

아스팔트 덧씌우기 하부의 Geogrid 부착방법에 따른 반사균열 지연특성 실내실험 비교

Laboratory Comparison of Geogrid Bonding Methods Under Asphalt Overlay Layer for Reflection Cracking Retardation

김변창* · 권오선** · 고태영** · 김광우***
Kim, Bun-Chang · Kwon, Oh-Sun · Ko, Tae-Young · Kim, Kwang-Woo

1. 서론

여러 가지의 도로파손의 형태 중, 전 세계적으로 도로 공학자들의 관심을 끌고 있는 중요한 문제 중 하나가 포틀랜드 시멘트 콘크리트(Portland Cement Concrete: PCC) 포장의 유지보수에 보편화되어 사용되는 공법인 아스팔트 콘크리트 덧씌우기 포장에 발생하는 반사균열(Reflection Cracking)이다. 반사균열의 발생과 진전의 주된 원인은 차량으로 인한 윤하중과 온도변화에 따른 콘크리트의 수축·팽창에 의한 슬래브의 수평적 이동에 근거한다. 슬래브의 수축은 균열 상단의 아스팔트 층에 인장응력을 유발시키며, 윤하중에 의해 발생하는 휨(Bending)과 함께 파괴(Fracture)모드 I 균열을 유발한다. 또한 기존 포장의 균열 바로 위를 가로지르는 윤하중은 아스팔트 층 바닥에 수직방향으로 전단응력을 야기하여 파괴모드 II 균열을 유발한다.

따라서 본 연구는 PCC 포장 위에 아스팔트 덧씌우기시 보강재를 사용하는 경우 PCC 포장과 아스팔트 덧씌우기 층의 접착을 각기 다른 3가지 부착방법으로 모사하여 파괴모드II 반사균열 진전의 지연 여부를 분석하는데 목적이 있다.

2. 사용재료

본 연구에서는 강원도 횡성에서 생산되는 화강암(Granite)을 사용하였다. 최대치수 13mm의 굵은골재와 그 생산과정에서 발생하는 부순모래(Screenings)를 잔골재로 사용하였고, 석회석분을 채움재(Filler)로 사용하였다. 아스팔트는 침입도 등급 AC 60-80(AP-5)과 수퍼페이브의 바인더 등급의 한 종류로서 PG 76-22를 사용하였으며, 개질재로서 한국자원재생공사에서 생산하는 Waste LDPE 펠렛을 분말(체 No.8 ~ No.30)형태로 분쇄하여 사용하였다(Fig.1). 보강재로서는 국내 S사에서 개발한 GRID를 실험에 사용 하였으며, 그 형태와 물리적인 특성은 각각 Fig. 2와 Table 1에서 나타내었다. 보강재의 부착제로서는 양이온계 유화아스팔트인 RS(C)-4, 침입도 20~40의 컴파운드, 불포화 폴리에스터 수지(Unsaturated polyester resin: UPR)의 3종류를 사용하였다.

* 정회원 · 강원대학교 대학원 지역반공학과 석사과정 · 공학사 · 033-250-7284

** 정회원 · 강원대학교 대학원 지역반공학과 석사과정 · 공학사 · 033-250-7284

*** 정회원 · 강원대학교 지역반공학과 교수 · 공학박사 · 033-250-6467 (E-mail : kwkim@kangwon.ac.kr)

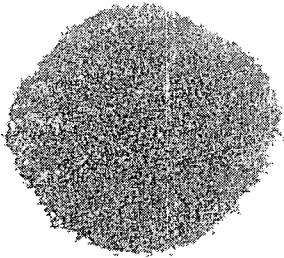


Fig. 1. Photograph showing WLDPE

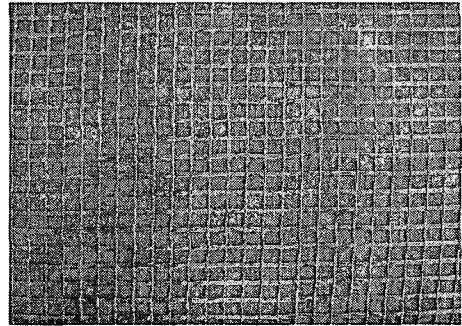


Fig. 2. Photograph showing GRID 5T/5T M

Table 1. Physical properties of GRID 5T/5T M

Product		Fabric Attached Grid
Fiber used		Glass roving + Spun bonded nonwoven (polypropylene)
Coating material		Asphalt
Mass/Unit area (g/m^2)		380
Aperture size (mm)		12.0 × 12.0 (14.5 × 17.0)
Rib density (unit/m)	MD*	71
	CD**	59
Tensile strength (t/m)	MD	5
	CD	5
Elongation at break (%)	MD	below 5
	CD	below 5

* Mechanical Direction

** Cross Direction

3. 시험방법

혼합모드(mode II)는 진행되는 균열의 진행 뒷면뿐만 아니라 바로 앞에서의 면내 법선응력과 전단응력의 존재를 의미한다. 그래서 균열과 그 선단은 혼합된 응력을 받게 되며, 균열선단에서의 변형은 Mode I, II의 두 요소 모두를 갖기 때문에 Mode I 하중만으로는 실제 조건을 거의 나타낼 수 없다고 판단되어 많은 실제 상황에 대해 혼합 mode 또는 Mode II 파괴로 실험을 수행하였다(Fig. 3).

아스팔트 보 공시체의 수평변위는 Demec guage를 이용하여 하중 반복의 500cycle마다 Fig. 4와 같이 측정하였으며, 수직균열은 균열길이의 관찰을 용이하게 하기 위하여 보 공시체의 한쪽 면을 흰색 페인트로 칠하여 하중 반복에 따른 균열 성장을 500cycle마다 육안으로 측정하였다. 실험은 수직균열이 공시체의 전체 높이의 높이에 도달할 때까지 수행하였다. 이 혼합 파괴 모드에 이용된 각각의 혼합물에 대한 명칭은 Table 2와 같다.

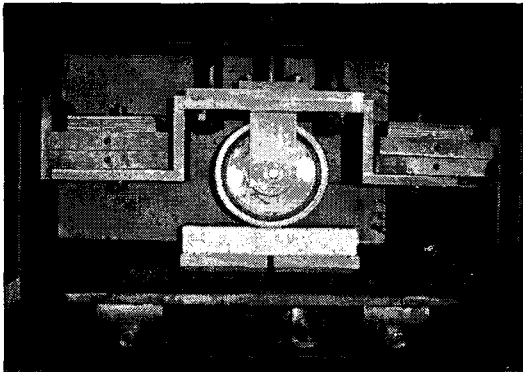


Fig. 3. Fracture mode II test setup for expediting reflection cracking

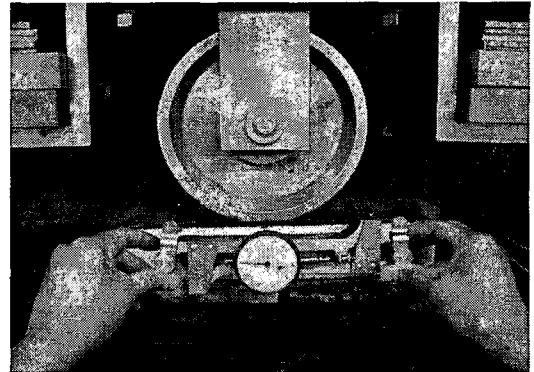


Fig. 4. Measuring expansion of asphalt specimen body using a demec gauge at every 500 load cycle

Table 2. Mixture designation and its material combination

Designation	Mixture and reinforced combination with attached type
ANR	AC 60-80 mix without grid and RS(C)-4 adhesion
AGR	AC 60-80 mix with grid and RS(C)-4 adhesion
WLNR	WLDPE 8% mix without grid and RS(C)-4 adhesion
WLGR	WLDPE 8% mix with grid and RS(C)-4 adhesion
PNR	PG 76-22 mix without grid and RS(C)-4 adhesion
PGR	PG 76-22 mix with grid and RS(C)-4 adhesion
ANC	AC 60-80 mix without grid and Compound
AGC	AC 60-80 mix with grid and Compound
WLNC	WLDPE 8% mix without grid and Compound
WLGC	WLDPE 8% mix with grid and Compound
PNC	PG 76-22 mix without grid and Compound
PGC	PG 76-22 mix with grid and Compound
ANU	AC 60-80 mix without grid and UPR
AGU	AC 60-80 mix with grid and UPR
WLNU	WLDPE 8% mix without grid and UPR
WLGU	WLDPE 8% mix with grid and UPR
PNU	PG 76-22 mix without grid and UPR
PGU	PG 76-22 mix with grid and UPR

4. 결과 및 고찰

4.1 배합설계

본 연구에서는 마찰 배합설계 방법을 채택하였으며 아스팔트 함량을 변화시켜 가면서 각 함량당 3개씩의 공시체를 제조하여 물성 실험과 마찰안정도 시험을 수행하였다. 아스팔트 AP-5, WLDPE, PG 76-22 세 종류의 배합설계를 수행하여 결정된 각각의 최적 아스팔트 함량은 반사균열 시험 공시체 제작의 아스팔트 함량으로 이용되었다. 각 혼합물의 배합설계를 위한 시험결과는 Table 3과 같다.



Table 3. Marshall properties of each mixture at OAC

Mixture	Spec.	AP-5	WLDPE	PG 76-22
OAC (%)	-	5.3	5.8	5.4
Air void (%)	3~5	4.16	4.49	3.65
VMA (%)	above 14	16.74	17.83	16.22
VFA (%)	75~85	77.45	75.59	77.53
Flow (0.01cm)	20~40	35	37	40
Marshall stability (kgf)	above 750	958	1,044	1,699
ITS (kgf/cm ²)	-	8.6	9.5	11.9
Stiffnes index (kgf/mm)	-	599	623	500
DeformationStrength (MPa)		2.612	3.561	3.988

4.2 반사균열 저항특성

혼합모드 반사균열 시험은 Table 8에서 설명한 혼합물별로 두 개의 공시체를 만들어 수행하였다. 실험 과정에서 수평변위와 수직균열 진전을 누적 하중 주기에 따라 측정하였다. 동적안정도는 공시체가 수직균열의 발생 또는 하중에 의한 팽창으로 인하여 수평으로 1mm 변형을 일으키는데 얼마나 많은 하중재하수가 요구되는가를 나타내는 수치이며 수직균열 진전비는 각 공시체의 선형 회귀곡선의 기울기로서 나타났다. Table 4~6에서는 부착방법별에 따른 혼합모드 반사균열 시험으로 얻어진 반사균열 저항 특성을 나타내고 있으며, Fig. 5~10은 각각 부착재료에 따른 혼합물의 피로수명 및 수평변위와 수직균열의 진전을 나타내고 있다.

Table 4. Reflection cracking properties of overlaid mixture with grid bonded using RS(C)-4

Mixture	NO.	Fatigue life (cycle)	Final horizontal displacement (mm)	Horizontal DS (cycle/mm)	Vertical crack growth rate (mm/cycle)
ANR	1	7,750	3.41	0.5×10 ⁴	6.4×10 ⁻³
	2	7,000	3.10	0.5×10 ⁴	7.5×10 ⁻³
	mean	7,375	3.26	0.5×10 ⁴	7.0×10 ⁻³
AGR	1	10,500	4.00	0.5×10 ⁴	4.9×10 ⁻³
	2	9,500	4.63	0.4×10 ⁴	5.5×10 ⁻³
	mean	10,000	4.32	0.5×10 ⁴	5.2×10 ⁻³
WLNr	1	23,250	0.89	4.5×10 ⁴	1.7×10 ⁻³
	2	21,250	0.49	7.1×10 ⁴	2.0×10 ⁻³
	mean	22,250	0.69	5.8×10 ⁴	1.9×10 ⁻³
WLGR	1	33,250	0.95	6.5×10 ⁴	1.7×10 ⁻³
	2	31,250	0.72	5.5×10 ⁴	1.6×10 ⁻³
	mean	32,250	0.84	3.5×10 ⁴	1.7×10 ⁻³
PNR	1	28,000	2.61	2.6×10 ⁴	1.7×10 ⁻³
	2	25,000	2.24	4.6×10 ⁴	1.8×10 ⁻³
	mean	26,500	2.43	3.6×10 ⁴	1.8×10 ⁻³
PGR	1	55,500	2.16	9.5×10 ⁴	0.8×10 ⁻³
	2	43,250	1.84	13.1×10 ⁴	1.0×10 ⁻³
	mean	49,375	2.00	11.3×10 ⁴	0.9×10 ⁻³



Table 5. Reflection cracking properties of overlaid mixture with grid bonded using Compound

Mixture	NO.	Fatigue life (cycle)	Final horizontal displacement (mm)	Horizontal DS (cycle/mm)	Vertical crack growth rate (mm/cycle)
ANC	1	9,000	3.21	0.4×10^4	5.5×10^{-3}
	2	4,250	3.65	0.2×10^4	11.6×10^{-3}
	mean	6,625	3.43	0.3×10^4	8.6×10^{-3}
AGC	1	7,250	4.45	0.1×10^4	7.3×10^{-3}
	2	11,250	3.56	0.5×10^4	3.9×10^{-3}
	mean	9,250	4.01	0.3×10^4	5.6×10^{-3}
WLNC	1	15,750	1.12	1.8×10^4	2.8×10^{-3}
	2	21,750	1.33	2.7×10^4	2.7×10^{-3}
	mean	18,750	1.23	2.3×10^4	2.8×10^{-3}
WLGC	1	39,000	0.61	15.3×10^4	0.8×10^{-3}
	2	42,750	0.88	6.0×10^4	0.9×10^{-3}
	mean	40,875	0.75	10.7×10^4	0.9×10^{-3}
PNC	1	26,000	1.95	3.3×10^4	2.0×10^{-3}
	2	28,000	2.10	3.4×10^4	1.8×10^{-3}
	mean	27,000	2.03	3.4×10^4	1.9×10^{-3}
PGC	1	43,000	2.23	10.8×10^4	1.1×10^{-3}
	2	39,750	2.16	3.7×10^4	1.3×10^{-3}
	mean	41,375	2.20	7.3×10^4	1.2×10^{-3}

Table 6. Reflection cracking properties of overlaid mixture with grid bonded using UPR

Mixture	NO.	Fatigue life (cycle)	Final horizontal displacement (mm)	Horizontal DS (cycle/mm)	Vertical crack growth rate (mm/cycle)
ANU	1	9,000	3.22	0.4×10^4	1.6×10^{-3}
	2	13,750	3.45	0.8×10^4	3.2×10^{-3}
	mean	11,375	3.34	0.6×10^4	2.4×10^{-3}
AGU	1	21,000	3.23	1.4×10^4	2.3×10^{-3}
	2	15,250	3.10	1.1×10^4	3.3×10^{-3}
	mean	18,125	3.17	1.3×10^4	2.8×10^{-3}
WLNU	1	34,250	0.60	22.8×10^4	1.3×10^{-3}
	2	30,000	0.80	12.5×10^4	1.8×10^{-3}
	mean	32,125	0.70	17.7×10^4	1.6×10^{-3}
WLGU	1	44,250	3.68	2.6×10^4	1.2×10^{-3}
	2	40,250	2.79	4.3×10^4	1.1×10^{-3}
	mean	42,250	3.24	3.5×10^4	1.2×10^{-3}
PNU	1	32,250	2.34	2.5×10^4	1.5×10^{-3}
	2	35,500	2.11	4.9×10^4	1.3×10^{-3}
	mean	33,875	2.23	7.4×10^4	1.4×10^{-3}
PGU	1	63,000	2.55	14.0×10^4	1.0×10^{-3}
	2	60,000	2.31	17.1×10^4	0.9×10^{-3}
	mean	61,500	2.43	15.6×10^4	1.0×10^{-3}

유제 부착에서는 ANR에 비교하여 AGR, WLNR, WLGR, PNR, PGR이 각각 1.4, 3.0, 4.4, 3.6, 6.7배의 반사균열 피로수명을 나타냈으며, 컴파운드 부착에서는 ANC에 비교하여 AGC, WLNC, WLGC, PNC, PGC가 각각 1.4, 2.8, 6.2, 4.1, 6.2배의 반사균열 피로수명을 나타냈고, UPR 부착에서는 ANU에 비교하여 AGU, WLNU, WLGU, PNU, PGU가 각각 1.6, 2.8, 3.7, 3.0, 5.4배의 반사균열 피로수명을 나타냈으며, 각각의 부착에서 보강재의 효과가 있는 것으로 나타났다.



동적안정도(DS)는 Table 4~6에 나타난 바와 같이 UPR 부착에서 가장 큰 것으로 나타났다. 유제와 컴파운드 부착의 DS는 유제부착이 미세하게 높은 값이 나타났으며, 수평변위에 대한 저항성은 재생 저밀도 폴리에틸렌 개질아스팔트 혼합물이 우수하게 나타났다.

수직균열의 육안관찰에서 부착재료에 따라서 차이를 나타냈는데, 유제와 컴파운드 부착에서는 굵고 선명한 여러 개의 균열이 나타났으며, UPR 부착에서는 여러 개의 미세균열과 함께 상대적으로 적은 양의 균열을 보였다.

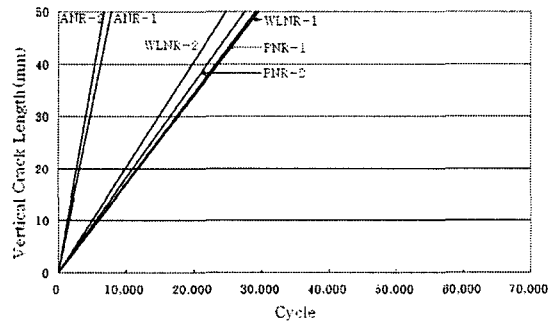
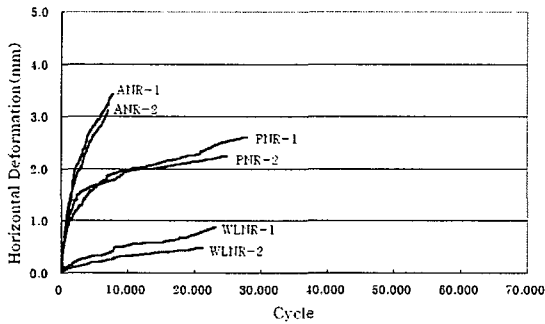


Fig. 5. Horizontal deformation, Vertical crack length and cycle by RS(C)-4(without grid)

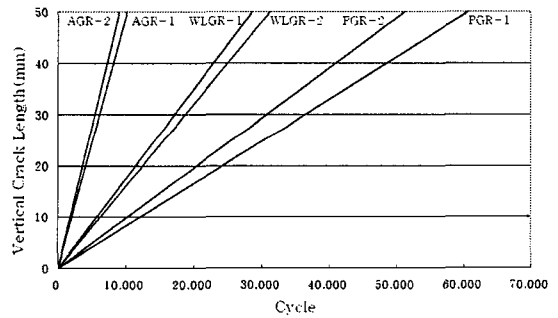
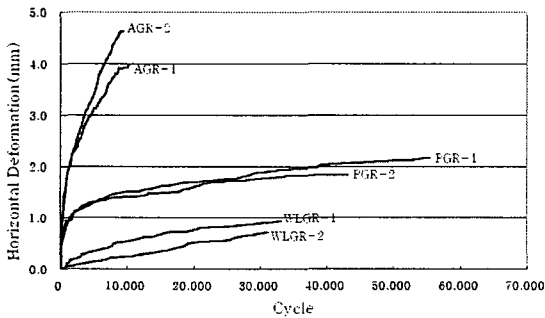


Fig. 6. Horizontal deformation, Vertical crack length and cycle by RS(C)-4(Grid)

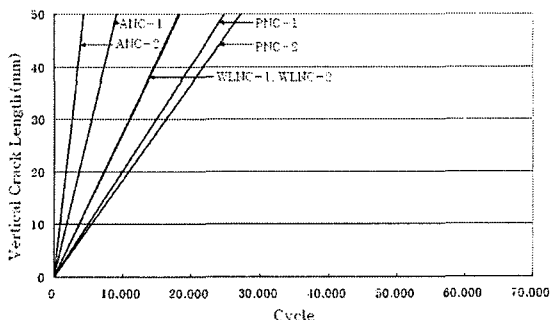
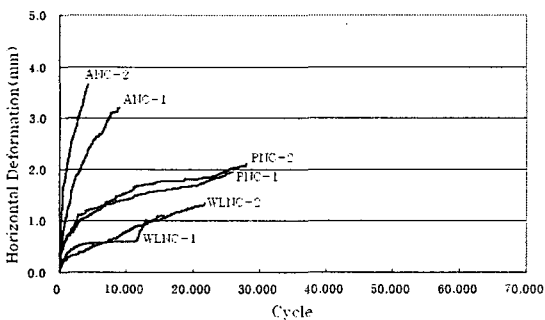


Fig. 7. Horizontal deformation, Vertical crack length and cycle by compound(without grid)

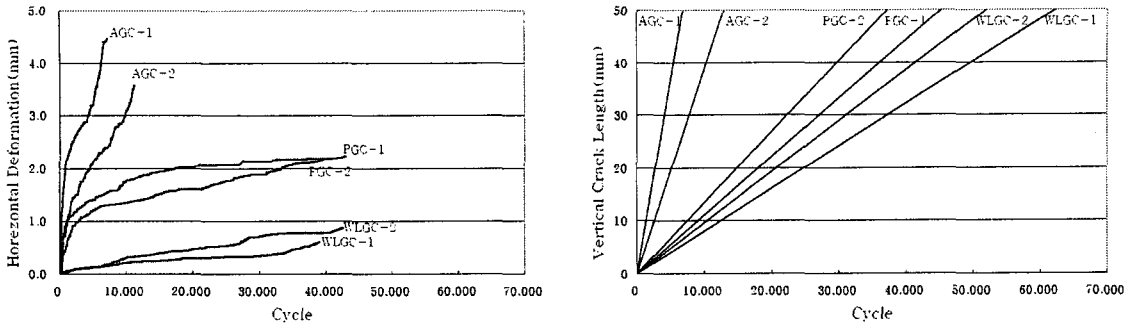


Fig. 8. Horizontal deformation, Vertical crack length and cycle by compound(Grid)

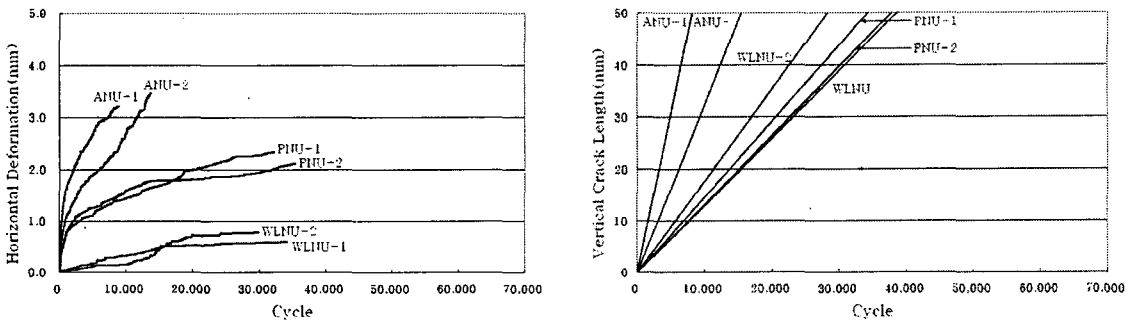


Fig. 9. Horizontal deformation, Vertical crack length and cycle by UPR(without grid)

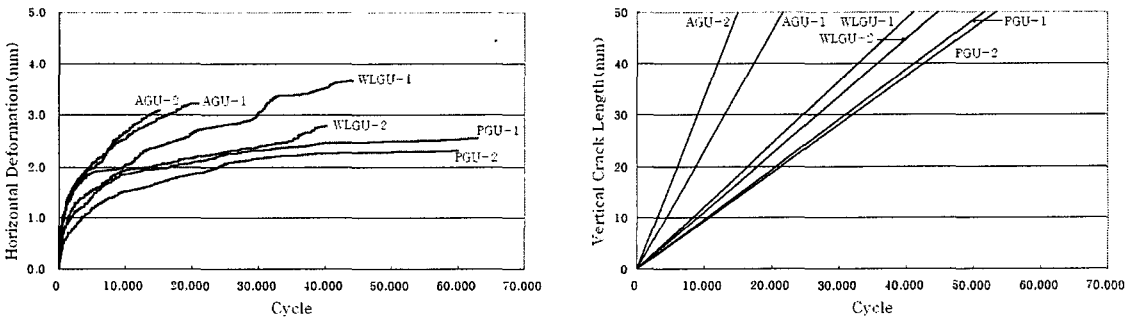


Fig. 10. Horizontal deformation, Vertical crack length and cycle by UPR(Grid)

5. 결론

본 연구로 얻어진 결론은 다음과 같다.

- 부착특성별 피로수명에서는 UPR 부착에서 가장 높은 값이 나타났고, 유제와 컴파운드 만을 비교 시는 유제 부착이 더 좋게 나타났다. UPR 부착이 전체적으로는 가장 좋게 나타났으나 그에 비해 RS(C)-4 유제도 상당한 수준을 보였고 가격이나 현장 실용성을 고려한다면 유제의 사용이 경제성이 있을 것으로 판단된다.
- 보강 그리드의 유·무에 따른 효과는 AP-5에서 보강 그리드를 사용할 경우 약 1.5배의 반사균열 피로 수명이 향상되었고, WLDPE의 경우는 약 1.6배, PG 76-22의 경우는 1.7배의 반사균열 피로수명이 향상되는 것으로 나타났다.



3. 바인더 별 차이에서는 AP-5 일반아스팔트, WLDPE 개질아스팔트, PG 76-22 혼합물간의 피로수명이 1.0:3.0:3.8로 WLDPE와 PG 76-22 개질 혼합물이 반사균열 제어에 더 효과적인 것으로 나타났다.
4. 피로수명만을 고려할 때 아스팔트 덧씌우기시 하부 콘크리트층과의 부착을 위해서는 UPR사용이 가장 효과적이었다. 그러나 수평 변위를 살펴보면 유제의 사용이 UPR보다 더 효과를 나타냈고 컴파운드 사용이 가장 적게 나타났다.
5. 본 연구는 실내실험을 근거로 하여 UPR의 성능은 좋으나 현장 적용성이 확립되지 않았으므로 규정에 부합하는 유제의 사용시 현장에서도 비교적 훌륭한 그리드의 정착효과를 얻을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 김광우, 안경애, 도영수, 조희원, 정규동, 이상범, (1997) “내변형 폴리머 개질 아스팔트 혼합물 개발,” 강원대학교 석재복합 신소재제품 연구센터 연구보고서, 제2집.
2. 김광우, 이석근, 도영수, 임성빈, 이상범, (1998) “개질·보강재에 의한 아스팔트 혼합물의 반사균열 제어 효과,” 아스팔트 포장공학의 첨단기술 심포지엄 논문집, 강원대학교 석재복합 신소재 제품 연구센터, pp. 229-256.
3. 김광우, 김번창, 도영수 (2004) “TRIGRID® AO를 사용한 아스팔트 포장의 반사균열/소성변형 억제 모사실험,” 삼양사실험결과, 강원대학교석재복합신소재 센터.
4. 도영수, (2000) “보강 덧씌우기 아스팔트 콘크리트의 반사균열 피로 수명 추정 연구,” 강원대학교 대학원, 박사학위 논문
5. “포장균열 및 노면 반사균열 억제방안 연구,” (1997) 한국 도로공사 연구보고서.