



## 보강 덧씌우기 아스팔트 포장의 휨파괴에 의한 반사균열 피로수명 추정

Estimation of Fatigue Life of Reinforced Asphalt Pavement Overlay against  
Reflection Cracking due to Flexural Fracture

도 영 수\* · 김 광 우\*\*

Doh, Young Soo · Kim, Kwang Woo

### Abstract

This study was performed to estimate fatigue life of polymer-modified and reinforced overlay asphalt mixtures with respect to reflection cracking in asphalt overlay pavement. In order to achieve the goal, the expedited reflection cracking test method was developed and applied to various mixtures and the results were compared one another with respect to the resistant characteristics of reflection cracking. The theoretical prediction equation of fatigue life for each mixture was suggested based on statistical analysis of experimental test results in the flexural failure mode. Since coefficients of correlation between estimated values and measured values were very high ( $r^2=0.95$  or higher), the prediction model can be used for relative comparison of various pavement overlay choices to be used in the field.

**Keywords** : reflection cracking, asphalt overlay, modified asphalt

### 요 지

본 연구는 아스팔트 덧씌우기 포장에 야기되는 반사균열 실내 시험을 통해 여러 보강된 혼합물의 반사균열 저항성에 따른 피로수명을 추정하기 위해 수행되었다. 아스팔트 개질재로는 LDPE, SBS 및 카본블랙을 이용하였고 보강재로는 합성섬유(PF), 비닐(PV), 그리드(GG)를 이용하였다. 공시체 몰드 바닥에 보강재를 미리 간후 배합설계를 통해 얻은 아스팔트 혼합물을 부어 공시체를 제조하였다. 반복하중 하에서 균열이 있는 시멘트 콘크리트 위에 부착된 아스팔트 콘크리트 공시체 하단의 수평변위를 측정하여 각 혼합물별 균열지연에 따른 반사균열 피로수명을 추정하였다. 본 연구의 반사균열 실험 결과를 토대로 균열진전에 따른 각 혼합물별 피로수명에 대하여 이론적인 예측식을 개발·제안하였으며 예측식에 의한 추정치와 실측치와의 상관관계가 상당히 높게 ( $r^2=0.95$ 이상) 나타났다.

**핵심용어** : 반사균열, 아스팔트 덧씌우기, 보강아스팔트 혼합물, 개질아스팔트

\* 강원대학교 석재복합신소재제품연구센터

Post-doc 연구원

\*\* 강원대학교 농공학부 부교수



## 1. 서 론

포장이 여러 해 동안 공용되면 포장 표면에는 결함이 나타나게 된다. 이 결함들은 표층의 노화와 관련되어 나타나거나, 환경적인 영향, 구조적인 지지력 부족 등의 결과로서 나타날 수 있다. 이 결함들이 어느 정도이상 심각해지면 도로 이용자들의 안전한 주행을 위해 보수 조치가 필요하다.

노후된 포틀랜드 시멘트 콘크리트(PCC) 포장의 대규모 보수·보강시 비용-효율적이고 바람직한 보수 기법 중의 하나로 아스팔트 덧씌우기 공법이 보편화되어 있다. 그러나 아스팔트 콘크리트 덧씌우기 공법은 기존 PCC 포장의 줄눈 또는 균열이 아스팔트 덧씌우기층 표면으로 조기에 진전되는 문제 (반사균열)를 갖고 있다.

반사균열은 정도의 차이는 있으나 물의 침투 경로가 되고 주행성 저하 및 포장의 연속성을 파괴하여 강도 손실과 단면 전체에 대한 공용성을 크게 저하시킨다. 이러한 균열 발생 및 진전을 감소시키거나 저지함은 궁극적으로 포장의 공용성 향상과 유지관리에 드는 비용을 감소시킨다.

이렇게 PCC 포장 위에 덧씌워진 아스팔트 포장의 반사균열은 특히 두 가지 요인으로 발생한다. 즉 온도의 변화 (환경적 요인)로 인한 PCC 슬래브의 수평이동과 차량 윤택중의 반복 재하가 그것이다. 온도 변화로 인한 PCC 슬래브의 수축은 윤택중에 의해 발생하는 휨 (Bending) 인장과 함께 PCC 슬래브의 균열 상단에 있는 아스팔트 덧씌우기 층에 휨파괴 (Mode I failure)를 유발한다. 또한 이동하는 윤택중은 PCC 슬래브의 균열이나 줄눈을 가로질러 통과하면서 순간적으로 아스팔트 덧씌우기 층에 수직으로 전단을 일으켜 전단파괴 (Mode II failure)를 유발한다 (김광우 등, 1998. Srivastava 등, 1992. Molenaar, 1984.).

포장층이 응력을 받을 때 균열 바로 위의 아스팔트 덧씌우기층 바닥의 한 점은 균열의 선단이 된다. 이점에서는 높은 응력집중이 야기되고 결국 아스팔트 덧씌우기층의 균열은 이 곳에서부터 발생하여 위로 진전한다. 따라서 이 두 가지 파괴모드는 모두 균열 위의 아스팔트 층에 치명적인 역할을 하여 반사균열을 생성·진전시키게 된다.

외국에서는 노후된 PCC 포장 위에 덧씌워진 아스팔트 층의 반사균열의 진전을 저지하고 예방하기 위한 노력으로 많은 연구가 수행되어 오고 있다 (Srivastava 등, 1992. Molenaar, 1984. Sousa 등, 1996. Jeng 등, 1993). 그 동안 외국에서의 연구 및 사용된 방법들은 다양하지만 현재 적절한 PCC 포장의 유지보수 공법이 없음을 감안할 때 향후 PCC 포장의 덧씌우기 증가에 대비하여 보다 비용 효율적인 기법들의 개발이 요구된다.

특히 국내의 경우 사용연한에 근접한 도로를 중심으로 아스팔트 덧씌우기 문제가 제기되고 있으며, 이는 앞으로 기하급수적으로 증가할 것으로 예상되므로 노면 반사균열 억제에 대한 연구가 매우 시급하다고 할 수 있다.

따라서 본 연구는 축진 반사균열 실험기법을 이용하여 탄성지지된 PCC 슬래브 위의 아스팔트 덧씌우기 공시체에 윤택중에 의한 휨응력으로부터 야기되는 반사균열(파괴모드 I) 시험을 수행하였다. 본 연구의 목적은 위의 실험 기법을 이용하여 국내에서 생산되는 폴리머를 사용한 개질아스팔트 혼합물 덧씌우기층의 바닥에 그리드나 비닐로 보강한 덧씌우기 혼합물의 수명 추정식을 제시하는 것이다. 이를 위하여 사용된 각종 혼합물의 기본적인 재료시험과 축진 반사균열 시험을 수행하고 각 재료별, 보강 방법별 반사균열 저항 특성을 비교 분석하였다.



## 2. 재료 및 실험방법

### 1) 재료

본 논문에서 사용된 아스팔트는 국내 S사에서 생산된 중부지역에서 널리 사용되고 있는 AC85~100 (AP-3, 침입도 등급 85~100) 아스팔트이다. 골재는 전국적으로 분포가 많은 편마암을 문헌(한국도로공사 연구보고서, 1997)을 통하여 선정하여 굵은골재 최대치수 19mm, 잔골재, 채움재와 혼합하여 건설교통부 19mm 밀입도 규격에 적합한 입도로 조정하여 사용하였다.

아스팔트 결합재에 폴리머를 첨가함으로써 기대되는 가장 큰 효과는 아스팔트 혼합물의 인장강도의 향상이다. 본 논문에서 사용된 폴리머는 수년간의 연구(김광우 등 1997)로부터 국내에서 생산된 여러 종류의 폴리머 가운데 아스팔트 개질재로서 성능의 효과가 비교적 우수한 것으로 판단되고 외국에서도 많이 사용되는 LDPE(Low density polyethylene)와 SBS(Styrene-butadiene-styrene) 두가지를 사용하였다. 또한 페타이어로부터 추출된 것으로 국내에서 생산된 카본블랙(Carbon black)을 LDPE와 병행하여 사용하였다. 이의 사용은 폴리머와의 결합에 의한 역학적 특성의 상승효과외 별도로 자외선에 약한 폴리머를 보호하여 내구성 증진에 도움이 되는 것으로 알려져 있다(Rostler 등 1977, 김광우 등 1997).

포틀랜드 시멘트 콘크리트 포장 위의 아스팔트 덧씌우기 포장에서는 반사균열에 대한 저항성을 확보해야 한다. 이에 본 논문에서는 기존 일반아스팔트 혼합물의 취약점을 개선하고 반사균열에 대한 저항성 향상을 위해서 합성섬유(Polyester fiber: PF)를 첨가한 보강혼합물을 덧씌우기 재료로 사용하였다. 또한 반사균열 저지를 위해 사용된 덧씌우기 층의 바닥보강재로는 화이버 글래스 그리드(Glass fiber grid: GG)

와 비닐(Polyethylene film or vinyl: PV)을 사용하였다. 이들에 대한 자세한 성질은 타 문헌(김광우 등 1998, 도영수 2000)에 주어졌다.

### 2) 실험방법

본 논문에서는 두 폴리머(LDPE, SBS) 재료를 아스팔트 량의 중량비로 각각 6%, 5% 및 둘을 4%+3%의 비율로 혼합한 개질아스팔트를 제조하였다. 배합설계는 마샬방법을 이용하여 폴리머 개질아스팔트 및 혼합물 보강재인 합성섬유 첨가에 따른 최적아스팔트 함량을 결정하였다. 이 결정된 각각의 최적아스팔트 함량은 반사균열 시험용의 공시체의 아스팔트 함량으로 이용되었다. 공시체는 현장의 다짐 상태를 최대한 모사하기 위하여 1톤 소형진동로울러를 사용하여 슬래브(340mm×240mm×53mm)를 제작하였다. 또한 몰드 바닥에 비닐이나 그리드를 깔은 후 혼합물을 붓고 다짐하여 일체가 되도록 하였다. 이때 제작된 슬래브는 물성을 측정하여 공극률이 4±0.5% 이면 절단기를 이용하여 길이방향으로 2등분하여 보의 크기가 340mm×120mm×53mm인 공시체로 만들었다. PCC 포장의 균열(줄눈) 위의 아스팔트 덧씌우기 포장상태를 모사하기 위하여 크기가 100mm×120mm×340mm인 콘크리트 블록을 만들었다. 콘크리트는 상면으로부터 1/3 깊이까지 10mm 틈(균열)을 만들고 그 상면에 텍코팅하여 아스팔트 공시체를 부착하였다. 이 시험 공시체는 2일간 상온(20℃)에서 양생시킨 후 5시간 전에 20℃의 항온실에 넣었다가 20℃로 유지되는 항온 챔버내에서 실험하였다.

시험시 콘크리트 아래의 탄성지지 상태를 모사하기 위하여 10mm 두께의 고무패드를 시험체 밑에 깔았다. 재하하중은 Instron 8516 만능 재료시험기를 이용하여 Haversquare 하중을 10Hz의 속도로 직경 100mm 원형 하중판을 통하여 아스팔트 보 공시체의 중앙 상면에 재하하였다.



이때 타이어와 포장 표면의 접촉을 모사하기 위하여 얇은 고무패드를 하중판과 보 공시체 사이의 경계면에 깔았다. 공시체 표면에 100psi(7kgf/cm<sup>2</sup>)의 타이어 압력을 야기 하기 위하여 550kgf의 하중을 사용하였고 동적하중 재하시 하중판이 보 공시체로부터 이탈되는 것을 방지하기 위하여 20kgf의 최소하중을 적용하였다. 시험시 아스팔트 보 공시체의 수평변위의 측정은 Extensometer를 보의 한면에 설치하여 하중의 반복횟수에 따라 측정하였다. 휨 반사균열 모사실험에 이용된 각각의 혼합물의 명칭은 표 1과 같다.

### 3. 휨파괴 반사균열 피로수명 추정 방법

아스팔트 혼합물은 점탄성체이고 비균질

(nonhomogeneous)이므로 균열이 진전하다가 굽은골재를 마주치면 균열지연 현상으로 그 골재 주위를 느리게 둘러 진전한다. 따라서 덧씌운 아스팔트 콘크리트의 반사균열 진전에 대한 피로수명 예측은 일반식으로는 매우 어려워 실험에 의한 측정치와 큰 차이가 있다. 이는 아스팔트 혼합물이 비교적 무른 조직체이어서 균열이 수직진전시 균열폭 확장량만큼 수평변형을 일으킬 뿐 아니라 포장체 자체도 비교적 크게 변형되어 전체적인 수평변위가 크게 증가하기 때문이다.

그러므로 본 논문에서는 균열성장에 따른 피로수명 예측식의 대표적인 한가지인 Paris 법칙,  $da/dN = C(\Delta K)^m$ 을 응용하여 아스팔트 덧씌우

표 1. Various mixture designation and description

| Mixture designation | Description  |
|---------------------|--|
| AP                  | Normal asphalt mixture (Control)                   |
| APG                 | Glass fiber grid(GG)-reinforced AP mixture         |
| APV                 | Polyethylene vinyl(PV)-reinforced AP mixture       |
| LC                  | LDPE and carbon black(CB)-modified asphalt mixture |
| LCF                 | Polyester fiber(PF)-added LC mixture               |
| LCG                 | GG-reinforced LC mixture                           |
| LCV                 | PV-reinforced LC mixture                           |
| LCFG                | PF-added and GG-reinforced LC mixture              |
| LCFV                | PF-added and PV-reinforced LC mixture              |
| LS                  | LDPE 4% and SBS 3% modified asphalt mixture        |
| LSF                 | PF-added LS mixture                                |
| LSG                 | GG-reinforced LS mixture                           |
| LSV                 | PV-reinforced LS mixture                           |
| LSFG                | PF-added and GG-reinforced LS mixture              |
| LSFV                | PF added and PV-reinforced LS mixture              |
| S                   | SBS-modified asphalt mixture                       |
| SF                  | PF-added S mixture                                 |
| SG                  | GG-reinforced S mixture                            |
| SV                  | PV-reinforced S mixture                            |
| SFG                 | PF-added and GG-reinforced S mixture               |
| SFV                 | PF-added and PV-reinforced S mixture               |



기 혼합물 바닥의 수평인장변위의 확장에 따른 피로수명을 예측하는 방법을 연구하였다. 이는 특히 상온에서의 파괴시 포장체 전체의 변위 증가가 균열성장과 함께 수반되므로 콘크리트 등과 같은 강성체에 적용되는 Paris 법칙의 직도입 보다는 이 방법이 더욱 신뢰를 줄 수 있다는 가정에 근거한 것이다. 즉, 덧씌우기 혼합물의 균열진전길이 a 대신에 혼합물 바닥의 수평인장 변위 u를 사용하여 수명을 예측하였다.

$$\frac{du}{dN} = C(\Delta K)^m \dots\dots\dots (1)$$

$$K_{max} = F\sigma_r \sqrt{\pi a}, \quad K_{min} = F\sigma_r \sqrt{\pi a} \dots\dots\dots (2)$$

$$\Delta K = K_{max} - K_{min} = F\Delta\sigma_r \sqrt{\pi a} \dots\dots\dots (3)$$

여기서  $K_{max}$ 는 최대하중에 의한 응력확대계수,  $K_{min}$ 은 최소하중에 의한 응력확대계수,  $\sigma_r$ 은 수평인장응력, C와 m은 혼합물의 재료상수, F는 공시체의 기하학적 형상함수이다.

덧씌우기층 바닥의 수평인장변위  $u_i$ 부터  $u_f$ 까지 확장하는데 소요되는 주기수를 구하면 다음과 같다:

$$N_{if} = N_f - N_i = \int_{N_i}^{N_f} dN = \int_{u_i}^{u_f} \left( \frac{dN}{du} \right) du \dots\dots\dots (4)$$

이 방법은 덧씌우기층 바닥에 덧씌우기 혼합물보다 큰 인장 및 전단응력이 유발되면 기존 포장의 줄눈(균열)부에 응력이 집중되어 반사균열이 발생하여 진전할 때 균열은 굽은골재와 마주쳐 지연현상이 일어나지만 수평인장변위는 이러한 지연현상없이 계속적으로 확장된다는 것을 고려한 것이다.

본 논문에서 휨파괴의 응력확대계수의 계산에 있어서 공시체의 기하학적 형상함수 F를 1로 가정하였다. 또한 응력확대계수의 계산에 필요한 덧씌우기 바닥의 수평인장응력,  $\sigma_r$ 은 Ahlvin과 Ulery (1962)가 제시한 다음의 식을 이용하였다.

$$\sigma_r = p[2\nu A + C(1-2\nu)F] \dots\dots\dots (5)$$

여기서 p는 재하판의 면적에 대한 재하하중, 압력,이고,  $\nu$ 는 포아송 비이다. 또한 A, C, F는 하중 재하판의 반경과 깊이에 관한 함수로서 Ahlvin과 Ulery (1962)에 의해 제시된 표를 이용하여 구하였다.

$K_{max}$ 와  $K_{min}$ 의 계산은 본 연구에서 재하된 최대압력  $p_{max}$ 와 최소압력  $p_{min}$ 을 수평인장응력의 식 (5)에 대입하여  $\sigma_{rmax}$ 와  $\sigma_{rmin}$ 을 구하였으며,  $\Delta K$ 는 수평인장응력의 차  $\Delta\sigma_r$ 을 대입하여 계산하였다.

또한 아스팔트 콘크리트의 포아송 비는 온도에 따라 다르다. 따라서 본 연구에서의 포아송 비는 선행 연구에서 실험적으로 구한 값을 이용하였다(김광우 등 1999). 즉 20°C에서의 포아송 비는 표 2와 같다.

표 2. Poisson's ratio for polymer-modified asphalt mixture at 20°C

| Mixture         | AP   | LC   | LS   | S    |
|-----------------|------|------|------|------|
| Poisson's ratio | 0.39 | 0.34 | 0.30 | 0.34 |

#### 4. 결과 및 고찰

식 (5)와 표 2에 제시된 포아송 비를 이용하여 각각의 폴리머 개질아스팔트 덧씌우기층의 바닥에서의 수평인장응력을 계산하였다. 또한 식 (3)의 응력확대계수에서 균열진전길이, a,는 실험에서 측정된 실측치를 적용하였다.

휨파괴의 반사균열 진전에 따른 응력확대계수의 변화에 대한  $du/dN$ 에 대하여 회귀분석을 수행하여 혼합물중의 일례를 그림 1에 나타내었다. 또한 휨파괴에서의 각 혼합물들의 응력확대계수,  $\Delta K$ , 와 수평인장변위 확장에 근거한 수명예측에 따른 재료상수 C와 m을 회귀분석을



통하여 구하고 이를 표 3에 나타내었으며, 휨 파괴에 의한 반사균열의 피로수명 예측식 및 예측치를 표 4에 제시하였다.  
표 4에 제시된 피로수명의 예측치와 실험에 의

한 측정치의 상관관계를 합성섬유를 첨가한 것과 안한 것 대하여 그림 2와 3에 나타내었으며, 휨파괴에 대한 모든 혼합물에 대하여는 그림 4

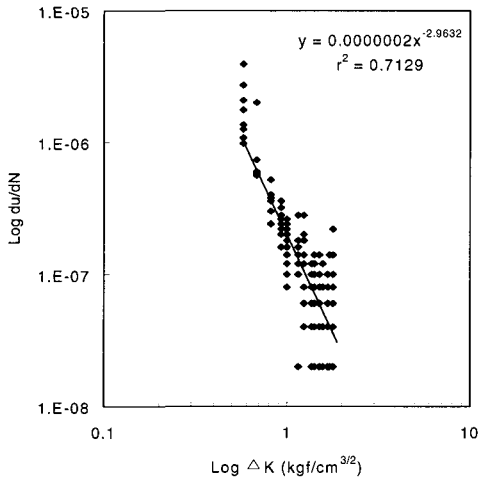


그림 1. du/dN by variation of stress intensity factor in mode I (LCF)

표 3. Stress intensity factor and material's constant (C, m) by horizontal displacement for various asphalt mixtures (mode I)

| Mixture | Stress intensity factor ( $\Delta K$ ) | C                  | m       | Note |
|---------|--|--------------------|---------|------|
| AP      | 2.367                                  | $3 \times 10^{-4}$ | -7.3605 |      |
| APV     | 2.367                                  | $4 \times 10^{-6}$ | -6.998  |      |
| APG     | 2.367                                  | $8 \times 10^{-7}$ | -2.5938 |      |
| LC      | 1.877                                  | $1 \times 10^{-7}$ | -1.6062 |      |
| LCF     | 1.877                                  | $2 \times 10^{-7}$ | -2.9632 |      |
| LCG     | 1.877                                  | $1 \times 10^{-7}$ | -2.3379 |      |
| LCV     | 1.877                                  | $1 \times 10^{-6}$ | -4.8291 |      |
| LCFG    | 1.289                                  | $4 \times 10^{-8}$ | -3.3907 |      |
| LCFV    | 1.877                                  | $2 \times 10^{-7}$ | -3.7367 |      |
| LS      | 1.551                                  | $2 \times 10^{-6}$ | -4.5583 |      |
| LSF     | 1.551                                  | $2 \times 10^{-7}$ | -3.8153 |      |
| LSV     | 1.551                                  | $9 \times 10^{-7}$ | -6.0262 |      |
| LSG     | 1.551                                  | $7 \times 10^{-7}$ | -3.1432 |      |
| LSFG    | 1.551                                  | $1 \times 10^{-6}$ | -8.2241 |      |
| LSFV    | 1.551                                  | $4 \times 10^{-8}$ | -1.7873 |      |
| S       | 1.877                                  | $7 \times 10^{-7}$ | -3.3123 |      |
| SF      | 1.877                                  | $2 \times 10^{-7}$ | -2.8422 |      |
| SV      | 1.877                                  | $5 \times 10^{-7}$ | -3.2825 |      |
| SG      | 1.877                                  | $3 \times 10^{-6}$ | -6.7776 |      |
| SFG     | 1.877                                  | $1 \times 10^{-7}$ | -2.3640 |      |
| SFV     | 1.877                                  | $3 \times 10^{-7}$ | -5.5191 |      |

표 4. Regression analysis of fatigue life against reflection cracking in various asphalt mixtures (mode I)

| Mixture | Regression formula                     | r2     | Estimated life (cycle) | Note |
|---------|--|--------|------------------------|------|
| AP      | $du/dN = 0.0003 \cdot K^{-7.3605}$     | 0.8798 | 40,076                 |      |
| APV     | $du/dN = 0.000004 \cdot K^{-6.9938}$   | 0.7399 | 147,510                |      |
| APG     | $du/dN = 0.0000008 \cdot K^{-2.5938}$  | 0.9541 | 473,108                |      |
| LC      | $du/dN = 0.0000001 \cdot K^{-1.6062}$  | 0.4853 | 492,143                |      |
| LCF     | $du/dN = 0.0000002 \cdot K^{-2.9632}$  | 0.7129 | 1,153,367              |      |
| LCG     | $du/dN = 0.0000001 \cdot K^{-2.3379}$  | 0.6705 | 675,560                |      |
| LCV     | $du/dN = 0.000001 \cdot K^{-4.8291}$   | 0.8703 | 558,596                |      |
| LCFG    | $du/dN = 0.00000004 \cdot K^{-3.3907}$ | 0.5203 | 1,555,000              |      |
| LCFV    | $du/dN = 0.0000002 \cdot K^{-3.7367}$  | 0.6518 | 1,335,542              |      |
| LS      | $du/dN = 0.000001 \cdot K^{-4.5583}$   | 0.8000 | 448,062                |      |
| LSF     | $du/dN = 0.0000002 \cdot K^{-3.8153}$  | 0.8912 | 504,281                |      |
| LSV     | $du/dN = 0.0000009 \cdot K^{-6.0262}$  | 0.7526 | 485,047                |      |
| LSG     | $du/dN = 0.0000007 \cdot K^{-3.1432}$  | 0.9165 | 463,719                |      |
| LSFG    | $du/dN = 0.000001 \cdot K^{-8.2241}$   | 0.9212 | 1,197,169              |      |
| LSFV    | $du/dN = 0.00000004 \cdot K^{-1.7873}$ | 0.8405 | 914,822                |      |
| S       | $du/dN = 0.0000007 \cdot K^{-3.3123}$  | 0.9695 | 407,100                |      |
| SF      | $du/dN = 0.0000002 \cdot K^{-2.8422}$  | 0.3172 | 880,151                |      |
| SV      | $du/dN = 0.0000005 \cdot K^{-3.2825}$  | 0.9786 | 578,306                |      |
| SG      | $du/dN = 0.000003 \cdot K^{-6.7776}$   | 0.8783 | 622,550                |      |
| SFG     | $du/dN = 0.0000001 \cdot K^{-2.3640}$  | 0.6209 | 1,400,092              |      |
| SFV     | $du/dN = 0.0000003 \cdot K^{-2.5191}$  | 0.9542 | 1,071,491              |      |



에 나타내었다.

표 4에 나타난 바와 같이, 개질아스팔트만을 사용한 혼합물 LC의 피로수명 예측치가 일반 혼합물(AP) 및 일반 혼합물의 바닥 보강한 APV와 APG보다 상당히 높은 수명을 나타낸 반면에 LS와 S의 혼합물은 일반 혼합물(AP)보다는 높지만 일반 혼합물에 바닥 보강한 APV와 APG보다는 낮은 수명을 갖는 것으로 나타났다.

개질아스팔트에 합성섬유(PF)를 첨가한 혼합물들은 LSF를 제외하고는 개질아스팔트만 사용한 혼합물보다 2배 이상의 피로수명을 갖는 것으로 나타났다. 또한 LDPE와 SBS를 혼합하여 개질한 것들(LS, LSF, LSV, LSG)은 일반아스팔트 혼합물 및 일반아스팔트 혼합물에 바닥 보강한 것에 비하여는 피로수명이 높지만 LDPE나 SBS의 단독으로 개질한 것보다 낮은 피로수명을 나타냈다. 전반적으로, 피로수명은 일반아스팔트보다 개질아스팔트가 높고, 비닐 보강보다는 그리드보강이 높은 것으로 나타났다. 또한 본 연구에서는 폴리머 개질재 중에서는 LDPE가 SBS보다는 보다 높은 피로수명을 갖는 것으로 나타났다. 본 연구에서 반사균열에 따른 피로수명의 최대 예측수명은 LCFG, 즉, LDPE 개질에 혼합물 보강재인 PF를 첨가하고 바닥 보강재로 GG를 사용한 혼합물인 것으로 나타났다. 이의 예측수명은 1,555,000cycle 이고 실험에 의한 수명은 1,500,000cycle로 나타났다.

이 Paris 법칙을 수정한 균열진전에 따른 덧씌우기층의 바닥의 수평인장변위의 확장을 고려한 수명 예측치와 실험에 의한 실측치의 상관관계는 그림 2 ~ 4를 통하여 알 수 있듯이 상당히 높게 나타났다. 이것은 반사균열의 이론적인 피로수명 예측식을 차후 아스팔트 콘크리트 덧씌우기층의 설계에서 적용할 수 있는 것으로 판단된다.

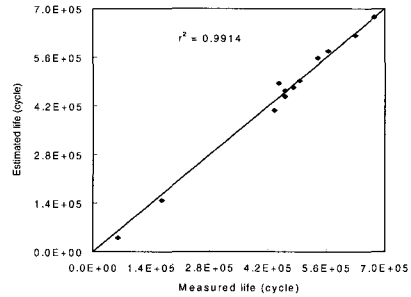


그림 2. Correlation between estimated life by horizontal displacement and measured fatigue life of various asphalt mixtures without polyester fiber (mode I)

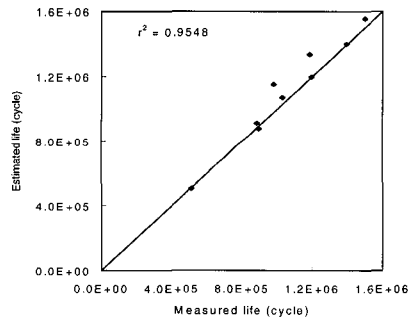


그림 3. Correlation between estimated life by horizontal displacement and measured fatigue life of various asphalt mixtures with polyester fiber (mode I)

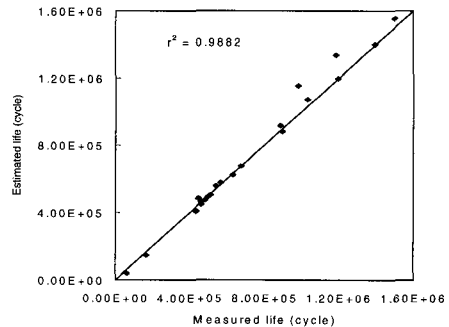


그림 4. Correlation between estimated life by horizontal displacement and measured fatigue life of all asphalt mixtures (mode I)



## 5. 결 론

본 연구는 시멘트 콘크리트 (PCC) 포장 위에 아스팔트 콘크리트 덧씌우기를 했을 때 발생하는 반사균열 피로수명 예측에 관한 연구이다. 기존의 연구들은 각종 개질재 및 보강재 들의 반사균열 저지 효과를 상대적으로 비교 분석하였을 뿐, 반사균열에 따른 피로수명 추정은 거의 제시되지 않았다. 그러나 본 연구는 개질아스팔트 (LDPE, SBS), 혼합물 보강재 (PF), 덧씌우기 바닥 보강 (GG, PV)을 모두 조합하여 실험을 수행하고 이 실험 결과를 토대로 반사균열 피로수명 추정식을 제시하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 휨과피 반사균열 실험결과를 토대로 반사균열 진전에 따른 각각의 혼합물 피로수명에 대하여 이론적인 예측식을 제안하였는데 예측식에 의한 추정치와 실측치와의 상관관계가 매우 높게 ( $r^2=0.95$ 이상) 나타났다. 따라서 본 연구에서 Paris 법칙을 수정 제시한  $du/dN=C(\Delta K)^m$ 이 덧씌우기 아스팔트 포장재료의 반사균열 추정식으로 적절히 사용될 수 있음을 확인하였다.
2. 이는 상온에서의 파괴시 균열성장과 함께 포장체 자체의 변위가 증가하는 아스팔트 혼합물의 특성상 강성체에 적용되는 Paris 법칙의 직접 적용보다는 수평변위에 근거한 피로수명 예측이 더 적절할 것이라는 가정이 타당성 있는 것임을 확인한 것이다.
3. 실내 실험결과와 예측치가 높은 상관관계를 보이므로 각 혼합물의 반사균열 피로수명 예측식은 향후 아스팔트 덧씌우기에 사용할 혼합물의 상대수명을 예측함으로써 예상수명을 고려한 덧씌우기 설계에 적용할 수 있는 것으로 판단된다.

4. 아스팔트 콘크리트 덧씌우기층의 바닥 보강재로 사용한 그리드와 비닐은 반사균열 진전을 저지하는 보강층으로 역할을 하는 것으로 나타났다. 또한 폴리머 개질 및 합성섬유 보강 혼합물도 일반아스팔트에 비해 상당한 반사균열 저항성을 나타냈다. 이것은 폴리머 개질에 따른 혼합물의 결합력 강화, 합성섬유 첨가에 의한 혼합물의 인장강도 및 파괴인성의 향상 때문이라 할 수 있다.
5. 본 연구에서는 한정된 아스팔트, 개질재, 보강재 및 한가지 골재 만을 사용였다. 보다 일반화된 결과를 도출하기 위해서는 보다 다양한 재료의 사용이 있어야 할 것이며, 그럴 경우 본 추정식에 대한 보다 확실한 검증이 이루어질 수 있을 것으로 사료된다.

## 참고문헌

1. 건설교통부, (1996) "도로표준설계 시공지침,"
2. 김광우, 박용철, 최영규, (1995) "폴리머 코팅을 이용한 아스팔트 콘크리트의 반사균열 저항특성," 대한토목학회 학술발표회 논문집, pp. 507~510.
3. 김광우, 안경애, 도영수, 조희원, 정규동, 이상범, (1997) "내변형 폴리머 개질 아스팔트 혼합물 개발," 강원대학교 석재복합신소재제품 연구센터 연구보고서, 제2집.
4. 김광우, 이석근, 도영수, 임성빈, 이상범, (1998) "개질·보강재에 의한 아스팔트 혼합물의 반사균열 제어효과," 아스팔트 포장공학의 첨단기술 심포지엄 논문집, 강원대학교 석재복합신소재제품연구센터, pp. 229-256.
5. 김광우, 권승준, 도영수, 이상범, (1999) "폴리머개질 아스팔트 콘크리트의 푸아송비에 관





- 한 실험적 연구,” 한국농공학회논문집 제 41 권 5호.
6. 도영수, (2000) “보강 덧씌우기 아스팔트 콘크리트의 반사균열 피로수명 추정 연구,” 공학박사학위 논문, 강원대학교 대학원 토목공학과.
  7. 한국도로공사, (1994) “건설공사 품질시험편람(개정판)”
  8. “포장균열 및 노면반사균열 억제방안 연구 ( I ),” (1997) 한국도로공사 연구보고서.
  9. Jeng, Y. A. and Perng, J. D., (1990) “Analysis of crack propagation in asphalt concrete using cohesive crack model.” TRR 1317, Transportation Research Board, Washington, D. C., pp. 90~99.
  10. Molenaar, A. A. A., Heerkens, J. C. P. and Verhoeven, J. H. M., (1986) “Effects of stress absorbing membrane interlayers,” Proceedings, AAPT, Vol. 55, pp. 453~481.
  11. Rostler, F. S., Wite, R. M. and Dannenberg, E. M., (1977) “Carbon black as a reinforcing agent for asphalt,” Proceedings, AAPT, Vol. 46, pp. 376~410.
  12. Sousa, J. B., Shatnawi, S. and Cox, J., (1996) “An approach for investigation of reflective fatigue cracking in asphalt-aggregate overlays,” Proceedings of the Third International RILEM Conference on Reflective Cracking in Pavements, pp. 103~112.
  13. Srivastava, A., Hopman, P. C. and Molenaar, A. A., (1992) “SBS polymer modified asphalt binder and its implications on overlay design,” ASTM STP1108, Ed. by Wardlaw and Shuler, Philadelphia, PA 19103.