

동절기 공사용 조강축진 콘크리트의 개발 및 현장 시험적용

Development of early age strength concrete for cold weather concreting and field application test



이의배 Eui-Bae Lee
 ㈜대우건설
 기술연구원 융합기술연구팀 책임연구원
 E-mail : mir2468@naver.com



유재강 Jae-Kang Yoo
 ㈜대우건설
 기술연구원 융합기술연구팀 책임연구원
 E-mail : jaekang.yoo@daewoenc.com



고정원 Jeong-Won Ko
 ㈜대우건설
 기술연구원 융합기술연구팀 책임연구원
 E-mail : jeongwon.ko@daewoenc.com



전훈 Hoon Jun
 ㈜대우건설
 수지스카이뷰푸르지오현장 품질실장(차장)
 E-mail : kj8663@naver.com



안문오 Moon-O An
 ㈜대우건설
 수지스카이뷰푸르지오현장 공사총괄(차장)
 E-mail : moon.o.an@daewoenc.com



이승찬 Seung-Chan Lee
 ㈜대우건설
 수지스카이뷰푸르지오현장 현장소장(부장)
 E-mail : seungchan.yee@daewoenc.com

1. 서론

최근 근로기준법 개정에 따른 근로시간 단축, 레미콘 공급 단축, 기후변화, 품질·안전 관련 규정 강화, 민원 증대 등과 같은 건설 환경의 변화로 인해 공사기간이 부족한 현상이 다수 발생하고 있다. 또한 최초 적정 공사기간을 확보하지 못한 현장의 경우도 있으며, 이러한 현장들은 공사기간 단축에 주안을 두어 공사를 진행하게 된다.

하지만 일반 공동주택 공사의 경우 공정, 공사기간 및 공사비가 최적화되어 있기 때문에 공사기간을 단축시키는 것은 결코 쉽지 않다. 특히 주공정인 철근콘크리트공사는 콘크리트의 양생에 필요한 기본적인 시간이 존재하기 때문에 이 공정에서 공사기간을 단축하는 데에는 한계가 있다.

일반적으로 공동주택의 외벽 거푸집인 갱폼을 해체하기 위해서는 콘크리트 표준시방서에 의거, 구조체와 동일한 조건에서 양생

된 공시체의 압축강도가 측벽 거푸집 널 해체 기준인 5 MPa를 만족해야 한다. 하지만 동절기에는 양생온도가 너무 낮기 때문에 경품을 해체할 수 있는 시기는 지연될 수밖에 없다.

최근 동절기 공사시 철근콘크리트 공정의 공사시간을 단축하기 위한 목적으로 저온에서도 조기에 목표강도가 빨리 발현될 수 있는 콘크리트에 대한 연구가 진행되어 왔다. 대부분의 연구는 고분말도 1종 보통포틀랜드시멘트 또는 3종 조강시멘트에 시멘트의 조기강도 발현성능을 보다 촉진시킬 수 있는 액상형 화학혼화제를 조합하는 것에 초점을 두고 있다.

조강형 시멘트와 액상형 조강축진제를 적용할 경우, 레미콘 공장에서는 사일로 1기와 혼화제 탱크 1기가 필요하게 된다. 한편 조강형 시멘트와 조강축진제의 성능을 최적화하기 위해서는 조강형 시멘트와 조강축진제의 비율이 매우 중요하다. 레미콘 공장에서 조강형 시멘트와 액상형 조강축진제를 별도 계량할 경우 계량 오차에 따른 비율이 달라질 수 있으며, 이에 따라 콘크리트의 조기강도 발현성능은 달라질 수 있다.

이에 당사에서는 조강형 시멘트에 분말형 조강축진제를 미리 혼입한 프리믹스형 조강축진 시멘트를 개발하고자 하였으며, 이를 통해 콘크리트의 조강성능 변동을 최소화하고자 하였다. 또한 프리믹스형 조강축진 시멘트는 레미콘 공장 사일로 1기만 필요하게 되므로 그 적용성에 있어서도 이점이 있다.

본고에서는 당사에서 개발한 프리믹스형 조강축진 시멘트와 이를 사용한 콘크리트의 특성, 그리고 조강축진 콘크리트의 현장 시험적용 결과에 대해 기술하고자 한다.

2. 조강축진 시멘트의 개발

새로이 개발된 분말형 조강축진 혼화제(W)의 최적 혼입율을 검토하기 위해 모르타르 실험을 진행하였다. 조강형 시멘트는 국내 H사 및 A사의 고분말도 1종 포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 분말형 조강축진 혼화제의 혼입율은 시멘트 중량 대비 0.8%, 1.0%, 1.2%를 검토하였다. 모르타르 실험에 사용된 배합비율은 강도 30 MPa급 콘크리트 배합에서 굵은골재를 제외한 배합을 적용하였으며, 배합비율은 [표 1]과 같다.

<그림 1>은 양생온도 10℃ 조건에서 조강축진 혼화제 혼입

[표 1] 시험체 배합비

W/C ¹⁾ (%)	S/a ²⁾ (%)	Unit weight (kg/m ³)				AD ⁷⁾ (C×w%)
		W ³⁾	C ⁴⁾	S ⁵⁾	G ⁶⁾	
40.7	42	167	410	716	-	0.5

1) Water/cement ratio 2) Sand to aggregate ratio 3) Water 4) Cement
5) Fine aggregate 6) Coarse aggregate 7) Chemical admixture

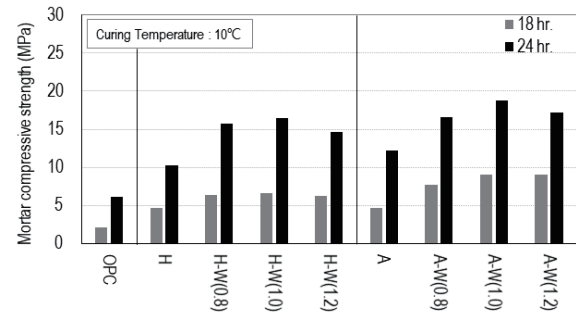


그림 1. 조강축진 혼화제 혼입율별 모르타르 압축강도

율에 따른 모르타르의 재령 18시간 및 24시간 압축강도 측정결과를 나타낸 것이다.

조강형 시멘트와 조강축진 혼화제를 조합한 모르타르의 압축강도는 1종 보통포틀랜드시멘트 모르타르보다 월등히 높은 압축강도를 보였다. 조강형 시멘트를 단독 사용한 모르타르에 비해서도 조강축진 혼화제를 혼합하게 되면, 37~60% 정도 압축강도가 향상되는 것으로 나타났다.

분말형 조강축진 혼화제의 혼입율에 따른 결과를 살펴보면, 1.0%를 혼입한 경우가 가장 높은 압축강도를 보였으며, 이보다 적거나 많으면 압축강도는 저하하는 것으로 나타났다. 이상의 결과로서, 개발된 분말형 조강축진 혼화제의 최적 혼입율은 시멘트 중량 대비 1.0%인 것으로 확인되었다.

3. 조강축진 콘크리트의 강도 발현 특성

3.1 실험계획

조강축진 시멘트에 기반하여 강도등급 및 양생온도 조건에 따른 콘크리트의 조기강도를 평가함으로써 양생온도별 15시

[표 2] 콘크리트 실험계획

Strength grade (MPa) & cement content (kg/m ³)	Cement type	Curing temperature (°C)
24 (340)	OPC ¹⁾ ESCA ²⁾	10
27 (370)		13
30 (400)		15
35 (430)		20
40 (480)		

1) Ordinary Portland cement
2) Early strength cement(A) + powdered early strength admixture(W)

[표 3] 콘크리트 배합표

Grade (MPa)	Slump (mm)	Air (%)	W/C ¹⁾ (%)	S/a ²⁾ (%)	Unit weight (kg/m ³)			
					W ³⁾	C ⁴⁾	S ⁵⁾	G ⁶⁾
24	150 ± 25	4.5 ± 1.5	51.2	50.0	174	340	872	902
27			47.0	49.0	174	370	842	906
30			43.5	48.0	174	400	813	911
35			41.0	47.5	176	430	790	904
40			36.7	47.0	176	480	763	890

1) Water/cement ratio 2) Sand to aggregate ratio 3) Water 4) Cement
5) Fine aggregate 6) Coarse aggregate

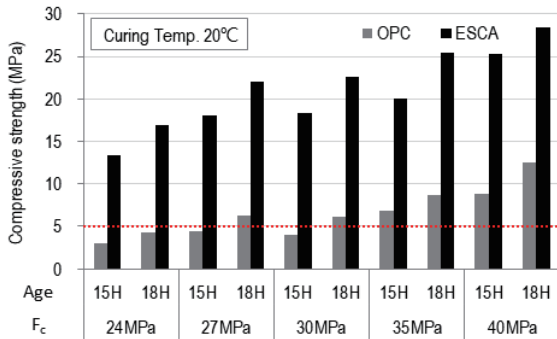


그림 2. 조강축진 콘크리트 압축강도 (양생온도 20 °C)

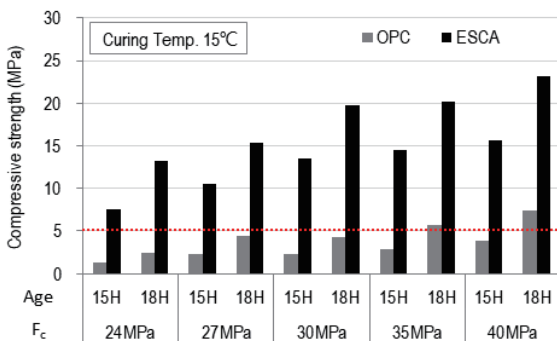


그림 3. 조강축진 콘크리트 압축강도 (양생온도 15 °C)

간/18시간에 목표강도 5 MPa를 발현할 수 있는 배합을 도출하고자 하였다.

[표 2]는 실험계획을 나타낸 것으로, 콘크리트 강도등급을 24~40 MPa로 구분하였다. 조강축진 콘크리트의 성능을 기존 일반 콘크리트와 비교하기 위해 조강축진 시멘트와 함께 1종 보통포틀랜드시멘트 배합도 검토하였다. 압축강도 평가용 시험체의 양생온도는 10~20 °C 범위의 4수준을 검토하였으며, 압축강도 측정재령은 15시간, 18시간, 1일, 2일, 3일, 7일, 28일로 설정하였다.

[표 3]은 콘크리트 배합표를 나타낸 것으로, 고성능감수제 혼입량은 목표 슬럼프를 만족시키기 위해 시멘트 종류에 따라 달리 적용되었다.

3.2 실험결과

<그림 2~5>는 양생온도에 따른 콘크리트 배합별 재령 15시간 및 18시간에 대한 압축강도 측정결과를 나타낸 것이다.

표준양생온도 20 °C 양생조건 하에서, 일반 OPC 콘크리트가 18시간 이내에 압축강도가 5 MPa 이상 발현하기 위해서는 27 MPa급 이상의 배합이 적용되어야 하고, 15시간 이내에서는 압축강도가 5 MPa 이상 발현하기 위해서는 35 MPa급 이상의 배합이 적용되어야 하는 것으로 나타났다. 반면 조강축진 콘크리트는 모든 강도등급에서 15시간 및 18시간 이내에 압축강도가 5 MPa 이상이 발현되는 것으로 나타났다.

양생온도 조건이 일반적으로 동절기 공사시 현장의 양생온도 조건으로 통용되고 있는 13 °C로 낮아지게 되면, 콘크리트의 압축강도는 양생온도 20 °C 측정값의 30% 이하로 크게 감소하는 것으로 나타났다. 일반 OPC 콘크리트의 경우 양생온도 13 °C 조건에서는 모든 등급에서 18시간 이내에 압축강도 5 MPa를 확보하는 것은 불가능한 것으로 나타났다. 하지만 조강축진 콘크리트의 경우 24 MPa급 이상의 배합이면 재령 18시간 이내, 35 MPa급 이상의 배합이면 재령 15시간 이내에 압축강도 5 MPa 이상을 확보할 수 있는 것으로 확인되었다.

<그림 6>은 목표강도 5 MPa를 확보하기 위한 각 콘크리트 배합별 적산온도값을 나타낸 것이다. 저온 양생온도 조건에서 요구되는 적산온도값을 산출하기 위해 양생온도 13 °C

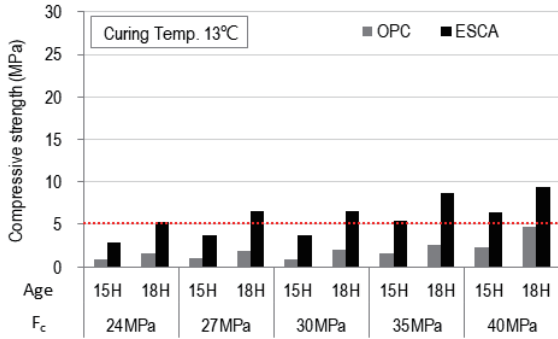


그림 4. 조강축진 콘크리트 압축강도 (양생온도 13°C)

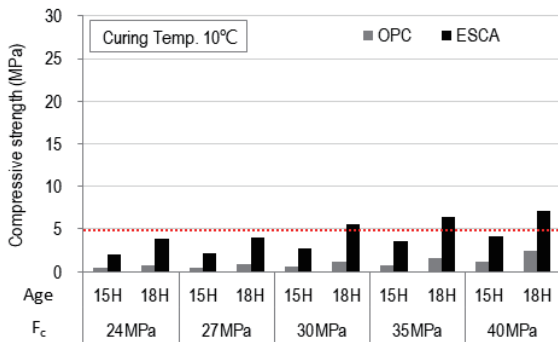


그림 5. 조강축진 콘크리트 압축강도 (양생온도 10°C)

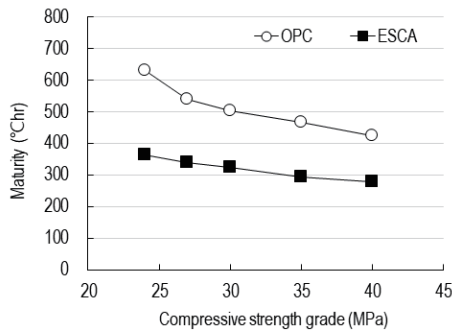


그림 6. 목표강도 5 MPa 발현을 위한 적산온도값

및 10°C 조건의 압축강도 데이터를 활용하였다. 그 결과, 압축강도 5MPa를 확보하기 위해 요구되는 조강축진 콘크리트의 적산온도값은 일반 OPC 콘크리트 배합 대비 평균 63%인 것으로 나타났다. 즉, 조강축진 콘크리트를 적용하면 일반 OPC 콘크리트 대비 그만큼 급열조건을 완화시키거나 양생기간을 단축시키는 것이 가능한 것으로 확인되었다.

4. 조강축진 콘크리트의 현장 시험적용

4.1 현장 개요

개발된 조강축진 콘크리트의 현장 적용성에 대한 평가를 위해 현장 시험적용을 진행하였다. 대상 현장으로는 용인에 위치한 당사 공동주택 신축현장을 선정하였으며, 대상 현장의 개요는 다음과 같다.

- 대지면적 : 8,220.10m²
- 건축면적 : 3,060.71m²
- 연면적 : 74,804.37m²
- 공사규모
 - 지하 5층 ~ 지상 15~49층 아파트 3개동 (363세대)
 - 오피스텔 1개동 (84세대)
 - 부대복리시설 및 근린생활시설

4.2 시험적용 계획

시험적용 대상 부재는 지하층 슬래브였다. 현장에서는 중차량을 조기에 투입하여 흠막이 락을 보다 빠른 시일 내에 제거함으로써 지하 구조물 공정을 단축시키기 위한 목적으로 슬래브의 강도를 3일내 15MPa 이상 발현시키는 것을 목표로 하였다.

이를 위해 기존의 실내배합시험 결과를 기초로, 레미콘 공장 생산시 투입되는 원재료의 특성 및 생산 품질 오차, 현장 시공조건 등을 고려하여 30MPa급 조강축진 콘크리트를 제안하였다. 최종적으로 현장에서 계획한 35MPa급 일반 콘크리트를 슬래브에 타설하는 것을 기본으로 하고 일부 구간에 조강축진 콘크리트를 타설하여 그 성능을 비교하였다. 슬래브에 타설된 일반 콘크리트(O-35)와 조강축진 콘크리트(ESCA)의 배합은 [표 4]에 제시한 바와 같다.

<사진 1>은 지하층 슬래브 타설 전경을 나타낸 것이다. 타설이 완료된 후 부재강도 확인을 위한 공시체를 제작하여 <사진 2>와 같이 하부층 중간 높이에 위치하도록 선반 위에 공시체를 올려놓아 양생을 실시하였다. 또한 현장 공시체로 하여

금 실제 부재 내부의 온도와 동일하게 양생되도록 온도추종양생시스템(〈사진 3〉)도 적용하였다. 본 시스템은 부재 내부에 매립된 온도 측정 센서를 무선 중계기에 연결하면 실시간으로 온도데이터가 무선으로 전송되어 챔버 내부의 온도가 부재와 동일하게 조절되는 정밀 양생기법이다.

〔표 4〕 현장 시험적용 콘크리트 배합표

Mix	Slump (mm)	Air (%)	W/B ¹⁾ (%)	S/a ²⁾ (%)	Unit weight (kg/m ³)								
					W ³⁾	C ⁴⁾	EC ⁵⁾	FA ⁶⁾	S ⁷⁾¹	S2	G ⁸⁾	AD ⁹⁾	
O-35	150	4.5	38.8	47.3	165	382	-	43	409	412	921	0.8	
ESCA-30	±25	±1.5	42.0	48.1	165	-	393	-	423	426	922	0.8	

1) Water/binder ratio 2) Sand to aggregate ratio 3) Water 4) OPC
 5) Early strength cement + admixture 6) Fly ash 7) Fine aggregate
 8) Coarse aggregate 9) Chemical admixture



사진 1. 조강축진 콘크리트 현장 시험적용 전경



사진 2. 조강축진 콘크리트 현장 공시체 양생 전경



사진 3. 무선 온도추종 양생시스템

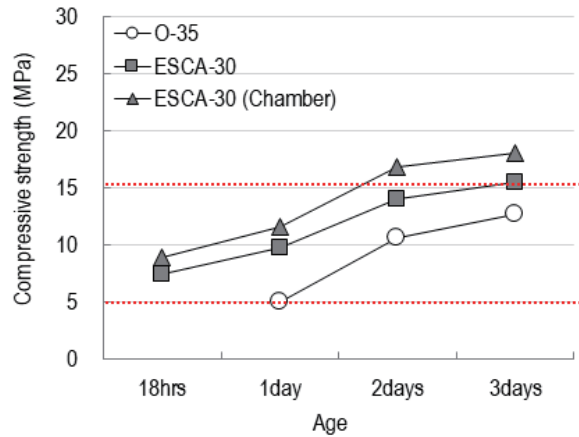


그림 7. 현장적용시험 압축강도 측정결과

4.3 시험적용 결과

〈그림 7〉은 재령별 현장 공시체의 압축강도 측정결과를 나타낸 것이다. 재령 3일의 일반 콘크리트 공시체의 압축강도는 15 MPa를 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 반면, 조강축진 콘크리트 공시체의 압축강도는 현장 대기양생 조건에서 15.5 MPa로 목표강도를 만족하는 것으로 나타났다. 또한 온도추종양생장치에서 양생된 공시체의 재령 3일 압축강도는 18.1 MPa로 나타나, 현장 대기양생 공시체보다 약 17% 높은 압축강도를 보였다.

5. 맺음말

본고에서는 동절기 공사시 콘크리트 양생기간을 단축하기 위한 목적으로 저온에서도 조기재령에 목표강도를 빨리 확보할 수 있는 조강축진 콘크리트 개발에 대한 내용을 기술하였다.

조강축진 콘크리트의 조강성능 변동을 최소화하기 위해 고분말도 1종 보통포틀랜드시멘트에 분말형 조강축진제를 미리 혼입한 프리믹스형 조강축진 시멘트를 개발하였다. 개

발된 조강축진 시멘트를 사용한 콘크리트의 강도등급과 양생 온도 조건에 따른 압축강도 데이터를 구축함으로써 현장의 요구조건에 부합되도록 콘크리트 배합설계가 가능하였으며, 현장 시험적용을 통해 조강축진 콘크리트의 성능을 검증할 수 있었다.

향후 동절기 공사시 철근콘크리트 공정의 공기단축을 위한 콘크리트 기술로서, 본 기술이 널리 활용될 수 있기를 기대해 본다.

참고문헌

1. Concrete Innovation Centre (2007) Accelerating admixtures for concrete, SINTEF Report, Norway
2. Han, C., Noh, S., Lee, M., Lee, G. & Kim, J. (2008) A fundamental properties of the concrete depending on the liquid type MAS(modified alkali sulphate) based high early strength agent, Journal of Architectural Institute of Korea, Structure & Construction Section, 24(3), 119-126.
3. Jeong, J., Park, C., Lee, S. & Ha, J. (2012) Early strength concrete according to cement type under low curing temperature, Proceeding of Korea Concrete Institute, 289-290.
4. Jun, W., Seo, H., Bae, Y., Park, H., Min, T. & Kwon, Y. (2015) Effect of powder hardening accelerator on the physical properties of precast concrete, Journal of Korea Institute of Building Construction, 15(3), 265-271.
5. Kim, H., Yoon, S. & Jee, N. (2002) A rational curing management process for cold weather concreting, Journal of Architectural Institute of Korea, Structure & Construction Section, 19(10), 51-58.
6. Kim, K., Choi, H., Yoon, S., Kim, J., Gong, M. & Jeong, Y. (2017) An experimental study on the reduction of construction period in the winter season using high early strength cement, Proceeding of Korea Concrete Institute, 473-474.
7. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2016) Korea Concrete Specification
8. Lee, T., Kim, Y., Song, Y., Lee, J., Park, C. & Park, J. (2019) Evaluation on strength development of high early strength concrete for horizontal form removal, Proceeding of Korea Concrete Institute, 517-518.
9. Mun, Y., Kim, H., Choi, H., Kim, J., Lee, H. & Kim, M. (2015) An experimental study on hydration and strength development of high blain cement at low temperature, Journal of Korea Institute of Building Construction, 15(4), 367-373.
10. Park, C., Lee, H., Park, J., Jeoung, Y., Lee, T., & Kim, Y. (2018) Mock-up test of ultra high early strength concrete according to use CSA type rapid hardening binder and accelerator, Proceeding of Korea Concrete Institute, 479-480.
11. Park, J., Ki, K., Lee, H., Kim, H., Choi, H. & Min, T. (2016) Compressive strength and fluidity of low temperature curable mortar using high early strength cement according to types of anti-freezer, accelerator for freeze protection and water reducing agent, Journal of Korea Institute of Building Construction, 16(5), 405-412.
12. Ryu, H., Lee, J., Hong, J., Baek, H., Seo, K. & Park, M. (2017) Evaluation of early strength performance of concrete using early strength type materials, Proceeding of Korea Concrete Institute, 525-526.
13. Song, Y., Lee, T., Kim, Y. & Seo, C. (2018) Effect of cement contents and combinations of accelerators on strength development of concrete cured at 10°C, Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute, 6(2), 94-99.

담당 편집위원 : 최명성(단국대학교)