

# 국내 마샬시험 장치의 문제점에 관한 실험적 연구

## Investigation of The Marshall Equipment Variables

박태순\* · 김용주\*\* · 권순태\*\*\*

### 1. 서 론

마샬시험법은 1940년 미시시피 교통국의 부루스 마샬에 의해 최초로 고안된 아스팔트 포장의 배합 설계 방법으로 1952년 미육군 공병단이 활주로 포장에 사용하기 위해서 오늘날의 본격적인 마샬시험법으로 개발한 이후, 전세계적으로 아스팔트 포장의 배합설계 방법으로 사용되고 있는 아스팔트 혼합물의 배합설계 방법이다. 마샬시험법은 시험장치가 간단하고 가격도 저렴하기 때문에 다짐방법의 문제와 배합설계 결과가 현장의 조건과 차이가 있다는 지적과 소성변형, 피로파괴 등의 포장의 역학적 성능을 예측할 수 없는 단점에도 불구하고 현재까지 특별한 수정이 없이 널리 사용되고 있다.

마샬시험법이 지니고 있는 한계성은 그대로 인정하더라도 국내에서 사용하고 있는 각 기관, 연구소 및 대학에서 사용하고 있는 마샬시험 장치의 규격, 다짐판 기초의 설치조건이 서로 다르기 때문에 배합시험 결과에 영향을 줄 것이라는 의견이 제기되어 왔다.

본 연구에서 이러한 의견을 바탕으로 예비조사를 실시한 결과 국내의 마샬시험 장치의 규격과 다짐판의 설치조건이 각 기관마다 서로 다른 것으로 발견되었으며, 마샬시험 장치를 사용하고 있는 대학, 연구소, 관련기관 및 플랜트를 방문하여 마샬시험 장치에 관련된 사항을 측정하여 마샬시험 장치의 문제점을 실험을 통하여 분석하였다.

### 2. 마샬시험장치 조사 및 시험계획

#### 2.1 다짐장치

현재 국내의 배합시험 및 품질시험을 수행하고 있는 대학실험실 2개소, 연구소 2개소, 관련기관 2개소 및 서울·경기지역의 플랜트를 방문하여 다짐장비의 규격(해머의 무게, 해머의 자유낙하고), 다짐받침대의 크기, 받침목의 종류와 크기, 바닥판(supporting floor), 기초판의 설치 방법을 조사하였으며, 다짐해머의 타격시 시료에 가해지는 다짐에너지를 측정하기 위해서 다짐판과 기초 바닥판에 전달되는

\* 서울산업대학교 토목공학과 조교수 (tpark@duck.snut.ac.kr / 970-6506)

\*\* 서울산업대학교 토목공학과 대학원생 (snut66@hanmail.net / 970-6946)

\*\*\* 신성엔지니어링 도로부 차장 (kstsun@yahoo.co.kr / 3497-6381)



가속도를 가속도계(accelerometer)를 부착하여 측정하였다. 그림 1은 가속도 측정에 사용된 장비와 가속도계의 부착 위치를 보인 것이다. 데이터 수집장치는 일본의 TML사 모델 AR-F를 사용하였으며 가속도계에서 수집된 데이터는 MT-16A의 16개 채널중 2개의 채널에 기록되어 저장되고, SAS 97 변형 분석 소프트웨어(Strain Analysis System)로 분석되어 매 타격시 마다 컴퓨터의 화면상에 시간이력(time history)에 따른 충격량의 변화가 컴퓨터의 화면상에 나타나서 타격 중에 에너지의 변화를 감지할 수 있도록 하였다.

### 2.2 안정도 헤드 측정계획

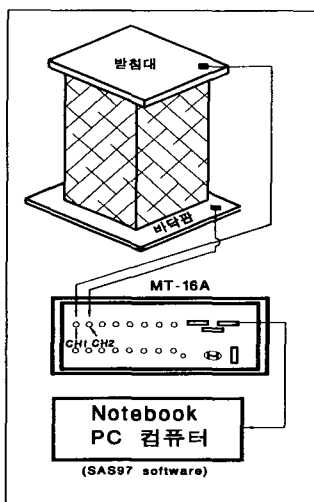


그림 1. 가속도 측정에 사용된 장비와 가속도계의 부착 위치

마살안정도 시험의 원리는 공시체에 하중이 작용하면 공시체 내부에 응력이 발생하면서 파괴되는 것이다. 이러한 파괴형상은 포장의 파괴를 시뮬레이션한 것으로 안정도 값은 시료 내부의 전단 평면에 발생한 공시체의 저항력을 측정하는 것이다. 이 저항력은 시료 내부에 형성하고 있는 골재입자 및 역청재료의 결합력에 직접적인 관계가 있기 때문에 시료의 한쪽으로 편심하중이 가해지지 않도록 안정도 헤드의 내부 형상은 시료 표면에 등분포하중이 가해지도록 정확한 규격으로 제작되어야 한다. 본 연구에서는 현재 국내에서 사용되고 있는 안정도 헤드중 대표적인 세 가지의 안정도 헤드를 수집하여 헤드의 규격, 상부 및 하부 궁형의 이격거리, 시편의 안정도 및 흐름치를 측정 비교하였다. 수집된 안정도 헤드의 종류는, ① 자동 안정도 시험기용 안정도 헤드(국내제품), ② 국내산 안정도 헤드, ③ 국외산 안정도 헤드를 사용하였으며, 각 안정도 헤드가 안정도 및 흐름값에 미치는 영향을 시험하기 위해서 아스팔트 함량 4.5%, 5% 및 5.5% 시편을 각각 5개씩 제작하여 안정도 시험을 실시하여 비교하였다.

## 3. 측정 및 시험 결과분석

### 3.1 다짐장치의 제원 조사결과

다짐장치의 제원을 조사한 결과에 의하면 상부 강판의 두께는 모두 일정하였으나, 받침목의 높이는 외국산 제품의 경우 425mm에서 457mm, 국내제품은 440mm에서 450 mm로 차이가 있었다. 특히, 일부 국내 제품은 속이 비어있는 받침목을 사용한 다짐기도 있어서 타격시 발생하는 타격에너지의 흡수와 반동의 발생으로 인하여 다짐시에 혼합물에 전달되는 에너지에 크게 영향을 미칠 것으로 예상된다.

해머의 무게는 규격에 모두 미달하였는데 작게는 12.7g이, 크게는 134g이 미달되었으며, 낙하고의 편차는 외국산의 경우 -4.2mm로, 국내산의 경우에는 +12.8mm로 측정되었다. 다짐장치를 설치한 기초 바닥 및 설치하는 방법도 각 기관마다 서로 차이가 있었다.A 및 B 다짐기를 사용하고 있는 연구기관



의 경우 타격시 건물의 충격을 줄이기 위해서 10mm 두께의 고무판을 두께 120 mm 콘크리트 판 위에 설치하였으며, C, D, E 장치를 사용하고 있는 기관의 경우에는 두께 22 mm 철판을 두께 130mm 콘크리트 판 위에 설치하여 사용하고 있었으며, 나머지 장치는 시험실의 콘크리트 바닥에 직접 설치하여 사용하고 있었다.

### 3.2 안정도헤드의 규격 및 시험결과

국내에서 사용하고 있는 세 종류의 대표적인 안정도 헤드의 상하부의 내경, 내부 지름, 높이 및 시료 설치후 상 하부의 이격거리를 측정한 결과 세 종류의 안정도 헤드 모두 역시 각각 다르게 측정되었다. 표 1은 안정도 헤드 상하부의 규격을 측정한 결과이다.

그림 2는 세 종류의 안정도 헤드를 사용하여 동일한 조건에서 측정한 안정도 시험 결과이다. 국내산 안정도 헤드를 사용한 시험 결과가 가장 크게 나타났으며 자동 안정도 헤드의 안정도 값이 가장 작게 나타났다.

표 1. 시험에 사용한 안정도헤드 상하부의 크기 측정 결과(cm)

| 헤드의 위치   | 헤드의 종류 | 안정도헤드 위치 |       |       |
|----------|--------|----------|-------|-------|
|          |        | 자 동      | 국 산   | 외국산   |
| 상 부      | A      | 4.25     | 4.75  | 3.31  |
|          | B      | 6.43     | 5.66  | 6.21  |
| 하 부      | A      | 4.29     | 4.70  | 4.10  |
|          | B      | 6.49     | 5.60  | 6.18  |
| 헤드 내부 직경 | C      | 11.02    | 10.01 | 10.82 |
| 이격거리     |        | 1.70     | 1.12  | 0.80  |

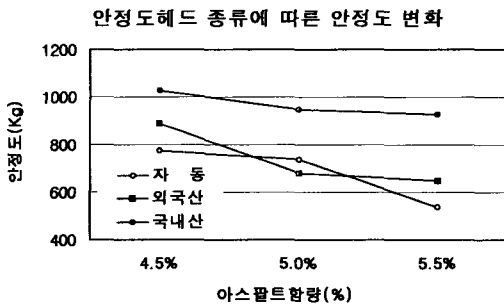


그림 2. 안정도헤드 종류에 따른 안정도의 변화

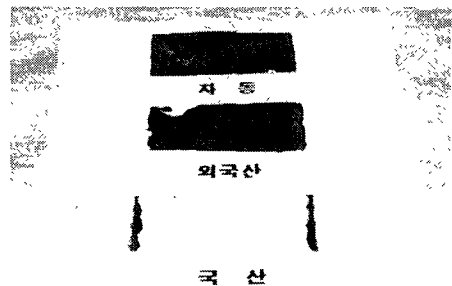


그림 3. 안정도헤드와 시료의 접촉면 시험 결과

안정도 값이 다르게 나타나는 이유는 그림 3에서 볼 수 있는 것처럼 안정도 헤드의 규격 차이에서 발생하는 것으로 예상된다. 안정도 헤드의 규격차이를 보다 면밀하게 조사하기 위해서 안정도 헤드



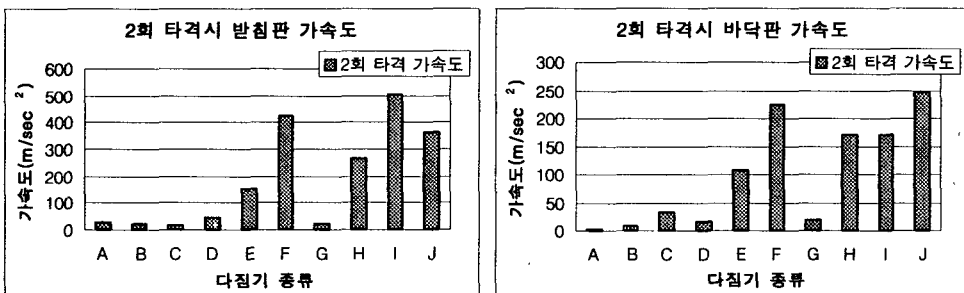
내부에 흑색 칠을 하고 상부 안정도 헤드가 충분히 시료에 접촉 할 정도로 재하를 실시하고 제하하여 흑색물감이 하얀색 띠를 두른 시료에 묻는 정도를 시험하였다. 자동용 안정도 헤드의 경우 상부 안정도 헤드가 시료 전체를 고르게 누르고 있어서 안정도 값이 작게 나타나고 있으며 (시료면 전체에 흑색물감이 매우 진하게 묻어있음-그림 3 참조), 국산 안정도 헤드는 헤드의 규격이 적절하지 못하여 시료 표면에 안정도 헤드가 닿지 않고 시료의 좌우 양편에 닿고 있어서 안정도 헤드가 시료면에 전체적으로 닿을때까지는 가해지는 압력의 상승과 시간이 소요됨으로서 안정도 값이 크게 측정되는 것으로 밝혀졌다(흑색 물감이 시료의 좌우 양편에만 묻어있음-그림 3 참조). 한편, 외국산 안정도 헤드는 자동에 비하여 헤드 상부가 시료에 닿는 면적이 자동에 비하여 작고, 국내산에 비하여 크기 때문에 중간 값을 보이고 있다.

### 3.3 다짐장치의 다짐에너지 측정결과

측정된 데이터는 마이크로 컴퓨터와 SAS 97 프로그램의 디지털처리를 이용해서 해석하여 가속도 계수를 결정한 후에 2개의 채널에 관한 가속도 시간계열을 분석하였다. 해머의 충격시 가속도는 매우 짧은 시간과 큰 피크의 가속도가 발생하였다. 그림 4는 2회 타격시 가속도계에 각 다짐기의 받침판과 바닥판의 가속도 측정 결과이다.

받침판의 가속도는 A, B, C, D는 서로 일정하게 나타나고 있으나 가속도는 전체적인 (다짐기 10종류)평균가속도는 169g(여기서 g는 중력가속도)로 측정되었으며, 바닥판의 경우는 평균가속도 81g정도로 측정되었는데 Zahur et al. (1988)의 연구에서는 받침판과 바닥판의 가속도가 각각 250g와 25g로 측정보고된 바 있다.

따라서 바닥판의 경우는 국내의 결과치가 외국의 결과에 비해 상당히 큰 피크로 측정되었다. 이런 결과로 볼 때 다짐기 바닥판의 지지조건이 주요변수로 작용하고 있는 것으로 나타났다. 또한 각각의 다짐장비 별로는 설치조건에 따라 받침판에서는 크게는 450g, 작게는 30g정도로 차이가 있었으며, 바닥판은 180g~10g 정도의 차이가 발생하는 것으로 나타났다. 이러한 바닥판의 변화를 줄이기 위해 Zahur et al. (1988)은 다짐기의 바닥판을 큰 콘크리트 블럭(90cm×90cm×90cm)에 설치함으로써 안정된 타격 에너지를 얻을 수 있는 것으로 보고하고 있다.



주) A,B,C,D,E,F:외국산 자동다짐기(미국 및 영국) G,H,I:국산자동다짐기 J:국산수동다짐기

그림 4. 2회 타격시 받침판 및 바닥판의 가속도



#### 4. 결과 종합분석 및 결론

각 제조회사마다 서로 다른 규격을 가지고 있어서 마찰시험 결과에 많은 오차를 발생시킬 것으로 예측된다. 해머의 충격을 완화시키는 역할을 하는 다짐판의 목재의 재료와 규격은 많은 상이함이 있는 것으로 나타났으며 특히, 다짐기를 설치한 기초형식이 각 기관마다 달라서 시료에 가해지는 타격 에너지는 매회 타격시 마다 크게 차이가 발생하고 있었다. 그 중에서도 속이 빈 받침목을 사용하고 있는 다짐기의 경우 차이는 더욱 심하게 나타났다. 반면, 다짐기의 기초를 콘크리트 판상에 철판 또는 고무판을 설치한 다짐기는 비교적 다짐에너지의 변화가 심하지 않았다. 이로부터 알 수 있는 사실은 다짐기 설치에 해머의 충격에너지를 충분히 완화시킬 수 있는 설치형식이 고려되어야 한다는 것이다.

각 다짐기마다 무게, 낙하높이, 목재의 재질이 서로 달라서 측정된 가속도를 근거로 어떠한 다짐기가 올바른 형식을 가지고 있는지 쉽게 결론을 낼 수 없는 실정이다. 그러나 한가지 분명한 사실은 본 연구에서 도출된 것처럼 국내의 마찰다짐 장치는 가까운 시일 내에 규격의 재조사, 다짐기의 기초설치 조건의 명시, 안정도 헤드의 규격 재정비등 여러 분야에서 범국가적인 정비가 실시되어야 한다.

#### 참고문헌

1. 아스팔트포장연구회 "가열 아스팔트 혼합물의 배합설계지침" 1998
2. Zahur S., Martin, W. Trethewey and Davida E., "Variables Affecting Marshall Test Results" TRB 1171, Asphalt Materials and Mixtures, 1988, PP 139-148