

저준위 방사성 동위원소를 이용한 아스팔트 함량 측정장비 개발

Development of Asphalt Content Gauge Equipment Using the Radioisotope(RI)

옥창권* · 김진환** · 이종섭***

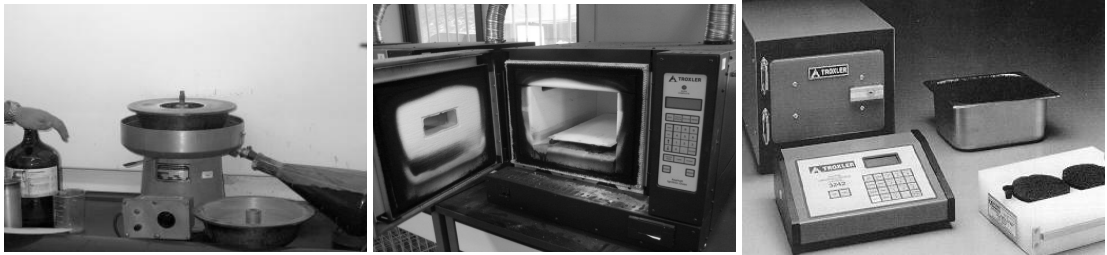
Ock, Chang Kwon · Kim, Jin Hwan · Lee, Jong Sup

1. 서 론

외국에서 상용화되어 사용되고 있는 방사성 동위원소를 이용한 아스팔트함량 측정 장비는 약 10mCi 이상의 방사능을 사용함으로 국내에서 사용하기 위해서는 방사성동위원소 취급 면허를 소지한 자를 선임해야 하며, 장비의 사용 및 관리에도 많은 규제를 요구하고 있다. 이에 국내에서 활용성을 높이기 위해서는 신고만으로 사용 가능한 100 μ Ci 이하의 방사능을 사용하는 아스팔트함량 측정 장비를 본 연구를 통해 개발하였다.

2. 아스팔트 함량 측정법 종류

아스팔트 함량 측정방법은 그림 1과 같이 3가지 방법을 사용한다. NAC(Nuclear Asphalt Content) 측정방법과 용매제를 이용한 추출식(Centrifuge Extraction) 아스팔트 함량 측정 방법 그리고, 연소식(Ignition Method) 아스팔트 함량 측정 방법을 이용하여 아스팔트 함량을 측정한다.



1) 추출식

2) 연소식

3) Nuclear 이용

그림 1. 아스팔트 함량 측정법 종류

2.1 추출식 아스팔트 함량측정

아스팔트 혼합물의 아스팔트 함량을 측정하기 위하여 아스팔트 바인더를 용매인 삼염화에틸렌을 사용하여 추출한다. 삼염화에틸렌이나 삼염화에탄으로 용기내에 있는 아스팔트 혼합물 시료가 잠기도록 부어서 시험하기 전에 시료가 붕괴되도록 1시간 범위 내에서 충분히 시간을 갖는다. 그 후 용기를 추출기에서 원심분리하여 반복시험을 거쳐 골재와 추출액으로 분리시킨다. 골재는 건조로를 이용하여 골재의 건조중량을 측정하고, 추출액 중에서 별도의 공정을 통해 잔골재 등의 무게를 측정한다. 전체 아스팔트 혼합물 중량과 골재의 총무

* 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 포장연구팀 · 선임연구원 · 031-371-3361 (E-mail: ock@ex.co.kr)

** 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 포장연구팀 · 선임연구원 · 031-371-3441 (E-mail: kimtopia@ex.co.kr)

*** 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 포장연구팀 · 연구원 · 031-371-3441 (E-mail: jura79@ex.co.kr)

계를 통해 아스팔트 바인더의 함량을 산출하게 된다.

2.2 연소식 아스팔트 함량측정

아스팔트 함량을 측정하는 방법으로 연소식 아스팔트함량 측정방법(Asphalt Content of Hot-mix Asphalt by Ignition Method)은 아스팔트 혼합물을 특수 제작된 가열로를 사용하여 400℃이상에서 연소시킨다. 아스팔트 바인더를 연소 시키기 전·후의 아스팔트 혼합물의 중량 차이에 의하여 아스팔트 함량을 산출한다.

2.3 방사성 동위원소를 이용한 아스팔트 함량측정

중성자가 물질과의 상호반응을 통해 에너지를 잃는 것을 감속(Moderation)이라 하며, 질량이 작은 원자핵과의 반응에서 중성자는 탄성산란에 의해 에너지를 잃게 된다. 손실되는 에너지의 양은 원자의 질량과 반비례하므로 수소 원자와의 반응에서 가장 많은 에너지를 잃고 감속된다.

아스팔트는 주성분이 수소와 탄소로 이루어져 있으므로 방사성동위원소에서 방출된 속중성자는 아스팔트와 골재의 혼합물 속을 통과할 때, 혼합물에 포함된 아스팔트의 구성성분중의 하나인 수소와 탄성산란 반응을 통해 감속된다. 이렇게 감속된 중성자를 속중성자에 비해 열중성자에 대한 검출효율이 높은 검출기로 측정하고, 아스팔트 함량에 따른 중성자 계수율의 변화로부터 교정식을 유도함으로써 중성자 계수율로부터 아스팔트 혼합물 속에 포함된 아스팔트 함량을 측정할 수 있게 된다.

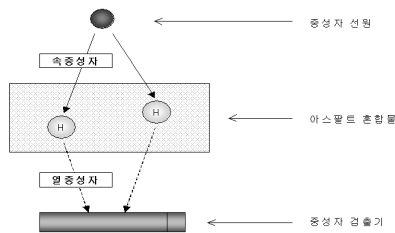


그림 2. 아스팔트 함량 측정의 개념도

3. 방사성 동위원소를 이용한 아스팔트 함량 측정 장비 개발

3.1 국내 방사선 관리기준

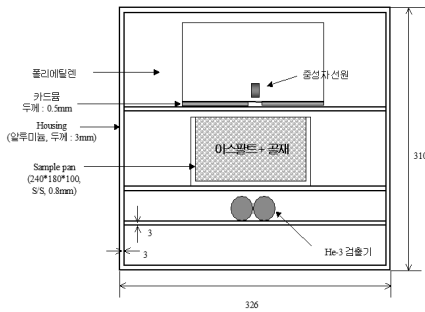
국내 방사선방호와 관련된 규정은 『교육과학기술부 고시 제 2008-31호』 “방사선방호 등에 관한 기준 고시, 2008년 4월 18일” 교육과학기술부 장관령에 의한 것으로 이 기준은 방사선방호를 위하여 원자력법, 동법 시행령 및 동법시행규칙, 방사선 안전관리 등의 기술기준에 관한 규칙 및 원자로 시설 등의 기술기준에 관한 규칙이 정하는 바에 따른 방사선방호와 관련된 기준을 정함을 목적으로 하며, 건설용 밀도측정과 관련된 방사선 사용관련 규정은 밀봉선원 100 μ Ci 이하를 신고만으로 사용할 수 있다.

3.2 장비 개발

본 연구를 통해 개발된 아스팔트 함량측정비에 사용되는 방사성동위원소는 국내 신고만으로 사용할수 있는 방사성 동위원소 Cf-252(100 μ Ci) 중성자 선원을 장비에 설치하였다. 본 연구에 사용한 선원의 특성을 표 1에 각각 나타내었다. 그림 3은 아스팔트 함량측정 장비 구성도와 장비 사진을 나타내었다.

표 1. 아스팔트 함량 측정에 사용된 방사선원의 특징

반감기	2.654년
비광자 등가선량률	2.53 mrem/hr · Ci (at 1m)
비광자 조사선량률	2.64 mR/hr · Ci (at 1m)
방사능	100 μ Ci (3.7 MBq)
캡슐 재질	304 Stainless Steel (이중밀봉용접)



1) 구성도



2) 개발된 장비

그림 3. 개발된 아스팔트 함량 측정장비

3.3 아스팔트 함량 측정 절차

개발된 아스팔트함량 측정장비를 이용하여 아스팔트 함량 측정을 위한 절차를 그림 4에 나타내었다. 아스팔트 함량 측정절차는 3단계로 구성된다. 측정절차는 측정장비 교정, 표준체(폴리에틸렌) 측정에 의한 반감기 보정, 아스팔트 혼합물의 아스팔트 함량 측정 절차로 진행된다.

표준체를 아스팔트 함량 측정장비에 삽입한 상태에서 16분간 측정한다. 표준체 계수율은 아스팔트 혼합시료에 대한 계측비 유도에 사용되어 방사성 붕괴로 인한 계수율 변화를 보정해주는 역할을 한다.

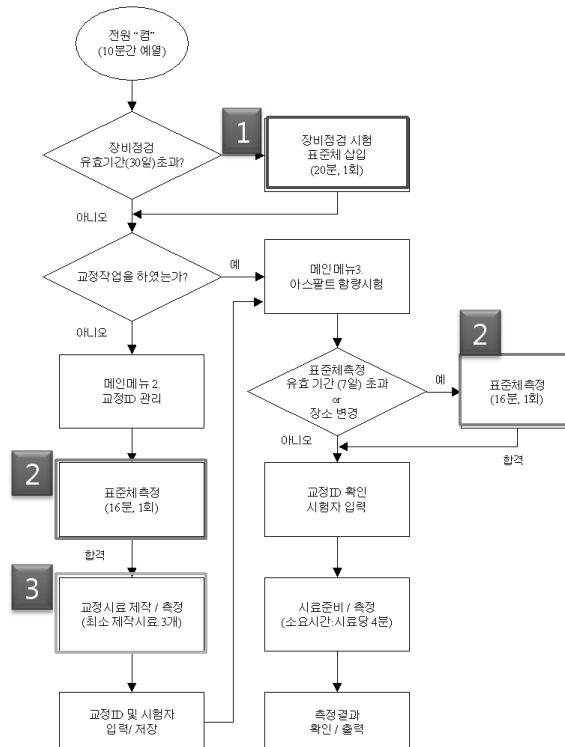


그림 4. 아스팔트 함량 측정 절차



그림 5. 표준체 설치 전경

4. 평가

개발된 방사성동위원소(RI)을 이용한 아스팔트함량 측정장비를 이용하여 배합설계를 통하여 다양한 아스팔트혼합물을 제작하여, 골재종류, 혼합물 중량, 측정온도, 혼합물 시료팬(pan) 등의 영향에 따른 분당 중성자 계수율(cpm)을 측정하여 적용성 평가를 수행하였다. 본 연구의 배합설계는 일반 밀입도 아스팔트 혼합물을 제작하기 위하여 PG 64-22 바인더를 사용하였으며, 굵은골재 최대치수 19mm 일반 밀입도 A 화강암 골재와, B 편마암 골재 등 두 종류의 골재를 사용하여 개발된 아스팔트 함량 측정장비 평가를 수행하였다.

4.1 아스팔트 함량과 온도변화에 따른 분당 중성자 계수율(CPM) 비교

배합설계 한 2종류의 다져지지 않은 아스팔트 혼합물(A 화강암, B 편마암)의 아스팔트 함량을 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0%로 변화하여 제작하였으며, 배합설계를 토대로 제작된 다져지지 않은 동일한 아스팔트 혼합물의 시료중량에서의 아스팔트 함량 변화에 따른 RI 측정장비의 분당 중성자 계수율(cpm)을 측정하였다.

제작한 아스팔트 혼합물의 시료 중량은 약 5,700g \pm 100g을 계량하였고, 계량된 아스팔트 혼합물 시료를 함량측정 장비 안에 설치하기 위한 시료팬은 스테인레스로 상용화 되어 제작 판매되는 시료팬(체적: 265×163×100mm)을 본 실험에 사용하였다. 측정 전 아스팔트 혼합물의 내부 온도를 110℃, 70℃로 유지하기 위하여 건조로에서 충분히 양생하였고, 상온에서의 측정은 아스팔트 혼합물의 내부온도를 상온 상태로 유지하기 위하여 상온에서 24시간 이상 양생한 후 실험을 수행하였다. 본 실험은 110℃에서는 30분간, 70℃와 상온에서는 20분간 각각 3회씩 측정하였다. 두 혼합물간의 분당 중성자 계수율(cpm) 측정결과 차이를 비교하기 위하여 그림 6에 나타내었다.

측정결과 화강암(A)와 편마암(B) 골재를 사용하여 제작한 혼합물에서는 동일한 아스팔트 혼합물 시료량에서 아스팔트 함량이 증가할수록 분당 중성자 계수율(cpm)이 증가하는 경향을 나타내었으며, 온도가 상온에서 70℃, 110℃로 증가할수록 마찬가지로 분당 중성자 계수율(cpm)이 증가하는 경향을 나타내었다. 아스팔트 함량이 증가할수록 분당 중성자 계수율이 증가하는 원인으로 판단되어지는 것은 아스팔트 바인더 성분 중, 수소(H: hydrogen)가 아스팔트 함량이 증가하는 만큼 증가하게 되면 증가된 숫자만큼 뉴트론(Neutron)과 반응하는 수소성분이 증가하기 때문에 중성자 계수율(cpm)이 증가하는 것으로 판단되며, 온도가 증가할수록 분당 중성자 계수율이 증가하는 경향을 나타내는 것은 온도가 높아질수록 원자의 움직임이 더욱 활발해지는 성향을 갖기 때문에 수소와 뉴트론의 반응이 증가하여 분당 중성자 계수율이 증가하는 이유로 판단된다.

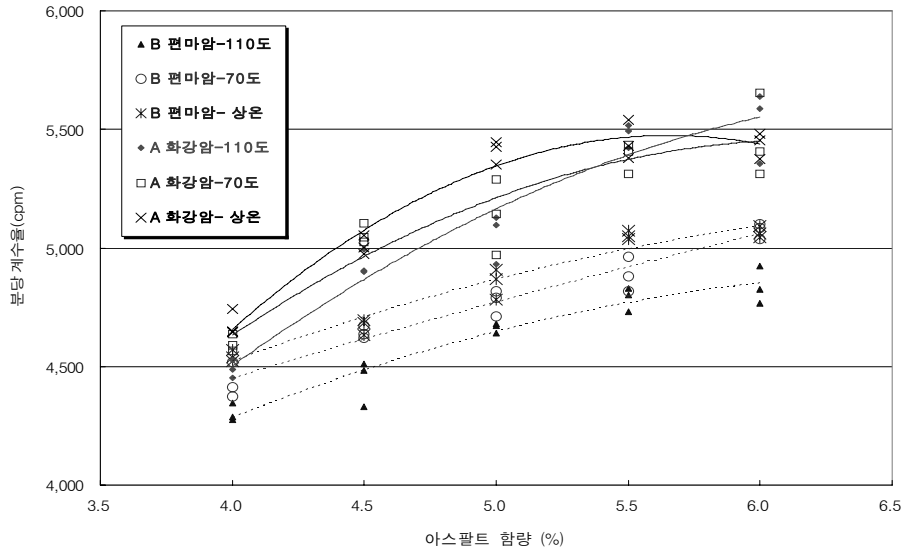


그림 6. 아스팔트 함량 및 온도변화에 따른 분당 중성자 계수율

4.2 시료중량과 온도 변화에 따른 분당 중성자 계수율(CPM) 비교

본 실험은 아스팔트 혼합물의 시료중량 및 온도변화에 따른 분당 중성자 계수율(cpm) 변화를 비교하기 위하여 수행하였다. 배합설계 한 두 종류의 다져지지 않은 아스팔트 혼합물(A 화강암, B 편마암)의 모든 아스팔트 함량을 5.0%로 고정하여 제작하였으며, 배합설계를 토대로 제작된 다져지지 않은 아스팔트 혼합물의 중량을 달리하고, 아스팔트 혼합물의 내부온도를 각각 110℃, 70℃, 상온 등으로 변화하여 RI 측정장비의 분당 중성자 계수율(cpm)을 측정하였다.

제작한 아스팔트 혼합물 시료의 중량을 약 1000g, 2600g, 3700g, 4700g, 5700g(±100g) 총 5단계로 구분하였고, 측정 전 아스팔트 혼합물의 내부 온도를 110℃, 70℃로 유지하기 위하여 건조로에서 충분히 양생하였고, 상온에서의 측정은 아스팔트 혼합물의 내부온도를 상온 상태로 유지하기 위하여 상온에서 24시간 이상 양생한 후 실험을 수행하였다. 본 실험은 110℃에서는 30분간, 70℃와 상온에서는 20분간 각각 3회씩 측정하였다. 두 혼합물의 분당 중성자 계수율(cpm) 측정결과 차이를 비교하기 위하여 그림 7에 나타내었다.

측정결과 2종류의 골재원(A 화강암, B 편마암) 모두 아스팔트 혼합물 내부온도가 낮을수록, 또한 시료량이 증가할수록 측정된 분당 중성자 계수율(cpm)이 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 앞선 실험결과와 마찬가지로, 아스팔트 혼합물 시료량이 증가할수록 분당 중성자 계수율(cpm)이 증가하는 경향이 나타났다. 그러므로 아스팔트 함량 시험 시험기준은 일정 시료량 시험을 위해 시료팬의 체적(265*163*100mm)과 시료 중량 5,700g ±100을 규정하여 시험에 적용하도록 하고, 기준 시험온도는 110℃로 기준을 설정하였다.

또한, A 화강암 골재의 분당 중성자 계수율(cpm)이 B 편마암 골재보다 높게 측정된 결과, 이는 골재원 종류에 따른 상관관계 도출 및 여러 변수에 대한 상관관계 검증을 수행하여야 보다 정밀한 아스팔트 함량 계측이 가능할 것으로 판단된다.

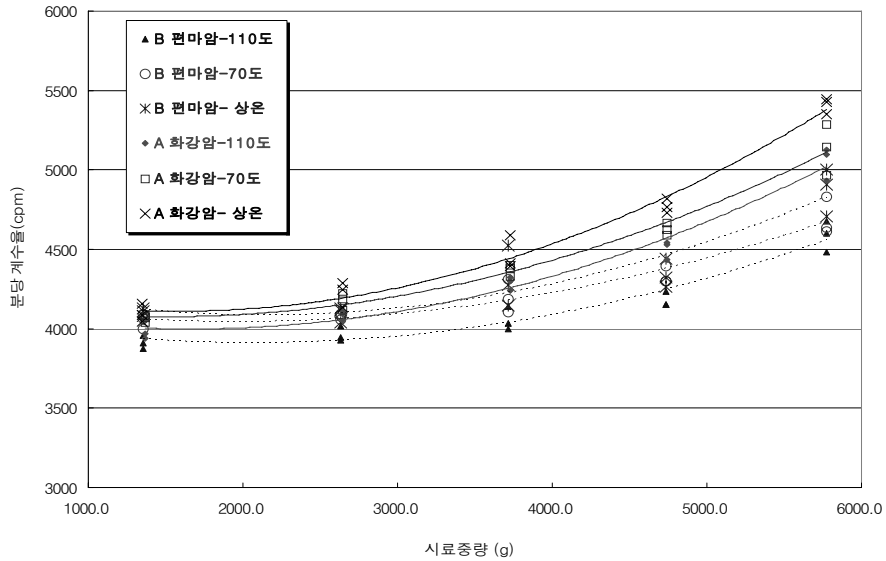


그림 7. 시료중량 및 온도변화에 따른 분당 중성자 계수율

향후, 보다 많은 변수조건을 고려한 상관관계 검증을 수행하여 개발된 저준위 방사성 동위원소(RI)를 이용한 아스팔트 함량시험기의 검증시험 결과의 신뢰성을 높일 수 있으며, 이를 바탕으로 정밀한 아스팔트 함량 계측이 가능할 것으로 판단된다. 이를 통해 본 장비가 개선된 로직을 확보한다면, 아스팔트 혼합물을 생산하는 현장에서 품질검사용으로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

5. 결 론

국내에서 신고만으로 사용가능한 100 μ Ci 이하의 방사능을 사용하는 아스팔트함량 측정 장비를 본 연구를 통해 개발하였으며, 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 본 연구를 통해 개발된 아스팔트 함량시험기는 중성자로 CF-252를 적용하여 정밀한 측정이 가능하나 반감기가 2.645년으로 본 장비의 이용시간이 증가될수록 측정되는 중성자 계수율(cpm)이 감소함으로 이를 보정할 수 있도록 표준체(폴리에틸렌)와 아스팔트 혼합물에서 측정된 중성자 계수율의 계측비를 적용하여 아스팔트 함량을 측정하도록 하였다.
2. 본 연구를 통해 개발된 저준위 방사성 동위원소를 이용한 아스팔트 함량측정결과 2종류의 골재원 모두 아스팔트 혼합물의 시료량에 따른 분당 중성자 계수율(cpm)이 시료량이 증가할수록 계수율도 증가하는 것으로 나타나 일정 시료량 시험을 위해 시료팬의 체적(265*163*100mm)과 시료 중량 5,700g \pm 100을 규정하여 시험에 적용하도록 하였다.
3. 본 연구를 통해 개발된 저준위 방사성 동위원소를 이용한 아스팔트 함량시험기의 검증시험 결과 신뢰성 있는 아스팔트 함량측정이 가능할 것으로 판단되지만, 골재원 종류에 따른 상관계수 도출 및 여러 변수에 대한 상관관계 검증을 수행하여야 보다 정밀한 아스팔트 함량 계측이 가능할 것으로 판단된다. 이를 통해 본 장비가 개선된 로직을 확보한다면, 아스팔트 혼합물을 생산하는 현장에서 품질검사용으로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. 방사성동위원소협회, “원자력법령집,” 원자력법시행규칙 제63조, 2000
2. “AASHTO T 287, Asphalt Cement Content of Asphalt Concret Mixtures by the Nuclear Method,” American Association of State Highway & Transportation Office, 1997