

# 친환경 자전거도로를 위한 롤러 다짐 콘크리트 포장의 최적 배합 및 다짐 특성에 관한 연구

A Study on the Optimum Mix Design and Compaction of Roller Compacted  
Concrete Pavement for Friendly Environment Bikeway

이창호\* · 이승우\*\* · 김기현\*\*\* · 강재규\*\*\*\* · 박철우\*\*\*\*\*

Lee, Chang Ho · Lee, Seung Woo · Kim, Ki heun · Kang, Jae Gyu · Park, Cheol Woo

## 1. 서 론

현대 사회는 산업화, 정보화의 발달로 인하여 매우 급속하게 변화해 왔다. 이러한 변화는 사회 구성원들의 활동범위를 확장하였으며, 단시간 내에 광범위한 공간을 이동하기 위한 수단으로써 자동차의 수요는 폭발적으로 증가하였다. 자동차는 이동의 신속함과 편리함을 제공하지만 도심지 내 교통체증의 유발과 대기오염, 에너지 자원 고갈 및 인명피해 등 여러 가지 문제들을 야기 시키고 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위한 수단 중 하나가 자전거의 이용이다. 자동차의 대체 이동수단으로써 자전거의 이용은 에너지 소모 및 환경오염을 발생시키지 않는 친환경적인 교통수단으로 도시 내의 교통체증현상도 감소시킬 수 있다.

정부는 자전거의 이용을 장려하기 위해 저탄소 녹색성장의 일환으로써 전국 자전거도로 네트워크 구축을 위하여 총 연장 3,114km의 자전거 도로 건설을 추진하고 있으며, 각 지자체들도 자전거도로 확장 계획을 검토 중에 있다. 하지만 자전거도로의 확충은 오래전부터 이루어지고 있으나 이용도가 높은 도심지 위주로 추진되었으며, 시설투자가 다소 미흡하고 연계성이 부족하여 그 이용도가 매우 낮은 실정이다. 현재 국내에서 신설되어지고 있는 자전거도로는 반강성 포장, 유색포장, 흙 포장, 투수성 포장등 다양한 형식의 포장이 시공되어지고 있다. 하지만 이들 포장은 일반 콘크리트, 아스팔트 콘크리트 포장에 비해 시공비용이 높아 공원, 주택 단지 내등 일부 구간에서만 시공이 이루어지고 있다. 따라서 지역 간의 연계와 자전거도로망의 구축을 위해 경제성이 뛰어나고, 친환경성을 지닌 자전거도로포장 형식이 필요하다. 따라서 본 연구는 경제성과 내구성 및 친환경성을 지닌 자전거도로포장형식이 필요하며, 이의 개발을 위해 롤러 다짐 콘크리트 공법을 활용하고자 한다.

## 2. 롤러 다짐 콘크리트 공법의 활용 가능성

롤러 다짐 콘크리트는 콘크리트 혼합물을 진동 다짐을 이용하여 포장하는 공법으로써 린 콘크리트 기층과 유사한 방법으로 시공되어지는 공법이다. 이 공법은 아스팔트 장비를 활용하며, 빠른 시공속도와 교통개방성을 지니고 있으며 별도의 표면처리를 하지 않고 평탄성을 얻을 수 있어 일반 콘크리트 포장 공법에 비해 높은 시공성과 경제성을 지니고 있다. 또한 일반콘크리트 포장과 유사한 시멘트 량을 사용할 때 보다 높은

\* 정희원 · 강릉원주대학교 토목공학과 석사과정(E-mail : shaepari@nate.com)

\*\* 정희원 · 강릉원주대학교 토목공학과 부교수·공학박사(E-mail : swl@gwnu.ac.kr)

\*\*\* 정희원 · (주) 삼우아이엠씨 대표이사(E-mail : kiheun@empal.com)

\*\*\*\* 정희원 · (주) 삼우아이엠씨 공사팀 이사(E-mail : kjq8317@samwoomc.com)

\*\*\*\*\* 정희원 · 강원대학교 건설공학부 토목공학과 조교수·공학박사(E-mail : tigerpark@kangwon.ac.kr)

강도가 발현하며, 국외에서는 이 같은 특징을 활용하여 경제성을 높이고자 플라이애시, 포졸란 재료 등을 함께 사용한다. 환경하중에 대해서 적은 건조수축량과 높은 수밀성을 지니고 있다. 즉, 롤러 다짐 콘크리트공법은 내구성과 경제적 측면에서 우수하다. 또한 본 연구에서는 친환경성을 지닌 자전거도로포장공법의 개발을 위해 CO<sup>2</sup>의 발생량을 저감을 이루고자한다. 이와 같은 목표를 이루기 위해 시멘트량의 저감이 필요하며 기준강도를 만족하면서 가능한 사용 시멘트량의 절감할 필요가 있다. 따라서 유사 시멘트량에서 보다 높은 압축강도를 발현하는 롤러 다짐 콘크리트 공법을 활용하여 보다 많은 량의 시멘트량을 저감시키는 것이 효과적이다. 아래 표 1은 롤러 다짐 콘크리트 공법의 일반적인 특징을 나타낸 것이다.



그림 1. 롤러 다짐 콘크리트 포장공법

표 1. 롤러 다짐 콘크리트의 특징(1,5)

구 분	특 징
배 합	일반콘크리트 포장에 사용되어지는 시멘트량과 유사 적은 단위수량사용(전체 혼합물의 4.6~5.6%) No. 200체의 미세립자 함유량이 누적 통과율 0~15% 허용
물리특성	일반콘크리트포장과 유사한 탄성계수와 휨강도를 지님 같은 시멘트량에서 일반콘크리트보다 높은 압축강도 발현 낮은 공기량(0.5~3%)
시공특성	아스팔트 포장장비 활용 거푸집을 사용하지 않음 롤러에 의한 다짐 시공, 별도의 표면처리를 하지 않음. 콘크리트 포장에 비해 빠른 시공 및 조기개통 가능
단 점	일반 콘크리트 포장보다 평탄성이 좋지 않음. 표면의 마모저항이 낮음.

### 3. 실내 실험

#### 3.1 기초 배합비

초기의 기본적인 배합비를 도출하기 위해 도로공사의 부채도로연구의 배합비 사용하여 선행 실험을 수행하였다. 공시체의 제작은 2.5kg무게의 낙하 높이 30.5cm의 다짐 램머를 사용하였으며 2층의 40회 다짐으로 제작하였다. 선행 실험 결과 다소 높은 압축강도의 발현으로 단위 시멘트량을 절감하고 보다 원활한 다짐 수행을 위해 단위수량을 증가시켰다. 표 2와 표 3은 본 연구에서 사용되어진 재료의 비중과 선행실험을 통해 설정한 기초 배합비이다.

표 2. 재료 비중

사용 재료	시멘트	잔골재	굵은 골재	플라이 애시
비중	3.15	2.63	2.62	2.2

표 3. 기초 배합비

골재 최대치수 (mm)	물 /시멘트비 (%)	잔골재율 (%)	시멘트 kg/m <sup>3</sup>	물 kg/m <sup>3</sup>	골재		플라이애시 kg/m <sup>3</sup>	혼화제 kg/m <sup>3</sup>
					굵은골재 kg/m <sup>3</sup>	잔골재 kg/m <sup>3</sup>		
25	56	44	250	140	1145	903	0	0

### 3.2 다짐 실험

롤러 콘크리트 포장에서 다짐은 물리적 특성에 가장 큰 영향을 미치는 인자 중 하나이다. 그러므로 적정 배합비를 위한 실험을 수행하기 전 충분한 강도발현을 위한 적정 다짐율을 선정할 필요가 있다. 본 연구에서 적정 다짐율의 선정을 위해 다짐율에 따른 압축강도 발현 특성을 확인하고자 수행하였다.

실험에서 공시체의 크기는  $\varnothing 10 \times 20\text{cm}$ 이며 제작은 램머에 의한 다짐과 ASTM C 1170의 진동다짐대를 이용한 공시체 제작방법을 이용하였다. 식 1을 이용한 다짐에너지를 산정하여 다짐율에 차등화를 이루고자 하였다.

$$E = \frac{S \cdot n \cdot W \cdot H}{V} \text{ (kg} \cdot \text{cm/cm}^3\text{)} \quad \text{식(1)}$$

여기서,  $E$  = 다짐에너지 ( $\text{kg} \cdot \text{cm/cm}^3$ )       $S$  = 각층의 다짐횟수  
 $n$  = 층 수       $W$  = 램머무게 ( $\text{kg}$ )  
 $H$  = 낙하높이 ( $\text{cm}$ )       $V$  = 몰드부피 ( $\text{cm}^3$ )

흙에서의 다짐과 달리 롤러 다짐 콘크리트 포장에서의 다짐율은 식 2와 같이 산정하며 이론최대밀도는  $1\text{m}^3$ 의 체적에서 공기량을 제외한 모든 재료의 합으로 구할 수 있다.

$$\text{다짐율}(\%) = \frac{\text{공시체의 밀도}}{\text{이론 최대 밀도}} \times 100 \quad \text{식(2)}$$

공시체의 밀도는 콘크리트 혼합물과 몰드의 무게를 측정 후 몰드가 무게를 제하여 산정하였으며, 식 3을 이용하여 압축강도 측정 시의 건조 단위 밀도를 산정하였다.

$$r_d = \frac{r_t}{1 + \frac{w}{100}} \quad \text{식(3)}$$

여기서,  $r_d$ 는 건조단위 중량,  $r_t$  습윤단위중량,  $w$  함수비이다. 함수비는 콘크리트 혼합물에서 물과 나머지 재료의 비이다.

그림 2는 압축강도와 다짐율에 대한 그래프이다. 그림 2에서 보이는 것과 같이 95% 이하의 다짐율의 28일 압축강도가 다짐율 97% 이상에서 7일 압축강도 보다 낮은 것을 알 수 있다. 따라서 적정 압축강도의 발현

을 위해 97% 이상의 다짐율의 확보가 필요할 것으로 판단된다.

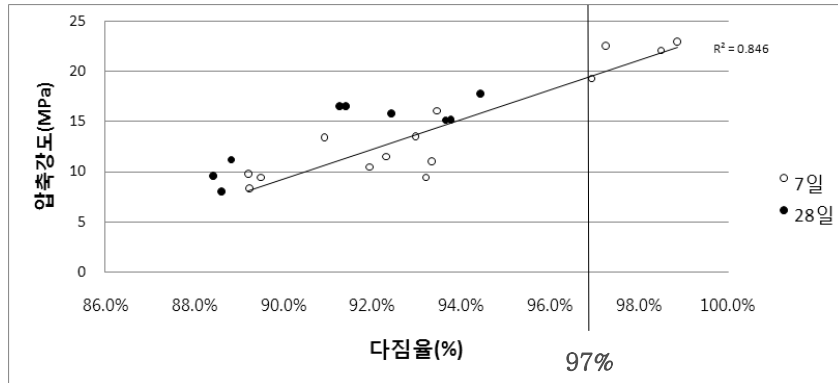


그림 2. 다짐율 - 압축강도 그래프

### 3.3 적정 배합비 선정 실험

자전거도로의 시설기준 및 관리지침(국토해양부, 2009)에 의하면 콘크리트 자전거 도로포장의 28일 압축강도의 기준은 28MPa이다. 또한 친환경성을 고려하여 단위 시멘트량의 저감이 필요하고, 충분한 내구성을 확보하여야 한다. 따라서 이와 같은 조건들을 충족시키는 적정 배합비의 선정이다.

본 실험은 그림 3의 배합물과 같이 물기가 거의 없는 혼합물로 다짐을 위해 그림 4에서와 같이 압축강도 공시체의 제작은 ASTM C 1170에 명시되어 있는 진동대에 의한 다짐을 실시하였다. ASTM C 1170에 규정된 공시체 제작방법에서 공시체 크기는 일반적인  $\varnothing 15 \times 30 \text{cm}$ 이며, 다짐은 10kg의 상재하중을 재하 후 3층으로 진동 다짐을 실시하여 공시체를 제작한다. 이때의 진동시간은 상재추의 측면으로 모르타르가 스며 나올 때 까지 수행하였다. 양생은 공시체의 탈영 후 17°C의 항온에서 양생을 수행하였다.

적정 배합비의 도출을 위해 기초 배합비를 토대로 단위 시멘트량과 플라이 애시 량을 결정하기 위해 표 4와 같이 총 4개의 배합을 수행하였다. 또한 단위수량에 따른 영향을 확인하기 위해 시멘트  $200 \text{kg/m}^3$  - 플라이 애시  $50 \text{kg/m}^3$ 의 배합을 단위수량  $100 \text{kg/m}^3$ ,  $120 \text{kg/m}^3$ ,  $140 \text{kg/m}^3$ 으로 변화하여 압축강도를 측정하였다.

표 4. 적정 배합비 선정을 위한 시멘트량과 플라이애시량

배합종류	시멘트 ( $\text{kg/m}^3$ )	플라이애시 ( $\text{kg/m}^3$ )
C250	250	0
C200-F50	200	50
C200	200	0
C160-F40	160	40

단위수량에 대한 실험에서 단위수량  $100 \text{kg/m}^3$ 의 배합의 압축강도 발현은 불규칙하게 발현하였다. 이는 적은 단위수량에 의한 골재분리의 발생과 이로 인해 공시체 제작 시 다짐이 불량하게 이루어 졌기 때문이다. 그림 5와 그림 6는 단위수량  $100 \text{kg/m}^3$ 과  $120 \text{kg/m}^3$ 의 제작 공시체이다. 그림 5에서와 같이 단위수량  $100 \text{kg/m}^3$ 의 배합 공시체는 다짐이 불량하게 이루어진 것을 볼 수이다. 본 실험에서는 실험의 오차로서 판단하여 단위수량  $100 \text{kg/m}^3$ 의 실험결과는 제외하였다.

그림 7에서 보이는 것과 같이 최대 압축강도는 28일 시멘트량  $250 \text{kg/m}^3$ 에서 26MPa로 목표 기준인 28MPa보다 2MPa 적었다. 반면 그림 8의 단위수량에 따른 압축강도 발현에서 단위수량이  $120 \text{kg/m}^3$ 일 때 28

일 압축강도가 29MPa를 보인다. 즉, 적은 단위수량의 사용시 높은 압축강도의 발현을 보이나, 너무 적은 단위수량은 사용은 골재분리와 같은 문제를 발생시키므로 적정 단위수량의 사용이 필요하다. 본 연구에서는 이와 같은 특성을 고려하여 적정 배합비 도출을 위한 현장다짐 모사 실험에서 실내실험에서 가장 높은 강도발현을 보인 120kg/m<sup>3</sup>의 단위수량을 일률적으로 사용하였다.

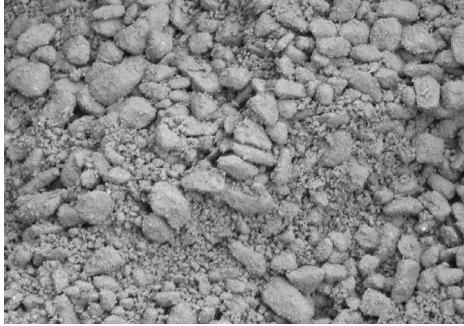


그림 3. 배합 혼합물 사진



그림 4. 공시체 제작 모습

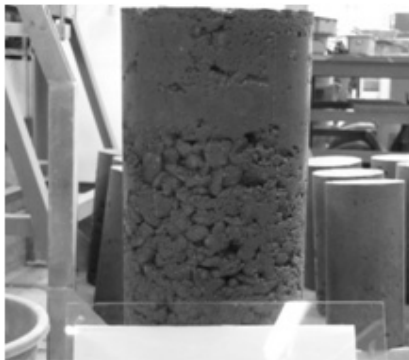


그림 5. 단위수량 100kg/m<sup>3</sup>의 배합 공시체

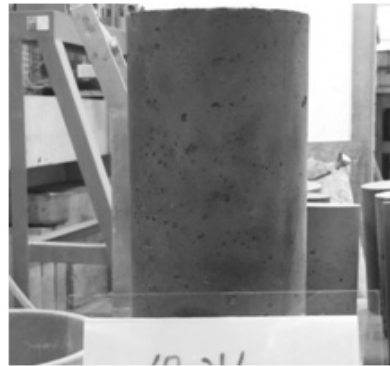


그림 6. 단위수량 kg/m<sup>3</sup>의 배합 공시체

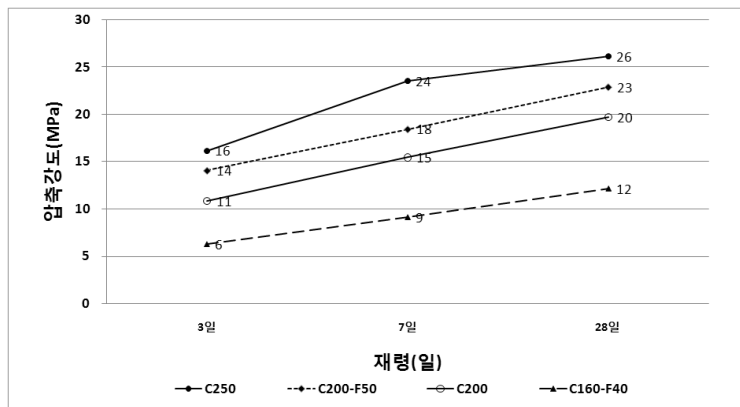


그림 7. 배합별 압축강도 그래프

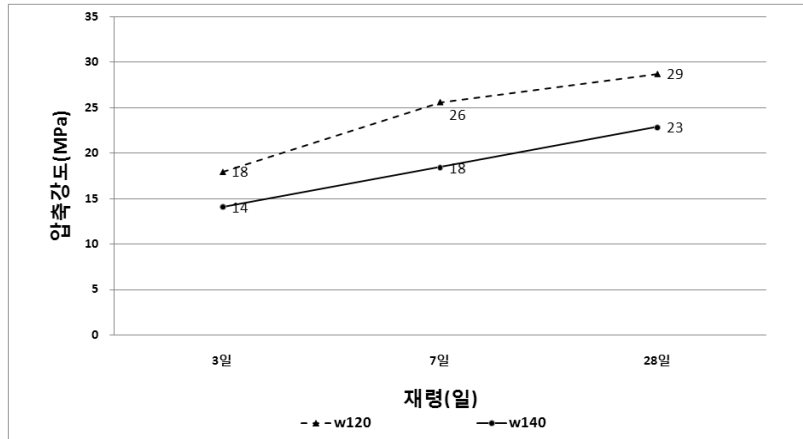


그림 8. 단위수량 별 압축강도 그래프

#### 4. 현장 다짐 모사 실험

현장에서는 진동롤러를 사용하여 다짐을 실시하므로 실내실험에서의 다짐과는 차이가 있다. 따라서 실질적인 다짐을 묘사하여 실내실험에서 이루어진 결과를 토대로하여 적정배합비를 도출하고자 수행하였다.

실험에 사용되어진 공시체는 70×50×20cm를 사용하였으며, 다짐횟수는 왕복을 1회로 하여 5회, 10회 15회 20회를 수행하였다. 표 5는 현장다짐모사실험에 사용되어진 배합비이다. 사용되어진 롤러는 총무게 700kg, 진동수 3300VPM, 전폭 64cm의 소형롤러를 사용하였다. 양생은 배합 후 21일동안 3~18℃의 온도에서 대기양생을 실시하였으며, 21일 후 코어를 채취하여 20℃의 항온양생을 수행하였다. 그림 9는 현장 다짐 모사 실험의 수행 방법을 나타낸 그림이다.

압축강도의 측정은 28일과 56일의 압축강도를 측정하였다. 이때 코어를 통한 압축강도는 채취된 코어의 길이에 따라 다르므로 KS F 2422에 명시되어 있는 코어의 길이에 대한 보정을 적용하였다. 표 6은 코어 길이에 대한 압축강도 보정계수의 표이다.

그림 10에서 보이는 것과 같이 다짐횟수에 대한 차이는 없으며, 오히려 20회일 경우 강도가 적은 것도 볼 수 있다. 28일의 압축강도는 시멘트 250kg/m<sup>3</sup>-플라이애시63kg/m<sup>3</sup>과 시멘트 250kg/m<sup>3</sup>, 시멘트 200kg/m<sup>3</sup>-플라이애시 50kg/m<sup>3</sup>의 배합이 기준 강도를 충족시켰으며, 56일의 강도는 모두 28MPa를 상회하는 것을 볼 수 있다. 본 연구는

다짐횟수에 대한 결과는 10회와 15회의 다짐횟수에서 압축강도의 차이 없으나, 5회와 10에서의 강도의 변화가 있었다.

표 5. 현장다짐 모사실험 배합비

골재 최대치수 (mm)	물 /시멘트비 (%)	잔골재율 (%)	시멘트 kg/m <sup>3</sup>	물 kg/m <sup>3</sup>	골재		플라이애시 kg/m <sup>3</sup>	혼화제 kg/m <sup>3</sup>
					굵은골재 kg/m <sup>3</sup>	잔골재 kg/m <sup>3</sup>		
25	48	44	188	120	1162	917	62	0
25	60	44	160	120	1190	939	40	0
25	38	44	250	120	1133	893	63	0
25	48	44	250	120	1175	926	0	0
25	48	44	200	120	1165	919	50	0
25	60	44	200	120	1198	945	0	0

표 6. 코어 길이에 대한 압축강도 보정계수(KS F 2422)

높이와 지름의 비(h/d)	보정계수	비 고
2	1	h/d가 이 표에 나타내는 값의 중간에 있을 경우 보정계수는 보간법으로 구한다.
1.75	0.98	
1.5	0.96	
1.25	0.93	
1	0.89	

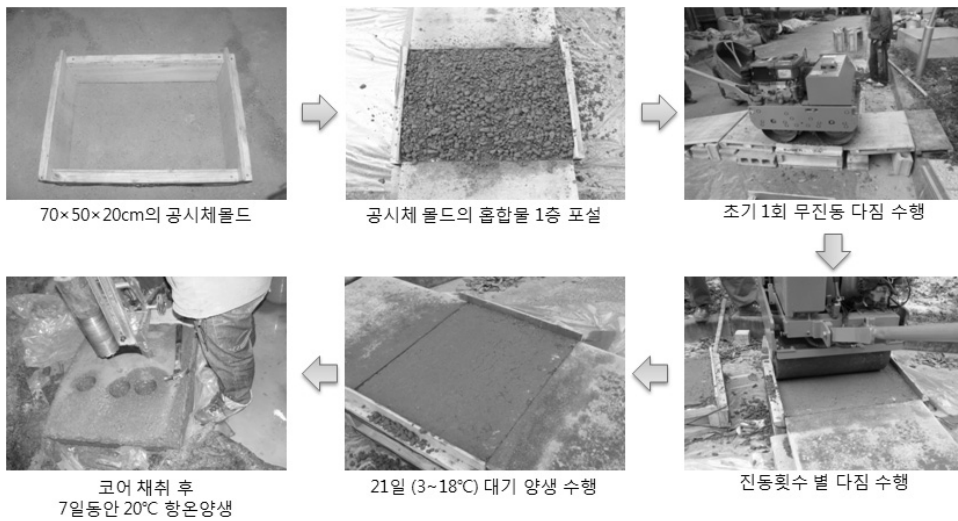


그림 9. 현장 다짐 모사 실험 방법

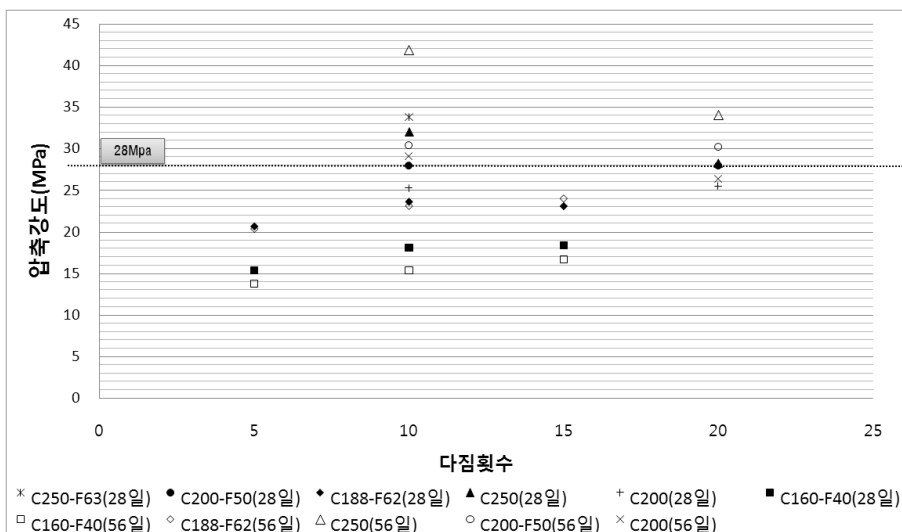


그림 10. 현장 다짐 모사 실험 결과

## 5. 결 론

- 1) 현장다짐모사실험에서 시멘트량 250kg/m<sup>3</sup>- 플라이애시 63kg/m<sup>3</sup>, 시멘트량 250kg/m<sup>3</sup>, 시멘트량 200kg/m<sup>3</sup> - 플라이애시 50kg/m<sup>3</sup>의 3가지 배합은 기준강도를 만족하는 배합비였으며, 이 중 보다 적은 량의 시멘트와 플라이애시를 사용하는 시멘트량 200kg/m<sup>3</sup> - 플라이애시 50kg/m<sup>3</sup> 배합을 적정 배합비로 선정하였다.

표 7. 적정 배합비

골재 최대치수 (mm)	물 /시멘트비 (%)	잔골재율 (%)	시멘트 kg/m <sup>3</sup>	물 kg/m <sup>3</sup>	골재		플라이애시 kg/m <sup>3</sup>	혼화제 kg/m <sup>3</sup>
					굵은골재 kg/m <sup>3</sup>	잔골재 kg/m <sup>3</sup>		
25	48	44	200	120	1165	919	50	0

선정된 배합비는 일반콘크리트 포장의 사용시멘트보다 약 100~150kg/m<sup>3</sup>을 저감하였으며, 플라이애시의 사용을 통하여 장기 내구성을 확보할 것으로 사료된다.

- 2) 현장 다짐 모사 실험을 수행에서 다짐횟수에 대한 강도발현은 왕복 10회 이상에서 변화가 없거나 차이가 적은 것을 알수있다. 따라서 소형 롤러에 의한 적정 다짐횟수는 왕복 10회이다.
- 3) 자전거도로포장의 내구성은 교통량 및 교통하중 보다 기후 및 지형적인 환경하중의 영향에 의해 좌우된다. 따라서 추후연구를 통하여 동결융해저항성, 제설제에 대한 저항성 등 환경하중에 대한 저항성의 평가를 수행해야한다.

## 감사의 글

본 과제(결과물)는 교육과학기술부 지식경제부의 출연금으로 수행한 산학협력중심대학육성사업의 연구결과입니다.

## 참고 문헌

1. 오병환, 도덕현 (1997) “기계화 경작로 확포장 시공을 위한 롤러 다짐 콘크리트 포장공법의 개발연구”, 최종 보고서
2. 한국도로공사 도로연구소(1994), “로울러전압 콘크리트 포장에 대한 실험적 연구”, 시멘트 콘크리트 포장의 유지보수 체제에 대한 연구, 부록 A
3. 박철우, 윤경우, 이승우, 김기현(2009) “친환경 자전거도로를 위한 로울러 전압 콘크리트 포장 개발을 위한 기초 연구” 도로학회 2009 학술대회 논문집 97~100p
4. 한국도로공사 도로연구소(1996), “조기교통개방 콘크리트 포장공법에 대한 실험적 연구”, 실용화 연구보고서, 5~31p
5. Piere Gauthier, Jacques Marchand(2005) “Design and Construction of Roller Compacted Concrete Pavements in Quebec”, The Centre de recherche interuniversitaire sur le béton at Université Laval
6. American Concrete Institute(1995), “State-of-the-Art Report on Roller-Compacted Concrete Pavements”, Report 325R-95