

# 최대밀도이론을 이용한 아스팔트 혼합물의 배합설계에 관한 연구

## The Study of Asphalt Concrete Mixture Design Using Maximum Density Theory

이 승 한\*    박 현 묘\*\*    정 용 욱\*\*\*    장 석 수\*\*\*\*    김 장 욱\*\*\*\*  
Lee, Seung Han    Park, Hyun Myo    Jung, Yong Wook    Jang, Seck Soo,    Kim, Jang Wook

### Abstract

This study determines the best composite grade to minimize the void of aggregate mixture based on the maximum density theory in an attempt to suggest a mix proportion method design for asphalt mixtures.

Study results show that the grading curve with the maximum mass per unit capacity of each aggregate mixture satisfied the KS standards and the optimum AP content to meet the optimal asphalt mixture void rate of 4% was 5.7%, less than the optimum AP content of 6.5% suggested in the Marshal mix proportion method design.

At the same time, the asphalt mixture produced based upon the suggested mix proportion method had a flow value 17% lower than that of asphalt mixture produced according to the Marshal method, while its density was greater by 0.06~0.09. This suggests that the introduced mix proportion method design helps to improve the shape flexibility and crack-resistance of asphalt concrete.

### 1. 서론

최근 국내에서는 도로 교통량의 급격한 증가와 중차량 통행량의 증가로 인하여 아스팔트 콘크리트의 내구성 저하가 문제점으로 부각되면서 이에 대한 해결방안으로 현행 도로포장용 아스팔트 콘크리트 배합설계법의 개정과 새로운 배합설계법의 필요성이 제기되고 있다.

아스팔트 혼합물의 배합설계법은 크게 마살배합설계법과 Superpave 배합설계법으로 구분되며, 국내 아스팔트 혼합물의 배합에는 마살배합설계법을 적용하고 있다. 그러나 마살배합설계법은 아스팔트 혼합물의 안정도와 흐름값을 만족시키는 경험에 의존한 배합설계법으로서 아스팔트 혼합물의 현장 적용시 과도한 AP의 첨가로 소성변형 등의 문제점을 발생시키고 있다. 또한, 도로의 기후환경, 지역특성과 도로특성을 고려한 Superpave 배합설계법을 국내에 도입하여 적용하려는 시도들이 이루어지고 있지만 외국과 다른 현장여건으로 인하여 국내의 현장 적용에는 어려움이 많다. 또한, 경험에 의존하는 현행 배합설계법으로 설계된 아스팔트 도로포장은 공용기간동안 변형과 균열 등의 발생이 증가되어 매년 유지보수비의 지출이 급격하게 증가하고 있는 추세이다.

따라서, 본 연구에서는 도로포장용 아스팔트 혼합물의 제조에 있어서 공용성 증대를 위한 강도와 흐름값이 기준치를 만족하고 공극률을 만족할 수 있는 용적개념의 배합설계법 확립을 연구목적으로 하였다. 이를 위하여 골재 배합비 선정에서부터 최대밀도이론을 도입하여 사용 혼합 골재의 공극이 최소가 되는 합성입도 선정 방법을 제시하여 최적 공극을 가지는 배합설계를 제시하고자 하였다.

\* 정희원, 계명대학교 토목공학과 교수

\*\* 정희원, 삼성산업 기술연구소 연구원

\*\*\* 정희원, 계명대학교 토목공학과 강사

\*\*\*\* 정희원, 계명대학교 토목공학과 대학원 석사과정

## 2. 실험개요

### 2.1 사용재료의 특성

#### 2.1.1 아스팔트

아스팔트에 대하여 신뢰성 검증을 위한 침입도 시험을 시행하였으며 사용된 아스팔트 (AP-5)의 기본 물성시험 결과를 표 1에 나타내었다.

표 1 아스팔트의 기본 물성

| 실험 및 검사 항목                  | 실험 방법     | 시험 결과  |
|-----------------------------|-----------|--------|
|                             |           | AP-5   |
| 침입도, 25℃, 100g, 5초<br>0.1mm | KS M 2252 | 65     |
| 밀도(15℃) g/cm <sup>3</sup>   | KS M 2201 | 1.031  |
| 인화점, COC : ℃                | KS M 2210 | 344    |
| 연화점 : ℃                     | KS M 2250 | 46.0   |
| 신도(15℃) : cm                | KS M 2254 | 150 이상 |
| 톨루엔가용분 : 무게 %               | KS M 2201 | 99.76  |
| 박막가열후<br>질량 변화율 : 무게 %      | KS M 2258 | -0.02  |
| 박막가열후 침입도비<br>(원침입도 대비) : % | KS M 2258 | 66.2   |
| 증발 후의 질량 변화율<br>침입도비 : %    | KS M 2201 | -0.01  |
|                             |           | 90     |

#### 2.1.2 골재

본 연구에서 사용된 골재는 경북 고령산으로 2차 콘크리터를 통해 분쇄한 쇄석 중 최대 치수 19mm체를 통과하고 13mm체에 남는 골재, 13mm체를 통과하고 10mm체에 남는 골재, 10mm체를 통과하고 No.4체에 남는 골재와 잔골재로 분류하여 시험하였다. 또한 채움재로는 No.200체를 통과하는 석분(Mineral filler)을 사용하였다

사용골재 및 채움재의 물리적 성질을 표 2와 표 3에 나타내었다.

표 2 골재의 물리적 성질

| 종 류             | 밀 도  | 흡수율 (%) | 안정성 (%) | 마모율 (%) |
|-----------------|------|---------|---------|---------|
| 굵은 골재           | 2.67 | 1.05    | 5       | 24      |
| 잔 골재<br>(스크리닝스) | 2.65 | 2.17    | 11      | -       |

표 3 채움재의 물리적 성질

| 시험항목                        | 결과          | 시험방법      |
|-----------------------------|-------------|-----------|
| 입 도<br>[체 통과 무게<br>백분율 (%)] | 600 $\mu$ m | 100       |
|                             | 300 $\mu$ m | 100       |
|                             | 150 $\mu$ m | 97        |
|                             | 75 $\mu$ m  | 90        |
| 수분함량 (%)                    | 0.1         | KS F 3501 |
| 밀 도                         | 2.74        | KS L 5110 |

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 골재의 단위용적질량 시험을 통한 혼합입도

아스팔트 혼합물에서의 골재의 공극량은 아스팔트 콘크리트의 피로저항성, 소성변형 저항성 및 강도 등에 영향을 미치는 중요한 인자이다. 표 4에 혼합골재의 단위용적질량 시험값을 나타내었으며, 표 4를 바탕으로 각 골재의 혼합에 있어서 최대밀도를 가지는 용적을 KS 입도규격과 비교하여 그림 1에 나타내었다.

그림 1에서 각 혼합골재별 단위용적질량의 최대값을 이용한 입도분포곡선은 KS 기준범위를 만족하고 있어 골재의 입도선정시 최대밀도이론이 적용되고 있음을 알 수 있다.

### 3.2 최대밀도이론을 이용한 아스팔트혼합물의 배합설계

안정화된 아스팔트 콘크리트의 배합설계를 위해 본 연구에서는 골재 배합비 입도 산정에 있어 최대밀도이론 도입으로 최적의 골재입도를 도출하고자 하였다. 즉 합성 입도에 사용되는 골재 상호간의

표 4 혼합골재의 단위용적질량

| 혼합 골재의 종류(mm)           | 혼합 범위(%)  | 단위용적질량 |        |
|-------------------------|-----------|--------|--------|
|                         |           | 혼합율(%) | 최대값    |
| 13 + 10                 | 50 ~ 100  | 80     | 1.582  |
| 13+10+5                 | 30 ~ 100  | 63     | 1.464  |
| 13+10+5+2.5             | 10 ~ 65   | 45     | 1.975  |
| 13+10+5+2.5+0.6         | 10 ~ 60   | 32     | 1.769  |
| 13+10+5+2.5+0.6+0.3     | 10 ~ 55   | 20     | 1.776  |
| 13+10+5+2.5+0.6+0.3+채움재 | 2.0 ~ 8.0 | -      | 계속적 상승 |

최소공극을 갖는 단위용적질량을 결정한 후 안정도 및 흐름값을 만족시키는 필요한 아스팔트 함량을 결정하여 소요의 아스팔트 콘크리트를 제조하고자 하였다. 그림 2에 합성입도를 이용한 아스팔트함물의 배합설계 흐름도를 나타내었다.

### 3.3 AP첨가물에 따른 마찰특성치

제안한 배합설계법과 기존 배합설계법으로 합성 입도를 선정 한 후 AP첨가량을 5.0%, 5.5%, 6.0%, 6.5%, 7.0%의 5종류로 변화시켜 공시체를 제작하고, 안정도, 흐름값, 공극률, 밀도를 측정하여 최적 AP첨가량을 결정하였다.

그림 3과 그림 4에 AP첨가물에 따른 안정도 및 흐름값을 나타내었다. 그림 3에서 동일 아스팔트함량에서의 기존 배합설계법과 최대밀도이론을 이용한 공시체는 비슷한 안정도값을 나타내었다. 반면 그림 4의 흐름값의 경우에는 최대밀도이론을 이용한 배합설계가 약 17%정도 낮은 값을 나타내어 아스팔트 콘크리트의 소성변형 저항성이 증가할 것으로 판단된다.

또한, 그림 5는 AP첨가물에 따른 공극률 변화를 나타낸 것으로 기존의 마찰 배합설계법에 의한 공시체와 비교하여 최대밀도를 이용한 배합설계법의 혼합물이 동일 AP첨가물에서 약 1% 낮게 나타나고 있다. 이는 단위용적질량 시험을 통하여 최대밀도의 범위를 찾아낸 입도와 일반적 경험에 의해 선택된 KS 규정과의 차이라고 생각되며, 도로학회에서 제시하고 있는 공극률 최적 범위 4%에서 제안된 배합설계법에 의한 혼합물의 AP첨가물은 마찰 배합설계법의 6.5%에서 5.7%로 약 1% 줄일 수 있다.

그림 6은 AP첨가물에 따른 밀도변화를 나타낸 것으로 최소 공극을 가지는 합성입도의 선정으로 기존의 배합설계법보다 큰 밀도값을 나타내어 균열 저항성이 우수한 아스팔트 혼합물의 제조가 가능할 것으로 사료된다.

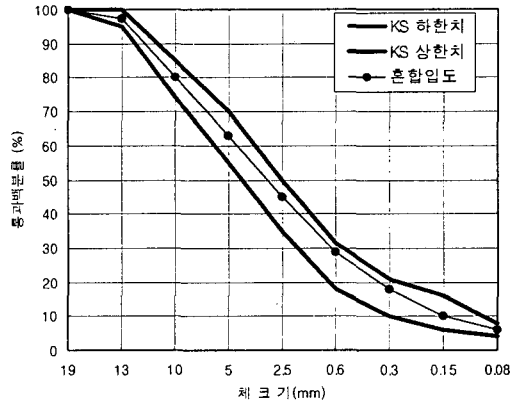


그림 1 혼합입도의 입도분포곡선

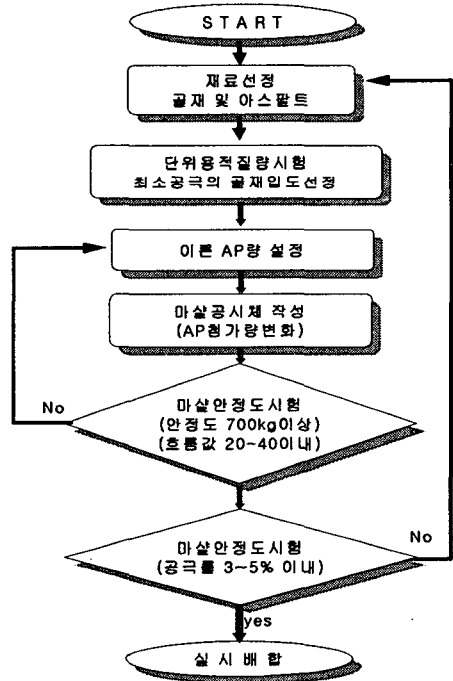


그림 2 배합설계 흐름도

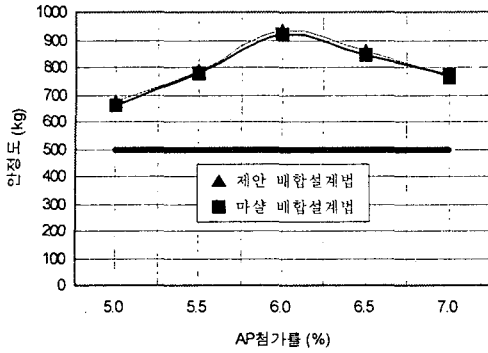


그림 3 AP첨가률에 따른 안정도

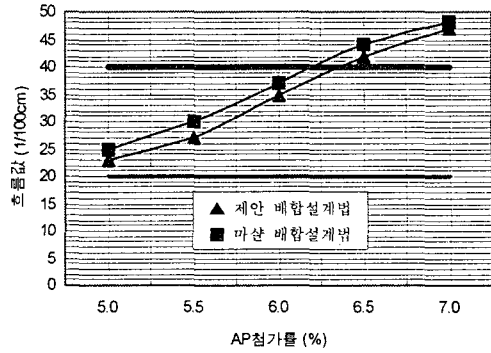


그림 4 AP첨가률에 따른 희姆값

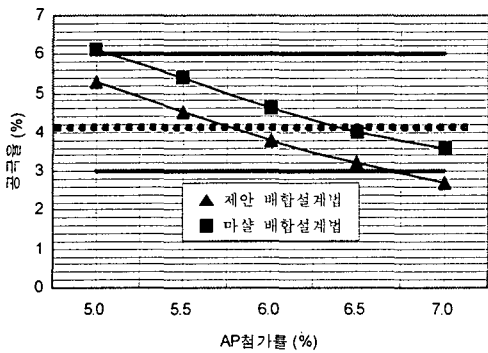


그림 5 AP첨가률에 따른 공극률

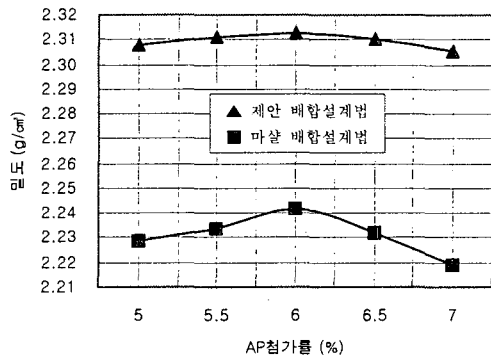


그림 6 AP첨가률에 따른 밀도

#### 4. 결론

본 연구는 최대밀도이론을 이용한 아스팔트 혼합물의 배합설계에 관한 것으로 연구결과는 다음과 같다.

- 1) 각 혼합골재의 공극이 최소가 되는 최대밀도이론을 적용한 합성입도 선정방법은 KS 입도분포곡선의 기준범위를 만족하는 것으로 나타났다.
- 2) 본 연구에서 제안된 배합설계법을 바탕으로 제조된 아스팔트 혼합물은 최적 공극률 4%를 만족시키는 최적 AP첨가량이 5.7%로, 마살 배합설계법에 의한 최적 AP첨가량 6.5%에 비해 약 1%정도 낮게 나타났다.
- 3) 합성입도를 사용한 아스팔트혼합물은 마살배합설계법으로 제조된 혼합물보다 동일 아스팔트 함량에서 안정도는 비슷하나 희姆값이 17% 낮게 나타났으며, 밀도는 0.06~0.09정도 크게 나타났다. 따라서, 최대밀도이론을 이용하여 배합설계된 아스팔트 혼합물은 높은 밀도값으로 인하여 변형과 균열저항성이 증가될 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

1. 고석범, 박태순, 김수삼. (2002). 아스팔트혼합물의 골재특성과 소성변형의 상관분석. 대한토목학회 논문집. 제22권, 제3-D호, 443-452.
2. 김광우, 이상범, 이지용, 이석홍. (1998). 골재간의 접촉을 통한 아스팔트 혼합물의 변형 제어 연구. 대한토목학회 논문집, 제18권, 제Ⅲ-4호, 475-484.
3. KSA 한국표준협회. (2000). 한국산업규격.