

성능개선형 폴리카르본산계 혼화제를 사용한 콘크리트의 성능평가에 관한 실험적 연구

Performance Evaluation of Concrete using Performance Improving-type Polycarboxylic acid-based Admixture

서 태 석¹

최 훈 제¹

공 민 호^{2*}

Seo, Tae-Seok¹

Choi, Hoon-Jae¹

Gong, Min-Ho^{2*}

Hyundai Engineering & Construction, 17-6, Mabuk-ro 240beon-gil, Giheung-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do,
446-912, Korea ¹

Hyundai Engineering, 75, Yulgok-ro, Jongno-gu, Seoul, Korea ²

Abstract

Because of the supply-demand problem of aggregate, recently, the construction sites using 100% crushed sand are increasing and the use of low quality aggregate such as farmland sand is increasing too. When the low quality aggregate is used, the various quality defect of concrete such as the strength reduction, the increase of shrinkage and bleeding can be occurred. Therefore, in this study, the performance improvement PC admixture was developed to minimize the quality defect of plain concrete of basement parking area, when the low quality aggregate was used at the plain concrete of basement parking area. The slump loss to elapsed time test, the compressive strength test, the bleeding test and the drying shrinkage test were carried out.

Keywords : performance improving-type PC admixture, slump, compressive strength, bleeding, drying shrinkage

1. 서 론

최근 국내에서 사용되는 대부분의 골재는 천연골재의 고갈 및 수급 불균형 등의 이유로 부순모래를 100% 사용하는 현상이 증가하고 있으며 내륙 지역의 경우 개답사, 마사토 등과 같은 저품질의 골재를 사용하는 경우도 증가하고 있다 [1,2,3]. 이러한 저품질의 골재를 사용할 경우 높은 흡수율과 점성의 증가로 인하여 작업성이 저하하게 되며 작업성 확보를 위해 배합수가 증가되는 실정이다. 배합수의 증가로 인하여 강도의 저하, 건조수축 증가, 블리딩 증가 등에 의한 다양

한 품질하자가 발생하고 있다. 특히 지하주차장 무근콘크리트의 경우 표면부와 저면의 수축차의 증가로 인한 켈링[4,5]이 발생하게 되고, 켈링이 발생한 후에 차량이 통과하게 되면 무근콘크리트에 균열이 발생하게 된다. 지하 최하층의 경우 배수관 사이를 흐르는 지하수의 유입으로 누수현상도 발생하게 되며, 차량 통행에 따른 소음도 발생할 수 있다. 또한 블리딩 증가로 인한 표면 강도 저하로 박리, 박락 등의 하자가 다발적으로 발생하여 매년 민원 및 소송이 증가하고 있는 실정이다(Figure 1 참조).

Table 1. Characteristic of performance improving-type PC

Items	Materials
Reduction in segregation	Viscosity agent for coating materials
Minimization of slump elapsed time	Retarder + Retention Agent
Control of shrinkage cracking and curling	Shrinkage reducing agent

Received : July 31, 2017

Revision received : August 23, 2017

Accepted : September 14, 2017

* Corresponding author : Gong, Min-Ho

[Tel: 82-2-2134-7573, E-mail: gong92@hec.co.kr]

©2017 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

Table 2. Mix proportions

No.	W/B (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)						Admixture (%/Binder)	Experimental condition
			Binder		Fine aggregate		Coarse aggregate			
			Water		OPC	Fly ash				
1								Performance Improving-type PC	Fine powder 5%	
2								Performance Improving-type PC	Fine powder 10%	
3								Performance Improving-type PC	Fine powder 15%	
4								1.0 Normal PC	Fine powder 5%	
5								Normal PC	Fine powder 10%	
6								Normal PC	Fine powder 15%	
7	54.7	55	175	320	288	32	985	809	Performance Improving-type PC	Farmland sand 0%
8									Performance Improving-type PC	Farmland sand 25%
9									Performance Improving-type PC	Farmland sand 35%
10									Performance Improving-type PC	Farmland sand 50%
11									1.0 Normal PC	Farmland sand 0%
12									Normal PC	Farmland sand 25%
13									Normal PC	Farmland sand 35%
14									Normal PC	Farmland sand 50%

따라서 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해서 저 품질의 골재가 사용되었을 경우 지하주차장 무근콘크리트의 품질하자를 최소화시키기 위하여 성능을 개선시킨 혼화제를 개발하였으며, 슬럼프 경시변화, 압축강도, 블리딩, 건조수축 길이변화 실험을 실시하여 일반 폴리카르본산계 혼화제(이하 PC 혼화제)를 사용한 콘크리트와 비교하였다. 본 연구를 통하여 개발된 성능개선형 PC 혼화제의 특성을 Table 1에 정리하였다.

2. 실험 계획

2.1 콘크리트 배합

본 실험에서 사용된 콘크리트 배합을 Table 2에 정리하였다. 일반적으로 주차장 슬래브 무근콘크리트에 사용되고 있는 콘크리트는 설계기준강도 18MPa, 슬럼프 150mm이지만, 본 연구에서는 내구성 및 작업성을 향상시키기 위하여 설계기준강도를 21MPa, 슬럼프를 210mm로 증가시켰다. 또한 국내 골재 사정을 반영하여 최악의 조건에서 실험을 실시하기 위하여 부순모래(Crushed sand) 100%에 미립분 5%, 10%, 15%를 혼입한 콘크리트를 대상으로 실험을 실시하였고, 내륙지역에 개답사(Farmland sand)가 사용되고 있는 실정을 고려하여 부순모래에 개답사를 25%, 35%, 50% 혼입한 콘크리트도 제작하여 실험하였다(Table 2 참조). 특히 지하주차장 외기 온도는 겨울철에도 영상을 유지하므로 본 배합에서는 강도확보 및 슬럼프 증가에 따른 재료 분리에 대한 저항성을 향상시키기 위하여 공기량은 고려하지 않았다.

2.2 사용 재료

사용재료를 Table 3~5에 정리하였다. 본 연구를 통하여 개발된 성능개선형 PC 혼화제는 준PC 혼화제, 유지제, 지연



Figure 1. Quality defect of slab plain concrete

제, 증점제, 수축저감제(SRA; Shrinkage Reducing Agent)로 구성된 1액형 혼화제이다. 슬럼프의 급격한 저하로 인한 배합수의 증가를 방지하기 위하여 유지제와 지연제가 적정 비율로 첨가되어 있고, 일반강도 콘크리트에서 슬럼프의 증가로 인한 재료분리를 방지하기 위하여 도막재료에 사용되는 증점제가 첨가되었다. 또한 주차장 무근콘크리트의 수축균열 및 컬링을 제어하기 위하여 글리콜 타입의 액상형 수축저감제 0.5%가 첨가되었다. 글리콜 타입의 액상형 수축저감제는 배합 수의 표면장력이 감소함에 따라 콘크리트 모세관 내에 발생하는 장력이 줄어 콘크리트의 건조수축이 감소하는 특징이 있으며 사용량에 따라 최대 40% 까지 건조수축을 감소시킬 수 있는 것으로 보고되고 있다[6]. 따라서 콘크리트의 건조수축균열과 수축차에 의해서 발생하는 컬링제어에 효과적일 것으로 판단된다.

Table 3. Properties of cement and aggregate

Material	Physical properties	
Ordinary Portland Cement	Specific gravity	Specific surface area
	: 3.15	: 3300 cm ² /g
Fly ash	Specific gravity	Specific surface area
	: 2.23	: 3660 cm ² /g
Coarse aggregate (Max. 25mm)	Specific gravity	Absorption capacity
	: 2.60	: 0.72%
Fine aggregate (Crushed sand)	Specific gravity	Absorption capacity
	: 2.59	: 0.83%
Fine aggregate (Farmland sand)	Specific gravity	Absorption capacity
: 2.61	: 1.60%	

Table 4. Performance improving-type PC


	PC admixture	Density	Chloride (%)
	+ Retention Agent	(g/cm ³)	
	+ Retarder		less than 0.01
	+ Viscosity Agent	1.03 ± 0.1	
	+ SRA	(at 20 °C)	

Table 5. Properties of SRA

Main constituent	Density (g/cm ³)	Viscosity (cps)	Shape	Color
Glycol-type	0.95±0.1 (at 20°C)	200±50 (at 20°C)	Liquid	White

2.3 측정 항목

성능개선형 PC 혼화제를 사용한 콘크리트의 성능을 검토하기 위하여 슬럼프 경시변화[7], 압축강도[8], 블리딩[9],

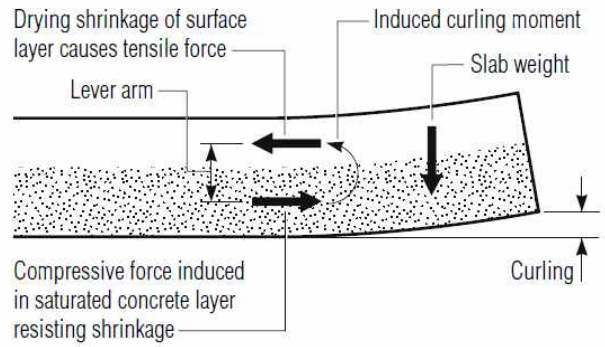


Figure 2. Curling diagram(4)

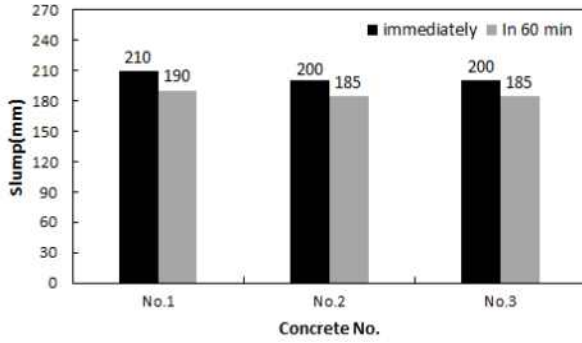
건조수축 길이변화[10] 시험을 실시하여 일반 준PC 혼화제를 사용한 콘크리트와 비교하였다. 또한 저품질 골재의 사용으로 슬럼프 기준을 만족시키지 못할 경우 슬럼프 확보를 위해 어느 정도의 배합수가 필요한 지를 확인하기 위하여 추가적인 가수를 실시하였다.

3. 실험결과 및 분석

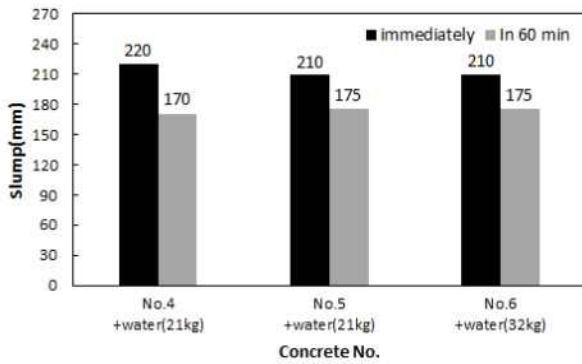
3.1 슬럼프 경시변화

슬럼프 경시변화 시험결과를 Figure 3에 나타내었다. 슬럼프 시험은 KS F 2402[7]에 준하여 실시하였고 콘크리트 생산 후 즉시, 60분 경과 후에 슬럼프를 측정하였다. 성능개선형 PC 혼화제, 일반 준PC 혼화제를 사용한 콘크리트 모두 재료분리 현상은 관찰되지 않았다. 부순모래 100%에 미립분(5, 10, 15%)을 혼입한 콘크리트(No.1~6)의 경우, 성능개선형 PC를 사용한 콘크리트(No.1~3)는 60분 경시 후에도 추가적인 가수 없이 슬럼프 기준(210±25mm)을 만족하는 것으로 나타났다. 하지만 일반 준PC 혼화제를 사용한 콘크리트(No.4~6)의 경우, 약 20~30kg을 가수했음에도 불구하고(Figure 4 참조) 슬럼프 기준을 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 성능개선형 PC 혼화제에 적정비율로 첨가된 유지제와 지연제가 경시에 따른 슬럼프의 급격한 저하에 효과적으로 작용한 것으로 판단된다.

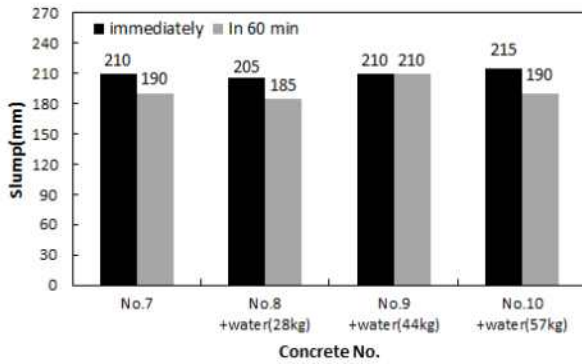
부순모래에 개답사(0, 25, 35, 50%)를 혼입한 콘크리트(No.7~14)의 경우, 성능개선형 PC 혼화제와 일반 준PC 혼화제를 사용한 콘크리트 모두 슬럼프 기준을 만족시키기 위해서는 추가적인 가수가 필요한 것으로 나타났다(Figure 4 참조). 반면 일반 준PC 혼화제를 사용한 콘크리트(No.11~14)의 경우, 본 실험에서 사용된 가수량 보다 더 많은 양의



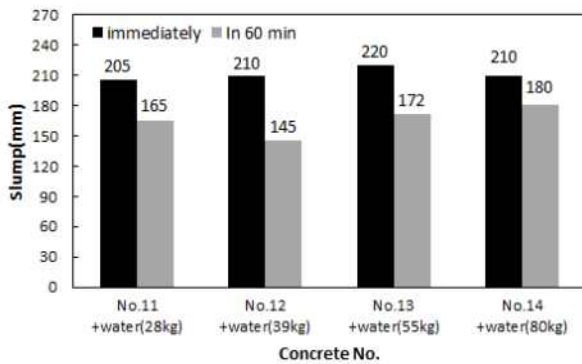
(a) Performance improving-type PC admixture(No.1~3)



(b) Normal PC admixture(No.4~6)



(c) Performance improving-type PC admixture(No.7~10)



(d) Normal PC admixture(No.11~14)

Figure 3. Slump loss to elapsed time

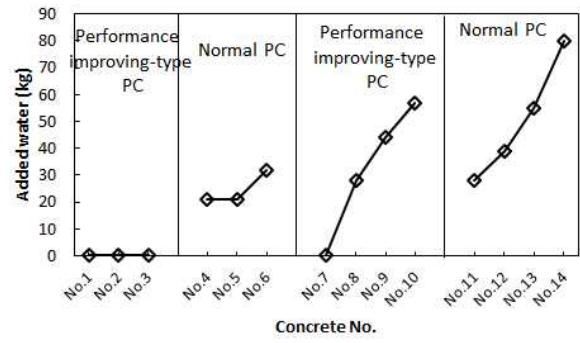


Figure 4. Added water condition

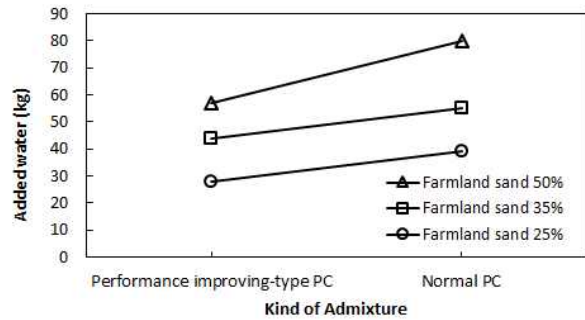


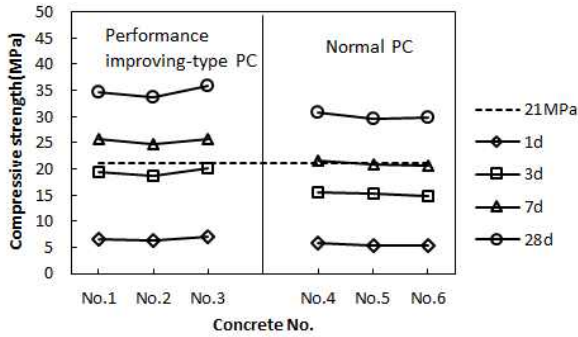
Figure 5. Comparison of added water

가수가 필요한 것으로 나타났다.

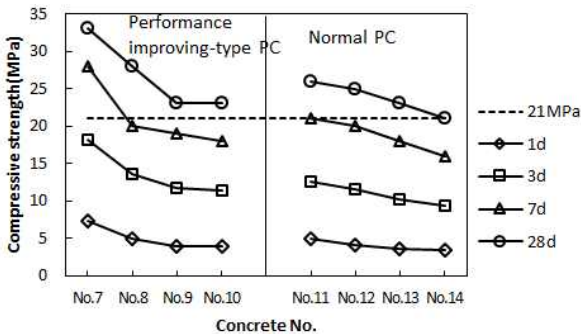
개답사가 함유된 콘크리트의 경우, 성능개선형 PC 혼화제를 사용한 콘크리트(No.7~10)도 슬럼프 기준을 만족시키기 위해서는 추가적인 가수가 필요한 것으로 나타났지만, 일반 준PC 혼화제를 사용한 콘크리트보다 30% 이상 가수량을 줄일 수 있는 것으로 나타났다(Figure 5 참조). 하지만 개답사가 함유된 콘크리트에서도 배합수의 증가 없이 충분히 슬럼프 기준을 만족시킬 수 있는 혼화제 개발을 위한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

3.2 압축강도

압축강도 시험결과를 Figure 6에 나타내었다. 압축강도 테스트는 KS F 2405[8]에 준하여 실시하였고, 표준양생을 실시한 후 재령 1일, 3일, 7일, 28일에 압축강도 시험을 실시하였다. 부순모래 100%에 미립분을 혼입한 콘크리트의 경우, 성능개선형 PC 혼화제, 일반 준PC 혼화제를 사용한 콘크리트 모두 설계기준강도를 상회하였다(Figure 6 (a)). 특히 일반 준PC 혼화제를 사용한 콘크리트의 경우, 가수가 최대 32kg 되었지만 설계기준강도를 30% 정도 상회하는 것으로 나타났다. 30kg 정도 가수가 되더라도 배합강도에



(a) Crushed sand 100% + Fine powder (5, 10, 15%)



(b) Crushed sand + Farmland sand (0, 25, 35, 50%)

Figure 6. Compressive strength

대한 안전을 범위 내에서 강도 기준을 만족시킬 수 있었지만 그 외에 가수로 인한 건조수축의 증가, 블리딩의 증가 등에 의한 콘크리트 품질저하가 발생할 수 있으므로 배합수는 최소화 하는 것이 중요하다. 개답사가 혼입된 콘크리트의 경우에도 강도 기준을 만족하는 것으로 나타났다(Figure 6 (b)). 하지만 50kg 이상 가수가 될 경우에 압축강도가 설계기준강도보다 8% 정도 상회하는 것으로 나타나 50kg 이상 가수가 되면 콘크리트 강도기준을 만족시키기 어려울 것으로 판단된다. 개답사를 사용해야 할 경우에는 개답사의 높은 흡수율로 인하여 배합수가 증가할 수 있으므로, 충분한 콘크리트 배합시험을 통하여 적정 혼입률을 정할 필요가 있을 것으로 판단된다.

3.3 블리딩

블리딩 시험결과를 Figure 7에 나타내었다. 블리딩 시험은 KS F 2414[9]에 준하여 실시하였으며, 가수의 증가와 함께 블리딩이 증가하는 것을 알 수 있다. 성능개선형 PC 혼화제를 사용한 콘크리트의 경우, 경시에 의한 슬럼프의

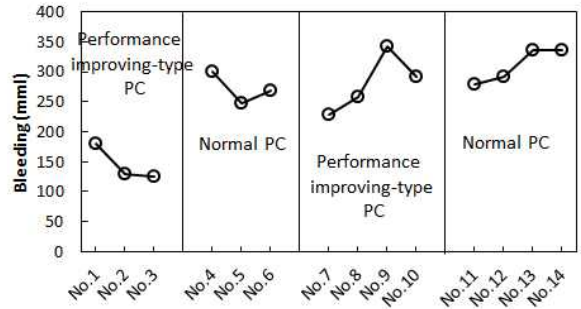


Figure 7. Bleeding test

저하를 최소화시킬 수 있으므로 추가적인 가수가 필요 없거나 가수를 최소화시킬 수 있음을 확인하였다. 따라서 일반 준PC 혼화제를 사용한 콘크리트에 비해 블리딩이 작게 발생하는 장점이 있으며, 그로 인해 주차장 무근 콘크리트의 표면 품질 확보에 유리할 것으로 판단된다.

3.4 건조수축

주차장 무근콘크리트의 건조수축균열 및 컬링 변형을 최소화시키기 위하여, 글리콜 타입의 액상형 수축저감제가 0.5% 첨가되었다. 건조수축 시험은 KS F 2424[10]에 준하여 실시하였고, 시험체 내부에 매립형 변형률 게이지(Figure 8)를 설치하여 콘크리트의 변형률을 자동 계측하였다. 변형률 게이지는 낫줄을 이용하여 시험체의 중심부에 설치하였다. 매립형 변형률 게이지는 최대 20000 $\mu\epsilon$ 까지 측정이 가능한 Tokyo Sokki Kenkyujo사의 PMFL-60-2LT 타입을 사용하였으며, 시험체 정중앙에 설치하였다. 시험체는 부순모래 100%에 미립분 5% 혼입 콘크리트로 제작하였으며, 일반 준PC 콘크리트의 경우는 가수가 되지 않은 콘크리트로 건조수축량을 측정하였다. 성능개선형 PC 혼화제와 일반 준PC 혼화제를 사용한 콘크리트를 각 3개씩 제작하여 평균값으로 정리하였다(Figure 9 참조). 건조수축 길이변화 측정결과를 Figure 10에 나타내었다. 재령 60일에서의 건조수축 변형률은 성능개선형 PC 혼화제를 사용한 콘크리트와 일반 준PC 혼화제를 사용한 콘크리트에서 각각 526 $\mu\epsilon$, 423 $\mu\epsilon$ 로 나타났다. 글리콜 타입의 수축저감제의 사용으로 콘크리트 미세공극의 표면장력이 작아져서 수축량이 일반 준PC 혼화제를 사용한 콘크리트보다 20% 정도 작게 나타난 것으로 판단된다.



Figure 8. Strain gauge



Figure 9. Drying shrinkage specimens

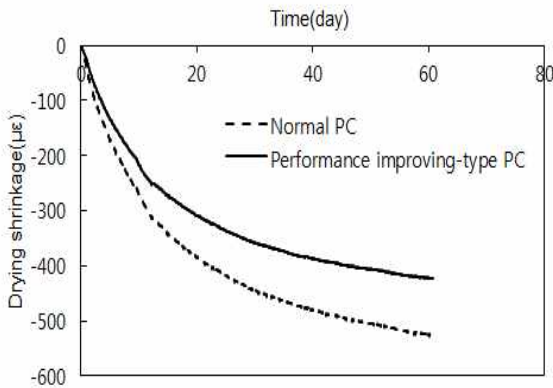


Figure 10. Drying shrinkage strain

4. 결 론

지하주차장 무근콘크리트의 품질하자를 최소화시키기 위하여 성능을 개선시킨 혼화제를 개발하였으며, 슬럼프 경시 변화, 압축강도, 블리딩, 건조수축 실험을 실시하여 일반 준 PC 혼화제를 사용한 콘크리트와 비교하였고, 그 결과를 다음과 같이 정리하였다.

- 1) 부순모래 100%에 미립분을 혼입한 콘크리트의 경우, 성능개선형 PC 혼화제를 사용한 콘크리트는 60분 경시 후에도 추가적인 가수 없이 슬럼프 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 반면, 일반 준PC 혼화제를 사용한 콘크리트의 경우에는 20~30kg를 가수했음에도 슬럼프 기준을 만족하지 못하는 것으로 나타났다.
- 2) 개답사가 함유된 콘크리트의 경우, 성능개선형 PC 혼

화제를 사용한 콘크리트도 슬럼프 기준을 만족시키기 위해서는 추가적인 가수가 필요한 것으로 나타났지만, 일반 준PC 혼화제를 사용한 콘크리트보다 30%이상 가수량을 줄일 수 있는 것으로 나타났다.

- 3) 모든 콘크리트가 설계기준강도를 상회하는 것으로 나타났지만, 50kg 이상 가수가 될 경우 콘크리트 강도기준을 만족시키기 어려울 것으로 판단된다.
- 4) 성능개선형 PC 혼화제를 사용한 콘크리트의 경우, 일반 준PC 혼화제를 사용한 콘크리트에 비해 블리딩이 작게 발생하는 것으로 나타났다.
- 5) 성능개선형 PC 혼화제를 사용한 콘크리트의 건조수축 변형률이 일반 준PC 혼화제를 사용한 콘크리트의 변형률보다 20% 정도 작게 나타났으며, 건조수축균열 및 켈링변형 제어에 유리할 것으로 판단된다.

요 약

최근 국내에서 천연골재의 고갈, 수급 불균형 등의 이유로 부순모래를 100% 사용하거나, 내륙 지역의 경우 개답사, 마사토 등과 같은 저품질의 골재를 사용하는 경우가 증가하고 있으며, 높은 흡수율과 점성의 증가로 인하여 작업성 확보를 위해 배합수 량이 증가되는 실정이다. 배합수의 증가로 강도 저하, 건조수축 증가, 블리딩 증가 등에 인한 다양한 품질하자를 유발하게 된다. 특히 지하주차장 무근콘크리트의 경우 표면부와 저면의 수축차의 증가로 인한 켈링이 발생하게 되고, 켈링이 발생한 후에 차량이 통과하게 되면 무근콘크리트에 균열이 발생하게 된다. 지하 최하층의 경우 배수판 사이를 흐르는 지하수의 유입으로 누수현상도 발생하게 되며, 차량 통행에 따른 소음도 발생할 수 있다. 또한 블리딩 증가로 인한 표면 강도 저하로 박리, 박락 등의 하자가 다발적으로 발생하여 매년 민원과 소송이 증가하고 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해서 저품질의 골재가 사용되었을 경우 지하주차장 무근콘크리트의 품질하자를 최소화시키기 위한 성능개선형 PC 혼화제를 개발하였으며, 슬럼프 경시변화, 압축강도, 블리딩, 건조수축 길이변화 실험을 실시하여 일반 준PC 혼화제를 사용한 콘크리트와 비교하였다. 그 결과 경시에 의한 슬럼프의 저하를 최소화시킬 수 있음을 확인할 수 있었으며, 추가적인 가수가 필요 없거나 최소화시킬 수 있으므로 일반 준PC 혼화제를 사용한

콘크리트보다 고품질을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.
특히 건조수축량이 20% 정도 감소하여 건조수축균열 및 컬링 제어에 효과적인 것으로 판단된다.

키워드 : 무근콘크리트, 성능개선형 PC 혼화제, 슬럼프, 압축강도, 블리딩, 건조수축

References

1. Jo MK, Song YL, Park YJ, Lee HK, Han MC, HAN CG. Basic and strength properties of aggregates from various locations in sud-korea. Proceedings of The Korea Institute of Building Construction, 2015 Nov 14; Yonsei University, Seoul, Korea, Seoul (Korea): The Korea Institute of Building Construction; 2015. p. 145-46.
2. Shin JH, Choi HU, Yoo BH, Son HJ, Lee DG, Han HS. Basic research on improved quality of concrete using low-quality aggregates. Proceedings of the Korea Concrete Institute, 2017 May 10-12; Phoenix Island, Jeju, Korea, Seoul (Korea): Korea Concrete Institute; 2017. p. 483-84.
3. Moon BY, Lee SJ, Park YJ, Jo MK, Han MC, Han CG. Mixture proportion and compressive of the concrete according to changes of type of fine aggregate and unit binder weight. Proceedings of The Korea Institute of Building Construction, 2015 Nov 14; Yonsei University, Seoul, Korea, Seoul (Korea): The Korea Institute of Building Construction; 2015. p. 19-20.
4. Cement Concrete and Aggregates Australia, Curling of concrete slabs, 2006. p. 1-6.
5. Mailvaganam N, Springfield J, Repette W, Taylor D. Curling of concrete slabs on grade, Construction Technology Undate, National Research Council of Canada, 2000 Dec;44(6):1-6.
6. Lee DG, Han HS, Jung YW. Chemical Admixture Technology for Reducing Shrinkage of Concrete, Magazine of the Korea Concrete Institute, 2016 Nov;28(6):31-6.
7. Korean Standards Association, Method of test for slump of concrete, KS F 2402, 2007.
8. Korean Standards Association, Standard test method for compressive strength of concrete, KS F 2405, 2010.
9. Korean Standards Association, Standard test method for bleeding of concrete, KS F 2414, 2015.
10. Korean Standards Association, Testing method for length change of mortar and concrete, KS F 2424, 2015.