

국산 아스팔트 함량 시험기 성능평가 연구

Evaluation of an Asphalt Content Tester

박경일* · 이현종**

Park, Kyung IL · Lee, Hyun Jong

1. 서 론

아스팔트 포장 시공시 아스팔트 혼합물에 대한 아스팔트 함량의 검사는 잘못된 아스팔트 함량을 교정할 수 있는 기회가 되기 때문에 도로포장의 부실공사를 사전에 예방할 수 있는 효과를 가져온다. 아스팔트 함량을 측정할 수 있는 기존의 방법으로는 용매추출법과 원심분리법 등이 있다. 그러나, 기존의 방법은 검사시간이 많이 소요될 뿐만 아니라 오차가 상당히 커서 시험 결과에 대해 신뢰를 가질 수 없었다. 이에 미국 등에서는 방사성동위원소(Radioisotope, 이하 RI)를 이용해 아스팔트 함량을 측정할 수 있는 시험기를 1970년대 말부터 개발하여 1980년대 중반부터 사용하고 있다. 방사성동위원소를 이용한 아스팔트 함량 측정기는 높은 정확도와 정밀도를 가지며, 실시간에 아스팔트 함량을 측정할 수 있다는 장점을 가지고 있다⁽¹⁾.

방사성동위원소를 이용한 아스팔트 함량 측정은 간편성과 신속성 때문에 기존의 방법에 비해서 큰 이점을 가지고 있으나 방사선에 대한 두려움 때문에 국내 토목기술자들에게 큰 호평을 받지 못하였다. 그러나 최근 국내의 F사에서 개발한 국산 아스팔트 함량 시험기는 선원의 세기를 낮추고, 방사선에 대한 차폐체를 설치함으로써 전보다 훨씬 만족할 만한 수준의 안전성과 신뢰도를 가지게 되었다. 이러한 장비가 실무에 널리 활용되기 위해서는 다양한 실내시험을 통하여 장비의 신뢰도를 평가하고 기존의 방법에 대한 장단점 분석을 실시할 필요가 있다.

표 1. 혼합물의 종류

골재입도	아스팔트 종류	아스팔트 함량 (%)				
		4.5	5.0	5.5	6.0	6.5
말 입 도	PG64-22	DA1	DA2	DA3	DA4	DA5
	PG76-22	DS1	DS2	DS3	DS4	DS5
		5.5	6.0	6.5	7.0	7.5
SMA입도	PG64-22	SA1	SA2	SA3	SA4	SA5
	PG76-22	SS1	SS2	SS3	SS4	SS5

* 정희원 · 강릉대학교 토목공학과 석사과정

** 정희원 · 세종대학교 토목공학과 조교수 · 02-3408-3812 (E-mail: hlee@sejong.ac.kr)



2. 시험재료 및 방법

2.1 시험재료

아스팔트 혼합물의 내유동성과 관련하여 가장 큰 영향을 미치는 인자중의 하나가 골재이다. 특히, 골재의 입도와 입형, 골재입자의 각이진 정도 등이 가장 큰 영향을 미친다고 할 수 있다. 본 연구에서는 충남 아산시에 소재한 I산업에서 생산한 두 종류의 골재입도 1)최대입경 19mm 밀입도, 2)최대입경 13mm SMA입도를 사용하였다. 체분석을 통하여 목표입도를 생산하는데 필요한 각 골재의 배합비를 결정하였다.

아스팔트 바인더는 일반 아스팔트 AP-5와 SBS 개질 아스팔트 두 종류를 사용하였다. AP-5 아스팔트는 현재 우리나라에서 가장 일반적으로 사용되는 아스팔트로서 PG64-22 등급에 해당하며, SBS 개질 아스팔트는 SBS 고분자를 사용한 개질 아스팔트로서 일반 아스팔트에 비해 고온에서의 내유동성을 개선시킨 PG76-22에 해당하는 아스팔트이다.

시험에 사용된 혼합물은 앞서 언급한 바와 같이 각각 2종류의 아스팔트와 골재를 사용하여 표 1과 같이 네 종류의 혼합물을 생산하였다. 표 1에서 혼합물의 첫 번째 기호 D는 밀입도, S는 SMA입도를 나타내고 뒤의 기호 A는 AP-5, S는 SBS 개질 아스팔트를 나타낸다.

2.2 시험방법

시험은 다음의 순서로 진행하였다⁴⁾.

가. 교정 ID의 측정

표 1의 네 종류 혼합물에 대해 각각 아스팔트 함량이 다른 세 가지 시료를 제작하여 아스팔트 함량 값과 계측율과의 관계를 구한다.

나. 시료의 중량에 따른 측정값의 변화

다. 시료의 온도에 따른 측정값의 변화

라. 시료의 측정시간에 따른 측정값의 변화

마. 아스팔트 및 골재의 종류, 아스팔트 함량에 따른 영향

사. 기존의 방법과의 비교

3. 시험결과

3.1 측정 중량 및 온도, 측정 시간에 따른 영향

두 가지 종류의 골재(D, S)와 AP-5를 사용하여 DA와 SA 시료에 대하여 시험을 실시하였다. 교정 시료의 측정시 아스팔트 혼합물의 중량은 DA는 7220g, SA는 7000g이고 온도는 137℃이었다. 온도의



영향을 고려한 시험을 제외한 모든 시험은 137°C에서 실시하였다.

시료의 측정중량은 교정 ID의 중량을 기준으로 하여 100g씩 증감시키면서 아스팔트 함량을 측정하였다. 모든 시험은 137°C 온도조건에서 4분간 측정을 실시하였고, 시험결과는 다음의 그림 1과 같다. 그림 1에서 보는 바와 같이 중량이 커질수록 아스팔트 함량의 측정값이 증가하는 것을 알 수 있다. 교정 ID 결정시 적용된 중량을 기준으로 중량이 작을 경우 오차가 많이 발생하였으나 중량과 일치하거나 100~200g 많을 때에는 오차가 아주 작은 것으로 나타났다. 측정 최대오차는 DA에서는 0.64%이고 SA에서는 0.69%이고, 평균오차는 DA에서는 0.33%, SA에서는 0.27%이다.

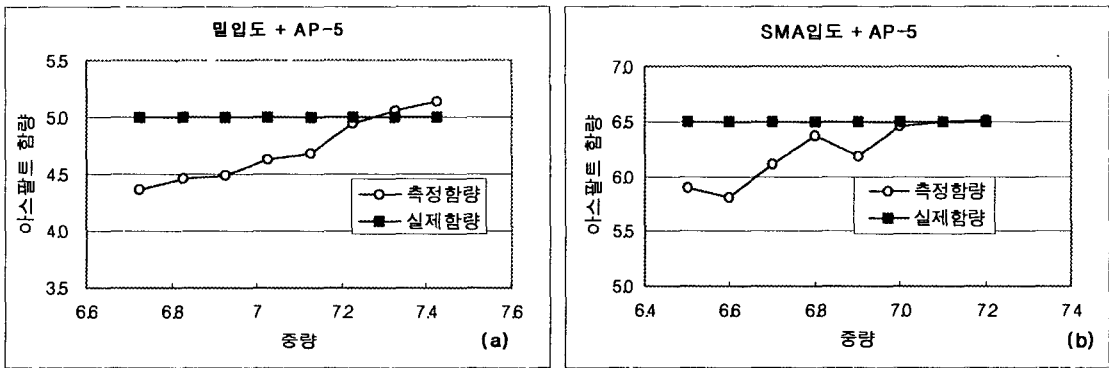


그림 1. 시료 중량의 영향: (a) DA 혼합물; (b) SA 혼합물

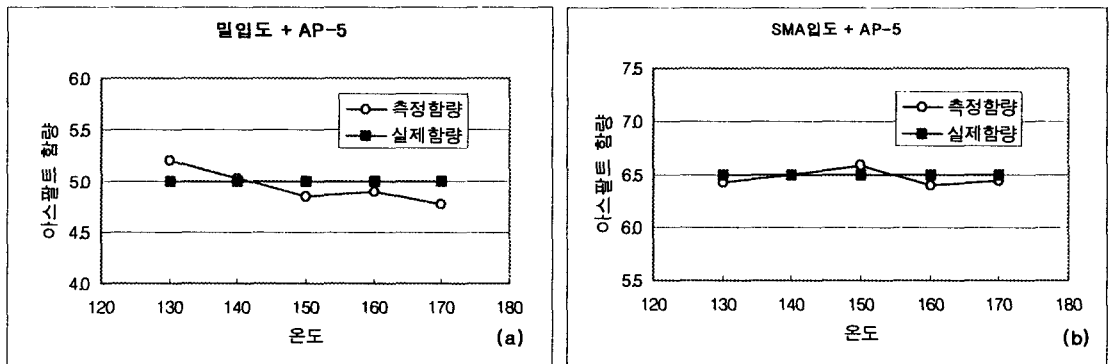


그림 2. 측정온도가 미치는 영향: (a) DA혼합물; (b) SA혼합물

온도에 따른 영향을 파악하기 위하여 시료 DA, SA를 각각 교정 ID 중량과 같은 7220g, 7000g을 사용하여 1310°C씩 측정온도를 증가시키면서 시험을 하였고, 시험결과는 그림 2에 나타나 있다. 측정결과 최대오차가 DA에서는 0.23%이고 SA에서는 0.17%이다. 교정 ID 측정온도인 140°C에서 오차는 DA 0.04%이고 SA 0.01% 이었다. 그림 2에서 알 수 있듯이 온도에 대한 영향은 온도가 상승하면 아스팔트 함량이 실제 함량에 비해 약간 적게 측정되는 경향이 있음을 알 수 있다. 그러나 이 오차는 0.2%



이내의 오차로 이는 아스팔트 현장배합의 허용오차범위($\pm 0.3\%$)를 만족하는 수준이다.

측정시간에 따른 영향을 파악하기 위하여 교정 ID에 사용된 중량과 동일한 온도 조건을 사용하여 DA, SA 두 종류의 혼합물에 대해 시험을 실시하였으며, 시험의 결과는 그림 3과 같다. 측정 최대오차는 DA에서는 0.21%이고 SA에서는 0.25%이다. 측정시간은 1분, 4분, 16분을 사용하였으며 1분 측정에서는 비교적 오차가 크게 발생하였으나 현장배합의 허용오차범위는 만족하였다. 4분 측정에서 발생한 오차는 DA에서는 0.03%, SA에서는 0.08%로 실제 아스팔트 함량과 거의 일치함을 알 수 있었다. 16분 측정에서는 DA에서는 오차가 0.14%, SA에서는 0.15%이다. 16분 측정에서 발생한 오차가 4분 측정시 발생한 오차보다 큰 것은 실내온도가 낮은 상태에서 장시간의 측정으로 인한 시료온도의 하강으로 인하여 발생한 것으로 사료된다.

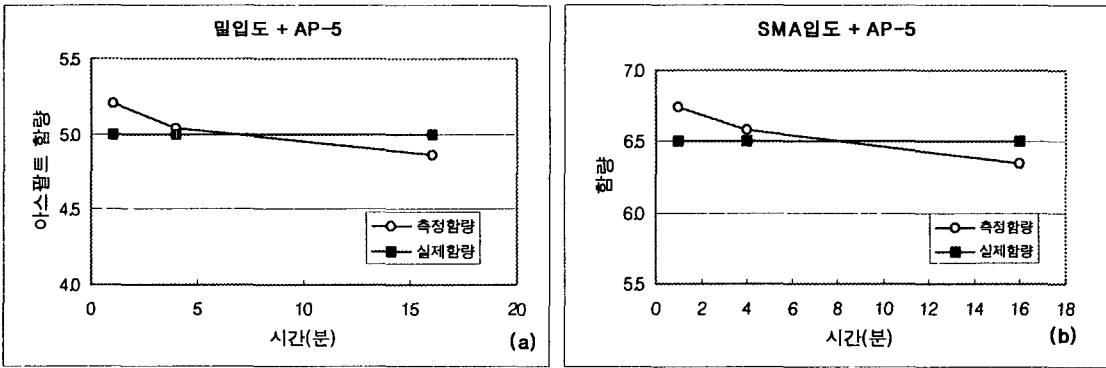


그림 3. 측정시간이 미치는 영향: (a) DA 혼합물; (b) SA 혼합물

3.2 아스팔트 및 골재 종류에 따른 영향

아스팔트 종류 및 골재 종류, 아스팔트 함량에 따른 영향을 알아보기 위해 표 1에 언급한 네 종류의 혼합물 모두에 대하여 시험을 실시하였으며, 중량과 온도, 측정시간은 교정 ID 결정시 적용된 조건과 동일하게 사용하였고, 시험 결과는 그림 4와 같다.

측정결과를 살펴보면 각 시료의 최대 오차는 DA 0.06%, SA 0.07%, DS 0.11%, SS 0.10%이고, 각 시료의 평균 오차는 DA 0.04%, SA 0.04%, DS 0.06%, SS 0.06%이다. 결과에서 알 수 있듯이 아스팔트와 골재의 종류에 관계없이 교정 ID 측정 시료와 동일한 온도와 중량을 사용하면 오차가 거의 0.1%이하로 발생되었다.

3.3 Ignition 방법과의 비교

아스팔트를 고온에서 연소시켜 아스팔트 함량을 측정하는 방법⁽²⁾을 사용하여 구한 아스팔트 함량과 RI 계기를 이용하여 구한 아스팔트 함량 측정값을 비교하였다. 비교 대상 시료는 DA1, DA3, SA2, SA4이고, 시험 결과는 그림 5와 같다.

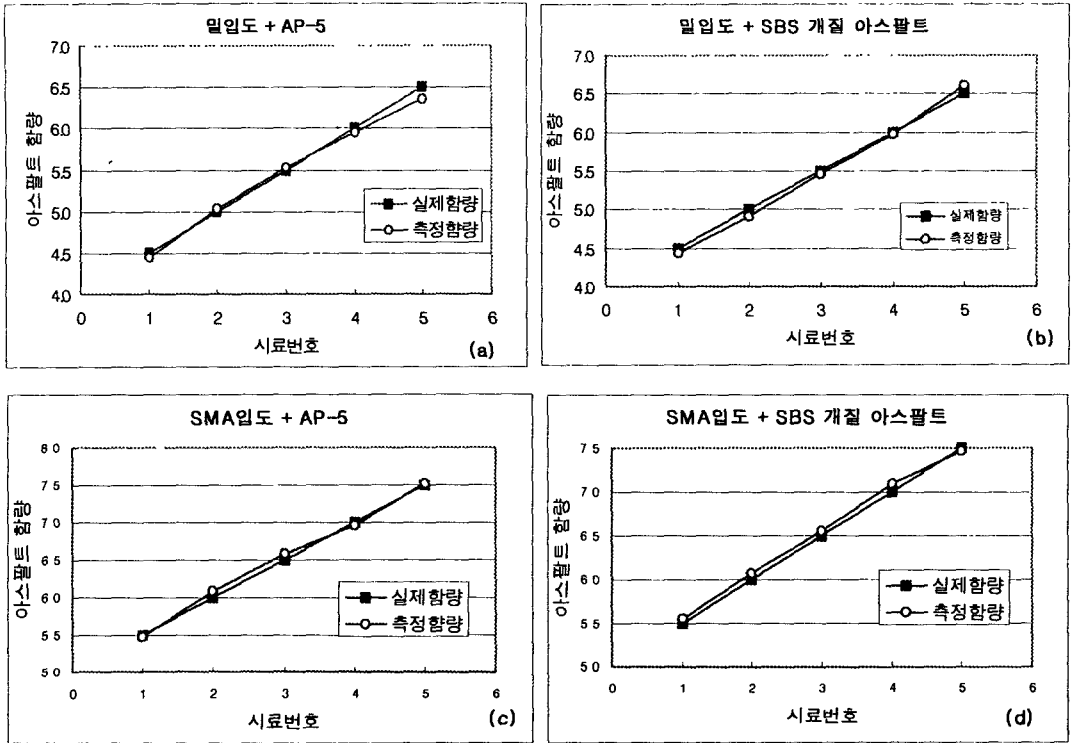


그림 4. 아스팔트 종류 및 함량의 변화에 따른 측정 오차의 변화:
 (a) DA 혼합물; (b) DS혼합물; (c) SA 혼합물; (d) SS 혼합물

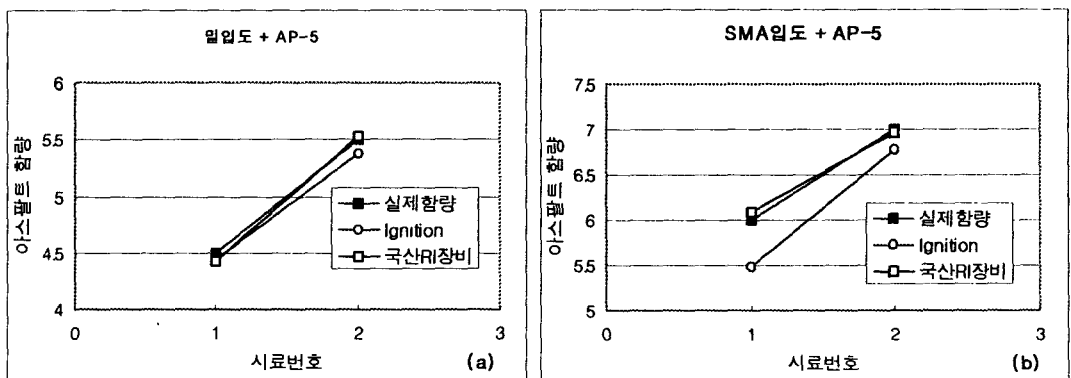


그림 5. Ignition 방법의 측정 결과: (a) DA 혼합물; (b) SA 혼합물

측정결과를 살펴보면 평균오차는 DA 0.04%, SA 0.65%이다. DA 혼합물에서는 오차가 작게 나타났지만 SA 혼합물의 오차는 0.65%로 현장배합의 허용오차범위를 넘어서는 것으로 나타났다. RI 장비와



오차를 비교하였을 때 Ignition 방법은 RI 장비로 측정된 평균오차 DA 0.04%, SA 0.04%보다 오차가 훨씬 크게 발생함을 알 수 있다.

3.4 원심분리 방법과의 비교

원심분리법을 사용하여 구한 아스팔트 함량과 RI계기를 이용하여 구한 아스팔트 함량 측정값을 비교하였다. 비교대상 시료는 DA2, DA4, SA3, SA5이고, 시험결과는 그림 6과 같다. 측정결과를 살펴보면 평균오차는 DA 1.17%, SA 0.65%로서 두 혼합물 모두 현장배합의 허용오차범위를 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 일반적으로 원심분리법에 의한 아스팔트의 함량 측정에서는 아스팔트 추출용액을 골재와 분리할 때 아스팔트용액 뿐만 아니라 미세한 잔골재도 함께 빠져나가기 때문에 시험의 신뢰성이 그리 높지는 않다. RI 장비와 오차를 비교하였을 때 원심분리 방법은 RI 장비로 측정하였을 때의 평균 오차(DA 0.04%, SA 0.04%)보다 그 오차값이 훨씬 크게 발생함을 알 수 있다.

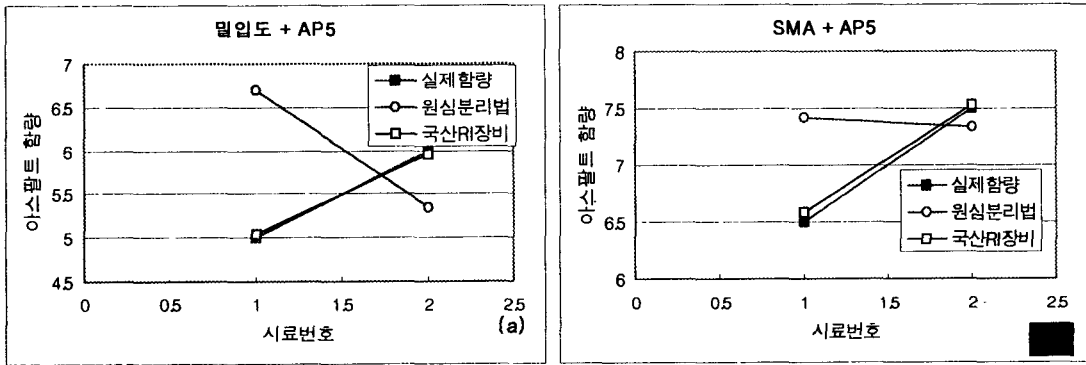


그림 6. 원심분리법의 측정 결과: (a) DA혼합물; (b) SA혼합물

3.5 미국 장비⁽³⁾와의 비교

미국에서 개발된 장비(AC-2R)와의 비교를 위해 사용된 시료는 DS와 SS이고, 시험결과는 그림 7과

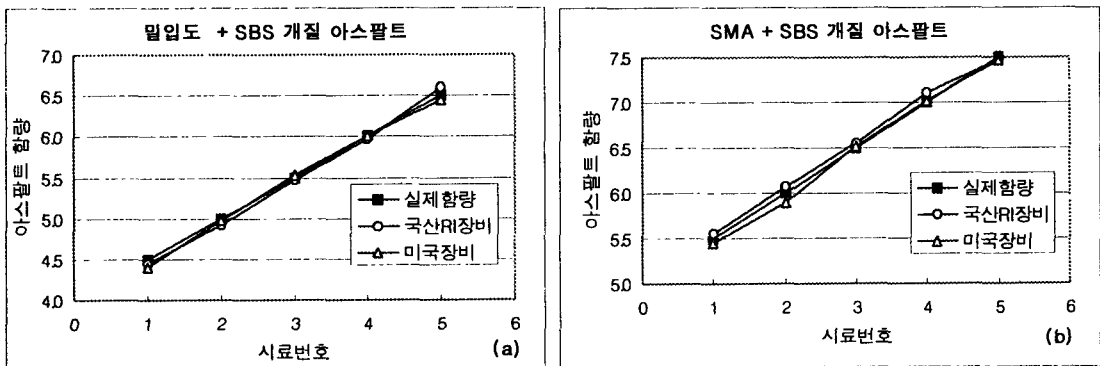


그림 7. 미국장비와의 비교: (a) DS 혼합물; (b) SS 혼합물



같다. 미국 장비와의 비교에서는 미국장비의 오차와 국산장비의 오차를 비교하였을 때 오차가 거의 비슷하게 발생하는 것으로 나타났다. 이 결과로 보아 미국 장비와 국산 장비가 성능에는 거의 차이가 없는 것으로 사료된다. 그러나 국산 장비는 방사선 물질에 대한 안전성이 월등히 높아 국산 장비를 사용하는 것이 취급이 용이하고 안전성이 뛰어난 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 RI 방식에 의한 국산 아스팔트 함량시험기에 대한 기본적 성능을 분석하였고 기존의 용매추출법과 연소법과의 비교분석을 실시하였다. 또한 기존의 신뢰성이 입증된 미국장비와의 비교를 통해 그 신뢰성을 평가하였다. 본 연구를 통해 얻어진 중요한 결론은 다음과 같다.

- 가. 아스팔트 함량 측정시험 결과 아스팔트 혼합물의 중량은 교정 ID 결정시 적용된 중량과 일치하거나 200g까지 큰 중량일 때는 실제 아스팔트 함량과 거의 일치하였다. 아스팔트 함량 측정시 시료의 온도가 130℃ ~ 170℃ 일 때 발생하는 측정오차는 0.3%를 초과하지 않았다. 아스팔트, 함량을 4분 동안 측정하였을 때 측정오차가 가장 적게 발생하였고 측정시간을 16분으로 증가하였을 때 오히려 측정오차가 크게 발생하였다. 이상의 결과로 볼 때 본 연구에서 사용된 측정기를 현장실무에 적용할 경우 교정 ID 측정에 적용된 시료의 중량과 온도에 맞추어 아스팔트 함량을 측정한다면 현장 적용에 문제가 없을 것으로 사료된다.
- 나. 아스팔트와 골재의 종류 및 아스팔트 함량값에 따른 측정시험의 결과 평균 오차는 0.05%로 실제 함량과 거의 일치하였으며 최대오차는 0.11%이었다. 교정 ID 측정 시료와 조건을 동일하게 한다면 아스팔트와 골재의 종류에 관계없이 현장적용에 문제가 없을 것으로 사료된다.
- 다. 미국장비와 비교실험에서 국산장비는 평균오차가 0.065%이고 미국장비는 평균오차가 0.045%로서 두 장비 모두 실제 아스팔트 함량과 거의 일치하였다.
- 라. 기존의 방법(Ignition, 원심분리법)으로 측정된 아스팔트 함량과 국산 아스팔트 함량 측정기를 사용해 측정된 아스팔트 함량의 비교에서는 기존의 방법으로 측정된 결과가 국산 측정장비를 사용하여 측정된 결과보다 오차가 훨씬 크게 발생하는 것으로 나타났다.
- 마. 교정 ID 측정시 16분간 측정을 실시하는데 현장의 온도가 낮을 경우 측정 시료의 온도가 하강하여 측정값에 영향을 줄 수가 있다. 따라서, 자체 보온 기능을 보강하여 온도가 하강하는 것을 억제한다면 보다 정밀한 측정이 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 한국도로공사 도로연구소, "도로건설 및 감리용 방사성 동위원소 장비의 적용성 연구", 1996
2. ASTM D4125, "Standard test method for Asphalt content of bituminous mixtures by the nuclear method"
3. CPN Company, "AC-2R Asphalt content gauge operating manual"
4. (주) 프론티어 정공, "ACT 1000 Asphalt content tester manual"