

## 아스팔트포장의 비파괴현장 다짐밀도 측정장비 소개



김 영 민 | 정회원 · 한국건설기술연구원 연구원

아스팔트 포장의 장기 공용성에 확보를 위해 영향 요소 중 공극률은 포장 성능과 밀접한 관계가 있다. NCAT(National Center for Asphalt Technology) 보고서에 따르면 아스팔트 포장의 다짐 시 목표 공극률이 4%~7%인 경우 포장의 내구 성능에 가장 효과적이라고 하였다. 이를 위해 아스팔트 포장의 시공 품질관리를 위한 공극 또는 밀도를 기준으로 하는 현장 다짐도의 파악은 무엇보다 중요하다.

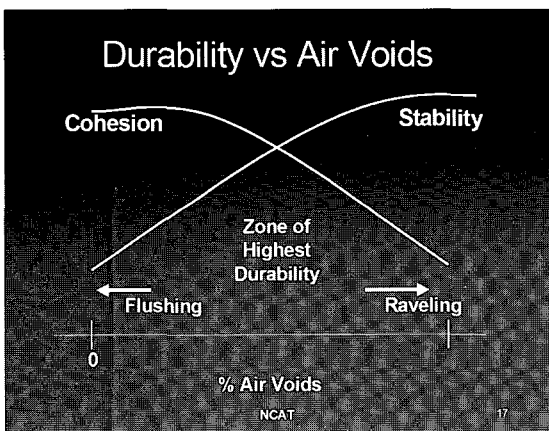


그림 1. 포장의 내구성과 공극률과의 관계 (2001, NCAT)

미국이나 유럽의 여러 선진국에서는 아스팔트 포장의 시공 중 다짐 단계에서의 현장밀도의 체크를 위

하여 Nuclear density gauge(방사능을 이용한 비파괴 현장밀도 측정 장치)를 활용한 현장밀도의 측정이 필수적이며, Nuclear density gauge에 의한 밀도값과 현장에서의 코아 공시체의 밀도를 정기적으로 체크하여 상관관계를 유지하는 방법(특히 시험포장 과정에서)으로 밀도 관리를 하고 있다. 최근에는 방사능 물질을 사용하는 Nuclear density gauge를 대신하여 방사능 물질을 사용하지 않는 새로운 현장 밀도측정 장치가 보급되어 현장에서의 다짐 작업 중의 다짐도 관리에 많은 도움을 주고 있다.

아스팔트 포장의 현장 다짐밀도 측정 장비는 위에 언급된 현장 다짐밀도의 측정을 위해 사용되는 장비이다. 아스팔트 포설 후 다짐 장비가 운영될 때 포장의 밀도를 측정하여 적정 다짐이 확보될 수 있게 한다. 즉, 현장에서 다짐 중에 즉시 밀도를 측정하여 적정 다짐이 되도록 품질 관리할 수 있는 장비이다. 외국에서는 아스팔트 혼합물의 포설 후 다짐 장비의 운영중에 수시로 비파괴 장비를 이용하여 현장 다짐 밀도를 측정하고 이에 근거하여 다짐도를 관리하고 있다.

아스팔트 포장에서 적용되고 있는 현장 다짐밀도 측정 장비는 흙의 다짐밀도 측정 및 함수량을 측정하는 장비를 개량한 것이다. 아스팔트 포장의 현장 다

짐밀도 측정을 위해 상용화된 장비는 크게 두 가지 방식으로 나뉜다. 방사선을 이용한 Nuclear density gauge와 교류(AC, alternating current) 전류를 이용한 Non-nuclear density gauge이다.

Nuclear density gauge의 경우 방사성 물질을 이용하여 밀도와 수분을 측정한다. 밀도 측정의 경우 감마(gamma) 방사선을 이용하여 방출된 포톤(Photon, 광자 또는 광양자)의 후방산란을 이용하여 밀도를 측정한다. 측정을 위해 게이지 바닥에 위치한 약 10mCi(Ci는 단위시간인 1초 당 붕괴하는 방사능 물질의 양을 의미하며, 세기 또는 강도를 나타내는 방사능 단위)인 Cesium-137 Source로부터 방사된 포톤이 포장 층을 침투하여 검지기에 도달된다. 포톤은 물체의 전자와 충돌하여 산란되거나 물체에 흡수된다. 이 물체의 밀도가 증가할수록 Gauge의 검지기에 다시 모여지는 포톤의 수는 감소한다. 포톤은 물체에 부딪힌 후 곧바로 검지기에 도달되지 않고 검지기 도달 전 적어도 한 번은 산란되어야 정확한 측정이 이루어진다. 이때 측정된 포톤의 수는 물체의

밀도와 직접적인 관련이 있다. 즉 후방 산란된 포톤이 물체의 전자와 충돌하여 흡수되거나 다시 검지기로 도달되는 포톤의 수를 측정하였을 때 물체의 밀도가 커질수록 돌아오는 포톤의 수는 적어진다.

아스팔트 혼합물의 수분 측정은 원자의 중성자를 이용한다. 원자는 중심에 자리잡고 있는 원자핵과 그 주위를 돌고 있는 전자로 구성되어 있으며, 원자핵은 양자와 중성자로 구성되어 있다. 우라늄과 같은 무거운 원자핵이 중성자를 흡수하게 되면 원자핵이 쪼개지는데 이를 원자핵 분열이라 한다. 원자핵 분열이 일어날 때 많은 에너지와 함께 2~3개의 중성자가 함께 나온다. 이 중성자를 이용하여 수분을 측정한다.

그림에 나타나있는 Americium-241 Source에서 방사되는 중성자를 이용하여 수분의 양을 측정하는데, 이 때 빠르게 움직여 높은 에너지를 발산하는 중성자는 아스팔트 포장 재료의 많은 원자핵들과 충돌한다. 특히 수소 원자핵들과 충돌한 중성자는 다른 커다란 원자핵들과 충돌한 중성자보다 더 빠르게 움직이는 속도가 감소한다. 검지기는 에너지가 낮거나 느려진 중성자 수를 세게 된다. 검지기에 세어지는 중성자 수는 포장체 내에 수소 원자의 수에 비례한다. 따라서 포장체 내의 수분함유량은 중성자 수와 관계되어 그에 따른 상관관계에 의해 수분의 양이 측정된다.

Non-nuclear density gauge는 교류(AC, Alternating Current)로 설정된 주파수와 재료의 임피던스에 의해 아스팔트 혼합물의 밀도를 측정한다. 재료의 임피던스는 교류의 전류량에 대한 저항값으로 정의 된다(재료가 가지는 임피던스의 특성은 주파수에 따라 달라진다). 임피던스를 측정하고 나면, 아스팔트 포장의 유전율(Dielectric constant)을 알 수 있다. 유전율은 재료가 단위 용적(량)당 정전 에너지를 “저장 할수 있는” 능력을 말한다.

아스팔트 포장과 같은 포장체의 전체 유전율은 그것을 구성하는 각각의 포장재료(재료에 따라 유전율을 가지고 있음)의 양과 관계가 있다. 따라서 재료의

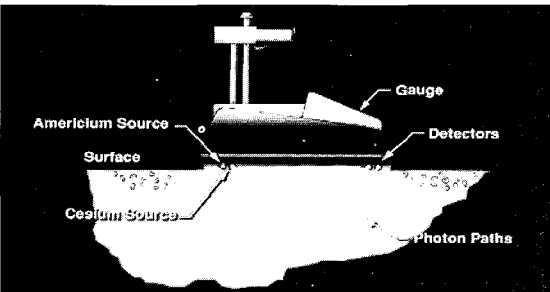


그림 2. Nuclear density gauge 측정원리

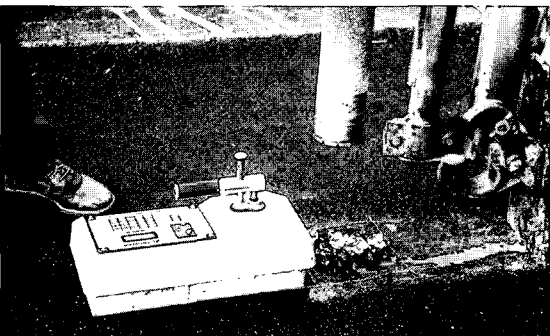


그림 3. Nuclear density gauge

상대적인 밀도는 여러 가지 구성 재료에 따라 결정된다. 또한 재료에 따라 전도성(Conductivity)으로 그 재료의 전기적 특성을 파악할 수 있다. 전도성은 재료가 전기장에 노출되었을 때 전자는 전기가 흐르는 방향에 따라 한 쪽으로만 움직임으로써 물체 내에는 전류가 흐르게 된다. 전도성은 물체 내에서 전자의 활동성을 의미하며 전도성이 낮으면 전기가 통하지 않는 재료를 의미한다. 아래의 표는 포장 재료의 전기적 성질 측정 결과이다.

표 1. 포장 재료의 전기적 성질

사용재료	유전율( $\epsilon_r$ )	전도성(S/m)
콘크리트	5.30	0.05
아스콘	4.95	0.08
철근	$5.02 \times 10^3$	$1.03 \times 10^7$
방수수트	2.35	$1.51 \times 10^{-3}$

아스팔트 포장의 다짐밀도 측정을 위하여 아스팔트 혼합물 및 다져진 아스팔트 혼합물의 공극률 변화에 따른 유전율은 매우 중요한 의미를 지닌다. 예를 들어, 골재와 아스팔트 바인더로 구성된 아스팔트 재료의 유전율은 5에서 6의 범위를 가진다. 반면, 공기의 유전율은 1이다. 그러므로 포장 밀도가 높아지면 공기량은 낮아지고, 총(Overall) 유전율은 높아지며 임피던스 값은 높아진다(David L.Allen, 2003). 이를 이용하여 다짐밀도를 구하게 된다.

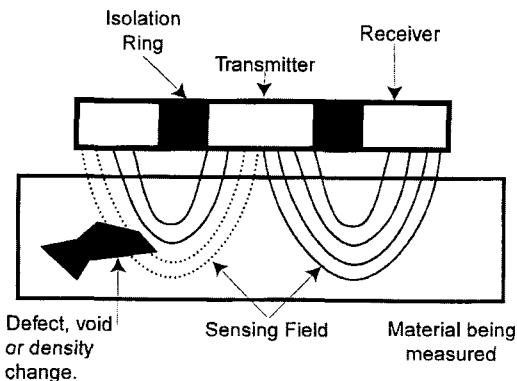


그림 4. Non-nuclear density gauge 측정 원리

최근까지 Nuclear density gauge와 Non-nuclear density gauge에 대한 사용성 및 성능, 측정 결과의 신뢰성 등을 비교한 연구결과를 살펴보면, Nuclear density gauge의 정확도가 조금 더 높은 것으로 나타났다. 그러나 Nuclear density gauge의 경우 방사능 관련 자격증 소지자가 필요하며, 방사능 유출의 위험성, 장비 사용자의 방사능 유출에 대한 정기적인 검사 등 갖춰져야 할 부가적인 요구가 많은 것이 단점으로 지적된다. Non-nuclear density gauge의 경우 측정시 수분에 의한 영향도가 큰 것으로 보고되었다. 또한 Non-nuclear density gauge가 Nuclear density gauge보다 높은 신뢰도를 얻기 위해서는 밀도 측정 전 장비 제조사에서 제안하는 지속적인 보정을 반드시 거쳐야 한다.

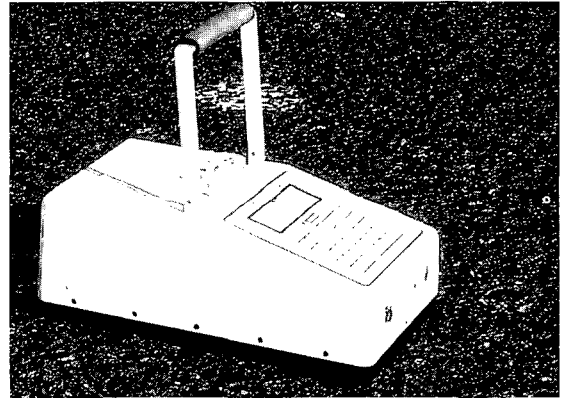


그림 5. Non-nuclear density gauge 장비 및 측정 모습