Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 17, No. 7 pp. 342-347, 2016

http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.7.342
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

배합요인과 양생온도에 따른 일반강도 초저수축 콘크리트의 특성 변화 연구

정준영[1*], 민경환[1], 이동규[1], 최홍식[2]
[1]충청대학교 공학기술연구원, [2]충청대학교 토목과

A Study of Characteristics Change of Low-Shrinkage Normal Strength Concrete According to Mixing Factors and curing Temperature

Jun-Young Jeong[1*], Kyung-Hwan Min[1], Dong-Gyu Lee[1], Hong-sik Choi[2]
[1]**Research Institute for Engineering & Technology, Chungcheong University**
[2]**Department of Civil Engineering, Chungcheong University**

요 약 본 연구에서는 일반 강도 콘크리트 초저수축 특성을 얻는데 필요한 현장 배합시 굵은 골재의 최대치수, 잔골재의 종류에 따른 굳지 않은 콘크리트 물성과 굳은 콘크리트의 물성 및 건조수축 길이변화 특성을 평가하였다. 또한 시공시 양생온도에 따른 수축 특성을 평가하였다. 배합 인자로는 각각 굵은 골재 최대치수(13, 20, 25mm), 잔골재의 종류(세척사, 세척사+부순사, 부순사), 양생 온도(5, 20, 35℃) 총 9가지 배합 요인에 따른 콘크리트의 압축강도, 콘크리트의 건조수축 길이변화를 측정하였다. 350με의 초저수축 특성을 일반 강도 콘크리트에서 얻는데 굵은 골재는 최대 25mm까지 적용 가능한 것으로 평가되었으며, 잔골재의 입도가 매우 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. 또한 한중 및 서중 콘크리트를 제외한 양생 온도 범위에서 초저수축 특성을 얻을 수 있는 것으로 나타났다. 또한 분말형 수축저감제를 적용한 결과 굵은골재의 최대치수는 최대 25mm 내에서 350με 내의 수축 특성을 나타내는 것으로 나타났다. 유동성과 압축강도는 굵은 골재의 최대치수가 커지면 각각 증가하고 감소하는 일반적 경향이 반영되었다.

Abstract This study examined the effects of the coarse aggregate maximum size and grading of fine aggregates to acquire the characteristics of very low shrinkage on normal strength concrete mixed in the field. In addition, the shrinkage characteristics of concrete under construction were evaluated in accordance with the curing temperature. The compressive strength and drying shrinkage tests were performed for nine mixing factors composed of the coarse aggregate size (13, 20, and 25 mm), types of fine aggregate (see sand, crushed sand, and blended sand), and curing temperatures (5, 20, and 35 °C). To acquire low shrinkage properties under 350 με strain on normal strength concrete, a 25 mm maximum of coarse aggregate was available, and the grading of fine aggregate affected the shrinkage of concrete. In addition, very low shrinkage properties were acquired in the curing temperature range except cold and hot weather concrete.

Keywords : Crushed sand, Curing temperature, Drying shrinkage, Low-shrinkage concrete, Sea sand.

1. 서론

도시화 속도가 가속화 되면서 다양한 구조물이 지중에 건설되고 있다. 통신 선로 및 전력 송배전을 위한 공동구와 각종 상하수도용 하수 박스와 지하 도로 등의 시설이 지중에 건설된다. 지중에 건설되는 구조물은 균열 및 누수 등의 문제가 발생하면 지상의 구조물에 비해 그 보수 보강의 방법이 까다롭고 비용이 많이 드는 어려움

본 논문은 전력산업융합원천기술개발(과제번호 : 20131010501790) 연구비 지원에 의해 수행되었음.
*Corresponding Author : Jun-Young Jeong(Chungcheong Univ.)
Tel: +82-43-230-2675 email: jun02@ok.ac.kr
Received May 9, 2016 Revised (1st June 1, 2016, 2nd June 16, 2016)
Accepted July 7, 2016 Published July 31, 2016

이 있다.

따라서 다양한 방법의 수축저감을 통한 균열 방지가 가능한 콘크리트의 시공을 필요로 한다. 오래전부터 수축저감을 위해서 단위수량을 적게 사용하기 위한 방법이 사용되어왔다. 그러나 단위수량 감소와 유동성 개선 만으로는 건조수축 저감에 한계가 있다. 이에 따라 적용이 시도된 것이 수축저감제이다. 초기의 수축저감제에 대한 적용은 주로 모르타르에 대한 적용을 통해 건조수축에 대한 영향을 검토한 것이 대부분이다.[1, 2]

이 후 수축저감제의 한계를 팽창제에 의해 보상하기 위해 혼용법이 널리 연구되기 시작했다. 이러한 방법은 주로 초고성능콘크리트의 자기수축 보상을 위한 연구에 집중되었다.[3, 4] 그러나 이 경우에도 팽창성의 일정 문제로 현장적용에 어려움을 겪는 실정이다.

최근에는 액상형 수축저감제의 현장 적용성을 개선한 분말형 수축저감제의 도입을 위한 연구가 진행 중이다. 이러한 연구는 지금까지는 주로 수축저감제의 유형별 수축저감 효과[5] 및 수축저감제 사용량에 따른 수축량 변화특성[6]에 대한 연구가 수행된 정도이다.

현장에서 적용이 가능한 범위의 일반강도 콘크리트에 대해 수축저감제만을 적용한 연구는 아직도 팽창제를 혼용하는 방법에 대한 연구단계이다.

따라서 현장의 배치플랜트에서 적용이 용이하고 별도의 시설이 필요하지 않은 분말형 수축저감제를 적용한 일반강도 콘크리트의 초저수축콘크리트를 개발하는 연구가 절실한 실정이다.

이에 본 연구에서는 전력구 등과 같이 일반강도를 갖는 콘크리트 구조물에 분말형 수축저감제를 적용하여 초저수축 콘크리트의 시공이 가능한 배합 및 시공성을 확인하기 위한 연구를 수행하고자 한다.

수축저감 목표는 균열억제가 탁월한 350με 내의 건조수축을 목표로 설정하였다.

이를 위해 본 연구에서는 먼저 표준화된 전력구용 배합 외에 현장에서 불가피하게 사용하게 되는 다양한 골재에 대해 배합 특성별로 수축저감에 미치는 영향을 검토하여 기존의 전력구 등에 사용되는 배합의 적용 범위를 평가하고, 초저수축 콘크리트를 얻기 위해 필요한 시공시 온도조건을 고려한 콘크리트 양생조건을 제시하고자 한다.

2. 실험 개요 및 방법

2.1 재료 특성 및 배합

배합요인에 따른 콘크리트의 특성검토는 기존에 정해놓은 전력구의 배합인 Plain의 경우 OPC:FA(Ordinary Portland Cement:Fly-Ash)의 비율이 9:1로 정해져 있지만 실제 한국전력 시공기술팀과 미팅을 실시한 후 확인된 바로는 현장과 가까운 레미콘에 강도기준으로 주문을 하여 타설을 실시하고 있으므로, 기존의 배합과 별도로 레미콘에서 생산 가능한 전 수준의 배합을 검토하여 이에 따른 콘크리트의 특성과 수축거동을 확인하여 이를 참고자료로써 제시하고자 한다.

따라서 변수는 크게 굵은 골재와 잔골재 및 양생온도로 하고 굵은 골재의 최대치수를 13, 20, 25 mm의 수준으로 변화시키고, 잔골재의 종류(세척사 및 부순 모래) 및 혼합사용 하였다. 그리고 양생온도(5, 20, 35℃)에 의한 변화를 모두 검토하고자 하였으며, 배합재료의 물성을 Table 1에 나타내었다.

2.2 굵은골재 최대치수 변화에 따른 시험의 구성

굵은골재 최대치수 13, 20, 25 mm에 따른 배합을 진행하였으며, W/B는 49.4%이며, 바인더의 구성은 OPC : FA = 9 : 1의 비율로 구성되었으며, 단위수량은 168kg/m³ 설정하였으며, 목표슬럼프는 현장 타설의 작업성을 고려하여 150±20mm로 설정하였으며, 목표공기량은 4.5±1.5%를 설정하였다.

배합 직 후 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프 공기량을 측정하였으며, 경화콘크리트에서는 3, 7, 28, 56일 재령 압축강도와 7, 28일 쪼갬인장강도를 측정하였으며, 콘크리트의 건조수축 길이변화를 측정하기 위하여 100×100×400mm 각주몰드 중앙에 매립게이지를 설치하였으며, 길이변화 측정은 데이터가 수렴 할 때까지 진행하였다. 콘크리트 건조수축 길이변화 측정 장치에 대한 내용을 Fig. 1에 나타내었으며, Table 2에 배합 사항을 나타내었다.

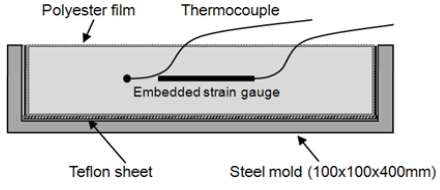

Fig. 1. Unrestraint shrinkage test

2.3 잔골재 종류 변화에 따른 시험의 구성

잔골재의 종류 세척사(SS)와 부순 모래(CS) 두가지의 잔골재로 세척사 100%, 세척사 50%+부순 모래 50%, 부순 모래 100%를 사용하여 배합을 진행하였으며, 2.1.1과 동일안 배합으로 진행하였다. 다음과 같은 배합 사항을 Table 3에 나타내었다. 또한 모든 배합에 동일한 실험 사항을 Table 5에 나타내었으며, 배합에 사용된 잔골재의 입도분포곡선을 Fig. 2에 나타내었다.

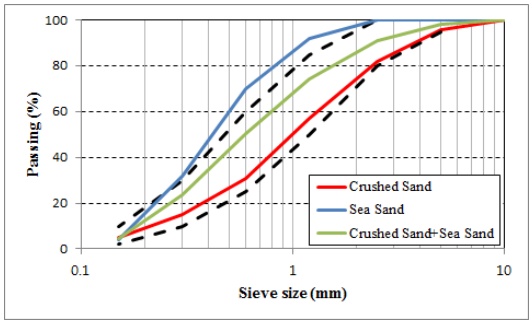

Fig. 2. Gradation curve of fine aggregate

Table 1. Concrete materials properties

Materials	Density (g/cm³)	Water absorption (%)	Fineness Modulus
Coarse aggregate (13mm)	2.60	0.80	-
Coarse aggregate (20mm)	2.63	0.70	-
Coarse aggregate (25mm)	2.60	0.80	6.78
Sea Sand (SS)	2.63	1.0	1.72
Crushed Sand (CS)	2.60	1.0	2.94
Cement	3.15	-	-
Fly Ash	2.20	-	-

CS : Crushed Sand
SS : Sea Sand

Table 2. Coarse aggregate maximum size mix

Test variables		Test value	
Mix proportion	W/B(%)	49.4	
	Water(kg/m³)	168	
	Slump(mm)	150±20 mm	
	Air Content(%)	4.5±1.5	
	Binder	OPC : FA = 9 : 1	
	Test variables	3	G_{max} (13, 20, 25mm)

OPC : Ordinary Portland Cement
FA : Fly-Ash

Table 3. Type of fine aggregate mix

Test variables		Test value	
Mix proportion	W/B(%)	49.4	
	Water(kg/m³)	168	
	Slump(mm)	150±20 mm	
	Air Content(%)	4.5±1.5	
	Binder	OPC : FA = 9 : 1	
	Test variables	3	Using aggregate type (SS-Sea Sand, CS-Crushed Sand, SSCS-Sea Sand 50%+Crushed Sand 50%)

Table 4. Curing temperature mix

Test variables		Test value	
Mix proportion	W/B(%)	49.4	
	Water(kg/m³)	168	
	Slump(mm)	150±20 mm	
	Air Content(%)	4.5±1.5	
	Binder	OPC : FA = 9 : 1	
	Test variables	3	Curing temperature (5, 20, 35℃)

Table 5. Test variables and values

Test variables		Test value	
Test proportion	Fresh concrete	2	Slump, Air content
	Hardened concrete	2	Compressive strength (3, 7, 28, 56 Day) concrete length change (1,2,3,…Until convergence) - embedded gauge

2.4 양생온도에 따른 시험의 구성

동일한 배합의 콘크리트를 제작한 후 각각 양생온도 조건을 다르게 하여 배합을 진행하였으며, 양생온도는 겨울, 봄·가을, 여름 계절별 대표 온도를 선정하여, 각각 5, 20, 35℃로 설정하였다. 다음과 같은 배합 사항을 Table 4에 나타내었다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 굵은골재 최대치수에 따른 배합

굵은 골재의 최대치수가 커짐에 따라 유동성이 증가하는 경향이 나오는데 이는 골재의 비표면적이 작아져 자유수의 양이 증가하기 때문이며, 최대치수가 작은 경우 골재의 간극계수가 작아지기 때문으로 판단된다. 공

기량은 큰 차이를 보이지 않았으며, 압축강도는 굵은 골재의 최대치수 작아짐에 따라 소폭 저하하는 경향을 나타냈다.

콘크리트의 수축거동은 큰 차이를 보이지 않았으나 최대치수가 작아짐에 따라 소폭 수축량이 감소하는 경향을 나타냈다. 전력구의 배합을 선정할 시 굵은 골재의 최대치수는 큰 것을 쓰는 것이 유리할 것으로 판단되는데 이는 강도 및 유동성에 여유가 생기기 때문으로 유동성 확보를 위한 추가적인 수량의 투입을 방지할 수 있으며, 강도의 여유로 인해 내구성 등의 요인에서 유리할 것으로 사료된다.

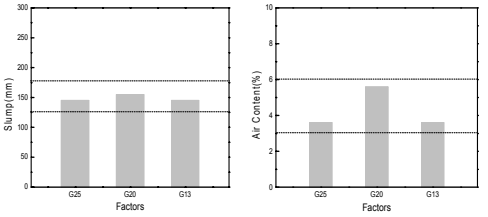

Fig. 3. Slump and air content according to the coarse aggregate maximum size

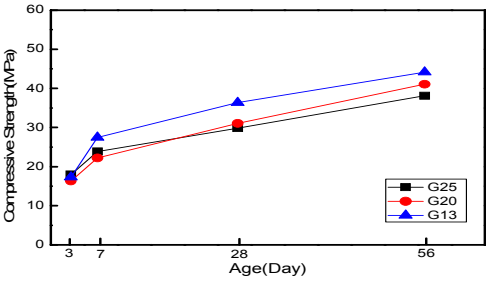

Fig. 4. Compressive strength according to the coarse aggregate maximum size

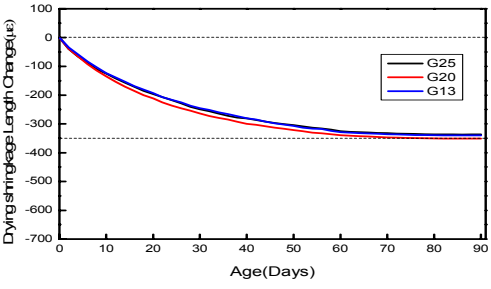

Fig. 5. Length change according to the coarse aggregate maximum size

3.2 잔골재의 종류에 따른 배합

기존의 콘크리트는 대부분 자연사를 사용하였으나 현재는 자원의 고갈로 인해 잔골재의 품귀현상이 일어나고 있다. 그리고 현재 사용중인 세척사의 경우도 기존에 사용되던 품질과는 큰 차이를 보이고 있는데 대체할 잔골재의 수급이 어려워 수습방안이 시급한 실정이다. 최근 3~4년 사이 세척사의 조립률은 2 후반대에서 현재는 2.0의 골재도 수급이 어려운 지경이다. 따라서 대부분의 레미콘에서 부순 모래를 혼합하여 사용하고 있는데 부순 모래의 경우 미분을 다량으로 함유하고 있어 많은 편차를 보이고 있다.

콘크리트 실험결과 세척사 단독 사용이 오히려 부순 모래 단독사용 경우보다 유동성 및 공기량이 떨어지는 것으로 확인되는데 이는 세척사의 조립률이 매우 낮기 때문으로 판단된다. 즉 부순 모래의 경우에도 어느 정도의 연속입도를 형성하고 있음을 의미한다. 강도적인 측면에서도 부순 모래를 사용하는 경우가 높은 강도 발현을 보이는 것으로 나타났다. 콘크리트의 길이변화 결과에서는 큰 차이를 보이지 않았지만 미분의 영향으로 부순 모래를 사용하는 경우 약간의 수축량 증가를 보이는 것으로 나타났다.

실험에 필요한 기준 조건은 Fig. 3과 같이 슬럼프 150±20mm를 기준으로 하고 공기량은 4.5±1.5%를 기준으로 하여 표준화 하였다.

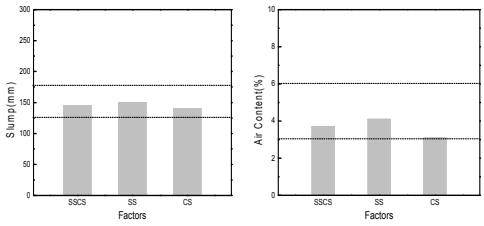

Fig. 6. Slump and air content acccording to the fine aggregate type

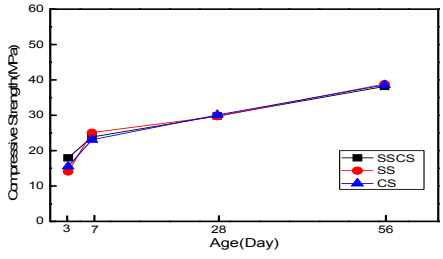

Fig. 7. Compressive strength according to the fine aggregate type

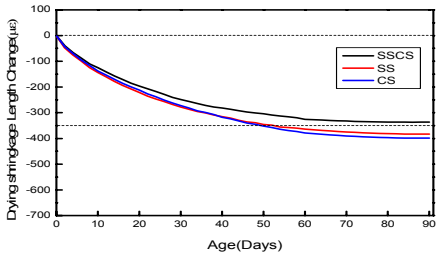

Fig. 8. Length change acccording to the fine aggregate type

3.3 양생온도에 따른 배합

우리나라는 4계절이 뚜렷한 지역으로서 계절별 온도 차이가 많게는 50℃ 이상 발생한다. 그렇기 때문에 양생온도에 영향을 많이 받는 콘크리트의 강도발현 및 건조수축에 대한 영향을 알아보기 위하여 양생온도에 따른 배합을 진행하였다.

양생온도가 증가함에 따라 콘크리트의 압축강도가 높게 나타났으며, 건조수축 길이변화는 5℃보다 20℃가 다소 높게 나타났으나, 35℃의 경우 20℃보다 비교적 큰 수축이 나타났다. 따라서 본 연구에서 제안된 초저수축 콘크리트의 일반적인 시공 온도에서 적용성이 있음이 확인되었다.

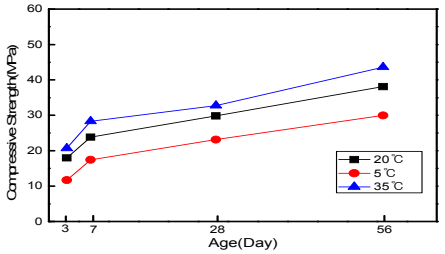

Fig. 9. Compressive strength according to the curing temperature

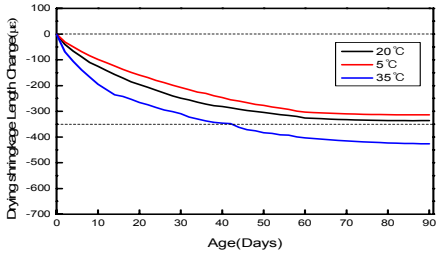

Fig. 10. Length change acccording to the curing temperature

4. 결론

본 연구에서는 굵은골재 최대치수와 잔골재의 종류에 따른 굳지 않은 콘크리트 물성과 굳은 콘크리트의 물성 및 건조수축 길이변화 특성에 관한 인련의 실험을 수행하였고, 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 분말형 수축저감제를 적용한 결과 굵은골재의 최대치수는 최대 25mm 내에서 350με 내의 수축특성을 나타내는 것으로 나타났다. 유동성과 압축강도는 굵은 골재의 최대치수가 커지면 각각 증가하고 감소하는 일반적 경향이 반영되었다.
2) 굵은골재의 최대치수가 작아짐에 따라 콘크리트의 건조수축거동은 소폭 감소하는 것으로 나타났다.
3) 입도조건 불량한 부순모래와 해사만을 사용한 경우에는 입도가 양호한 경우에 비하여 양생온도가 증가함에 따라 콘크리트의 압축강도 및 건조수축 길이변화는 증가하는 경향이 나타났기 때문에 강도 발현을 고려하여 양생온도 설정에 주의를 요할 것으로 판단된다.
4) 전력구 등 타설이 어렵고, 수축에 대한 영향을 최소화 시켜야 하는 콘크리트 구조물의 배합에서는 굵은골재 최대치수가 크며, 부순 모래의 혼입율을 증가한 배합이 유리할 것으로 판단된다.
5) 선정된 배합에 대해 각 시방 범위 내의 각 온도조건에 대한 검증 결과 서중 콘크리트로 시공하는 경우를 제외하고는 유효성이 확인되었다.

References

[1] S. H. Lee, J. S. Lee, S. H. Lee, “A Study on Physical Properties of Mortar Using Shrinkage Reducing Agent“, Proceedings of the Korea Concrete Institute, pp. 103-107, 1995.

[2] S. H. Lee, Y. W. Jeong, J. S. Park, “Influence of Shrinkage Reducing Agent on Drying Shrinkage of Mortar”, Proceedings of the Korea Concrete Institute, pp. 563-566. 2000.

[3] S. M. Kang, H. J. Kang, M. S. Song, P. H. Park, “A Study on the Early Hydration-Retarding Mechanism of Polymer Modified Cement”, Proceedings of the Korea Concrete Institute, 21(1), pp. 221-222, 2009.

[4] H. K. Lee, K. M. Lee, W. Kim, “Prediction Model for Autogenous Shrinkage of High Strength Fly Ash Concrete”, Journal of the Korea Concrete Institute, Vol. 15, No. 1, pp. 133-142, 2003.
DOI: http://dx.doi.org/10.4334/JKCI.2003.15.1.134

[5] Y. H. Kwon, B. H. Yoo, J. P. Park, D. G. Lee, H. S. Han, “A Study on Drying Shrinkage Properties of Concrete using Shrinkage Reducing Powder”, Proceedings of the Korea Institute, Vol. 26, No. 1, pp. 225-226, 2014.

[6] J. P. Park, B. H. Yoo, H. S. Han, “Fundamental Properties of Concrete Corresponding to Contents Shrinkage Reducing Agent”, Proceedings of the Korea Concrete Institute, pp. 655-656, 2015.

정 준 영(Jun-Young Jeong) [정회원]

- 2014년 2월 : 군산대학교 토목공학과 (공학사)
- 2016년 2월 : 군산대학교 일반대학원 콘크리트구조 (공학석사)
- 2015년 9월 ~ 현재 : 충청대학교 공학기술연구원, 주임연구원

<관심분야>
콘크리트, 구조공학, 건설재료

민 경 환(Kyung-Hwan Min) [정회원]

- 2007년 2월 : 고려대학교 일반대학원 구조공학 (공학석사)
- 2012년 8월 : 고려대학교 일반대학원 구조공학 (공학박사)
- 2009년 3월 ~ 2013년 6월 : 고려대학교부설 공학기술연구소
- 2013년 7월 ~ 현재 : 충청대학교 공학기술연구원, 선임연구원

<관심분야>
콘크리트, 구조공학

이 동 규(Dong-Gyu Lee) [정회원]

- 2009년 2월 : 청주대학교 건축공학과 (공학석사)
- 2012년 2월 : 청주대학교 건축공학과 (공학박사)
- 2010년 2월 ~ 2014년 8월 : 동남기업 중앙연구소, 선임연구원
- 2014년 9월 ~ 현재 : 충청대학교 공학기술연구원, 선임연구원

<관심분야>
콘크리트, 건설재료

최 홍 식(Hong-sik Choi) [정회원]

- 1983년 2월 : 연세대학교 토목공학과 (공학석사)
- 1989년 8월 : 연세대학교 토목공학과 (공학박사)
- 1990년 3월 ~ 현재 : 충청대학교 토목과 교수

<관심분야>
토목구조, 구조공학