

논문 2008-45IE-2-2

중성자선원의 위치에 따른 아스팔트 함량의 변화

(The Change of Asphalt Content by The Position of Neutron Source)

김 기 준*

(Kijoon Kim)

요 약

본 연구에서는 아스팔트 함량의 중요성을 인식하여 현재 법적 규제 면제치인 100[μ Ci]이하의 방사성 동위원소를 이용한 아스팔트 함량측정기의 개발을 목표로 하였다. 이를 위하여 중성자선원의 위치에 따라 아스팔트 함량에 변화를 주는 3가지의 분야로 나누었다. 먼저, 아스팔트 혼합물과 중성자 선원과의 간격을 줄일 경우, 반사체 설치의 경우, 이력수를 변화시켰을 경우로 나누어서 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 살펴보았으며, 만족스러운 오차범위 결과를 얻어 아스팔트 함량측정기의 개발을 위한 설계 자료로 활용하고자하였다.

Abstract

In this study, because of the importance of asphalt content, the target is to develop a asphalt content detector that the influence of the jurisdiction and usage of radioisotopes are limited of 100[μ Ci] or less. For development of a asphalt content detector, it is divided into three parts that is affected the change of asphalt content due to the position of neutron source. First part is to decrease the distance between asphalt mixture and neutron source, second is to install the reflector, and last is to change the history number. It performed to analysis by computer simulation and satisfactory results of error range can use to design data for development of a asphalt content detector.

Keywords: 아스팔트, 함량측정기기, 컴퓨터 시뮬레이션, 중성자, MCNP 코드

I. 서 론

도로포장에 사용하는 아스팔트와 골재의 혼합물은 플랜트에서 제조하여 덤프트럭으로 포설현장까지 운반된다. 아스팔트와 최대입경이 25[mm]이하의 골재에 대한 배합설계를 위해서는 아스팔트 혼합물이 교통차량의 하중에 의해 고온에서 유동 또는 변형하는 저항성의 정도(안정도, Stability)를 역학적 시험을 통해 측정하여 최적의 배합비를 찾아내는 마샬 안정도 시험법(ASTM D 1559)을 일반적으로 이용하고 있다^[1].

아스팔트 포장은 골재와 아스팔트 역청재를 혼합하여 이를 도로포장에 사용하는 것으로서 아스팔트 포장

에서 아스팔트 역청재의 함량은 포장된 도로의 내구성, 안정도, 미끄럼방지도 등을 결정하는 주요 요인이 되며, 아스팔트 함량이 설계값보다 낮을 경우에는 포장의 피복상태가 좋지 않게 되고 아스팔트 혼합물이 쉽게 부서질 수 있으며, 설계값보다 높을 경우는 혼합물과 아스팔트 역청재가 유리되거나 차량의 하중에 의해 바퀴자국이 생기는 등의 문제를 일으키게 된다. 그러한 이유로 인하여 아스팔트 포장을 하기 전에 사용할 아스팔트 혼합물의 아스팔트 함량을 포장현장에서 측정하여 설계한 값으로 배합되었는지를 점검함으로써 도로의 부실공사를 사전에 예방할 수 있는 효과를 가져 온다^[1~2].

이미 이전의 연구에서 100[μ Ci]이하의 방사성동위원소를 이용하여 아스팔트 함량을 측정할 때 발생할 수 있는 중성자 계측수의 변화를 보완해주기 위한 방법으로 중성자 흡수체 및 감속재를 설계하여 장치 설계 자료를 확보하였다^[3].

따라서 본 연구에서는 아스팔트 함량의 중요성을 인

* 정회원, 시립인천전문대학 컴퓨터제어과
(Incheon City College)

※ 본 논문은 2007년도 시립인천전문대학 교내연구비 지원에 의한 논문임.

접수일자: 2008년3월4일, 수정완료일: 2008년6월5일

식하여 현재 국내의 법적 규제 면제치인 100[μ Ci]이하의 방사성동위원소를 이용한 아스팔트 함량측정기의 개발을 목표로 하였다. 100[μ Ci]이하의 방사성동위원소를 이용할 때 발생할 수 있는 중성자 계측수의 변화를 보완해 주기 위한 방법으로, 중성자선원의 위치에 따른 아스팔트 함량의 변화를 아스팔트 혼합물과 중성자 선원과의 간격을 줄일 경우, 반사체 설치의 경우, 이력수를 변화시켰을 경우로 나누어서 살펴 보았으며, 만족스러운 오차범위 결과를 유도하여 아스팔트 함량측정기의 개발에 설계 자료로 활용하고자 한다.

II. 아스팔트의 특성

1. 아스팔트의 종류^[1]

가. 아스팔트 시멘트(Asphalt Cement)

원유에서 각종 유류를 제거하고 그대로 남는 증류잔류물을 공기를 들여보내지 않고 증류하여 시간과 온도를 조절하여 경성과 연성 등을 변화시킨 물질로서 AC로 표시한다.

아스팔트 시멘트는 도로포장에 가장 중요한 위치를 차지하고 있으며 경도에 의하여 표 1.에 나타난 바와 같이 등급을 나누고, 이 경도는 침입도 시험에 의하여 결정된다. 여기에서 표준침은 100[g]의 하중으로 5초동안 아스팔트중에 관입시켜 관입깊이를 측정하는 방법으로, 관입한 깊이를 0.1 [mm]단위로 나타내며 25[$^{\circ}$ C]에서 시험하는 것이 표준이다.

표 1. 아스팔트 시멘트의 등급
Table 1. The grade of Asphalt Cement.

경도	침입도	AP 부호
경성 AC	40-50	AP-7
	50-60	AP-6
	60-70	AP-5
	70-85	AP-4
중성 AC	85-100	AP-3
	100-120	AP-2
	120-150	AP-1
연성 AC	150-200	AP-0
	200-300	AP-00

나. 커트백아스팔트(Cutback Asphalt)

아스팔트 시멘트는 상온에서 반고체로서 이를 포장

에 사용하려면 고온으로 가열해야만 하므로, 아스팔트 시멘트에 원유에서 분류한 원유를 혼합하여 상온에서도 사용할 수 있도록 만든 것이 Cutback Asphalt이다. 어떤 용제를 혼합하는가에 따라 증발하여 건조, 경화되는 속도가 달라지는데 급속경화형(rapid curing:RC), 중속경화형(medium curing:MC), 완속경화형(slow curing:SC)으로 구분된다.

다. 유화아스팔트(Asphalt Emulsion)

50~60[%] 아스팔트 시멘트와 1~5[%] 유화제 그리고 나머지가 수분으로 조성되며, 역청재료를 미립자로 하여 여기에 수분을 분산시킨 상태로 여기에 안정도를 증가시키기 위하여 유화제를 사용한 것이다. 유제 아스팔트의 종류는 사용한 유화제의 종류와 양에 의하여 아래와 같이 3종류로 분류한다.

- RS(Rapid Setting : 급속응결) RS-1, 2
- MS(Medium Setting : 중속응결) MS-1, 2, 3
- SS(Slow Setting : 완속응결) SS-1, 2

2. 아스팔트 및 골재의 구성성분 분석방법

아스팔트 및 골재의 구성성분을 분석하기 위하여 몬테카를로 기법을 이용하여 입자의 수송문제를 계산하는 MCNP(Monte Carlo N-Particle Transport) 코드를 이용하였으며, 아스팔트 함량 측정기를 모사하는 과정에서 아스팔트 혼합물에 대한 모사를 위해서는 아스팔트와 골재의 구성성분에 대한 무게분율이 필요하다.

골재의 구성성분을 구하기 위해서 X선을 물체에 조사하여 물체가 구성하고 있는 각 원소의 종류에 따라 발생하는 특유한 파장의 2차 X선을 분광분석함으로써 물질의 구성성분 및 무게분율을 분석하는 EDX 분석법(Energy Dispersive X-ray Spectroscopy)을 사용한다.

3. 아스팔트 함량 측정법의 비교^[1~3]

아스팔트 함량을 측정하는 방법에는 아스팔트 혼합물을 벤젠과 같은 용매를 이용하여 골재로부터 아스팔트를 분리시킨 후 그 양을 직접 측정하는 용매추출법(ASTM D 2172)과 아스팔트 혼합물에 포함된 아스팔트의 구성성분 중의 하나인 수소에 의해 감속된 중성자의 양을 측정하여 혼합물속에 포함된 아스팔트의 양을 간접적으로 측정하는 방사성동위원소를 이용한 측정법(ASTM D 4125)이 있다.

용매추출법은 아스팔트의 함량이외에도 골재에 대한

정보를 같이 얻을 수 있으며, 혼합물에 대해 추가적인 특성 실험을 할 수 있다는 장점이 있으나, 유독성 용매를 사용하여 인체와 환경에 영향을 미치며, 저장과 처분에 비용이 많이 드는 단점을 가지고 있다.

이에 비해 방사성동위원소를 이용한 측정법은 아스팔트 함량 측정값의 정밀도와 정확성이 우수하며, 용매 추출법에 비해 신속한 측정을 할 수 있고, 3번 이상 혼합물을 측정할 경우 용매추출법에 아스팔트 함량 측정 비용이 더 낮아지며, 사용절차가 간단하다는 장점이 있다. 그러나 이 방법은 아스팔트 함량의 측정에만 이용할 수 있고, 높은 선원을 가진 장비의 경우 방사성동위원소 취급면허가 필요하며, 장비가 고가이므로 작은 사업에 이용할 때에는 비용이 용매추출법에 비해 더 많이 들며, 교정시간이 길다는 단점을 가지고 있다. 따라서 국내의 법적 규제 면제치인 100[μ Ci]이하의 방사성동위원소와 고전압회로를 이용하여 아스팔트 함량측정기를 개발함으로써 취급 면허가 필요없고, 교정시간의 단축 및 저가의 장비를 개발하기 위한 설계 자료를 확보하고자 한다.

4. 아스팔트의 함량측정장비

아스팔트 함량측정장비의 기본 요건인 100[μ Ci]이하의 선원을 사용하여 6[%]의 아스팔트 함량을 갖는 아스팔트와 골재의 혼합물에 대해 5분간 측정하였을 경우, 0.1[%]이내의 측정오차를 갖는 아스팔트 함량 측정기의 개발을 목표로 하여 이미 부분적인 설계를 완성하였다^[3].

완성된 설계에서는 낮은 선원을 사용함으로써 줄어드는 계측수를 증가시키기 위해서 선원으로부터 방출된 중성자중 혼합물 속에서 감속된 열중성자는 열중성자 흡수체를 이용하여 제거하고, 흡수체를 통과한 중성자들을 폴리에틸렌으로 감속시킨 후 열중성자 검출기를 이용하여 검출하는 속중성자 검출방식을 그림 1과 같이 검토하였다^[1, 3~4].

선원으로부터 방출된 속중성자가 아스팔트 혼합물을 통과한 후 가장 많이 검출되는 위치 결정은 그림 2와 같이 설계되었으며, 검출기로 들어온 중성자의 대부분(약 98[%])은 1[Kev]에서 20 [Mev] 사이의 에너지를 가지게 되고, 3, 4번 검출기에서 가장 높은 중성자속을 나타내고 있다^[3].

본 장치 설계에 사용된 중성자 선원으로는 ²⁵²Cf 선원을, 열중성자 검출기로서는 ³He 검출기를 각각 사용하였다. 열중성자검출기로 널리 쓰이는 He-3 가스비례계

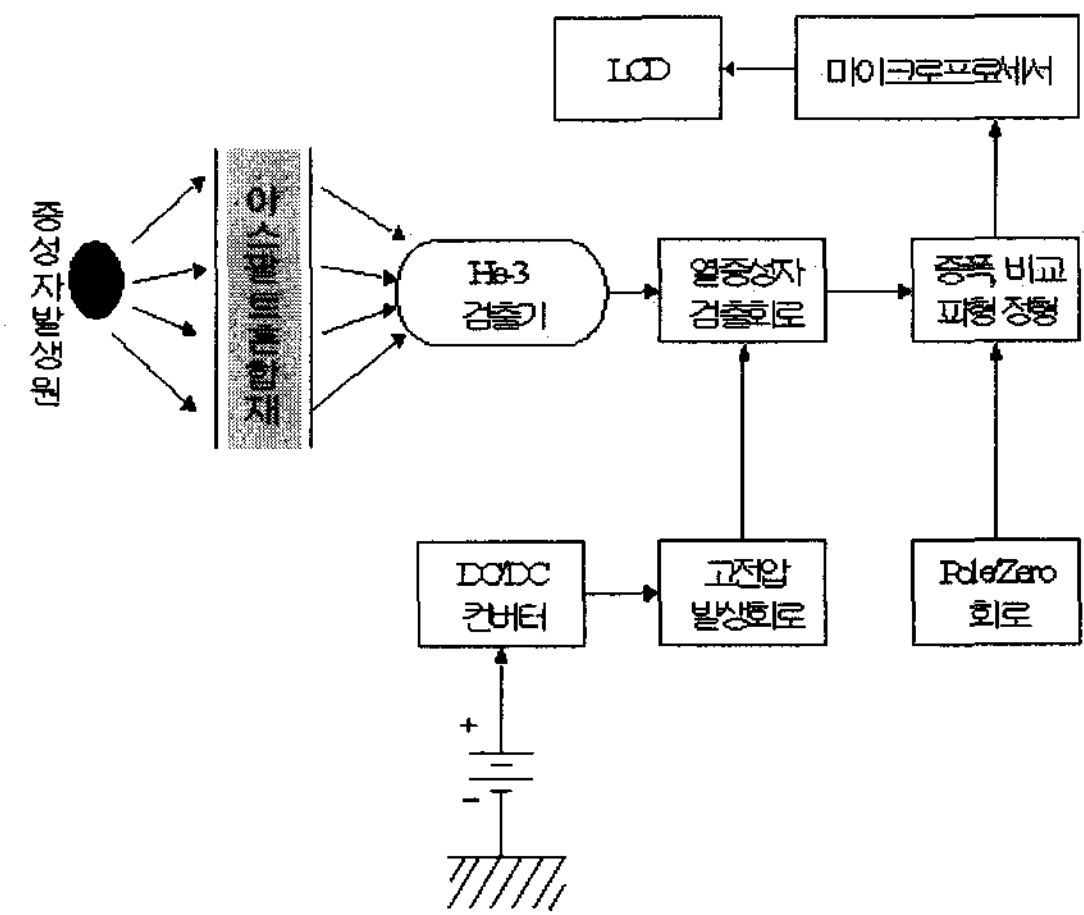


그림 1. 아스팔트 함량 측정기
Fig. 1. Asphalt Content Detector.

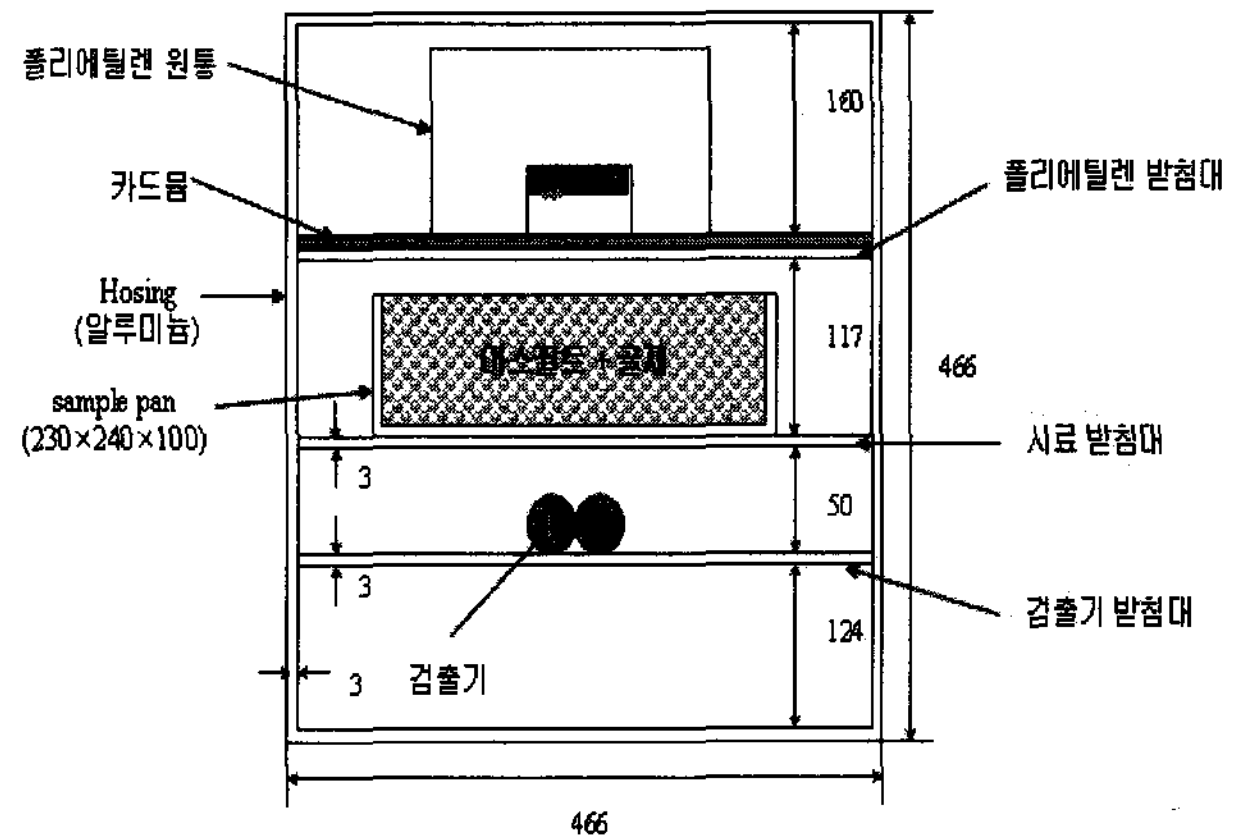


그림 2. 아스팔트 함량 측정 장비
Fig. 2. The Measurement Equipment of Asphalt Content.

수관의 측정원리는 He-3와 열중성자의 반응으로 발생하는 양성자(Proton : 571 [keV]), 삼중수소핵 (Triton : 191 [keV])의 에너지를 측정한다. 즉, He-3와 열중성자가 반응해서 발생하는 입자는 검출기 내부가스를 이온화 시키면서 그 에너지를 잃는다. 이온화된 가스는 검출기내부에 걸린 전기장에 의해 전자들은 양극도선 (Anode), 양이온들은 음극벽(Cathode)으로 이동하는데, 이때 검출기 내부에서는 가스증배(Gas Multiplication) 현상에 의해 양이온 및 전자의 전하를 증폭하게 된다. 가스 증배에 의한 전하량은 입사된 중성자의 에너지에 비례하고, 이들 전자나 양이온이 수집되는 시간의 중성자 검출회로의 설계에 있어서 회로 시정수 결정에 중요한 인자가 된다. 양이온이나 전자의 비례계수관 내에서의 수집시간은 양극도선의 굵기에 크게 변화되지만 실제적인 값은 크지 않아 전자의 경우 수집시간이 수십 μ sec, 양이온의 경우 수집시간이 수십 msec 라고 말할

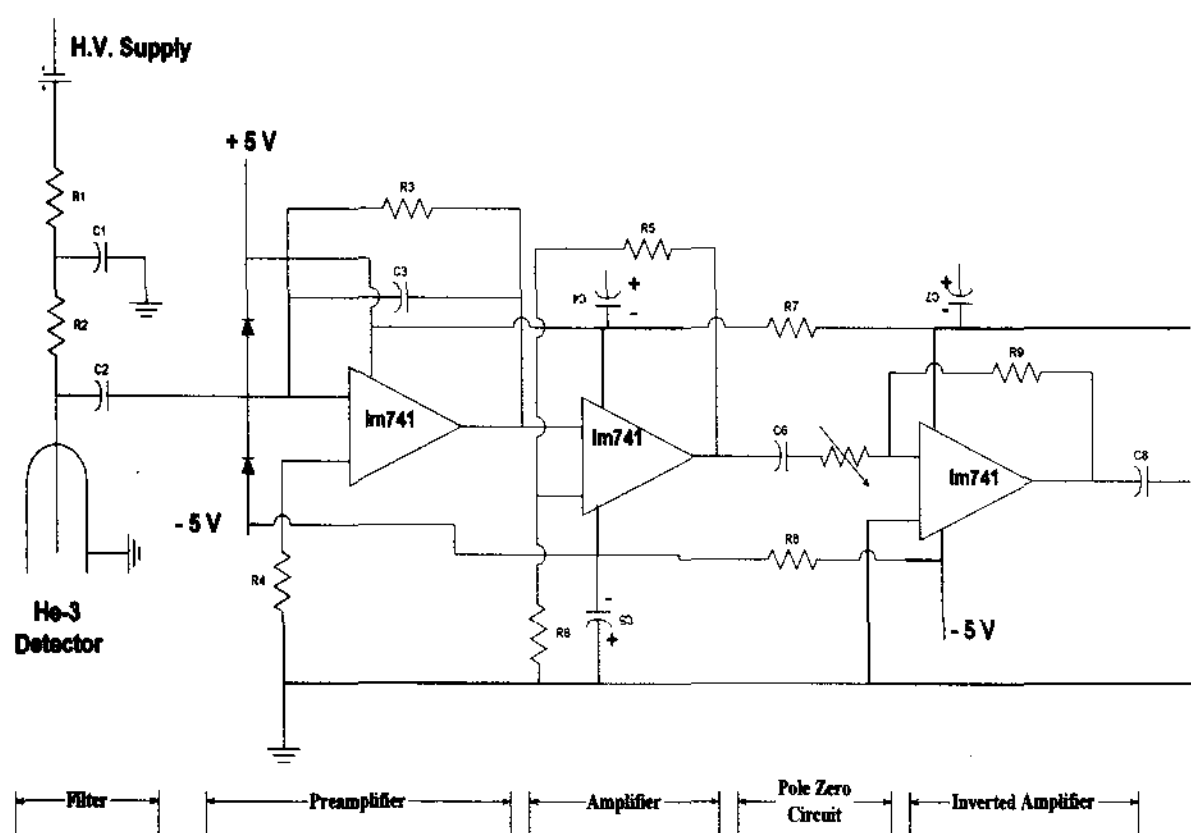


그림 3. 중성자 검출 회로도
Fig. 3. The Circuit of Neutron Detection.

수 있다.

비례계수관에서의 전압증가시간은 양이온 수집시간이 모두 끝나게 되면 전하수집은 끝이 나고 그 크기가 최대가 되지만 검출기 불감시간이 매우 커지게 되므로서 다음 사상이 발생되면 신호가 발생하지 않을 수도 있다. 따라서 전자 수집시간이 마무리되는 지점을 찾아 회로내 시정수에 의해 전압을 감소시켜야 한다.

중성자 검출회로설계에 있어서 다른 중요한 것은 고전압 공급부분이다. 중성자 검출기나 감마선 검출기는 900~1200[V]까지의 전압이 공급된다. 고전압이 순간적으로 He-3 검출기에 인가되면 G-M 검출기와 마찬가지로 검출기 양극도선의 요철부분에서 국부방전, 즉 코로나방전이 일어나기 쉽다. 이는 검출기 내에 걸리는 전기장을 불안정하게 하여 이상 방사선 계측수를 나타낸다.

이상과 같은 조건에 따라 중성자 검출회로는 연산증폭기를 3단으로 구성하여 증폭도가 최대 약 50 [dB]가 되도록 설계하였다. 중성자 검출회로는 주변의 대단히 미약한 잡음원에 대해서도 이상 펄스를 발생하므로 동판을 이용하여 정전차폐하여 외부 잡음원에 대해 대비하였다. 그림 3은 계수화(Digitalize)하기 전까지의 중성자 신호를 검출하는 회로도이다.

III. 중성자 계측을 위한 시뮬레이션

1. MCNP 코드

MCNP(Monte Carlo N-Particle Transport) 코드는 몬테카를로 기법을 이용한 것으로 무작위적으로 발생하는 물리적 변화 현상을 해석할 때 이용되며 난수(Random number)를 이용하여 인위적으로 표본을 추출

함으로서 무작위적으로 진행되는 과정을 시뮬레이션하고 이 과정에서 얻어지는 표본들의 정보를 수집 및 추정하는 방법이다^[5~6]. 이 코드는 물리실험과 원자로 설계, 핵임계 계산, 방사선 차폐, 보건물리, 방사선 선량측정, 핵측정 장치의 설계 등 다양한 분야에 활용되고 있으며, 임의의 3차원 기하학적 구조에 대해 중성자, 광자, 전자의 수송 및 중성자와 광자의 복합수송 등에 대한 계산을 수행할 때도 사용된다.

이 코드에서는 체적(Cell)내에서 계산하고자 하는 입자의 밀도를 구할 때 F4 계산 card를 사용한다. F4 tally를 이용하여 구하는 밀도는 $\Phi(r, E, t) = v \cdot N(r, E, t)$ 이다. 여기서, v 는 입자의 속도, $N(r, E, t)$ 은 입자밀도(단위부피당 입자의 수)이다. 입자의 밀도를 위치와 에너지와 시간에 대해 적분하면 식 (1)과 같다.

$$\int_V \int_E \int_t \Phi(r, E, t) dt dE \frac{dV}{V} = W v \frac{t}{V} = WTl/V$$

[particles/cm³]

여기서, W 는 단위시간당 단위질량당 생성되는 입자의 수이며, Tl 은 입자의 이동거리이다.

위 식에서 $ds = v dt$ 라고 하면

$$\int_V \int_E \int_t \Phi(r, E, t) dt dE \frac{dV}{V} = \int_V \int_E \int_s N(r, E, t) ds dE \frac{dV}{V}$$

와 같은 식을 얻을 수 있으며, MCNP 코드는 그 계산결과를 출력하게 된다. MCNP 코드는 입자가 cell 내에 있는 동안 움직이는 거리를 계산함으로써 입자의 밀도에 대한 계산을 수행하게 된다^[5~6].

MCNP 코드의 계산결과에는 N 개의 이력(history)수에 대한 입자의 평균 계산값(\bar{x})과 상대오차(R)를 같이 출력하게 된다. 이때 입자의 평균 계산값은 아래 식과 같다.

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i$$

여기서, N 은 이력(history)수, x_i 는 이력 i 에서의 계산값이다. 계산결과에 대한 상대오차는 평균 계산값의 표준편차를 계산 평균값으로 나눈 값으로서

$$\text{상대오차} \leq \frac{\text{평균계산값의 표준편차}(S_{\bar{X}})}{\text{평균계산값}(X)} = \frac{\sqrt{S_{\bar{X}}^2}}{\bar{X}}$$

와 같이 구할 수 있다.

2. 컴퓨터 시뮬레이션의 결과 및 검토

본 컴퓨터 시뮬레이션에서는 아스팔트 혼합물과 중성자 선원과의 간격, 반사체 설치, 그리고 이력수에 따라 중성자 계측수가 어떻게 변화가 이루어지는지 살펴 보았다.

가. 아스팔트 혼합물과 중성자 선원과의 간격을 줄일 경우

아스팔트 혼합물과 중성자 선원과의 간격을 줄일 경우 선원으로부터 방출된 속중성자가 아스팔트와 골재의 혼합물 속으로 더 많이 입사하게 된다. 아스팔트와 골재의 혼합물 속으로 입사하는 속중성자의 수가 증가할 수록 열중성자 영역으로 감속되는 중성자의 수도 증가하므로 열중성자 검출기에서 검출되는 계측수도 증가하게 된다. 계측수가 증가하면 그에 따른 상대오차가 줄어들어 아스팔트함량 측정시 상대적으로 적은 오차범위를 갖게 된다.

선원과 아스팔트 혼합물의 간격을 3.53[cm]에서부터 1[cm]까지 줄임으로써 더 많은 중성자가 감속될 수 있도록 설계한 결과 계측수는 그림 4와 같이 나타났다.

결과에 나타난 바와 같이 선원과 아스팔트 혼합물의 간격을 3.53[cm]에서 1[cm]로 줄일 경우 계측수가 약 1.5배 정도 증가함을 알 수 있다. 계측수의 증가는 방사성동위원소의 양을 줄일 수 있는 귀중한 자료이고, 선원과 아스팔트 혼합물의 간격이 1[cm] 미만의 경우는 장치 설계에 어려움이 따를 것으로 분석되어 1[cm] 미만을 고려하지 않았다.

그림의 결과에서 1[cm]로 줄 일 경우의 계측수에 점선으로 표시한 것과 같이 최소제곱법(Least-square method)을 이용하여 교정곡선을 그려보았다. 이때의 교

정식은 $y = 1250x - 3923.3$ 으로 코드계산으로부터 얻은 6[%]아스팔트 혼합물에 대한 계측수는 3470개로서 위의 교정식을 이용하면 5.91[%]의 아스팔트 함량을 얻을 수 있다. 또한 이때의 교정식과 비교한 계측수는 3470 ± 59 (상대오차 : 1.7[%])의 값을 가지며, 아스팔트 함량은 5.87[%]~5.96[%]의 범위를 갖는다.

나. 반사체 설치의 경우

이미 앞에서 선원과 아스팔트 혼합물의 간격이 3.53[cm]에서 1[cm]가 되도록 이동시킴으로서 1.5배 이상의 계측수가 증가함을 알 수 있었다. 계측수를 보다 증가시키기 위해 선원의 1[cm] 위에 그림 2의 폴리에틸렌 원통과 같이 반사체인 폴리에틸렌(두께 : 1[cm])을 설치하여 선원의 윗 부분으로 방출된 속중성자들이 폴리에틸렌과의 산란반응을 통하여 아스팔트 혼합물 속으로 입사하도록 설계하여 계측수를 증가시킨 후 MCNP 코드로 계측수를 계산하여 그림 5와 같은 결과를 얻었다.

그림 4와 그림 5에서 나타난 바와 같이 선원과 아스팔트 혼합물의 간격을 3.53[cm]에서 1[cm]로 줄인 후 반사체를 설치할 경우 계측수가 7~9배 정도 증가함을 알 수 있다. 그림 5에서 5, 6, 7[%] 아스팔트 함량의 계측수에 대해 점선과 같이 최소제곱법을 이용하여 교정식을 구해보면 $y = 3010x - 440$ 이다. 코드계산으로부터 얻은 6[%]아스팔트 혼합물에 대한 계측수는 17,283개로서 위의 교정식을 이용하면 5.89[%]의 아스팔트 함량을 얻을 수 있다. 또한 이때의 계측수는 17283 ± 131 (상대오차 : 0.76[%])의 값을 가지며, 아스팔트 함량은 5.84~5.93[%]의 범위를 갖는다.

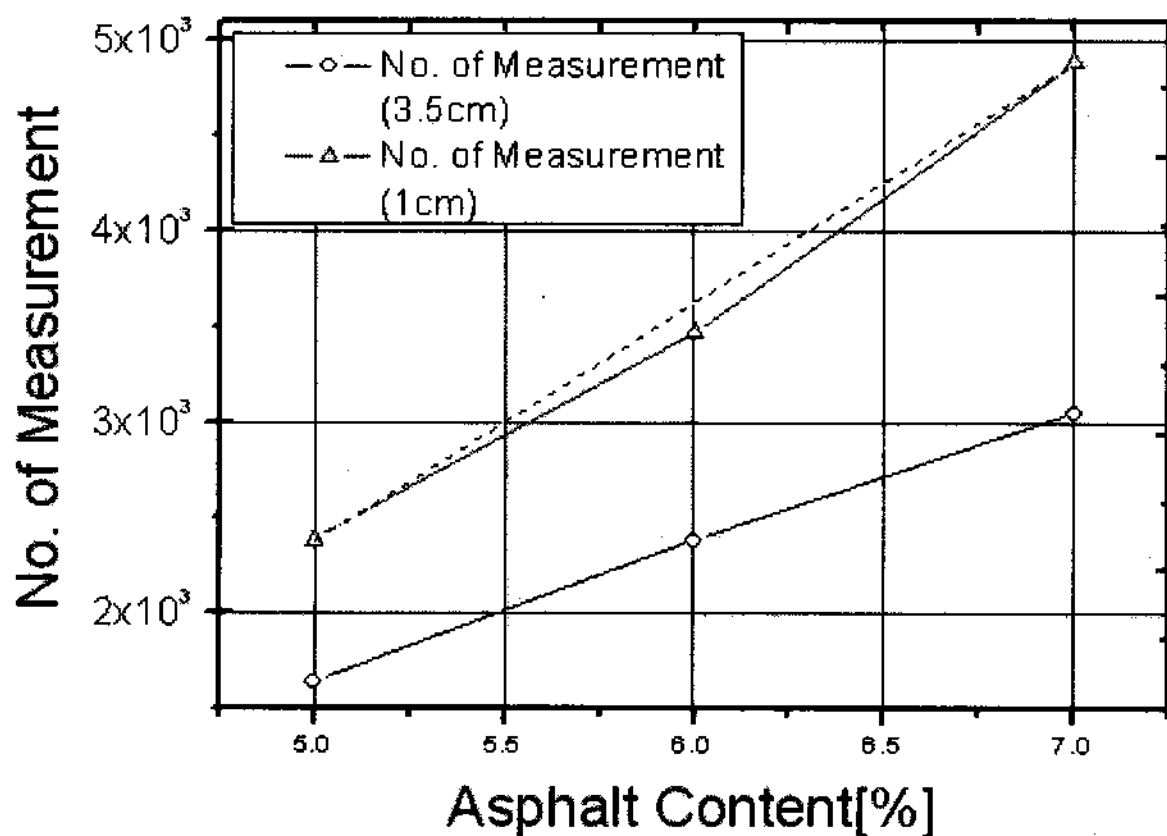


그림 4. 시뮬레이션 결과 1
Fig. 4. Simulation Result 1.

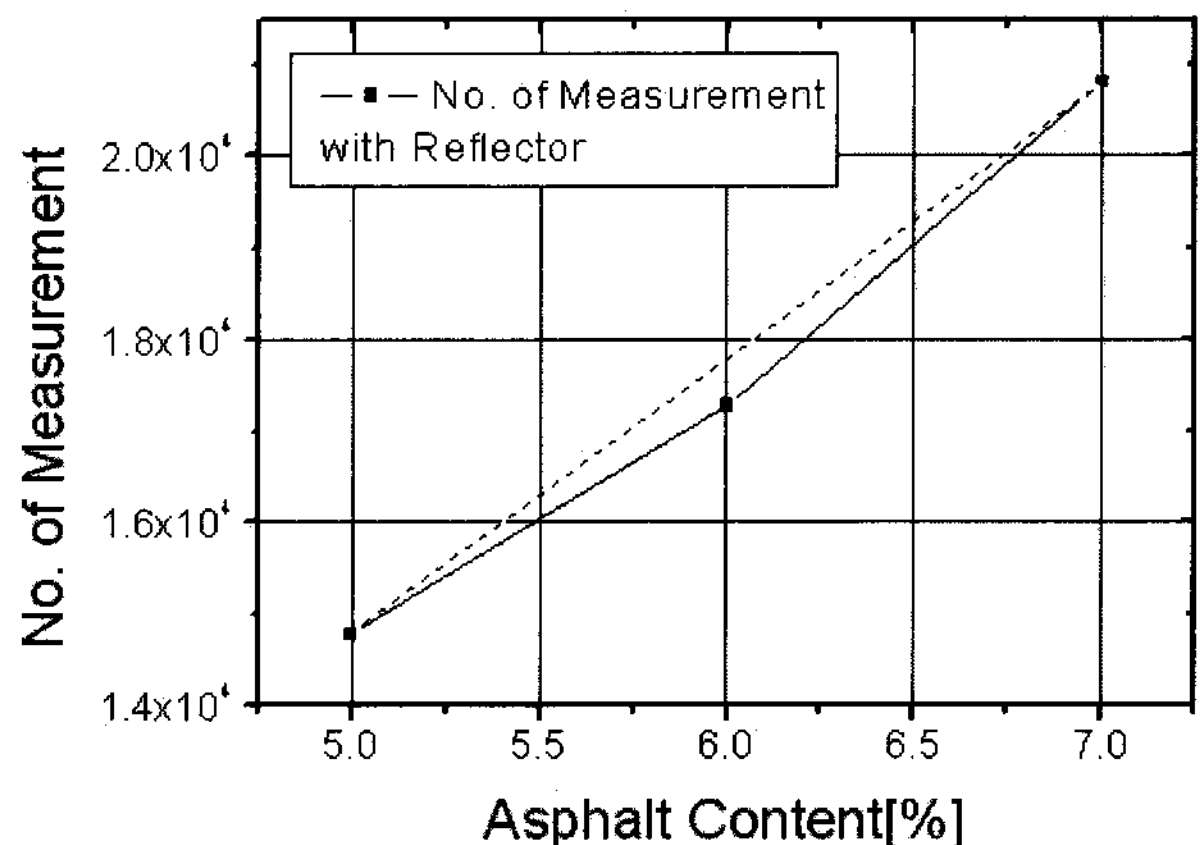


그림 5. 컴퓨터 시뮬레이션 결과 2
Fig. 5. Simulation Result 2.

다. 이력수를 변화시켰을 경우

선원의 1[cm] 위에 1[cm] 두께의 반사체를 설치한 경우 아스팔트함량 증가에 따른 계측수의 변화율이 크게 증가하여 계측수가 갖는 0.76[%]의 상대오차에도 불구하고 아스팔트함량에 대해 0.09[%]이내의 오차범위를 갖는다. 그러나 MCNP 코드를 이용하여 계산한 계측수의 상대오차가 약 3.6[%]정도이므로 아스팔트함량 변화에 따른 계측수의 변화 경향을 예측할 수는 있으나, 계측수가 갖는 상대오차와 비교할 때 MCNP 코드 계산값이 너무 큰 오차범위를 가지므로 정확한 계측수를 계산하였다고 볼 수 없다. 그러므로 코드 계산값에 대한 상대오차를 줄이기 위하여 중성자 이력수(history)에 대한 계산을 증가하였다. 계측수가 갖는 오차범위값 정도로 줄이기 위해 MCNP 코드의 중성자 이력수를 2백만번에서 2천만번으로 10배 증가시켜 계산하여 그 결과를 그림 6에 나타내었다.

2천만번의 이력수에 대한 계측수의 교정식을 최소자승법으로 구하면 $y = 2931.5x + 50.7$ (그림 6의 점선)이 되며, 6[%] 아스팔트 함량에서의 계측수 17528 ± 132 (상대오차 : 0.76[%])개는 이 교정식을 이용하면 5.96[%]를 나타내며, 5.92~6.01[%]의 범위를 갖는다. 이 값은 설계 목표치인 0.1[%]이내의 오차범위를 만족시키는 0.09[%]이내의 오차범위를 갖게 된다.

이상의 시뮬레이션으로 구한 교정식은 아스팔트 측정장비의 제작시 선원과 아스팔트 혼합물의 간격 결정, 반사체설치의 유무, 그리고 이력수의 결정에 결정적인 조건을 제시할 것이다.

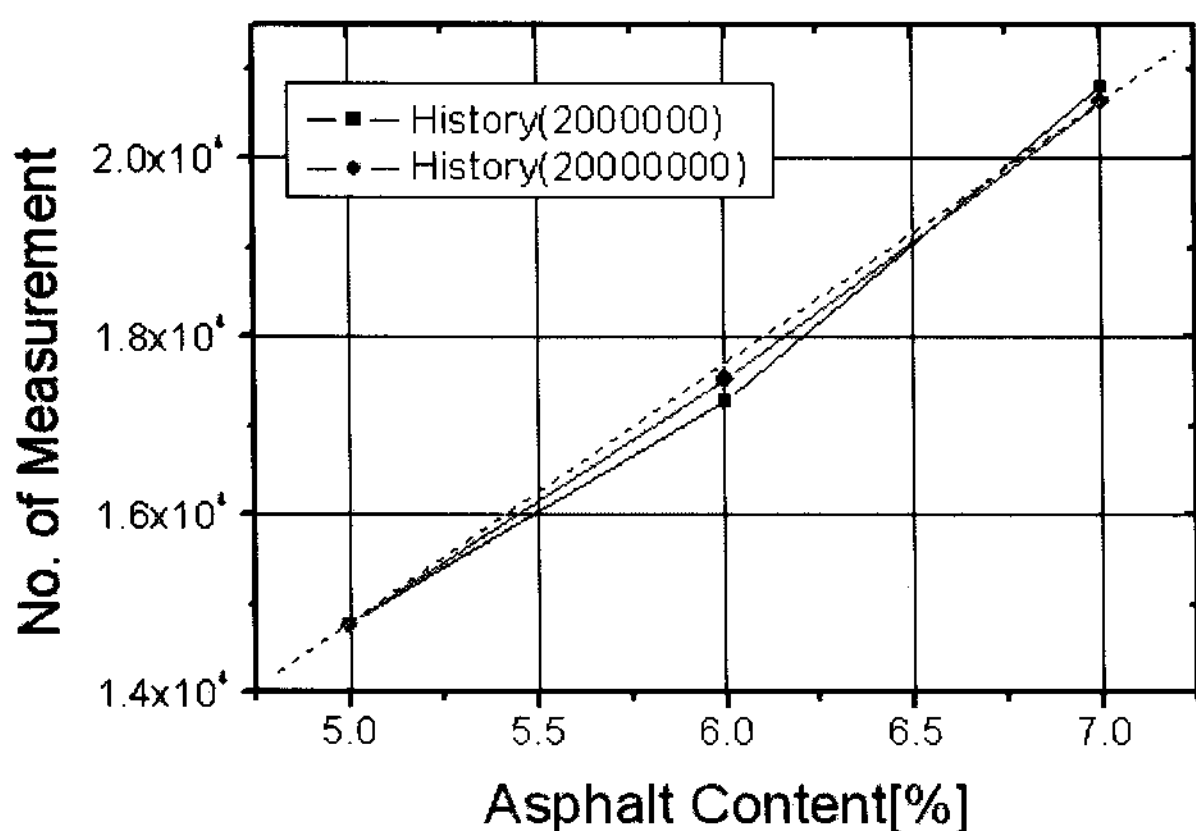


그림 6. 컴퓨터 시뮬레이션 결과 3
Fig. 6. Simulation Result 3.

IV. 결 론

본 연구에서는 100[μCi]이하의 방사성동위원소를 이

용하여 아스팔트 함량측정기를 설계하기 위한 방법으로 아스팔트 혼합물과 중성자 선원과의 간격, 반사체 설치, 그리고 이력수에 따라 중성자 계측수가 어떻게 변화되는지를 살펴보았으며, 이 결과를 아스팔트 함량측정기를 설계하는데 적용하고자 한다.

○ 아스팔트 혼합물과 중성자 선원과의 간격을 줄일 경우

선원과 아스팔트 혼합물의 간격을 3.53[cm]에서 1[cm]로 줄일 경우 계측수가 약 1.5배 정도 증가하였고, 최소제곱법을 이용한 교정곡선은 6[%]아스팔트 혼합물에 대하여 5.91[%]의 아스팔트 함량을 얻을 수 있다. 또한 이때의 계측수는 3470 ± 59 (상대오차 : 1.7[%])의 값을 가지며, 아스팔트 함량은 5.87~5.96[%]의 범위를 갖는다.

○ 반사체 설치의 경우

선원과 아스팔트 혼합물의 간격을 3.53[cm]에서 1[cm]로 줄인 후 반사체를 설치할 경우 계측수가 7~9배 정도 증가하였고, 최소제곱법을 이용한 교정식에서는 6[%]아스팔트 혼합물에 대한 계측수는 5.89[%]의 아스팔트 함량을 얻을 수 있다. 또한 이때의 계측수는 17283 ± 131 (상대오차 : 0.76[%])의 값을 가지며, 아스팔트 함량은 5.84~5.93[%]의 범위를 갖는다.

○ 이력수를 변화시켰을 경우

코드 계산값에 대한 상대오차를 계측수가 갖는 오차범위 정도로 줄이기 위해 MCNP 코드의 중성자 이력수를 2백만번에서 2천만번으로 10배 증가시켜 계산한 결과 교정식의 최소자승법은 6[%] 아스팔트 함량에서의 계측수 17528 ± 132 (상대오차 : 0.76[%])개는 이 교정식을 이용하면 5.96[%]를 나타내며, 5.92~6.01[%]의 범위를 갖는다. 이 값은 설계 목표치인 0.1[%]이내를 만족시키는 0.09[%]이내의 오차범위를 갖게 된다.

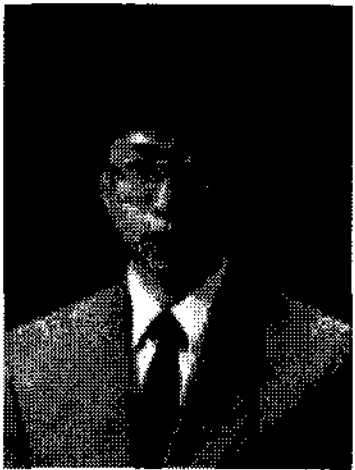
따라서 이상의 설계 자료는 100[μCi]이하의 방사성동위원소를 이용하여 계측장비를 개발할 때 설계 자료로 충분히 활용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

[1] 김기준 외, 성토시공관리를 위한 방사성동위원소 장비개발, 건설교통부, 1995.
[2] 한국도로공사, 고속도로공사 일반시방서, 한국도로

- 공사, 1990.
- [3] 김기준, 아스팔트 함량 측정을 위한 중성자 흡수체 및 감속재 설계, 한국컴퓨터산업교육학회논문지, 제 7권, 제1호, pp.7-15, 2006.
- [4] 한국과학재단, 도로건설 및 포장유지관리 시스템-도로구조체를 지지하는 노상 및 노체의 성토시공 관리를 위한 시스템에 관한 연구(I), 한국건설기술연구원, pp. 69-76, 1990.
- [5] J. S. Hendricks and J. F. Briesmeister, Recent MCNP Developments, IEEE Trans. on Nuclear Science, Vol. 39, No. 4, pp. 1035-1040, 1992.
- [6] J. F. Briesmeister, A general Monte Carlo N-particle Transport Code(MCNP) Ver. 4A, LA-12625-M, Los Alamos National Lab., 1993.

저 자 소 개



김 기 준(정회원)

1983년 광운대학교 전기공학
(공학사)

1988년 광운대학교 전기공학
(공학석사)

1992년 광운대학교 전기공학
(공학박사)

1986년 3월~1994년 2월 한국원자력연구소
연구원, 선임연구원

1994년 3월~현재 시립인천전문대학 교수
<주관심분야 : 자동화시스템설계, 동위원소 이용
기술>