

순환잔골재와 플라이애시를 사용하는 모르터의 배합요인 변화에 따른 품질특성

Quality Properties of Mortar Using the Recycled Fine Aggregates and Fly Ash Depending on Mixing Factors

(Received November 12, 2010 / Revised December 17, 2010 / Accepted December 17, 2010)

한천구¹⁾ 손석현¹⁾ 박경택^{1)*}

¹⁾청주대학교 대학원 건축공학과

Cheon-Goo Han¹⁾ Seok-Heon Son¹⁾ Kyung-Taek Park¹⁾

¹⁾Div. of Architecture Engineering Graduate School Cheong-ju University, Cheong-ju, 360-764, Korea

Abstract

This study analyzed the effects of changes in mixing factors of zero-cement mortar that only used recycled fine aggregates and fly-ash on quality of mortar, and the results are as follows. To describe the property of fresh mortar, as mix proportion and flow of mortar increased, W/B was highly selected and air content decreased. To describe compressive strength according to age as the property of hardened mortar, it was revealed that the strength did not strength until the 14 day, but strength of about 1 ~ 2 MPa strength during the 14 day through 28 day, and almost similar strength after 28 day. Also, compressive strength according to changes in mix proportion, flow and B/W was generally similar. Summarizing the above experimental results, in case of mortar that used recycled fine aggregates and fly-ash, it secured the strength for the use of landfill even though not for structural use. Especially, poor mix proved to be more useful than rich mix.

키워드 : 순환잔골재, 건식방식, 플라이애시, 시멘트 모르터, 배합요인

Keywords : Recycled Fine Aggregates, Dry Type, Fly Ash, Cement Mortar, Mixing Factors

1. 서 론

최근의 건설공사에서는 순환골재를 성토재 및 복토재, 덧채움재 등 매립용도(지지력 계수 : 1 ~ 3 MPa)에 널리 활용하고 있다.¹⁾

그러나, 순환골재는 폐콘크리트를 파쇄하여 제조하였기 때문에 천연골재에 비하여 그 품질이 저하하는 단점이 있고, 특히, 건식 생산방식으로 생산되는 순환잔골재(이하 DRA)의 표면에는 미수화 시멘트가 다량 포함되어 있어 아무런 조치 없이 매립용도로 사용하게 되면 강알칼리성의 침출수에 기인하여 주변 수질 및 토양을 오염시킬 수 있다.²⁾

한편, 화력발전소의 산업부산물인 플라이애시(이하 FA)

는 환경부하 저감 및 콘크리트 성능 향상 등의 목적으로 콘크리트용 혼화재료로서의 활용을 적극 권장하고 있는데, 실제로 FA를 콘크리트용 혼화재료로 사용하면 장기강도 증진, 수화열 저감, 수밀성 향상 등의 장점이 있지만, 포졸란 반응에 의해 알칼리가 소모되어 중성화가 촉진되는 문제점도 있다.³⁾

그러므로, 본 연구에서는 성·복토 등 지반 매립재의 용도를 대상으로 시멘트를 사용하지 않고 DRA와 FA만을 혼합·사용함으로써 최소강도를 확보하고, 나아가 지반 고형화 및 알칼리저감에 대한 가능성을 검토하기 위한 기초적인 연구로서 배합요인 변화에 따른 FA 모르터의 품질특성을 분석하고자 한다.

* Corresponding author

E-mail: taek5610@hanmail.net

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 Table 1과 같다.

즉, FA와 DRA만을 사용한 상태에서 모르터 배합비는 1:0.5, 1:1, 1:2, 1:3의 4수준을 계획하였는데, 이때, 모든 배합은 물 결합재비(W/B) 선정을 위한 플로우 변수로써 목표 플로우 100±10, 120±10, 150±10, 180±10 mm의 4 수준을 만족하도록 배합 설계하여 총 16 수준을 실험계획 하였다.

실험 사항으로는 굳지 않은 모르터에서 플로우치 및 공기량, 경화 모르터에서는 압축강도를 측정하고자 하였다.

Table 1. Experimental plan

Factors		Levels	
Mixture	Mix proportion	4	· 1:0.5 · 1:1 · 1:2 · 1:3
	Target flow (mm)	4	· 100±10 · 120±10 · 150±10 · 180±10
	W/B(%)	1	Based on target flow
	Binder(%)	1	FA ¹⁾
	Fine aggregates	1	DRA ²⁾
Experiment	Fresh mortar	2	· Flow · Air contents
	Hardened mortar	1	· Compressive strength (7, 28, 42, 91 days)

1) Fly Ash

2) Dry type recycled fine aggregates

2.2 사용재료

본 연구의 사용재료로써 FA는 국내 S사산 2종을 사용하였는데, 그 물리·화학적 성질은 Table 2와 같다. DRA는 국내 D사산으로 그 물리적 성질은 Table 3, 입도분포는 Fig 1과 같다.

Table 2. Physical and chemical properties of FA

Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	L.O.I (%)	Moisture content(%)	SiO ₂ (%)
2.20	3 404	4.60	0.13	57.6

Table 3. Physical properties of DRA

Density (g/cm ³)	FM	Water absorption (%)	Passing amount of 0.08 mm sieve (%)
2.20	2.76	6.20	2.40

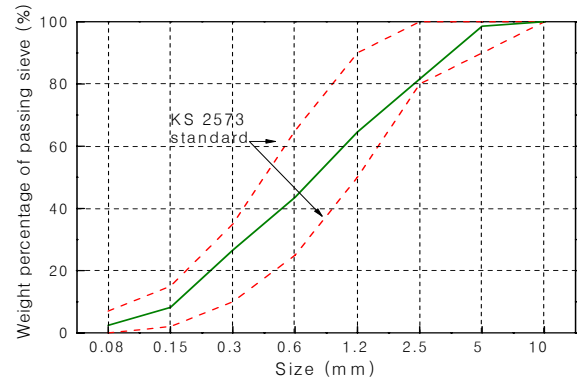


Fig 1. Grading distribution of DRA

2.3 실험방법

본 연구에서 모르터의 혼합은 KS L 5109에 의거, 전동식 혼합 믹서를 사용하여 Fig 2와 같이 혼합하였다.

굳지 않은 모르터의 실험으로 플로우치는 KS L 5111, 공기량은 KS F 2421, 경화 모르터 실험으로 압축강도는 KS L 5105 규정에 의거하여 Fig 3과 같이 실시하였다.

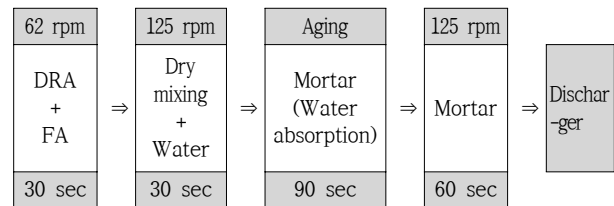
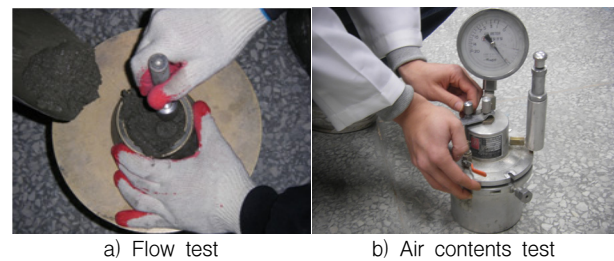


Fig 2. Mixing of mortar



a) Flow test

b) Air contents test



c) Compressive strength test

Fig 3. Experiment method

3. 실험결과 및 분석

3.1 실험 결과

Table 4는 본 연구의 배합사항 및 실험결과를 나타낸 것이다.

3.2 굳지 않은 모르터 특성

3.2.1 플로우

Fig. 4는 플로우치 및 모르터 배합비에 따른 W/B의 변화를 나타낸 것이다. 여기서 배합비의 변화에 따른 W/B는 각각의 목표 플로우치 범위를 만족하도록 배합 설계하여 선정하였다.

전반적으로 FA : DRA의 배합비가 증가할수록 W/B는 점차 커지는 것으로 나타났고, 플로우치가 증가함에 따라 W/B는 크게 선정되었는데, 특히, 배합비 1 : 3에서 다소 큰 증가의 W/B를 나타내었다. 이는 배합비가 증가함에 따라 DRA 함유량도 동반하여 증가하게 되는데, DRA 자체의 흡수율에 의한 플로우치 저하 현상을 극복하기 위하여 단위수량이 증가함에 기인한 것으로 사료된다.

3.2.2 공기량

Fig. 5는 플로우치별 모르터 배합비 변화에 따른 공기량과 모르터 배합비별 플로우치 변화에 따른 공기량의 상관관계를 나타낸 그래프이다.

공기량은 배합비 증가에 따라 감소하였고, 또한 플로우치가 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었는데, 이는 유동성 증가에 따른 갇힌 공기량의 감소에 기인한 것으로 사료되며, 차후 실무 적용시에는 적절한 공기연행제의 사용량을 조절해줌으로써 조정이 가능할 것으로 판단된다.

3.3 경화 모르터 특성

3.3.1 재령 경과에 따른 압축강도

Fig 6은 재령경과에 따른 플로우치 및 모르터 배합비별 압축강도를 나타낸 그래프이다.

전반적으로 배합비에 관계없이 14일 이전의 재령에서는 DRA의 알칼리 이온이 FA의 포졸란 반응을 유도하지 못하여 경화가 이루어지지 않아 강도값을 나타내지 못했지만, 14일 이후 28일 이전을 기점으로 하여 약 1 ~ 2 MPa의 낮은 강도값을 나타내었고, 이후 재령 경과에 따른 강도 증진은 거의 없는 것으로 나타났다.

이는 DRA 표면에 부착되어 있는 미수화 시멘트에서 용

Table 4. Mixture proportions and Experiment result

Mix proportion	Target flow (mm)	W/B (%)	W (kg/m ³)	Unit weight(kg/m ³)		Experiment result					
				FA	DRA	Flow (mm)	Air contents (%)	Compressive strength (MPa)			
								1~14 day	28 day	42 day	91 day
1 : 0.5	100±10	30	303	1 008	504	101.5	5.0	0	1.36	1.39	1.50
	120±10	32	316	988	494	122.0	4.6	0	1.31	1.33	1.40
	150±10	35	336	959	480	153.0	4.0	0	1.56	1.59	1.60
	180±10	37	348	942	471	175.0	4.5	0	1.19	1.20	1.40
1 : 1	100±10	32	258	806	806	100.5	4.8	0	1.18	1.21	1.42
	120±10	35	275	786	786	114.5	4.3	0	1.44	1.47	1.48
	150±10	40	303	757	757	156.5	3.8	0	1.40	1.41	1.46
	180±10	42	313	745	745	175.0	3.0	0	1.20	1.21	1.27
1 : 2	100±10	35	202	578	1 155	107.5	4.0	0	2.04	2.04	2.05
	120±10	37	211	571	1 142	118.5	3.3	0	1.90	1.90	1.93
	150±10	40	225	561	1 123	146.0	2.0	0	1.64	1.64	1.64
	180±10	45	246	546	1 092	179.0	2.0	0	1.53	1.53	1.65
1 : 3	100±10	55	216	393	1 309	107.0	4.2	0	1.40	1.57	1.76
	120±10	60	231	385	1 284	122.0	3.3	0	1.60	1.62	1.64
	150±10	62	237	382	1 274	151.5	3.2	0	1.48	1.53	1.63
	180±10	67	251	375	1 251	179.0	3.0	0	1.52	1.53	1.55

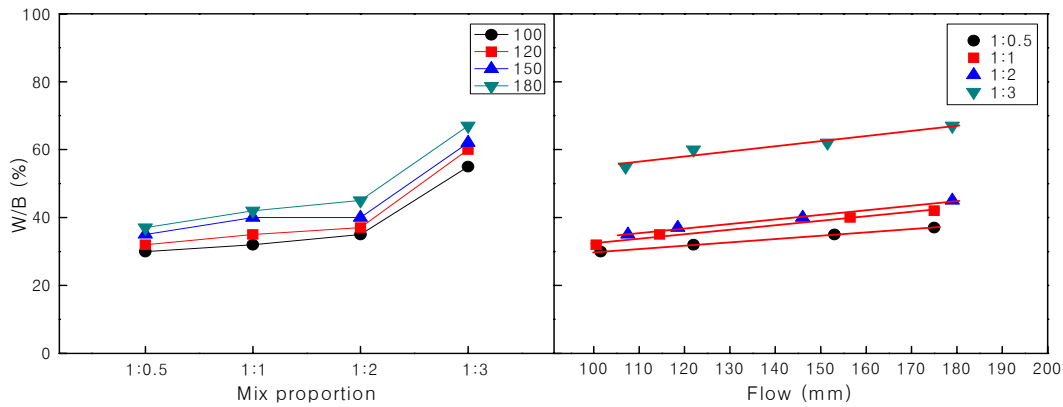


Fig 4. W/B with mix proportion and flow

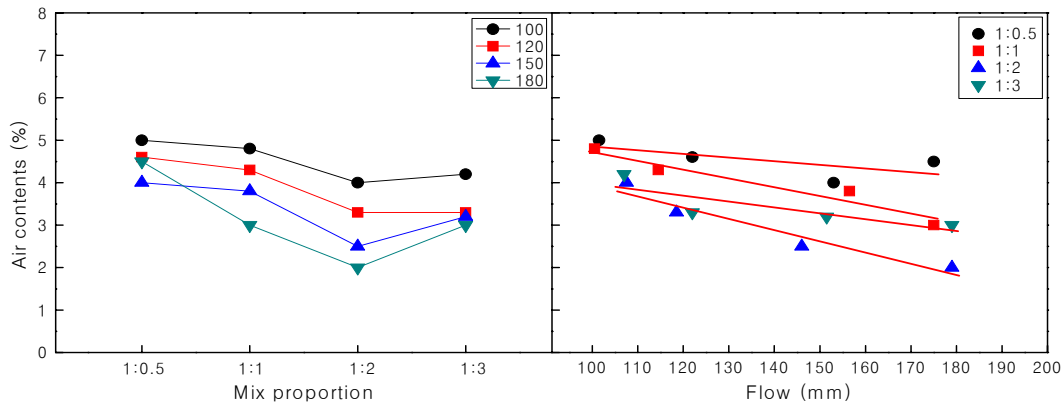


Fig 5. Air contents with mix proportion and flow

출되는 알칼리 이온과 FA의 포졸란 반응이 초기에는 더디게 나타나지만, 14일부터 28일 재령을 기점으로 이루어짐에 기인한 것으로 사료되며, 이후 재령이 경과할수록 DRA의 알칼리 이온이 FA와의 포졸란 반응에 의해 소진됨에 따라 강도 증진은 거의 나타나지 않는 것으로 사료된다.

한편, 모르타르 배합비 변화에 따른 압축강도의 경우는 여타 배합비와 비교하여 1 : 2에서 약 2 MPa로 다소 높은 강도값을 나타내었으나, 목표 플로우치 150±10 mm 이후 플로우치 증가에 따라 높게 선정된 W/B에 기인하여 배합비 변화에 따른 강도 차이는 약 0.5 MPa 이내로 나타나 거의 차이가 없었다.

이는 일반적인 시멘트의 수화반응과 달리 포졸란 반응을 일으킬 경우 DRA의 미수화 시멘트에서 용출되는 알칼리 이온과 FA의 포졸란 반응이 발생할 수 있는 활성 실리카량 사이에는 일정한 mol비 관계가 성립하기 때문에, 강도 증진을 위해 결합재 함유량을 증가시켜 부배합 상태로 배합 설계하여도 강도발현성에는 큰 효과를 거두지 못하는 것으로 판단되므로, 결국 FA 모르타르인 경우는 강도가 크게 중요치 않은 저장도 및 빈배합 영역에서 유효성이

높을 것으로 사료된다.

3.3.2 결합재 물비(B/W)에 따른 압축강도

Fig 7은 재령 및 플로우치별 B/W 변화에 따른 압축강도를 상관관계로 나타낸 그래프이고, Fig 8은 B/W에 따른 압축강도의 회귀선을 재령별로 종합하여 나타낸 그래프이다. 여기서 B/W란 배합 설계된 W/B를 역수화한 것이다.

즉, 상관계수는 매우 낮아 신뢰할 수 없는 수준이지만, B/W가 증가할수록 압축강도는 미소하게 감소하는 경향을 나타내었는데, 그 차이는 약 0.1 MPa 내외로써 B/W에 따른 강도 차이는 거의 없는 것으로 나타났다.

이는 FA의 포졸란 반응에 기인한 것으로써, 기존의 일반적인 시멘트의 수화 반응은 B/W가 커질수록 강도는 크게 증진되는 것이 당연한 결과이겠지만, DRA 표면에서 용출되는 알칼리 이온으로 반응하는 FA의 경우는 시멘트 모르타르는 다른 경화 메카니즘으로써 소정의 알칼리 성분이 용출되어야만 수화반응을 일으켜 강도가 증진될 수 있는 것으로 분석된다.

한편, 재령 경과에 따른 압축강도 경향은 전술한 바 및

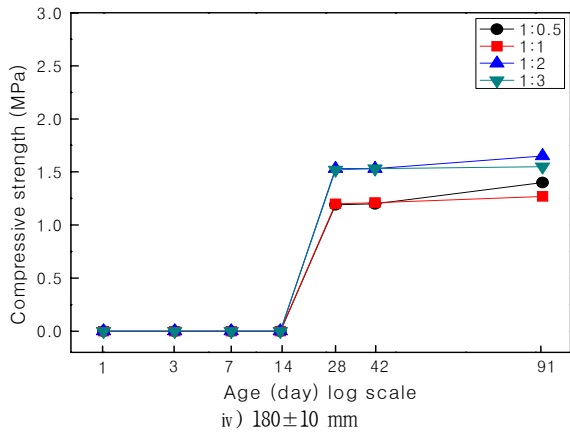
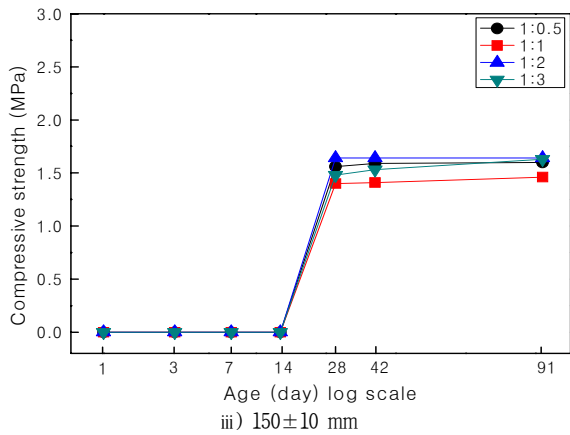
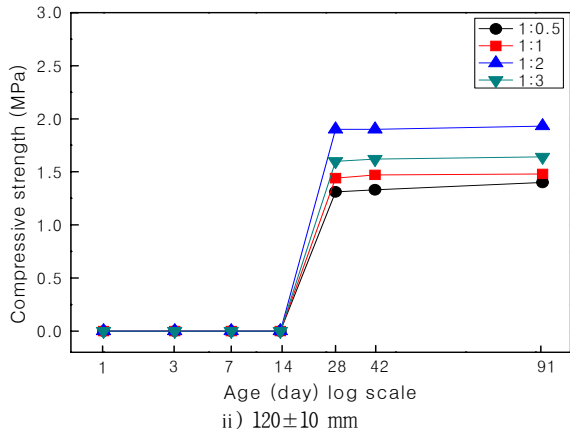
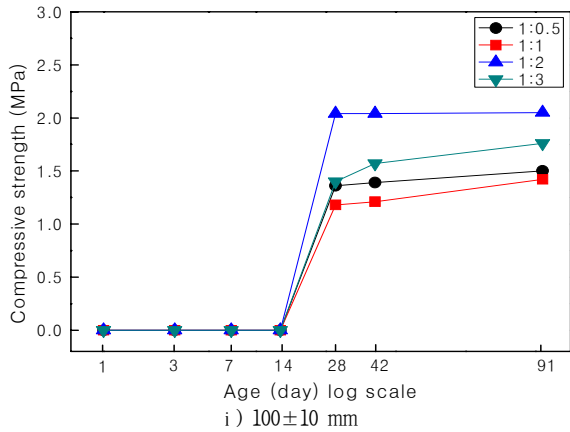


Fig 6. Compressive strength with age

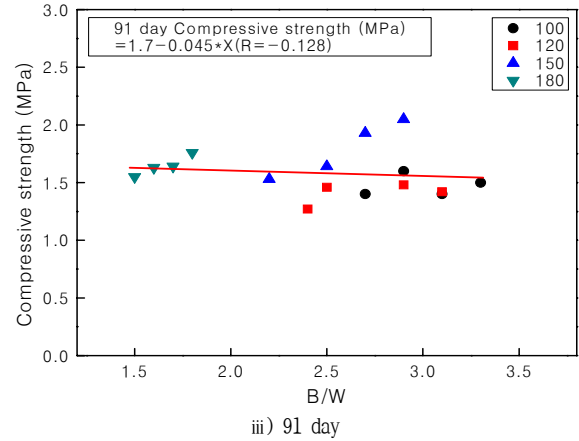
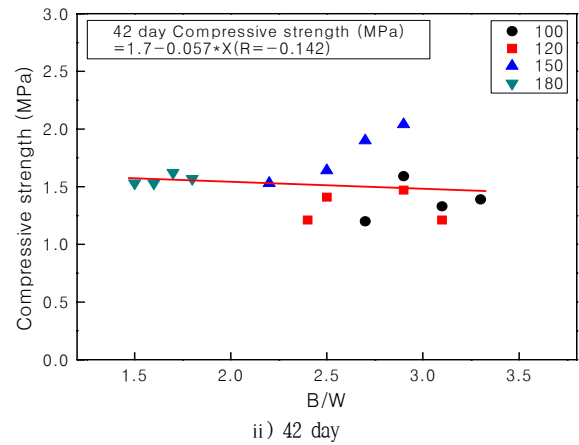
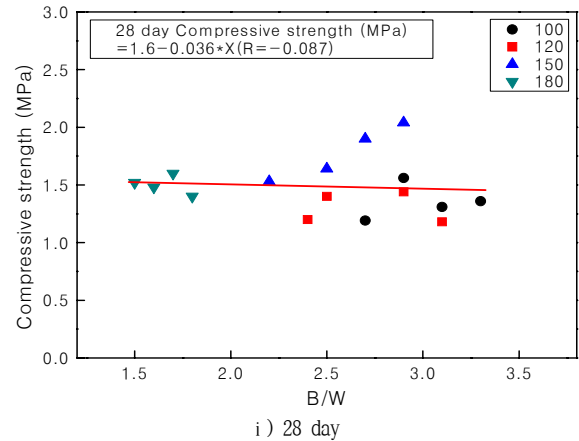


Fig 7. Compressive strength with B/W

Fig 8과 같이 28일 재령 이후에서는 재령이 경과하여도 약 1 ~ 2 MPa로 유사한 강도 범위를 나타내었다.

이상을 종합하면, DRA와 FA를 사용하였을 경우, 강도가 크게 중요치 않고 지반 대체 용도로서의 최소 강도만을 필요로 하는 성토·복토, 뒷채움 등의 용도에 사용한다면 양호한 효과를 미칠 수 있을 것으로 판단되고, 실무 매립 지에 적용함에 있어서는 부배합보다는 빈배합 영역으로

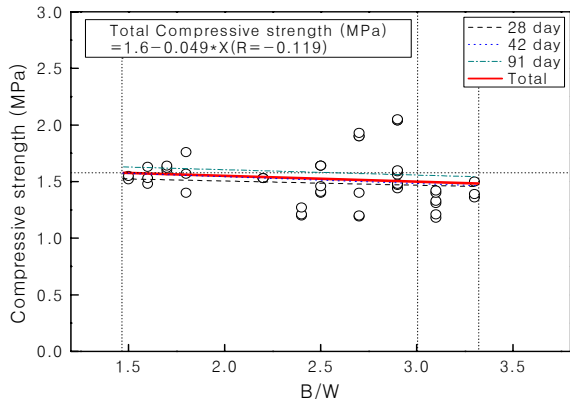


Fig 8. Linear regression of compressive strength with B/W

배합 설계하여 활용하는 것이 경제적이고 효율적인 대책으로 사료된다.

한편, 최근 실무 현장에서 순환골재를 매립용으로 사용하였을 경우, 강알칼리성의 침출수에 기인하여 현장 주변 수질악화 등 환경문제도 중요하게 대두되고 있는 상황에서, 기존 순환골재만을 사용하였을 경우는 지반이 고형화되지 않아 내부 투수현상으로 인해 물과의 접촉 면적이 증가함에 따라 강알칼리성 침출수를 상당량 배출하였는데, 이에 FA를 일정량 혼합하였을 시에는 지반 최소강도를 확보하여 지반의 고형화를 이룩함으로써 내부 투수현상을 방지하게 되면, 상당량 알칼리를 저감시킬 수 있을 것이라 판단되는데, 이에 관해서는 차후 체계적인 추가 연구가 필요할 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구는 DRA와 FA만을 사용하는 무 시멘트 모르터의 배합요인 변화가 모르터의 품질특성에 미치는 영향에 대하여 분석하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 굳지 않은 모르터의 특성으로 모르터 배합비 및 플로우치가 증가할수록 단위수량의 증가에 기인하여 W/B는 높게 선정되는 경향이 나타났고, 공기량은 공기포의 소실이 용이해짐에 따라 감소하는 경향을 보였다.

2) 재령 경과에 따른 압축강도는 14일 재령 이전까지는 강도를 발휘하지 못하다가, 이후 28일까지 재령이 경과함에 따라 약 1 ~ 2 MPa 정도의 강도 값을 나타내었고, 28일 재령 이후에서는 거의 유사한 강도 값을 나타내었다. 또한, 배합비 및 플로우치 변화에 따른

압축강도는 전반적으로 유사한 강도값을 나타내었다.

3) B/W가 증가할수록 압축강도는 미소하게 감소하는 경향을 나타내었지만, 그 차이는 약 0.1 MPa 내외로써, 큰 의미에서는 B/W 변화에 따라 모두 유사한 강도값을 나타내었다.

이상의 실험 결과를 종합하면, DRA와 FA를 사용한 모르터의 경우, 구조체용으로는 부적합할지라도 지반 매립재의 지지력 계수 기준을 상회함으로써 적합할 수 있는 최소 강도를 확보하였는데, 특히 부배합보다는 빈배합 영역일수록 우수한 활용성이 입증되었다.

참고문헌

- 1) 국토해양부, 순환골재 품질기준, 2005. 08.
- 2) 이도현 ; 콘크리트용 재생(순환)골재의 재활용을 위한 문제점 및 대책, 대한주택공사, 주택도시, 제83호, pp29 ~ 35, 2004.
- 3) 한국동서발전(주) 호남화력발전처, 다량 Fly Ash를 사용한 콘크리트의 조기강도 향상 및 내구성 평가(최종보고서), 2009
- 4) 한천구 ; 레미콘 품질관리(Ⅰ),(Ⅱ),(Ⅲ) 기문당, 2002 ~ 2010.
- 5) ‘콘크리트용 순환골재’ 한국산업규격 KS F 2573 해설서, 기술표준원.
- 6) ‘플라이애시’ 한국산업규격 KS F 5405 해설서, 기술표준원.
- 7) 한국콘크리트학회 ; 콘크리트 표준시방서, 2009.
- 8) 한국콘크리트학회 ; 콘크리트 혼화재료, 기문당, 1997.
- 9) 신동인 ; 폐콘크리트의 品質이 재생콘크리트의 特性에 미치는 영향, 명지대학교 박사학위 논문, 1998.
- 10) 한천구 ; 콘크리트의 특성과 배합설계, 기문당, 1999.
- 11) 김 중 ; 혼화재 치환에 따른 초지연 콘크리트의 응결 및 강도발현 특성, 청주대학교 석사학위 논문, 2005.
- 12) Frondistou Y.S ; Waste concrete as aggregate for new concrete, ACI journal, pp.373-376, 1977.
- 13) Oxtoby, David W. ; Nachtrieb, Norman H, “Principles of Modern Chemistry”, 2nd, Saunders College Publishing, 1990.
- 14) 小室努 外 ; 150N/mm²級の超高强度コンクリートを用いたRC柱の實用化研究, 콘크리트공학 Vol. 39, No. 10, 2001. 10
- 15) 黒岩秀介 外 ; 設計基準強度130N/mm²の超高强度コンクリートの施工について, 콘크리트テクノ, Vol. 23, No. 6, 2004. 6

- 16) 日本建築學會 ; コンクリート用表面活性劑の使用指針(案)・同解説, 1978.
- 17) 日本建築學會 ; 建築工事標準仕様書・同解説(JASS-5), 1993.
- 18) 日本建築學會 ; コンクリートの調合設計指針・同解説, 1994.
- 19) 日本セメント協會 ; セメントの常識, 1994.
- 20) 日本建築學會 ; 建築學便覽Ⅱ, 丸善株式會社, 1977.

순환잔골재와 플라이애시를 사용하는 모르터의 배합요인 변화에 따른 품질특성

본 연구는 순환잔골재와 플라이애시 만을 사용하는 무 시멘트 모르터의 배합요인 변화가 모르터의 품질특성에 미치는 영향에 대하여 분석하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다. 굳지 않은 모르터의 특성으로 모르터 배합비 및 플로우치가 증가할수록 W/B는 높게 선정되었고, 공기량은 감소하는 경향을 나타내었다. 경화 모르터의 특성으로 재령 경과에 따른 압축강도는 14일 재령 이전까지는 강도를 발휘하지 못하다가, 이후 28일까지 재령이 경과함에 따라 약 1 ~ 2 MPa 정도의 강도값을 나타내었고, 28일 재령 이후에서는 거의 유사한 강도값을 나타내었다. 또한, 배합비 및 플로우치, B/W 변화에 따른 압축강도는 전반적으로 유사한 강도값을 나타내었다. 이상의 실험 결과를 종합하면, 순환잔골재와 플라이애시를 사용한 모르터의 경우 구조체용으로는 부적합할지라도 지반 매립재 용도로는 적합할 수 있는 강도를 확보하였는데, 특히 부배합보다는 빈배합 영역일수록 우수한 활용성이 입증되었다.