

아스팔트 포장의 현장 다짐관리 개선방안



황성도 | 정회원·우리학회 편집위원회 간사장
한국건설기술연구원 선임연구원

1. 서론

아스팔트 포장의 다짐은 외부 압력하중을 작용시켜 아스팔트 혼합물내의 공극률을 일정 비율까지 축소시켜 소요의 밀도를 얻는 시공 과정이다. 이를 통해 아스팔트 포장은 차량 하중 및 환경 조건에 의한 파손 현상에 저항할 수 있고 최상의 공용 특성을 발휘할 수 있다. 즉, 아스팔트 포장의 다짐 밀도가 높은 경우에는 전단 압밀에 의한 소성변형 및 플러싱 등의 파손 현상을 유발할 수 있고, 이에 반해 다짐 밀도가 낮은 경우에는 교통 하중으로 인한 추가압밀에 따른 소성변형과 노화 촉진에 의한 균열 및 박리 현상을 발생시킬 수 있다. 따라서 아스팔트 포장에서 최상의 공용 특성을 확보하기 위해서는 시공 과정 중의 효율적인 다짐관리가 중요한 요소라 할 수 있다. 그러나 현재까지 국내의 아스팔트 포장에서는 다짐 시공과 관련된 품질관리 기준의 부재 및 기술 인력 부족 등이 최근의 포장 파손을 유발시키는 주요 요인으로 인식되고 있다.

본 고에서는 국내 아스팔트 포장의 다짐 시공의 현황을 살펴보고, 외국의 문헌을 토대로 다짐 시공의 영향 요인과 현장의 다짐 품질관리 방안에 대해 기술하였다.

2. 국내 현황

가. 현장 다짐장비 운용 실태

국내 아스팔트 포장의 시공 현장에서 사용하고 있는 주요 다짐 롤러는 1차 머के덤롤러, 2차 타이어롤러, 3차 탠덤롤러의 순서로 구성되어 있다. 이러한 각 다짐 장비의 통과 횟수는 포장 시공 전에 실시하는 시험 시공을 통해 결정하지만, 국내의 대부분 시공 현장에서 1차 4회, 2차 10회, 3차 4회를 적용하고 있는 것으로 조사되었다(2003, 건설교통부). 국내의 다짐 시공 방법이 각 현장의 사용 재료 및 시공 환경 특성을 고려하지 않고 대부분 명확한 기준이 없이 획일적으로 이루어지고 있는 실정이라 할 수 있다. 다음의 그림 1은 아스팔트 포장의 다짐 시공 모습을 나타낸 것이다.

또한 이와 더불어 다짐 롤러장비의 운행과 관련된 기술 매뉴얼 및 전문 교육 등의 기반이 마련되어 있지 않아 현장 시공의 품질관리 향상에 한계가 되고 있으며, 포장의 조기 파손을 야기하는 요인으로 인식되고 있다.

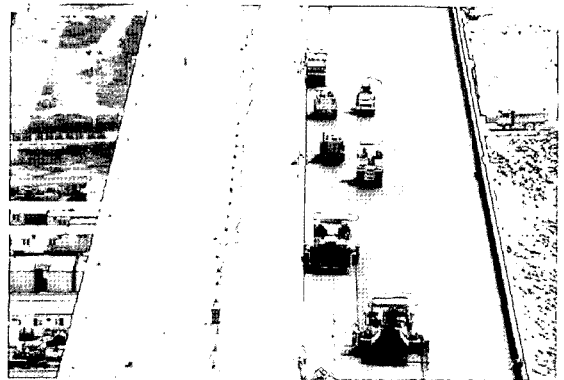


그림 1. 다짐 시공 전경

나. 현장 다짐도 평가 기준

아스팔트 혼합물의 공극 또는 밀도는 아스팔트 포장의 수명 기간 동안의 공용성에 가장 큰 영향을 미치는 요소이다. 따라서 아스팔트 포장의 시공 품질을 판가름하는 것은 공극 또는 밀도를 기준으로 하는 현장 다짐도를 파악하는 것이다.

국내에서 아스팔트 포장의 포설이 완료된 후 현장 다짐도를 평가하는 방법은 주로 공시체의 겉보기 밀도를 사용하고 있다. 여기에 사용되는 공시체는 실내 공시체 및 현장의 코아 공시체로서, 실내 공시체의 경우 시공 현장에 공급되는 아스팔트 혼합물을 사용하여 다짐시험기로 제작한 것이며, 현장 공시체는 다짐 공정이 완료된 후 해당 현장에서 채취한 것이다. 다음으로 실내에서 각 공시체에 대한 겉보기 밀도를 측정하여 아래의 식에 의해 다짐도를 산출한다.

$$\text{다짐도}(\%) = (\text{현장 코아 공시체의 겉보기 밀도} / \text{실내 다짐 공시체의 겉보기 밀도}) \times 100$$

국내 지방서의 기준에서는 현장 다짐도를 96% 이상으로 규정하고 있다. 이 규정은 실내 다짐 공시체의 겉보기 밀도가 다짐도의 정확도를 판가름하는 요소가 되는 바, 국내의 다짐시험기의 교정 및 표준화의 개선이 우선적으로 필요한 실정이다.

다. 현장 다짐관리의 문제점

앞서 언급한 두가지 현황에서 나타난 바와 같이 국내의 현장 다짐관리는 다음의 문제점들로 요약할 수 있다.

- ① 시공 현장별로 지역적 특성 및 사용 재료의 차이를 고려하지 않은 획일적인 다짐 롤러장비의 구성과 운행 방법
- ② 다짐 롤러장비의 운행에 관한 기술 매뉴얼의 부족 및 전문 교육 과정의 미비
- ③ 현장 다짐도의 평가 규정에 대한 시공 기술자의

인식 부족

- ④ 다짐시험기의 교정 및 표준화 규격의 미비로 현장 다짐도 산출 결과의 오차 발생

따라서 국내 아스팔트 포장의 조기 파손을 방지하고 적정 밀도의 다짐 시공을 확보하기 위해서는 상에서 제시한 문제점들의 면밀한 검토 및 대안 마련이 필요한 것으로 판단된다. 본 고에서는 이를 고려하여 아스팔트 포장의 다짐 관리에 필요한 주요 사항과 개선 대안에 대하여 살펴보았다.

3. 다짐 관리의 중요성 및 영향 요소

가. 다짐 관리의 중요성

다짐은 궁극적으로 아스팔트 포장의 장기 공용성을 좌우하는 가장 중요한 시공 과정의 하나로서 다음의 5가지의 중요성을 가지고 있다.

- ① 교통하중에 대한 안정성 향상으로서, 포장의 다짐 과정을 통해 아스팔트 혼합물내의 적정 공극 및 밀도를 확보함으로써 외부 교통하중에 의한 과도한 추가 다짐 현상을 억제하고 아스팔트 혼합물의 강성 특성이 유지된다.
- ② 포장의 소성변형에 대한 저항성 향상으로서, 포장의 다짐 과정을 통해 아스팔트 혼합물의 공극률을 일정 수준 이하로 축소시켜 차량 하중에 의한 추가 다짐 효과 및 압밀 현상에 대한 저항성이 증가된다.
- ③ 포장층 내의 물/공기 유입의 억제로서, 포장의 다짐 과정을 통해 아스팔트 혼합물의 공극률을 축소시켜 외부의 물 또는 공기 유입을 차단하고 이에 따른 아스팔트의 노화 방지 및 골재와의 박리 현상을 방지한다.
- ④ 포장의 피로균열에 대한 저항성 향상으로서, 포장의 다짐 과정을 통해 아스팔트 혼합물에 일정 수준의 공극률 확보 및 골재간 맞물림 작용에 따

라 차량의 반복하중에 의한 균열을 방지한다.

- ⑤ 포장의 저온균열 발생 억제로서, 포장의 다짐 과정을 통해 아스팔트 혼합물에 일정 수준의 밀도를 구현하여 겨울철 온도 변화에 의한 수축 및 팽창의 반복에 의한 포장 표면의 균열 발생을 억제한다.

다음의 그림 2는 다짐에 의한 아스팔트 혼합물의 공극률과 포장 성능과의 관계를 나타낸 것이다. (2001, NCAT) 표에서 보는 바와 같이 일반적으로 아스팔트 포장의 다짐의 목표 공극률이 4%~7%인 경우 포장의 내구 성능에 가장 효과적인 것을 알 수 있다.

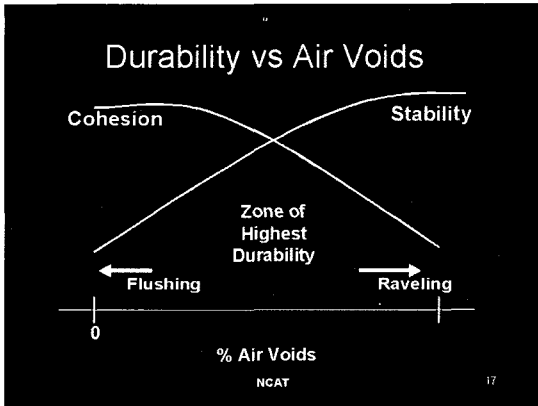


그림 2. 포장의 내구성능과 공극률과의 관계

나. 다짐에 영향을 주는 요소

아스팔트 포장의 다짐에 영향을 미치는 요소는 다양하게 제시할 수 있지만 크게 3가지의 요소로 구분할 수 있다. 여기에는 아스팔트 포장의 시공에 관련된 사용재료부터 시공 환경 변수, 포설 구역 특징 등이 있다.

먼저, 아스팔트 포장에 사용되는 재료의 물성에 관한 것으로서, 아스팔트 혼합물에 사용되는 골재의 표면 특성, 흡수율, 골재 입형과 더불어 아스팔트 바인더의 점도 등이 포함된다. 이는 아스팔트 혼합물의 성능에 영향을 미치는 요인이며, 다짐 과정의 온도 설정과 운행 횟수 등을 결정하는데 사용된다. 예

를 들어 아스팔트 바인더의 점도가 높은 경우에는 다짐 온도를 증가시키거나 다짐 장비의 중량에 대한 검토를 해야 한다. 다음의 그림 3은 아스팔트 혼합물의 온도에 따라 다짐에 영향을 미치는 모습을 한 예로 나타낸 것이다.

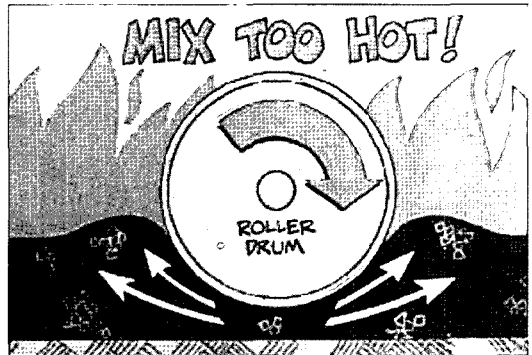
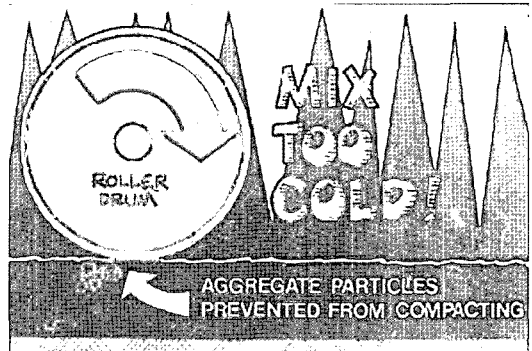


그림 3. 아스팔트 혼합물의 온도에 따른 다짐 영향

다음으로 시공 환경 변수로서, 아스팔트 포장의 다짐 과정 중의 환경 조건들인 기온, 바람, 구름 상태 등이 포함된다. 이는 다짐 효과의 효율성을 평가하는 포설층의 온도 저하율과 다짐이 가능한 온도의 지속시간 등에 직접 영향을 미친다. 예를 들어 기온이 높은 경우에는 각 다짐 공정별로 세심한 온도 계측을 통해 다짐 롤러의 투입 시기 및 다짐 간격 또는 다짐 속도 등을 검토해야 한다. 다음의 그림 4는 포장층의 온도 계측 모습을 나타낸 것이다.

마지막으로 포설 구역의 특징으로서, 기존 포장의 표면상태, 포설두께 및 구배 또는 하부 구조의 지지력 등이 포함된다. 이는 시공이 이루어지는 포장 구



그림 4. 포장층의 온도계측 모습

역의 각 특징을 나타내는 것으로 다짐의 순서와 방법을 결정하는데 사용된다. 예를 들어 종단 경사가 있는 구간인 경우에는 포설 및 다짐의 방향이 낮은 위치에서 높은 위치로 이루어져야 한다.

이 외에도 시공자는 다짐에 영향을 미칠 수 있는 다양한 시공 여건들을 감안하여 포설 및 다짐 공정의 계획 및 방법 등을 결정해야 한다. 다음의 표 1은 상기의 영향 요소를 정리한 것이다.

4. 다짐 장비의 종류 및 운행

가. 다짐 장비의 종류 및 특징

아스팔트 포장의 다짐에 사용되는 롤러 장비는 포설된 아스팔트 혼합물의 체적을 감소시켜 규정된 공극률 또는 밀도가 얻어질 때까지 다짐에너지를 제공

하는데 사용된다. 이러한 다짐 과정에는 다음의 목적을 위해 2개 또는 그 이상의 롤러 장비가 투입된다.

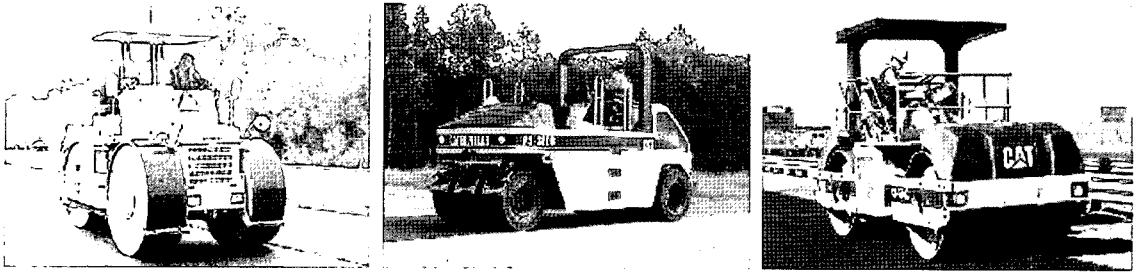
- ① 시방 기준을 만족하는 공극률 또는 밀도를 얻는다.
- ② 포장 표면의 평탄성을 제공한다.

국내의 경우, 상기에 언급한 바와 같이 3가지 롤러 장비를 사용하여 3단계의 다짐 과정으로 시공이 이루어진다. 이에 반해 미국의 경우, 진동 탠덤롤러 및 무진동 탠덤롤러를 사용하여 2단계의 다짐 과정으로 거친다. 그림 5는 다짐 롤러의 종류를 나타낸 것이다.

- 머캐덤롤러 : 머캐덤롤러는 탠덤롤러와 함께 철륵 롤러의 한 종류로서 3륵식으로 이루어져 있다. 일반적으로 머캐덤롤러의 중량은 8~10톤으로 국내에서는 1차 압착 목적으로 사용하고 있으며(1996, NAPA), 미국에서는 최근 거의 사용하지 않는 것으로 알려져 있다.
- 타이어롤러 : 타이어롤러는 타이어의 공기압에 의한 작용으로 포설층을 다짐하는 장비로서 전륵에 4~7개, 후륵에 3~6개의 타이어를 장착하고 있다(1996, NAPA). 국내에서는 2차 중간 다짐 과정에 투입하고 있으며, 미국에서는 최근 일부 다짐 목적 외에는 거의 사용하지 않는 것으로 알려져 있다.
- 탠덤롤러 : 탠덤롤러는 철륵 롤러의 한 종류로서 2륵식의 진동식과 비진동식으로 구분되어 있다. 일반적으로 탠덤롤러의 중량은 5~14톤으로 국내에서는 다짐의 마지막 과정인 3차 마무리 목적으로 무진동의 탠덤롤러를 사용하고 있으며, 미국에서

표 1. 다짐에 영향을 미치는 요소

영 향 요 소	고 려 향 목	검 토 사 항
사용 재료 물성	- 골재 물성 : 표면 거칠기, 입형, 흡수율 등 - 아스팔트 바인더 물성 : 점도 등	다짐 롤러 무게 및 구성 다짐 온도 및 시간 등
시공 환경 변수	- 대기온도 - 바람세기 - 태양열의 복사수준	다짐 롤러의 작업온도 다짐 롤러의 투입시간 다짐 속도 및 온도 등
포설 구역 특징	- 기존 포장 상태 : 온도, 표면 상태 - 포설두께 및 현장 구매 - 하부구조의 지지력	다짐 방향 다짐 롤러의 무게 다짐 시간 등



머캐덤롤러

타이어롤러

탠덤롤러(진동, 무진동)

그림 5. 다짐 롤러의 종류

는 최근 1차 전압에 진동탠덤롤러, 2차 마무리에 무진동탠덤롤러를 주로 사용하고 있다.

다음의 그림 6은 각 다짐 공정별 롤러장비의 구성과 다짐 온도 등을 나타낸 것으로 국내와 달리 미국의 경우 타이어롤러를 사용하지 않고 진동 및 무진동 탠덤롤러를 사용하여 전체 다짐 과정이 이루어지고 있다(2003, 건설교통부).

5. 다짐 관리 변수

아스팔트 포장의 다짐 과정에 투입되는 모든 롤러장비의 다짐 변수들은 다짐 공정 중에 관리할 수 있다. 이러한 다짐 관리 변수들은 다음과 같이 구분할 수 있다.

- ① 다짐 롤러장비의 속도: 다짐롤러의 속도를 증가시키면 다짐에너지의 효율이 감소하여 상대적으로 아스팔트 혼합물의 다짐 밀도는 낮아지게 된다. 다짐롤러의 속도는 생산성, 포장두께, 페이퍼의 속도 및 각 다짐 장비의 위치 등의 요소를 복합적으로 고려하여 결정해야 한다.
- ② 다짐 롤러장비의 운행 횟수: 다짐 롤러장비의 운행 횟수는 상기의 다짐 영향 요소와 현장의 밀도 측정 결과에 따라 통과 횟수를 결정해야 한다. 일반적으로 다짐 롤러의 통과 횟수는 시험 시공을 통해 목표로 하는 소요 밀도를 얻어지는 횟수로 결정하며, 최근에는 현장 밀도 측정기의 보급에 따라 현장에서 다짐 공정별로 밀도를 측정하고 이를 바탕으로 통과 횟수를 변화시키는 방법을 사용하고 있다(2003, NHI). 다음의 그림 7은

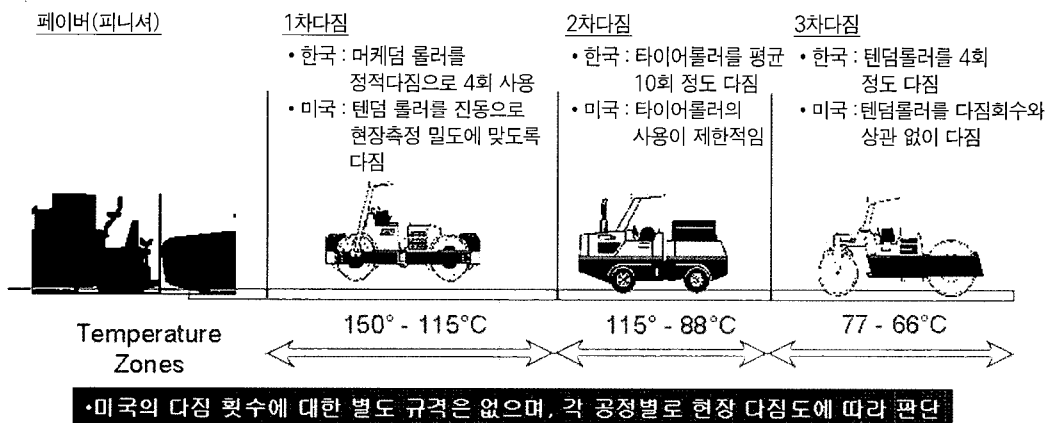


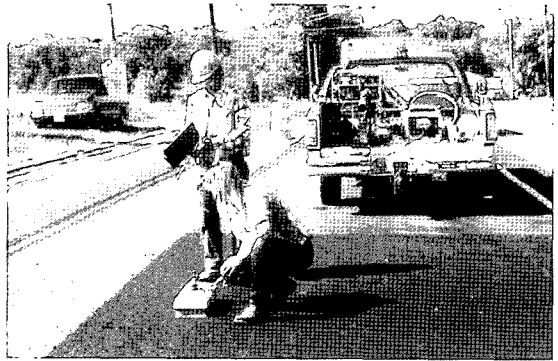
그림 6. 아스팔트 포장의 다짐 과정

현장 밀도 측정을 통한 다짐 방식의 설정 방법을 나타낸 것이며, 그림 8은 현장 다짐 밀도를 자동으로 측정하는 시험기의 모습을 나타낸 것이다.

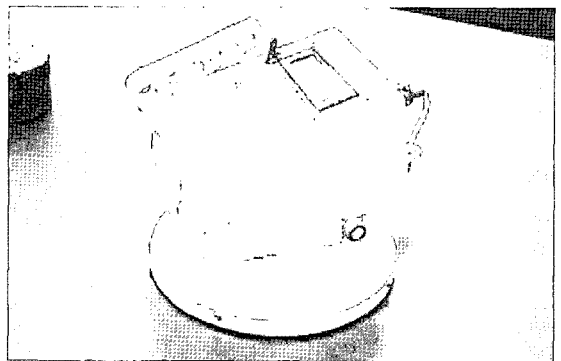
③ 다짐 구역의 설정 : 다짐 구역은 현장의 환경 조건 및 아스팔트 혼합물의 강성 특성을 고려하여 결정해야 하며, 일반적으로 페이버와의 간격은 15m, 단위 다짐 구역은 75m 정도로 설정할 것을 제시하고 있다(2003, NHI). 이는 각 현장별로 다짐의 영향 요소를 고려하여 최적 방안을 마련하여 다짐 방법을 수립해야 한다.

④ 다짐 롤러의 운행 패턴 : 포장면의 요철 방지와 시공 줄눈에 의한 종방향 균열 발생을 억제하기 위해서는 다짐 롤러장비의 운행 패턴을 미리 설정해야 한다. 그림 9는 다짐 롤러 장비의 운행 패턴을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 첫 번째 다짐은 포설면의 가장자리에 위치한 자유단부에서 약 0.3m를 이격하여 다짐하고, 그림과 같은 순서에 따라 적어도 0.15m 정도 겹치도록 전압을 해야 한다. 또한 다짐 롤러 장비의 운행 시에는 포장면의 요철 방지 등을 위해 급격한 정지와 회전 등에 주의하여 다짐을 실시해야 한다.

포설 구간의 전압이 마무리된 후에는 다져진 포장 표면의 상태를 파악하기 위하여 육안조사를 실시한다. 이 경우 마무리 다짐에 의해서도 제거되지 않는 롤러 자국이 있어서는 안되며 종단 및 횡단 방향의



방사능 게이지



현장밀도 측정기

그림 8. 현장밀도 시험기

요철도 있어서는 안된다. 또한 포장의 평탄성에 대한 조사도 실시해야 하며, 대부분의 도로 관련 기관에서는 아스팔트 포장의 다짐이 완료된 후 노면의

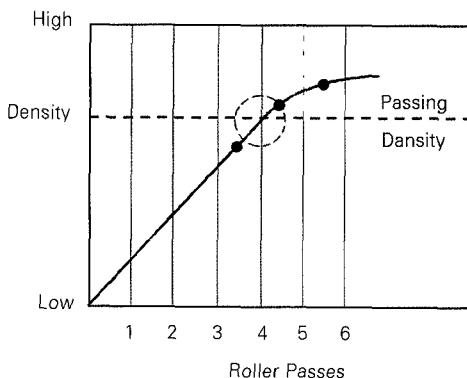


그림 7. 다짐통과 횟수의 설정 방안

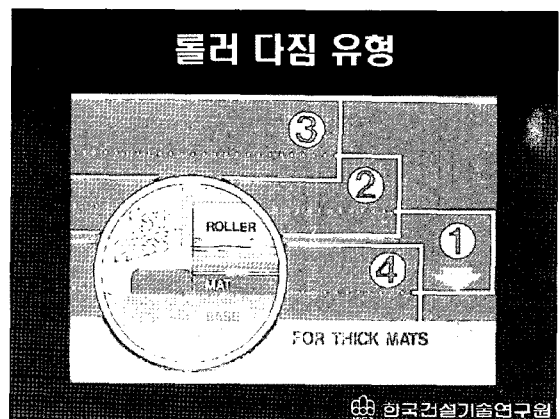


그림 9. 다짐 롤러장비의 운행 패턴

평탄성을 측정하기 위하여 프로필로미터 또는 로드미터와 같은 측정장비를 사용하고 있다.

6. 현장 다짐도 평가 방안

여기에서는 국내의 현황에 기술한 현장 다짐도 평가 방법 외에 미국에서 실시하고 있는 현장 다짐도의 평가 방법에 대해 다루었다. 상기에서 언급한 바와 같이 국내의 현장 다짐도 평가의 문제점으로 실내 공시체의 표준화된 밀도 구현의 어려움 및 이에 따른 현장 다짐도의 오차 발생을 제시하였다.

이에 반해 미국의 경우 대부분의 주에서 공시체의 다짐기 특성에 따른 겉보기 밀도의 오차 발생을 방지하고, 공극률을 반영한 현장 다짐도 평가를 위하여 이론최대밀도를 기준값으로 사용하고 있다. 즉, 다져지지 않은 아스팔트 혼합물의 이론최대밀도와 다짐 완료 후 현장에서 채취한 공시체의 겉보기 밀도의 백분율값으로 평가하고 있다. 여기에서 측정되는 이론최대밀도는 공사 기간 중에 생산되는 아스팔트 혼합물에 대해 주기적으로 실시해야 한다.

$$\text{현장 다짐도(\%)} = (\text{코아 공시체의 겉보기 밀도} / \text{아스팔트 혼합물의 이론최대밀도}) \times 100$$

일반적으로 미국의 대부분의 주에서는 현장 다짐도를 92%~96%(공극률 8%~4%)로 규정하고 있다. 이러한 현장 다짐도 평가 방법의 단점으로는 지방 규정에 요구하는 이론최대밀도의 백분율을 얻기 위해 잘못 사용할 수 있다는 것이다. 즉, 다져지지 않은 아스팔트 혼합물의 이론최대밀도를 높이기 위해 임의로 배합설계 결과와 다르게 아스팔트 바인더의 함량을 증가시키는 경우도 있어 교통 개방 후 압밀 현상에 따라 공극률의 감소를 초래하여 아스팔트 포장의 소성변형을 발생시킬 수 있다. 따라서 국내의

실내 공시체 다짐기의 변동성을 감안한다면, 밀도 결과값의 오차가 상대적으로 적은 다져지지 않은 아스팔트 혼합물의 이론최대밀도를 기준으로 한 현장 다짐도 평가를 도입할 필요성이 있는 것으로 판단된다.

7. 맺음말

아스팔트 포장의 장기 공용성은 시공 중 적절한 다짐 관리에 의해 결정된다고 해도 과언이 아니다. 즉, 아스팔트 포장의 시공과 관련된 배합설계, 재료 생산, 운반, 포설, 다짐 등으로 이어지는 전 과정에서 특히 다짐 과정은 포장층의 공용 성능을 좌우하는 공극률과 관련이 있기 때문이다.

이러한 다짐 관리의 중요성에 반해 최근까지 국내에서는 전문 기능 인력의 양성과 국가 차원의 기술 매뉴얼 개발이 미비하여 포장의 조기 파손을 유발하는 한 요인으로 인식되어 왔었다. 이에 본 고에서는 미국 등의 선진 국가에서 실시하고 있는 규정과 교육 자료들을 참고하여 각 다짐 공정별 품질관리 방안을 제시하였다. 이와 관련하여 시공 기반 기술의 개선을 위해 2001년부터 현재까지 건설교통부의 발주로 “한국형 포장설계법 개발과 포장 성능개선 방안 연구”를 추진하여 아스팔트 포장의 품질관리 방안 연구를 단계적으로 진행하고 있다. 아무쪼록 국내 현장 시공 기술력의 증진과 연구 성과물의 현장 실용화를 위해서는 관련 기술자들의 의견 반영과 교육 기회의 확보가 필수적이라 할 수 있는 바, 본 기사를 읽은 여러분의 적극적인 참여를 기대해 본다.

■ 연락처

<http://www.pavementinfo.com>

e-mail : service@pavementinfo.com