



# 압축 Creep 시험 하에서 아스팔트 콘크리트의 체적변화

## Volume Changes of Asphalt Concrete During Compressive Creep Tests

김종열\*, 박창훈\*\*, 기철주\*\*, 최용환\*\*

### 1. 서 론

삼축압축시험에서 멤브레인(membrane)으로 싸여진 원통형의 시료는 전체적으로 구속압을 받으며, 더불어 축 하중을 받는다. 시료의 변형은 그 시료에 작용하고 있는 응력분포에 의존하여 두 가지 형태(균일하거나 불균일한 형태)로 변형된다. 시료 전체에 응력이 균일하게 작용한다면, 예를 들어 시료가 평평한 두 개의 평평한 하중판 사이에 있고 양 끝면과 하중판 사이에 마찰이 발생하지 않으며 시료의 기울기 정도가 무시할 수 있을 정도로 작다면 주응력  $\sigma_1$ 이 축이되는 응력 축상태가 발생한다. 이때, 다른 두 개의 주응력은 크기가 같다 ( $\sigma_2 = \sigma_3$ ). 시료의 변형이 균일하고 축대칭이라면 주변형률도 주응력과 같은 방향으로 발생한다. 그러므로, 삼축압축시험에서 균일하게 구속된 응력과 변형을 상태가 존재한다면 응력과 변형율의 관계를 정확하게 알아낼 수 있다. 그러면 다양한 응력-변형률-시간 곡선을 작도함으로써 주어진 재료의 거동을 기하학적으로 표현할 수 있고, 이 도식은 시료의 거동을 설명할 수 있는 수학적 구성 모델 방정식을 구하는데 도움이 될 수 있다.

그러나 삼축시험 하에서 균일한 형태의 변형은 양 끝면의 마찰을 최소화시키기 위한, 예를 들어 윤활유를 사용하는 경우 처럼 특별한 조치가 행해지지 않으면 좀처럼 발생하지 않는다 (Bishop and Green, 1965). 만약 시료의 양 끝면과 하중판 사이의 마찰이 크다면 즉, 시료의 양 끝면과 하중판 사이에 윤활유를 바르지 않고 면의 경사를 방지하지 않는다면, 일반적으로 시료는 불균일한 형태로 변형한다. 이런 경우, 어느 한 점에서 나타나는 주 변형율의 크기와 방향은 다른 점에서 나타나는 주 변형율의 크기와 방향과 다를 것이다. 이것은 곧 불균일한 변형의 형태에서는 국부적인 축정을 기초로 한 축변형률( $\epsilon_A$ )과 수평변형률( $\epsilon_L$ )이 주변형률( $\epsilon_1$ 이나  $\epsilon_3$ )로 사용될 수 없다는 것을 의미한다.

본 연구의 목적은 도로포장재료로 많이 쓰이는 아스팔트 콘크리트의 체적변화를 삼축압축시험을 통하여 관찰하는 것이다. 특히 아스팔트 콘크리트 시료의 변형 형태와 신뢰성있는 체적변화의 계산에 중점을 두었다.

\* 전남대학교 토목공학과 조교수(062-530-1654)

\*\* 전남대학교 토목공학과 석사과정



## 2. 시 험

시료의 변형 형태를 관측하기 위해 온도 20 °C에서 두 종류의 응력상태 ( $\sigma_1=133\text{kPa}$ ,  $\sigma_3=33\text{kPa}$ ;  $\sigma_1=267\text{kPa}$ ,  $\sigma_3=67\text{kPa}$ )를 적용하여 creep 시험들을 시행하였다. 시험에 사용된 하중 재하/방치 시간은 1 시간/1시간이며 수평변위는 세 개의 서로 다른 위치들(1/16, 1/4, 그리고 1/2의 높이)에서 측정되었다. 각 시험의 조건마다 세 번의 시험을 실시하여 구한 평균값을 그 시험조건에 대표값으로 사용하였다.

### 2.1 시 료

강의 자갈과 분쇄한 화강암을 시료의 골재로 사용하였다. 골재의 입도분포는 ASTM D3515 (1994)의 규정된 범위에 맞추어 선택하였고, 골재 혼합물의 비중은 2.66이다. 바인더로는 비중1.03, 관입도가 120/150의 전형적인 아스팔트 시멘트를 선택하였다. 직경 100mm, 높이 200mm인 원주형의 아스팔트 콘크리트 시료들을 제작하기 위해 250mm의 몰드 내에서 수정된 마셜 해머(111N)로 시료의 요구된 특성이 얻어질 때까지 삼층으로 다짐하였다. 각 층의 두께는 66.67 mm로 거의 동일하고 다짐시 온도는 135°C이며 시료의 아스팔트 함량(asphalt content)은 골재무게의 5%이고, 평균 공극률(voids ratio)은 7.5%이다.

### 2.2 시험 준비

MTS 810 하중 재하 장치에서 시험을 수행하였는데 요구되는 응력경로를 유지하기 위해 유압 조절 장치에 부착된 로드셀(load cell)에 연결된 조작기구를 사용하였다. 하중 집중으로 인한 하중판의 편칭 파괴를 피하기 위해 하중판을 시료의 단면적보다 조금 크게 확대시켰고, 시료 양 끝면과 하중판 사이의 마찰을 제거하기 위해 하중판을 실리콘으로 매끄럽게 처리하였다. 축 변위와 수평 변위를 측정하기 위해 총 6개의 LVDT를 사용하였다. 수평 변위를 측정하기 위해 시료의 시험 높이(시료 높이의 1/16, 1/4, 1/2)에 고정된 홀더에 3개의 LVDT를 시료 둘레에 일정한 간격으로 설치하였다. 축 변위를 측정하기 위해 시료 중간 높이의 100mm 부분에 위치한 두 개의 집계에 3개의 LVDT를 시료 둘레에 120° 간격으로 일정하게 설치하였다.

## 3. 시험 결과 및 고찰

세 번의 반복실험을 통하여 세 곳의 다른 높이(시료 높이의 1/16, 1/4, 1/2)에서 수평변위를 측정하였다. 시험 결과들을 이용하여 각 위치에서 평균수평변형률을 구하였다. 각 위치의 수평 LVDT에 의해 측정된 반경의 변화로부터  $\epsilon_{L,1/16}(t)$ ,  $\epsilon_{L,1/4}(t)$ ,  $\epsilon_{L,1/2}(t)$ 로 표시된 각각의 수평변형률을 계산하였다. 그림1과 2는 두 개의 서로 다른 응력상태에서 나타나는  $\epsilon_{L,1/16}(t)$ ,  $\epsilon_{L,1/4}(t)$ ,  $\epsilon_{L,1/2}(t)$ 을 도식한 것이다. 만약 시료의 변형형태가 균일하다면 같은 시험 조건에서는 어떠한 높이에서도 수평변형률은 동일해야 한다 ( $\epsilon_{L,1/16}(t) = \epsilon_{L,1/4}(t) = \epsilon_{L,1/2}(t)$ ). 시험에 사용된 재료의 세 부분에서 측정된 수평 변형률들이 상당히 다르다는 것을 그림 1과 2에서 확인할 수 있다. 수평변형률은 시료의 중심부로 갈수록 증가하고 양끝면으로 갈수록 감소한다 ( $\epsilon_{L,1/16}(t) < \epsilon_{L,1/4}(t) < \epsilon_{L,1/2}(t)$ ). 그러므로 시료의 변형형태는 축방향에 대해 균일하지 않다고 할 수 있다.

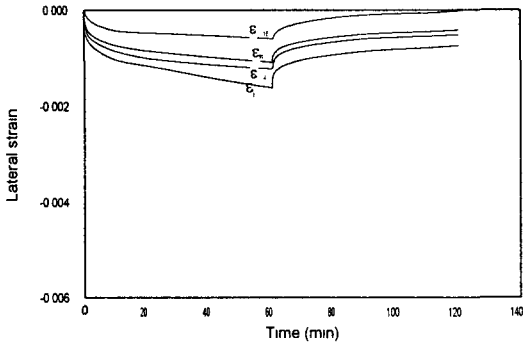


그림 1. 시험 결과 ( $\sigma_1=133\text{kPa}$ ,  $\sigma_3=33\text{kPa}$ )

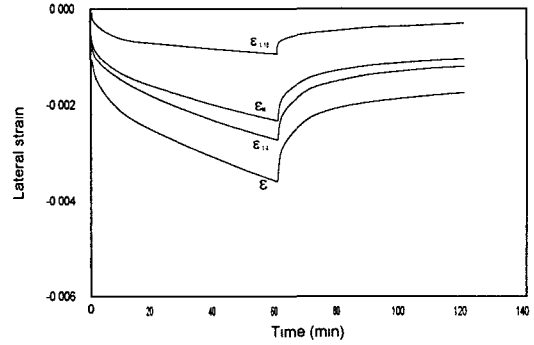


그림 2. 시험 결과 ( $\sigma_1=267\text{kPa}$ ,  $\sigma_3=67\text{kPa}$ )

### 3.1 체적 변형률

시료의 초기부피  $V$ , 축방향 변위, 다양한 높이에서 나타나는 수평변위를 알 수 있다면, 정의에 의해 체적변형률  $\epsilon_p(t) = -\Delta V(t)/V$ 을 얻을 수 있다. 체적변형률을 계산하기 위해 다음과 같은 가정을 도입하였다.

- 1) 시료의 변형은 수직축과 시료 높이의 중간에 나타나는 수평면에 대해 대칭으로 발생한다.
- 2) 양 끝단에서 수평변위는 발생하지 않는다.
- 3) 수평변위들은 수직축을 따라 부분적(piecewise) 선형이다.
- 4) 축변위들은 수직축을 따라 선형이다.

네 번째 가정으로 인하여 축변형률  $\epsilon_A(t)$ 는 최대주변형률  $\epsilon_1(t)$ 로 사용될 수 있다. 세 개의 수직 LVDT에 의해 측정된 각각의 축변위로부터 평균축변형률을 계산하였다. 체적변형률  $\epsilon_p(t)$ 를 알 면 최 소주변형률  $\epsilon_3(t)$ 는 다음 식으로 계산할 수 있다.

$$\epsilon_{3(t)} = \frac{\epsilon_p(t) - \epsilon_1(t)}{2}$$

그리고, 전단변형률  $\epsilon_q(t)$ 는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\epsilon_q(t) = \frac{2}{3} [\epsilon_1(t) - \epsilon_3(t)]$$

상수  $2/3$ 는 고유일(specific work)  $\Delta w(t) = \sigma_1 \epsilon_1(t) + \sigma_3 \epsilon_3(t)$ 을  $\Delta w(t) = p \epsilon_p(t) + q \epsilon_q(t)$ 로 표현할 때 얻 어지는 결과이다. 여기서,  $p$ 는 평균주응력  $(\sigma_1 + 2\sigma_3)/3$ ,  $q$ 는 축차응력  $(\sigma_1 - \sigma_3)$ 이다. 각 시험 조건에 서 시간변화에 따른 재료의 체적변화를 그림 3과 4에 나타내었다.  $\epsilon_p(t)$ 의 양의 기호는 압축을, 음의 기호는 팽창을 의미한다. 하중 재하 초기에 체적변형률은 증가하고(압축되며) 시간이 경과함에 따라 감소한다(팽창한다). 하중을 제거하면, 체적변형률은 감소하고 시간이 경과함에 따라 증가한다. 비교 를 위해  $\epsilon_{L,1/2}(t)$ 에 의해 체적변화  $\epsilon_{q,L,1/2}(t)$ 를 계산하였고 계산 결과를 그림 3과 4에 함께 나타내었다.



$\epsilon_{L1/2}(t)$ 가 주변형률로 사용될 때 (균일한 변형이 가정될 때) 시료의 체적변화는 실제의 체적변화보다 상당히 과대 평가된다. 각 응력상태에서 시간에 따른  $\epsilon_q(t)$ 의 변화는 그림 3과 4에서 확인할 수 있다. 시험된 재료가 완벽하게 비압축성이 아님에도 불구하고, 체적변형률이 전단변형률에 비해 매우 작으므로 무시할 수 있다고 판단된다(즉 시료를 비압축성으로 가정할 수 있다). 이러한 가정은 VESYS IIM(Hufferd and Lai, 1987)의 컴퓨터 코드에 대해서도 적용되고 있다. 또한, 현장 관찰을 통하여 아스팔트 콘크리트의 체적변형은 거의 일어나지 않는다는 연구보고도 있다 (Eisenmann and Hilmer, 1987).

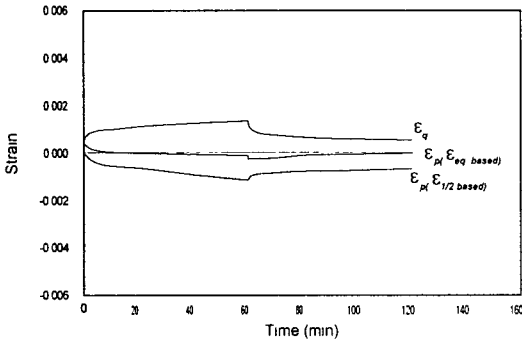


그림 3. 변형률의 변화 ( $\sigma_1=133\text{kPa}$ ,  $\sigma_3=33\text{kPa}$ )

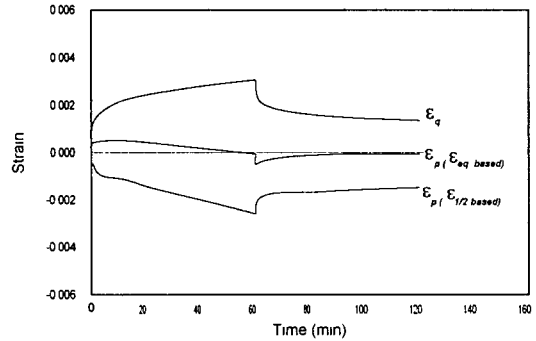


그림 4. 변형률의 변화 ( $\sigma_1=267\text{kPa}$ ,  $\sigma_3=67\text{kPa}$ )

#### 4. 결 론

본 연구로부터 얻어진 결론은 다음과 같다

- 1) 시험에 사용된 시료의 수평 변형 형태는 균일하지 않다.
- 2) 시료 중심부에서 발생한 축변형률을 주변형률로 가정하여 체적변형률을 계산하면 계산된 축변형률은 실제 체적변형률보다 과대 평가된다.
- 3) 시험된 시료는 비압축성이 아니다. 하지만 시료의 체적변형률이 전단변형률에 비해 상당히 작으므로 현장 응용에 있어서 아스팔트 콘크리트의 체적변화는 경우에 따라 무시할 수도 있다.

#### 5. 참고문헌

- America Society for Testing and Materials (1994). "Annual book of standards." vol. 04.03.
- Bishop, A. W., and G. E. Green (1965). The Influence of End Restraint on the Compression Strength of a Cohesionless Soil, Geotechnique 15, No. 3, 243-266.
- Eisenmann, J., and A. Hilmer (1987). Influence of Wheel Load and Inflation Pressure on the Rutting Effect at Asphalt Pavement-Experiments and Theoretical Investigations, Proc. 6th Inter. Conf. Struc. Design Asph. Pave., Vol. I, 392-403.
- Hufferd, W., and J. Lai (1987). Analysis of N-Layered Viscoelastic Pavement System, FHWA-RD-78-22.