

최적배합(OAG)을 고려한 Whitetopping 재료 개발

A Development of Whitetopping Material with Optimized Aggregate Gradation

박민영¹⁾ 임채용²⁾ 류성우³⁾ 조윤호⁴⁾

Park, Min-Young · Lim, Chae-Yong · Ryu, Sung-Woo · Cho, Yoon-Ho

1. 서론

콘크리트 배합설계는 시공 방법에 따라 workability(작업성)와 finishability(마감성)을 만족해야 한다. 또한 골재는 적절한 입도분포를 가져야 하며, 구조물의 노출 환경에 따라 요구하는 하는 공기량이 만족하도록 AE제에 의해 공기를 연행시켜야 하고, 설계강도를 만족하는 적절한 물-시멘트를 갖도록 감수제의 사용량을 정한다. 골재의 입도분포(잔골재와 굵은골재를 포함하는 합성 입도분포)는 작업성과 마감성에 큰 영향을 미치며, 강도 및 내구성에도 영향을 준다. 일반적으로 콘크리트 단위 용적당 굵은골재 함량이 증가하게 되면 모르타르 및 페이스트의 양이 감소하여 건조수축에 의한 균열이 감소하며, 경제적인 콘크리트 배합이 가능하게 된다. 그러나 굵은골재의 함량이 너무 많거나 적은 경우 재료분리의 가능성이 증가하고, 작업성 및 마감성이 저하하게 되어 한 종류의 굵은골재를 사용하는 경우 굵은골재의 함량의 높이에 어려움이 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 미국에서는 'Optimized Aggregate Gradation'이라는 개념을 도입하여 2가지 이상의 굵은골재를 혼합하여 최적 입도분포를 갖도록 함으로써 콘크리트의 작업성과 마감성을 향상시키고, 이에 따라 모르타르 및 페이스트의 양을 감소하여도 동일 수준 이상의 강도를 나타내면서 또한 내구성이 우수한 콘크리트 배합설계 방법을 제안하여 사용하고 있다.

본 연구에서는 Whitetopping 재료의 품질 개선을 목적으로 최대 크기 및 입도분포가 다른 2종류의 굵은골재를 사용하고, 'Optimized Aggregate Gradation'의 골재 합성방법을 적용하여 콘크리트의 특성을 개선하고자 하였다.

2. 최적배합(Optimized Aggregate Gradation)의 개요

최적배합은 콘크리트 포장에 사용되는 일반적인 재료에 굵은 골재를 최대한 사용한 것을 말한다. 이는 기존의 아스팔트 콘크리트 포장에서 사용하는 다양한 입도의 골재를 이용한 재료배합을 콘크리트 포장에 도입·적용함으로써 콘크리트 포장의 내구성 및 공용성을 극대화 하고자 개발한 것이다.

그림 1에서 보듯이 기존의 배합(NAG, Normal Aggregate Gradation)은 굵은 골재가 모르타르로 둘러 싸여 있는 형태인 반면 최적배합(OAG, Optimal Aggregate Gradation)은 다양한 크기의 골재로 둘러싸인 콘크리트를 보여주고 있다. 최적배합(OAG)은 시멘트가 차지하는 부분을 굵은 골재로 치환하는 방식으로 시멘트 페이스트가 감소한다. 이로 인하여 건조수축의 감소, 열팽창계수 감소, 발열량 감소등의 부피변화의 민감성이 감소하게 된다. 또한 시멘트량을 줄이고 상대적으로 싼 골재를 사용함으로써 경제적 측면에서도 유리하다.

텍사스 교통국(TXDOT)에서 설계한(Tex-470-A, Optimized Aggregate Gradation for Portland Cement Concrete Mix Designs) 프로그램은 경험적 실험을 반복하면서 제작한 것으로 Coarseness factor, 0.45 Power chart, Percent Combined Aggregate Retained Graph로 최적배합을 정의하고 있다.

1) 비회원. 중앙대학교 건설환경공학과 석사과정 · 02-816-0250 (E-mail : jikimi8105@naver.com)

2) 정회원. 쌍용양회공업중앙연구소 연구원 · 042-861-15340 (E-mail : limdrn@hanmail.net)

3) 정회원. 중앙대학교 건설환경공학과 박사수료 · 02-820-0250 (E-mail : htsw@naver.com)

4) 정회원. 중앙대학교 건설환경공학과 정교수 · 02-820-5336 (E-mail : yhcho@cau.ac.kr)

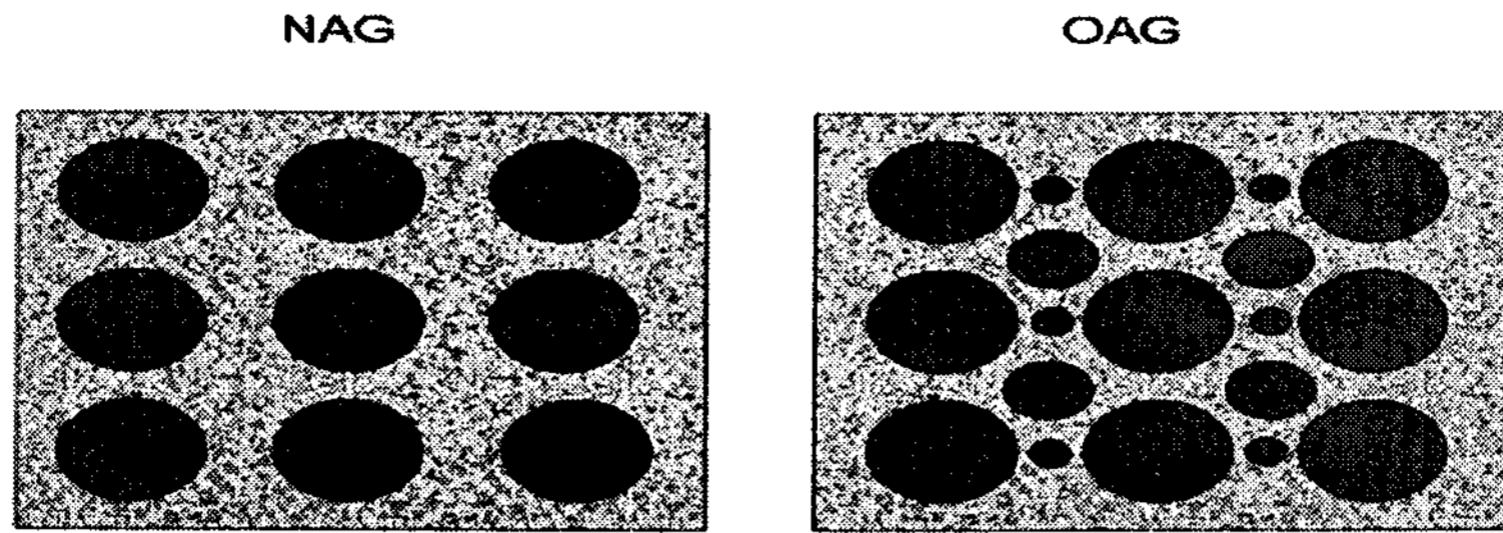


그림 1. 일반배합과 최적배합의 개념도

표 1. 시험인자 및 수준

시험인자	굵은골재	잔골재율	단위시멘트량	혼화제량
수준	25mm 100%	42	400kg/m ³	물-시멘트비 36% 조건에서 슬럼프 및 공기량을 만족 하도록 조정
	25mm+19mm OAG	38	460kg/m ³	
		34		

첫째로, Coarseness Factor와 Workability Factor는 2가지 이상의 골재를 혼합한 입도분포를 사용하여 계산한다. Coarseness Factor는 9.5mm 체에 남는 골재의 비율을 No.8 체에 남는 골재의 비율로 나누고 100을 곱하여 계산하며 Workability Factor는 No.8 체보다 입도가 작은 골재의 비율을 나타내는 값이다.

둘째로, 0.45 Power Grading Chart는 원래 아스팔트 포장에서 균일한 입도분포를 갖도록 하기 위한 목적으로 개발된 것으로 시멘트 콘크리트 분야에서도 적절한 골재 입도분포를 찾기 위해 사용한다.

마지막으로 Percent Combined Aggregate Retained Graph는 특정 입도에서 peak와 valley를 나타내는 것이 일반적이며, 가능하면 12.5mm, 이상의 입도에서는 입도가 증가할수록 값이 점점 증가하는 값을 나타내고, 9.5mm 이하의 크기에서는 입도가 작아질수록 점점 감소하는 값을 나타내는 것이 바람직하다. 즉, 9.5mm 이상에서 peak를 나타내고, peak 이후에는 최소 입도까지 부드럽게 그래프가 이어지는 것이 바람직하다. 이상의 세 가지 요소 중 Coarseness Factor와 Workability Factor를 만족하는 것이 가장 중요한 요소이다.

3. 시험인자 및 수준

콘크리트 배합은 속경성 whitetopping 시방배합을 기준으로 하였으며, 시험인자로는 단위시멘트량, 굵은골재의 종류 및 잔골재율로 하였다. 단위시멘트량은 460kg/m³ 및 400kg/m³로 하였으며, 굵은골재는 25mm 단독, 25+19mm의 혼합골재, 잔골재율은 34, 38 및 42%로 하였다. 물-시멘트비는 36%로 고정하고, 콘크리트 슬럼프는 15±3cm, 공기량 5.0±1.5의 범위가 되도록 혼화제 사용량을 조정하였다. 콘크리트 배합조건은 표 1 과 같다.

4. 실험결과

4.1 콘크리트 배합설계

각 수준별 배합설계표는 표 2와 같다. 배합구분의 L, S, M은 굵은골재의 종류로서, L은 25mm, S는 19mm 골재를 나타내며, M은 OAG를 적용한 25mm와 19mm의 혼합골재를 나타낸다. 또한 46, 42, 38 및 34는 잔골재율을 나타낸다. 혼합골재 조건에서 25mm 및 19mm 골재의 혼합비는 OAG 계산식에 의해 적정 배합비를 구하여 결정하였으며, 물-시멘트비는 속경성 whitetopping 시방배합에 따라 36%로 하였다. 고성능감수제의 사전 시험을 통해 L46(25mm 굵은골재, 잔골재율 46% 조건) 수준의 슬럼프 및 공기량이 적정 범위가 되도록 1.0%로 하였다.



4.2 Fresh Concrete 특성

4.2.1 콘크리트 유동성

콘크리트의 작업성을 평가하기 위해 콘크리트의 슬럼프를 측정하였으며, 다음 그림 2에 슬럼프 측정결과를 나타내었다. 콘크리트 유동성 측정결과, OAG 합성 굵은골재를 사용한 M series가 25mm를 단독으로 사용한 L series에 비해 낮게 나타나 단위시멘트량 460kg/m³ 및 400kg/m³ 모두 혼화제 사용량이 약 0.1% 증가하였다. 잔골재율에 따른 슬럼프 변동은 단위시멘트량 460kg/m³인 경우는 OAG가, 400kg/m³인 경우는 25mm 단독의 경우가 작게 나타났다.

4.2.2 공기량

도로포장 콘크리트는 겨울철 기상작용 및 제설제 사용 등의 영향으로 동결융해작용에 심하게 노출되므로, 적절한 공기량의 확보가 중요하다. 다음 그림 3에 굵은골재의 종류 및 잔골재율에 따른 공기량의 변화를 나타낸다. 콘크리트의 공기량은 골재 중의 0.15~0.60mm 함량과 고성능AE감수제의 사용량에 따라 영향을 받으며, 이외에도 단위시멘트량, 시멘트와 골재의 특성 및 슬럼프 값, 온도 등 다양한 요인에 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 0.15~0.6mm 골재는 잔골재의 입도에 포함되는 범위이며, 따라서 본 실험에서도 잔골재율의 증가에 따라 공기량이 증가하는 경향을 나타내었으며, 특히 42%인 경우 공기량이 높게 나타났다. 굵은골재의 입도 변화에 따른 영향은 크지 않은 것으로 나타났으며, 단위시멘트량의 감소에 따라 공기량은 약간 증가하는 경향을 나타내었다.

표 2. 콘크리트 배합조건

배합 No.	W/C(%)	S/a ^{주1)}	G1/a ^{주2)}	G2/a ^{주3)}	단위재료량(kg/m ³)					AE감수제	
					W	C	S1	G1	G2	(Cx%)	(kg/m ³)
46M42	36	42	29	29	166	460	706	503	491	1.00	4.60
46M38	36	38	31	31	166	460	639	537	525	1.00	4.60
46M34	36	34	33	33	166	460	572	572	559	1.00	4.60
46L42	36	42	58	0	166	460	706	1005	0	0.88	4.05
46L38	36	38	62	0	166	460	639	1075	0	0.88	4.05
46L34	36	34	66	0	166	460	572	1144	0	0.88	4.05
40M42	36	42	29	29	144	400	751	535	523	1.26	5.04
40M38	36	38	31	31	144	400	680	571	559	1.26	5.04
40M34	36	34	33	33	144	400	608	608	595	1.26	5.04
40L42	36	42	58	0	144	400	751	1069	0	1.15	4.60
40L38	36	38	62	0	144	400	680	1143	0	1.15	4.60
40L34	36	34	66	0	144	400	608	1217	0	1.15	4.60

주1) 전체 골재중의 잔골재 용적비(잔골재율) 주2) 전체 골재중의 25mm 골재 용적비 주3) 전체 골재중의 19mm 골재 용적비

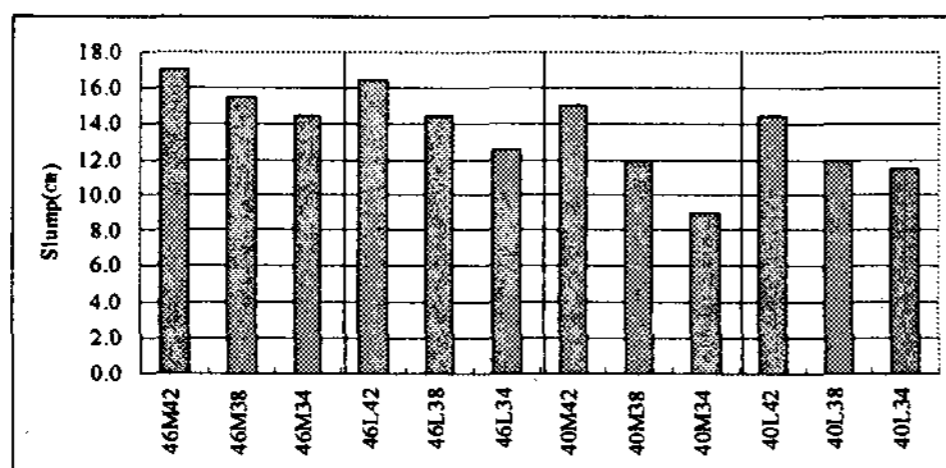


그림 2. 콘크리트 슬럼프 측정결과

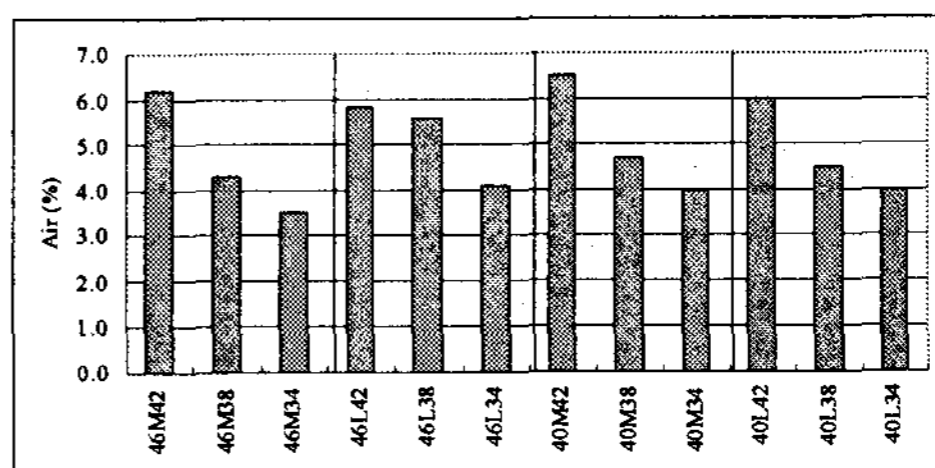


그림 3. 콘크리트 공기량 측정결과



르타르층의 두께를 측정하였다. 그러나, 배합간의 차이는 크지 않고 전체적으로 5mm 이하이거나 모르타르층이 없는 것으로 나타났으며, 단위시멘트량, 골재 및 잔골재율의 변동에 따른 영향을 관찰할 수 없었다. 본 실험에서는 물-시멘트비가 36%로 낮고, 3종시멘트를 사용함으로써 콘크리트의 점성이 높아 슬럼프값 9~17cm의 배합에서는 재료분리가 발생하기 어려운 것으로 판단된다.

4.2.7 내구성

(1) 콘크리트 길이변화

그림 5는 콘크리트 길이변화 측정결과를 나타내었다. 단위시멘트량이 460kg/m³인 46 series는 400kg/m³인 40 series에 비해 수축량이 크게 나타났으며, 초기 수중에서 1주 양생 후 46 series는 수축을 나타내는데 비해 40 series는 팽창을 나타내었다. 콘크리트의 길이변화는 물과 시멘트의 수화반응 및 물의 이동에 의해 나타나게 된다. 따라서 시멘트 및 단위수량이 증가할수록 길이변화가 크게 되며, 본 실험에서도 단위시멘트량이 적은 경우 길이변화를 감소시키는 효과를 나타내고 있다. 굵은골재의 종류 및 잔골재율에 의한 영향은 단위시멘트량에 따라 다르게 나타났다. 단위시멘트량이 460kg/m³인 46 series의 경우 OAG 골재에서는 잔골재율이 높은 경우가, 25mm 단독인 경우는 잔골재율이 낮은 경우가 길이변화가 작게 나타났다. 단위시멘트량이 400kg/m³인 40 series의 경우는 OAG 골재는 잔골재율 38%에서 길이변화가 가장 크고, 25mm 단독인 경우 38%에서 가장 작은 값을 나타냈다.

표 3. 잔골재율의 변동에 따른 강도 발현율

구분	압축강도(Mpa)				잔골재율의 영향(%)			
	12hr	1D	2D	28D	12hr	1D	2D	28D
46M42	19.5	35.3	53.3	60.5	100	100	100	100
46M38	18.5	37.6	57.3	65.3	95	107	108	108
46M34	18.7	35.6	57.1	67.5	96	101	107	111
46L42	17.8	37.9	56.8	64.1	100	100	100	100
46L38	15.8	36.7	55.1	65.8	89	97	97	103
46L34	16.7	37.8	56.0	63.2	94	100	98	99
40M42	15.2	36.2	54.5	61.7	100	100	100	100
40M38	16.2	38.3	59.1	64.3	106	106	109	104
40M34	15.3	38.0	57.2	65.7	100	105	105	106
40L42	15.8	39.8	59.1	65.7	100	100	100	100
40L38	12.7	34.5	52.6	64.6	80	87	89	98
40L34	12.9	32.9	54.7	67.8	81	83	93	103

표 4. 25mm 단독대비 OAG 골재의 강도발현율(%)

구분	L series에 대한 M series의 강도 발현율			
	12hr	1D	2D	28D
46M42/46L42	110	93	94	95
46M38/46L38	117	102	104	99
46M34/46L34	112	94	102	107
40M42/40L42	96	91	92	94
40M38/40L38	128	111	112	100
40M34/40L34	119	116	104	97

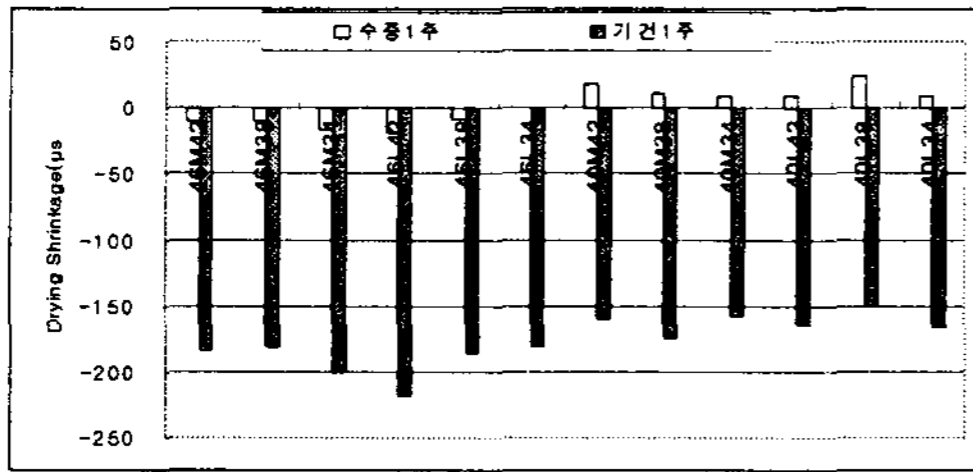


그림 5. 콘크리트 길이 변화

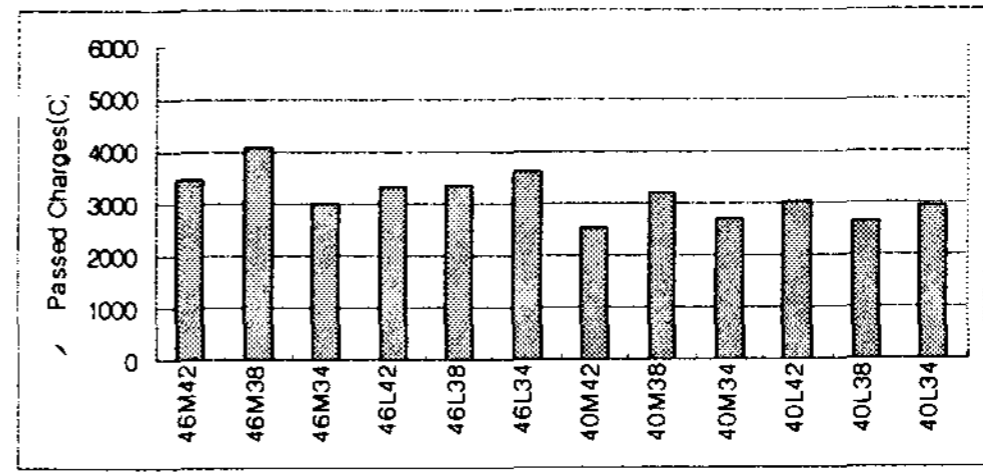


그림 6. 염소이온 투과량(재령 28일)

(2) 염소이온투과저항성

그림 6은 28일 재령에서 콘크리트의 염소이온투과저항성을 평가한 결과이다. 염소이온 투과량은 단위시멘트량이 적은 경우에 감소하는 경향을 나타내었으나, 굵은골재의 종류의 종류 및 잔골재율의 영향은 명확하지 않다.

5. 결 론

본 연구는 속경성 콘크리트인 Whitetopping 재료에 최적배합(OAG)의 설계방식을 도입하여 최적 입도분포를 갖도록 함으로서 콘크리트의 작업성과 마감성을 향상시키고, 이에 따라 모르타르 및 페이스타의 양을 감소하여도 동일 수준 이상의 강도를 나타내며 내구성이 우수한 콘크리트 배합설계를 제안하였으며 결론은 다음과 같다.

1. 잔골재율의 증가에 따라 슬럼프가 증가하게 되는데, 이는 잔골재율의 증가에 따른 공기량 증가와 잔골재율 감소에 따른 모르타르 양의 감소로 골재간 마찰 증가의 영향을 동시에 받는 것으로 판단된다
2. 굵은골재의 입도 변화에 따른 영향은 크지 않은 것으로 나타났으며, 단위시멘트량의 감소에 따라 공기량은 약간 증가하는 경향을 나타내었다.
3. 최적배합(OAG)를 적용한 배합설계가 일반배합보다 초기 강도가 월등히 높음을 알 수 있다. 또한 시멘트량이 460kg/m³이 초기강도 발현율이 높지만 장기적인 강도는 골재 맞물림으로 인하여 400kg/m³이 높음을 알 수 있다.
4. 잔골재율이 낮은 38% 및 34% 배합이 42% 보다 강도발현율이 재령시간이 증가함에 따라 증가하는 을 알 수 있었으며, 특히 최적배합(OAG)을 사용한 46M series 및 40M series에서 특히 강도 증가가 크게 나타났다.
5. 굵은골재의 영향은 단위시멘트량 및 잔골재율에 따라 다른 경향을 나타내었다. 또한 재령에 따라서는 전반적으로 OAG 골재의 효과는 초기재령에서 크게 나타나고, 재령에 증가에 따라 감소하는 경향을 나타내어, 잔골재율의 감소가 재령에 따른 강도에 미치는 영향과는 반대의 경향을 나타내었다.
6. 콘크리트 내구성 측면에서 콘크리트 길이변화와 염소이온투과저항성에서 최적배합이 일반배합보다 내구성이 뛰어난 것을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Moon Won, "Pilot Implementation of Optimizaed Aggregate gradation for Concrete paving", Research Management Commite 1 Meeting, Corpus Chrisit, Nvember 9 2005-12-06
2. 건설교통부 "중하중 교통 도로의 신속개방형 대보수 및 덧씌우기용 고성능 강성 포장 재료의 설계 및 시공기술 개발" 2004
3. 임채용(Lim Chae Yong), 임태선(Um Tai Sun), 유재상(Ryu Jae Sang), 조윤희(Cho Yoon Ho), 임주용(Um Joo Yong) "신속개방형[1일공용] Whitetopping 포장재의 설계 및 시공성에 관한 평가연구" 한국도로학회 2002 학술 발표회 논문집 제4권 제1호, 187~194쪽
4. FHWA, Surface Texture for Asphalt and Concrete Pavement, Technical Advisory T 5040.36. Washington, D.C. Federal Highway Administration, 2005