바텀애시 및 메타카올린을 사용한 보수성콘크리트의 특성[†]

†裴主星 · 鄭會鉀* · 金南旭**

全北大學校 工科大学 土木工學科, 工業技術研究센터
*全北大學校 大學院 土木工學科, **全北大學校 工科大学 土木工學科, 交信著者

Characteristic of retentive concrete using bottom ash and metakaolin[†]

†Ju-Seong Bae, Houi-Gab Jeong* and Nam-Wook Kim**

Department of Civil Engineering, Chonbuk National University, RCIT

*Department of Civil Engineering, The Graduate school, Chonbuk National University

**Department of Civil Engineering, Chonbuk National University, Corresponding author

요 약

본 연구는 빌딩 및 포장도로 등의 증가에 따라 심화되고 있는 도심부의 열섬현상을 감소할 수 있는 보수성 콘크리트 포장을 도출하기 위한 것으로 이를 위하여 보수 효과가 있는 산업부산물인 바텀애시를 잔골재의 대체재로 활용하였다. 한편 바텀애시 대체로 인한 역학적 성능 저하를 개선하기 위하여 메타카올린을 첨가한 시험체를 제작하여 다양한 시험을 통하여 내구적이며 환경적인 보수성 콘크리트의 특성을 고찰하였다.

주제어 : 보수성콘크리트, 열섬, 바텀애시, 메타카올린, 포장

Abstract

This study was to draw a retentive concrete pavement that can reduce urban heat island which has become intensified according to the increase of buildings and paved roads. It used bottom ash, an industrial by-product that has retentive effect, as a replacement of fine aggregate. Meanwhile, in order to improve the decline of dynamic performance caused by bottom ash replacement, we manufactured specimen that metakaolin was added and we studied the characteristics of durable, ecological and retentive concrete through various experiments

Key words : Retentive concrete, heat island, bottom ash, metakaolin, pavement

1. 서 론

전 국토의 산업화 및 도시화에 따라 증가되고 있는 도심지 도로의 콘크리트 및 아스팔트콘크리트에 의한 포장율의 증가는 생활의 편리함에 기여하고 있으나 이러한 포장체는 수분을 포함하고 있는 흙 종류보다 더 많은 태양열을 흡수, 저장 및 에너지를 반사하여 주위 온도를 높게 나타내는데, 이처럼 주변의 온도보다 높아

지는 특별한 기온현상을 열섬(Heat island) 현상이라 한다.¹⁾ 특히 도시에서 이러한 현상이 두드러지고 있는데 이는 빌딩 및 포장도로 등의 증대에 따라 지표면 열수지의 변화가 빠르며 연료소비에 따른 인공열 및 오염물질의 방출량이 증가하고 있으며 도시를 덮은 대기오염물질에 의한 온실효과가 크기 때문이다. 따라서, 다양한 요소들이 도심의 열섬현상에 영향을 미치고 있지만 그 중에서 포장은 시공 면적의 확대 등으로 더욱 심화되고 있으며 영향력 또한 확대되고 있다. 그러나 도로포장은 주행하는 차량의 하중을 직접 받는 중요한 구조체로 그 특성상 강도, 내구성 및 주행성 등의 기능이 중요하기

[†] 2011년 5월 9일 접수, 2011년 6월 14일 1차수정

2011년 8월 23일 2차수정, 2011년 10월 13일 수리

*E-mail: asahi00@jbnu.ac.kr

때문에 일반적으로 물이 노면 하부로 침투하는 것을 제어하여 노반이나 노상을 보호해야만 하는데 이와 같은 이유로 열섬현상이 더욱 심화될 수 있다. 따라서 열섬현상을 완화시키기 위해서는 결국 포장부에 충분한 수분을 공급하여 주변 온도 상승 시 수분의 증발을 통한 노면의 온도를 저감시키는 방법이 효과적이며 최근에 이러한 목적의 보수성 포장에 주목을 받고 있다.²⁾ 보수성 포장은 사용재료에 따라 몇 가지 종류가 있으나, 기본적인 구조는 아스팔트나 혼합물에 수분을 흡수 할 수 있는 보수재를 혼입하여 포장체 내에 저류된 수분의 증발로 인한 기화열이 포장체 내의 축열량을 감소시켜 노면 온도의 상승을 억제하는 공법이다. 이미 구미 및 일본에서는 도시 지역의 열환경 개선에 대한 필요성을 인식하고 이에 대한 대책으로 보수성 포장에 대한 연구 및 시공이 활발히 진행되어 왔으며 특히 일본의 경우, 도심부의 열섬현상 저감을 위한 포장 시공에 많은 관심을 갖고 있으며 이에 따른 실시공이 증가되고 있는 경향을 나타내고 있는데, 일본토목연구소는 도시환경을 배려한 포장구조에 관한 연구를 실시하여 포장의 대책기술로 주목받고 있는 노면 온도 저감효과가 높은 포장에 대해 기능평가 및 내구성 평가를 수행하고 있으며, 일본 국토교통성은 노면 온도를 저하시킬 가능성이 있는 포장에 관한 조사 연구에 착수중에 있으며, 다양한 노면 온도 저하를 위한 신기술 개발을 추진하고 있다.^{3), 4)}

한편, 국내의 경우, 현재까지 콘크리트를 활용한 보수성 포장과 관련된 연구는 전무한 실적이며 기존에 수행된 대부분이 보수성 아스팔트콘크리트 포장에 국한된 실정이다. 현재 도시의 열환경을 악화시키는 원인의 하나로 아스팔트를 활용한 불투수성 포장을 들 수 있는데 이의 대안으로 투수성 포장재료를 활용하여 도시의 열환경 개선에 기여할 수 있는 연구 등이 필요하며 일부 수행중이다.⁵⁻⁷⁾

본 연구에서는 도시의 열섬현상 방지에 기여하기 위한 보수성 포장 재료를 개발하는 것을 목적으로 하며 이를 위해 친환경적인 재료의 사용을 통해 재료 개발의 차별화를 두고자 하였다. 즉, 흡수율이 높아 보수성 재

료로서의 기능을 충족하며 환경적인 면에서도 활용가치가 높은 산업부산물인 Bottom ash(이하 바텀애시)를 잔골재의 대체재로 사용하였으며, 바텀애시의 물리적인 특성상 발생하는 각종 역학적 성능저하를 개선하기 위하여 고령토가 원료로서 천연 혼화재인 메타카올린을 혼입하였는데 사용량은 기존 연구에서 적정으로 알려진 시멘트 중량의 10%로 하였다.⁸⁾ 따라서 산업부산물 및 천연재료의 활용을 통해 제작된 콘크리트 시험체에 대한 다양한 시험을 통하여 내구적이며 환경적인 보수성 콘크리트의 특성을 고찰하였다.

2. 시험체 제작 및 시험

2.1. 시험개요

본 연구는 역학적으로 성능이 향상된 보수성 콘크리트 제조에 관한 것으로 보수성능을 위하여 바텀애시를 사용하였으며 역학적 성능의 개선을 위하여 메타카올린을 사용하였다. 바텀애시는 잔골재의 대체재로 사용하였는데 그 대체율은 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 75% 및 100% 이며, 메타카올린은 기존 연구에서 적정으로 알려진 시멘트 사용량의 10%로 하였다. 따라서 이러한 사용량을 고려하여 기본 콘크리트 시험체를 포함한 총 9타입의 시험체를 제작한 후 콘크리트 포장기준을 만족하면서 표면 온도저감 효과가 있는 고성능의 보수성 콘크리트를 도출하고자 하였다.

2.2. 사용재료 및 배합설계

2.2.1 시멘트 및 메타카올린

본 연구에서는 비중 3.15의 국내 H사의 1종 보통포틀랜드시멘트(OPC) 및 시멘트의 대체재로 메타카올린을 사용하였으며 이들의 특성은 Table 1과 같다.

2.2.2 골재

본 연구에서 사용한 굵은골재는 최대치수 25 mm, 밀도가 2.63인 쇄석을 사용하였으며, 잔골재는 밀도가 2.53 인 하천사를 사용하였다. 시험체 제작 시에 표면건조 포화상

Table 1. Composition and properties of used cement and metakaolin

Kind	Composition(%)							Specific gravity	Blaine (cm ² /g)
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ +K ₂ O		
Cement	21.4	5.1	2.99	0.32	64.0	1.6	0.79	3.15	3,360
Metakaolin	52.1	45.3	0.60	1.64	0.05	-	0.37	2.50	150,000

Table 2. Properties of used aggregates

Kind	Density (g/cm ³)	Absorption (%)	G _{max} (mm)	F.M
Fine aggregate	2.53	1.31	-	2.80
Coarse aggregate	2.64	0.63	25	6.66

태를 유지하였으며 사용골재의 특성은 Table 2와 같다.

2.2.3 배합 설계

본 연구에서 제작된 콘크리트의 설계기준강도는 40 MPa로 설정하였으며, 목표 슬럼프는 80±20 mm, 공기량은 5±1%로 일정하게 유지하였다. 또한 목표 슬럼프와 공기량을 확보하기 위하여 소정의 폴리카르보산계 고성능 AE감수제의 사용량을 변화시켜가며 조절하였다. 본 연구에서 사용한 배합표는 Table 3과 같다.

2.3. 주요 시험

2.3.1 공극률 측정

본 연구에서는 바텀애시 대체에 따른 공극률을 분석하기 위하여 이와 관련된 대표적인 시험법인 ASTM D 4284에 의거 수은압입법(Mercury Intrusion Porosimetry, 이하 MIP)을 실시하였는데 수은은 60 kpsi까지 압입하였고 그에 따른 공극의 부피를 측정하여 공극률을 계산하였다.

시험체는 수중양생한 채령 28일 콘크리트 시험체를

파쇄하여 굵은 골재를 제외한 모르타르 부분 약 1.5 g 정도를 채취하여 105°C 온도에서 24시간 항량 건조시킨후 사용하였다.

2.3.2 내약품성 시험

본 연구에서는 제작된 시험체의 적용성을 고려하여 포장상태 극한조건중의 하나로 여겨지는 겨울철 도로에 뿌려지는 화학약품에 대한 저항성을 평가하고자 하였다. 내약품성 실험은 ASTM C267에 준하여 $\phi 10 \times 20$ cm의 원주형 공시체를 제작하여 28일 동안 수중 양생을 실시한 후 2% 염산, 5% 황산 및 4% 염화칼슘의 수용액을 시험 용액으로 4주 동안 수용액에 침전하여 중량 감소율을 구하였다.

2.3.3 보수성 및 온도특성 시험

본 연구에서 도출하고자 하는 보수성 콘크리트의 대표적인 특성은 바텀애시의 대체율에 따른 보수성과 온도 저감특성이며 이러한 인자들을 정확히 측정하는 것이 매우 중요하다. 그러나 국내의 경우 콘크리트의 보

Table 3. Mix design of concrete specimens

Specimen	W/B(%)	S/a(%)	Unit weight(kg/m ³)						
			Binder		W	S	BA	G	SP
			C	MK					
OPCC	35	40	482	0	169	636	0	993	4.41
MK10BA0C			434	48		631	0	988	4.48
MK10BA10C			434	48		568	50	988	4.50
MK10BA20C			434	48		505	99	988	4.54
MK10BA30C			434	48		442	148	988	4.57
MK10BA40C			434	48		379	198	988	4.61
MK10BA50C			434	48		316	247	988	4.63
MK10BA75C			434	48		158	371	988	4.70
MK10BA100C			434	48		0	494	988	4.74

·BA : bottom ash

·MK : metakaolin

·SP : Superplasticizer

·MK10BA10C : 메타카올린 10% 대체 및 바텀애시 10% 대체 콘크리트

수성에 관한 전문화된 표준시험법이 아직 없는 관계로 본 연구에서는 일본 인터로킹블록 협회 기준인 JIPEA-TM-7 및 일본표준시험규격인 JIS A 5371에 의거 시험을 수행하여 보수성 및 온도저감효과를 평가하였다.^{9,10)}

3. 시험결과 및 고찰

3.1. 바텀애시의 물성 평가

3.1.1 밀도 및 흡수율

본 연구에서 잔골재의 대체재로 사용된 바텀애시의 밀도 및 흡수율의 측정은 KS F 2504에 의거 실시한 후 그 결과는 Table 4에 나타내었다. 시험 결과로부터, 바텀애시의 밀도는 천연잔골재인 하천사보다 낮은 값을 나타내고 있어 골재로 활용 시 콘크리트의 단위용적중량을 감소시켜 콘크리트 경량화에 유효할 것으로 판단된다. 또한 흡수율은 하천사보다 매우 높게 나타났는데 일반적인 콘크리트의 물성 기준으로는 흡수율이 높은 것이 역학적으로 불리하지만 본 연구의 경우는 보수성 포장재료의 도출이므로 고 흡수율이 더욱 효과적인 것으로 판단된다.

한편, 본 연구에서 사용한 바텀애시의 경우, 충남 서천산으로 강열감량은 7.5% 정도였으며 미연소 탄소량은 5~12% 정도로 나타났다. 강열감량의 경우, KS F 4570(프리캐스트 콘크리트용 바텀애시 골재)의 기준에 의한다면 잔골재 B급 기준인 10% 이하는 만족한 것으로 나타나 이에 대한 품질은 만족하고 있는 것으로 나타났다.

3.1.2 SEM 촬영

SEM을 이용해 촬영된 하천사 및 바텀애시의 확대 표면은 Fig. 1에 나타내었다. 하천사와 비교해볼 때, 바

Fig. 1. SEM photo (2000).

텀애시의 경우는 조직이 치밀하지 못하며 특히 공극이 다수 존재하는 것으로 나타나 다공성을 확인할 수 있었는데 이로부터 바텀애시의 밀도가 하천사 보다 낮게 나타남을 알 수 있었다. 또한 이와 같은 다공성은 흡수율 증가의 원인이 되기도 하는데 이로부터 바텀애시가 보수재료로서 효과적인 것으로 판단된다.

3.2. 응결시험

본 연구에서는 바텀애시 및 메타카올린의 대체에 따른 콘크리트의 경화특성을 파악하기 위하여 KS L 5108에 의거 응결시험을 실시하였는데 그 결과는 Fig. 2와 같으며 초결시간은 약 8~12시간, 종결시간은 약 11~14시간 정도로 나타났다. 메타카올린이 대체되지 않은 시험체 보다는 메타카올린이 대체된 시험체의 초결시간과 종결시간이 더 빨랐는데 이는 메타카올린에 포함된 Al_2O_3 의 양이 OPC보다 높기 때문인 것으로 이로부터 C-A-H계의 생성이 빠르게 진행되었기 때문으로 판단된다. 한편 바텀애시의 대체율에 따른 응결시간은 일정한 경향이 나타나지 않아 바텀애시가 콘크리트의 응결시간의 변화에 미치는 영향은 거의 없을 것으로 판단된다.

3.3. 압축강도 시험 결과

본 연구에서는 KS F 2405에 의거 보수성 콘크리트 시험체에 대한 재령 7일 및 28일에 실시한 압축강도시험을 실시하여 그 측정결과를 Fig. 3에 나타내었다. 본 연구의 설계기준강도는 40 MPa이며 시험결과 모든 시험체에서 41~63 MPa 정도로 나타나 설계기준강도를 상회하였다.

바텀애시의 대체율이 증가할수록 압축강도는 감소하는 경향을 나타내었는데, 바텀애시 대체율 0%인 MK10BA0C 시험체와 바텀애시의 대체율 100%인 MK10BA100C 시험체를 28일 재령에서 비교해보면 약 35%의 감소율을 나타내었다. 이는 바텀애시의 재료적 특성인 하천사에 비해 낮은 밀도 및 높은 공극률에 기인한 것으로, 바텀애시 대체율의 증가는 압축강도의 감소를 유발하였다. 따라서 본 연구에서는 바텀애시 대체에 따른 역학적 단점을 보완하기 위하여 메타카올린을 혼입하였는데, 메타카올린을 혼입하지 않은 기준 시험

Table 4. Test results of density and absorption of bottom ash

Kind		Density (g/cm ³)	Absorption (%)	F.M
Fine aggregates	Bottom ash	1.65	18.9	2.21
	River sand	2.53	1.31	2.80

Fig. 2. Setting time of specimens.

Fig. 3. Compressive strength of specimens.

체인 OPCC와 OPCC에 메타카올린 10%를 혼입한 MK10BA0C 시험체의 압축강도를 28일 재령에서 비교해 보면 약 27%의 강도증가율을 나타내고 있다. 또한 OPCC 시험체 및 바텀애시를 100% 대체한 MK10BA100C 시험체를 비교하면 강도 감소율이 약 9% 정도 밖에 되지 않아 메타카올린의 대체가 압축강도 증진에 효과적임을 알 수 있었다. 이는 특히 OPC에 비해 약 40배 이상인 메타카올린의 높은 분말도에서 기인한 것으로 판단되는데 이와 같은 비표면적의 확대는 활발한 반응성을 촉진 및 포졸란 반응의 활성화에 기인한 것으로 판단된다.

3.4. 휨강도 시험

본 연구에서는 KS F 2407에 의거 실시한 재령 7일 및 28일 휨강도 시험 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 시방

서 설계기준에 따른 시멘트 콘크리트 포장의 재령 28일에서의 휨강도의 기준은 4.5 MPa이나 본 연구에서 제작한 모든 시험체의 휨강도는 6.1~10 MPa 정도의 범위로 나타나 시방서의 설계기준 휨강도를 모두 만족하고 있다. 따라서 본 연구에서 제작한 보수성 콘크리트의 경우 실제 콘크리트 포장에 적용해도 역학적으로 문제가 없을 것으로 판단된다. 휨강도 또한 압축강도의 경향과 마찬가지로 바텀애시의 대체율이 증가할수록 저하되는 경향을 나타내고 있다.

3.5. 공극률 측정

본 연구에서는 바텀애시의 보수성 재료로서의 적합성을 판단하기 위하여 공극률을 측정하였으며 이에 대한 평가로 MIP시험을 실시하였는데 ASTM D 4284의 규정에 의거 수은의 접촉각은 130.0°로 한 후 실시하여

얻어진 각 시험체의 공극률을 Fig. 5에 나타내었다.

바텀애시의 대체율이 높아질수록 공극률은 증가되는 경향을 나타내어 바텀애시 대체율 0%인 MK10BA0C 시험체와 바텀애시 대체율 100%인 MK10BA100C 시험체를 비교하면 약 210% 정도의 공극률의 증가를 나타내고 있는데 이는 바텀애시의 물리적 특성에 기인한 것으로 공극률 측정 시험을 통하여 이를 확인할 수 있었다. 또한 기준 시험체인 OPCC와 비교해 볼 때 최대

약 71% 정도의 공극 증진을 나타내고 있어 기존 콘크리트를 이용할 경우 보다 바텀애시를 활용할 경우 보수 재료로서의 기능 효과가 높을 것으로 판단된다.

3.6. 내약품성 시험

본 연구에서 실시한 내약품성 시험결과 얻어진 각 시험체의 중량감소율을 Fig. 6에 나타내었다. 결과로부터 OPCC에 비하여 메타카올린을 혼입한 시험체가 중량감

Fig. 4. Flexural strength of specimens.

Fig. 5. Porosity of specimens.

Fig. 6. Weight loss ratio of specimens.

소율이 낮았으며 이는 메타카올린의 혼입에 따른 포졸란 반응의 활성화로 콘크리트 조직의 치밀화를 유도하여 중량감소율을 낮춘 것으로 판단된다. 한편, 바텀애시 대체율의 증가에 따라 중량감소율이 높아졌으며 특히 대체율 50%이상에서는 중량 감소율이 급격히 높아지는 것을 알 수 있었다. 이러한 경향으로부터 포장 구조물에 적용 시 내구적인 측면에서는 바텀애시의 대체율을 50% 이하로 하는 것이 적정할 것으로 판단된다.

3.7. 보수성 및 온도저감 시험

보수성 및 온도저감시험은 일본 인터로킹블록 협회의 규격인 JIPEA-FM-7 및 일본공업규격인 JIS A 5371에 의거 시험을 실시하였는데, 이에 따른 보수성 시험은 양생 후 24시간 노건조하여 절대건조상태를 만든 이후 수조에 24시간 함침시켜 포화상태를 만든 다음, $60\pm 5^\circ\text{C}$ 의 건조로에 거치하고 시간에 따른 시험체 중량을 측정하며 보수량을 0.15 g/cm^3 이상으로 규정하고 있다. 본 연구의 경우, 보수성의 평가는 수분의 증발량과 잔류량

으로 나누어서 평가하여 이를 Fig. 7 및 Fig. 8에 나타내었는데 발생하는 기화작용의 확대효과를 볼 수 있으며, 또한 잔류량이 많을수록 그 만큼 보수효과를 얻을 수 있어 온도저감효과가 클 것으로 판단 하였다.

시험결과, 바텀애시의 대체율이 높을수록 수분의 증발량 및 잔류량이 높게 나타나 온도저감의 기대효과 및 보수효과를 확인할 수 있었다. 이는 SEM촬영 결과에서 나타난 바와 같이 바텀애시에 다량 산재해 있는 공극의 존재로 인하여 기존 잔골재의 약 20배 이상되는 초기 흡수율이 높기 때문에 나타난 것으로 판단되며 메카니즘을 도출하기 위해서는 심도 깊은 연구가 더 필요할 것으로 판단된다. 한편, 바텀애시 100% 대체인 MK10BA100C 시험체와 OPCC 시험체를 비교하면 증발량은 약 2배, 잔류량은 약 1.5배 높은 것으로 나타났다.

한편, 각 시험체의 시간에 따른 온도 측정 결과, 제작된 시험체의 온도저감은 바텀애시의 대체율의 증가에 따라 온도저감이 발생하는 경향을 나타내어 OPCC 시험체에 비해 약 $1\sim 7^\circ\text{C}$ 정도의 온도 저감을 나타내었다.

Fig. 7. Residual amount of water for specimens.

Fig. 8. Evaporation loss of water for specimens.

Fig. 9. Properties of temperature reduction.

또한, 본 연구의 경우 바텀애시의 대체율을 10% 증가 시킴에 따라 발생하는 따른 온도 저감효과는 약 0.8~1.5 정도로 측정되고 있는데 이는 시험체의 수분 증발에 따른 기화 작용 및 시험체 내부에 보수되어 있는 수분의 존재가 온도 저감에 효과적으로 작용하는 것으로 판단되며 본 연구에서 제작한 보수성 콘크리트를 포장에 적용할 경우 도심부의 열섬현상의 저하에 효과적 일 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구는 도심부 열섬현상 억제 및 산업부산물의 재활용에 기여하기 위한 보수성 콘크리트 포장 배합을 도출한 것으로, 보수성 재료로는 산업부산물인 바텀애시를 잔골재의 대체재로 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 75% 및 100%로 활용하였으며, 바텀애시 대체로 인한 역학적 성능 저하를 개선하기 위하여 메타카올린을 시멘트 중량의 10% 대체하여 제작한 시험체에 대한 각 종 시험결과를 비교 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 압축강도 및 휨강도 시험 결과 모든 시험체는 설계 강도 기준을 만족하였으나, 바텀애시의 대체율이 높아질수록 강도가 저하되는 경향을 나타내었다.
2. 공극률 측정 결과, 바텀애시의 대체율이 높아질수록 공극률이 높아지는 것을 알 수 있었다. 한편, 메타카올린을 첨가한 경우 바텀애시 대체율이 20% 이하에서는 기준 시험체인 OPCC보다 공극률이 낮은 것으로 나타나 보수성과 온도저감효과를 얻기 위해서는 메타카올린을 첨가할 경우 바텀애시 대체율을 20% 이상으로 해야 할 것으로 판

단된다.

3. 내약품성 시험결과, OPCC에 비하여 메타카올린을 혼입한 시험체의 중량 감소율이 낮고 바텀애시의 대체율이 증가할수록 중량 감소율은 높아지는 경향을 나타내었으며, 50% 이상인 경우는 중량 감소율이 급격히 증가하였다. 따라서 내구적인 측면에서는 바텀애시의 대체율은 50% 이하로 하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
4. 바텀애시의 대체율이 높아질수록 보수성 및 온도저감효과가 뚜렷이 나타났으며 바텀애시를 50% 대체한 경우는 OPCC 보다 약 4°C, 100% 대체한 경우는 약 7°C 정도의 온도감소를 나타내어 효과적 이었는데, 이는 수분의 증발에 의한 기화 효과 및 시험체 내부에 보수되어 있는 수분의 존재 때문으로 판단된다.
5. 온도저감 효과 측면에서는 바텀애시의 대체율이 높을수록 효과적이나 역학적인 특성 결과 바텀애시 50% 이상의 대체는 시험체의 급격한 열화가 나타났다. 따라서 이러한 내용을 고려한 보수성 콘크리트 제작을 위한 바텀애시의 적정 대체율은 50% 정도로 판단된다.

참고문헌

1. 유남형, 2004: 조경용 투보수성 시멘트 콘크리트 포장의 열특성 연구, 서울대학교 박사학위논문.
2. 이송옥, 2009: 도로포장의 개선에 따른 국지적 도시열섬 저감에 관한 연구, 계명대학교 박사학위논문.
3. 일본 토목연구소, 2006: 도시 환경을 배려한 포장구조에 관한 연구.

4. 일본 국토교통성, 2004: 노면 온도를 저하시킬 가능성이 있는 포장에 관한 조사 연구.
5. 한국건설기술연구원, 2007: 포장면의 환경성 향상 소재 개발에 관한 3차년도 보고서.
6. 장석수, 2005: 보수성 아스팔트 콘크리트의 특성에 관한 연구, 계명대학교 석사학위논문
7. 한국환경자원공사, 2009: 석탄재 발생 및 재활용현황 실적
8. 김남욱, 여동구, 송준호, 배주성, 2007: 메타카올린을 사용한 고강도 콘크리트의 모세관 공극 특성과 전위차염소이온 확산계수에 관한 연구, 한국콘크리트학회 논문집, 제19(4), pp.499-506.
9. T.Horiguchi et al, 2006: 再生骨材を用いた多層構造ボラスコンクリートの曲げ度および保水性, Journal of Japan cement association, 60(1), pp.206-207.
10. JIPEA, 2009 : インタロッキングブロック品規格, pp.45-48.

裴 主 星

- 1983 전북대학교 대학원 토목공학과 공학박사
 - 1997~1999 전북대학교 공업기술연구센터장
 - 2003~2004 대한토목학회 부회장
 - 현재 전북대학교 공과대학 토목공학과 교수
-

鄭 會 鉀

- 2009 전북대학교 공과대학 토목공학과 공학사
 - 2009~2011 전북대학교 대학원 토목공학과 공학석사
 - 현재 전북대학교 대학원 토목공학과 박사과정 재학
-

金 南 旭

- 2000 일본 북해도대학 대학원 토목공학과 공학박사
 - 2000~2002 전북대학교 박사후 연구원 (Post Doc.)
 - 2007~2009 청주대학교 토목환경공학과 전임강사
 - 2009~ 현재 전북대학교 토목공학과 연구 조교수
-