

골재의 비중시험방법 정립

김 광 우*

본 논고는 학생, 기업체의 실험실이나 현장의 실무 담당자는 물론 교수들까지도 혼동을 일으키게 하는 아래의 KS규정에 문제가 있는것 같아 이를 재검토하여 보기위한 것이다.

KS F 2503에서는 굵은골재의 비중을 비중, 표면건조포화상태비중과 걸보기비중 등 3가지로 구분하고 있다. 그런데 이 KS규정에서는 걸보기비중이라는 것에 대한 용어상의 정의가 없고 또한 주어진 식으로 구한 값이 의미상 문제가 있는것 같아 이점에 대하여 보다 명확한 고찰이 있어야 할 것 같다. 우선 그 문제의 식을 살펴보면 다음과 같다.

$$\text{비중} = \frac{A}{B-C} \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{표면건조포화상태비중} = \frac{B}{B-C} \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{걸보기 비중} = \frac{A}{A-C} \dots\dots\dots (3)$$

- 여기서, A : 공기중 시료의 노건조 중량 (g),
- B : 공기중 시료의 표면건조포화상태 중량(g)
- C : 시료의 수중중량(g).

우리가 사용하고있는 식 (3)의 걸보기비중이란 말을 한번 살펴보자. “걸보기”란 말 그대로 “걸으로 보이는”이란 뜻 이므로 걸보기 비중이란 말의 의미를 굳이 해명 하자면 골재의 중량을 걸으로 보이는 부피에 해당하는 물의무게로

나눈것으로 정의 될 수 있을 것이다. 그래서 이는 윗식에 사용한 A또는 B의 값을 공극을 포함한 전체부피인 (B-C)로 나눈것이 된다. 따라서 우리 KS와 유사한 미국 ASTM C127에 의하면 이는 바로 Bulk Specific Gravity(B.S.G)에 해당한다. 따라서 ASTM에서는 윗식 (1)의 값을 Bulk S.G.라 하고 윗식 (2)의 값을 Bulk S.G.(SSD)라 하고 있다. 여기서 Bulk라 함은全體적인 또는 통채로 라는 뜻으로 사용된 것으로 Bulk S.G.란 공극을 포함한 전체부피에 대한 골재의 비중으로 사용되고 있음을 알 수 있다. 따라서 우리말의 “걸보기비중”이라는 의미가 앞의 밑줄친부분과 같은 의미라면 이는 ASTM의 Bulk S.G.에 해당되는 것임을 알 수 있다.

그러나 윗식 (3)에 사용된 KS의 걸보기비중이란 미국 ASTM의 C127의 Apparent S.G.를 구하는 식과 같다. 여기서 문제는 이 “Apparent”를 “외관상의”, “걸보기에” 등으로 해석하여 걸보기 비중이라命名한 것이 아닌가 하는 점이다. 만일 이것이 사실이라면 이는 잘못 사용되고 있는 것이므로 재고되어야 한다. 왜냐하면 Apparent는 걸보기라는 뜻 이전에 “뜨거운” 또는 “명백한” 등의 뜻이 있어 우리가 말하는 “眞”을 나타내는 것이기 때문이다. 즉 ASTM C127의 Apparent S.G.는 바로 윗식 (3)을 사용하고 있고 그것은 외관상이나 걸보기비중이라기 보다는 오히려 우리말로 진비중을 구하는 식임을 알 수 있다. 이를 아래 설명을 통하여 좀 더 고찰하여 보자.

정의에 의하면 어떤 골재의 비중이란 공극을 포함하지 않은 그 골재의 순수한 원석만의 비중을 말한다. 그러므로 골재의 진비중을 구하려면 우선 골재 원석만의 중량과

* 강원대학교 농공학과 조교수, 공학박사

부피를 구해야 한다. 이 중 원석만의 중량은 골재의 노건조 중량이고 원석만의 부피는 원석만의 부피에 해당하는 물의 무게, 즉, 부력과 같은 값이므로

$$\text{골재의 수중중량}(C) = \text{원석만의 중량}(A) - \text{부력}$$

의 관계식으로부터 부력을 구하게 되면 물비중이 1일 경우 그것이 원석만의 부피가 된다. 그러므로 원석만의 부피는 골재의 수중중량으로부터 구할 수 있고, 이 값은 아래 그림 1에서 보여 주듯이 (A-C)에 해당한다. 그래서 원석만의 중량(A)을 원석만의 부피(A-C) (또는, 원석만의 부피에 해당하는 물의 중량)로 나누었을 때 진비중을 구할 수 있다. 물론 이때 물의 비중이 1임을 전제로 하므로 물의 단위중량으로 이 값을 나누는 과정은 생략된 것임을 기억해야 한다. 그러므로 식 (3)은 진비중을 구하는 식임을 알 수 있다.

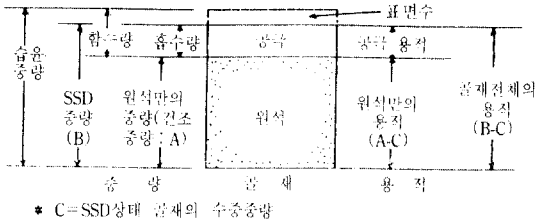


그림 1. 골재의 흡수상태.

부가하여 ASTM C127의 Apparent S. G.에 대한 정의를 보면, "일정한 온도에서 골재의 불투수부분 (Impermeable Portion)의 단위용적의 공기중에서의 중량에 대한 같은

용적의 공기를 포함하지않은 증류수(Gas-free Distilled Water)의 공기중에서의 중량비", 라 되어있다 (ASTM참조).

이중 밀출된 증류수의 공기중에서의 중량이란 그 비중이 1일 때 골재 불투수부분의 용적과 같은 값이며, 골재의 불투수 부분이란 바로 우리가 말하는 원석만을 나타내는 것이다. 따라서 이 값은 위에서 언급하였듯이 원석만의 무게를 원석만의 부피로 나눈것과 같다. 또한 ASTM C127의 Significance and Use에서 언급한 바에 의하면, "Apparent S.G.는 입자내에 물로 채워질 공간을 포함하지 않는 구상입자를 형성한 견고한 물질(Solid Material)에 대한 상대밀도에 속한다"라고 되어있다. 그리고 The Asphalt Institute의 MS-2의 그림(아래그림)에서 보듯이 Apparent S.G.를 구하기 위한 용적은 골재용적중 가장 작은 원석만의 용적이며, 이것으로 비중을 구할경우 분모가 가장 작아 Apparent 비중은 가장 큰 값이 됨을 MS-2에서 알 수 있다.

일반적으로 골재의 비중은 의미상 진비중이 가장 커야 하고 다른 비중들이 이보다 작아야 할 것이다. 진비중이 제일 작은 앞서말한 the Asphalt Institute의 MS-2에서 Apparent S. G.가 가장림과 같은 의미임을 알 수 있다. 그런데 우리 KS에 의하여 값을 구해보면, 겉보기비중>SSD비중> 비중 순이되어 겉보기비중이 가장 큰 값을 보인다. 그러면 여기서 겉보기 비중이란 무엇인가? KS는 이에대한 구체적인 정의도 없이 수식만 제시하고 있어 이 규정을 사용하는데는 문제가 있음을 다시 한번 알 수 있다. 그러면 다음에 예제를 통하여 이 문제를 보다 자세히 살펴보자.

(예) 어떤 골재를 24시간 이상 Oven에 건조시킨 중량이 480g 그리고 이 골재의 SSD상태 중량이 500g이라 하자. 그리고 이 SSD상태골재의 수중중량이 300g 이었다면 물의 비중이 1임을 전제하여 다음을 살펴보자.

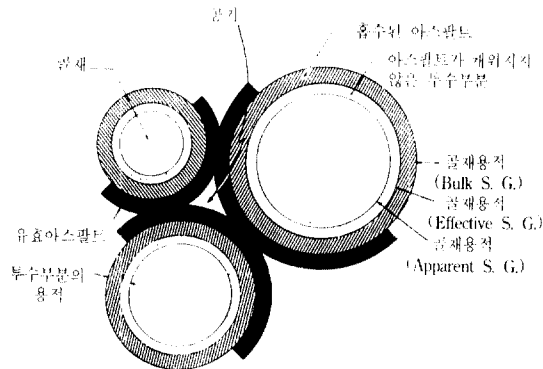


그림 2. 다져진 아스팔트 혼합물의 VMA, Air Void, 아스팔트 함량과 골재의 용적(MS-2의 Figure V-1으로부터)

어떤 골재의 수중중량이란 그 골재가 수중에서 부력을 받은만큼 가벼워진 무게이다. 골재내의 공극에 물이 포함되어 있다면 그 물의 무게는 수중중량 측정시 상쇄된다. 하나 공극이 비워있다면 그 부분 만큼의 부력을 더받이 가벼워질 것이다. 본 예제의 경우 각 값을 아래 그림을 보며 분석하여 이를 살펴보자.

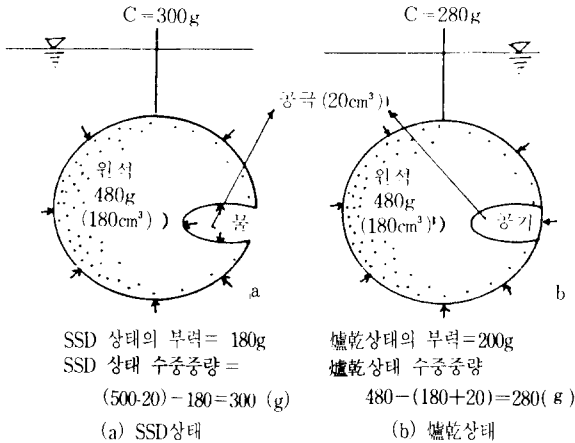


그림 3. SSD 상태와 건조 상태 골재의 부력과 수중 중량

우선 이 골재내에 물이 채워지는 공극의 부피는 20cm³임을 알 수 있다. 즉 공기 중에서 SSD중량 500g중 20g은 공극에 차있는 물의 중량이고 나머지 480g은 골재원석의 중량이다. 이 SSD상태의 골재를 수중에 넣었을 때 수중중량이 300g이 되는 것은 이 골재속의 물이 물속에서 무게가 상쇄되어 중량이 0이 되고, 그림 3(a)처럼 480g의 골재는 180g의 부력을 받아 300g으로 저울에 나타나는 것이다. 만일 완전 건조된 이골재(중량 480g)를 순간적으로 물에 넣고 바로 무게를 잰다면 그때의 수중중량은 280g이 된다는 것을 이론상 알 수 있다. 왜냐하면 이 골재는 물이 채워지지 않은 공극부분(20cm³)만큼의 부력을 더받아 그 만큼 무게가 더 가벼워지기 때문이다. 즉, 그림 3(b)처럼 골재 480g은 200g의 부력을 받아 저울에 280g으로 나타난다. 따라서 이러한 원리로 볼때 골재의 공기중 중량에서 수중중량을 빼면 그 골재가 받은 부력에 해당하는 골재의 부피가 나온다. 그러므로

KS식의 문자를 사용하며, A=480, B=500, C=300이고 공극부분을 제외한 원석만의 부피는 480-300=180이며 공극을 포함한 골재전체부피는 500-300=200이다.

따라서 진비중은: 원석만의 무게 / 원석만의 부피=480/180=2.67이고 SSD비중은: SSD중량 / 골재전체부피=500/200=2.5이며, 건조상태비중은: 건조중량 / 골재전체부피=480/200=2.4이다.

이로부터 이들의 크기가 진비중 > SSD비중 > 건조상태비중 순임을 알 수 있다. 하지만 KS의 식에 의하면 식(1)

비중은 480 / 200 = 2.4(식2) SSD비중 = 2.5(식3) 겉보기 비중은 480 / 180 = 2.67로 겉보기 비중이 가장 커져 이들의 의미가 이해하기 어려워진다. 그러므로 KS에서 식(3)의

$$\text{겉보기비중} = \frac{A}{(A-C)} \text{은 진비중} = \frac{A}{(A-C)} \text{로 바뀌어야 한다.}$$

또한 겉보기비중이란 말이 Apparent란 말로 부터 사용되기 시작한것이라면 겉보기비중이란 말의 사용은 잘못된 것이며, 식(1)의 단순한 "비중"도 보다 분명히 명칭을 설정 하던지, ASTM에서의 Bulk에 대한 적절한 해석을 이용하여야 할 것이다.

한편 어떤 대학교재의 정의에서는 골재의 비중을 진비중(공극을 포함하지않은 원석만의 비중)과 겉보기 비중으로 나누고 이 겉보기 비중을 다시 절대건조상태비중과 SSD상태의 비중으로 나누어 ASTM의 Bulk라는 말을 겉보기로 해석 적용한것 같은 느낌을 준다. 이는 필자가 앞에서 언급한것과 유사한 맥락을 가지고 있다. 그러면서도 막상 그책의 비중을 구하는 공식에 있어서는 KS의 식을 그대로 사용하여 앞뒤가 맞지 않음을 보여주고 있다. 또 어떤책에서는 식(1)을 진비중, 그리고 식(3)을 겉보기비중이라고 하여 더욱 모호한 경우도 있다. 그외에도 많은 대학 교재들이 KS규정 그대로를 사용하고 있어 학생들을 이해 시키는데 많은 어려움이 있다. 더구나 이규정은 1982년 확인된 이래 더 이상 개정이 없었던 것으로 보아 하루빨리 이에대한 KS측으로부터의 완전한 고찰과 정의의 확립이 이루어 졌으면 한다.

이와 아울러 윗식에서의 C에 대한 정의도 시료의 수중중량대신 "표면건조 포화상태 시료의 수중중량"이라함이 혼동을 적게 할것으로 사료된다. 그리고 위와같은 겉보기 비중에 대한 오류는 잔골재 비중시험 (KS F 2504)에서도 나타나 있음을 알 수 있다.

참고문헌 :

- Annual Book of ASTM Standard, Volume 04.03, C127, C128, 1989
- Mix Design Method for Asphalt Concrete and Other Hot-Mix Type, The Asphalt Institute, Manual Series No. 2(MS-2), May 1984 Edition.
- KS F 2503 굵은골재의 비중 및 흡수율 시험방법
- KS F 2504 잔골재의 비중 및 흡수율 시험방법