



# 포장성능관련 역학적 특성이 고려된 아스팔트 혼합물의 배합설계법 개발 방안

## Methodology for Developing HMA Mix Design Taking into Account Performance-Related Mechanistic Properties

김 부 일\*            이 문 섭\*\*            김 광 우\*\*\*  
Kim, Boo il            Lee, Moon Sup            Kim, Kwang woo

### Abstract

Criteria of the current asphalt mix design, Marshall method, includes the stability and flow which are not related with field performance of HMA mixture, together with the air void, Void filled with asphalt (VFA) and/or Void of mineral Aggregate(VMA). In addition, the limits of stability and flow are satisfied in most cases, the Optimum asphalt content (OAC) is determined based on volumetric properties, such as the air void and/or VFA and/of VMA. Therefore, many researchers have sought mechanistic properties which can replace the stability and flow, making the designed mixture having potential for better field performance. This study initiated to develop a mix design by introducing two performance-related mechanistic properties, the deformation strength and fracture energy, in place of the stability and flow of the Marshall method. The deformation strength ( $S_D$ ) from the Kim Test has a high correlation with rutting property and the fracture energy(FE) from the indirect tensile test represents the fatigue cracking property of asphalt mixture. Four types of asphalt mixture were prepared for examining possibility of using the suggested mix design method in comparison with current methods. The results showed that mechanical properties were reflected in determination of OAC with this suggested mix design, unlike the existing Marshall method.

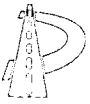
**Keyword : asphalt mixture, mix design, deformation strength, fracture energy**

### 요 지

현재의 마샬 배합설계는 공극률, VFA, VMA와 함께 가열 아스팔트 혼합물의 현장 공용성과 관련이 적은 안정도와 흐름값을 포함하고 있다. 게다가, 안정도와 흐름값은 거의 대부분 기준값에 만족하며, 최적 아스팔트 함량(OAC)은 공극률, VFA, VMA와 같은 용적특성에 의해 결정되고 있다. 그러므로 많은 연구자들은 현장 공용성과 관계를 가지는 혼합물을 만들기 위하여 안정도와 흐름값을 대신할 수 있는 역학적 특성에 관심을 가지고 있다. 본 연구에서는 마샬 배합설계방법의 안정도와 흐름값을 대신하여 역학적 특성과 관련있는 변형강도( $S_D$ )와 파괴에너지(FE)를 도입하는 배합설계를 제안할 것이다. Kim test로부터 소성변형 저항성과 상관성이 높은 변형강도( $S_D$ )와, 간접인장시험으로부터 피로균열을 모사하는 파괴에너지(FE)를 도입하였다. 현재의 배합설계방법과 제안한 배합설계 방법을 비교하기 위하여 4가지 아스팔트 혼합물을 사용하였다. 제안한 배합설계가 현재의 배합설계방법에 비해 OAC결정에 역학적 특성이 반영되는 결과를 볼 수 있었다.

**핵심 용어 : 아스팔트 혼합물, 배합설계, 변형강도( $S_D$ ), 파괴에너지(FE)**

\* 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구부 선임연구원  
 \*\* 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구부 연구원  
 \*\*\* 정회원 · 강원대학교 지역기반공학과 교수 · 공학박사



# 1. 서론

현재 국내의 아스팔트 혼합물 배합설계방법은 마샬 배합설계(Marshall mix design)가 사용되고 있다. 이 배합설계방법은 간편하지만 혼합물의 역학적 특성을 제대로 반영하지 못하는 안정도와 흐름을 사용하고 있어 소성변형, 피로균열 등 포장의 공용성을 예측할 수 없다는 단점이 있다. 최근 국내에서는 마샬 배합설계방법을 개선하고자 용적관련 변수(Volumetric)를 도입한 방법이 제안(황성도, 2003) 되었으나 여전히 안정도를 사용하는 등 경험적인 방법이라는 한계를 벗어나지 못하고 있다. 하지만 미국에서 새롭게 개발되고 있는 아스팔트 포장 설계법(NCHRP 1-37A Guide)이나 국내에서 개발되고 있는 한국형 포장 설계법 등에서는 기존의 경험적 개념에서 탈피하여 포장의 공용성 예측이 가능한 역학적-경험적인 설계법으로 발전하고 있다. 따라서 아스팔트 혼합물의 배합설계와 공용성과의 상관성을 향상시키고 아스팔트 포장의 재료 설계와 두께설계의 일관성을 유지하기 위해서는 역학적인 개념의 배합설계로 패러다임의 전환이 필요하다.

마샬 배합설계방법의 근간은 초기에는 최대밀도, 안정도, 공극률 및 흐름을 중심으로 최적아스팔트함량(OAC)을 결정하였으나, 최근에 수정 보완을 통해 공극률, VFA, 안정도 및 흐름값을 기준으로 OAC를 결정하고 있다. 한편, 미국에서는 흐름값 대신 VMA(골재 간극율)를 사용하여 용적관련 변수들을 중심으로 OAC를 결정하고 있어 국내와는 다소 다른 방식을 채택하고 있다.

하지만 마샬방법에 사용되는 변수 중 안정도는 공용성과의 상관성이 매우 낮은 것으로 인식되고 있으며 이의 개선 및 대체 방법이 모색되고 있다. 국내의 경우 특히 소성변형과의 상관성에 많은 문제를 제기하고 있으며 이에 따라 미국의 수퍼패이브 배합설계 설계방법 등의 적용이 거론되고 있다. 게다가 최근 일부의 연구에서는 마샬방법에서 안정도나 흐름을 제외한 공극률, VFA 및 VMA는 소성변형과 밀접한

관계가 있어 이들을 잘 제어하면 소성변형 특성이 고려된 배합설계를 개발할 수 있음을 시사하고 있다(건설교통부, 2002, 2003).

이에 본 연구의 목적은 아스팔트포장의 공용성과 상관성이 보다 높은 배합설계방법을 개발하기 위한 연구의 일환으로 설계기준에 현장성능과 상관성이 큰 역학적 특성을 추가하는 방안을 제시하는 것이다.

# 2. 재료 및 실험

## 2.1 아스팔트 및 골재

본 연구에서는 우리나라에서 널리 사용되고 있는 침입도 등급 60-80 아스팔트(세칭 AP-5로 PG 등급 64-22)와 개질 아스팔트(PG 76-22)를 사용하였다(표 1).

일반 아스팔트와 개질 아스팔트에 대한 물리적 특성은 표 1과 같다. 표 1에서 보는 바와 같이 일반 아스팔트(PG 64-22)와 개질아스팔트(PG 76-22)는 침입도 등급으로 분류할 때 모두 침입도 등급 60-80으로 분류되지만 PG등급으로 분류할 경우 각각 PG 64-22와 PG 76-22로 분류된다. 또한 60℃ 점도와 135℃ 점도의 경우 개질 아스팔트가 일반 아스팔트에 비해 매우 높은 점도 값을 보이고 있다.

표 1. 실험에 사용된 아스팔트 바인더의 물리적 특성

분 류	PG 64-22	PG 76-22
침입도 25℃ (0.1mm)	60	70
절대 점도 60℃ (poise)	2,464	580,000이상
동점도 135℃ (cP)	425	2,001
인화점 (℃)	334	362
비 중	1.024	1.028

본 연구에서 사용한 골재는 전국적으로 분포가 많고 성능이 좋은 화강암을 선정하였다. 이들을 각기 KS F 2503, KS F 2504, KS F 2508에 규정된 방

법에 따라 품질 시험한 결과는 표 2와 같다. 또한 굵은골재 최대치수를 19mm와 13mm로 하여 잔골재, 채움재와 혼합하여 건설교통부 19mm 및 13mm 밀입도 규격(KS F 2349)에 적합한 입도로 조정하여 사용하였다(그림 1, 그림 2).

표 2. 골재의 물리적 특성

분 류	굵은골재	잔골재	채움재
진 비 중	2.72	2.74	2.83
흡수율 (%)	0.55	1.41	-
마모율 (%)	19.60	-	-

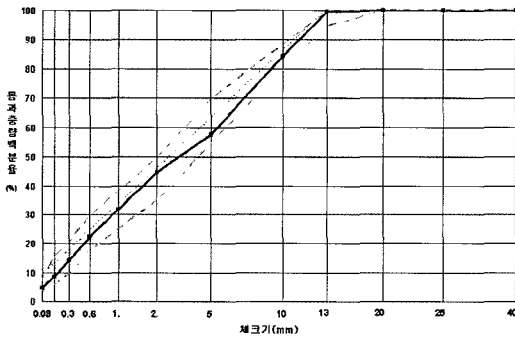


그림 1. 13mm 골재 입도

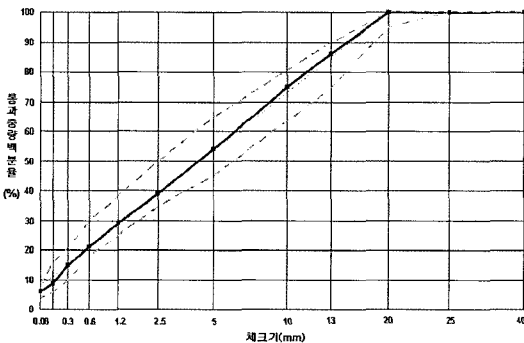


그림 2. 19mm 골재 입도

## 2.2 변형강도

마찰 안정도는 공시체를 축방향으로 다지고 하중은 측면 방향에서 쥐어짜듯 가하므로 현장에서 골재가 배열되어 있는 방향과 다르게 하중이 작용할 뿐만

아니라 파괴시 변형의 형태도 포장의 파손형태와 다르다. 따라서 이러한 문제점을 개선하여 소성변형 특성이 시험치에 반영될 수 있도록 개발된 시험방법이 Kim test이다. Kim test에서는 하중을 혼합물이 다져진 방향과 같은 방향으로 가하고 가해진 하중에 의해 혼합물은 소성변형과 유사하게 전단·압밀에 의한 변형이 유발되도록 하중봉을 사용한다(그림 3). 이에 의한 변형강도(Deformation Strength :  $S_D$ )의 계산은 반경  $r$ 만큼 원형절삭 한 직경  $D$ 의 하중봉이 바닥으로부터  $y$ 만큼 아스팔트 콘크리트로 눌러들어갈 경우의 최대하중( $P$ )과 그때의 변형값 ( $y$ )을 구하여 식 (1)로 계산한다 (김광우 등 2002a,b).

$$S_D = \frac{4P}{\pi(D - 2(r - \sqrt{2ry - y^2}))^2} \quad (1)$$

여기서  $P$ =최대하중(N),  $D$ =하중봉 직경(mm),  $r$ =원형절삭반경 (mm),  $y$ =수직변형(mm) 이고 얻어지는  $S_D$ 의 단위는 MPa이다.

이 식은 응력 계산식  $\sigma = P/A$ 의  $\sigma$ 를  $S_D$ 로 대체하고 고정된 단면적  $A$ 를 침하깊이의 변수로 만든 식이다. 즉, 아스팔트 혼합물이 고온에서 하중이 가해지면서 붕이 눌러 들어감에 따라 접지면적이 변하는 것을 고려하여 파괴시  $A$ 를 구하여 변형강도를 계산하도록 만든 식이다.  $A$ 는 그림 3의 직경  $d$ 로부터 계산되는 원의 단면적인데 여기서  $A$ 는 하중  $P$ 에 의해 눌러 들어간 하중봉이 공시체 상단면과 이루는 직경  $d$ 에 의해 계산된 단면적으로 실제 붕이 혼합물과 접하여 생기는 우묵한 형태를 평면에 투영한 것이다. 혼합물 경도에 따라 같은 하중 하에서도 하중봉의 침하 깊이가 다르게 되므로 단면적에 차이가 생겨  $S_D$ 가 다르게 계산되게 되는 특징을 가진다.

Kim test의 또 다른 특징은 그림 4에서 보는 바와 같이 기존의 마찰 안정도 시험기를 직접 이용할 수 있다는 점이다. 즉 아스팔트 플랜트 실험실, 현장이나 연구소, 학교 등에서 별도의 장비 구입 없이 기존의 마찰 시험기에 추가적인 몇 가지 실험기구만을 이용한다는 장점이 있다.

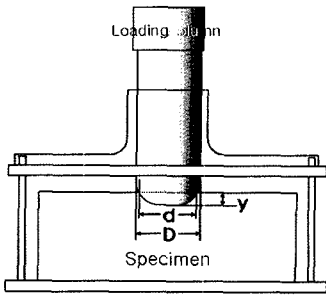


그림 3. Kim test의 모식도

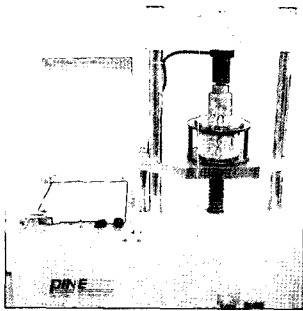


그림 4. 마찰 안정도 시험기로 Kim test를 수행하는 모습

### 2.3 간접인장 시험

균열 저항성 평가를 위해 간접인장 모드로 회복탄성 계수(resilient modulus) 시험과 강도시험(Strength test)을 실행하고 계산된 파괴에너지(Fracture Energy: FE)를 배합설계에 적용하였다.

Roque (Roque 등, 1999)에 의해 개발된 시스템에 따라 회복탄성계수 시험과 강도 시험으로부터 파괴에너지가 결정될 수 있다. FE는 공시체가 파괴될 때까지 공시체에 가해지는 전체 에너지이다. 즉 FE는 그림 5에 있는 곡선의 아래부분 전체의 면적이며 이는 아래 식을 통해 결정된다.

$$M_R = \frac{S_t}{\epsilon_f - \epsilon_0} \Rightarrow \epsilon_0 = \frac{M_{Rf} - S_t}{M_R} \quad (2)$$

$$\text{Elastic Energy (EE)} = \frac{1}{2} S_t (\epsilon_f - \epsilon_0) \quad (3)$$

$$\text{Fracture Energy (FE)} = \int_0^{\epsilon_f} S(\epsilon) d\epsilon \quad (4)$$

여기서,  $S_t$  = 인장강도

$\epsilon_f$  = Failure Strain

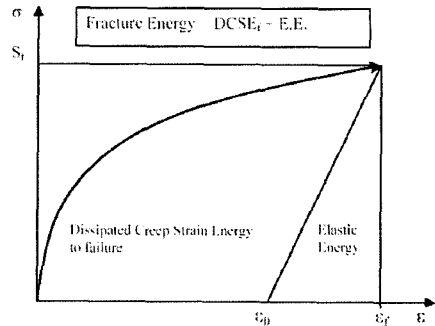


그림 5. Fracture Energy의 결정

### 2.4 배합설계

본 연구에서는 배합설계시 소성변형과의 상관성이 매우 높게 나타나고 있는 Kim test의 변형강도와 피로균열을 모사하는 간접인장 시험의 파괴 에너지를 배합설계 기준치로 적용할 수 있을지 여부를 파악하기 위한 실험을 수행하였다. 이를 위해서 마찰방향을 다소 변형하여 기본 골격은 마찰 배합설계와 유사하나 다짐장치로 현장의 다짐을 잘 모사할 수 있는 Superpave gyratory compactor (SGC)를 사용하였다. 또한 배합설계 기준 항목으로서 Kim test의  $S_D$ 와 간접인장시험에서 얻어지는 FE를 적용하였다.

앞서 기술한 것처럼 현재 국내 배합설계방법은 마찰방향이 최근 이를 약간 수정한 방법이 있으며, 본 연구에서는 기존의 마찰 배합설계방법과 본 연구에서 제안한 배합설계방법과의 비교·분석을 수행하고자 한다. 이를 위해 공시체에 가해지는 다짐 에너지를 동일하게 하여 이로 인한 차이를 제거할 필요가 있다. 따라서 마찰 배합설계방법과 같은 수준의 다짐 에너지를 주는 선회다짐 횟수를 찾기 위해서 마찰 배합설계의 최적 아스팔트 함량에서의 공극률 4%에 해당하는 선회다짐 횟수를 찾기 위한 예비실험 결과로부터 44회가 가장 적합한 것을 알 수 있었다(김광우 등 2002a,b).

### 3. 배합설계 결과분석

#### 3.1 기존 마살 배합설계 결과

공극률과 VFA, 그리고 마살 안정도 시험을 통한 안정도와 흐름값의 기준을 만족하는 각 아스팔트 함량 공통 범위에서의 중간값을 최적아스팔트 함량으로 결정하였다. 그림 6은 기존 배합설계 결과의 한 예로 19mm 골재에 PG64-22를 사용한 것이며, 표 3은 본 연구에서 사용한 4가지 혼합물에 대한 배합설계 결과이다.

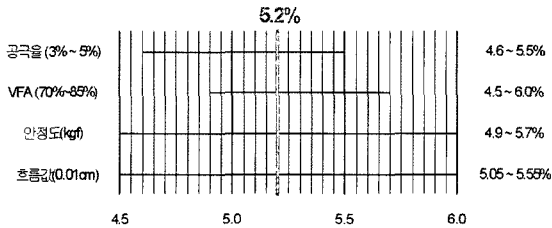


그림 6. 기존 마살 배합설계 결과의 예 (19mm, PG 64-22 혼합물의 경우)

표 3. 기존 마살 배합설계로 얻어진 OAC에서의 혼합물 특성

입도	바인더	OAC (%)	공극률 (%)	VFA (%)	안정도 (kgf)	흐름값 (0.1mm)
13mm	PG 64-22	5.6	3.7	77.6	976	40
	PG 76-22	5.2	4.0	75.8	1,106	34
19mm	PG 64-22	5.2	4.0	75.2	1,266	36
	PG 76-22	5.3	3.9	76.3	1,424	38

#### 3.2 수정 마살 배합설계 결과

“가열 아스팔트 배합설계 지침”에서 제시하는 방법을 사용하여 OAC를 결정하였다. 표 4는 공극률 4%를 기준으로 OAC를 결정한 결과이며 VFA(VFA) 및 안정도, 흐름값의 국내 기준치를 만족하였다.

표 4. 수정 마살 배합설계로 얻어진 OAC에서의 혼합물 특성

입도	바인더	OAC (%)	공극률 (%)	VFA (%)	VFA (%)	안정도 (kgf)	흐름값 (0.1mm)
13mm	PG 64-22	5.6	4.0	16	75.3	999	38
	PG 76-22	5.2	4.0	16	75.2	1,106	34
19mm	PG 64-22	5.2	4.0	16	75.8	1,266	36
	PG 76-22	5.3	4.0	16	74.9	1,490	37

#### 3.3 변형강도( $S_D$ )를 이용한 배합설계 결과

이 방법은 기존 방법에 소성변형 저항성을 추정할 수 있는  $S_D$ 를 사용함으로써 좀더 합리적인 배합설계를 하고자 하는 것이다. 4가지 아스팔트 함량으로 10cm 직경 공시체를 선화다짐기로 각각 3개씩 제작하여 마살 안정도 대신 Kim test의  $S_D$ 값을 적용하여 배합설계를 수행하였다. 그림 7에서 보는 것처럼 아스팔트 함량의 변화에 따라  $S_D$  변화곡선이 위로 볼록한 형태를 띠고 있다. 즉, 일정 범위의 아스팔트 함량에서 최대가 되는 변형강도를 구할 수 있으므로 이

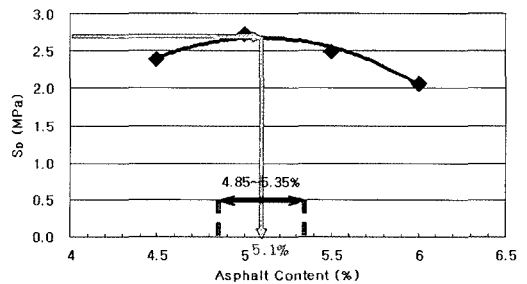


그림 7. 아스팔트 함량 변화에 따른  $S_D$ 의 변화와 최고점 기준 OAC 범위 결정 방법

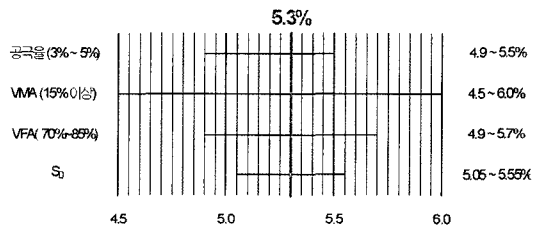


그림 8. 변형강도( $S_D$ )에 의한 배합설계 결과의 예 (19mm, PG 64-22)



값을 이용한 배합설계가 가능하다. 배합설계에서 변형강도는 최고점을 기준으로 그림 8에서 보는 바와 같이  $\pm 0.25\%$  구간을 적용하였다. 마찰 안정도와 흐름값을 제외하고  $S_D$ 를 이용하여 4가지 혼합물에 대한 배합설계를 시도한 결과는 표 5에서 보여준다.

표 5.  $S_D$ 를 이용한 배합설계로 얻어진 OAC에서의 혼합물 특성

입도	바인더	OAC (%)	공극률 (%)	VFA (%)	안정도 (kgf)	흐름값 (0.1mm)
13mm	PG 64-22	5.3	4.8	70.9	2.7	16.7
	PG 76-22	5.3	3.5	77.5	3.4	15.6
19mm	PG 64-22	5.3	3.7	76.9	4.8	15.7
	PG 76-22	5.6	3.3	79.6	5.7	16.3

### 3.4 파괴에너지(FE)를 이용한 배합설계 결과

변형강도( $S_D$ )를 도입하는 배합설계와 마찬가지로 역학적 개념을 도입하는 방안으로 피로균열을 모사하는 파괴 에너지(FE)를 사용하였다. 앞에서와 같이 4가지 아스팔트 함량으로 10cm 직경 공시체를 3개 씩 제작하여 마찰 안정도 시험 대신 superpave IDT 시험을

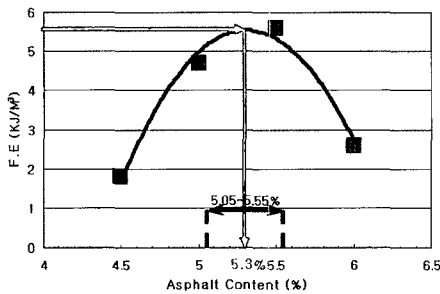


그림 9. 아스팔트 함량 변화에 따른 FE의 변화와 최고점 기준 OAC 범위 결정 방법

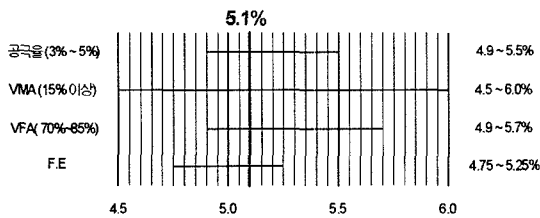


그림 10. 파괴에너지(FE)에 의한 배합설계 결과의 예 (19mm, PG 64-22)

표 6. FE를 이용한 배합설계로 얻어진 OAC에서의 혼합물 특성

입도	바인더	OAC (%)	공극률 (%)	VFA (%)	안정도 (kgf)	흐름값 (0.1mm)
13mm	PG 64-22	5.4	4.4	73.1	5.5	16.6
	PG 76-22	5.3	3.5	77.5	5.0	15.6
19mm	PG 64-22	5.1	4.4	72.6	18.0	15.8
	PG 76-22	5.3	3.9	76.3	14.7	16.2

수행한 후, FE값을 계산하여 배합설계에 적용하였다.

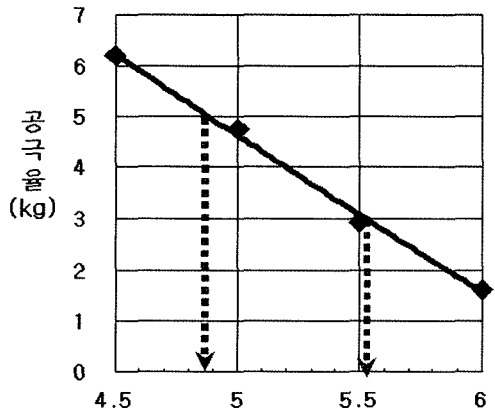
그림 9에서 보듯이 FE도 아스팔트 함량 변화에 따라 그 곡선이 위로 볼록한 형태를 띠고 있다. 즉, 일정 범위의 아스팔트 함량에서 최대가 되는 파괴 에너지를 구할 수 있으므로 변형강도와 마찬가지로 이 값을 이용한 배합설계가 가능하다. 파괴에너지도 최고점을 기준으로  $\pm 0.25\%$  구간을 OAC 선정에 적용하였다. 마찰 안정도와 흐름값을 제외하고 파괴 에너지(FE)를 이용하여 4가지 혼합물에 대한 배합설계를 시도한 결과는 그림 10과 표 6에서 보여준다.

### 3.5 변형강도( $S_D$ )와 파괴에너지(FE)를 이용한 배합설계

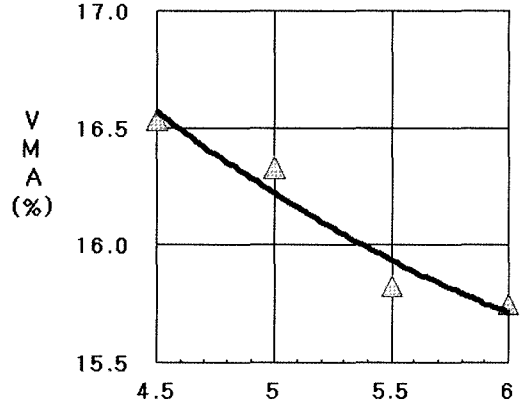
역학적-경험적 배합설계 개발을 위하여 경험적 특성으로는 아스팔트 혼합물의 체적 특성을 결정하는 요소인 공극률과 VMA를 사용하였다. 역학적 특성으로는 소성변형과 피로균열을 모사하는  $S_D$ 와 FE를 배합설계에 동시에 적용하였다. 앞에서 수행한 배합설계와 마찬가지로 마찰 안정도와 흐름값을 제외하고  $S_D$ 와 FE는 최고점을 기준으로  $\pm 0.25\%$  구간을 선정하여 OAC 선정에 적용하여 4가지 혼합물에 대한 배합설계를 시도한 결과는 그림 11과 표 7에서 보여준다.

표 7. 변형강도( $S_D$ )와 파괴에너지(FE)를 이용한 배합설계

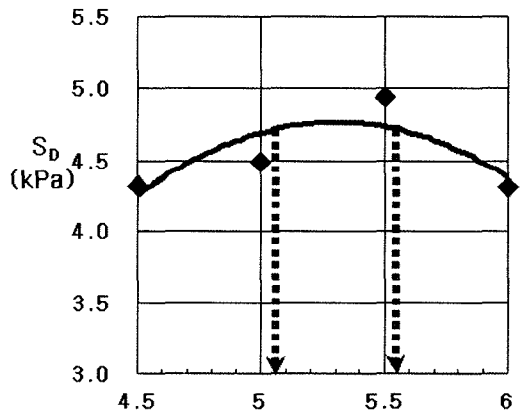
입도	바인더	OAC (%)	공극률 (%)	VFA (%)	안정도 (kgf)	흐름값 (0.1mm)
13mm	PG 64-22	5.3	5.0	16.8	2.7	5.5
	PG 76-22	5.3	3.5	15.6	3.4	5.0
19mm	PG 64-22	5.2	4.1	15.8	4.7	17.9
	PG 76-22	5.5	3.4	16.3	5.6	14.4



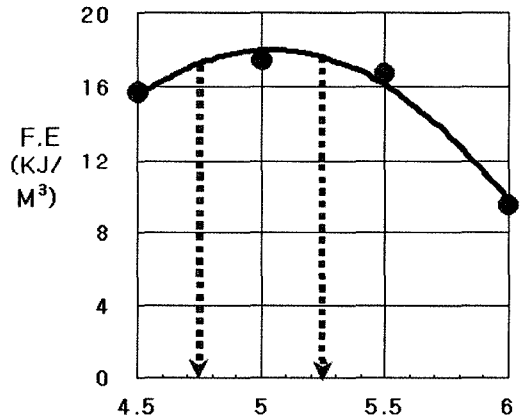
아스팔트 함량(%)



아스팔트 함량(%)



아스팔트 함량(%)



아스팔트 함량(%)

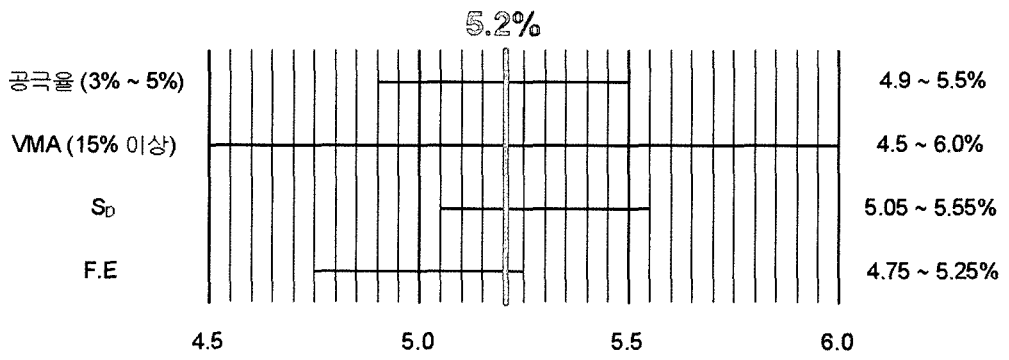


그림 11. 변형강도(S<sub>D</sub>)와 파괴에너지(FE)에 의한 배합설계 결과의 예(13mm, PG 64-22)



### 3.6 고찰

4가지 아스팔트 혼합물로 5가지 방법의 배합설계를 수행하여 결정된 OAC를 그림 12에 정리하여 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 국내에서 가장 널리 이용되는 일반아스팔트 혼합물(13mm, PG 64-22)의 경우 마살 배합설계에 비해 본 연구에서 검토한 3가지 배합설계가 보다 낮은 OAC를 보인다. 이 결과는 비록 한 가지 혼합물이지만 기존 마살 방법의 배합설계보다 밀입도 아스팔트 혼합물의 OAC를 낮추는 결과를 보인 것이며 이는 과도한 아스팔트 함량이 소성변형의 한 원인이 될 수 있다는 점에서 의미가 있다.

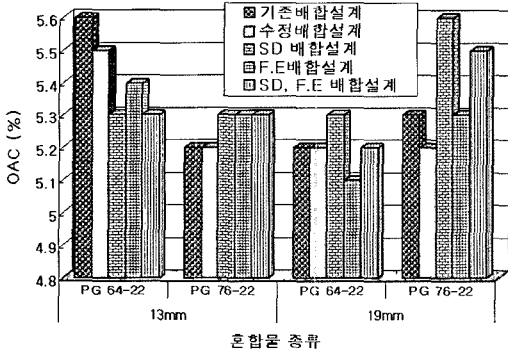


그림 12. 배합설계 방법에 따른 OAC 결과

13mm 밀입도 골재에 점도가 높은 개질아스팔트 (PG 76-22)를 혼합한 경우  $S_D$ 와 FE를 이용한 배합설계가 마살에 비해 0.1% 포인트 높은 OAC를 보였다. 이와 같이 0.1% 차이를 가지고 OAC의 과소를 논하기는 곤란하지만 PG64-22에 비해 점도가 매우 높은 개질 바인더가 사용되었기 때문에 상대적으로 차이가 적게 나타난 것으로 판단된다. 일반적으로 균열 측면에서는 아스팔트 함량이 많을수록 유리하므로 검토된 방법은 소성변형과 균열을 동시에 고려한다면 적절한 방법이라 판단된다.

19mm 아스팔트 혼합물도 13mm 밀입도 혼합물과 비슷한 결과를 보이고 있다. 즉, 일반 바인더를 사용한 경우에는 제안된 방법과 마살 배합설계가 거의 비슷한 OAC가 얻어졌다. 이 혼합물의 경우 소성변형

저항성은 굵은 골재 입도 (19mm)가 어느 정도 감당할 수 있으므로 아스팔트 함량을 줄여 소성변형 저항성을 키울 필요가 없다. 따라서 일반 아스팔트 혼합물(13mm, PG 64-22)의 경우는 마살 배합설계에 비해 본 연구에서 제안하는 배합설계에서 낮은 OAC가 얻어졌지만 19mm에서는 제안된 방법과 마살 배합설계가 비슷한 OAC를 보였고 이와 같은 결과는 적절한 것으로 판단된다.

19mm 골재에 개질 바인더를 사용한 경우에는 제안된 방법들이 마살 방법에 비해 높은 OAC를 보여주고 있다. 이는 소성변형 저항성은 굵은 골재 입도 (19mm)로 향상시키고 균열 저항성은 보다 높은 아스팔트 바인더 함량으로 증가시킬 수 있다는 측면에서 타당성이 있는 것으로 판단된다.

그림 13은 마지막 배합설계 방법으로 제조된 혼합물의 종류에 따른 변형강도와 파괴에너지의 값을 보여주고 있다. 소성변형 저항성은 굵은골재 최대치수를 증가시켜 높일 수 있다고 알려져 있으며, 이와 같은 특성은 골재 크기별 변형강도의 변화에서 확인할 수 있다. 또한 같은 골재입도에서는 바인더 특성이  $S_D$ 에 영향을 주는 점을 통해 소성변형에 상당한 영향을 미치는 것을 확인할 수 있다.

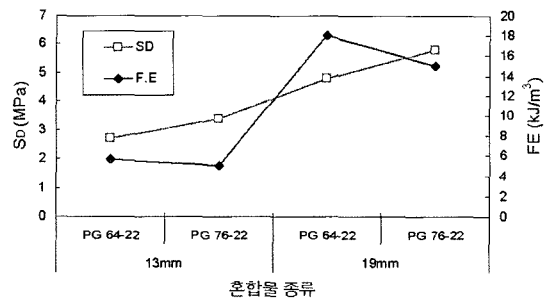


그림 13. 혼합물 종류에 따른 변형강도( $S_0$ )와 파괴에너지(FE)의 특성

균열 저항성은 최근까지도 골재 입도와 바인더 특성 중에서 어느 것에 더 많은 영향을 받는지 다양한 의견이 있다. 본 실험 결과는 균열 저항성의 경우 같은 골재에서는 바인더 영향이 적어 오히려 골재 입도와 같은 혼합물의 구조적 특성에 더 큰 영향을 받는 것을 확인할 수 있다.



이상의 결과를 볼 때  $S_D$ 나 FE 어느 하나만을 사용하는 것 보다는 두 가지를 다 사용하는 것이 합리적인 것으로 보인다. 하지만 FE의 경우 그림 5와 같은 곡선 아래의 면적을 구하는 것이 쉽지 않으므로 당장 현장에의 적용은 어려워 보인다. 하지만 보다 정교한 장비의 개발과 소프트웨어의 개발을 통해 이를 실용화가 가능할 것으로 사료된다.

#### 4. 결론

1. 현장공용성과 상관성이 높은 역학적 특성을 반영하기 위해 Kim test에 의한 변형강도( $S_D$ )와 간접인장시험에 의한 파괴에너지(FE)를 기존 마살 배합설계법에서 사용하는 체적특성인 VMA와 공극률과 함께 기준값으로 적용하여 배합설계를 수행한 결과 그 활용 가능성이 있음을 확인하였다.
2. 기존 마살 배합설계와 비교한 결과 변형강도나 파괴에너지 중 어느 하나만을 사용하는 것 보다는 두 가지를 다 사용하는 것이 보다 합리적인 OAC를 얻을 수 있음을 확인할 수 있어 이는 바로 적용이 가능하지만 파괴에너지를 손쉽게 계산하는 방안의 제시가 필요하다.
3. 소성변형을 반영하는 변형강도는 골재 입도와 아스팔트 바인더의 특성 두 가지 다에 영향을 받는 인자인 것으로 확인되었고, 균열 특성을 반영하는 파괴에너지는 아스팔트 바인더보다는 골재 입도에 더 많은 영향을 받음을 확인할 수 있었다.
4. 본 연구에서는 변형강도( $S_D$ )와 파괴에너지(FE)를 배합설계에 이용하기 위한 기초적인 실험을 하였다. 앞으로 교통량별 선화다짐회수 결정, 보다 다양한 혼합물에 대한 배합설계, 두 특성의 적용 범위에 대한 연구 등을 통해서 역학적 특성이 고려된 아스팔트 혼합물의 배합설계 방법으로서의 개선이 필요할 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 논문은 건설교통부의 연구과제인 “한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구”의 일부 결과로서, 본

연구가 성공적으로 수행되도록 지원하여준 건설교통부에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. 황성도, 윤안상, 김부일, (2004), “마살 배합설계 방법의 개선과 기존 방법과의 비교 평가”, 한국도로포장공학회 논문집, 제 6권 4호, 13-24
2. 김광우, 이문섭, 김성태, 이순제, (2002a), “소성변형과의 상관성 및 추정 모델을 통한 변형강도 시험 장치변수 분석,” 한국도로포장공학회 논문집, 제 4권 4호, 41-52.
3. 김광우, 이문섭, 김준은, 최선주, (2002b), “소성변형과의 상관성에 근거한 아스팔트 콘크리트의 변형강도 개발을 위한 기초연구,” 한국도로포장공학회 논문집, 제 4권 4호, 23-40.
4. 김광우, 이문섭, 김중열, 최선주, (2002c), “소성변형과의 상관성을 향상시킨 변형강도측정법의 개발,” 한국도로포장공학회 학술발표회 논문집, pp. 67~74.
5. 김광우, 이순제, 오홍락, 이영관, 김중열, (2001), “마살특성치의 측정 및 적용상의 문제점.” 2001 학술발표회 논문집, 한국도로포장공학회, pp. 173~180.
6. 한국건설기술연구원(2002), “한국형 포장 설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구(1차년도 1단계)-아스팔트 포장재료 및 품질관리 기준 정립”, 건설교통부
7. 한국건설기술연구원(2003), “한국형 포장 설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구(1차년도 2단계)-아스팔트 포장재료 및 품질관리 기준 정립”, 건설교통부
8. 한국건설기술연구원(2003), “가열아스팔트 혼합물의 배합설계 지침”, 건설교통부
9. Kim, K. W., Doh, Y. S. and Amerkhanian, S. N., (2004). “Feasibility of deformation strength for estimation of rut resistance of asphalt concrete,” *In-press, International Journal of Road Materials and Pavement Design*, HERMES Science Publication.
10. Roque, R., Z. Zhang, and B. Sankar, “Determination of Crack Growth Rate Parameter of Asphalt Mixtures Using the Superpave IDT,” *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 68*, 1999.

(접수 : 2005. 8. 22)