

골재 입도분포가 도로포장용 롤리전압 콘크리트에 미치는 영향 연구

A Study on the Gradation Effect of the Property of Roller Compacted Concrete Pavement

송시훈 Song, Si Hoon
이승우 Lee, Seung Woo

정회원 · 강릉원주대학교 토목공학과 석사과정 (E-mail : songsh0606@nate.com)
정회원 · 강릉원주대학교 토목공학과 교수 · 공학박사 · 교신저자 (E-mail : swl@gwnu.ac.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : The use of environmentally friendly construction methods has been recently encouraged to reduce fuel consumption and the effects of global warming. For this purpose, the roller compacted concrete pavement (RCCP) construction method has been developed. RCCP is more environmentally friendly and economically efficient than general concrete by reducing the amount of CO₂ generated through the application of a smaller amount of cement. RCCP has a number of advantages such as an easy construction method, low cost, high structural hydration performance, and aggregate interlocking. However, mix design standards and construction guidelines of RCCP are required for domestic application. In addition, a study on aggregate selection, which has an effect on the characteristics of RCCP, is necessary owing to a limited number of researches. Thus, the aggregate effect on the performance of RCCP in securing the required strength and workability was evaluated in consideration of domestic construction.

METHODS : Sand and coarse aggregates of both 19mm and 13mm in maximum size were used in this study. Four types of aggregate gradations ($s/a = 30\%$, 58% , and 70% for the sand and coarse aggregate of 19mm in maximum size, and $s/a = 50\%$ for a combination of the three types of aggregates) were set up to investigate the effects of the PCA band on the RCC characteristics. The conditions of $s/a = 30\%$ and 70% were evaluated to check the gradation effect outside of the recommended band. The conditions of $s/a = 58\%$ and 50% were used because they are the optimum combination of the two and three types of aggregates, respectively. RCCP gradation band was suggested gradation with a proper construction method of RCCP by synthetically comparing and analyzing the correlation of optimum water content, maximum dry density, and strength of requirements through its consistency and compaction test.

RESULTS : The lower and upper limit lines are insufficient to secure a relatively strong development and workability compared to an aggregate gradation in the RCCP gradation band region. On the other hand, the line in the RCCP gradation band and the 0.45 power curve in the RCCP gradation band region were satisfactory, ensuring the required strength and workability.

CONCLUSIONS : The suitable aggregate gradation on RCCP process should meet the RCCP gradation band area; however, fine particles passing through a #60 sieve do not need to be within the recommended gradation band because the influence of this region on such fine particles is small.

Keywords

RCCP Gradation Band, Gradation, Density, Consistency, Strength

Corresponding Author : Lee, Seung Woo, Professor
Dept. of Civil Engineering, Gangneung-Wonju National University, 7,
Jukheon-Gil, Gangneung City, Gangwon Province, 210-702, Korea
Tel : +82.33.640.2419 Fax : +82.33.641.1391
E-mail : swl@gwnu.ac.kr

International Journal of Highway Engineering

http://www.ksre.or.kr/

ISSN 1738-7159 (print)

ISSN 2287-3678 (Online)

Received Mar. 2, 2015 Revised Mar. 3, 2015 Accepted Mar. 26, 2015

1. 서론

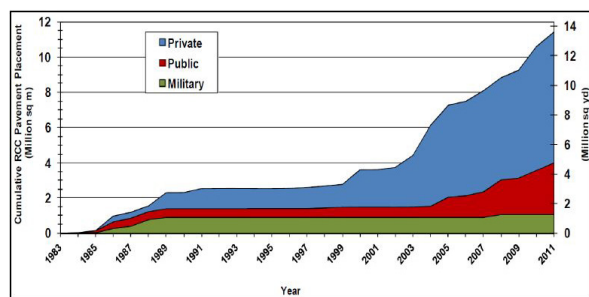
시멘트 콘크리트포장은 경제적이면서도 우수한 내구성, 기능성 및 구조적 성능을 확보하여 사회기반시설인

도로 건설에 활발히 사용되고 있다. 그러나 최근 들어 지구온난화, 이상기후 및 자원고갈 등의 환경문제로 인하여 환경친화적인 건설의 중요성이 대두되면서, 시멘

트 콘크리트포장의 주요 재료인 시멘트 생산과정 중에 발생하는 CO₂ 등의 온실가스로 인하여 환경을 저해하는 배타적인 재료로 인식되고 있는 실정이다. 이와 같은 상황을 고려하여 도로분야에서도 점차적으로 환경친화적 건설에 대한 중요성이 부각되고 있다.

따라서 콘크리트포장의 주요 재료인 시멘트 사용량의 절감을 통하여 시멘트 생산과정에서 발생하는 다량의 CO₂와 화석자원 소비에 따른 친환경성에 대한 부정적인 요소를 환경친화적 도로건설로 부응하고, 콘크리트 포장에 대한 잘못된 인식을 해소할 수 있다. 콘크리트 포장 고유의 우수한 성능을 확보하면서 상대적으로 적은 단위 시멘트량을 사용하여 CO₂ 발생의 저감으로 친환경성 및 경제성을 확보하고, 정량화된 아스팔트 시공 장비의 이용으로 신속하고 간소한 시공절차를 확보할 수 있는 저비용 롤러 전압다짐 콘크리트포장 공법(RCCP; Roller Compacted Concrete Pavement)의 도입이 요구된다.

RCCP 공법의 적용은 1970년대 중반 캐나다 산림업체인 British Columbia사가 Caycuse 원목 분류장에 시공한 사례가 있으며, 1980년대 RCC에 대한 연구가 활발히 진행되면서 정형화된 기준을 갖춰갔다. 1990년대 후반부터 미국의 시멘트 및 콘크리트 산업의 마케팅 활동으로 시작되어 민간시장부분과 공공시장부분에서 Fig. 1과 같이 2000년대 초반부터 상당히 증가하였다(zollinger, 2013). 이는 당시 아스팔트의 원가 상승으로 인하여 콘크리트 포장이 부상하였고, 아스팔트 장비를 이용한 상대적으로 가격경쟁력이 있는 RCC 포장이 선호되었기 때문이다.



Roller Compacted Concrete Pavement Production in The United States between 1983 - 2011(Pittman 2009)

Fig. 1 U.S. Market Trends with RCC Pavement (B.Killingsworth, 2014)

국내에서는 1993년 한국도로공사에서 '부체도로 건설을 위해 수행한 RCCP에 대한 실험적 연구'와 1997년 서울대학교에서 '기계화 경작로 확포장 시공을 위한 RCCP

개발 연구'가 진행 되었으며, 최근에는 Lee Seung Woo (2011)가 자전거도로용 롤러 전압 콘크리트 포장 기술 개발 연구를 통하여 실내 실험 및 시험시공을 실시하여 RCCP 공법의 우수성을 입증하였다.

롤러전압다짐 콘크리트 포장공법은 수화반응과 함께 롤러 전압을 통하여 내부에서의 골재 맞물림 효과를 증진시켜 상대적으로 적은 시멘트 사용에도 불구하고 높은 강도를 발현하여 우수한 구조성능을 확보할 수 있고 간소한 시공절차, 신속한 시공속도 및 조기교통개방을 확보하여 경제성 및 친환경성을 가지고 있다. 또한 콘크리트 내부 공극이 최소화되고 분산되어 조밀한 기포간격계수 및 수밀성이 증대된 롤러전압다짐 콘크리트포장은 수분에 의한 공극의 포화를 방지하고 동결로부터 발생하는 팽창압을 완화시켜 우수한 환경저항성을 확보할 수 있다(Lee Seung Woo, 2011). 그러나 이러한 RCCP의 우수성을 도출하기 위해서는 배합, 운반, 포설, 다짐 등 각각의 시공단계 별로 규정을 준수해야하나 국내 적용을 위한 배합설계기준 및 시공지침 등이 수립되어 있지 않으므로 연구가 필요할 것으로 판단된다.

RCC는 페이스트의 체적이 일반 PCC보다 작기 때문에 배합에서의 공극을 최소화하기 위해 조밀한 입도이어야만 한다. 따라서 RCC의 고품질을 위해 굵은골재와 잔골재 모두 ASTM-C33에서 나타내는 것과 같이 표준화되며 물리적 요소로 평가된 견고하고 내구성이 있는 입자로 구성되어야만 한다. 또한 RCC 체적의 70%~85%를 구성하는 골재특성은 진동다짐 시 요구하는 워커빌리티와 건조단위중량을 도출하기 위한 역할을 하며, 압축강도, 휨강도, 온도 특성, 장기거동 및 내구성에 많은 영향을 준다(Dale Harrington, 2010). 이는 골재의 적절한 선택이 시공 중·후에 안전성을 제공하고 RCCP의 구조 및 성능에 영향을 미칠 중요한 요소 중 하나로 사료된다. 미국 포틀랜드 시멘트 협회(PCA)에

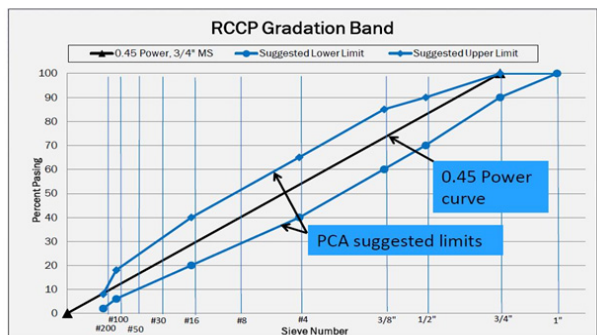


Fig. 2 Suggested Combined Aggregate Grading with Fine and Coarse Aggregate Gradation Bands (Potland Cement Association, 2010)

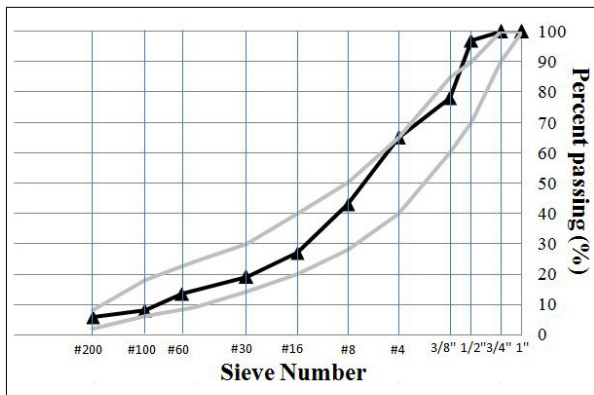
서 권장하는 RCCP의 골재입도(Fig. 2)는 일반적으로 공칭 최대 골재 크기(NMSA)가 19mm를 초과하지 않고, 75 μ m의 체를 통과하는 허용 가능한 미립자 비율이 2%~8%이다. 미립자의 규정량은 시멘트 페이스트의 분산을 도우며, 재료의 혼합 중에 유효제 역할을 한다 (Gregory E. Halsted, 2009).

PCC에서는 굵은골재 최대 치수와 잔골재를 고려하여 s/a를 이용한 포장 시공을 하지만 PCA에서 제시하고 있는 RCCP 골재입도 Band를 만족하기 위해서는 별도로 스크린 추가가 필요하므로 시공개선으로 인한 비용 증가로 이어져 경제적인 이점을 반감시킨다. 국외의 경우 성공적인 RCCP 사례에서 Fig. 3과 같이 RCCP을 적용한 포장 및 기존 연구의 골재입도는 대부분 PCA의 골재입도 Band를 만족하지 못하였다. 특히, S.Krishna Rao(2014) 및 Ira Brotman(2007)과 같이 200번체를 통과하는 2%~8%의 미립분자에 대해서는 기존 연구 사례에서 편의상 100번체 이하 통과 미립분자에 대해 고려를 하지 않거나 인위적인 골재 조합으로 입도조정을 하였더라도 만족시키지 못하였다.

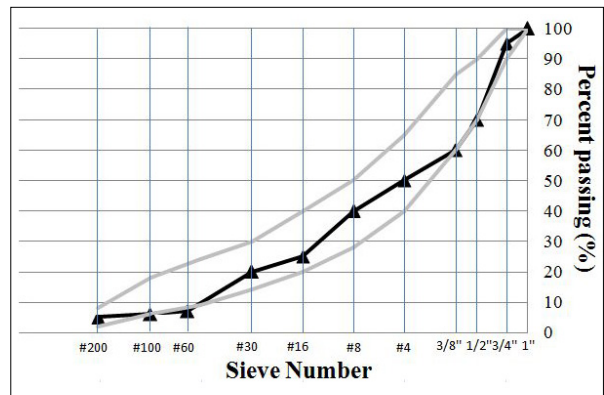
국외의 연구 결과를 통해 실제 RCCP 건설에서 골재 입도 Band가 만족하지 못하지만 성공적인 시공사례가 있다. 따라서 PCA에서 제시하는 골재입도 Band의 재검토와 Band 영역 안의 골재입도가 RCCP에 미치는 특성에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다. 본 연구에서는 최대치수 19mm 굵은 골재와 잔골재를 이용하여 Band 영역 재설정을 위해 입도특성 별로 RCCP 물성에 미치는 영향을 알아보고, 수정 골재입도 Band를 제시하고자 한다.

2. RCCP 골재입도 Band 특성을 고려한 골재 입도 설정 및 배합설계

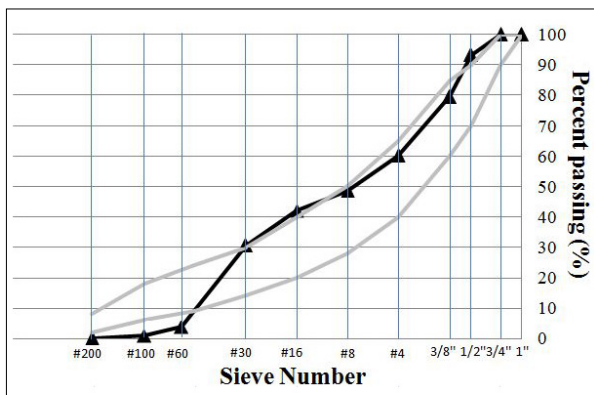
PCA의 RCCP Gradation Band는 Lower limit line, 0.45 Power curve, Upper limit line으로 구성되어 있으며 우수한 품질의 RCCP를 위해 골재입도가 0.45 Power Curve에 근접하도록 권고한다. 이는 0.45 Power Curve와 유사한 골재입도 일수록 공극형성이 적고 골재 간격이 더욱 조밀한 내부를 형성하며, 최대



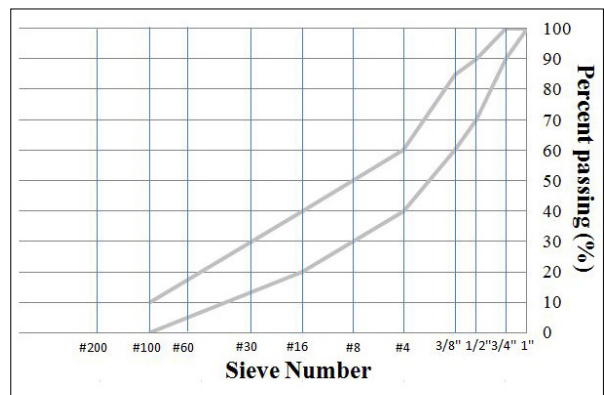
(a) Multnomah County Road (W.R.Malisch 1988)



(b) Tuscany Way Road (W.R.Malisch 1988)

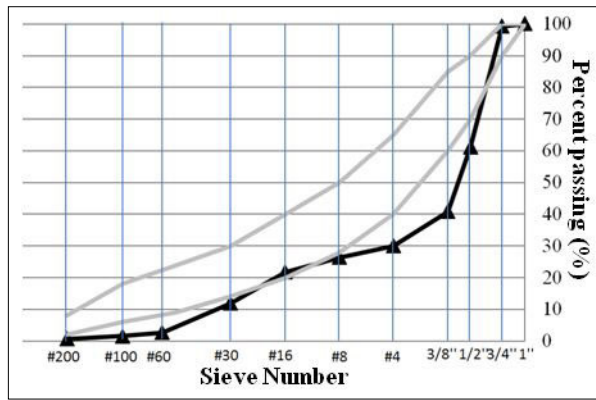


(c) S.Krishna Rao (2014)

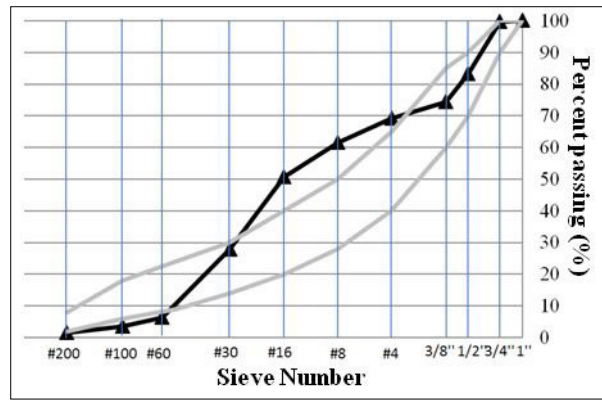


(d) Ira Brotman (2007)

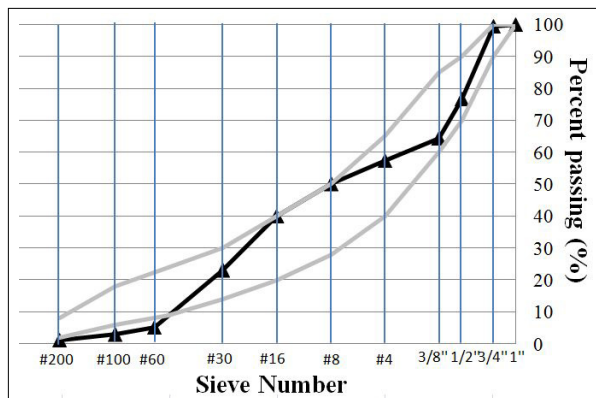
Fig. 3. RCCP Gradation and Gradation Band Used Overseas



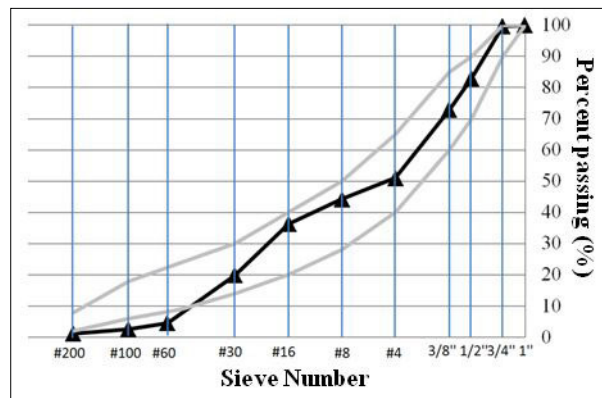
(a) Lower Limit Line (s/a 30%)



(b) Upper Limit Line (s/a 70%)



(c) Line in Gradation Band (s/a 58%)



(d) 0.45 Power Curve (s/a 50%)

Fig 4. Aggregate Gradations with Gradation Band Used in the Study

단위중량에 근접한 다짐을 실시할 수 있으므로 골재 맞물림을 증대시켜 우수한 강도발현을 하기 때문이다. 따라서 RCCP 골재입도 Band가 RCCP의 특성에 미치는 영향을 알아보기 위해 Fig. 4와 같이 Band의 Upper limit line 및 Lower limit line과 0.45 Power Curve에 유사하도록 인위적인 골재입도 설정 및 임의의 Band 영역에 포함될 수 있는 골재입도를 나타내었다. Fig. 4(a)와 Fig. 4(b)는 19mm 굵은골재와 잔골재를 이용하여 Upper limit line 및 Lower limit line에 대한 영향을 알아보기 위해 입도 조정을 하였으며, Fig. 4 (c)는 19mm 굵은골재와 잔골재를 사용하여 Band 영역 내에 설정할 수 있는 최적의 골재입도를 도출하였다. Fig. 4(d)는 PCA에서 권고하는 최적의 골재입도인 0.45 Power curve 특성을 알아보기 위해 19mm와 13mm 굵은 골재 혼합물과 잔골재를 이용하여 유사한 입도분포를 구성하였다. 또한 골재입도에서 작은 비중을 차지하지만 시공 시 재료의 선정과정에서 발생하는 양이 상당한 미립자가 RCCP 특성에 미치는 영향을 파악하고, 골재 선정 시 편의성과 경제성을 확보하기 위해 제외하였다.

골재입도 설정을 통한 s/a를 기준으로 각 골재입도가

RCCP의 특성에 미치는 영향을 알아보기 위해 기초물성평가에 대한 기본 배합설계는 S.Krishna Rao 등 (2014) ‘Evaluation of Properties of Roller Compacted Concrete Pavement’ 연구의 배합비를 참고 하였다. 일반적인 고속도로 콘크리트 포장에 적용하는 시멘트량 보다는 20% 감소한 280kg/m³ 설정하였고, 정확한 골재입도의 영향을 비교·분석하기 위해서 시멘트량을 고정하였으며, 함수비는 Table 1과 같이 문헌조사 및 선행시험을 통해 3.5%~7.4% 범위에서 배합비를 산정하였다.

Table 1. Mixture Proportions of RCCP for Each Case of Aggregate Gradation and Water Content

s/a (%)	Water content (%)	Water (kg)	Cement (kg)	Sand (kg)	19mm G _{max} (kg)	13mm G _{max} (kg)
30	3.97	100	280	706	1530	0
	4.65	115	280	692	1502	0
	5.37	131	280	679	1472	0
	6.36	151	280	661	1433	0
	7.38	171	280	643	1395	0

58	5.1	120	280	1193	879	0
	5.62	131	280	1177	867	0
	6.07	140	280	1163	857	0
	6.58	150	280	1148	845	0
	7.18	161	280	1130	832	0
70	3.57	93	280	1661	662	0
	4.02	104	280	1639	653	0
	4.53	115	280	1616	644	0
	5.23	131	280	1584	631	0
	6.2	151	280	1542	614	0
50	7.19	171	280	1501	598	0
	4.02	102	280	1173	654	432
	4.6	115	280	1154	644	425
	5.31	131	280	1131	631	416
	6.29	151	280	1101	614	405
	7.3	171	280	1072	598	394

3. RCCP 골재입도 특성에 따른 RCCP 물성 변화

3.1. 시공성 평가

RCC를 이용한 공법은 적절한 작업성을 갖기 위해 컨시스턴시를 요구하며, 일반 콘크리트와 달리 zero-slump이므로 된반죽 콘크리트의 컨시스턴시를 측정하는 시험법을 사용한다. 이는 RCC의 소정의 품질을 얻고 동시에 다짐기계의 시공능률에 부합하기 위한 컨시스턴시를 확보해야만 하기 때문이다(Wayne S. Adaska, 2006). RCC 포장용 콘크리트의 컨시스턴시 측정방법은 ASTM C1170/C1170M이며, Fig. 5와 같이 진동에 의해 다짐된 콘크리트 상면에 시멘트 페이스트가 떠올라 모르타르 링이 형성되면 시간을 측정하여 컨시스턴시의 값인 Vebe time을 도출한다.

진동롤러를 사용하여 콘크리트를 다질 때 컨시스턴시가 지나치게 크면 진동 롤러 장비가 포장체 위에서 작업이 불가능하고, 반면에 작을 때는 시공은 가능하나 공극이 많이 생성되어 충분한 강도와 내구성을 기대할 수 없으므로 적절한 컨시스턴시 선정은 중요하다. 이상적인 컨시스턴시의 선정은 다짐장비에 의해 콘크리트층이 받는 진동 에너지와 그 작용시간을 고려하여 충분한 다짐이 시행될 수 있는 값으로 하는 것이 바람직하다(Lim Young In, 2009). 이는 최근 RCCP의 장비개선으로 인한 장비중량이 증가하였기 때문에 컨시스턴시의 상한 값에서 다짐이 충분히 가능해야 하며, 반면에 하한값은 포장의 변형을 방지하는 최소한의 지표이기 때문이다.



(a) Vibration



(b) Appearance of Mortar



(c) Mortar Ring Formation

Fig. 5 Vebe Test According to ASTM C1170/1170M

ACI 325.10R-25에서는 RCCP의 시공이 가능한 컨시스턴시 범위를 30~40(s) 나타내었으며, Farshid et al(2010)는 효과적인 포장을 위해 'Assessing the effects of supplementary cementitious materials on the performance of low-cement roller compacted concrete pavement' 연구에서 50~75(s)로 선정하였다. 본 연구에서는 목표 Vebe time 범위를 30~75(s)로 선정하였다.

3.2. Density Determination

단위중량은 RCC의 구체적인 설계 변수는 아니지만 강도발현에 상당한 영향을 미치므로 RCC의 작용원리에 중요한 요소이다. 건조한 배합일 경우, 골재 간 조밀한 내부를 형성하기 위한 수분의 유통 역할이 충분하지 않기 때문에 이에 따라 골재입자를 퍼트리기 위해 시멘트 페이스트의 양을 증가시켜야 한다. 반면에 지나치게 수분함량이 높은 배합일 경우, 수분이 상당히 많은 단위 체적을 차지하게 되어 골재 간 맞물림을 저해한다. 따라서 높은 강도를 발현시키기 위해서는 최대 건조단위중량과 최적 함수비가 중요한 요소이다 (Hamed Jahi, 2014). 단위중량을 도출하기 위한 방법으로 표준다짐시험과 수정다짐시험이 있다. 그러나 표준다짐시험으로 도출한 최대 단위중량은 실제 현장에서 다짐장비로 도출한 최대 단위중량에 비해 상대적으로 낮은 다짐에너지로 인하여 작게 평가된다(Ying-Kit Choi, 2005). 그러므로 현장의 최대 단위중량을 모사하기 위해 ASTM D1157을 이용하여 수정다짐시험을 실시한다. 임의의 5개 함수비를 기준으로 Fig. 6과 같이 수정다짐시험 후 단위중량을 도출하여 다짐곡선을 도시하고 최대 건조단위중량과 최적함수비를 도출한다.



Fig. 6 Modified Proctor Test According to ASTM D1157

3.3. Compressive Strength

RCC의 압축강도는 일반 콘크리트의 압축강도인 28~41MPa 범위에 측정되며 일부 연구에서는 더 높은 48MPa 이상의 압축강도를 확보하였다. 이에 따라 시공 현장에서 적용 가능성과 비용을 고려하여 포장의 두께를 증가 시키는 것보다 능동적으로 강도를 증진시키는 것이 요구된다. RCC는 시멘트에 의한 수화반응과 조밀한 골재입도에 의한 골재 맞물림으로 우수한 압축강도를 발현한다. 작은 물시멘트 비의 RCC 혼합물은 높은

압축강도를 형성하기 위해 낮은 공극률의 시멘트 매트릭스를 형성한다. 모든 배합비는 최대 건조단위중량에 대한 최적함수비를 가지고 있으며 이 때 최대 강도를 보장한다. Fig. 7과 같이 각 골재입도에 따른 강도 측정을 위해 ASTM C1176을 이용하여 시편을 제작하였으며 KS F 2405를 참고하여 강도시험을 실시하였다.



(a) Concrete Mixing



(b) Making Cylinder Molds Using a Vibrating Table



(c) Compressive Strength Test

Fig. 7 Specimen Preparation of RCC

4. 골재입도 분포에 따른 RCCP 특성 평가

4.1. 골재입도 분포에 따른 Consistency

Fig. 8은 골재입도의 설정에 따라 각각의 s/a별로 함수비에 따른 Vebe time을 측정한 결과이다. 함수비가 증가할수록 Vebe time은 감소하는 경향을 나타내었으며, 된 콘크리트에 대한 컨시스턴시의 지표인 Vebe time이 함수비의 영향을 크게 받는 것을 알 수 있었다. 이에 따라 s/a가 증가할수록 목표 Vebe time 범위인 30~75(s)에 만족하는 함수비 범위는 증가하였다. 이는 잔골재의 양이 증가할수록 동일한 Vebe time에 도달하려면 요구 함수비가 증가하므로 상대적으로 물시멘트의 비가 커져 강도발현에 영향을 미칠 것으로 판단된다.

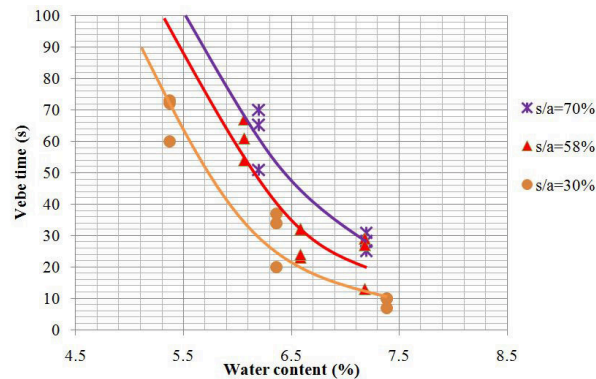


Fig. 8 RCC Mixture Vebe Time According to Water Content for s/a 30%, 58% and 70%

Fig. 9는 0.45 Power curve에 근접한 s/a 50%의 골재입도 특성을 보여주는 함수비-Vebe time 곡선으로, 다른 골재입도의 Vebe time 결과와 달리 동일한 Vebe time까지 도달하는 적정 함수비 범위가 가장 낮은 범위로 나타난다. 이는 PCA에서 RCCP 골재입도

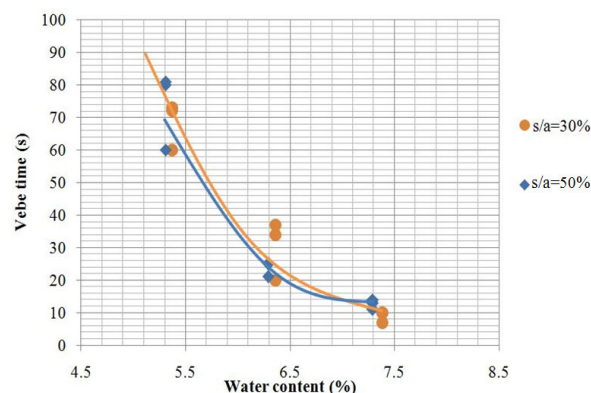


Fig. 9 RCC Mixture Vebe Time According to Water Content for s/a 50% and 30%

Band를 권고하는 이유 중 하나인 컨시스턴시가 조밀한 골재입도에 영향을 받는 것을 알 수 있으며, 다른 골재입도와 비교하여 동일한 함수비 일 때 상대적으로 낮은 다짐에너지로도 충분한 다짐을 시행할 수 있을 것으로 판단된다. Table 2는 각각의 골재입도마다 RCCP의 시공성 확보가 가능한 허용 Vebe time에 따른 함수비 범위이다.

Table 2. RCC Mixture's Water Content Range of Each Aggregate Gradation for Desired Vebe Time Range

s/a (%)	Water for Vebe time 30~75s (%)
30	5.35~6.2
50	5.2~6.1
58	5.71~6.65
70	5.95~7.1

4.2. 골재입도 분포에 따른 RCC 건조단위중량 변화

Table 3은 골재입도에 따른 다짐특성을 알아보기 위해 수정다짐시험 실시 후 도출한 다짐곡선 결과이다. Ying-Kit Choi(2005)는 'RCC/Soil-Cement: What's the Difference?' 연구를 통해 RCC의 적용 대상에 따라 소폭의 차이는 있으나 일반적인 최대 건조단위중량을 2,320kg/m³~2,430kg/m³로 제시하였다. s/a 70%의 최대 건조단위중량은 2,232kg/m³이며 RCC의 최대 건조단위중량 범위와 큰 차이를 나타내는 반면 다른 골재입도의 경우 2,305kg/m³~2,385kg/m³ 범위로 근사값을 도출하였다. 이는 골재입도에 따라 s/a가 증가할수록 최대 건조단위중량은 감소하는 경향을 나타냈다. 또한 최대 건조단위중량은 가장 조밀한 입도인 s/a 50%보다 s/a 30%가 가장 큰 값을 도출하였으며 이는 각 골재입도마다 골재함량이 다르므로 비중 값의 차이로 판단된다.

Table 3. RCC Mixture's Max. Dry Density and Optimum Water Content for Each Aggregate Gradation

s/a (%)	Max. dry density (kg/m ³)	Wopt (%)
30	2,385	5
50	2,305	5.31
58	2,316	6.06
70	2,232	5.85

4.3. 골재입도 분포에 따른 압축강도

Fig. 10은 RCCP 골재입도 Band가 강도에 미치는 영향을 알아보기 위해 각 골재입도 별 28일 압축강도를 나타낸 것이다. 기존 문헌의 연구 결과와 유사하게 네 개의 골재입도 모두 28일 압축강도는 28MPa~48MPa 범위에서 발현되었다. Upper limit line(s/a 70%)의 28일 압축강도는 다른 골재입도의 28일 압축강도와 비교하여 상대적으로 낮게 평가됨을 알 수 있었다. 이는 배합구성비 중 강도발현에 영향을 미치는 굵은골재 구성비가 다른 배합보다 낮게 구성되었으며, 골재 맞물림 효과에서 잔골재 입자들이 많은 비중을 차지하여 강도가 낮게 평가된 것으로 판단된다. 반면 Lower limit line(s/a 30%)의 28일 압축강도는 RCCP 골재입도 Band 영역 내에 있는 다른 골재입도의 28일 압축강도와 소폭의 차이가 있으나 전반적으로 세 개의 골재입도 모두 우수한 압축강도를 나타내었다. 일반 콘크리트포장 대비 20% 절감한 시멘트량으로도 충분한 강도발현이 되었으므로, 더 많은 시멘트량의 절감을 통해 경제적인 효과 및 구조적 기능을 모두 만족하는 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

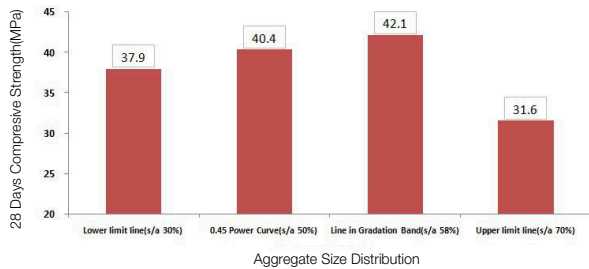
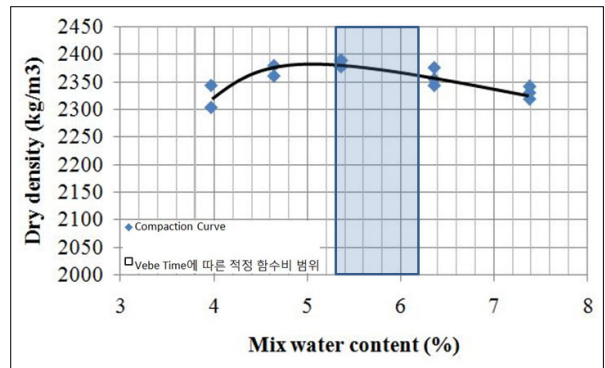


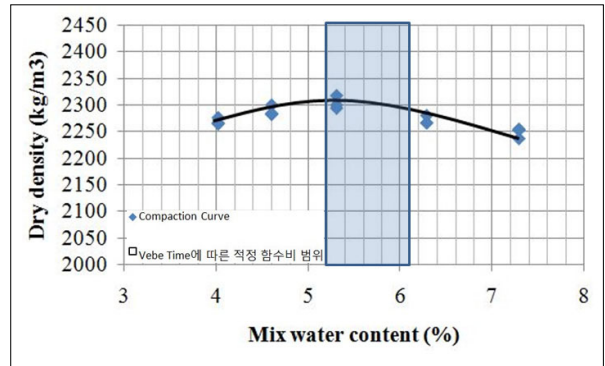
Fig. 10 RCC 28 Days Compressive Strength at Optimum Water Content for Each Aggregate Gradation

4.4. 실험결과를 통한 품질관리를 위한 포장용 RCC 골재입도 제안

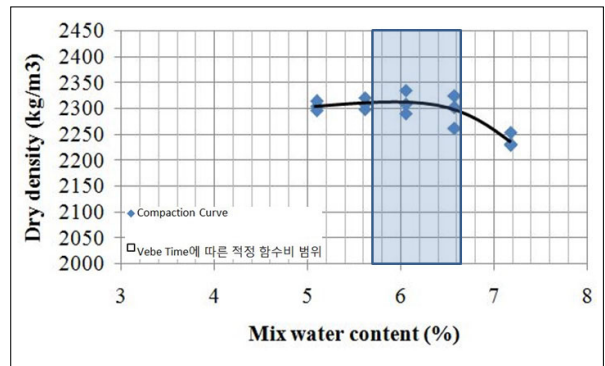
RCCP 공법에서 요구하는 워커빌리티와 건조단위중량을 도출하기 위한 역할 뿐만 아니라 강도발현에 영향을 미치는 골재입도의 선정은 매우 중요한 요소이다. 워커빌리티 및 건조단위중량과 압축강도 중 하나의 조건이라도 만족하지 못한다면, RCC의 특성인 조밀한 내부 형성으로 인한 골재 맞물림과 적절한 함수비에 따른 수화반응을 유도하지 못하여 강도발현에 영향을 미치므로 우수한 품질의 RCCP를 보장할 수 없다. Fig. 11은 RCCP 공법에 적용가능한 적절한 골재입도를 평가하기 위하여 각 골재입도 마다 컨시스턴시-건조단위중량을 비교하였으



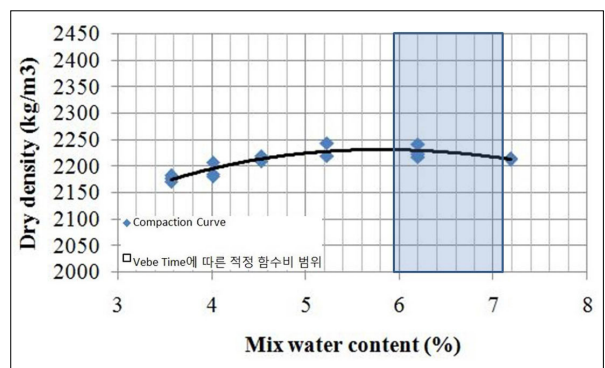
(a) Lower limit line (s/a 30%)



(b) 0.45 Power Curve (s/a 50%)



(c) Line in Gradation Band (s/a 58%)



(d) Upper limit line (s/a 70%)

Fig 11. Compaction Curve of RCC for Each Aggregate Gradation and Water Content Range for Desired Vebe Time Range

며, Table 4와 같이 각 골재입도의 최적함수비에 따른 컨시스턴시-건조단위중량-강도를 나타내었다.

Table 4. Summary of RCC Consistency, Density and Strength Result for Each Aggregate Gradation

s/a (%)	Max. dry density (kg/m ³)	Wopt (%)	Vebe time at Wopt (s)	Water content for Vebe time 30-75s (%)	28 days compressive strength at Wopt(MPa)
30	2385	5	98	5.35-6.2	37.9
50	2305	5.31	68	5.2-6.1	40.4
58	2316	6.06	56	5.71-6.65	42.1
70	2232	5.85	83	5.95-7.1	31.6

동일한 다짐에너지와 시멘트량에 대해 최적함수비 조건에서 시공성을 고려한 포장용 RCC의 골재입도 영향을 비교·분석하였다. Upper limit line(s/a 70%) 및 Lower limit line(s/a 30%)의 두 골재입도 분포는 최적함수비에서의 28일 압축강도가 RCCP 골재입도 Band 영역 내의 골재입도에 비해 상대적으로 강도발현이 낮았으며, 최적함수비에서 적정 Vebe time 범위에 포함되지 않으므로 시공 시 작업성이 떨어지고 포장 품질을 감소시킬 것으로 사료된다. 또한 적정 Vebe time 범위에 포함되는 골재입도 중에 가장 조밀한 0.45 Power Curve(s/a 50%)는 낮은 최대 건조단위중량으로 높은 강도를 발현 하였지만, 시공현장에서 골재 선정 시 효율성과 비용을 고려하면 Line in Gradation Band(s/a 58%)가 편의성이 확보되며, 시공과정에서 능동적으로 강도를 증진시킬 수 있으므로 효과적이다. 이는 시멘트 수화반응 및 다짐 시 골재간의 배열에 대해 유효역할을 위한 최적함수비가 가장 높고 그에 따른 적정 Vebe time도 가장 빠르기 때문에 시공 시 작업성이 증대되며, 다짐기계에 의해 콘크리트 포장층이 받는 진

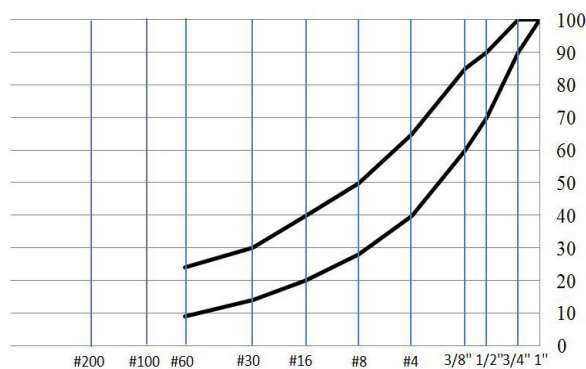


Fig. 12 Suggested Gradation Band for RCCP

동 에너지와 그 작용시간을 고려하여 충분한 다짐이 이루어 질 것으로 판단된다. 또한 60번체를 통과하는 미립자는 각각의 입도분포 모두 PCA의 기준에 부합하지 않지만 RCC의 물성특성에 영향력이 미미하므로 제외시켜도 무방할 것으로 사료된다. 따라서 RCCP 공법에서 시공성과 요구강도를 만족하는 적용 가능한 골재입도는 s/a 58%, s/a 50%이며 PCA의 Gradation Band 영역 내로 판단되고, Fig. 12와 같이 수정된 골재입도 Band를 제안한다.

5. 결론

본 연구에서는 PCA가 제시하고 있는 RCCP 골재입도 Band가 RCCP 특성에 미치는 영향에 대해 알아보고 효율성과 경제성을 확보할 수 있는 적절한 골재입도를 제시하고자 하였으며, 주요 결론은 다음과 같다.

1. PCA가 제시하는 RCCP 골재입도 Band에서 0.45 Power Curve와 유사한 골재입도는 최대 건조단위중량과 강도의 상관관계를 통해 가장 조밀한 입도를 가진 것으로 판단된다. 그러나 Band 영역 내에 포함되는 임의의 골재입도와 비교 시 컨시스턴시 - 건조단위중량-강도에 대한 영향이 미미하므로 골재입도를 Band 영역 내에 형성하면 RCCP 특성을 만족시킬 것으로 사료된다.
2. RCCP 골재입도 Band의 Upper Limit line 및 Lower Limit line의 경우 두 Limit line에 포함되지 않는 골재입도는 RCCP 특성의 컨시스턴시-건조단위중량-강도에 영향을 미치므로, 양질의 RCCP 포장을 위해 골재입도의 Limit line을 준수해야할 것으로 사료된다.
3. PCA에서 제시한 RCCP 골재입도 Band는 ASTM C33을 기준으로 아스팔트 입도를 참고하였다. 그러나 RCCP의 시공현장에서 골재선정 시 정확한 Band를 만족시키는 것은 비효율적이므로 시공성과 재료적 측면에서 편의성을 위해 미립자를 제외한 골재 최대치수와 잔골재를 고려하였다. RCCP 골재입도 Band에서 제시한 2%~8%의 미립자 부분은 RCCP의 컨시스턴시-건조단위중량-강도에 대해 영향이 미미하므로, 골재선정 시 60번체 이하를 통과하는 미립자는 배제시켜도 우수한 품질의 RCCP를 확보할 것으로 판단된다.

따라서 RCCP 공법 적용 시 골재선정은 RCCP 골재

입도 Band 영역에 포함될 수 있도록 Limit line을 준수하되, 60번체 이하를 통과한 미립자에 대해서는 배제시켜도 우수한 품질의 포장을 시공할 수 있으며, 시공상 편의성과 경제성을 확보하여 효과적일 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 “온실가스 배출 최소화를 위한 친환경 포장도로(Eco-Road)” 연구단을 통하여 지원된 국토교통부(국토교통과학기술진흥원) 교통물류연구사업에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

BIBLIOGRAPHY

- ACI 325.10R-25, Report on Roller Compacted Concrete pavements
- ASTM C33 Standard Specification for Concrete Aggregate
- ASTM C1170 Standard Test Method for Determining Consistency and Density of Roller-Compacted Concrete Using a Vibrating Table.
- ASTM D1557, Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort.
- B. Killingsworth., 2014, Thinking Out The Box with Roller Compacted Concrete Pavement, International Symposium on Concrete Roads.
- Dale Harrington et al., 2010, Guide for Roller Compacted Concrete Pavements, National CP Tech Center.
- Farshid Vahedifard., Mahmoud Nili., Christopher L. Meehan., 2010, Assessing the effects of supplementary cementitious materials on the performance of low-cement roller compacted concrete pavement, *Construction and Building Materials*, Vol. 24, No. 12, pp. 2528~2535.
- Gregory E. Halsted., 2009, Roller-Compacted Concrete Pavements for Highways and Streets, Paper presented at Conference of Transportation Association of Canada Vancouver, British Columbia.
- Hamed. Jahi., 2014, Roller Compacted Concrete Pavements, *A Journal of Multidisciplinary Research*, vol. 3, No. 8, pp. 121~134.
- Ira Brotman., Michael Crist., John Gaul., 2007, Roller Compacted Concrete Pavement : Properties, Design, and Construction, *ASCE Geo - Denver*, Vol. 169, pp.1~10.
- Lee, C. H., Kim, Y. K., Kang, J. G., Park, C. W., and Lee, S. W., A Study on Construction Methods of Roller Compacted Concrete Pavement for Bike Roads, *Journal of the Korean Society of Road Engineers*, Vol. 13, No. 2 pp. 103~114.
- Lim. Y. I., 2009, Consistency and Mechanical Properties of Roller Compacted Concrete, University of ULSAN, Master Science of Engineering.
- S.Krishna Rao., P.Sarika., P.Sravana., T.ChandraSekhara Rao., 2014, Evaluation of Properties of Roller Compacted Concrete Pavement(RCCP), *International Journal of Education and Applied Research*, vol. 4, No. 2, pp.88~90.
- Ying-Kit Choi., Kenneth D. Hansen 2005, RCC/Soil-Cement:What's the Difference?, *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 17, No. 4, pp. 371~378.
- Wayne S. Adaska., 2006, Roller Compacted Concrete(RCC), ASTM International, Pennsylvania.
- W.R.Malisch., 1988, Roller Compacted Concrete Pavements(Watch for more use in highways and streets),¹*Concrete Construction*.