

개질된 Fly Ash를 혼합한 Flyash 시멘트 모르터의 특성

조 현 영* · 홍 원 표
〈충남대학교 화학공학과〉

The Mortar Properties of Flyash Cements Blended with Reformed Fly Ash

Heon-Young Cho, Won-Pyo Hong

Department of Chemical Engineering, Engineering College, Chungnam Nat. Univ.

ABSTRACT

For the development of multi-functional materials which has water reducing power, air entraining power and waterproofing power as well as a blending additive in cement mortar the low grade fly ash was modified with asphalt-stearic acid or asphalt-boiled oil mixtures by mechanical treatment. And the physical properties of cement mortar blended with modified coal ashes were compared with those of the water-tightness-cement mortar and the ordinary-portland-cement mortar added with AE-water reducing agent.

The mortar of flyash-blend-cement modified with asphalt-stearic acid mixture was increased about 20% in initial strengths and decreased about 20% in water absorption ratio than those of ordinary flyash-blend-cement.

The mortar of flyash-blend-cement modified with asphalt-boiled oil mixture was similar to the cement mortar added with AE-water reducing agent in water reduction ratio, air entraining contents and the initial strengths, also was similar to the water-tightness-cement mortar in water absorption and water permeability ratios.

1. 서 론

1, 2 차에 걸친 오일 쇼크를 겪으면서 세계 각국에서는 fly ash, silica fume, 왕겨재 등과 같은 포졸란 반응성이 있는 산업폐기물을 시멘트 일부와 대치하여 에너지절약을 도모하고자 하는 시도가 활발하게 진행되어 왔다.¹⁻³⁾ 국내에서도

1989년 현재 발전소로부터 약 200만톤/년 정도로 대량 생산되는 석탄재를 에너지절약 뿐만 아니라 환경보호 차원에서 재활용해 보고자 하는 연구가 활발하게 진행되고 있다.^{1,4)}

그러나 국내에서 발생하는 석탄재는 대부분이 무연탄재이며, 유연탄재 일지라도 재처리 공정상 fly ash와 bottom ash가 혼합수거 되고 있

으므로 입도가 크고 입자형태가 거칠으며 미연탄소량이 많고 포졸란 반응성 등이 약하므로 시멘트 혼합재로 사용하는데 많은 문제점이 있는 것으로 밝혀졌다. 따라서 대부분의 석탄재가 해안 매립지에 그대로 폐기되고 있는 실정이며 유연탄재중 극히 일부만이 시멘트나 콘크리트 혼합재로 활용되고 있는 실정이다.¹⁾ 또한 국내에서 현재 유통되고 있는 fly ash는 bottom ash, cinder ash, fly ash가 혼합수거된 것이므로 콘크리트 혼합재로 사용하면 보통 포틀랜드시멘트 콘크리트에 비하여 응결시간이 늦고 fly ash 첨가량이 증가함에 따라서 작업도와 재령 28일 이내의 초기강도가 현저히 감소되는 등 많은 문제점들이 있는 것으로 나타났다.^{1,4)}

따라서 본 연구에서는 콘크리트 혼합재로 사용하기에 부적합한 fly ash나 각종 석탄재를 자원으로 재활용하기 위하여 먼저 국내에서 유통되고 있는 fly ash를 사용한 fly ash 혼합시멘트 모르타의 물성을 조사하였다. 그리고 혼합시멘트가 나타내는 작업성 및 초기강도 격감현상등을 보완할 뿐만 아니라 fly ash를 콘크리트 혼합재로 사용할 때보다 강력한 감수효과와 공기 연행효과를 발휘할 수 있도록 fly ash를 아스팔트-스테아린산 혹은 아스팔트-보일유 혼합물로 표면처리하여 사용한 fly ash 혼합시멘트의 모르타 특성을 조사하였다. 또한 이와 같이 가공된 fly ash를 혼합재로 사용한 시멘트 모르타의 초기강도, 감수성, 공기연행성, 방수

성 등을 수밀성 포틀랜드시멘트, AE 감수제를 사용한 시멘트모르타 등과 비교 검토하였다.

2. 실험 재료

2.1 보통 포틀랜드 시멘트(OPC)

화학적 조성과 물리적 특성이 Table 1, 2와 같은 보통 포틀랜드 시멘트(type I)를 사용하였다.

2.2 Fly Ash

국내에서 유통되고 있는 H사 제품 fly ash로, 화학조성은 Table 1.과 같고 물리적 특성은 Table 2.와 같이 blaine값이 시멘트보다 크면서도 44 및 88 μ m 체 통과 잔유량이 시멘트보다 월등히 많고 입도는 Fig.1에서 나타난 바와 같이 입자크기가 5~30 μ m와 50~100 μ m 부근에서 높은 분포를 나타내며 입자 형태는 Photo. 1에서 보는 바와 같이 외국 fly ash 형태와는 다르게 모난 것이 많고 입자표면이 거칠은 것을 사용하였다.^{1,2)} 이와 같은 특징은 전기 집진장치에서 포집되는 순수한 fly ash와 연소 후에 남은 bottom ash가 분리 수거되지 않고 혼합수거된 것이기 때문으로 확인하였다.

2.3 Fly ash가 혼합된 시멘트 시료(FA)

상기한 OPC에 fly ash를 Table 3.과 같이 혼합하여 시료로 사용하였다.

Table 1. Chemical components of ordinary portland cement and fly ash. (wt.%)

Sample	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	Ig.loss	Total
OPC	62.27	21.71	5.46	3.45	2.61	2.11	0.89	98.50
fly ash	2.50	59.40	24.10	4.30	0.70	-	8.30	99.60

Table 2. Physical properties of ordinary portland cement and fly ash.

Sample	Blaine value (cm ² /g)	Soundness exp. (%)	Specific gravity	Sieve residue (%)		Setting time (min)	
				+44 μ m	+88 μ m	Initial	Final
OPC	3465	0.05	3.18	9.7	1.1	264	394
fly ash	3800	-	2.23	28.7	7.0	-	-

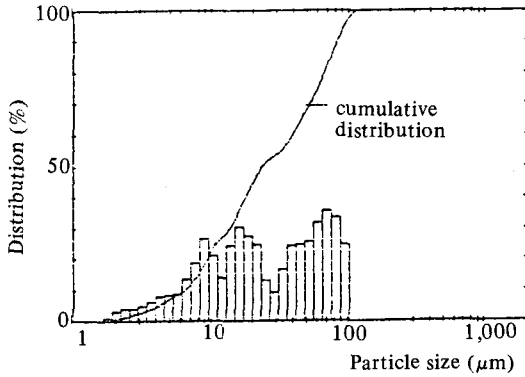


Fig. 1. Particle size distribution of fly ash.

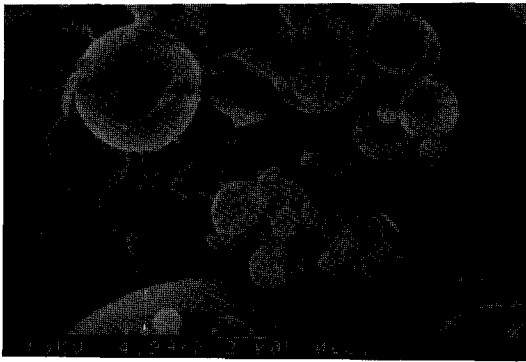


Photo. 1. SEM photograph of fly ash.

Table 3. The notations and compositions of cements with fly ash.

Notation	Composition
OPC	OPC 100%
FA-5	OPC 95% + fly ash 5%
FA-10	OPC 90% + fly ash 10%
FA-20	OPC 80% + fly ash 20%
FA-30	OPC 70% + fly ash 30%

2.4 Fly ash가 아스팔트-스테아린산 혼합물로 가공된 혼합시멘트 시료(FA-I)

Fly ash를 아스팔트와 스테아린산이 1 : 1로 섞인 혼합물 1.0%로 ACTPC 제조방법^{5,6)}에 따라서 처리하여 Table 4와 같이 OPC에 혼합하여 사용하였다.

Table 4. The notations and compositions of flyash cements modified with asphalt-stearic acid mixture.

Notation	Composition
OPC	OPC 100%
FA-I-10	OPC 90% + Modified fly ash 10%
FA-I-20	OPC 80% + Modified fly ash 20%
FA-I-30	OPC 70% + Modified fly ash 30%

2.5 Fly ash가 아스팔트-보일유 혼합물로 가공된 혼합시멘트 시료(FA-II)

Fly ash에 아스팔트와 보일유를 1 : 1로 섞은 혼합물 1.0%로 ACTPC 제조방법^{5,6)}에 따라서 처리하여 Table 5와 같이 OPC에 혼합하여 사용하였다.

Table 5. The notations and compositions of flyash cements modified with asphalt-boiled oil mixture.

Notation	Composition
OPC	OPC 100%
FA-II-5	OPC 95% + Modified fly ash 5%
FA-II-10	OPC 90% + Modified fly ash 10%
FA-II-20	OPC 80% + Modified fly ash 20%
FA-II-30	OPC 70% + Modified fly ash 30%

2.6 기타 시멘트 시료

상기한 fly ash 혼합시멘트 중 물성이 좋게 나타난 FA-20, FA-I-20, FA-II-20 시료를 선정하여 OPC, 수밀성 포틀랜드 시멘트(ACTPC), OPC에 AE·감수제를 첨가한 모르터(OPC-L)와 시멘트 모르터의 물성을 비교 검토하였다.

2.7 아스팔트와 스테아린산

국내 U사 제품으로 연화점이 36°C 정도 되는 Straight Asphalt(AP-3)를 사용하였다. 스테아린산은 순수한 시약 1급을 사용하였다.

2.8 보일유

아마인유 500g에 납비누 10% 용액을 2%,

코발트 비누 10% 용액을 1%, 칼슘비누 10% 용액을 1% 첨가하고 220~250°C로 가열하면서 5시간에 걸쳐서 10 리터/분 정도로 공기를 취입하면서 교반하여 제조한 보일유를 사용했다. 각종 금속비누는 국내 K사 제품을 사용하였다.

2.9 수밀성 포틀랜드 시멘트(ACTPC)

수밀성 포틀랜드 시멘트 제조방법^{5,6)}에 따라서 상기한 OPC에 아스팔트 0.6%와 카본블랙 0.5%로 처리된 ACTPC를 제조하여 사용하였다.

2.10 AE·감수제(OPC-L)

국내 D사 제품으로 리그닌 설폰산염 계통인 표준형 콘크리트 AE·감수제(Lignal. G)를 모르터 배합시에 OPC 사용중량의 0.15%(추천량)를 첨가하여 사용하였다.

2.11 모래

주문진산 천연사로서 KS L5100 규격에 맞는 압축강도용 표준사를 사용하였다.

3. 실험 방법

3.1 모르터의 흐름도 측정

시멘트:모래:물의 배합비를 1:2.45:0.60으로 하여 전동혼합기로 KS L5109에 따라서 모르터를 혼합한 후 시멘트 시험용 플로우 테이블을 사용하여 흐름도를 측정하였다.

3.2 시멘트의 감수율 측정

시멘트와 모래를 1:2.45로 하여 섞고 일정한 물을 넣은 다음 KS L5109에 따라서 혼합한 후 흐름도를 측정하여 흐름도가 110~115%되는데 소요되는 물의 양을 구하였다.

3.3 모르터의 공기량 측정

KS L3136에 따라서 모르터를 혼합한 후 모르터의 공기량 측정용 용기에 넣고 무게를 측정하여 다음 식에 따라서 모르터의 공기량을 계산

하였다.

$$\text{공기량}(\%) = 100 - W / 2.56 \times (182.7 + P) / (2,000 + P)$$

W=모르터를 혼합한 직후 공기량 측정용 몰드에 넣은 모르터 400 ml의 무게(g).

P=사용하는 시멘트를 기준으로한 혼합수의 %.

3.4 모르터의 압축강도와 휨강도 측정

KS L5105에 준해서 모르터를 배합한 후, 4 cm × 4 cm × 16 cm 3연형 몰드에 성형하여 양생하면서 각 재령별로 미하에리스 굴곡시험기를 사용하여 휨강도를 측정한 후 UTM을 사용하여 압축강도를 측정하였다.

3.5 Fly ash의 포졸란 활성도 측정

KS L5508의 석회 포졸란의 강도시험 방법에 따라서 측정하였다.

3.6 모르터의 흡수율 측정

KS F2451에 준하여 시멘트:모래:물의 배합비를 1:2.45:0.60으로 하여 몰탈을 배합한 후 4 cm × 4 cm × 16 cm 3연형 몰드에 성형하여 21일간 습기함 속에서 양생한 다음 침수시간 경과에 따른 시험체의 흡수량과 흡수율을 다음과 같이 계산하여 나타내었다.

$$\text{흡수량}(g) = \text{흡수된 시편의 무게}(g) - \text{건조된 시편의 무게}(g)$$

$$\text{흡수율}(\%) = \{ \text{시료 시멘트 시편의 흡수량}(g) / \text{보통 포틀랜드 시멘트 시편의 흡수량}(g) \} \times 100$$

3.7 모르터의 투수율 측정

KS F2457에 준하여 시멘트:모래:물의 배합비를 1:2.45:0.60으로 모르터를 배합한 후 21일간 습기함에서 양생한 다음 금강사를 사용하여 시험체 윗 표면을 매끈하게 연마하고 성형할 때의 윗면으로부터 3.0 kgf/cm²의 수압을 1시간 동안 가하여 다음과 같이 투수량과 투수율을 구하였다.

투수량(g) = 건조한 후 실내 공기 중에서 1시간 보존한 후 시편의 무게(g) - 수압을 가한 직후 시편의 무게(g)

투수율(%) = {시료 시멘트 시편의 투수량(g) / 보통 포틀랜드 시멘트 시편의 투수량(g)} × 100

4. 결과 및 고찰

4.1 흐름도

가공하지 않은 fly ash 첨가량에 따른 시멘트 모르타르의 흐름도를 시험해 본 결과는 Fig. 2에서 OPC 무게의 10%를 혼합했을 때 약 5% 정도 증대하고 그 이상 혼합하면 오히려 감소하는 것을 볼 수 있는데 이러한 현상은 OPC에 평균입경이 $5\mu\text{m}$ 이하인 구형입자들이 첨가되어 입경이 다른 시멘트 입자가 상호 치밀하게 충전되며 수막이 균일하게 형성되어 배아링 효과를 나타내므로 모르타르의 점성이 약간 감소되지만⁷⁾ 본 실험에서 사용한 fly ash는 표면이 거칠고 평균입경이 약 $50\sim 100\mu\text{m}$ 나 되는 커다란 입자들이 다량 함유되어 있으며 fly ash 중에 포함된 미연탄소가 유동성을 저해하므로^{7,8)} ash 첨가량이 증가함에 따라서 모르타르의 흐름도가 감소하

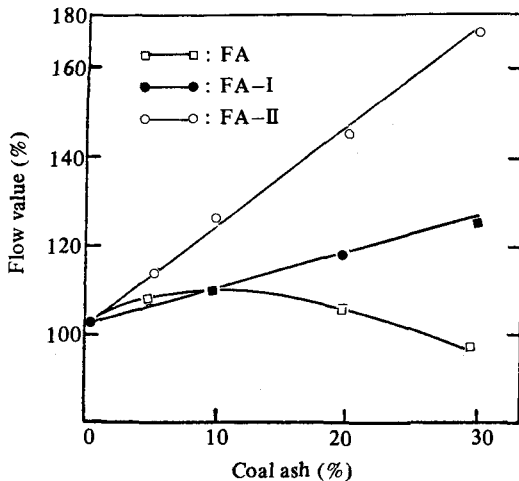


Fig. 2. Flow value vs. coal ash content in the mortar of fly ash-cements.

는 것으로 사료된다.⁴⁾

그러나 아스팔트-스테아린산 혼합물로 fly ash를 가공하여 OPC에 첨가한 fly ash 혼합 시멘트 모르타르의 흐름도는 fly ash 첨가량이 10%씩 증가함에 따라서 약 5%씩 비례적으로 증가하는 것을 볼 수 있다. 이와 같은 현상은 fly ash 표면에 부착되어 있는 아스팔트-스테아린산이 강한 발수성을 나타내므로 이로 인한 배아링 효과 때문에 fly ash 첨가량 증가에 따라서 모르타르의 흐름도가 증가하는 것으로 사료된다.^{5,9)} 또한 아스팔트와 함께 부착되어 있는 미량의 스테아린산은 시멘트로부터 용출되어 나오는 K^+ , Na^+ 나 Ca^{++} 등과 같은 양이온과 금속염을 형성하여 약간의 계면활성 효과를 나타내기 때문으로도 생각할 수 있다.^{10,11)}

Fly ash를 아스팔트-보일유 혼합물로 가공하여 혼합한 FA-II 모르타르의 흐름도는 fly ash 첨가량이 10%씩 증가함에 따라서 흐름도가 거의 비례적으로 20% 정도씩 크게 증가하는 것을 볼 수 있다. 이러한 흐름도 증가는 주로 fly ash 표면에 처리되어 있는 보일유에 의한 것으로 사료된다. 즉 보일유는 아마인유에 중합촉매를 넣고 가열하여 지방산을 2중합체 혹은 3중합체가 되도록 산화중합시킨 것이므로 시멘트 반죽과 같은 강한 알칼리 분위기에서는 지방산과 글리세린으로 분해될 것이다.⁵⁾ 따라서 이렇게 분해된 지방산과 글리세린은 시멘트나 fly ash로부터 용출된 각종 양이온들과 금속염을 형성하여 일종의 계면활성제가 되어 각종 유동화제와 같은 효과를 나타내기 때문으로 사료된다. 또한 시멘트나 fly ash 입자표면에 흡착되어 있는 글리세린과 미분해된 보일유도 강한 발수성을 나타내므로 이에 따른 배아링 효과가 나타나기 때문에 FA-II 모르타르의 흐름도가 현저히 증가되는 것으로 사료된다.^{5,11)}

4.2 공기량

Fig. 3에서 가공하지 않은 fly ash 혼합시멘트 모르타르의 공기량은 fly ash가 10% 첨가되었을 때 OPC 모르타르에 비하여 3.1% 정도로 가장 크게 감소되며 그 이상 혼합되면 모르타르의 공기

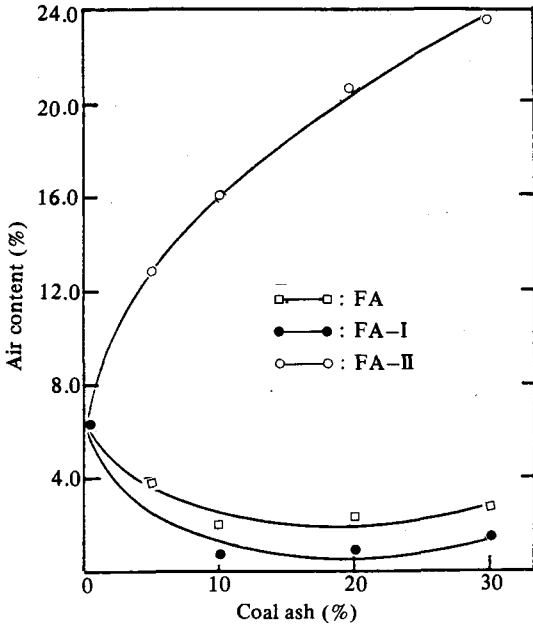


Fig. 3. Air content vs. coal ash content in the mortar of fly ash-cements.

량이 약간씩 증가되는 것을 볼 수 있는데 이러한 현상은 흐름도 결과에서 기술한 바와 같이 직경이 $5\mu\text{m}$ 이하되는 구형입자들이 적량 첨가되면 입경이 다른 시멘트 입자들이 서로 치밀하게 충전되지만 본 실험에 사용한 시료는 입자가 거칠고 입경이 $50\mu\text{m}$ 이상되는 큰 입자들이 다량 함유되었기 때문에 fly ash가 20% 이상 첨가되면 오히려 충전효과가 떨어지는 것으로 보인다.^{7,12)} 한편 모르터의 공기량은 주로 입자들의 충전성에 좌우되는 것이므로^{13,14)} fly ash 표면에 소량 처리된 아스팔트-스테아린산 혼합물은 시멘트 모르터의 공기량에 크게 영향을 주지 않지만 아스팔트-스테아린산이 나타내는 발수성에 의해서 아스팔트-스테아린산 혼합물로 표면처리한 FA-I 모르터의 공기량이 FA 모르터보다 약간 증가되어 나타나는 것으로 사료된다.

그러나 fly ash를 아스팔트-보일유 혼합물로 가공한 fly ash 혼합시멘트 모르터의 공기량은 fly ash 첨가량이 증가함에 따라서 공기량이 크게 증가되는 것을 볼 수 있다. 이와 같은 모르터의 공기량 증가는 주로 fly ash 표면에 처리

된 보일유가 분해되어 각종 양이온들과 반응하여 탄소수가 18개 정도인 지방산염과 글리세린염을 형성하게 될 것이므로 이들이 일반적인 공기연행제와 같은 강한 계면활성 효과를 나타내기 때문에 사료된다.^{5,8,16)}

4.3 압축강도

4.3.1 fly ash 첨가량에 따른 강도변화

Fig. 4에서 재령 3일과 7일되는 모르터의 압축강도는 OPC 모르터의 강도에 비하여 가공하지 않은 fly ash 혼합량이 10%씩 증가함에 따라서 거의 20%씩 비례적으로 감소하나 재령 28일에서는 fly ash 혼입량 증가에 따라 5~10% 정도로 적게 감소되는 것을 볼 수 있다. 일반적으로 미세하고 포졸란 반응성이 있는 fly ash가 시멘트 반죽에 첨가되면 용액내의 칼슘 농도를 감소시키며 C-S-H, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 핵 생성을 지연시키므로 초기강도가 저하된다.^{10,13)} 그러나 수화재령이 증가함에 따라서 포틀랜드 시멘트의 수화반응은 이온들의 확산에 의해서 지배를 받게 되므로 fly ash의 수화속도와 거의 같아지는 반면 fly ash 혼합시멘트(FA)의 수화반응은 미세한 fly ash 입자들이 수화물 석출위치를 제공하므로 혼합시멘트의 수화반응이 약간 촉진되기 때문에 장기 재령에서의 강도는 어느 정도 회복되는 것으로 사료된다.^{16,17)} 이와 같은 현

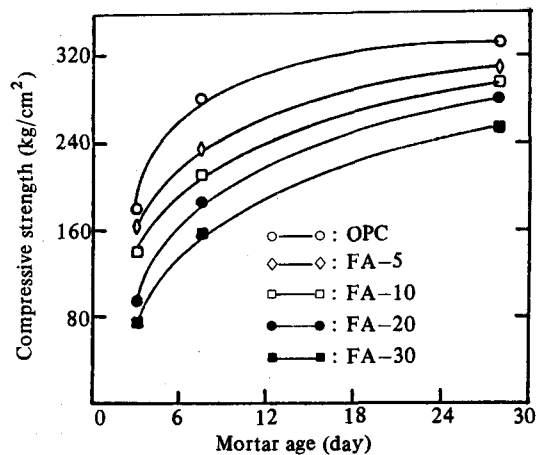


Fig. 4. Compressive strength vs. mortar age of fly ash cements.

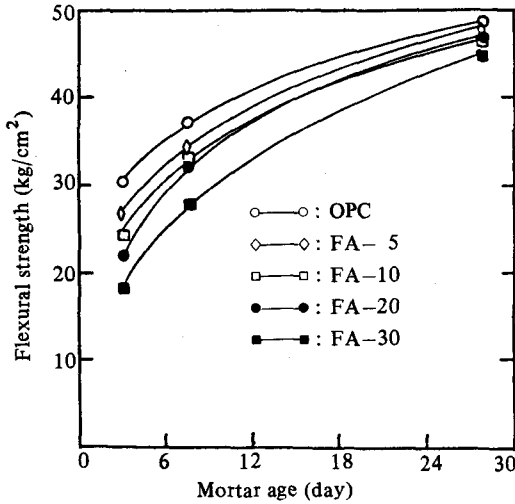


Fig. 5. Flexural strength vs. mortar age of fly ash cements.

상은 Fig. 5의 모르터의 휨강도에서도 나타난다.

4.3.2 아스팔트-스테아린산 혼합물로 가공된 fly ash 혼합시멘트

Fig. 6에서 fly ash가 아스팔트-스테아린산 혼합물로 처리된 FA-I 모르터의 압축강도는 가공되지 않은 fly ash 시멘트 모르터의 강도보다 전반적으로 약 15% 정도 높게 나타나며 초기 재령에서 보다 크게 증가됨을 볼 수 있다.

아스팔트는 시멘트 수화반응에 큰 영향을 주지 않으나 시멘트와 물과의 접촉을 방해하므로 시멘트의 수화반응을 약간 저해하는 효과가 있다는 연구된 결과^{5, 18, 19}를 감안해 볼 때 상기한 바와 같은 수화반응의 촉진효과는 주로 스테아린산에 의해서 일어나는 것으로 생각된다. 즉 이와 같은 스테아린산의 시멘트 수화촉진 효과는 스테아린산이 칼슘 등과 착염을 형성하여 Ca^{++} 의 농도를 감소시키므로 C_3S 의 용해속도를 가속시키는 동시에 형성된 착염은 어느 농도 이상에서 침전물을 형성하여 수화물 석출 장소로서 좋은 기능을 발휘하므로 시멘트의 수화반응이 촉진되고 또한 수화물의 결정성, 쌓임성, 얽힘성을 증가시키므로 모르터의 초기강도를 증진시키는 것으로 사료된다.^{10, 13, 15}

압축강도에서와 마찬가지로 FA-I 모르터의

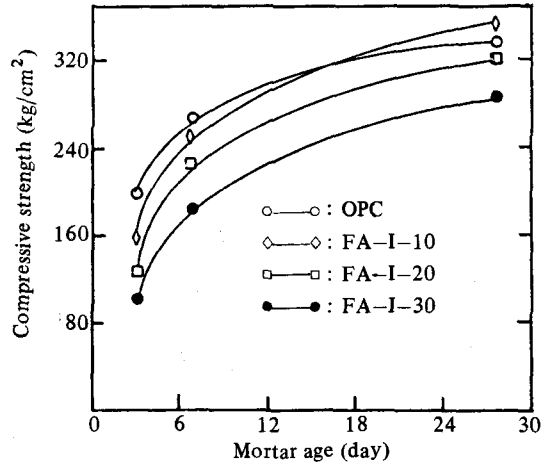


Fig. 6. Compressive strength vs. mortar age of fly ash cements modified with asphalt-stearic acid blend.

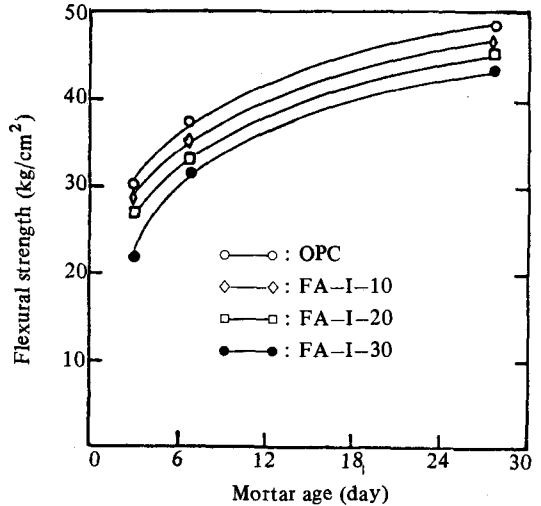


Fig. 7. Flexural strength vs. mortar age of fly ash cements modified with asphalt-stearic acid blend.

휨강도는 가공하지 않은 fly ash 혼합시멘트 모르터보다 3, 7일 재령에서 15~20% 정도 높게 나타나며 28일 재령에서는 거의 같은 정도로 나타남을 Fig. 6에서 볼 수 있다.

4.3.3 아스팔트-보일유 혼합물로 가공된 fly ash 혼합시멘트

모르터의 흐름도와 공기량이 증가하는 것과는 대조적으로 아스팔트-보일유가 처리된 fly ash

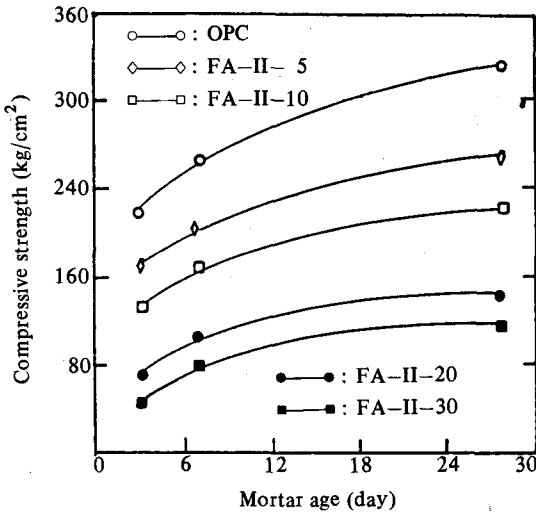


Fig. 8. Compressive strength vs. mortar age of fly ash cements modified with asphalt-boiled oil blend.

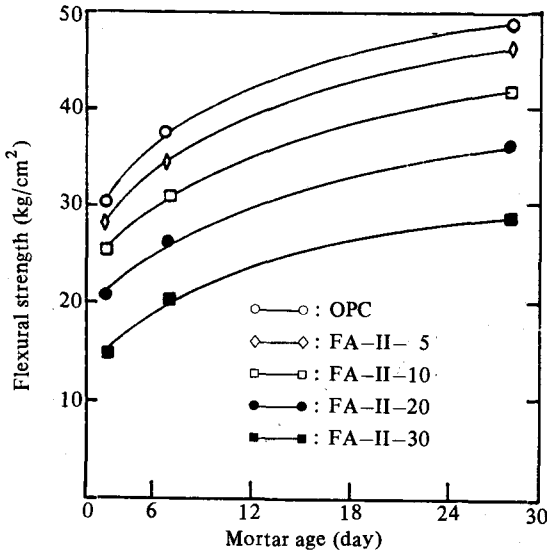


Fig. 9. Flexural strength vs. mortar age of fly ash cements modified with asphalt-boiled oil blend.

첨가량이 10%씩 증가함에 따라서 압축강도는 약 40% 정도씩 감소되고 휨강도는 거의 20%씩 감소되며 3일 재령에서 보다는 7일과 28일 재령에서 그 감소폭이 보다 크게 나타나는 것을 Fig. 8, 9에서 볼 수 있다. 이와 같은 강도 감소현상은 fly ash의 낮은 수화반응성에 의한 감소^{7, 20)} 뿐만 아니라 fly ash에 처리된 보일유

가 FA-II 조직내에 과다한 공기량으로 인해 보일유로부터 분리된 글리세린은 칼슘 등과 같은 양이온과 착물을 형성하여 수산화칼슘 및 시멘트 수화물을 용해시키거나 시멘트 수화반응을 억제하기 때문으로 사료된다.^{5, 10, 11)}

4.4 흡수율

4.4.1 fly ash 첨가량에 따른 흡수율 변화

일반적으로 fly ash 혼합시멘트 경화체의 공극채널은 굴곡도가 크며 조직이 치밀하고 fly ash의 포졸란 반응에 의해서 연결된 기공이 감소되기 때문에 모르터의 흡수율은 OPC 모르터보다 적게 나타나는 것으로 보고되었다.^{5, 7, 12, 21)} 그러나 본 실험에서 사용한 fly ash 혼합시멘트 모르터의 전반적인 흡수량은 Table 6.에서와 같이 OPC 모르터와 큰 차이가 없으며, fly ash 첨가량이 증가함에 따라서 모르터의 초기 흡수율이 약간 적게 나타났다. 여기서 fly ash를 20% 첨가한 것이 30% 첨가한 모르터보다 초기 흡수율에서 적게 나타났는데 이러한 현상은 초기재령에서의 혼합시멘트 모르터 흡수율은 혼합재 입자의 크기와 형태에 좌우되며 5 μ m 이하되는 입자들이 OPC 무게의 15% 정도 첨가되었을 때 가장 치밀한 구조를 형성하기 때문으로 보인다.¹⁴⁾

Table 6. Water absorption ratios of flyash cement mortars.

Sample	Ratio (%)			
	1 hr.	3 hr.	5 hr.	24 hr.
OPC	100	100	100	100
FA-5	93	98	96	98
FA-10	85	95	94	96
FA-20	81	93	92	96
FA-30	85	95	92	96

4.4.2 아스팔트-스테아린산으로 가공된 fly ash 혼합시멘트 모르터

가공된 fly ash 혼합량이 10% 이상되면 시멘트 모르터가 1~5시간 동안에 일어나는 흡수율은 60~87% 정도로 유지되고 fly ash 혼합

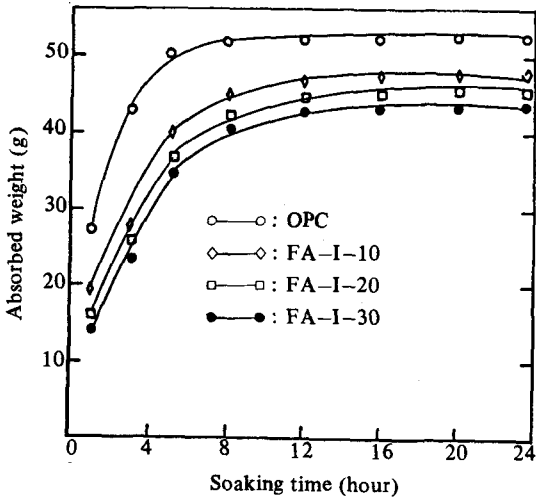


Fig. 10. Absorbed weight vs. soaking time in the mortars of fly ash cements modified with asphalt-stearic acid blend.

량이 10%일 때 흡수량 감소폭이 가장 크게 일어나는 것을 Fig. 10에서 볼 수 있다. 이와 같은 감소효과는 fly ash 자체에 의한 효과와⁷⁾ fly ash 표면에 처리된 물질이 나타내는 발수성 때문으로 사료된다.^{5,7)}

4.4.3 아스팔트-보일유 혼합물로 처리된 fly ash 혼합시멘트 모르터

Fig. 11에서 FA-II 모르터는 fly ash 함량이 5%만 되어도 5시간 이내 흡수율이 70% 이하로 현저히 감소되며 24시간 동안의 흡수율도 85% 정도밖에 안되는 것으로 나타났다. 또한 fly ash 혼합량이 10% 이상이 되면 첨가량이 10%씩 증가함에 따라서 FA-II 모르터의 전반적인 흡수율은 약 7% 정도씩 감소하는 것을 볼 수 있다.

이와 같은 흡수율 저감현상은 fly ash 표면이 아스팔트와 보일유 혼합물에 의해서 처리되었으므로 아스팔트-보일유 자체는 물론 보일유로부터 분리된 지방산이나 글리세린염이 시멘트, fly ash 혹은 수화물 입자표면에 흡착되어 강한 발수성을 나타내기 때문에 모세관을 통한 물의 통관압력이 현저히 증가되며^{5,11)} 미세한 fly ash에 의해서 모세관들이 막히거나 모세관의 굵목도가 심해졌기 때문으로^{9,21)} 보인다.

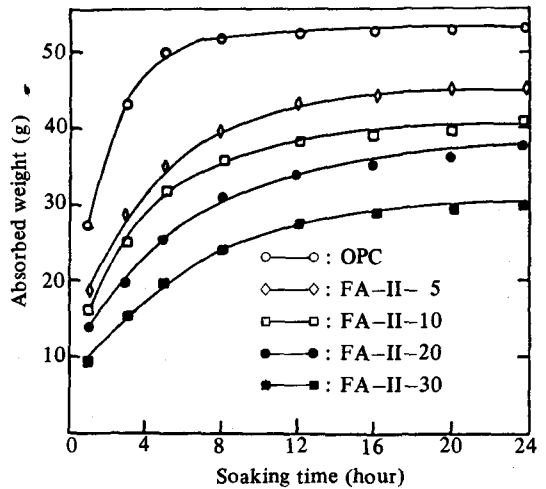


Fig. 11. Absorbed weight vs. soaking time in the mortars of fly ash cement modified with asphalt-boiled oil blend.

5. Fly ash 혼합시멘트와 특수시멘트의 물성 비교시험

5.1 감수량 및 공기량

Fig. 12에서 모르터의 흐름도가 110~115% 되도록 배합하는데 소요되는 각 시료의 물/시멘트비에서 OPC, ACTPC, FA-20의 모르터는 약 60% 정도로 거의 동일하게 나타났으나 FA-I-20은 57%로 약간 감소되고 아스팔트-보일유 혼합물로 처리된 FA-II-20은 시판되는 AE 감수제를 사용한 OPC-L과 같이 OPC에 비하여 10% 정도 감수되는 것을 볼 수 있다.

또한 Fig. 13에서 FA-20과 FA-I-20 모르터의 공기량은 OPC 모르터의 공기량에 비하여 약 3% 정도 감소되는 반면 OPC-L과 FA-II-20은 무려 16~18% 정도로 크게 증가되는 것을 볼 수 있다. 즉 fly ash가 아스팔트-보일유 혼합물로 처리된 혼합시멘트 모르터의 감수량 및 공기량은 OPC에 AE 감수제를 혼합한 것과 거의 같게 나타났다.

5.2 압축강도와 휨강도

Fig. 14, 15에서 재령이 28일까지 ACTPC 모르터의 압축 및 휨강도는 OPC 모르터와 거의

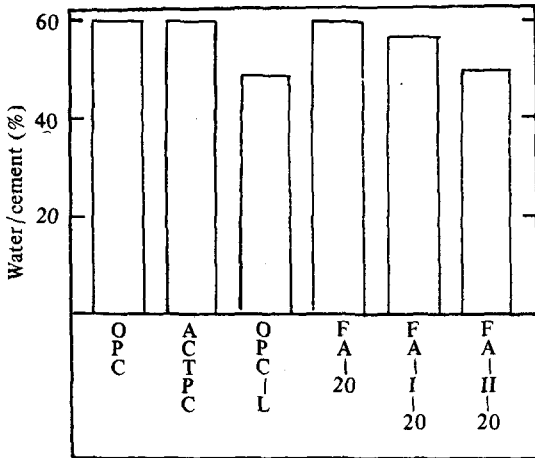


Fig. 12. Comparison of water-cement ratios among the special cement mortars.

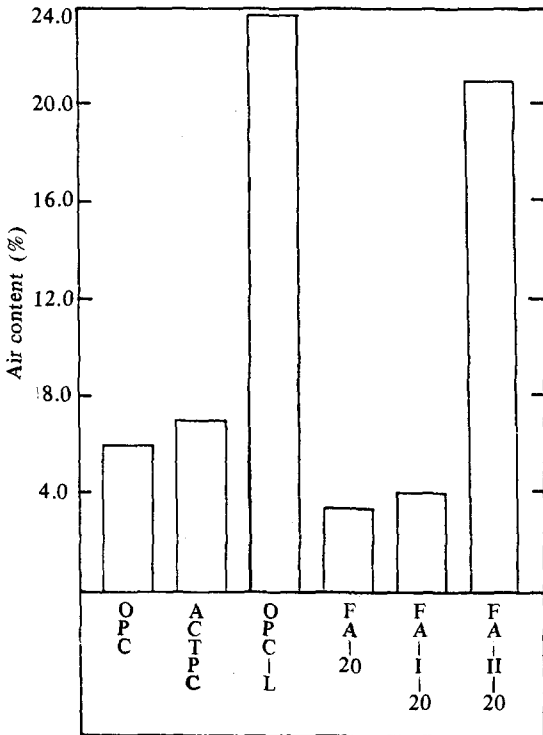


Fig. 13. Comparison of air contents among the special cement mortars.

비슷하게 나타나지만 FA-20 모르터는 7일 이내 재령에서의 OPC 강도에 비하여 압축강도는 55% 정도, 휨강도는 80% 정도로 크게 감소되

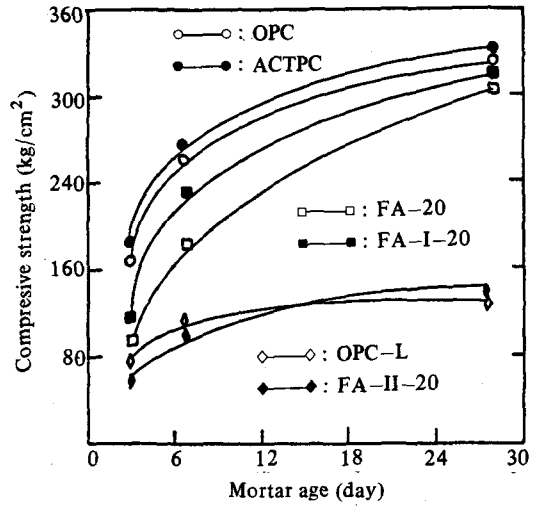


Fig. 14. Compressive strength vs. mortar age of special cements.

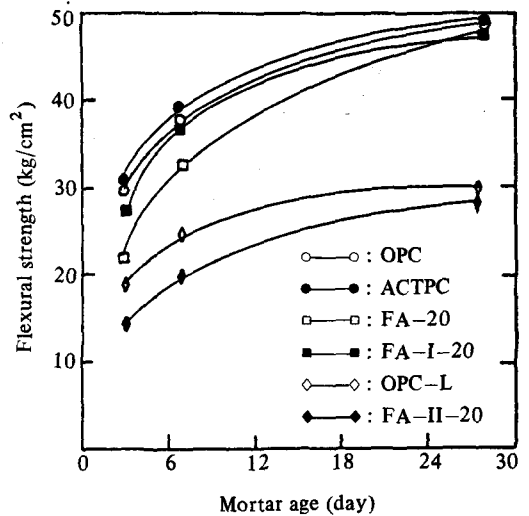


Fig. 15. Flexural strength vs. mortar age of special cements.

는 반면 아스팔트-스테아린산 혼합물을 처리한 FA-I-20의 압축강도는 OPC 강도의 80% 정도, 휨강도는 95% 정도로 FA-20보다 훨씬 높게 나타났다. 또한 아스팔트-보일유 혼합물로 처리된 FA-II-20 모르터는 OPC 강도에 비하여 압축강도는 40% 정도, 휨강도는 70% 정도로 현저히 적게 나타나지만 시판 AE 감수제를 사용한 OPC-L 모르터 강도와 거의 같은 정

도로 나타남을 볼 수 있다. 기보고된 바에 의하면^{5, 6, 10)} 시멘트에 물리적인 방법으로 아스팔트와 같은 발수성 물질을 1.0% 이내로 소량 처리하면 발수성 때문에 시멘트의 접수 직후 수화반응이 약간 저해되지만 경화체의 초기강도 발현에는 큰 영향이 없는 것으로 나타났다. 따라서 FA-I-20 모르터의 초기강도가 FA-20 모르터 강도보다 약 15% 정도 증가되는 이유는 fly ash 표면에 부착되어 있는 소량의 스테아린산이 Table 7.에서 나타난 바와 같이 fly ash의 포졸란 반응성 및 시멘트 수화반응을 촉진시키기 때문으로 사료된다.^{10, 13)}

Fly ash를 아스팔트-스테아린산 혹은 아스팔트-보일유 혼합물로 처리했을 때 나타나는 포졸란 활성은 Table 7.과 같다. 즉 아스팔트-스테아린산 혼합물로 fly ash를 가공하면 fly ash의 활성이 약간 증가되나 아스팔트-보일유로 fly ash를 처리하면 강도가 현저히 감소되는 것으로 나타났다. 이와 같이 아스팔트-보일유 혼합물로 처리된 fly ash의 활성도가 격감되는 주된 요인은 공기체에 다량의 공기가 연행되었기 때문으로 보인다.

Table 7. Pozzolan activities of the modified fly ashes.

Sample	FA-20	FA-I-20	FA-II-20
Activity (kg/cm ²)	62.2	65.5	39.4

5.3 흡수율

Fig. 16에서 OPC에 순수한 fly ash를 첨가한 FA-20 모르터의 흡수율은 24시간 동안의 전흡수시간을 통하여 90% 이상으로 나타나지만 fly ash가 아스팔트-스테아린산 혼합물로 처리된 FA-I-20 모르터의 흡수율은 침수시간이 5시간 이내에서 60% 정도로 현저히 감소되며 침수시간이 증가함에 따라서 흡수율은 80% 정도가 되어 OPC에 AE 감수제를 첨가한 OPC-L 모르터의 흡수율과 거의 같은 정도로 나타났다. 또 fly ash가 아스팔트-보일유 혼합

물로 처리된 FA-II-20 모르터의 흡수율은 침수시간 5시간 이내에서 50% 정도로 유지되며 24시간 침수시에는 70% 정도로 그 흡수율이 OPC-L 모르터보다 현저히 감소되는 것을 볼 수 있다. 한편 보통 포틀랜드 시멘트 입자 전체에 아스팔트를 처리하고 카본블랙을 처리한 수밀성 포틀랜드 시멘트 모르터의 흡수율은 침수시간이 5시간 이내에서는 40% 정도밖에 안되며 24시간 침수시에도 65% 정도로 흡수율이 가장 크게 감소되는 것으로 나타났다.

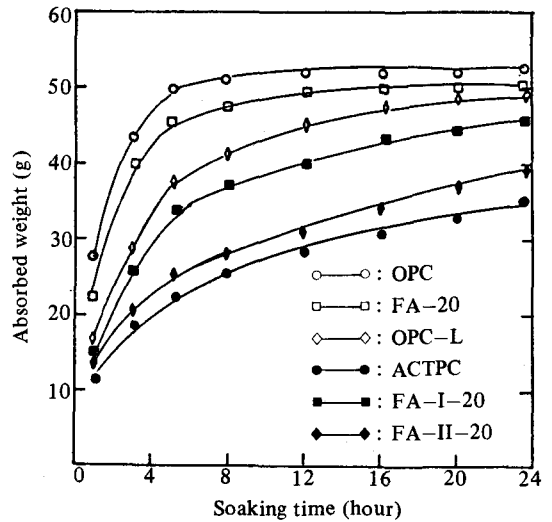


Fig. 16. Absorbed weight vs. soaking time in the mortars of special cements.

5.4 투수율

Fig. 17에서 모르터에 3.0 kg/cm² 수압을 1시간 동안 가하여 각 시료가 나타내는 투수율을 측정된 결과는 FA-20 모르터의 투수율은 OPC 모르터와 큰 차이가 없이 나타난 반면 FA-I-20은 OPC-L 모르터의 투수율과 거의 비슷하게 90% 정도로 나타내며 FA-II-20와 ACTPC 모르터의 투수율은 40~50% 정도로 현저히 적게 나타나는 것을 볼 수 있다.

일반적으로 시멘트 경화체는 fly ash와 같은 포졸란 반응성이 있고 미세한 입자가 혼입되면 조직이 치밀하게 되어 장기 재령에서의 투수계수는 감소하지만^{14, 22, 23)} 투수성은 공극의 직경이

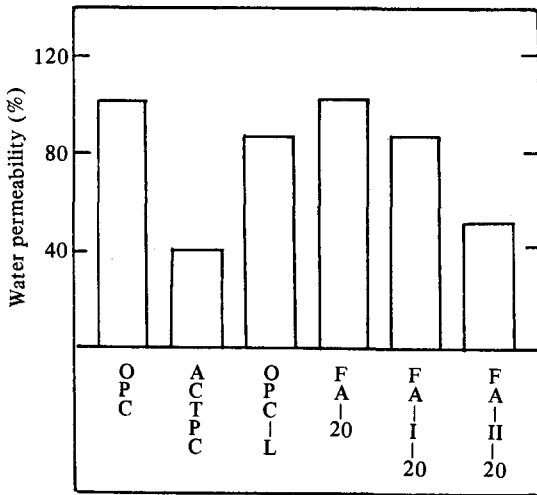


Fig. 17. Comparison of water permeabilities among the special cement mortars under 3.0 kg/cm² water pressure for 1 hour.

130 nm 이상되는 비교적 공극의 크기가 큰 공극에 의해서 영향을 받으며 이와 같은 공극이 포졸란 반응에 의해서 메꾸어지기 위해서는 재령이 28일 이상 경과하여야 한다고 보고되었다.^{12, 14)} 따라서 가공하지 않은 fly ash 혼합시멘트 경화체는 수화반응 지연 등과 같은 원인으로 초기재령에서 100 nm 이상되는 공극이 OPC 경화체에 비하여 많이 생성^{14, 16)}되므로 재령이 28일 되는 FA-20 투수성이 OPC 경화체와 큰 차이 없게 나타난 것으로 사료된다.

한편 FA-II-20 경화체는 아스팔트와 보일유 혼합물로 처리된 fly ash가 발수성을 나타내는 동시에 물을 늦게 흡수하므로 모르터 조적내에서 부유하다가 모르터가 경화되면서 발생하는 모세관이나 공극 등에 고착되어 강한 방수성을 낼 뿐만 아니라 fly ash 표면에 처리된 아스팔트와 보일유가 착물을 형성하면서 시멘트나 fly ash 입자 혹은 공극 표면에 흡착되어 발수효과를 나타내므로 OPC 경화체에 비하여 투수율이 현저히 감소하는 것으로 보인다.^{5, 11)}

6. 결 론

Fly ash를 혼합재로 사용한 시멘트 모르터의

초기강도, 작업성, 공기연행성, 방수성 등을 개선해 보고자 fly ash를 아스팔트-스테아린산 혹은 아스팔트-보일유 혼합물로 가공하여 수밀성 포틀랜드 시멘트, 시판되는 AE 감수제를 사용한 시멘트 모르터와 물성비교 시험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 보통 fly ash 및 가공된 fly ash를 시멘트 혼합재로 사용하고자 할 때 최적 fly ash 첨가량은 모르터의 흐름도, 공기량, 압축 및 휨강도, 흡수율 등과 경제성을 고려하여 20% 정도가 적당한 것으로 판단된다.

2. Fly ash가 아스팔트-스테아린산 혼합물로 처리된 fly ash 혼합시멘트 모르터는 보통 fly ash 혼합시멘트 모르터보다 초기강도가 약 20% 정도 증가되고 흡수율이 20% 정도 감소하였다.

3. Fly ash가 아스팔트-보일유 혼합물로 처리된 fly ash 혼합시멘트 모르터는 보통 fly ash 혼합시멘트에 비하여 물/시멘트비가 10% 정도 감소되며 공기량은 15% 정도 증가되어 OPC에 AE 감수제를 사용한 시멘트 모르터와 비슷하게 나타났다.

4. Fly ash가 아스팔트-보일유 혼합물로 가공된 fly ash 혼합시멘트와 수밀성 포틀랜드시멘트 모르터의 흡수율 및 투수율은 40~60% 정도로, 보통 fly ash 혼합시멘트나 OPC에 AE 감수제를 사용한 시멘트 모르터보다 현저히 적게 나타났다.

5. 재령 28일 이내에 나타나는 모르터의 초기 압축강도는 보통포틀랜드 시멘트에 비하여 보통 fly ash 혼합시멘트는 20~40% 정도 감소되며 아스팔트-보일유 혼합물로 가공된 fly ash 혼합시멘트는 OPC에 AE 감수제를 사용한 시멘트 모르터와 비슷하게 나타났다.

<참 고 문 헌>

1. 한국전력공사기술연구원, "콘크리트 혼화재로서의 석탄재 이용방안 연구, "KRC-87H-J01(1989. 4).

2. 内川浩, “混合セメントの水和および構造形成に及ぼす混合材の効果(その1)”, セメント・コンクリート, 483, pp.15~23, (1987).
3. 小林正凡, “AE劑・減水劑”, セメント・コンクリート, 427, pp. 73~79, (1982).
4. 권영진, 김무한, “실리카 흙을 混入한 高强度 콘크리트의 施工性 및 工學的 特性에 관한 基礎的 研究”, 한국콘크리트학회 학술발표 논문집, 제 2 권 1 호, pp. 29~34, (1990).
5. 趙憲英, “아스팔트와 카본블랙으로 處理된 포틀랜드 시멘트의 特性”, 충남대학교 대학원, (1990).
6. 황의환, 홍원표, “水密性 포틀랜드 시멘트의 製造方法과 最適 組成에 關한 研究”, 忠南大學校 工業教育研究所 論文集, 7, (1), pp.115~122, (1984).
7. 内川浩, “混合セメントの水和および構造形成に及ぼす混合材の効果(その3)”, セメント・コンクリート, 486, pp. 35~47, (1987).
8. 조현영, 황의환, 홍원표, “Carbon black이 시멘트 Paste 및 Mortar의 물리적 특성에 미치는 영향”, 忠南大學校 産業技術研究所 論文集, 1, (2), pp. 1~7, (1986).
9. 조현영, 김무한, 황의환, 홍원표, “아스팔트로 處理된 포틀랜드 시멘트를 使用한 시멘트 페이스트 및 몰탈의 物理的 特性”, 大韓建築學會 學術發表論文集, pp. 539~542, (1986).
10. 笠井順一, “セメントの錯鹽化學”, セ技年報, 38, pp. 10~14, (1984).
11. 伊藤眞純, 竹内徹, “遲延および超遲延のメカニズム”, セメント・コンクリート, 42, pp. 31~37, (1986).
12. B. K. March, R. L. Day and D. G. Bonner, “PORE STRUCTURE CHARACTERISTICS AFFECTING THE PERMEABILITY OF CEMENT PASTE CONTAINING FLY ASH”, CEMENT AND CONCRETE RESEARCH, 15, 1027-1038, (1985).
13. 内川浩, “混合セメントの水和および構造形成に及ぼす混合材の効果(その2)”, セメント・コンクリート, 484, pp. 81~93, (1987).
14. 内川浩, “混合セメントの水和および構造形成に及ぼす混合材の効果(その4, 完)”, 세멘트·콘크리트, 488, pp. 33~48, (1987).
15. N. B. Singh, (Smt.) S. Prabha Singh and A. K. Singh, “EFFECT OF LACTIC ACID ON THE HYDRATION OF PORTLAND CEMENT”, CEMENT and CONCRETE RESEARCH, 16, 545-553, (1986).
16. H. F. W. TAYLOR, K. MOHAN and G. K. MOIR, “Analytical Study of Pure and Extended Cement Pastes: II, Fly Ash- and Slag-Cement Pastes”, J. Am. Ceram. Soc., 68 [12] 685-90, (1985).
17. K. Ogawa, H. Uchikawa, K. Takemoto and I. Yasui, “THE MECHANISM OF THE HYDRATION IN THE SYSTEM C_3S -POZZOLANA”, CEMENT and CONCRETE RESEARCH, Vol. 10, pp. 683-696, (1980).
18. 조현영, 홍원표, 황의환, “Asphalt와 Carbon Black 處理量이 포틀랜드 시멘트의 物理的 特性 및 初期水화에 미치는 影響”, J. of the Kor. Ceram. Soc., 26, (5), pp. 609~616, (1989).
19. 김철규, 정수영, 홍원표, “Asphalt와 Carbon black이 콘크리트 水密성에 미치는 影響”, 大韓建築學會誌, 28, (21), pp. 119~123, (1984).
20. P. K. Mehta and O. E. Gjory, “Properties of Portland Cement Concrete Containing Fly Ash and Condensed Silica Fume”, CEMENT and CONCRETE RESEARCH, 12, 587-595, (1982).
21. M. Buil and P. Delage, “SOME FURTHER EVIDENCE ON A SPECIFIC EFFECT OF SILICA FUME ON THE PORE STRUCTURE OF PORTLAND CEMENT MORTARS”, CEMENT and CONCRETE RESEARCH, Vol. 17, pp. 65-69, (1987).
22. Mario, Collepardi, Aldo Marcialis and Renato Turriziani, “THE PENETRATION OF DEICING AGENTS IN CEMENT PASTES”, il cemento, 3, 143-149, (1972).
23. Shiqun Li and Della M. Roy, “INVESTIGATION OF RELATIONS BETWEEN POROSITY, PORE STRUCTURE AND Cl^- DIFFUSION OF FLY ASH AND BLENDED CEMENT PASTES”, CEMENT and CONCRETE RESEARCH, Vol. 16, pp. 749-759, (1986).