

# 가열 아스팔트 혼합물의 배합설계 잠정 지침

황성도\* · 윤안상\*\* · 노성열\*\*\*

## 1. 머리말

현재 국내에서 적용하고 있는 마샬 배합설계 방법은 공극률, 포화도, 안정도, 흐름값의 4개 요소들의 기준 범위에 맞는 아스팔트 함량의 범위를 구하고 그 중간값을 최적 아스팔트 함량으로 결정하고 있다. 그러나 아스팔트 플랜트 현장에서 이루어지는 마샬 안정도 시험은 시험실간의 안정도 장비의 차이, 작동자의 비전문성, 그리고 데이터 해석의 오류 등으로 인해 잘못된 시험 결과가 배합설계에 영향을 미치고 있다. 또한 국내·외의 배합설계에서 가장 중요하게 고려되고 있는 용적 개념보다는 아스팔트 혼합물의 안정도와 흐름값을 규정 범위에 만족시키려고만 하는 배합설계가 이루어지는 것이 현실이다.

외국의 경우 국내와 유사한 방법으로 배합설계를 실시하는 나라는 일본 밖에 없으며, 미국의 경우에는 용적 개념의 배합설계를 실시하고 있고, 유럽의 경우에도 공학적인 접근과 경험을 기초로 한 배합설계를 실시하고 있다.

이러한 필요성에 따라 건설교통부에서 발주된 “한국형 포장 설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구” 과업의 세부 과제를 수행하여 기존 배합설계의 문제점을 개선한 배합설계 잠정 지침을 작성하였다. 본

잠정 지침에서는 상기에서 언급한 기존 마샬 배합설계의 문제점을 보완하고자 최적 아스팔트 함량 결정에 있어 각 나라의 규정들을 조사한 후 국내 실용성을 검토하여 용적 개념의 배합설계를 개선된 배합설계 방법으로 도입하였다. 이러한 용적 개념의 배합설계 도입에 필수적인 공극률 및 포화도 산출의 정확성 향상을 위한 시험 기준인 이론최대밀도 값은 기존 방법인 사용 골재의 비중값을 사용한 계산 방법을 개선하여 다져지지 않은 아스팔트 혼합물의 이론최대밀도를 반드시 실측으로 구하도록 명시하였다.

그 외의 본 잠정 지침의 기술 내용들은 기존 사용자의 실무 적용성을 고려하여 기존 국내 시방서의 내용을 따르거나 수정·보완하였으며, 현장 실용성을 감안하여 부록 내용을 보강하였다. 본 고에서는 잠정 지침의 내용 구성과 기존 지침의 문제점 인식 및 수정된 내용에 대하여 소개하고자 한다.

## 2. '가열 아스팔트 혼합물의 배합설계 잠정 지침'의 구성

본 잠정 지침은 5개의 목차로 구성되어 있다. 1장에서는 본 잠정 지침의 적용 범위와 용어의 정의를

\* 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구부 선임연구원

\*\* 한국건설기술연구원 도로연구부 연구원

\*\*\* 정회원 · 건설교통부 도로국 도로건설과 사무관

나타내고 있는 총칙으로 구성되어 있으며, 가열 아스팔트 혼합물의 배합설계에 사용되는 재료의 일반 사항들은 2장에서 설명하고 있다. 다음으로 3장에서는 현재 국내에 사용되고 있는 가열 아스팔트 혼합물의 종류에 따른 일반 사항 및 골재 입도 규정과 마찰 특성치 기준을 수록하였으며, 4장에서는 마찰 배합설계 순서와 필수 시험 항목들 그리고 시험 순서 및 내용을 포함하고 있다. 마지막으로 부록에서는 이론최대밀도 시험 방법, 마찰 공시체 제작 방법, 마찰 배합설계 계산 인자들에 대한 설명, 마찰 배합설계 Data Sheet, 그리고 마찰 배합설계 설계(예)를 제시하였다. 특히 본 잠정 지침은 실무자의 기술적인 이해를 돕기 위하여 가능한 간략하게 구성하려고 노력하였으며, 배합설계 예시를 통해 실용성을 도모하였다.

다음의 <표 1>은 본 잠정 지침의 목차 구성을 나타

내고 있다.

### 3. '가열 아스팔트 혼합물의 배합설계 잠정 지침'의 개선 내용

#### 3.1 이론최대밀도 측정 방법

기존 관련 시방서에서는 이론최대밀도를 계산 및 실측에 의한 방법으로 측정하도록 제시되어 있다. 그러나 골재 비중과 아스팔트 바인더 비중을 각각 구한 후, 계산에 의해 산출되는 이론최대밀도는 실제 다져지지 않은 아스팔트 혼합물의 실측 밀도와는 차이가 있는 것으로 알려져 있다. 지금까지의 국내의 문헌 등에 따르면 계산 방법에 의하여 구한 이론 최대밀도 값은 실측에 의하여 구한 값보다 다소 과

표 1. 잠정 지침 목차 구성표

1. 총 칙	1.1 적용범위 1.2 용어의 정의
2. 재 료	2.1 일반사항 2.2 아스팔트 바인더 2.3 골재
3. 가열아스팔트 혼합물의 종류	3.1 일반사항 3.2 가열아스팔트 안정처리 기층 3.3 표층(중간층)용 가열아스팔트혼합물
4. 배합설계	4.1 일반사항 4.2 배합설계순서 4.3 골재 배합비의 결정 4.4 추정아스팔트함량 결정 4.5 마찰 시험 4.6 이론최대밀도 산출 4.7 최적아스팔트 함량 결정 4.8 품질확인
부 록	부록 1) 이론최대밀도 측정시험 방법 부록 2) 마찰 공시체 제작 방법 부록 3) 마찰 배합설계 계산 인자 부록 4) 마찰 배합설계 Data Sheet 부록 5) 마찰 배합설계에 의한 설계

대 평가되어지고 있다. 이론최대밀도 값이 과대 평가되어지면 공극률은 실제 값보다 커지게 되고 포화도는 작아지는 결과가 나타나며 이를 기준으로 구해지는 최적 아스팔트 함량은 증가되는 결과가 나타난다.

본 잠정 지침에서는 이러한 문제점을 인식하고 이를 개선하기 위하여 이론최대밀도는 반드시 실측에 의한 값을 사용하도록 명시하였다. 또한 이러한 실측에 의한 이론최대밀도 측정값의 신뢰성 향상 및 시험 오차의 제거를 위한 차년도 연구를 수행하여 최종 지침 내용에 반영할 예정이다.

### 3.2 최적 아스팔트 함량 결정 방법

기존 마샬 배합설계를 통한 최적 아스팔트 함량 결정 방법은 국내와 외국 방법 사이에 차이가 있다. 현재 국내 마샬 배합설계에서는 용적 개념인 공극률과 포화도, 그리고 마샬 안정도 시험을 통한 안정도와 흐름값의 기준을 만족하는 각 아스팔트 함량 공통 범위에서의 중간값을 최적 아스팔트 함량으로 결정하고 있다. 이는 일본도로공단에서 사용하는 방식과 동일한 방법이다.

외국의 경우, 미국 NAPA(National Asphalt

Pavement Association)와 ASTM 규정에서는 공극률의 중간값(4%)에 해당하는 아스팔트 함량을 최적 아스팔트 함량으로 결정하고 있다. 이외에 AI(Asphalt Institute) 규정에서는 최대 안정도, 최대 혼합물 밀도, 그리고 공극률의 중간값(4%)에 해당하는 아스팔트 함량을 각각 구하고 3개의 산술 평균값을 최적 아스팔트 함량으로 결정하고 있다. 또한 영국 BS(British Standard) 규정에서는 최대 안정도, 최대 혼합물 밀도, 최대 골재 밀도에 해당하는 아스팔트 함량을 각각 구하고, 각각의 아스팔트 함량의 산술 평균값을 최적 아스팔트 함량으로 선정하고 있다. 다음의 <표 2>는 각 규정별 최적 아스팔트 함량 결정 방법을 비교한 것이다.

최적 아스팔트 함량 결정은 표와 같이 각 나라의 규정별로 상이하게 적용하고 있지만 공극률을 고려하는 용적 개념은 필수 항목으로서 모든 배합설계에서 적용하고 있다. AI 규정의 경우 1988년도 Manual Series No. 2에서는 최적 아스팔트 함량 결정을 위에서 언급한 바와 같이 최대 안정도, 최대 혼합물 밀도, 공극률의 중간값에 해당하는 아스팔트 함량을 각각 구하고 3개의 산술 평균값을 최적 아스팔트 함량으로 결정하였다. 1995년도 MS 매뉴얼에서는 NAPA와 ASTM 규정과 동일한 방법으로 공극

표 2. 각 국가 규정별 최적 아스팔트 함량 결정 방법

규 정	최적 아스팔트 함량 산정 방법
한국(KS) 일본도로공단	공극률, 포화도, 안정도, 흐름값의 기준 내에 해당하는 아스팔트 함량을 각각 구하고 공통된 범위 내에서 중간값을 최적 아스팔트 함량으로 선정함
미 국 (ASTM, NAPA)	공극률의 중간값(4%)에 해당하는 아스팔트 함량을 결정한 후, 아스팔트 함량에 해당하는 포화도, VMA, 안정도, 흐름값이 마샬 기준치를 만족하는지를 확인한 다음, 이를 최적 아스팔트 함량으로 선정함
미 국 (AI)	최대 안정도, 최대 혼합물 밀도, 그리고 공극률의 중간값(4%)에 해당하는 AP량을 각각 구하고 3개의 산술 평균값을 최적 아스팔트 함량으로 선정함
영 국 (BS)	최대 안정도, 최대 혼합물 밀도, 최대 골재 밀도에 해당하는 아스팔트 함량을 각각 구하고, 각각의 아스팔트 함량의 산술 평균값을 최적 아스팔트 함량으로 선정함

률의 중간값(4%)에 해당하는 아스팔트 함량을 최적 아스팔트 함량으로 결정하고 이를 통해 VMA, 포화도, 안정도, 흐름값을 검토하는 방법으로 배합설계를 실시하였다. 이후 1998년도 MS 매뉴얼에서는 다시 과거의 방법으로 회귀하여 1988년도 방법과 동일하게 최적 아스팔트 함량을 결정하고 있지만 공극률을 고려하는 용적 개념은 필수 항목으로 사용하고 있다.

이러한 마샬 배합설계 방법과는 다르게 미국에서 Superpave 배합설계 방법이 개발되었다. 이 방법에서는 마샬 배합설계에서 사용하는 충격식 다짐 방법과는 다른 니딩 다짐을 사용하지만 최적 아스팔트 함량 결정은 공극률의 중간값(4%)에 해당하는 아스팔트 함량을 최적 아스팔트 함량으로 결정하고 있다.

이와 같이 영국 BS 규정을 제외한 국내·외 모든 마샬 배합설계에서 공극률은 필수 항목으로 고려하고 있으며, 공극률을 만족하는 아스팔트 혼합물은 성능 측면에서 공용성을 충분히 발휘하는 것으로 나타나고 있다.

이에 본 잠정 지침에서는 용적 개념의 배합설계를 도입하였다. 공극률 4%에 해당하는 아스팔트 함량을 예비 최적 아스팔트 함량으로 결정한 후 예비 최적 아스팔트 함량에 해당하는 공시체의 포화도, 골재 간극률(VMA), 안정도, 흐름값이 기준을 만족하면 이를 최종 최적 아스팔트 함량으로 결정하는 방법을 채택하였다. 본 방법의 신뢰성 검증은 “한국형 포장설계법 개발과 포장 성능 개선방안 연구”의 1차년도 및 2차년도 보고서에 자세히 나타나 있으며 계속하여 신뢰성을 검증하고 있다.

최적 아스팔트 함량 결정 방법을 간략하게 설명하면, 0.5%씩 변화시킨 아스팔트 함량으로 공시체를 제작하고 겉보기 밀도 시험과 이론최대밀도 시험을 통해 공극률과 아스팔트 함량에 대한 관계를 구한다. 다음으로 여기에서 공극률 4%에 해당하는 아스팔트 함량을 예비 아스팔트 함량으로 산정한다. 그리고 예비 아스팔트 함량이 적정하지를 판단하기 위

하여 포화도, VMA(골재 간극률), 안정도, 흐름값에 대하여 기준 범위에 만족하는지를 검토한다. 예비 아스팔트 함량을 사용한 공시체가 4가지의 기준 범위를 모두 만족하면 이를 최적 아스팔트 함량으로 결정하고, 기준 범위를 벗어나면 배합설계를 다시 실시한다.

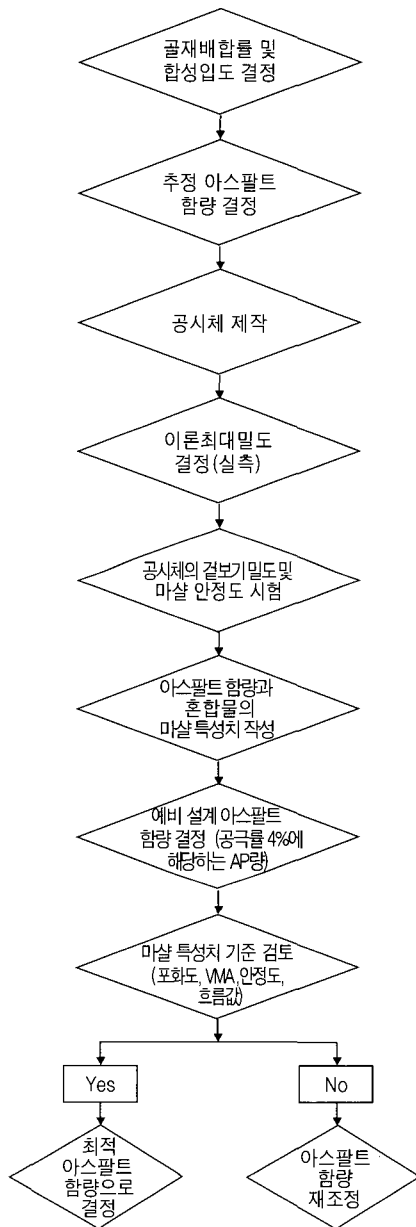


그림 1. 마샬 배합설계 절차

본 잠정 지침의 최적 아스팔트 함량 결정 방법은 미국의 NAPA, ASTM, 그리고 95년도 AI 규정과 유사하다. 앞의 <그림 1>은 마샬 배합설계 순서를 나타낸 것이다.

### 3.3 마샬 시험 기준값

본 잠정 지침에서는 기존의 애매한 규정이나 시험 기준값을 보다 합리적으로 수정하였다. 먼저 표층(중간층)용 마샬 공시체를 제작할 때 양면 50회 다짐과 75회 다짐을 위한 기준을 기존의 대형차(화물자동차, 버스, 특수자동차) 교통량이 1일 1방향 1,000대 이상인 경우에 소성변형이 우려되는 포장에서 ESAL값 기준으로 개선하였다. 이에 따라 설계 ESAL>10<sup>6</sup>인 경우에 유동에 의한 소성변형이 우려되는 포장에 양면 75회 다짐으로 공시체를 제작하도록 하였다.

공극률에 대한 기준 역시 기존의 3~6%를 3~5%로 개선하여 적정 다짐 밀도를 구현할 수 있는 기준으로 조정하였다. 또한 기존의 시방서 등에서 표기된 마샬 안정도의 kg 단위를 국제 단위인 N으로 병행하여 표기하였다.

## 4. 맺음말

현재까지의 연구 결과나 보고서에 따르면 기존 방법의 마샬 배합설계에서의 2가지 요소들(안정도, 흐름값)은 최적 아스팔트 함량 산정에 있어 전혀 고려 대상이 되지 못하고 있다. 국내·외의 문헌을 통해 배합설계 결과에서 안정도는 기준값을 모두 만족시키고 있고, 흐름값은 포장의 소성변형에 대한 저항성

을 대변하지 못하는 물성으로 알려져 있다. 따라서 기존 방법의 배합설계에서 고려되어지는 4가지 요소들 중 2가지(공극률, 포화도)로서 배합설계를 실시하는 것이 가장 합리적인 방법으로 제시하였다. 이러한 공극률과 포화도는 아스팔트 혼합물의 용적 개념과 상호 연관이 있는 요소들이므로 본 잠정 지침에서는 공극률만의 요소로 배합설계를 실시하는 것이 기존 방법의 부적절한 마샬 안정도 시험에 의한 오차를 줄이고 실무 적용성을 향상시키는 방법으로 제안되었다.

그리고 최종 최적 아스팔트 함량을 결정할 때는 마샬 안정도 시험이 필수 항목은 아니지만 용적 개념(공극률)으로 결정된 최적 아스팔트 함량으로 공시체를 제작하여 품질 시험으로서 마샬 안정도 시험을 실시하여 안정도와 흐름값이 기준 값을 만족하는지를 검토하여야 한다. 또한 기타 마샬 물성치들(포화도, VMA)도 기준 값을 만족하는지를 검토하여야 한다.

본 잠정 지침에서 제시하는 최적 아스팔트 함량 결정 방법은 기존 방법에 비해 최적 아스팔트 함량, 밀도, 안정도, 흐름값은 차이가 없지만, 포장 시공 후 공극률을 일정하게 확보할 수 있는 아스팔트 혼합물을 생산할 수 있는 방법이다. 여기에 기존 방법에서는 고려하지 않았던 골재 간극률도 포함시켜 골재에 대한 아스팔트의 최적 피막 정도를 확보하도록 하였다. 특히 계산에 의존하던 기존의 이론최대밀도 산출 방법을 반드시 실측으로 시험하게 명시함으로써 보다 정확한 아스팔트 혼합물의 생산에 초점을 맞추었다. 모쪼록 포장 실무자들이 본 잠정 지침의 사용을 통해 포장의 품질 향상과 포장 파손의 억제에 도움이 될 수 있기를 바란다.

본 특집기사는 건설교통부에서 발주한 “한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구”의 연구성과물인 “가열아스팔트혼합물의 배합설계 잠정지침”을 요약한 것으로, 잠정 지침 원문은 인터넷의 『www.pavementinfo.com』을 참조하기 바랍니다.