

조강형 시멘트의 종류 및 양생방법에 따른 콘크리트의 강도특성

Strength Properties of Concrete According to Types of High Early Strength Cement and Curing Method

장준호¹ · 이왕섭² · 정용욱³ · 정연인^{4*}Chun-Ho Chang¹ · Wang-Sup Lee² · Yong-Wook Jung³ · Youn-In Chung^{4*}

(Received March 3, 2017 / Revised March 20, 2017 / Accepted March 21, 2017)

This study selected a method which uses high early strength cement as a way to reduce the curing time and curing energy source of concrete secondary products and reviewed the improvement in the initial strength of concrete secondary products setting the target strength of the concrete capable of removing the form to 15MPa and the curing time to 6 hours. As a result of the test, the only specimen which achieved the form removal strength of 15 MPa only through atmospheric curing within the target curing time of 6hours was ACC-100, and the specimens of TRC-100 and TRC-50 satisfied the values of 6 hours and 15MPa through steam curing. However, we could see that it was difficult to secure workability in the case of the specimen of ACC-100 due to its high rapid setting property and a retarder such as anhydrous citric acid was required to be used to improve the workability. When we look into the pattern following changes in the water to binder ratio, while, in the case of steam curing, OPC-100, TRC-100, and TRC-50 were all found to satisfy achievement of the form removal strength within 6hours as the water to binder ratio decreased, in the case of atmospheric curing, TRC-100, and TRC-50 achieved 15MPa within 12hours.

키워드 : 조강형 시멘트, 콘크리트 2차 제품, 양생방법, 조기강도, 건조수축**Keywords** : High early strength cement, Concrete secondary products, Curing method, Early strength, Drying shrinkage

1. 서론

콘크리트 2차제품은 공장에서 증기양생 등을 통하여 조기강도를 확보함으로써 품질향상과 대량생산, 시공의 편의, 공기 단축 등의 많은 장점을 갖고 있다. 이러한 콘크리트 2차제품의 많은 장점으로 건설에 있어 적용분야는 계속 증가하고 있는 추세이나, 최근 콘크리트 2차제품은 증기양생에서 기인한 양생시간에서 오는 생산성의 한계와 증기양생의 에너지원으로써 화석연료를 사용한다는 환경적인 문제에 직면하게 되었고 현재 이를 해결하기 위한 많은 연구가 이루어지고 있다(Kang et al. 2006; Kim et al. 2012).

증기양생에서 오는 생산성의 한계에 대한 문제는 양생시간 단축의 필요성을 의미한다. 콘크리트 2차제품은 일반적으로 전치 2

시간, 상승구간 2시간, 온도유지구간 5시간, 온도하강구간 3시간의 총 12시간이 소비되는 증기양생으로 조기강도를 확보하게 되는데 이는 제품을 생산하기 위해서 고가의 제작비용을 들여 제작되어진 거푸집 회전수의 한계를 의미한다. 즉, 고가의 거푸집 제작비에도 불구하고 1일 1회전이라는 생산적인 한계가 있다는 것이다. 또한 환경적인 문제에 있어서의 증기양생은 최근 세계 곳곳에서 부는 이산화탄소저감 등의 친환경성과 상반되는 양생 에너지원으로 벅커 C유, LPG 등의 화석연료를 사용함으로써 CO₂ 발생과 에너지 소비라는 환경문제를 야기 시키고 있다는 점이다(Min et al. 2014).

이와 같이 콘크리트 2차제품의 당면과제인 양생시간과 양생에너지를 감소시키기 위해서는 증기양생 등의 고온양생을 실시하지 않고 조기강도를 개선시키거나, 증기양생 시간의 축소에 의한

* Corresponding author E-mail: cyi@kmu.ac.kr¹계명대학교 토목공학과 부교수 (Department of Civil Engineering, Keimyung University, Daegu, 42601, Korea)²일신콘크리트 품질관리실장 (Ilshin Concrete co., Ltd, Gimcheon, 39507, Korea)³계명대학교 첨단건설재료실험센터 조교수 (Department of COMTEC, Keimyung University, Daegu, 42601, Korea)⁴계명대학교 토목공학과 교수 (Department of Civil Engineering, Keimyung University, Daegu, 42601, Korea)

화석연료 사용의 저감 및 거푸집 회전율의 증가 등이 필요하다.

이에 본 연구에서는 콘크리트 2차제품의 양생시간과 양생에너지원을 감소시키기 위한 방안으로써 현장적용성과 경제성을 고려하여 조강형 시멘트 사용을 통한 방법을 선정하였고, 거푸집 탈형이 가능한 콘크리트의 목표 강도를 양생시간 6시간에 15MPa로 설정하여 콘크리트 2차제품의 조기강도 개선을 검토하였다.

2. 실험 계획 및 방법

2.1 사용재료의 특성

본 연구의 실험은 예비시험-본시험-추가시험 순으로 총 3차에 걸쳐 진행 되었다. 실험에 필요한 사용재료의 선정을 위해 원재료의 품질특성 실험을 실시한 후 시멘트는 A사의 보통포틀랜드 시멘트(이하 OPC라 한다)를 대상으로 예비시험을 거쳐 조기강도 발현에 유리한 H사의 조기강도 개선형 시멘트(이하 TRC라 한다)와 D사의 전기로 환원슬래그를 이용한 초속경성 시멘트(이하 ACC라 한다)를 선정하였다. 혼화제는 제조사별 비교시험을 거쳐 1개사 제품을 선정하였고, 지연제는 종류별 사전검토를 거쳐 본 연구에 가장 적합하다고 판단된 무수 구연산 지연제를 선정하였다.

Table 1은 본 연구에서 사용된 세 종류의 시멘트에 대한 화학성분을 나타내었다.

TRC의 경우 조강성을 확보하기 위하여 분말도, Modulus 향상 및 기능성 분쇄조제, 응결 조절제 사용비율 등을 조절한 제품으로 조강성능을 위한 응결 조절제 사용비율 조절과 관련 삼산화황(SO₃) 비율이 다소 높은 경향이 있다. 그 외 화학적 조성에 있어서는 OPC와 유사하다. ACC의 경우 초속경 시멘트 계열로 구성성분에서 오는 급결성으로 인해 삼산화황(SO₃)비율이 상당히 높음을 알 수 있다. 일반적인 OPC와 조강시멘트와 비교한 ACC의 화학적 조성 내용을 살펴보면 Table 2와 같다.

ACC는 초속경 시멘트의 일종으로 OPC와 HESC(조강 시멘트)에 비교하여 Al₂O₃와 SO₃의 함유량이 높는데 이는 ACC의 급속한 수화반응과 연관된 화학적 조성비로 볼 수 있다.

ACC는 물, 석고와의 반응을 통하여 에트링자이트(Ettringite)를 급속으로 생성시켜 초기의 높은 강도 발현이 가능하다.

2.2 실험계획

2.2.1 조기강도 개선 콘크리트의 목표 설정

콘크리트 2차제품의 조기강도 개선을 위한 콘크리트의 목표성능은 Table 3에 나타난 바와 같다. 공정목표는 몰드 회전수의 증대

Table 1. Chemical compositions of cements

Classification	KS L 5201	OPC	TRC	ACC
Loss ignition(%)	Below 3.0	2.44	2.75	-
MgO(%)	Below 5.0	2.40	3.50	3.98
SO ₃ (%)	Below 3.5	2.31	3.22	16.29

Table 2. Chemical compositions of ACC

Type	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O
OPC	21.9	5.2	3.0	63.6	2.4	2.3	-
HESC ¹⁾	20.7	4.6	2.8	65.0	1.5	2.8	-
ACC	8.01	17.06	2.44	46.3	3.98	16.3	0.02

1) HESC : High-Early Strength Cement

Table 3. Goal setting of early strength improved concrete

Target value	Properties of concrete		Objective required		
	Slump (mm)	Air (%)	Early stage strength	Shortened time	Curing method
2Cycle/1Day	150±25	4.5±1.5	15MPa	6hr	Atmosphere

를 목적으로 1일 2회전으로 선정하여, 콘크리트의 유동성은 150±25mm, 공기량은 4.5±1.5%로 설정하였다. 또한 조기강도 개선의 목표치를 탈형강도에 맞추어 대기양생 6시간에 압축강도 15MPa의 탈형강도 발현을 목표로 설정하였다.

2.2.2 실험요인 및 수준

콘크리트 2차제품의 조기강도 개선을 위한 실험요인 및 수준은 Table 4에 나타난 바와 같이 물-결합재비는 47.2%, 34.0%로 설정하였고, 양생방법은 대기양생, 증기양생, 표준양생으로 실험을 진행하였다. 결합재의 종류는 물-결합재비 47.2%에서 OPC, TRC, ACC를 각각 100%, TRC, ACC에 OPC를 50% 치환 사용을 검토하였고, ACC 100%에는 급결성을 고려하여 지연제의 사용을 검토하였다.

물-결합재비 34.0%에서는 OPC, TRC 각각 100%, TRC에 OPC 50% 치환 사용을 검토하였다.

Table 4의 실험계획을 바탕으로 콘크리트 배합을 선정하였으며, 각 시리즈별 배합표를 Table 5에 나타내었다.

2.3 실험 방법

2.3.1 콘크리트의 제조

콘크리트 배합은 50L 강제식믹서를 사용하여 시멘트를 잔골재와 함께 30초간 건비빔을 한 후 1차 배합수를 투입하고 다시 60초

Table 4. Experiment plan

Series	W/B	Binder replacement ratio(%)	Curing method	Measurement item
I	47.2%	OPC-100	Atmosphere steam standard	Slump, Air, Drying Shrinkage, Compressive strength
		TRC-100		Slump, Air, Drying Shrinkage, Compressive strength
		TRC-50		Slump, Air, Compressive strength
		ACC-100		Slump, Air, Drying Shrinkage, Compressive strength
		ACC-50		Slump, Air, Compressive strength
		ACC-100-R		Slump, Air, Compressive strength
II	34.0%	OPC-100		Slump, Air, Compressive strength
		TRC-100		Slump, Air, Compressive strength
		TRC-50		Slump, Air, Compressive strength

Table 5. Mix design

Binder replacement ratio(%)	W/B(%)	Gmax (mm)	Slump (mm)	Air (%)	S/a (%)	Unit weight(kg/m ³)					Total	AD (%)	Retarder (%)	
						W	OPC	TRC	ACC	S				G
OPC-100	47.2	25	150±25	4.5±1.5	45.0	170	360	0	0	776	963	2269	0.8	0
TRC-100							0	360	0					0
TRC-50							180	180	0					0
ACC-100							0	0	360					0
ACC-50							180	0	180					0
ACC-100-R							0	0	360					2.0
OPC-100	34.0	25	150±25	4.5±1.5	43.0	165	485	0	0	703	946	2299	0.8	0
TRC-100							0	485	0					0
ACC-100							242.5	242.5	0					0

간 믹싱을 하였다. 그 후 2차 배합수와 혼화제 및 굵은 골재를 투입하여 60초간 믹싱을 하여 배출하였다.

2.3.2 양생 방법 및 조건

양생방법은 대기양생, 증기양생, 표준양생 3조건으로 하였으며, 양생조건은 대기 양생의 경우 20±2℃의 항온항습실에서 양생하였으며, 증기양생의 경우 증기 양생 전치시간 1h, 상승구간(25℃/h) 포함 유지시간 4h, (최고온도 60℃), 냉각 1h의 설정으로 양생을 하였으며, 표준양생의 경우 20±2℃로 수중양생을 실시하였다.

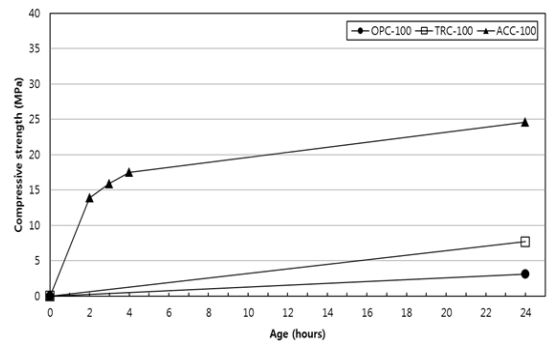


Fig. 1. Initial strength of atmospheric curing by type of cement

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 시멘트 종류에 따른 조기강도 개선 콘크리트의 강도 및 건조수축특성

4.1.1 시멘트 종류별 콘크리트의 압축 강도 발현 특성

Fig. 1과 Fig. 2는 대기양생과 증기양생에서의 시멘트 종류별 초기강도 발현에 대한 시간단위별 강도 발현 특성을 나타낸 것이다. 대기양생의 경우 ACC-100은 초기 급격한 강도발현으로 3시간에

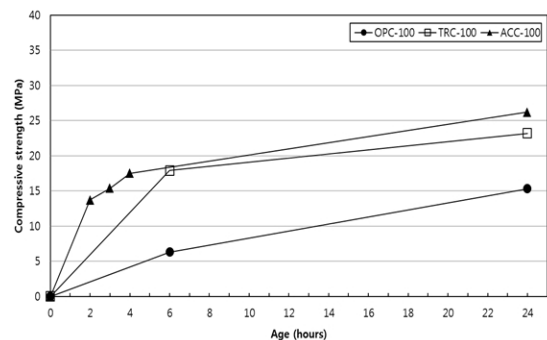


Fig. 2. Initial strength of steam curing by type of cement

목표 탈형 강도 15MPa를 나타내었다.

TRC-100의 경우 24시간 이후에도 압축강도는 약 8MPa로 대기양생만으로 시간단위의 목표 강도 발현은 어려움을 알 수 있었다. 증기양생에서는 TRC-100, ACC-100이 6시간 안에 목표 탈형 강도인 15MPa에 도달 가능하였고, OPC-100의 경우 24시간 경과 후 15MPa에 도달하였다.

Fig. 3과 같이 시멘트 종류에 따른 양생방법별 재령 28일 압축강도는 OPC-100, TRC-100, ACC-100 모두 표준양생이 높게 나타났고,

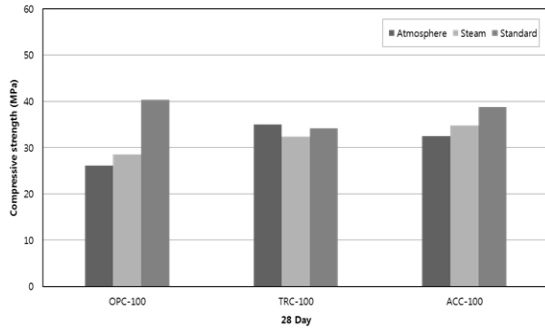


Fig. 3. Compressive strength of 28 days by type of cement

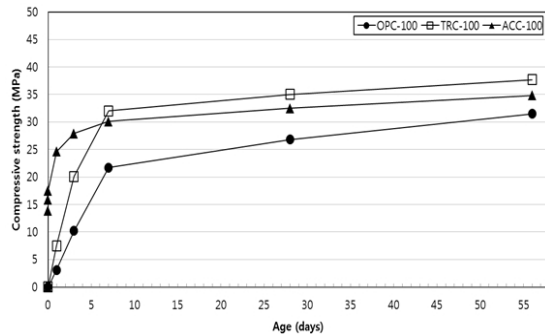


Fig. 4. Compressive strength development characteristics of atmospheric curing by cement type

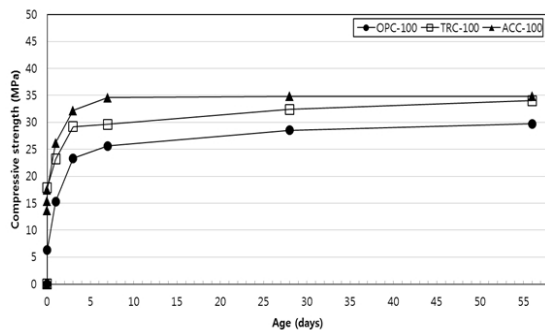


Fig. 5. Compressive strength development characteristics of steam curing by cement type

대기양생과 증기양생은 비슷하거나 혹은 오히려 대기양생이 높게 나타남을 알 수 있었다. 이는 증기양생에 의한 고온의 환경이 초기 수화에는 급격한 강도발현을 일으키지만 시간의 경과에 따라 후기 재령으로 갈수록 강도발현의 저하를 가져옴에 기인한 것으로 판단된다.

Fig. 4는 대기양생 시 시멘트 종류에 따른 재령 56일까지의 압축강도 발현 특성을 나타낸 것으로 초기재령에서는 ACC-100과 TRC-100이 OPC-100보다 높게 나타났고, 특히 ACC-100은 대기양생만으로도 6시간 내 탈형강도 확보가 가능하였다. 그러나 7일을 기점으로 ACC-100과 TRC-100의 강도 역전현상이 나타나기 시작하였으며, OPC-100 또한 후기재령으로 갈수록 TRC-100, ACC-100과의 강도차이가 줄어들고 있는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 5는 증기양생 시 시멘트 종류에 따른 재령 56일까지의 압축강도 발현 특성을 나타낸 것으로 초기재령의 경우 ACC-100과 TRC-100이 OPC-100 보다 높게 나타났고 ACC-100과 TRC-100 모두 6시간 내 탈형 강도 확보가 가능하였다. 반면 재령 56일 압축강도는 시멘트 종류별로 큰 차이를 나타내지 않았다. 이는 증기양생이 갖는 강도 발현의 특성에 따라 초기 급속한 강도발현 후 후기재령으로 갈수록 강도의 증진이 크지 않음에 기인한 것으로 판단된다.

또한, Fig. 4와 Fig. 5에서 ACC-100의 경우 대기양생과 증기양생의 압축강도 발현이 초기와 후기 재령 모두 큰 차이를 보이지 않고 있어, ACC에 있어 증기양생은 초기강도 발현에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 볼 수 있다.

4.1.2 지연제를 적용한 ACC-100의 강도발현 특성

초기강도 개선을 위하여 사용된 ACC-100은 급속한 응결로 인하여 높은 초기강도를 나타내지만 이를 현장에 적용 시 작업성 확보가 불가능해짐에 따라 본 연구에서는 지연제의 사용을 검토하였다. 지연제는 기존 논문들의 고찰을 통하여 ACC-100과의 반응성이 좋은 무수구연산을 사용하였다.

본 연구에서는 구연산 지연제를 사용하여 ACC-100-R의 물-결합재비 47.2%의 배합에 대한 강도발현 특성을 검토하였다.

Fig. 6과 Fig. 7에서 지연제 사용유무에 따른 양생방법별 압축강도 발현 특성은 지연제 사용유무에 관계없이 대기양생과 증기양생에서 유사한 압축강도 발현 경향을 나타내었다. 반면, 양생조건에 관계없이 지연제의 사용은 지연제 무사용 시 보다 재령 28일 압축강도를 약 60% 상승시키는 것으로 나타났다. 이것은 물-결합재비 47.2%, ACC-100의 경우 초기 급속한 응결 시기에 비빔과 다짐 등을 통한 공시체 제작으로 인하여 강도저하가 일어난 것으로 판단되며, ACC-100-R의 지연제 첨가의 경우에는 지연작용으로 인

해 공시체 제작에 따른 강도 저하가 발생되지 않았기 때문에 판단된다. 반면, ACC-100에 지연제의 사용은 장기재령에서의 압축 강도 증진 효과도 있는 것으로 나타났다.

4.1.3 시멘트 종류에 따른 콘크리트의 건조수축 특성

Fig. 8의 시멘트 종류별 콘크리트의 건조수축 길이변화는 OPC의 경우 재령 49일에서 약 500×10^{-6} , TRC-100은 약 700×10^{-6} ,

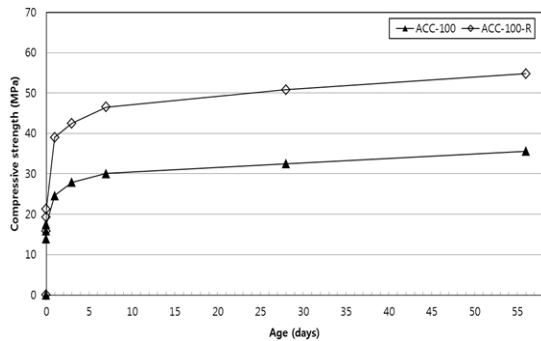


Fig. 6. Compressive strength development properties of ACC-100 by using retarder in atmospheric curing condition

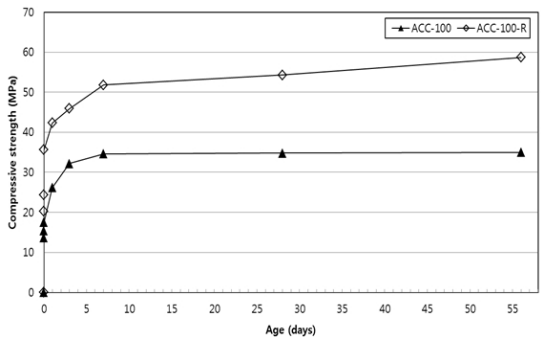


Fig. 7. Compressive strength development properties of ACC-100 by using retarder in steam curing condition

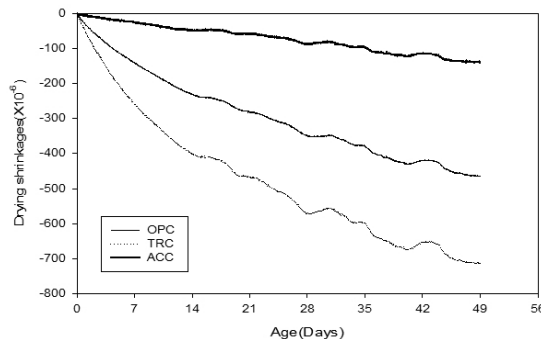


Fig. 8. Characteristics of drying shrinkage of concrete by cement type

ACC-100은 약 180×10^{-6} 정도의 건조수축율을 나타내어 ACC-100, OPC-100, TRC-100 순으로 나타났다. 이와 같이 조강형시멘트인 TRC-100의 분말도는 $5,070 \text{ cm}^2/\text{g}$ 으로 $3,690 \text{ cm}^2/\text{g}$ 인 OPC-100과 비교하여 높은 분말도와 조강성 등의 영향으로 약 40% 정도 높은 건조수축율을 나타내었다. 그러나 전기로 환원슬래그를 사용한 초속경성시멘트인 ACC-100은 분말도가 $7,050 \text{ cm}^2/\text{g}$ 으로 가장 높음에도 불구하고 가장 낮은 건조수축율을 나타내었다. 이것은 전기로 환원슬래그를 기반으로 한 ACC-100의 높은 수축성을 석고와의 반응을 통하여 생성된 에트리자이트를 통해 일정량의 팽창성을 확보함으로써 초기 팽창에 따른 수축보상의 영향으로 판단할 수 있다.

4.2 OPC 치환 사용에 따른 조기강도 개선 콘크리트의 특성

Fig. 9와 Fig. 10은 OPC치환 사용에 따른 양생방법별 압축강도 특성을 나타낸 것으로 TRC-50의 양생조건별 초기강도를 살펴보면, OPC 치환사용 유무에 따른 대기양생조건에서의 24시간까지의 시간단위별 압축강도는 TRC-50과 TRC-100이 거의 동일한 압축강도 특성을 나타내었다. 그러나 대기양생 조건에서는 모두 목표시간에서의 목표 탈형강도인 6시간 15MPa를 만족시킬 수 없었다. 반면 증기양생 조건에서의 6시간, 24시간 압축강도는 TRC-100이 TRC-50보다 약 20% 높은 경향을 나타내었으며, TRC-50에서도 목표 탈형강도 6시간에 15MPa의 압축강도를 나타내었다.

Fig. 11과 Fig. 12의 ACC-50의 양생조건별 초기강도를 살펴보면, ACC를 사용하여 OPC를 혼입사용 한 ACC-50과 ACC-100 실험체의 대기양생조건에서 24시간까지의 시간단위별 압축강도 특성으로 ACC-100에서는 약 3시간에 목표 강도 15MPa를 만족하여 24시간에서는 약 24MPa의 압축강도를 나타내었으나, ACC-50의 경우 24시간 압축강도가 약 2MPa로 거의 강도발현이 되지 않았고, 증기양생 조건에서도 유사한 강도특성을 나타내고 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 13에 OPC치환에 따른 양생방법별 재령 28일 압축강도를 나타내었다. TRC-50의 28일 압축강도는 표준양생을 제외한 대기양생과 증기양생에서 TRC-100과 유사한 강도발현 특성을 나타내었다. 반면 ACC-50의 경우 팽창파괴의 영향으로 정상적인 강도발현이 이루어지지 않았다.

Fig. 14는 ACC-50 실험체의 팽창파괴 전경을 나타낸 것으로 이러한 ACC-50의 압축강도 이상 현상의 원인은 다음의 두 가지 가능성에 기인한 것으로 분석된다.

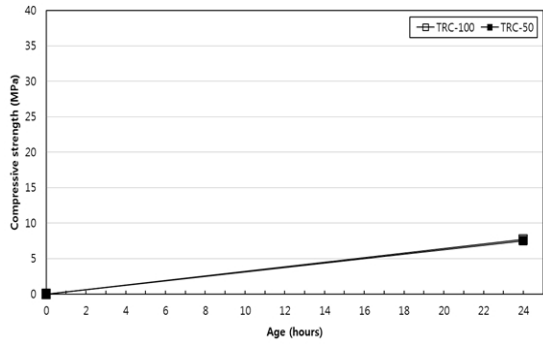


Fig. 9. Initial strength in atmospheric curing of TRC-50

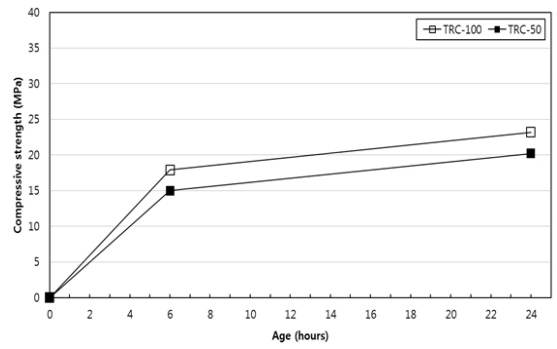


Fig. 10. Initial strength in steam curing of TRC-50

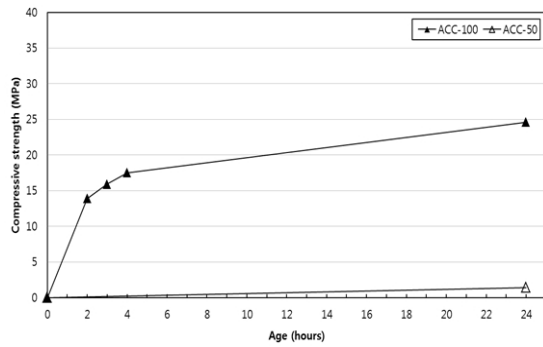


Fig. 11. Initial strength in atmospheric curing of ACC-50

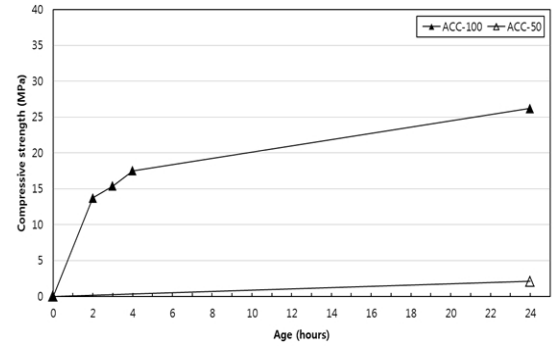


Fig. 12. Initial strength in steam curing of ACC-50

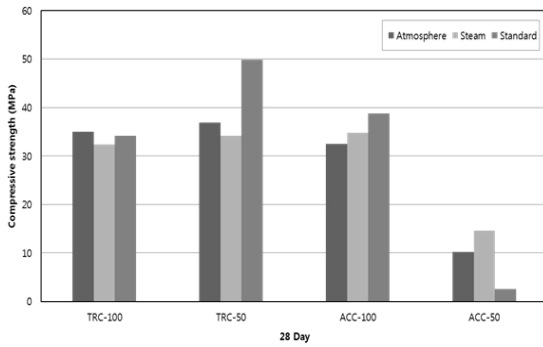


Fig. 13. 28days compressive strength due to OPC substitution



Fig. 14. Expansion failure of ACC-50

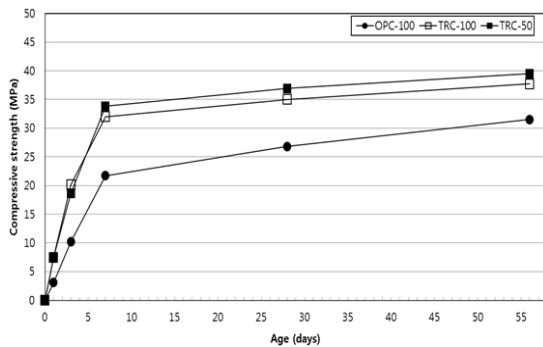


Fig. 15. Compressive strength in atmospheric curing of TRC-50 (56days)

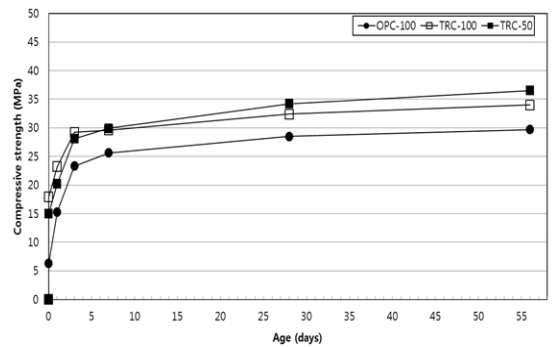


Fig. 16. Compressive strength in steam curing of TRC-50 (56days)

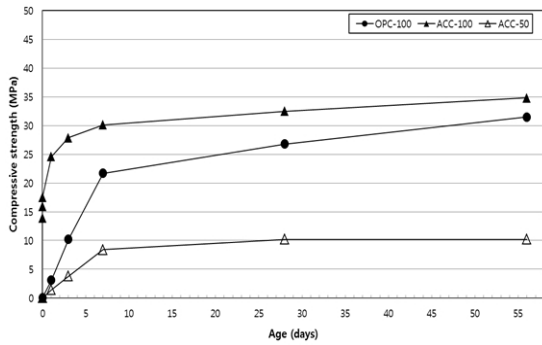


Fig. 17. Compressive strength in atmospheric curing of ACC-50(56days)

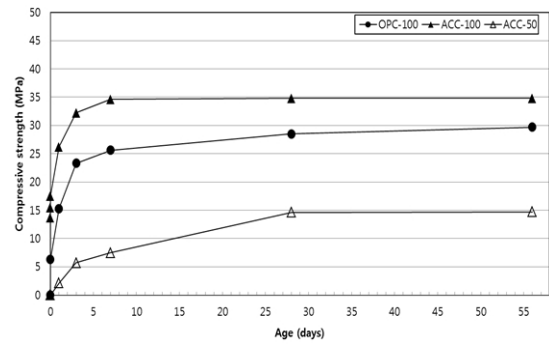


Fig. 18. Compressive strength in steam curing of ACC-50(56days)

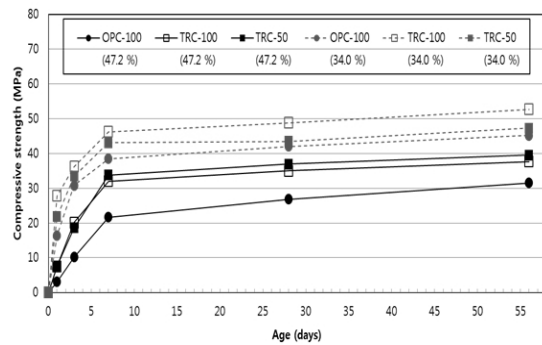


Fig. 19. Compressive strength characteristics according to W/B in atmospheric curing condition

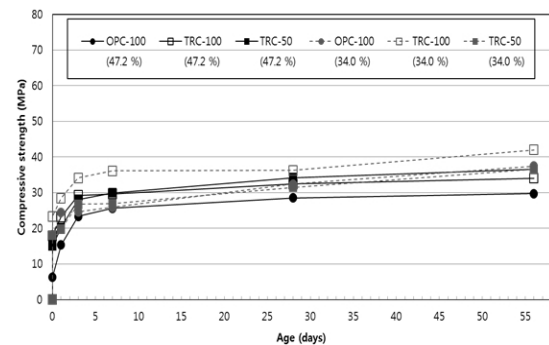


Fig. 20. Compressive strength characteristics according to W/B in steam curing condition

첫째는 ACC는 초속경성 시멘트 계열로 물과 석고와의 반응을 통하여 에트린자이트의 초기 생성을 유도하여 초기강도를 발현시킨다. 그러나 OPC와의 1:1 혼합을 통하여 석고의 비율에 이상을 초래하면서 과도한 에트린자이트가 생성이 되고 재령이 증가하여 초속경-고강도 등의 강도에 대한 기여시기를 지나 팽창파괴에 이른 것으로 볼 수 있다. 둘째는 ACC의 원재료 속성에 기인한 것으로 ACC는 제강슬래그를 기반으로 만들어져 제강슬래그가 가지는 팽창성의 문제로 인한 파괴 가능성이다. 공정 중에 발생하는 제강슬래그의 미수화 CaO의 함량이 그 원인으로 함량이 1%이상이 되면 팽창성 반응으로 스스로 붕괴되는 경향을 보인다는 것이다(Yoo 2003).

Fig. 15와 Fig. 16은 양생조건에 따른 OPC-100, TRC-50 및 TRC-100 실험체의 재령 56일까지의 압축강도 발현특성을 나타내었다.

TRC-50의 경우 7일을 기점으로 하여 TRC-100보다 오히려 높은 강도발현 양상을 나타내었으며, 증기양생조건에서도 유사한 강도발현 특성을 나타내었다. 이것은 조강형 시멘트의 일반적인 경향으로 초기 빠른 수화반응 속도의 영향으로 판단할 수 있다. 그러나 TRC의 양생조건별 압축강도 발현 특성은 대기양생과 증기양생에서 양생조건이 압축강도 발현특성에 미치는 영향이 크지 않은

것으로 나타났다.

Fig. 17과 Fig. 18에 양생조건에 따른 OPC-100, ACC-50 및 ACC-100 실험체의 재령 56일까지의 압축강도 발현특성을 나타내었다.

Fig. 17과 Fig. 18에서 대기양생과 증기양생조건에 따른 압축강도는 거의 유사한 경향을 나타내고 있어, ACC에서도 양생조건이 압축강도 발현특성에 미치는 영향을 크지 않은 것으로 나타났다. 그러나 ACC-50의 경우 양생조건에 따라 장기 재령에서의 압축강도가 조금 차이가 나고 있으나, OPC 혼입의 영향으로 정상적인 강도발현이 이루어지지 않고 있음을 알 수 있다.

4.3 물-결합재비에 따른 조기강도 개선 콘크리트의 특성

Fig. 19와 Fig. 20은 물-결합재비 변화에 따른 조기강도 개선 콘크리트의 압축강도 발현 특성을 나타낸 것으로 물-결합재비 저감에 따른 대기양생의 초기강도 발현은 물-결합재비가 낮을 수록 이와 비례하여 높게 나타남을 알 수 있다. 그러나 물-결합재비 저감에도 불구하고 대기양생 조건에서는 OPC-100, TRC-50 및

TRC-100 모두 6시간에서 압축강도 15MPa은 발현되지 않았다. 증기양생 조건에서는 물-결합재비 47.2%의 OPC-100을 제외한 모든 실험체에서 목표 시간 내 목표 탈형강도를 만족하는 것으로 나타났다.

따라서 대기양생 및 증기양생 조건에서 시멘트 종류별 물-결합재비에 따른 압축강도는 시멘트 종류에 관계없이 물-결합재비가 낮을수록 높은 강도를 나타내고 있는 것을 알 수 있었다. 그러나 증기양생의 조건에서는 대기양생과 비교하여 실험체별 물-결합재비의 변화에 따른 차이가 적게 나타났다. 대기양생의 경우 재령 56일의 물-결합재의 변화에 따른 압축강도의 차이가 약 14MPa로 정도 나타났고 증기양생의 경우에는 약 8MPa의 차이를 나타내었다. 이는 증기양생의 초기 급속한 수화 반응에 의한 강도발현에 따라 구조적으로 불안정한 상태를 형성하여 후기재령으로 갈수록 압축강도 발현이 거의 일어나지 못하는 특성에 기인한 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구는 콘크리트 2차제품의 조기강도 개선을 위하여 조강형 시멘트를 사용하여 양생방법, 물-결합재비, 결합재 혼합사용 등에 따른 압축강도발현 및 건조수축 등의 특성을 검토한 것으로 연구의 결론은 다음과 같다.

1. 물-결합재비(W/B) 47.2%에서 목표치인 6시간 이내 압축강도 15MPa을 만족하는 실험체는 대기양생 조건의 경우 ACC-100만이 가능하였으며, 증기양생 조건에서는 TRC-100, TRC-50도 만족하였다.
2. 무수구연산 지연제의 사용은 양생조건에 관계없이 ACC-100의 급결 문제를 해결할 수 있었으며, 응결지연에 의한 공시체 제작 및 시험시간에서 발생하는 급결을 제어함으로써 지연제 무사용 시 보다 재령 28일 압축강도를 약 60% 상승시키는 것으로 나타났다.
3. 시멘트 종류별 콘크리트의 건조수축 길이변화는 재령 49일에서 ACC-100, OPC-100, TRC-100순으로 나타났다.
4. 시멘트 종류 및 OPC 혼합사용에 따른 양생조건별 목표 탈형강도 15MPa 도달시간은 TRC-50은 대기양생에서는 약 2.5일, 증기양생에서는 6시간, TRC-100의 경우 대기양생 약 2.1시간, 증기양생 약 6시간으로 TRC-50과 큰 차이를 나타내지 않았다. 반면 ACC-50의 경우 팽창파괴라는 이상현상을 초래하면서 정상적인 압축강도를 형성하지 못하였다.
5. 물-결합재비에 따른 압축강도는 물-결합재비 저감과 비례하

여 초기강도 발현이 높게 나타났으나, 물-결합재비의 저감에도 불구하고 대기양생 조건에서는 OPC-100, TRC-50 및 TRC-100 모두 6시간 목표 압축강도 15MPa은 발현되지 않았다. 그러나 증기양생 조건에서는 물-결합재비 47.2%의 OPC-100을 제외한 실험체에서 6시간 이내 목표 탈형강도 15MPa을 만족하는 것으로 나타났다.

References

- Jeon, W.C., Lee, J.H., Park, H.G., Lee, J.S., Kim, K.M., Jo, I.S. (2014). A study on the development of non-*pc* high-early-strength concrete without steam curing, Korea Institute of Building Constuctionspring, **14(2)**, 156-162.
- Kang, S.M., Kim, U.J. (2006). Status Analysis of PC Method in Domestic and Overseas, Daelim Technical Information(spring), 28-37.
- Kang, S.T. (2015). An Experimental Study on The Effects of C3S Contenton Compressive Strength Development of Precast Concrete Without Steam Curing, Master's Thesis, Hanyang University [in Korean].
- Kim, I.R. (2012). Fundamental Study on The Development of Precast Concrete Without Steam Curing, Master's Thesis, Hanyang University [in Korean].
- Kim, J.M., Choi, S.M., Kim, J.H. (2012). Evaluation for applicability as the inorganic binder with rapid setting property for construction material of LFS produced from various manufacturing process, Journal of the Korean Construction and Recycling Society, **7(2)**, 70-77.
- Min, T.B., Jo, I.S., Lee, H.S. (2014). Experimental study on the early strength development mechanism of cement paste using hardening accelerator and high-early-strength cement, Korea Institute for Stuctural Maintenance and Inspection, **18(1)**, 84-92.
- Yoo, J.H. (2003). Characterization of Concrete Using Steel Slag Aggregate Treated by Accelerated Aging, Ph.D Thesis, Hanyang University [in Korean].

조강형 시멘트의 종류 및 양생방법에 따른 콘크리트의 강도특성

본 연구는 콘크리트 2차제품의 양생시간과 양생에너지원을 감소시키기 위한 방안으로써 조강형 시멘트 사용으로 거푸집 탈형이 가능한 콘크리트의 목표 강도를 15MPa로, 양생시간을 6시간으로 설정하여 콘크리트 2차제품의 조기강도 개선을 검토하였다. 실험결과, 목표 양생시간 6시간 내 탈형 강도 15MPa의 대기양생만으로 달성가능 했던 실험체는 ACC-100에서만 가능하였으며, TRC-100과 TRC-50 실험체의 경우 증기양생을 통한 6시간, 15MPa 값을 만족하였다. 그러나 ACC-100 실험체의 경우 초기 높은 급결성으로 인해 작업성 확보가 곤란하였으며, 작업성 개선을 위해서는 무수구연산 등의 지연제의 사용이 필요함을 알 수 있었다. 물-결합재비 변화에 따른 양상을 살펴보면 OPC-100, TRC-100, TRC-50의 경우 물-결합재비 저감에 따라 6시간 내 목표 탈형 강도 달성은 증기양생의 경우 모두 만족하는 것으로 나타났으나, 대기양생의 경우 TRC-100, TRC-50은 12시간 이내 15MPa 달성이 가능하였다.