

팽창재 및 플라이애쉬를 이용하는 수중불분리 모르타의 특성

Properties of Undispersed Underwater Mortar Using the Expansive Additives and Fly Ash



한천구*

Han, Cheon Goo



이대주**

Lee, Dae-Ju



이광설**

Lee, Kwang-Sul



한일영****

Han, Il Yeong



권지훈*****

Kwon, Ji Hoon



유홍종*****

Yoo, Hong Jong

ABSTRACT

Existing cast in place piles made by grouting cement mortar have many problems that cracks by autogeneous and drying shrinkage bring about the deterioration of force for piles, segregations by the submersion of ground water occur and also, high cement contents lead to rise the manufacturing cost. Therefore, this study is intended to investigate the mechanical properties of high performance mortar, incorporating expansive additives and fly ash, for cast in place piles. According to the experimental results, as the contents of expansive additives increase in mortar mixture, fluidity decrease and air contents shows inverse tendency. Setting time is delayed. Although compressive strength at 7days shows a decline tendency, compressive strength at 28days and 91days increase slightly with 5% of expansive additives. As fly ash increase in mortar mixture, high fluidity is shown, air contents increase and setting time is delayed at fresh state, and compressive strength shows a decline tendency at hardened state. The more expensive additives are, the larger length change is, whereas shrinkage decrease with the increase of fly ash.

Keywords : Expansive Additive, Fly Ash, Undispersed Underwater Mortar

* 정호원, 청주대학교 건축공학과 교수

** 정호원, 청주대학교 대학원

**** 정호원, SK건설(주) 부설 연구소 책임 연구원

***** 정호원, SK건설(주) 부설 연구소 주임 연구원

***** 정호원, SK건설(주) 부설 연구소 연구원

• 본 논문에 대한 토의를 1999년 4월 30일까지 학회로 보내주시면 1999년 6월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

1. 서 론

최근, 도심지 건축물의 말뚝지정 공사에는 기성재 말뚝의 향타공법보다는 소음, 진동 등의 문제를 해결할 수 있는 제자리 콘크리트 말뚝 공법이 주로 채택되고 있다.

그러나, 종래의 시멘트 모르타르 그라우트 방식에 의한 제자리 콘크리트 말뚝은 시공후 자기수축¹⁾ 및 건조수축 등에 의하여 말뚝의 내력이 저하하고, 지하수에 의하여 재료분리가 발생하며, 많은 단위시멘트량에 의한 비경제성 등이 문제시된다.

그러므로, 본 연구에서는 지하수에 의한 재료분리를 방지하기 위하여 수중불분리성 혼화제를 첨가하고²⁾, 유동성의 증가와 아울러 경제성을 성취할 목적으로 플라이애쉬를 치환하며³⁾, 또한, 각종 수축을 보상한 목적으로 팽창재를 첨가하는⁴⁾ 제자리 콘크리트 말뚝용 시멘트 모르타르에 대하여 균지않은 모르타르 및 경화모르타르의 제반 특성을 분석하도록 하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 Table 1과 같다.

2.2 사용재료

본 실험에 사용하는 시멘트로 그의 물리적 성질은 Table 2와 같은 A사의 1종 보통포틀랜드 시멘트가 사용되었다.

골재로써 잔골재는 강모래를 사용하였는데 그의 물리적 성질은 Table 3과 같고, 입도곡선은 Fig 1과 같다.

혼화재료로 팽창재는 J실업의 CSA계 팽창재, 플라이애쉬는 분급 정제된 보령화력산을 사용하였는데 그의 물리적 성질은 Table 4 및 5와 같다.

수중불분리제 및 고성능 감수제는 S사 제를 사용하였는데 그의 물리적 성질은 Table 6 및 7과 같고, 소포제는 독일산을 사용하였다.

Table 1 Factors and levels

Factors		Levels	
Mixing	Mix proportion	3	1:1.5, 1:2, 1:2.5
	E.A/C(%)	4	0, 5, 10, 20
	F.A/C(%)	3	0, 10, 20
	Anti wash-out admixture	2	0, 1kg/m ³
Test	Fresh mortar	5	Slump flow, Air content, Setting time, Placeability, pH
	Hardened mortar	2	<ul style="list-style-type: none"> · Compressive strength - 28d (φ10×20cm) (Air condition, Water condition) - 7, 28, 91d (4×4×4cm) · Length change : 1~29d(Every 2day), 56~92d(Every 14day), 92~182d(Every 30day) - Water curing, - Water curing for 7day and Air curing

* Means that in case both expansive additives and fly ash is not added in mortar mixture, anti washout admixture is also not applied in every mix proportion (E.A : expansive additives, F.A : fly ash)

Table 2 Physical properties of cement

Specific gravity	Blaines (cm ² /g)	Soundness (%)	Setting time (min)		Compressive strength (kg/cm ²)		
			Ini.	Fin.	3d.	7d.	28d.
3.15	3,346	0.06	270	430	216	312	397

Table 3 Physical properties of aggregate

Kinds	Specific gravity	F.M	Void volume (%)	Absorption (%)	Unit weight (kg/m ³)	Solid volume percentage of shape variation (%)
River sand	2.55	2.62	36.1	2.25	1,530	61.0

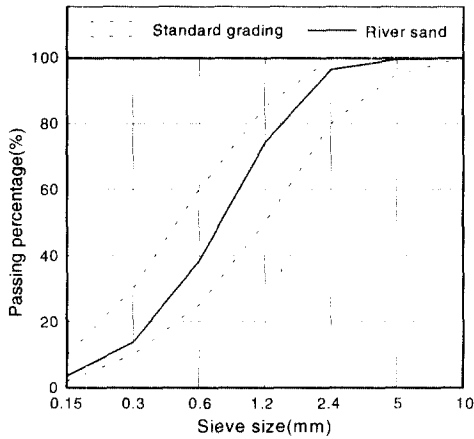


Fig.1 Grading curve of aggregate

Table 4 Chemical properties of expansive additives(%)

CaO	Al ₂ O ₃	SO ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	R ₂ O	SiO ₂	lg.loss	Total	f-CaO
52.28	13.46	23.26	0.21	0.73	0.12	3.82	1.03	99.91	15.90

Table 5 Physical and chemical properties of fly ash

Specific gravity	Blaines (cm ² /g)	lg.loss	Chemical Components(%)					
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	SO ₃	MgO
2.1	3,218	5.9	60.4	24.7	4.6	3.2	0.2	0.8

Table 6 Properties of anti-washout admixtures

Ingredient	Appearance	Recommended dosage(kg/m ³)
Methyl Cellulose	White colored powder	2

Table 7 Physical properties of superplasticizer

Ingredient	Appearance	Specific gravity	Recommended dosage(%)
Melamine	Brown Liquid	1.02	2.2

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로, 먼저 모르터의 혼합은 강제식 팬믹서를 사용하여 Fig. 2의 순서에 따라

실시하였다.

굳지않은 모르터의 실험으로 슬럼프 플로우, 공기량, 응결시간 및 pH시험은 KS규정 및 기타 일반적인 실험방법에 준하여 실시하였고, 충전성 시험은 두 개의 실이 있는 용기에 한쪽실에 모르터를 가득 채운 후, 두실의 막을 제거하여 모르터의 이동이 완전히 멈춰진 후 양쪽실의 모르터 높이차이를 구하는 것으로 하였다.

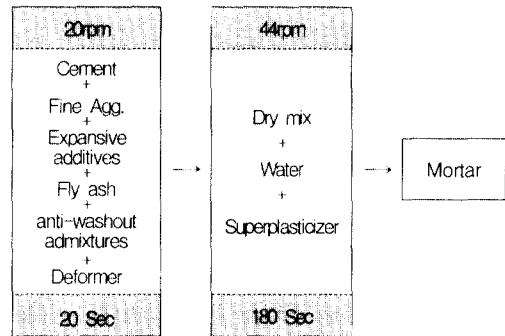


Fig. 2 Mixing procedure of Mortar

기중성형공시체의 압축강도 및 길이변화시험용 공시체는 KS 및 기준에 알려진 표준적인 방법으로 실시하여 제작하였고, 수중성형 압축강도 시험용 공시체는 일본토목학회 규정에 따라 실시하였다.

또한, 경화모르터의 제반강도 특성으로 압축강도 시험은 소정기간 양생이 끝난 후 KS 및 ASTM 규정에 따라 실시하며, 길이변화시험은 KS F 2562의 방법으로 실시하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 배합특성

Fig. 3은 모르터 배합비별 목표표로우(55~65cm)와 공기량(4.5±1.5%)을 만족하기 위한 결합재물비(이하 B/W라 칭함), SP제 및 소포제 사용량에 대하여 시험비법에서 얻은 결과를 곱은 선 그래프로 나타낸 것이다.

먼저, 잔골재 혼입비가 증가할수록 B/W는 작아지는 것으로 나타났고, 또한, 고성능감수제 사

용량은 잔골재 혼입비가 커짐에 따라 감소하는 것으로 나타났으며, 소포제 사용량은 증가하는 것으로 나타났다.

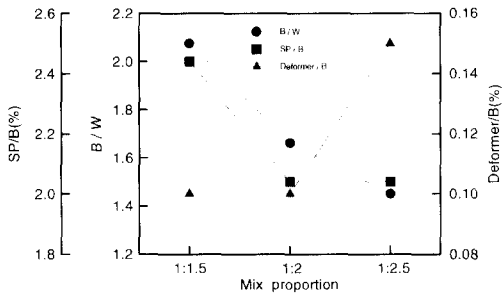


Fig. 3 W/B, SP/B, Deformer/B with the variation of mix proportion

3.2 굳지 않은 모르터 특성

Fig. 4는 팽창재 혼입율 및 플라이애쉬 치환율 변화에 따른 슬럼프 플로우치를 찍은선 그래프로 나타낸 것이다.

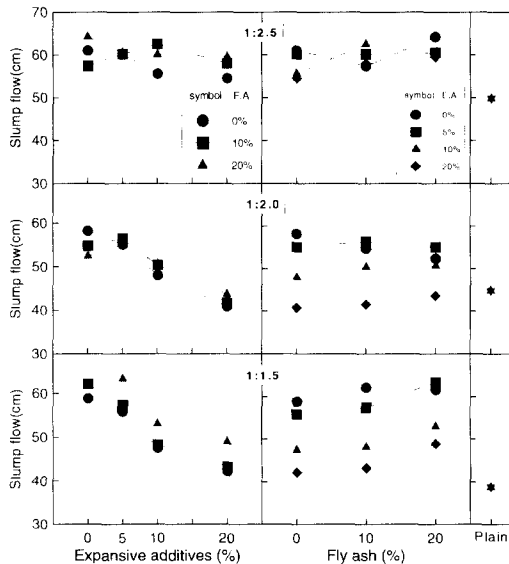


Fig. 4 Slump flow with the variation of the expansive additives and fly ash replacement

전반적인 경향으로 먼저, 수중불분리 모르터의 슬럼프 플로우치는 플레인 배합보다 양호한 것으로 나타났고, 팽창재 혼입율이 증가할수록 감소하

는 것으로 나타났다.

이는 초기에 팽창재 성분의 수화반응으로 에트린جا이트를 형성하면서 물을 많이 소모하기 때문에 나타난 것으로 분석된다. 플라이애쉬 치환율에 따른 슬럼프플로우는 치환율이 증가할수록 유동성이 증진되는 것으로 나타났는데, 이는 구형 미립자인 플라이애쉬의 볼베어링 작용에 의한 것으로 분석된다.

Fig. 5는 전과 동일한 요령으로 공기량을 분석한 그래프이다.

공기량은 수중불분리 모르터의 배합이 플레인 배합 보다 큰 것으로 나타났는데, 이는 수중불분리제 특유의 발포성 때문에 나타난 결과로 사료된다. 또한, 팽창재 혼입율 및 플라이애쉬 치환율이 증가할수록 공기량은 크게 나타났는데, 이는 팽창재 제조시에 AE제 성분이 약간 첨가되어 나타난 결과와 플라이애쉬 치환율이 증가함에 따라 점성의 증가로 모르터 내부에 갇힌 공기가 많아져 나타난 결과로 사료된다. 배합비별로는 잔골재 혼입비가 클수록 공기량이 증가하는 것으로 나타났다.

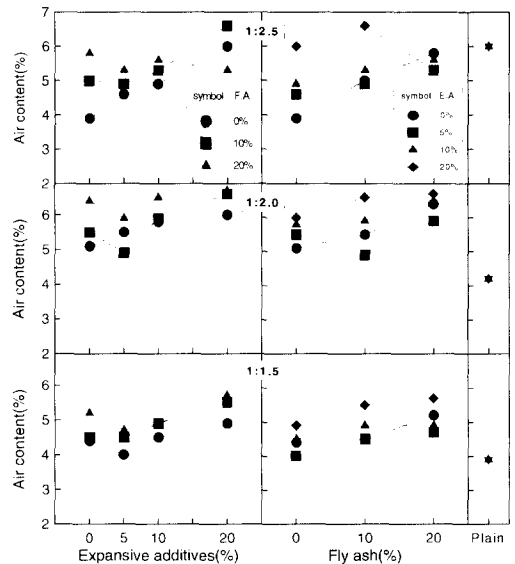


Fig. 5 Air content with the variation of the expansive additives and fly ash replacement

Fig. 6은 전과 동일한 요령으로 충전높이차를 나타낸 것이다. 수중불분리 모르터의 배합이 플레

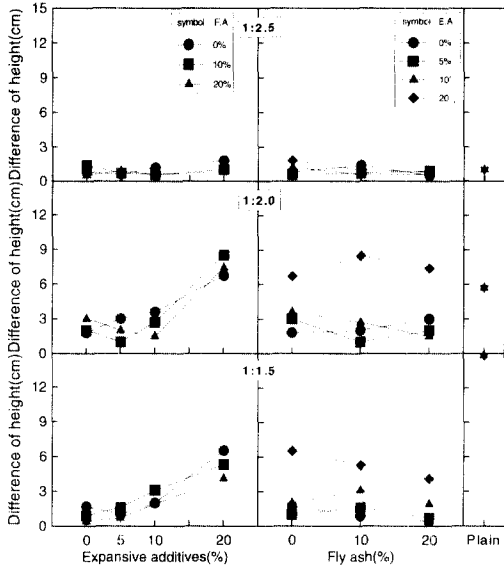


Fig. 6 Placeability with the variation of the expansive additives and fly ash replacement

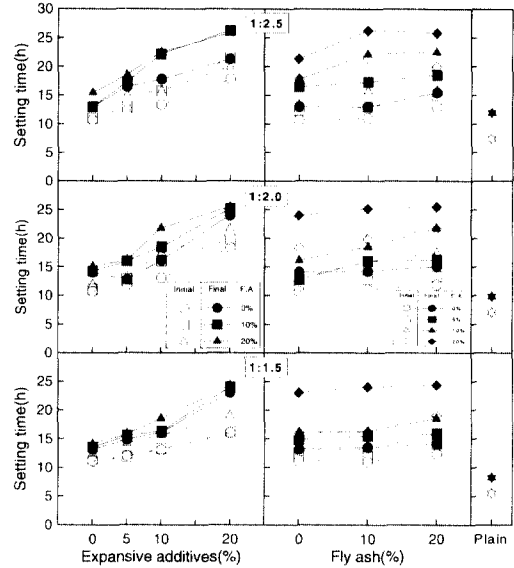


Fig. 7 Setting time with the variation of the expansive additives and fly ash replacement

인 배합보다 작게 나타났는데, 특히, 부배합일수록 점성 및 유동성 차이로 그 차이는 크게 나타났다. 또한, 전반적으로 충전높이차는 팽창재혼입율이 증가할수록 충전높이차는 배합비 1:1.5 및 1:2에서는 급격히 커지는 것으로 나타났으나, 1:2.5는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 단, 플라이애쉬 치환율 증가에 따라서는 큰 차이가 없거나 약간 작아지는 것으로 나타났다.

Fig. 7은 프록타 관입시험결과에서 구한 시멘트 모르타의 초결 및 종결시간을 나타낸 것이다.

플레인 배합보다 수중불분리 모르타 배합이 팽창재 혼입을 및 플라이애쉬 치환율이 증가할수록 초결 및 종결시간이 지연되는 것으로 나타났다. 배합비별로는 잔골재 혼입비가 커질수록 W/B가 크게 되어 응결시간이 지연되는 것으로 나타났다.

Fig. 8은 수중 혼탁정도를 평가하기 위하여 pH 값을 나타낸 것이다.

먼저, pH는 일본토목학회 규정인 12이하를 만족하는 범위에서 플레인 배합이 수중불분리 모르타 배합 보다 높게 나타났고, 팽창재 혼입을 및 플라이애쉬 치환율 증가에 따른 영향은 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

배합비별로는 1:2.5의 경우가 다른 배합비보다

pH가 큰 것으로 나타났는데, 이는 단위시멘트량이 작게 되어 모르타의 점성이 떨어져서 수중에서 시멘트가 용이하게 씻겨 나타난 결과로 분석되어 모르타 배합비가 증가하면 수중불분리제의 첨가량을 증가시켜 주어야만 하는 것으로 분석된다.

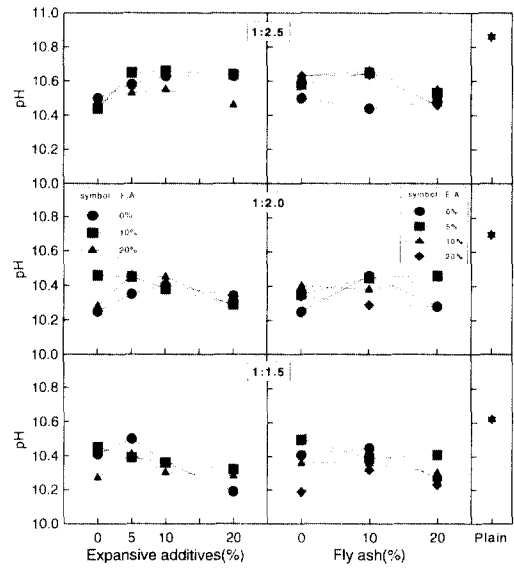


Fig. 8 pH with the variation of the expansive additives and fly ash replacement

3.3 강도특성

Fig. 9는 모르터 배합비 및 재령별 팽창재 혼입율 및 플라이애쉬 치환율 변화에 따른 압축강도를 나타낸 그래프이다.

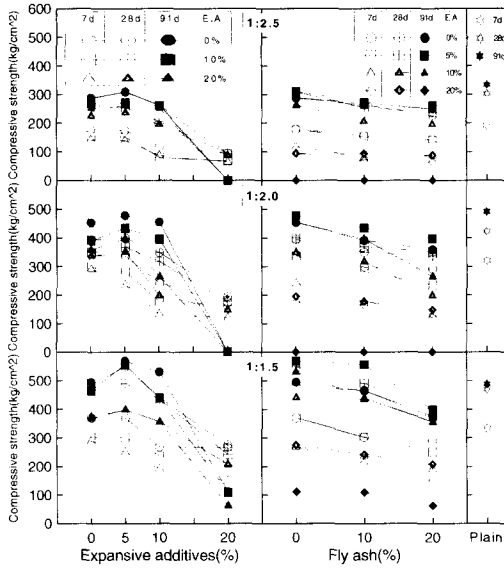


Fig. 9 Compressive strength with the variation of the expansive additives and fly ash replacement

먼저, 7일 재령에서의 압축강도는 팽창재 혼입율이 증가할수록 감소하는 것으로 나타났지만, 28일 및 91일 재령에서는 팽창재 혼입율 5%에서 제일 크게 나타났는데, 이는 팽창성분인 에트링가이트의 생성으로 조직이 치밀해짐에 따라 나타난 결과로 사료된다.

플라이애쉬 치환율 변화에서는 플라이애쉬 치환율이 많아질수록 재령에 무관하게 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 플라이애쉬 치환율이 증가함에 따라 수화 생성물 감소 및 공기량이 증가하여 나타난 결과로 사료된다.

Fig. 10은 기중제작 공시체에 대한 수중제작 공시체의 압축강도비를 나타낸 것이다.

팽창재 혼입율 및 플라이애쉬 치환율에 따른 영향은 큰 차이가 없는 것으로 나타났고, 배합비별로는 잔골재 혼입비가 높아질수록 강도비는 크게 저하하는 것으로 나타났다.

이는 잔골재 혼입비가 높아질수록 단위시멘트량

이 감소하고 W/B가 커져 모르터의 접성이 부족하므로 시멘트가 물에 씻겨 나타난 결과로 분석된다. 일본토목학회에서 규정하고 있는 기중에 대한 수중강도비 0.8이상은 배합비 1:1.5에서 만족하는 것으로 나타났고, 배합비 1:2와 1:2.5의 경우는 수중불분리제 첨가량을 증가시켜 주어야만 강도비 0.8이상을 만족시킬 수 있을 것으로 사료된다.

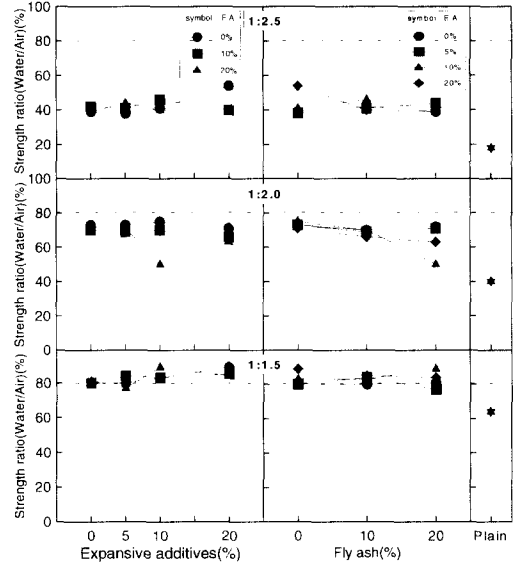


Fig. 10 Compressive strength ratio(water/air) with the variation of the expansive additives and fly ash replacement

3.4 길이변화특성

Fig. 11은 각 배합비에 있어 수중 및 수중 7일 양생후 기중에서 양생한 모르터의 팽창재 혼입율 및 플라이애쉬 치환율별 재령경과에 따른 길이변화율을 찍은선 그래프로 나타낸 것이다.

먼저, 수중양생의 경우, 재령이 경과할수록 팽창재 혼입율 0%와 5%는 7일~10일에서 최대 팽창을 보인 후 수축하는 것으로 나타났고, 팽창재 혼입율 10%는 60일 전후까지는 팽창한 후 그 이후에는 수축하는 것으로 나타났다.

단, 팽창재 혼입율 20%인 경우는 계속 팽창하여 재령 60일 정도에서 20% 정도의 부피가 증가로 사진 1과 같이 자연파괴되는 것으로 나타나

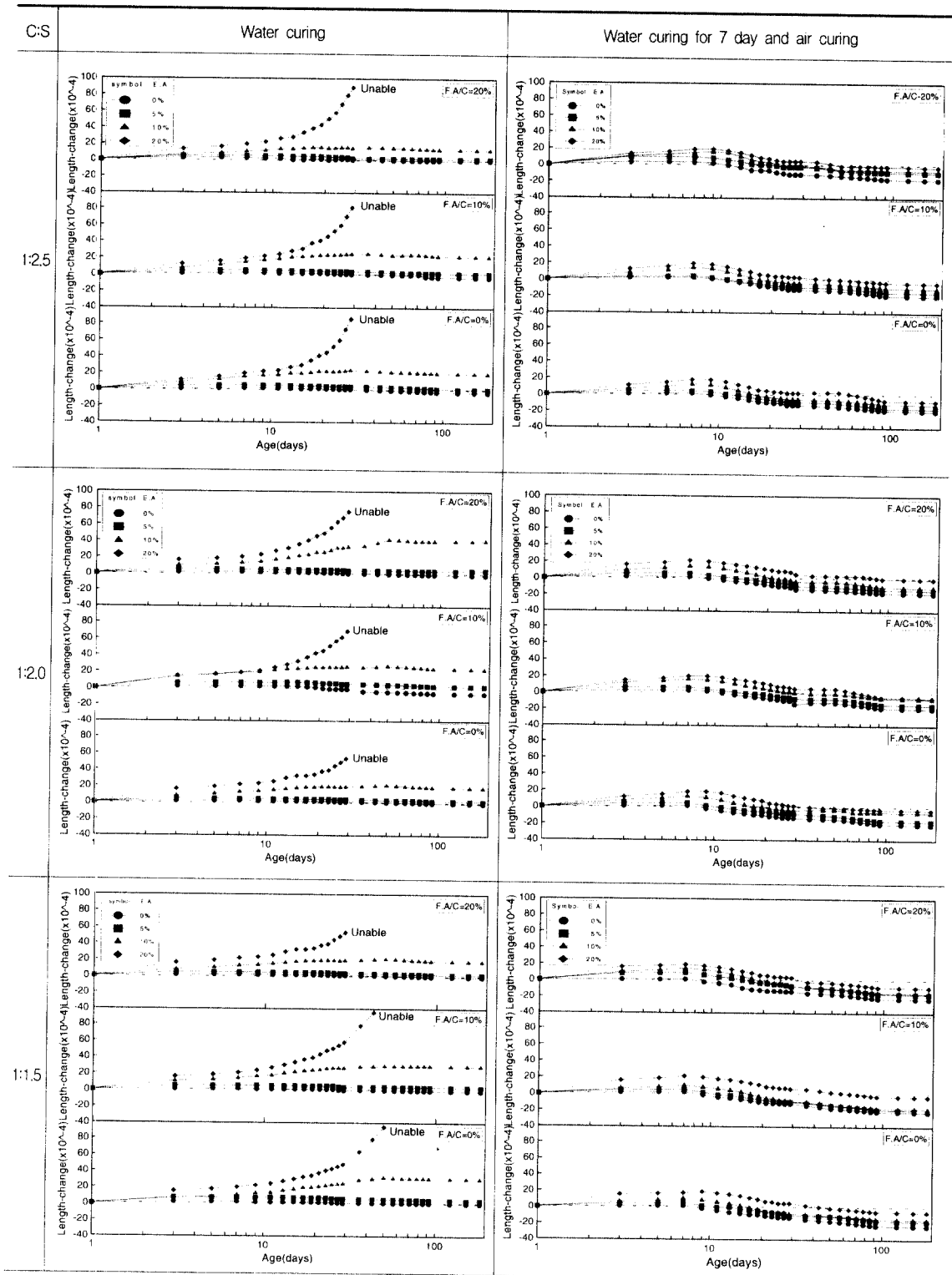


Fig. 11 Length-change with age

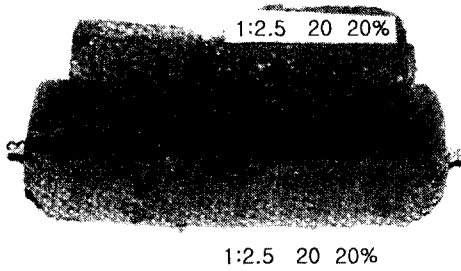


Photo. 1 Crack and destruction shape of mortar contained expansive additives of 20%

적정 사용량의 중요성을 실감할 수 있었다. 또한, 배합비에 따른 길이변화는 잔골재 혼입비가 클수록 팽창이 큰 것으로 나타났다.

이는 잔골재 혼입비가 클수록 물결합재비가 크고 조직이 덜 치밀하여 팽창재에 의해 생성된 에트린가이트가 조직사이를 쉽게 팽창시키기 때문에 나타난 결과로 사료된다.

7일 수중양생후 그 이후 계속 기중양생한 경우는 전반적으로 수중양생 7일까지 에트린가이트의 생성으로 꾸준히 팽창을 보인 반면 7일 이후 기중양생에서는 서서히 수축하기 시작하였는데, 팽창재 혼입율이 증가할수록 팽창은 크고 수축은 작은 것으로 나타났고, 플라이애쉬 치환율 및 잔골재 혼입비가 증가할수록 수축이 작게 나타났다.

4. 결 론

팽창재 및 플라이애쉬를 이용하는 수중불분리 모르타의 굳지않은 모르타 특성, 강도특성, 길이 변화특성을 요약하면 다음과 같다.

1) 팽창재 혼입율이 증가함에 따라 유동성, 충전성은 감소하고, 공기량은 증가하며, 응결시간은 지연되고, pH는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 또한, 압축강도는 7일에서는 감소하나 28일 및 91일 재령인 경우는 5%혼입율에서 약간 상승하는 것으로 나타났다.

2) 플라이애쉬 치환율이 증가함에 따라 유동성, 충전성은 양호해지고, 공기량은 증가하며, 응결시간은 지연되고, pH는 큰 차이가 없는 것

로 나타났다. 또한, 압축강도는 플라이애쉬 치환율이 증가함에 따라 약간 감소하는 것으로 나타나 플라이애쉬 치환율은 경제성 등까지도 종합 고려할 때 10% 전후가 가장 바람직할 것으로 사료된다.

3) 길이변화특성은 수중양생의 경우 팽창재 혼입율이 증가할수록 크게 팽창하는 것으로 나타났고, 플라이애쉬 치환율 및 잔골재 혼입비가 증가할수록 수축은 작은 것으로 나타났다. 즉, 수중불분리 모르타에 팽창율이 가장 큰 것은 팽창재 혼입율이 많을수록이지만, 팽창재가 다량 혼입되면 강도가 저하되고, 시간이 경과함에 따라 자연붕괴 현상도 있으므로 굳지않은 모르타 특성, 강도특성 및 길이변화특성 등을 종합 고려하면 팽창재혼입율은 5% 전후(제조회사에 따라 차이가 있을수 있음)가 가장 적절한 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 SK건설(주) 부설연구소의 「팽창성 모르타를 이용한 오거파일 공법개발」 프로젝트 중 「팽창성 모르타 개발에 관한 연구」의 위탁연구로 청주대학교에서 연구되었음.

참고문헌

1. 日本コンクリート工學協會；自己收縮研究委員會報告書, 1996.
2. 日本土木學會；水中不分離性コンクリート設計施工指針(案), 1991
3. 한국콘크리트학회；콘크리트혼화재료, 기문당, 1997
4. 日本建築學會；膨脹材を使用するコンクリートの調査設計・施工指針案・同解説, 1982
5. 한천구, 반호용, 전병채, 홍상희 "膨脹材 種類 및 混入率 變化에 따른 시멘트 모르타의 特性에 관한 研究", 대한건축학회논문집, 제14권 제1호, 1998. 1.
6. 한천구, 반호용, 전병채, 신언구 "膨脹材 混入率 變化에 따른 콘크리트의 特性에 관한 研究", 대한건축학회논문집, 제14권 제5호, 1998. 5.

요 약

종래의 시멘트 모르타 그라우트 방식에 의한 제자리 콘크리트 말뚝은 시공후 자기수축 및 건조수축 등에 의하여 말뚝의 내력이 저하하고, 지하수에 의하여 재료분리가 발생하며, 많은 단위시멘트량에 의한 비경제성 등이 문제시되고 있다. 그러므로 본 연구는 팽창재 및 플라이애쉬 등 각종 혼화재료를 이용한 제자리 콘크리트 말뚝용 고성능 시멘트 모르타의 역학적성질이 분석되었다. 실험결과 팽창재혼입율이 증가함에 따라 유동성은 감소하고, 공기량은 증가하며, 응결시간은 지연되고 압축강도는 7일에서는 감소하나 28일 및 91일 재령인 경우는 팽창재혼입율 5%에서 약간 상승하는 것으로 나타났다. 플라이애쉬치환율이 증가함에 따라 유동성은 양호해지고, 공기량은 증가하며, 응결시간은 지연되고 압축강도는 약간 감소하였다. 또한, 길이변화특성은 팽창재혼입율이 증가할수록 크게 팽창하고, 플라이애쉬치환율이 증가할수록 수축은 작은 것으로 나타났다.

(접수일자 : 1998.7.21)