

포장용 롤러전압콘크리트의 다짐도와 압축강도의 상관관계 분석

정건우* · 송시훈** · 이승우***

Chung, Gun Woo*, Song, Si Hoon**, Lee, Seung Woo***

Analysis of Relationship Between Compressive Strength and Compaction Ratio of Roller-Compacted Concrete Pavement

ABSTRACT

Roller-Compacted Concrete Pavement (RCCP) is a type of pavement that shares conventional concrete pavement material characteristics and asphalt pavement construction characteristics. Even though RCCP is compacted in the same way and have similar aggregate gradation to asphalt pavements, its materials and structural performance properties are similar to those of conventional concrete pavement. With cement hydration and aggregate interlock, Roller-Compacted Concrete or RCC can provide strength properties equal to those of conventional concrete with low cement content. Therefore, compaction ratio of RCC can highly influence on its strength. In general, 95% of compaction ratio is required for proper strength development. RCC strength can be highly influenced by compaction energy which depends on compaction equipment and compaction method. Therefore, it is necessary to analyze the relationship between compressive strength and compaction ratio of RCC. RCCP specimens were produced at different compaction ratio by using different compaction methods and energies. The compaction ratio was defined by the ratio of the specimen's dry density and its maximum dry density. The maximum dry density was obtained from Modified Proctor test. 28 days compressive strength corresponding to each compaction ratio case was tested. Finally, the relationship between compressive strength and compaction ratio can be analyzed. For application of roller-compacted concrete in domestic construction site, the relationship is important for field compaction management.

Key words : Roller Compacted Concrete Pavement (RCCP), Compaction ratio, Compressive strength ratio

초록

롤러전압콘크리트포장 공법은 기존 시멘트 콘크리트 공법의 재료 특성 및 아스팔트 포장의 시공특성을 공유하는 포장 방식이다. 일반 시멘트 콘크리트 포장의 우수한 구조적 성능을 유지하면서, 아스팔트 시공 장비를 사용하여 간소한 시공절차로 경제성을 확보할 수 있다. 롤러전압콘크리트포장 공법은 수화반응과 롤러다짐에 의한 골재 맞물림 효과로 일반 시멘트 콘크리트 포장보다 적은 시멘트량을 사용하여도 충분한 강도를 발휘할 수 있다. 또한 일반 시멘트 콘크리트 포장과 동등한 강도 특성을 발휘할 수 있으며, 본 연구에서는 RCCP의 다짐도와 압축강도의 관계를 정량적으로 도출하고자 한다. 롤러전압콘크리트의 다짐에너지를 변화시키면서 다양한 다짐도를 갖는 시편을 제작하였다. 다짐도는 시편의 건조단위중량과 최대건조단위중량의 비로 정의하였으며, 다양한 다짐도로 성형된 시편의 28일 압축강도를 평가하였고, 다짐도에 따른 강도비의 관계를 도출하였다. 따라서 롤러전압콘크리트 공법의 국내 현장적용을 위한 다짐도에 따른 강도비의 중요성을 부각하여 현장 다짐도 관리에 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

검색어 : 롤러전압콘크리트포장, 다짐도, 강도비

* 정희원 · 강릉대학교 토목공학과 석사과정 (Gangneung-Wonju National University · wjdrjswkd@nate.com)

** 정희원 · 강릉대학교 토목공학과 석사과정 (Gangneung-Wonju National University · songsh0606@nate.com)

*** 종신회원 · 교신저자 · 강릉대학교 토목공학과 교수 (Corresponding Author · Gangneung-Wonju National University · swl@kangnung.ac.km)

Received October 26, 2015/ revised March 2, 2016/ accepted June 22, 2016

1. 서론

시멘트 콘크리트 포장은 중 차량에 대한 내구성이 크기 때문에 장기적인 사용이 가능한 장점이 있는 반면, 과도한 시멘트 사용에 따른 CO₂발생, 아스팔트 콘크리트 포장에 비해 늦은 시공속도, 양생에 따른 늦은 교통개방 등의 단점이 있다. 최근 들어 시멘트 콘크리트 포장의 장점을 살리면서도 시멘트의 사용량을 줄이고, 콘크리트 포장 고유의 우수한 성능을 확보하면서, 정량화된 아스팔트 시공 장비를 이용하여 간소한 시공절차로 경제성까지 확보할 수 있는 RCCP (Roller Compacted Concrete Pavement) 공법의 도입이 요구된다.

RCCP (Roller Compacted Concrete Pavement) 공법은 된 배합 콘크리트포장으로써 시멘트에 의한 수화반응과 더불어 롤러 다짐을 통한 내부 골재 맞물림 효과로 인해 우수한 구조적 성능을 확보할 수 있다(Dale Harrington, 2010). 또한 Fig. 1과 같이 RCCP는 내부 골재 맞물림 효과로 인해 내부 공극이 최소화 되고 분산되어 조밀한 기포간격 계수 및 수밀성이 증대되어, RCCP 내부는 수분에 의한 공극의 포화를 방지하고 동결로부터 발생하는 팽창압을 완화시켜 우수한 환경저항성을 확보 할 수 있다(Lee, Seung Woo, 2011). RCCP 공법은 정량화된 아스팔트 시공 장비를 사용하고, 시멘트 콘크리트 재료를 사용한 공법으로써, 아스팔트 콘크리트 포장의 장점인 신속한 시공속도, 간소한 시공절차, 조기교통개방의 이점을 확보하여 우수한 경제성을 지니고 있다(Wayne S. Adaska, 2006). 또한 RCCP 공법은 시멘트 콘크리트 포장의 우수한 구조적 성능을 확보함과 동시에 일반 시멘트 콘크리트 포장보다 상대적으로 적은 단위 시멘트량(일반 시멘트 콘크리트 포장의 15~30% 저감)을 사용하여 CO₂발생을 저감시켜서 친환경적이고 경제적인 공법이다(ACPA, 2014). RCCP 공법은 조밀한

내부 구조적 특성으로 시간이 지남에 따라 강성이 증대 되어, 20~25년 주기 정기유지보수를 하여 유지보수 비용을 절감 할 수 있다 (Public Works, 2014).

국외의 RCCP 공법 적용 사례의 경우 미국에서 RCCP (Roller Compacted Concrete Pavement) 공법을 1984년부터 도입하여 실용화 단계에 있으며 지속적인 연구와 시험시공이 진행되어 RCCP의 사용량이 증가하고 있다고 보고된 바 있다. 1984년부터 1990년까지 약 30여건의 RCCP 공법 시공이 이루어 졌으며, 포장두께 15~20cm 범위의 항공기 주기장, 공장부지 도로, 주차장, 농경로, 도심지 도로에 이르기 까지 다양한 장소에서 시공이 수행되고 있다(Paul, 1990). 또한 1984년부터 1990년까지의 RCCP 시공 프로젝트 검토 결과 RCCP 공법은 아스팔트 포장 보다 30%의 비용절감 효과를 확인하였고, RCCP 공법은 기존의 일반 시멘트 콘크리트 포장보다 20~30%의 비용 절감 효과를 확인하였다. 문헌 분석 결과 RCCP 공법을 적용한 두께 19cm, 23630yd²의 항공기 주기장 시공에서 yd²당 공사비 14.71\$가 소요 되었고, 같은 두께로 시공된 일반 시멘트 콘크리트 포장에서는 yd²당 공사비 21.78\$가 소비되어 RCCP 공법을 도입 하였을 때 33%의 공사비절감효과를 나타내었다고 보고된 바 있다(Ft. Benning, 1990). 이러한 RCCP의 시공 특성과 우수한 경제성으로 인하여 많은 시공사들의 관심을 받게 되었다. 1990년대 후반부터 2000년대 이르기 까지 미국의 '시멘트 및 콘크리트 산업 프로젝트'로 시작되어 유가 상승으로 인한 아스팔트 원가의 상승으로 실용성 있는 아스팔트 장비를 이용한 상대적으로 높은 강성에 따른 시공비 및 유지보수비 절감으로 가격경쟁력을 갖춘 RCCP 공법이 선호되었고, 이에 공공시장부와 민간시장부분에서 RCCP 공법의 사용량이 증가하였다 (Zollinger et al., 2013).

국내의 경우 이러한 국외 사례를 바탕으로 RCCP 공법을 도입하

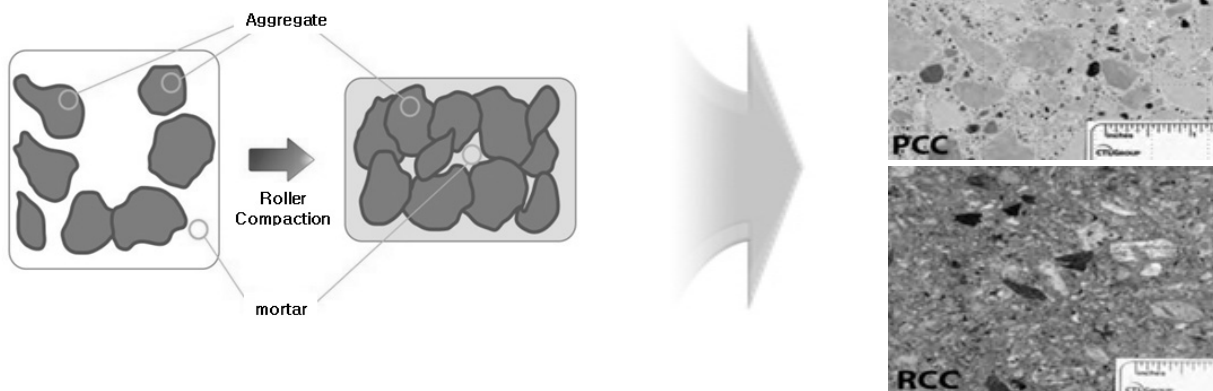


Fig. 1. Interaction between Internal Aggregates by Roller Compaction

기 위한 다양한 연구와 시험시공이 진행되고 있다. 2015년 강릉원주대학교에서는 ‘골재 입도분포가 도로포장용 롤러전압콘크리트에 미치는 영향 연구’를 통하여 보수적인 도로포장용 RCC의 골재 입도 밴드를 국내 실정에 맞는 RCCP의 기초 물성을 고려한 적정 골재 입도 밴드를 제시 하였고(Song et al., 2015), ‘롤러전압 콘크리트포장의 적정 다짐시험 방안 고찰’을 통하여 도로 포장용 RCC의 기초물성을 만족하기 위한 적정 다짐시험 방안을 제시하여 국내에 RCCP공법의 강도 발현을 위한 물성과 다짐의 중요성을 부각하여 연구가 진행되었다(Chung et al., 2015).

따라서 본 연구에서는 RCCP공법을 국내에 적용하기 위해 다양한 국내 골재 선택과 전기다짐시험기를 이용한 다짐에너지 변화에 따른 압축강도의 상관관계를 분석하고자 한다. RCCP는 영공기 곡선에 의한 이론적 건조단위중량이 증가함에 따라 최대건조단위중량을 확보한 압축강도 또한 증가한다고 보고된 바 있다(Schrader, 1992). 따라서 RCCP의 설계기준 압축강도를 확보하고 품질관리 하는데 있어 다짐도는 중요한 항목이다. RCCP의 진동 다짐에 용이한 워커빌리티와 최대건조단위중량을 도출하기 위해 다짐에너지의 영향을 받는다. 또한 다짐도는 압축강도, 휨강도, 장기거동 및 내구성에 많은 영향을 준다(Dale Harrington, 2010). PCA에서는 RCCP의 충분한 압축강도를 확보하기 위해 현장 RCCP의 건조단위중량은 실내시험을 통한 최대건조단위중량의 95%이상을 확보하여 현장 다짐도를 관리하여야 한다고 제시하고 있다(Schrader, 1992). 본 연구에서는 RCCP의 다짐도에 따른 압축강도의 변화를 고찰하기 위해 골재 최대입경을 19mm, 25mm 굵은 골재를 적용해가며, 다짐 에너지를 조절하여 다양한 다짐도에 따른 압축강도의 변화를 비교 분석하였으며, 이러한 다짐도와 압축강도의 상관관계는 RCCP공법의 현장 품질관리를 위한 기준으로 사용 될 수 있을 것으로 판단된다.

2. 연구전략 및 수행방법

2.1 연구전략

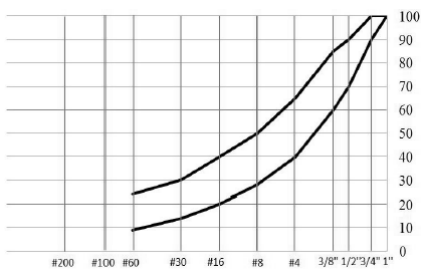
본 연구에서는 RCCP의 다짐도와 압축강도의 상관관계를 분석

하기 위해 다짐에너지에 따른 다양한 다짐방법으로 실내다짐시험과 현장다짐시험을 수행하였다. 실내 시험으로는 수정다짐시험을 통하여 최대건조단위중량을 확보하였고, 다짐에너지와 다짐방법에 따른 시험은 수직 진동을 주는 전기진동다짐기 시험과 수평 진동을 주는 Vebe test, 롤러 진동을 주는 롤러장비에 의한 시험시공을 수행 하였다. 또한 다짐시험에 따른 압축강도 공시체 및 코어 시편을 채취하여 건조단위중량 확인 및 28일 압축강도를 측정하여 다짐도에 따른 압축강도의 상관관계 분석을 실시하였다.

2.2 수행방법

2.2.1 RCCP의 배합설계

본 연구에서는 RCCP (Roller Compacted Concrete Pavement)의 다짐도와 압축강도의 상관관계를 분석하기 위해 단양 19mm 굵은 골재를 사용한 실내시험과 청원 25mm 굵은 골재를 사용한 시험시공을 수행하였다. RCCP공법을 적용함에 있어 포장표면 처리와 적정 강도를 유지하기 위해 굵은 골재 최대 치수는 16~19mm 범위로 제시하고 있다(Wayne S. Adaska, 2006). 그러나 국내 시멘트 콘크리트포장의 굵은 골재 최대치수 범위는 19~40mm이기 때문에, 현장에서 수급에 용이한 청원 25mm 굵은 골재를 선택하여 시험시공을 진행하였고, 굵은 골재 최대 치수에 따른 다짐도와 압축강도의 변화를 비교 분석하였다. 체가름시험을 통하여 RCCP의 적정 골재입도 밴드와 비교하여 RCCP의 특성을 만족 시키는 골재입도범위를 준수하여 골재 입도를 선정하였다(Song et al., 2015). 또한 단위 시멘트량은 일반적인 고속도로 콘크리트 포장에 적용하는 시멘트량 보다 20% 감소한 280kg/m³을 설정하였다. Fig. 2는 RCCP의 품질 평가 과정을 나타낸 것으로, 선행 시험으로 체가름시험을 통해 RCCP의 적정 골재입도 밴드(a)와 비교하여 RCCP의 특성을 만족 시키는 골재입도범위를 준수하였으며, 다짐시험으로는 수정다짐시험 ‘Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort’ (ASTM D1157)을 수행하여 최적함수비를 토대로 최대건조단위중량 확보(b)하였다. 또한 ‘Standard Test Methods



(a) RCCP Gradation Band (Song et al., 2015)



(b) Modified Compaction Test (ASTM D1157)



(c) Vebe Test (ASTM C1170)

Fig. 2. Quality Evaluation of RCC

Table 1. Mixture Proportions of RCC in This Study

Test	s/a (%)	Water content (%)	Water (kg)	Cement (kg)	Sand (kg)	19mm G_{max} (kg)	25mm G_{max} (kg)
19mm	58	6.06	151	280	1282	864	0
25mm	58	6.06	130	280	1265	0	871

For Determining Consistency and Density of Roller-Compacted Concrete Using a Vibrating Table' (ASTM C1170)를 통해 적정 Vebe time (30~75초)범위를 준수하여 시공성 및 컨시스턴시를 확인(c)하여 Table 1과 같이 RCCP 배합설계를 수행하여 시방 배합표를 산출하였다.

2.2.2 RCCP의 다짐도에 따른 압축강도 시편 제작

일반적으로 PCA에서 제시하고 있는 RCCP의 28일 압축강도 범위는 28-41Mpa이며, RCCP의 다짐도에 따른 충분한 강도발현을 위해 다짐에너지에 따라 전기진동다짐기를 이용한 압축강도 시편을 제작하였다. Fig. 3은 압축강도 시편 제작에 따른 다짐시험에 대해 나타낸 것으로, 실내실험에서는 RCCP의 골재 맞물림에 의한 충분한 강도발현을 위해 단양 19mm 굵은 골재를 사용하여 실내실험을 수행하였으며, (a) 'Standard Practice for Molding Roller-Compacted Concrete in Cylinder Molds Using a Vibrating Hammer' (ASTM C1435-99)방법에 의해 압축강도 시편을 제작하여 건조단위중량 및 압축강도를 확인하였다. 단 전기진동다짐기를 이용한 압축강도 시편을 제작할 때 3층 다짐을 실시하며, 각 층당 다짐시간이 20초를 넘지 않아야 한다(ASTM C1435-99). 시험시공은 국내 현장에서 굵은 골재 수급에 용이한 청원 25mm 굵은 골재를 사용하였으며, 전기진동다짐기를 이용한 압축강도 시편을 제작하여 건조단위중량 및 압축강도를 확인하였고, (b) 'Method of obtaining and drilled cores and sawed beams of concrete' (KS F 2422)를 통하여 코어 시편을 채취한 후 시편의 건조단위중량 및 압축강도를 확인하였다. Table 2은 Hilti (전기진동다짐기)의 제원 및 각 층별 다짐시간에 따른 다짐시간 분배율을 나타낸 것으로, 다양한 골재 치수와 다양한 다짐에너지 및 다짐시간 조절에 따른 다짐도의 변화에 따라 비교하기 위해 수행하였다.

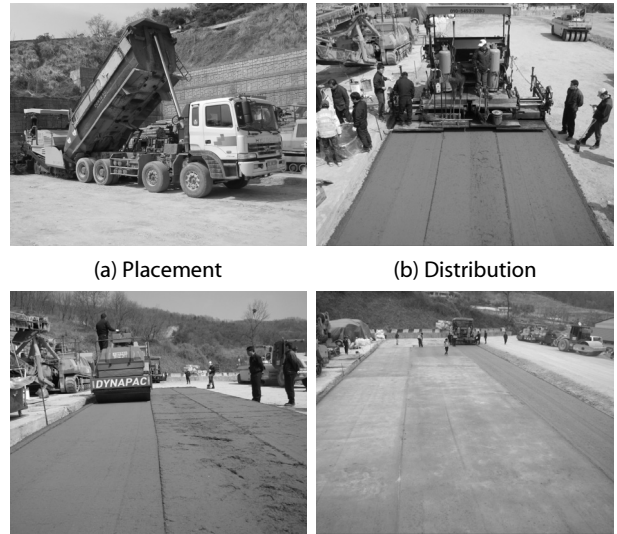
Table 2. Compaction Time for Each Layer of Cylinder Specimen According to ASTM C1435 and Compaction Effort of Each Study Case

Compaction Method	Single Impact Energy (J)	Each layer's Compaction Time (s)	Compaction Effort (%)
Vibrating Hammer (ASTM C1435-99)	19	10/17/10	100, 80, 60, 40, 20



(a) Vibrating Hammer Test (ASTM C1435-99) (b) Coring (KS F 2422)

Fig. 3. Compressive Strength's Specimens Production



(a) Placement (b) Distribution (c) Compaction (d) Curing

Fig. 4. Trial Construction Process of RCCP

Table 3. Compaction Method for Each Section of RCCP

Testing Location	Compaction		
	Tandem Roller (XS122)	Tire Roller (RT200)	Tandem Roller (CC421)
A-1	1 pass no vibrate + 3 passes vibrate	4 passes no vibrate	4 passes no vibrate
A-2	1 pass no vibrate + 3 passes vibrate	4 passes no vibrate	4 passes no vibrate
B-1	Finisher temper compaction (TCD 2013 L06) (RPM medium speed)		
B-2	Finisher temper compaction (TCD 2013 L06) (RPM lowest speed)		

Fig. 4은 RCCP 시험시공 과정을 나타낸 것으로, 배치 플랜트에서 배합하여, 운반-타설-다짐-양생 순으로 진행되었다. 또한 구역을 A, B 구역으로 나누었으며, A구역은 vibrating Tandem roller (XS122)-Tire roller (RT200)-Tandem roller (CC421)순으로 롤러진압을 주었으며, B구역은 피니셔장비의 자체 진동으로만 전압하여 수행하였다. 본 연구에서는 A-1, A-2, B-1, B-2에서의 코어시편을 각각 2개씩 채취하였으며, 건조단위중량 측정과 28일 압축강도를 측정하였다. Table 3은 시험시공의 각 구역별 다짐방법을 나타낸 것으로, A 구역의 경우 진동 탠덤 롤러와 타이어 롤러 탠덤 롤러 순으로 진동과 무진동 다짐을 통하여 수행하였으며, B 구역의 경우 피니셔 탬퍼를 이용한 진동 다짐을 수행하였다.

2.2.3 RCCP의 압축강도 시편의 압축강도 및 건조단위중량 측정 방법

압축강도 시편은 직경 150mm 높이 300mm의 압축강도 시편을 제작하였으며, 압축강도 측정 방법은 압축강도 시험법(KS F 2405)의 기준에 의해 수행하였다. 압축강도 시편의 건조단위중량 측정 방법은 그 방법이 따로 규격화 되어 있지 않으면 본 연구에서는 압축강도 시편의 건조단위중량을 확인하기 위하여 물의 비중을 이용한 치환 방법을 사용하여 건조단위중량을 확인하였다. 제작된 RCC의 압축강도 시편의 건조단위중량을 측정하기 위해 물의 비중을 이용한 치환방법을 사용하여 건조단위중량을 확인하였다. RCC의 압축강도 시편에는 1~1.5% 공극을 포함 할 수 있기 때문에 전체 시편에 대한 부피를 구하기 위해 시편을 랩핑 하여 실험을 수행하였다. 실험 준비를 위해 압축강도 시편을 충분히 침수 시킬 수 있는 특정한 용기를 준비하고, 두께 0.5mm의 공업용 랩으로 압축강도 시편을 랩핑 하였다. 랩핑은 시편을 밀봉 상태로 유지 시킬 수 있도록 하였으며, 공업용 랩이 차차하고 있는 부피는 압축강도 시편의 건조단위중량 계산 시 제제한 만큼 계산하여 그 부피만큼 제외 하였다. Fig. 5은 RCCP의 압축강도 시편의 건조단위중량 측정 과정을 나타내었으며, 수행한 압축강도 시편의 건조단위중량 실험 방법은 다음과 같다.

- 압축강도 시편 제작 24시간 후 시편을 탈형 하여, 일정한 무게가 될 때 까지 $105 \pm 5^\circ\text{C}$ 의 온도로 건조시키고, 1~3시간 동안 실온으로 냉각 시킨 다음 무게를 측정한다(a).
- 두께 0.05mm의 공업용 랩을 사용하여 시편을 감싼 후 무게를 측정한다(b).
- 시편을 넣을 수 있는 특정한 용기에 밀도 0.997 ± 0.002 의 물을 가득 채워 무게를 측정한다(c).
- 시편을 넣을 수 있는 특정한 용기에 랩핑한 압축강도 시편을 넣고 물을 가득 채워 무게를 측정한다(d).
- 압축강도 시편의 건조단위중량은 다음과 같이 계산 한다(단, E: 물의 비중).

$$\text{압축강도시편의 건조단위 중량(kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{압축강도 시편의 건조 무게}}{\text{압축강도 시편의 부피}} = \frac{A}{\frac{C - (D - B)}{E}}$$

3. RCCP의 다짐도와 압축강도의 상관관계 분석

3.1 RCCP의 다짐도와 압축강도 실험결과

RCCP의 다짐도와 압축강도의 상관관계를 분석하기 위해 전기 진동다짐기에 의해 제작한 압축강도 시편의 건조단위중량 및 28일 압축강도 결과와 롤러장비에 의해 다짐된 코어시편의 건조단위중량 및 28일 압축강도의 결과를 비교 분석 하였다. 각 실험 결과를 다짐도와 강도비로 표현하였으며, 그 결과는 Table 4와 같이 나타내었다. 시편은 각 건조 단위중량 당 4개의 시편을 제작 하였으며, 각각의 결과를 평균하여 나타내었다. 다짐에너지가 증가함에 따라 다짐도 및 강도비는 증가하는 것을 확인하였고, 수정다짐시험에 의한 최대건조단위중량은 단양 19mm 굵은 골재 일 때 2310.65kg/m^3 , 청원 25mm 굵은 골재일 때 2248.22kg/m^3 임을 확인하였다. 다짐도는 Eq. (1)과 같이 수정다짐시험의 최대건조단위중량에 따른 각 시험별 건조단위중량의 비로 표현하였으며, 강도비는 Eq. (2)와 같이 다짐도 100%의 압축강도에 따른 각 실험별 압축강도의 비로



(a) Dry Specimen's Weight (kg)



(b) Wrapped Dry Specimen's Weight (kg)



(c) Water's Weight (kg)



(d) Water's Weight (kg) + Wrapped Dry Specimen's Weight (kg)

Fig. 5. Dry density's Measurement Process of RCC Specimens

Table 4. Compaction Ratio and Compressive Strength Ratio of Various Cases of RCC Produced at Different Compaction Effort

Compaction Method	Dry Density (kg/m ³)		Compaction Ratio (%)	Compressive Strength (Mpa 28day)	Compressive Strength Ratio (%)
Vibrating Hammer (19mm)	2310		100	36	100
	2227		96	35	97
	2207		95	33	92
	2174		94	34	94
	2184		95	32	89
	2142		93	26	72
Vibrating Hammer (25mm)	2238		100	30	100
Field Coring (25mm)	A-1	2159	96	30	100
	A-2	2145	95	29	97
	B-1	1989	88	7	23
	B-2	1983	88	4	13

표현하였다. 각 실험별 다짐도와 압축 강도비 계산 과정을 Eqs. (1) and (2)와 같이 표현하였다.

다짐도(%):

$$\frac{\text{각 시험별 건조단위중량 (kg/m}^3\text{)}}{\text{수정 다짐시험 최대 건조단위중량 (kg/m}^3\text{)}} \times 100 \quad (1)$$

강도비(%):

$$\frac{\text{각 다짐도별 압축강도 (Mpa)}}{\text{다짐도 100\%에 대한 압축강도 (Mpa)}} \times 100 \quad (2)$$

3.2 RCCP의 다짐도에 따른 압축강도 상관관계 분석 결과

RCCP 공법의 다짐도와 압축강도 상관관계 분석을 위해 다짐에 너지에 따른 다짐방법별로 비교하였다. 동일 다짐도에서의 공극비가 일정하기 때문에 사용골재가 다르거나 상이한 다짐방법을 사용하더라도 다짐도에 따른 강도비의 변화를 비교 분석할 수 있었다. RCCP의 다짐도에 따른 강도비로 관계 그래프를 Fig. 6과 같이 도시화 할 수 있었다. RCCP 공법의 다짐도에 따른 압축강도의 상관관계 분석결과 다짐도 88~95% 구간은 다짐도에 따른 강도비의 증가율이 급격한 구간으로써 다짐이 느슨한 상태에서 다짐이 조밀한 상태로 발전하는 과정을 나타내는 구간이며, 골재 맞물림 효과에 따른 골재 내부의 공극이 줄어들면서 압축강도비가 급격하게 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 다짐도 95~100%구간은 다짐도에 따른 강도비의 증가율이 작은 구간으로써, 다짐도의 증가에 따라 강도비의 증가율이 낮은 것을 확인하였다. 이는 다짐도 88~95% 구간의 골재 내부의 줄어들 수 있는 공극량이 많기 때문에 강도비의 증가율이 급격한데 비해, 다짐도 94~100%구간은 다짐도 100%에 도달할 수 있는 골재 내부의 공극량이 적으므로 충분한

다짐도를 확보한 것으로 판단된다. 즉, 다짐도 95~100%구간에서는 RCCP의 강도 발현에 있어 충분한 다짐도를 확보한 상태로 판단되며, 다짐도 100%에 근접함에 따라 강도비가 증가하지만 이미 충분한 강도를 확보한 것으로 판단된다. 또한 다짐도 95%일 때 RCCP 설계기준강도 28Mpa이상 확보한 것을 확인하였으며, RCCP의 충분한 압축강도를 확보하기 위해 다짐도 95%이상을 확보하여 현장 다짐도를 관리해야 하는 내용에 부합 하는 것을 확인하였다(Wayne S. Adaska, 2006). 따라서 Eq. (3)에 의해 다짐도에 따른 강도비의 차이를 확인할 수 있으며, 이에 RCCP의 현장기준 다짐도 95% 이상 확보하였을 때, 현장 다짐도에 의한 강도비 변화의 차이로 배합 설계 기준을 선정하는 데 고려 될 수 있을 것으로 판단된다.

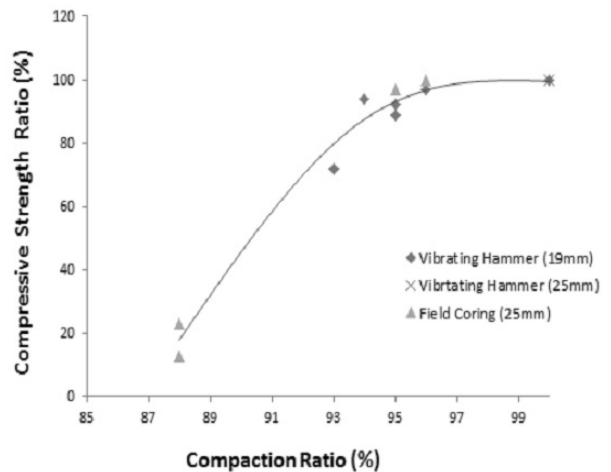


Fig. 6. Correlation between Compressive Strength Ratio and Compaction Ratio of RCC

$$Y = -0.7726x^2 + 152.11x - 7385.2 \quad (88 \leq x \leq 100) \quad (3)$$

(Y = 압축강도비(%), x = 다짐도(%))

4. 결론

본 연구에서는 RCCP (Roller Compacted Concrete Pavement)의 다짐도에 따른 압축강도의 변화를 분석하기 위해 골채 치수별, 다짐에너지에 따른 다짐장비 및 다짐방법에 따라 다양한 조건에서 비교 분석을 실시하였으며 주요 결론은 다음과 같다.

- (1) 본 연구에서는 다양한 다짐에너지에 따른 다짐장비 및 다짐방법으로 RCCP의 다짐도와 강도비의 상관관계를 분석하였으며, 동일 다짐도에서는 공극비가 일정하기 때문에 사용골재 치수가 다르거나 상이한 다짐방법을 사용하더라도 RCCP의 다짐도에 따른 압축강도의 변화를 비교할 수 있었다.
- (2) RCCP의 다짐도가 증가할수록 강도비는 비선형적으로 증가하는 것을 확인할 수 있었으며, RCCP의 다짐도 95% 이상을 확보하였을 때 충분한 압축강도를 확보할 수 있는 조건에 충족할 수 있을 것으로 판단된다.
- (3) 따라서 RCCP공법을 국내 현장에 적용하여 품질 관리 하는데 있어 다짐도 95%이상 확보해야 하며, 충분한 다짐에너지를 발휘할 수 있는 다짐 장비를 선정하였을 때, 우수한 품질의 RCC를 확보할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단-지역혁신창의 인력사업의 연구비지원(No.2014H1C1A1067086)에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

References

- ACI 325.10R, Report on Roller Compacted Concrete Pavements. ACPA Guide Specification (2014). "Roller compacted concrete pavements." ver. 1. 2, September 4.
- ASTM C1170 Standard Test Method For Determining Consistency and Density of Roller-Compacted Concrete Using a Vibrating Table.
- ASTM C1435-99 Standard Practice for Molding Roller-Compacted Concrete in Cylinder Molds Using a Vibrating Hammer.
- ASTM D1157 Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort.
- Chung, G. W. and Lee, S. W. (2015). "The optimum compaction test of roller compacted concrete pavement." *Int. J. Highw. Eng.* Vol. 17, No. 3, pp. 107-122 (in Korean).
- Dale Harrington, P. E. (2010). Snyder and Associates, Inc, *Guide For Roller-Compacted Concrete Pavements*, August. PCA.
- Killingsworth, B. (2014). "Thinking out the box with roller compacted concrete pavement." *International Symposium on Concrete Roads*.
- Krishna Rao, S., Sravana, P. and ChandraSekhara Rao, T. (2014). "Evaluation of properties of roller compacted concrete pavement (RCCP)." *International Journal of Education and Applied Research*, Vol. 4, No. 2, pp. 88-90.
- KS F2422, Method of obtaining and drilled cores and sawed beams of concrete (in Korean).
- Lee, C. H., Kim, J. K., Kang, J. G., Park, C. W. and Lee, S. W. (2011). "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 (in Korean).
- Paul E. Mueller. (1990). "Roller compacted concrete pavement." *Arizona Department of Transportation*, FHWA-AZ88-832.
- Schrader, E. K. (1992). "Roller-compacted concrete for dams-state of the art." Presentation at the International Conference on Advances in Concrete Technology, Athens, Greece.
- Song, S. H. and Lee, S. W. A. (2015). "Study on the gradation effect of the property of roller compacted concrete pavement." *Int. J. Highw. Eng.*, Vol. 17, No. 3, pp. 49-58 (in Korean).
- Watne S. Adaska, Roller-Compacted Concrete (RCC) (2006). PCA R&D Serial NO. 2975.