

고성능 피막양생제 개발 및 나노물질의 분산방안 평가

손호정, 유병현, 이동규*
동남기업(주) 중앙연구소

Development of High Performance Curing Agent and Effective Dispersion Method of Nanomaterials

Ho-Jung Son, Byung-Hyun Yoo, Dong-Gyu Lee*
Research & Development Center, Dongnam

요 약 최근 콘크리트 품질과 관련된 이슈로 시멘트의 원가절감 및 잔골재의 품질저하로 인해 콘크리트 표면의 들뜸, 레이턴스의 과다로 인한 표면 스케일링 및 소성수축의 증가로 인한 균열발생 등의 표면품질 하자 발생사례가 지속적으로 증가되고 있으며, 사회적인 이슈로 인해 미세먼지 및 배기가스로 인한 환경문제를 해결하고자 도로구조물의 광촉매 적용이 시도되고 있다. 이에 본 연구에서는 현장에서 편리하게 적용될 수 있는 양생 방법 중 작업 속도 및 효율성에서 우수한 양생제를 개발하고자 하였으며, 이와 더불어 표면층의 광촉매 코팅을 위한 나노사이즈의 이산화티탄(TiO₂)의 혼입 및 분산방안을 평가하여 광촉매 작용이 가능한 다기능성 피막양생제를 개발가능성을 검토하고자 하였다. 실험결과 실리콘계 및 실란계는 굳지않은 콘크리트 표면에서 신속하게 피막을 형성하는 성능을 보이기 때문에 양생제로서의 원료로 검토를 진행하여 기존의 양생제보다 피막성능이 우수한 고성능 피막 양생제를 개발하였다. 나노물질의 적용을 위한 분산방안을 검토하기 위해 분산된 시료를 4주간 옥외폭로하여 분리유무를 통한 안정성을 평가한 결과 초음파 분산기의 성능이 가장 우수한 것으로 확인되었다.

Abstract Recently, issues related to the quality of concrete have continuously resulted in surface quality problems, such as the exfoliation of concrete surfaces due to the cost reduction of cement and poor quality fine aggregate, scaling of surfaces caused by laitance, and plastic shrinkage cracks. Prompted by social issues, the application of a photo catalyst to road structures is being attempted to solve the environmental problems caused by fine dust and automobile exhaust. In this study, chemical admixtures were developed to improve the surface quality of concrete and to apply and distribute titanium dioxide in nanoscale sizes to provide basic data for the development of a photocatalyst-curing agent. As a result of the experiment, silicon and silane were reviewed as a raw material as a curing agent to develop a high performance curing agent with better film performance than conventional curing agents because they could form a film quickly on a fresh concrete surface. The distributed stability of the ultrasonic disperser showed the best performance through an outdoor test for four weeks to review the dispersion measures for the application of nanomaterials.

Keywords : Curing Agent, Moisturizing, Photocatalyst, Titan Dioxide, Dispersion of Nanomaterials

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원(과제번호 19SCIP-B149189-02)의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

*Corresponding Author : Dong-Gyu Lee(Dongnam)

email: dglee@dongnamad.co.kr

Received October 17, 2019

Accepted December 6, 2019

Revised November 12, 2019

Published December 31, 2019

1. 서론

최근 잔골재의 품질저하로 인해 콘크리트 표면의 들뜸, 표면 스케일링 및 균열발생 등의 하자 발생사태가 지속적으로 증가되고 있다. 타설 초기 콘크리트에 발생하는 품질저하 방지를 위해서는 일정한 기간 동안 충분한 양생이 필요하고, 유해한 작용의 영향을 받지 않도록 관리를 해야 한다[1]. 이에 따라 대부분의 건설 현장에서는 콘크리트 타설 후 비닐 또는 양생포 등을 활용하여 양생을 실시하고 있으나 이러한 방법은 작업 속도 및 효율성이 다소 떨어지는 단점이 있어 이에 대한 해결책이 시급한 실정이다[2-3].

또한 현재 진행되고 있는 도로 구조물의 광촉매 적용을 통한 미세먼지 저감에 대한 연구가 시작되고 있는 상황인데, 광촉매 콘크리트의 재료인 나노사이즈의 이산화티탄(TiO_2)이 표면부에 도포되어야만 한다[4]. 이를 위해 도로 및 코팅제에 대한 연구가 진행 중이나 도로 구조물에 적용되는 콘크리트는 대부분 표면이 그대로 노출되는 상태로 시공되어 광촉매의 콘크리트 표면적용에 대한 연구가 필요한 실정이다.

이에 본 연구에서는 현장에서 적용될 수 있는 양생법 중 효율성에서 우수한 양생제를 개발하고자 하였으며 [5-7], 이와 더불어 표면층의 광촉매 코팅을 위한 나노사이즈의 이산화티탄(TiO_2)의 혼입 및 분산방안을 평가하여 광촉매 작용이 가능한 다기능성 피막양생제의 개발가능성을 검토하고자 하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

양생제 개발을 위한 실험 계획은 Table 1과 같다.

먼저 콘크리트 배합은 현장에서 일반적으로 적용되고 있는 24 MPa 배합을 적용하였으며, 양생제 성능검토를 위하여 4단계로 구분하여 실험을 진행하였다.

Series I은 양생제 개발품 선정을 위한 실험으로 콘크리트의 피막형성이 예상되는 샘플을 수급하여 실험 데이터의 신뢰성 확보를 목적으로 총 2회에 걸쳐 실험을 실시하였다. 이때 콘크리트의 양생효과를 확인하기 위하여 양생제를 콘크리트 표면에 도포를 실시하고 이후 72시간 누적 수분 손실률을 측정하였다. 그 중 가장 누적 수분 손실률이 낮은 샘플을 개발품으로 선정하였으며, 선정품의 성능 검증을 위한 교차 테스트를 실시하여 그 결과를 확인하고자 하였다.

Table 1. Experiment plan for development of high performance curing agent

Experimental factors		Variations
Mixing design	Unit binder (kg/m ³)	· 320
	Unit water (kg/m ³)	· 170
	W/B(%)	· 53.1
	S/a(%)	· 51.0
Process	Series I investigation of materials	· Plain · Sample 1(silicon type) · Sample 2(cellulose type) · Sample 3(siloxane type)
	Series I' investigation of materials	· Sample 3(siloxane type) · Sample 4(silicon type) · Sample 5(siloxane type)
	Series II ratio (W:CA)	· Plain · 0:1 · 1:1 · 2:1
	Series III dosage (m ² /L)	· Plain · 5 · 7 · 15
	Series IV comparison	· Existing product · New product
Measure-ment	Harden concrete	· Drying ratio at surface · Coating performance ¹⁾ · Drying time ¹⁾

1) Series IV

Series II는 개발품의 희석비율을 선정하기 위한 실험으로 물과 양생제의 희석비율에 따라 0:1(원액), 1:1 및 2:1 비율 3수준으로 하였고 누적 수분 손실률을 측정하였다.

Series III는 도포량 선정을 위한 실험으로 도포량은 KS표준에 의거하여 5 m²/L를 기준으로 하고, 추가로 7 m²/L 및 15 m²/L를 적용하여 누적 수분 손실률을 확인하였다.

Series IV는 건설현장에 적용되고 있는 타사 제품과 성능을 비교하기 위한 실험으로 타사제품 사용시 적용되는 희석비율과 사용량을 동일하게 적용하였다. 실험사항으로 Series I ~ III과 동일하게 타사제품 사용시 적용되는 누적 수분 손실률을 측정하였고, 추가로 피막성질 및 건조시간을 측정하였다.

개발된 고성능 피막양생제를 토대로 나노사이즈의 광촉매물질을 분산 및 안정시키는 실험 계획은 Table 2와 같으며, 각 실험에 사용한 분산기는 Fig. 1과 같다.

나노물질의 분산성능을 확인하기 위해 액상물질의 분산에 사용되는 일반 교반기, 입상의 물질을 분해 혼합하는 고속 호모게나이저 및 초음파 분산기를 비교하였다. 미립자 분산시 안정성을 위해 사용하는 분산제는 폴리칼 분산제 분산제를 사용하였으며, 나노물질 대비 10 %씩

사용하여 분산시키고 2주 및 4주를 정지하여 각 시점에서서의 안정성을 분리유무를 통해 검토하였으며, 이를 토대로 분산기를 선정하고 분산용 첨가제 및 안정화제를 연구할 계획이다.

Table 2. Experiment plan for dispersion machine

Experimental factors	Variations
Dispersion agent type (Dosage(%))	· Polycarbonic acid (10)
TiO ₂ content(%)	· 5
Dispersion tim(h)	· 1
Type of dispersion machine	· General mixer · High speed homogenizer · Ultrasonic homogenizer
Stability(outdoor)	· 2 weeks · 4 weeks

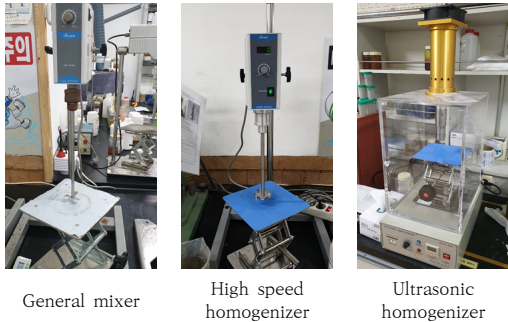


Fig. 1. Dispersion machine

2.2 실험방법

표면마름(누적 수분 손실율)은 KS F 2406(콘크리트 양생용 재료의 보수 능력 시험방법)에 의거하였고, 양생 환경은 온도 20±3 ℃, 상대습도 50±10 % 조건으로 하였다. 기본적인 양생제 도포량은 Series III을 제외한 모든 수준에 대해 KS F 2406에 의거하여 5 m²/L로 도포하였으며 양생제 도포 후 누적 수분 손실율은 24, 48 및 72시간에서 측정하였다.

Series IV에서 실시한 피막성질의 경우 모르타르를 채취한 후 Ø100 mm 샬레에 넣고 측면에서 피막의 분포 여부를 육안으로 관찰하였다.

건조시간의 경우 모르타르 위에 양생제를 도포한 모르타르 표면의 건조 유·무를 4시간까지 육안으로 확인하였고, 12시간 이후 티슈를 활용하여 양생제 도표면의 접착성 여부를 확인하였다.

나노물질 분산기 선정을 위해 분산기의 종류에 변화를 주어 동일조건 비교를 실시하였다.

2.3 사용재료

본 연구에 사용된 피막양생제의 주성분 및 물리적 성은 Table 3과 같다.

Table 3. Properties of materials

Material	Main component	Specific gravity	Color
Sample 1	Cellulose	0.85~0.87	White
Sample 2	Silicon	0.90~0.94	White
Sample 3	Siloxane	1.02~1.06	White
Sample 4	Glycerin	0.96~0.98	White
Sample 5	Siloxane	1.06~1.10	Light Yellow

3. 실험결과 및 고찰

3.1 고성능 피막양생제의 개발

Fig. 2와 3은 양생제 개발품 선정을 위한 실험 (Series I)의 실험 변수별 3일간의 수분 손실량을 누적하여 그래프로 나타낸 것이다.

전반적으로 양생제를 도포한 모든 시편의 경우 Plain 시편에 비하여 누적 수분 손실율이 낮은 것으로 나타나 양생제의 수분손실 방지효과를 확인할 수 있었다.

Plain의 누적 수분 손실율은 1.91 %로 실험 수준 중 가장 높게 나타났고, 양생제 샘플 종류에 따라 Sample 3이 1.32 %로 가장 낮은 수치를 나타내었으며, 다음으로 Sample 2 및 Sample 1의 순으로 나타났다. 수분을 유지하는 성능이 탁월한 보수제의 원료인 Sample 1의 경우 콘크리트 표면의 수분에 희석되어 성능을 발휘하지 못하는 것으로 판단되며, Sample 2와 3은 굳지않은 콘크리트 표면에서 신속하게 피막을 형성하는 성능을 보이기 때문에 판단되며, Sample 3이 피막형성에 가장 우수한 성능을 보이는 것으로 확인되었다.

추가적인 원료 검토 후에 샘플을 제조하여 교차검토를 진행한 2차 실험결과(Series I)는 1차 실험과 동일한 경향으로 양생제를 도포한 시편이 Plain 시편에 비하여 양호한 누적 수분 손실률을 나타내었고, 샘플군 중 Sample 3이 가장 양호한 효과를 보여 개발품으로 선정 후 후속 실험에 적용하는 것으로 하였다.

Fig. 4 및 5는 개발품 희석비율 선정을 위한 실험 (Series II)의 희석비율별 누적 수분 손실량 및 누적 수분 손실률을 그래프로 나타낸 것이다.

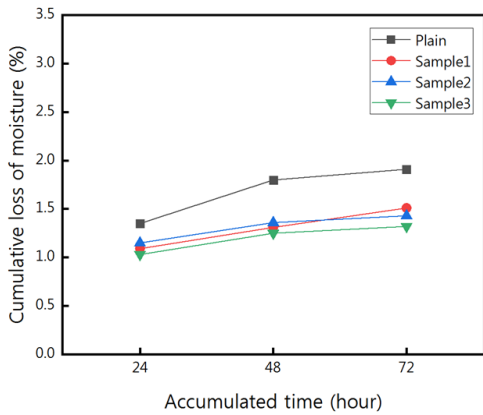


Fig. 2. Cumulative loss of moisture(Series I)

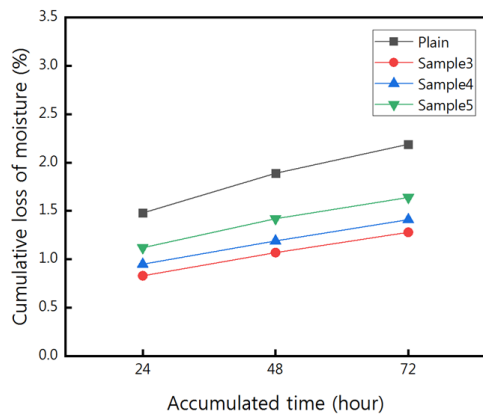


Fig. 3. Cumulative loss of moisture(Series I')

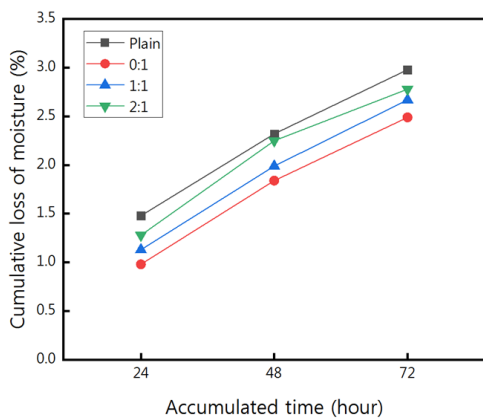


Fig. 4. Cumulative loss of moisture(Series II)

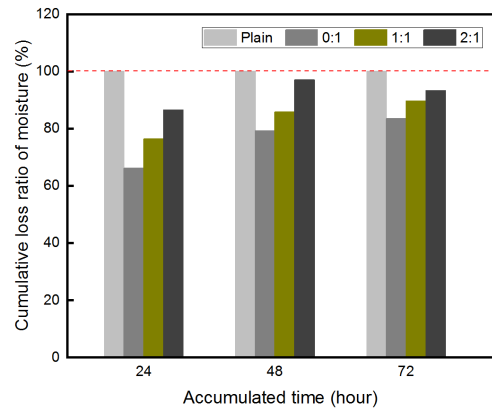


Fig. 5. Cumulative loss ratio of moisture(Series II)

전반적으로 양생제를 도포한 모든 시편이 Plain 시편에 비하여 누적 수분 손실률이 낮은 것으로 나타났다. 이는 Series I과 마찬가지로 표면의 피막형성에 기인하여 수분 손실을 방지하는데 효과를 보인 것으로 판단된다.

희석비율에 따라 누적 수분 손실률은 0:1(원액)이 2.49 %를, 1:1이 2.67 %를, 2:1이 2.78 %로 희석비율이 높아짐에 따라 누적 수분 손실률이 커지는 것으로 나타났다. 이는 희석 비율이 증가함에 따라 피막을 형성시켜주는 양생제 성분의 비율이 감소함으로써 누적 수분 손실률이 증가하는 것으로 판단된다. 누적 수분 손실 비율을 고려하여 개발품을 제품화할 경우 희석비율을 2:1(물:양생제)도 가능하나 양생제를 적용하는 현장의 환경적인 변수 등을 고려하여 Plain보다 누적 수분 손실 비율이 10 %이상인 1:1(물:양생제)이 적절할 것으로 판단하여 적정 희석비율로 선정하였다.

Fig. 6 및 7은 개발품의 도포량 선정을 위한 실험 (Series III)의 양생제 도포량별 누적 수분 손실량 및 누적 수분 손실 비율을 나타낸 것이다.

전반적으로 양생제를 도포한 모든 시편이 Plain 시편에 비하여 누적 수분 손실률이 낮은 것으로 나타났다. 이는 Series I 및 II와 마찬가지로 표면의 피막형성에 기인하여 수분 손실을 방지하는데 효과를 보인 것으로 판단된다.

양생제 도포량에 따라 5 m^2/L 는 2.10 %를, 7 m^2/L 는 2.53 %를, 15 m^2/L 는 2.75 %로 L당 도포되는 면적이 증가함에 따라 누적 수분 손실률이 커지는 것으로 나타났다. 이는 도포 면적이 증가함에 따라 피막을 형성시켜주는 양생제 성분의 절대량이 감소함으로써 누적 수분 손실률이 증가하는 것으로 판단된다.

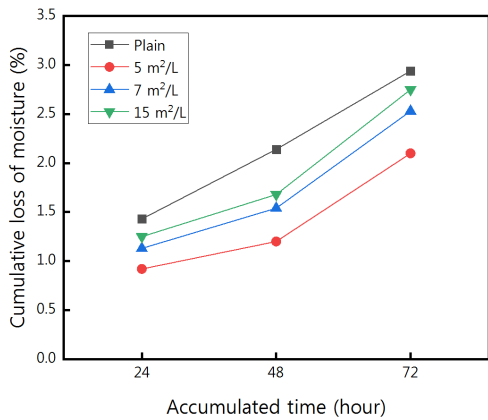


Fig. 6. Cumulative loss of moisture(Series III)

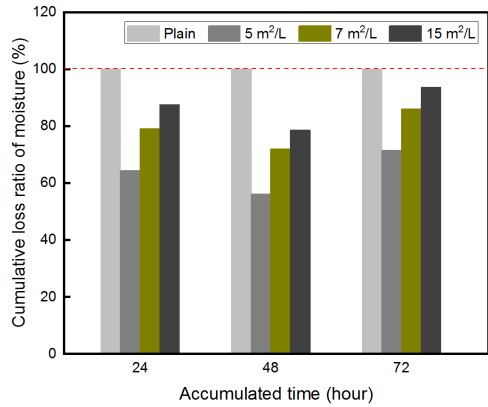


Fig. 7. Cumulative loss ratio of moisture(Series III)

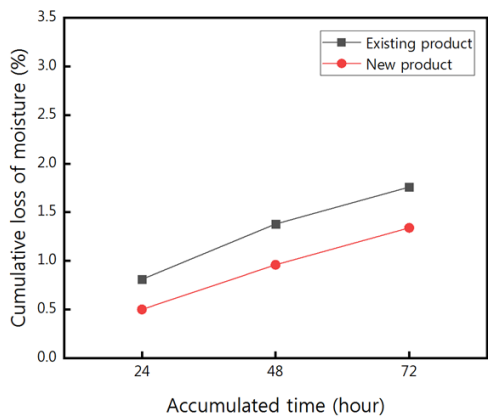


Fig. 8. Cumulative loss of moisture(Series IV)

누적 수분 손실률 그래프에서 확인되듯이 희석비율의 증가로 인한 성능 감소의 폭이 증가하는 경향이 나타나 고성능 피막양생제의 적정 도포량은 Plain보다 누적 수분 손실 비율이 10 % 이상인 7 m²/L 이하가 적절할 것으로 판단된다.

Fig. 8은 현재 적용되는 제품과의 성능 비교(Series IV)의 제품별 누적 수분 손실율을 나타낸 것이다.

개발품 시편의 경우 누적 수분 손실율이 1.34 %로 기존제품 시편의 누적 수분 손실율인 1.76 %에 비하여 24 % 정도 낮아지는 것으로 나타났다.

KS규정에 의거하여 피막성질 및 건조시간을 확인한 결과 피막성질의 경우 개발품은 기존제품과 동일하게 피막이 고르게 분포하는 것을 확인 할 수 있었고, 건조시간의 경우 도포 후 4시간 이내에 건조되지 않았으며 12시간 이후에 티슈를 이용하여 표면 접착성을 확인하였을 때 접착성이 없는 것을 확인할 수 있었다.

3.2 나노물질의 분산방안 검토

Fig. 9는 피막양생제의 나노물질의 적용을 위한 분산방안을 검토하기 위해 분산된 시료를 4주간간 옥외폭로하여 분리유무를 통한 안정성을 평가한 결과이다.

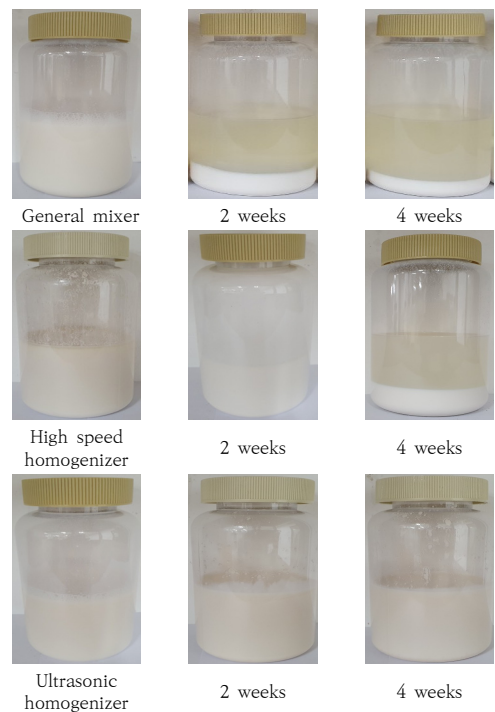


Fig. 9. Stability test result

실험결과 모든 수준에서 분산은 가능하나 시간이 지남에 따른 나노물질의 분리가 관찰되었다. 범용적으로 사용되는 교반기의 경우 2일 경과 후부터 분리가 관찰되기 시작하였으며, 4일 이후 양생제와 분리되어 가장 낮은 효율을 보였다. 대량생산이 용이한 고속 교반기의 경우 약 4주차에 접어들면서 분리가 관찰되기 시작하였는데 추후 안정화제 및 분산제의 종류에 따른 추가적인 검토가 요구되어진다. 본 연구에서 검토된 안정성 확보를 위한 방안으로는 초음파 분산기의 사용이 가장 안정적인 성능을 확보할 수 있는 것으로 확인되었다. 하지만 초음파 분산기는 대량생산시 발생하는 발열문제가 확인되었으며, 본 연구에서 검토한 Horn 타입의 초음파 분산기외의 Vessel 타입의 초음파 분산기도 검토되어야 할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 현장에서 편리하게 적용될 수 있는 양생 방법 중 작업 속도 및 효율성에서 우수한 양생제를 개발하고자 하였으며, 이와 더불어 표면층의 광촉매 코팅을 위한 나노사이즈의 이산화티탄(TiO₂)의 혼입 및 분산방안을 평가하여 광촉매 작용이 가능한 다기능성 피막양생제의 개발가능성을 검토하고자 하였는데, 그 실험결과는 다음과 같다.

- 1) 수분을 유지성능이 탁월한 보습제의 원료인 셀룰로오스계와 글리세린의 경우 콘크리트 표면의 수분에 희석되어 성능을 발휘하지 못하는 것으로 판단되며, 실리콘계 및 실란계는 굳지않은 콘크리트 표면에서 신속하게 피막을 형성하는 성능을 보이기 때문에 양생제로서의 원료로 검토를 진행하였다.
- 2) 개발품을 제품화할 경우 희석비율을 2:1(물:양생제)도 가능하나 양생제를 적용하는 현장의 환경적인 변수 등을 고려하여 Plain보다 누적 수분 손실 비율이 10 %이상인 1:1(물:양생제)이하가 적절할 것으로 판단하여 적정 희석비율로 선정하였다.
- 3) 실험결과 모든 수준에서 분산은 가능하나 일반 교반기 및 고속 호모게나이저는 시간이 지남에 따른 나노물질의 분리가 관찰되었다. 초음파 분산기는 4주 이후에도 분리가 관찰되지 않아 가장 우수한 분산 안정성능을 발휘하는 것으로 확인되었다. 대량생산이 용이한 고속 교반기의 경우 약 4주차에 접

어들면서 분리가 관찰되기 시작하였는데 추후 안정화제 및 분산제의 종류에 따른 추가적인 검토가 요구되어진다.

References

- [1] J. R. Kim, Y. C. Seo, S. S. Ahn, "Determination of Proper Application Rate of Curing Compound for Cement Concrete Pavement", International journal of highway engineering, Vol.7, No.2, pp.45-55, June, 2005.
- [2] H. W. Kwon, M. C. Jeong, S. J. Jo, B. H. Lee, "Management of the hot weather concrete in the high-rise construction", Journal of Korea institute of building construction, Vol.14, No.3, pp.18-23, Sep, 2014.
- [3] K. J. Park, S. W. Ryu, H. B. Kim, Y. M. Joo, Y. H. Jo, "A Study on the Optimization of Curing Technology for Improving Properties of Concrete Pavement", International journal of highway engineering, Vol.15, No.5, pp.11-20, Oct, 2013.
DOI: <https://doi.org/10.7855/ijhe.2013.15.5.011>
- [4] S. S. Lee, W. G. Lee, "Manufacturing Technology of Concrete Panel for Fine dust Reduction Using Photocatalysis", Magazine of the Korea Concrete Institute, Vol.31, No.4, pp.36-40, July, 2019.
- [5] H. J. Kang, Y. S. Kim, "Effect of Cellulose Based Water Retention Additives on Mechanical Properties of Cement Based Mortar", Polymer Korea, Vol.39, No.5, pp.820-826, May, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.7317/pk.2015.39.5.820>
- [6] S W. Ryu, O. S. Kwon, G. R. S. Song, M. K. Lee, Y. H. Jo, "A Study of Spraying Curing Compound for Concrete Pavement Considering Environmental Condition in Tunnel", International journal of highway engineering, Vol.16, No.3, pp.51-57, May, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.7855/ijhe.2014.16.3.051>
- [7] K. C. Lee, S. K. Noh, B. Y. Jo, Y. K. Kim, "Influence of Membrane Forming Compounds for Concrete on Water Retention Properties of Concrete Mortar", Proceedings of Korea institute of building construction, Vol.19, No.1, pp.117-120, May, 2009.

손 호 정(Ho-Jung Son)

[정회원]



- 2013년 8월 : 청주대학교 대학교 건축구조 (공학박사)
- 2012년 9월 ~ 2015년 7월 : 한국 콘크리트시험원 선임연구원
- 2015년 7월 ~ 현재 : 동남기업 (주) 중앙연구소 선임연구원

<관심분야>

건축 재료 및 시공, 콘크리트

유 병 현(Byung-Hyun Yoo)

[정회원]



- 2010년 2월 : 아주대학교 건설시스템공학과 (학사)
- 2012년 8월 : 아주대학교 토목공학과 (석사수료)
- 2012년 11월 ~ 현재 : 동남기업 (주) 선임연구원

<관심분야>

건설재료, 콘크리트

이 동 규(Dong-Gyu Lee)

[정회원]



- 2012년 2월 : 청주대학교 건축공학과 (공학박사)
- 2010년 2월 ~ 2014년 8월 : 동남기업 중앙연구소 선임연구원
- 2014년 8월 ~ 2016년 3월 : 충청대학교 공학기술연구원 선임연구원
- 2016년 4월 ~ 현재 : 동남기업 중앙연구소 책임연구원/연구팀장

<관심분야>

콘크리트, 건축재료 및 시공