

# 롤러 다짐 콘크리트 포장(RCCP)기술의 특성과 활용

오 병 환

(서울대학교 공과대학 토목공학과 교수)

## 1. 서 론

도로는 우리 인간생활을 풍요롭게 할 뿐만 아니라, 산업발전에 원동력이 되는 기간시설물이다. 지금까지 도로포장은 주로 콘크리트포장과 아스팔트포장에 의해 이루어져 왔다. 콘크리트포장은 콘크리트구조물의 시공에서와 같이 일반적인 방법에 의해 시공하는 것이 보통이다. 최근 들어 신공법으로 소위 롤러 다짐 콘크리트(roller compacted concrete)포장 공법(RCCP)이 탄생하였으며 포장분야의 신기술로 인정되고 있다. 비교적 최근에 개발된 이 롤러 다짐 콘크리트 포장(roller compacted concrete pavement)공법이 짧은 기간동안에 재료와 시공기술면에서 많은 발전을 이루고 있다.

포장분야에서 다진 soil-cement의 사용은 1935년부터 시작되었다. 사질토(sandy soil) 대신 상대적으로 작은 함량의 시멘트와 쇄석을 이용하여 도로 기층을 안정화하는 공법으로 시멘트처리기층(cement-treated base : CTB)의 개념이 도입되었다.

롤러 다짐 콘크리트 포장의 표면조도는 고속주행용 도로에 부적합한 단점이 있고, 이를 개선하려는 기술적 노력이 경주되고 있다. 따라

서 현재까지 적용된 롤러 다짐 콘크리트의 포장은 단위시멘트량이 크고, 추가의 표면처리가 필요하지 않을 만큼 충분한 압축강도와 휨강도를 가진다는 점에서 기존의 soil-cement 기층과 시멘트처리 기층과는 대별된다. 롤러 다짐 콘크리트 포장은 슬럼프가 없는 콘크리트를 진동다짐하여 시공된다. 이러한 롤러 다짐 콘크리트는 일반적으로 적용되는 콘크리트보다 높은 강도를 가지며, 경화된 롤러 다짐 콘크리트는  $400\text{kg}/\text{cm}^2$  이상의 압축강도와  $43\text{kg}/\text{cm}^2$  이상의 휨강도를 발휘한다. 실제 미국에서 적용한 롤러 다짐 콘크리트의 재령 90일 압축강도가  $690\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 높은 강도특성을 보인 예가 있다. 그러나 롤러 다짐 콘크리트 포장은 화물차량용도로, 비행기 주차시설, 컨테이너 부두 및 석탄 저장고와 같이 큰 하중을 부담하는 저속용 포장에 집중되고 있다.

본 소고는 외국의 롤러 다짐 콘크리트 포장의 재료 및 시공특성 등의 전반적인 기술을 고찰하고 소개하고자 한다.

## 2. 롤러 다짐 콘크리트의 재료 및 배합특성

(1) 시멘트 및 포졸란

포장용 롤러 다짐 콘크리트의 결합재는 보통 포트랜드 시멘트만을 사용하기도 한다. 시멘트는 수화반응과정에서 발생하는 열응력을 줄일 목적으로 수화열 발생량이 적은 시멘트를 사용하는 것이 유리하다.

롤러 다짐 콘크리트의 배합은 단위시멘트량과 단위수량이 일반적인 콘크리트와는 판이하다. 그림 1은 보통 콘크리트, 롤러 다짐 콘크리트와 시멘트처리기층의 배합특성을 비교한 것으로, 롤러 다짐 콘크리트의 단위시멘트량은 시멘트처리기층의 2배 이상이고 보통 콘크리트 포장의 단위시멘트량과 유사하다.

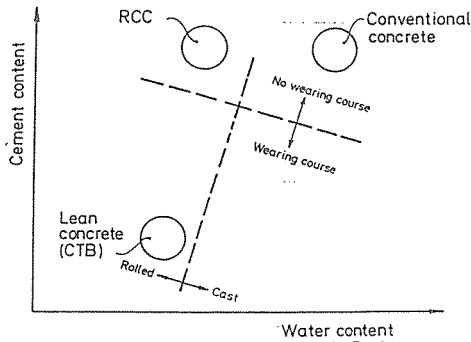


그림 1. 롤러 다짐 콘크리트의 배합특성

또한, 롤러 다짐 콘크리트의 결합재의 종류와 그 적정량을 결정하는 연구가 진행되고 있다. 이러한 연구는 주로 실리카흙과 플라이애쉬의 적용성에 대한 검토차원에서 이루어지고 있다. 결합재의 적용성에 관한 연구결과는 그림 2에 보여주고 있고, 이를 요약하면 다음과 같다. 그림 2에서 채택한 샘플은 모두 98% 이상 다짐 콘크리트로 단위수량은 콘크리트 중량비로 4.6~5.0%의 경우이다.

• 콘크리트의 단위수량은 시멘트의 수화에 중요한 영향을 미친다. 롤러 다짐 콘크리트는 낮은 단위수량으로 인하여 내부의 자건(self-dessication)으로부터 시멘트의 수화반응이 빠른 속도로 감소한다.

• 포졸란 반응에 물은 필수적인 역할을 한다. 롤러 다짐 콘크리트는 그 특성상 제한된 배합수가 사용되고 이로 인하여 플라이애쉬의 반응은 기대하기 어렵다. 그러나 플라이애쉬보다 반응성이 우수한 실리카흙의 사용은 권장할만 하다.

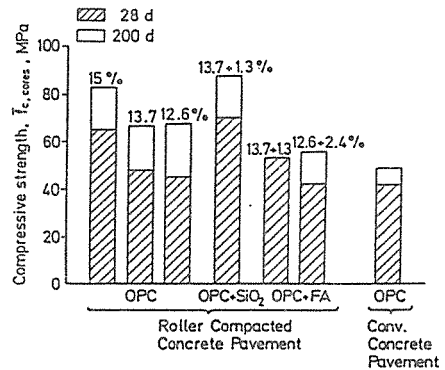


그림 2. 결합재의 양에 따른 롤러 다짐 콘크리트의 압축강도 증진

현재까지 외국에서 적용된 롤러 다짐 콘크리트는 보통 콘크리트 포장보다 큰하중을 받는 포장체이므로 재령 28일의 최소압축강도는 400 kg/cm<sup>2</sup> 이상으로 규정하고 있다. 또한 그림 2에서 보는 바와 같이 결합재의 최소사용량은 콘크리트의 중량비 14%에 해당하는 340kg/m<sup>3</sup>이다. 롤러 다짐 콘크리트의 결합재로 플라이애쉬는 부적합하나 실리카흙은 결합재의 10%까지 사용하는 것을 권장한다.

(2) 골재

골재의 종류 및 구성은 모든 콘크리트에서 중요하며, 특히 롤러 다짐 콘크리트의 경우 더욱 그러하다. 롤러 다짐 콘크리트는 낮은 단위수량으로 인하여 재료 분리에 대하여 고려하여야 한다. 이러한 재료분리에 대한 고려와 포장의 불투수표면층을 형성하기 위하여 최대골재치수는 22mm를 초과해서는 안되며, 실제 외국에서 사용되는 최대골재치수는 16mm가 보편적이다.

또한 롤러 다짐 콘크리트의 치밀성과 불투수 표면층을 형성하는데 골재의 입도 분포는 매우 중요한 의미를 가진다. 그림 3은 롤러 다짐 콘크리트의 권장입도분포를 도시하고 있고, 여기서 롤러 다짐 콘크리트의 입도분포의 특징은 재료분리를 방지하기 위하여 세골재의 미분량을 증가시킨 것이다.

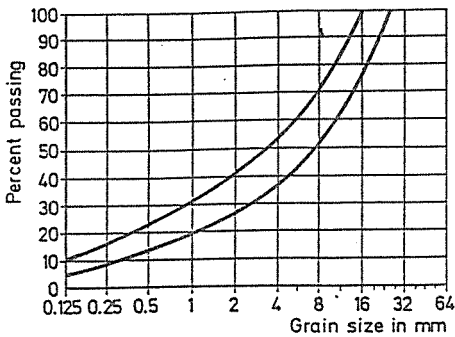


그림 3. 롤러 다짐 콘크리트용 골재의 권장입도분포

롤러 다짐 콘크리트의 굵은 골재로 자연산 골재 및 쇄석의 사용이 모두 가능하다. 자연산 골재를 사용한 롤러 다짐 콘크리트는 상대적으로 배합수의 양이 적어도 다짐이 용이하지만 재료분리의 위험이 크다. 쇄석을 사용한 롤러 다짐 콘크리트는 재료분리의 위험이 적고, 콘크리트가 경화되기 전에 높은 지지력(bearing capacity)을 가진다. 그리하여 다짐작업 직후 교통통행이 가능한 경우도 있다.

골재의 종류 및 입도분포 뿐만 아니라 골재의 함수량을 지속적으로 조정하는 것이 다짐작업에 중요하다. 실제 골재의 함수량의 변화는 콘크리트의 다짐성(rollability)에 직접적인 영향을 미친다.

### (3) 혼화제

롤러 다짐 콘크리트에서 대부분의 혼화제는 사용목적에 따라 그 적용이 가능하며 그 중 가

장 많이 사용되는 혼화제는 지연제이다. 지연제는 주로 롤링작업이 지연되는 경우, 즉 2층 타설의 하부층 콘크리트의 경화를 지연시키거나 중방향 조인트를 방지하기 위하여 사용된다.

지역의 특성상 동해(frost damage)의 위험이 있는 경우 동결융해저항성을 위하여 공기연행제를 사용하기도 한다. 이 경우 배합순서는 먼저 시멘트풀과 공기연행제와 굵은 골재를 일부 배합한 후 나머지 골재를 추가하여 배합한다.

### (4) 배합수

롤러 다짐 콘크리트의 배합수량은 롤러다짐에 적합한가에 관하여 사전에 검토되어야 한다. 일반적으로 결합재의 양이 콘크리트 단위중량의 14%일때 단위수량은 4.8~5.6%의 범위내에 있게 된다. 시공중 골재의 함수량의 변화로 인하여 단위수량의 변화는 다짐성에 큰 영향을 미치므로 단위수량이 롤러다짐에 적합한가에 대한 검토는 지속적으로 이루어져야 한다.

콘크리트의 배합수는 시간경과에 따라 증발되고 또한 시멘트 수화반응에 사용되어 점점 감소한다. 따라서 롤러 다짐 콘크리트 포장에서 지연제를 첨가하지 않는 경우 콘크리트 배합후 2시간이내에 다짐작업이 완료되어야 하고, 다짐작업직후 콘크리트를 양생하여야 한다.

## 3. 롤러 다짐 콘크리트의 물리적 특성

### (1) 다짐도(Degree of compaction)

적절한 배합비의 롤러 다짐 콘크리트의 물성은 다짐도로 결정될 수 있다.

다짐도의 정의는 다음과 같다.

$$R_d = \frac{r_{d,t}}{r_{d,mp}} \times 100$$

여기서  $R_d$  = 다짐도

$r_{d,r}$  = 현장에서 다진 굳지않은 콘크리트  
의 건조단위중량

$r_{d,mp}$  = 실험실에서 프록터 다짐을 한  
콘크리트의 건조단위중량

배합수는 시멘트의 수화반응에 사용되고 시멘트가 반응함에 따라 건조단위중량은 증가하게 된다. 따라서 현장에서의 콘크리트의 단위중량은 측정시간에 따라 변하여 다짐도를 보정할 필요가 있다. 다짐도의 보정은 콘크리트 재령 28일 코어를 채취하여 행하며 보정계수의 값은 1.4~1.7의 범위에 있다. 다음은 보정계수의 산정식이다.

$$R_c = \frac{C \times \alpha \times K}{r_{d,cs}} \times 100$$

여기서  $R_c$  = 시멘트 수화반응으로 인한 보정계수

$C$  = 단위시멘트량

$\alpha$  = 측정시간의 시멘트의 수화정도(0~1.0)

$K$  = 시멘트를 완전반응 시키는 수량의 비, 보통 0.25

$r_{d,cs}$  = 코어 샘플의 건조단위중량

다짐도는 롤러 다짐 콘크리트의 강도와 밀접한 관계를 가지고 있고, 그림 4는 다짐도와 콘크리트의 압축강도와의 상관관계를 보여주고 있다. 또한 다짐도는 콘크리트의 할렬인장강도에도 상당한 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.

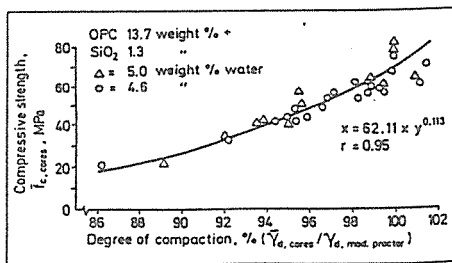


그림 4. 롤러 다짐 콘크리트의 다짐도와 압축강도와의 관계

## (2) 균열 및 내구성

롤러 다짐 콘크리트는 보통 콘크리트 포장과 비교할 때 균열의 위험이 적다. 포장체에서 균열은 주로 온도구배에 의한 응력과 내부수분손실에 의하여 발생한다. 롤러 다짐 콘크리트의 온도구배는 보통 콘크리트 포장과 비슷하나, 내부수분손실은 상당히 작다. 이는 보통 콘크리트 포장보다 단위수량이 적고, 빠른 속도로 내부건조가 이루어지기 때문이다. 외국의 시공사례를 볼때 포장체의 시공간격이 13m 이하인 경우 균열 발생의 위험은 없음을 알 수 있다.

또한 지역적 특성에 따라 롤러 다짐 콘크리트의 동결융해저항성에 관한 관심은 지대하다. 연구결과에 의하면 결합재로 보통포틀랜드 시멘트 또는 보통포틀랜드 시멘트와 실리카흄을 사용한 롤러 다짐 콘크리트를 97% 이상 다진 경우 우수한 동결융해저항성을 가진다고 알려져 있다. 그러나 결합재로 플라이애쉬를 사용한 경우 동해(frost damage)의 위험이 있다.

포장체 표면의 물성은 주로 양생과정의 효율에 좌우된다. 양생과정이 생략되거나 다짐직후 양생을 하지 않는 경우 포장 표면의 동해와 침식에 대한 저항성은 감소하게 된다. 또한 롤러 다짐 콘크리트는 보통 콘크리트 포장과는 달리 포장체 표면에 블리딩으로 부상한 미립분이 침적하는 레이턴스(laitence)가 발생하지 않는 이점이 있다.

## 4. 롤러 다짐 콘크리트의 시공특성

### (1) 콘크리트 제조 및 운반

롤러 다짐 콘크리트는 중력식 믹서를 사용한 레미콘으로 제조하는 것이 일반적이거나 운반거리와 콘크리트 품질관리에 특별한 주의를 요한다.

롤러 다짐 콘크리트는 다짐전 상태는 낮은 밀도를 가지므로 균질한 배합을 위하여 혼합량은 믹서 용량의 3분의 2정도를 혼합하여야 하고, 또한 배합시간과 운반차량에 싣는 시간을 보통 콘크리트에 비해 연장하여 계획하여야 한다.

다. 또한 롤러 다짐 콘크리트는 배합수량의 변화에 민감하므로 배합수 투입에 주의를 요한다.

롤러 다짐 콘크리트는 배합후 60분이내에 타설이 이루어져야 하므로 불필요한 지체시간은 배제되어야 하며, 현장에서 가능한 가장 가까운 거리에 배치 플랜트가 위치하도록 배려하여야 한다.

## (2) 타 설

콘크리트 타설전에 지반은 포장체의 균열을 방지하기 위하여 충분한 다짐을 하여야 한다. 또한 동해(frost damage)를 받은 지반 및 24시간이내에 결빙이 예상되는 지반위의 타설은 피해야 한다.

타설장비는 스프레드박스(spread box), 그레이더(grader)와 페이버(paver)등이 있고 이 중 아스팔트 페이버를 이용한 타설이 가장 보편적이다. 고 용량의 다짐이 가능한 페이버로 표면상태가 양호한 포장체를 만들 수 있다. 고 용량의 아스팔트 페이버는 시간당 50m<sup>3</sup>을 타설할 수 있다.

롤러 다짐 콘크리트 포장은 양호한 표면을 얻기 위하여 보통 2층 타설을 하는 경우가 많다. 페이버의 다짐높이는 장비의 성능에 따라 다르나 보통 한층이 130~150mm의 높이의 포장을 구축할 수 있다. 2층 타설을 할 경우, 하부층을 2회 다진후 하부층이 경화되기 전에 상부층을 타설하여 전체포장의 다짐작업을 한다. 이러한 방법으로 두층간의 우수한 부착성을 얻을 수 있고, 이때 상부층은 하부층보다 얇은 두께로 타설한다.

경화된 콘크리트에 연이어 타설할때 발생하는 콜드조인트와 종방향조인트는 그림 5와 같이 포장의 모서리부분을 버킷(bucket)이나 그레이더(grader)로 마무리한 뒤 물-시멘트비가 낮은 시멘트페이스트를 바르고 다음 레인을 타설하여 처리한다. 이때 연이어 타설하는 콘크리트의 다짐에 각별히 주의하여야 한다.

종방향 콜드조인트의 문제를 해결하기 위하

여 전날 타설한 콘크리트는 지연체를 투입하여 경화를 지연시키고, 그 다음날 타설하는 콘크리트와 함께 진동다짐을 함으로써 이러한 콜드조인트를 방지할 수 있다.

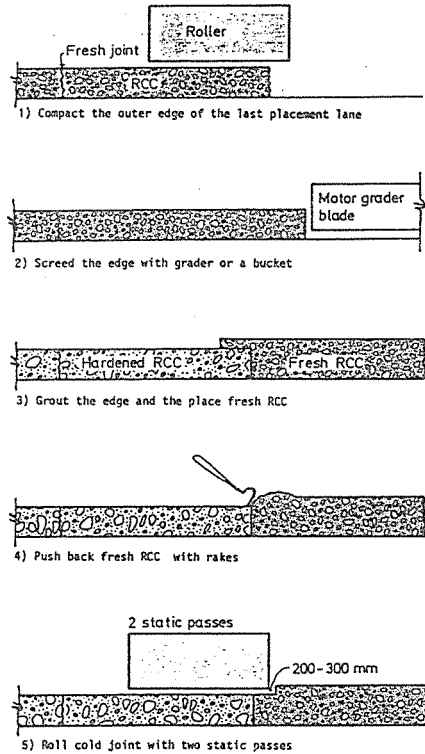


그림 5. 콜드 조인트의 처리절차

## (3) 롤링 다짐

타설후 포장은 150~300ton/m의 정적선형 하중의 용량을 가진 진동다짐롤러로 다짐을 한다. 포장에서 표면의 평평도(evenness)와 다짐도(compactness)는 매우 중요하므로, 마감 다짐작업은 진동다짐을 하지 않고 공기타이어가 장착된 롤러를 이용하는 것이 바람직하고, 이러한 방법으로 표면의 균열을 줄일 수 있다.

고무코팅된 드럼은 동일한 정적선형하중의 철제드럼과 다짐효과는 비슷하나 표면의 균열

을 줄이는 데 더욱 효과적이다.

양호한 표면의 평평도와 다짐도를 얻기 위하여 저속 다짐을 해야 하며 최적의 속도는 3km/hr 이하이다. 롤러 다짐 콘크리트 포장의 다짐작업의 방법은 일반적인 아스팔트포장과 유사하다.

롤링은 먼저 진동다짐을 하지 않고 정적으로 2회 다짐을 시작한다. 동일한 레인에서 전후로 반복하여 진행하고, 다짐이 완료되기 전에는 롤러 레인을 변경하지 않아야 한다. 그림 6은 롤러의 진행형태에 대하여 설명하고 있고, 그림 7은 연결타설하는 콘크리트의 롤링 절차를 보여준다.

진동다짐은 정적다짐이 끝난 3회째 실시하고, 진동다짐의 횟수는 다짐장비의 종류, 지반 및 기초의 종류와 다짐두께에 따라 결정된다. 다짐작업은 97% 이상의 다짐도를 얻을 때까지 수행한다. 표 1은 97% 이상의 다짐도를 얻기 위하여 다짐장비에 따른 최소 진동다짐횟수를 나타낸 것이다. 최종다짐은 표면의 균열을 최소화하기 위하여 정적 다짐으로 1~2회 실시

한다.

표 1. 다짐장비에 따른 최소 진동다짐횟수 및 최대 포장두께

다 짐 장 비	최소 다짐 회 수	다짐후 최대 포장 두께(m)
진동판(최소 400kg)	4	0.15
진동롤러(단일 드럼) 6ton(최소 150ton/m) 10ton(최소 250ton/m)	6	0.15 0.25
진동롤러(다중 드럼) 2.5ton(최소 100ton/m) 6ton(최소 200ton/m) 10ton(최소 300ton/m)	6 4 4	0.10 0.15 0.25

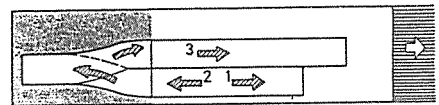
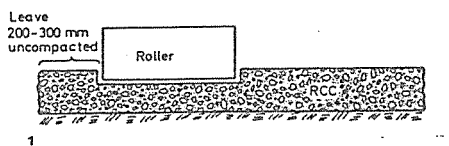
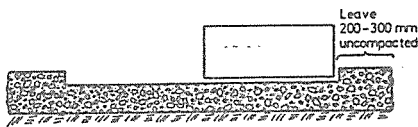


그림 6. 롤러의 진행형태



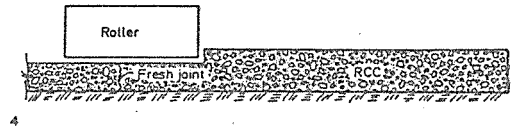
1



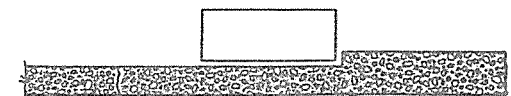
2



3



4



5



6

그림 7. 연결타설하는 콘크리트의 롤링 절차

(4) 양 생

롤러 다짐 콘크리트 포장의 표면은 다양한 하중을 부담하게 되고, 내구성, 평평도, 표면조도의 요건을 충족시켜야 한다. 포장체가 동해와 침식에 저항하는 능력은 주로 양생조건에 의하여 좌우된다.

포장체의 내구성과 강도를 위하여 습윤양생이 가장 적절하지만, 경제성을 고려하여 종종 표면을 아스팔트액(asphalt emulsion)으로 도포한다.

(5) 포장 표면

포장 표면의 편평도(flatness)는 포장두께에 따른 사용 장비에 따라 다르고, 편평한 포장을 얻기 위하여 포장은 2층으로 타설하는 경우가 많다.

표면의 조도는 포장의 배수 및 점착마찰의 상태를 결정한다. 샌드패치법(sand patch method)에 의한 롤러 다짐 콘크리트의 표면조도는 0.6mm이하인 경우가 많다. 그러나 이러한 표면조도는 고속주행용 도로에는 부적합하므로 더욱 거친 표면을 만들기 위하여 콜드 플래너(cold planer)를 이용하기도 한다.

5. 롤러 다짐 콘크리트의 품질관리 및 시험

롤러 다짐 콘크리트의 품질관리는 사전 시험, 시공중 지속적으로 행하는 시험과 시공후의 검사로 나뉘어 이루어진다. 표2는 일반적인 롤러 다짐 콘크리트의 품질 관리 및 시험에 관한 계획을 보여준다.

표 2. 롤러 다짐 콘크리트의 품질관리 계획

관리책임자	사전 시험	시공중 시험	시공후 검사
레미콘 제조자	배합설계 건조단위중량 강도 다짐성 내구성	다짐성 (배합수량, 건조단위중량, 강도)	
도급자		포장두께 다짐도 (배합수량, 다짐성)	
발주자			다짐도 강도 내구성 균열

6. 결 론

이상으로 본 소고에서 롤러 다짐 콘크리트 포장의 재료, 배합, 시공특성 및 품질관리에 관한 기술에 대하여 고찰하였다.

현재까지 시공된 롤러 다짐 콘크리트는 높은 압축강도 특성으로 큰하중을 받는 저속주행용 포장체에 적용되고 있으나, 재료 및 시공기술의 발전과 더불어 일반 도로 포장에 적용하고자 하는 노력이 진행중이다. 이러한 노력은 주로 롤러 다짐 콘크리트의 표면조도가 고속도로에 적합하도록 재료와 공법을 개발하는데 그 주안점을 두고 있다. 실제 외국의 시공사례를 분석한 결과, 콘크리트 포장에 대한 관심이 고조되고 있고 또한 콘크리트 제반기술의 발전으로 롤러 다짐 콘크리트의 포장이 크게 늘고 있는 추세에 있다. 따라서 롤러 다짐 콘크리트의 기술적 문제는 조만간 해결될 것으로 사료되며, 앞으로 롤러 다짐 콘크리트의 적용분야는 더욱 넓어질 것으로 사료된다.