig. 9 Pore size and volume distribution curves for various samples.

기 때문에 나타나는 현상으로 생각되며 320~430℃에서 중량감소가 크게 일어나는 것은 에폭시 바인더의 열분해에 기인되는 것으로 생각된다. ACPC 콘크리트 시편의 중량감소는 고온으로 갈수록 이스팔트와 카본 블랙의 연소로 인한 중량감소로 OPC 콘크리트에 비하여 중량감소가 적은 것을 관찰할 수 있었다. 최종 900℃까지의 열중량

분석에서 유기물이 첨가되지 않은 OPC 콘크리트 시편의 중량감소율이 가장 낮아 열안정성이 양호함을 알 수 있었다

3. 6 수은압입에 의한 공극률 측정

그림 9에서 보는 바와 같이 15000 PSI 까지 수은압력을 증가시키면 따라 공극내로 압입되는 수은의 양으로 부터

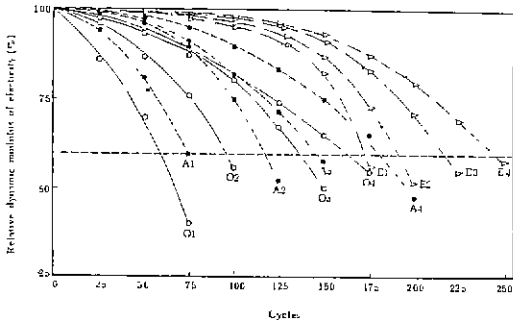


Fig 10. Curves of relative dynamic modulus of elasticity with freezing and thawing cycles

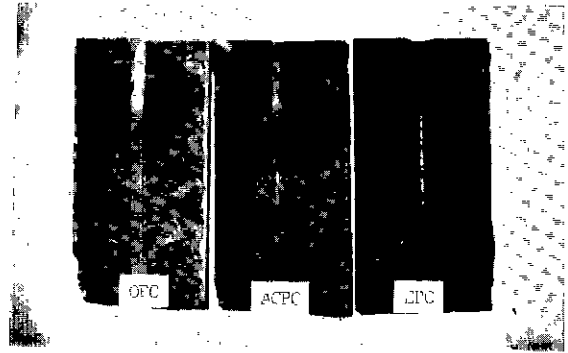
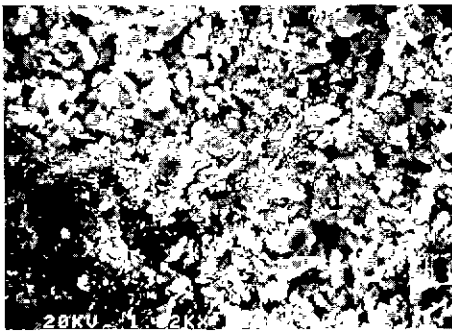


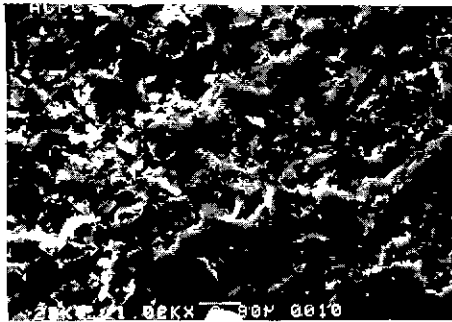
Fig 11 Surface color of specimen after carbonation test



(a) OPC concrete specimen(×1000)



(b) OPC concrete specimen(×1500)



(c) ACPC concrete specimen(×1000)



(d) EPC concrete specimen(×1000)

Fig 12 SEM micrographs of OPC, ACPC and EPC concrete specimens.

ACPC는 공극의 분포가 큰것이 적고 작은 것이 많은 반면 OPC는 큰 공극이 많고 작은 공극이 적으며 EPC는 대략 OPC와 ACPC의 중간정도로 나타나고 있음을 알 수 있었다. 콘크리트 내에 큰 공극이 존재하게 되면 수밀성의 저하, 강도의 감소등을 유발하는 반면 작은 공극이 균일하게 분포되어 있으면 내구성이 증가되는 것으로 알려져 있다.^{16,17)}

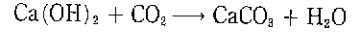
3. 7 동결융해에 대한 저항성

그림 10에서 보는 바와 같이 동결융해 저항성(동결 용해 사이클에 대한 상대동탄성계수의 감소율로 표시)은 수지나 강섬유를 첨가함으로써 대폭 개선되었음을 알 수 있는데 그 원인은 수지를 첨가함으로써 동결융해과정에서 발생하는 콘크리트 내부의 응력을 완충¹⁵⁾할 수 있고, 강섬유를 첨가함으로써 균열의 발생이나 확장을 억제¹⁴⁾할 수

있기 때문으로 생각된다.

3. 8 중성화에 대한 내구성

경화된 콘크리트는 공기중의 CO₂가스와 다음과 같은 반응을 일으켜 중성화가 진행되게 된다.¹⁸⁾



중성화 반응이 진행된 콘크리트 부위에 강섬유나 철근이 노출되게 되면 강섬유나 철근을 보호하고 있는 부동태 피막이 파괴되면서 pH가 저하되어 부식현상을 일으키게 된다. 부식생성물은 원래의 체적보다 팽창(2.5 배 정도)되기 때문에 콘크리트의 강도가 저하되게 된다.^{19,20)} 1% 페놀프탈레인 용액을 사용하여 500 일간 실내에서 방치한 공시체의 중성화 깊이를 시험해본 결과 OPC가 4.2 mm, ACPC가 1.9 mm정도 중성화가 진행되었는데 비하여 EPC

Table 2. Comparison of Preparing Criteria of Concrete Radwaste Container.

Test Item	KEPCO Criteria	FRAMATOME Criteria	Result of Experiment	Remarks
Compressive strength (kg/cm ²)	305	408	O-1:301, O-2:388, O-3:323, O-4:414 A-1:287, A-2:407, A-3:304, A-4:415 E-1:568, E-2:584, E-3:591, E-4:612	28 days aging
Tensile strength (kg/cm ²)	-	46	OPC: 27-37 ACPC: 27-37 EPC: 42-50	28 days aging
Freezing and Thawing Cycles (at 25 cycles)	-	Greater than 80 % of compressive Strength values obtained on the monitoring specimens	OPC (O-1) : 84 % ACPC (A-1) : 90 % EPC (E-1) : 99 %	28 days aging
Density (g/cm ³)	-	Greater than 2.3	OPC : 2.32 - 2.35 ACPC : 2.29 - 2.34 EPC : 2.29 - 2.34	
Slump (cm)	-	Greater than 4	OPC : 9 - 10 ACPC : 10 - 13 EPC : 4 - 6	
Cement Content (kg/m ³)	-	Greater than 370	414	
water/cement Ratio	Less than 45 %	-	OPC: 40, 50 ACPC: 40, 50 EPC: 28, 35	

의 경우는 거의 중성화가 진행되지 않았음을 알 수 있었다. 이와같이 수지를 첨가함으로써 중성화가 현저히 저하되는 것은 콘크리트내에서 첨가한 수지가 피막을 형성하여 공기중에 존재하는 CO₂가스의 접근을 방해하기 때문으로 생각된다. 그림 11에 중성화 시험 공시체의 사진을 게재하였다

3. 9 전자 현미경에 의한 미세구조 관찰

그림 12는 OPC, ACPC, EPC 콘크리트 시편의 전자현미경 사진이다. SEM 사진에서 OPC 시편의 결정조직은 치밀하지 못하고 미세균열이 존재함을 볼 수 있으나 ACPC와 EPC의 경우는 결정입자-골재-수지가 연속적으로 결합된 형태로 되어 있음을 알 수 있다. ACPC의 사진에서 조직이 겹겹 나타나는 것은 아스팔트와 카본 블랙의 영향으로 생각되며 EPC의 사진에서 하얗게 뭉쳐 있는 모양을 이룬 것은 에폭시 바인더의 조직으로 생각된다. 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하여 콘크리트를 만들 경우 수화경화작용, 건조수축작용 및 온도 변화등에 의하여 발생되는 콘크리트 내부의 응력으로 인하여 미세한 균열이 발생되고 또 이 균열이 확산되면서 강도의 감소, 수밀성 및 내구성의 저하를 가져오게 된다. 그러나 콘크리트에 수지를 도입시키면 콘크리트 내부에서 발생하는 응력을 혼입된 수지가 완충하여 균열의 발생을 억제하게 됨으로서 ACPC, EPC 콘크리트의 조직사진에서 균열이 나타나지 않은 것으로 생각된다.

3. 10 방사성 폐기물 처분용기에 사용되는 콘크리트의 제조기준 비교

방사성 폐기물 처분용기에 사용되는 콘크리트를 제조하는데 있어서 국내(한전), 프랑스(프라미투스) 및 본 실험 결과를 표 2에 비교하여 나타내었다. 표 2에서 보는 바와 같이 국내(한전)에서는 아직 상세한 규격을 제정하지 못한 상태이다. 본 실험결과 보강 콘크리트의 제성능은 국내(한전) 기준치 뿐만 아니라 프랑스(프라미투스) 기준치보다도 대부분 우수한 성능을 나타내고 있으나 인장강도는 에폭시바인더와 강섬유를 보강한 것 만이 기준치 보다 높게 나타나고 있다.

4. 결 론

- 1) 에폭시바인더의 첨가에 의해 슬럼프는 저하되었으나 경화콘크리트의 계특성은 상당히 개선되었다.
- 2) 강섬유의 혼입에 의해 기계적 강도와 동결융해 저항

성은 월등히 향상되었으나 수밀성은 상당히 저하되었다.

3) 콘크리트의 강도 특성, 수밀성, 동결융해 저항성, 중성화에 대한 내구성은 EPC 콘크리트가 가장 우수하였고, 다음으로 ACPC 콘크리트, OPC 콘크리트 순이었다.

4) 중·저준위 방사성 폐기물 처분용기 재료로서 성능 면에서 EPC 콘크리트가 가장 우수하였다.

REFERENCES

1. IAEA, "Conditioning of Low- and Intermediate- Level Radioactive Wastes", TR-222, (1983).
2. Chichibu Cement Co., Ltd., Ozawa Concrete Co., LTD., "Container for Low-to-Intermediate Level Radioactive Waste Disposal/Processing with Polymer-Impregnated Concrete Lining", JAPAN.
3. USA, 10 Code of Federal Regulations 61-56.
4. IAEA, "Regulations for the Safe Transport of Radioactive Materials", Safety Series No.6, 1973 Revised Edition IAEA, Vienna, (1979)
5. W. P. Hong, "Protland Cement Process for Preparing SAME and Compositions Containing SAME", U.S. patent, No.4, 4537633, (1985).
6. W. P. Hong, "New Manufacturing Method of Portland Cement", British Patent No.214421 B. (1987).
7. Won-Pyo Hong, Soo-Young Jung, Eui-Hwan Hwang, Hun-young Cho, Chui-Gyu Kim, "A Basical Study on the Preparing of Container Used for Treatment and Disposal of Low- and Intermediate-Level Radioactive Wastes(I)", *The Korean Ceramic Society*, 25 (2) pp.101-110 (1988).
8. 佐治泰次, 松藤泰典, "コンクリートの衝撃試験方法" *コンクリート工學*, 23 (3) March, pp.73-77 (1985).
9. McClain, R.R., "Epoxy Modified Cement Admixtures", Proc. Second Int Congr. On Polymres in Concrete, Austin, TEXAS 25-27 October (1978).
10. Hun-Young Cho, "A Study on the Cement

- Characteristics and Concrete Durability of Portland Cement Treated with Asphalt and Carbon Black”, Thesis of Master, Chungnam National University. (1985).
11. Won-Pyo Hong, Eui-Hwan Hwang, Hun-Young Cho, “Mortar and Concrete Characteristics of Type I, II, V Cements Treated with Asphalt and Carbon Black”, Reports of the Research Institute of Industrial Technology, Chungnam National University, Vol.2, No.2, Dec. (1987).
 12. Won-Pyo Hong, Eui-Hwan Hwang, Hun-Young Cho, “Effect of Carbon Black on the Physiscal of Cement Paste and its Mortar”, Reports of the Research Institute of Industrial Technology, Chungnam National University, Vol.1, No.2, Dec. (1986).
 13. 大浜嘉彦, “ポリマー系材料による コンクリートの高強度化”, 콘크리트工学 14, (3) March (1976).
 14. 小林一輔, “引張強度は大幅に改善できるか”, 콘크리트工学, 14 (3) March (1976).
 15. 김철규, “아스팔트와 카본 블랙이 콘크리트의 수밀성에 미치는 영향”, 충남대학교 대학원 석사학위논문, (1984).
 16. J. H. Taplin, “Some Chemical Additions and Admixtures in Cement Washington Vol.II, (1960).
 17. K. Kodama, “Mechanism of High Range Water Reducing Admixture”, セメント-콘크리트, No.427, September (1982).
 18. 俊英太郎, 新しいセメントとセメント技術, 技賣堂, (1970)
 19. 和泉意登志, 富 英雄, “콘크리트의 ひひわれ, 打継ぎ, 豆板部における中性化の進行”, セメント・콘크리트, No.448, June (1984).
 20. 新井哲三, “鹽分環境下での鐵筋の腐蝕機構”, 콘크리트工学, 25 (11) Nov. (1987).