

## 상온형 재생방법을 이용한 개질 아스팔트 혼합물의 특성에 관한 실험적 연구

박 승 범\* · 권 혁 준\*

### A Study on the Properties of Modified Asphalt Mixtures Using Cold Recycling Method

Seung Bum Park\* and Hyuk Joon Kwon\*

**요약** 페아스팔트혼합물의 배출은 좁은 도로와 늘어나는 교통량에 의해 해마다 그 양이 증가하고 있으며 건설폐기물 중에 그 오염도가 다른 폐기물에 비하여 매우 심각하다고 할 수 있다. 특히 페아스팔트혼합물의 경우 단순히 환경오염 자원을 넘어 무단 투기되므로 국민의 식수원을 오염시켜 사회적 문제로 대두되고 있는 실정으로 국내의 실정을 감안할 때 천연자원의 보존, 막대한 처리비용 절감 및 환경보전이라는 측면에서도 막대한 양의 페아스팔트혼합물에 대하여 가열 및 상온 아스팔트재활용과 처리에 대한 중요성을 실감할 수가 있다. 본 연구에서는 가열의 공정을 생략하고 이러한 단점들을 제거하여 페아스팔트혼합물의 재활용 취지에 좀더 가까운 결과를 유도할 수 있는 상온 아스팔트 재활용에 관하여 상온재활용 및 처리기술의 개발 및 상온재생 방법의 실험적인 연구를 통하여 그 적용성 및 적합성을 검토하고자 한다.

**Abstract** Recently, the quantities of waste asphalt concrete at construction sites have increased greatly, but the maintenance and final disposal is very difficult problem. Therefore, we were faced with a worsening environmental problem brought about illegal measures. One of the most effective recycling method is cold recycling. This method will satisfy treatment and recycling of construction wastes. Also it is very important question in the preservation of environmental and natural resources. So, in this paper, we dealt cold recycling modified asphalt mixtures using emulsified asphalt to concern the effect of adding reclaimed asphalt concrete 30, 40, 50%, and using SBR Latex for modified asphalt mixtures.

**Key Words :** Recycling waste asphalt concrete, Cold recycling, Emulsified asphalt, Reclaimed asphalt concrete, SBR Latex, Modified asphalt mixtures

#### 1. 서 론

건설공사시 발생하는 건설부산물들은 주로 매립에 의존하고 있지만, 날로 심각해지는 환경피해와 처리장의 부족 등으로 인하여 단순 매립은 점차 불가능해지는 것이 현실이며, 국내의 실정을 감안할 때 건설부산물 중의 페아스팔트혼합물을 재활용하는 주요한 목적은 환경오염의 방지와 부족한 천연자원의 보존, 수입에너지 제원 절약에 있다. 이러한 측면에서 페아스팔트혼합물의 재활용 공법 중 상온식 재생공법은 에너지 저감효과 및 자원의 절약측면에서 상당히 큰 효과를 볼 수 있으리라 판단되며, 상온 재활용방법을 사용함으로써 페아스팔트

혼합물의 재활용 취지에 좀더 가까운 결과를 유도할 수가 있을 것으로 판단된다[1-8]. 이에 본 연구에서는 상온재생 개질혼합물의 성능분석 및 재활용 가능성에 대한 분석연구를 수행하기 위하여 재생골재 혼합률 30%, 40%, 50%에 대해 유화아스팔트량을 변화시키면서 배합설계를 수행하고, 또한 현장에서의 2차다짐 효과분석하기 위하여 공시체 제작을 24시간 양생 후 2차다짐을 실시하였으며, 재생아스콘의 성능개선을 목적으로 개질재 SBR (Styrene Butadien Rubber) Latex를 구제 아스팔트의 중량비에 대하여 4% 첨가하여 각각에 대한 마찰안정도 및 간접인장강도, 압축강도 등의 역학적 거동 특성을 분석하였다[9].

\*충남대학교 토목공학과

본 논문은 1997년도 건설교통부의 건설교통기술연구개발사업(산학연)의 지원을 받아 수행하였으며, 그 핵심내용은 페아스팔트혼합물의 재활용 공법 중 상온형 재생방법을 이용하여 고품질의 상온아스팔트 혼합물을 제조하기 위한 것으로 폐기물의 유효 이용 및 가열공정의 배제로 인하여 공해물질 배출의 억제와 환경오염방지의 측면에 크게 기여할 수 있는 기술이다. (Tel: 042-821-5674)

## 2. 사용재료

### 2.1. 페아스팔트혼합물

대전지역에서 채취한 페아스팔트혼합물을 기계과쇄하여 KS F 2354 [아스팔트 혼합물의 추출시험방법]에 따라 원심분리에 의해 아스팔트와 골재를 분리한 후 추출액의 입도분석은 KS F 2502 [골재의 체가름시험방법]에 준하여 입도분석을 실시하였다. 페아스팔트혼합물로부터 추출한 AP의 함량은 5.2%이었으며, Abson 추출기에 의하여 추출된 구제아스팔트의 침입도는 34로 측정되었다[10-12].

### 2.2. 재생첨가제

재생첨가제는 국내 S사에서 개발한 YKS-1을 사용하였으며, 그 주요성상과 화학적 성분은 Table 1과 같다.

### 2.3. 유화아스팔트

유화아스팔트는 국내 I사에서 제조한 양이온계의 완속경화형(CSS, Cation Slow Setting)을 사용하였으며, 그 물리적 특성은 Table 2와 같다.

### 2.4. 신재골재

실험에 사용된 신재골재는 대전지역에서 생산되는 것으로 그 품질특성은 다음 Table 3과 같다.

## 3. 시험방법

### 3.1. 배합방법 및 공시체의 제작

상온재생 유화아스팔트 개질혼합물은 페아스팔트혼합물의 혼입률에 따라 신재골재를 일정한 비율로 혼합하여 함성입도를 구하였으며, 함성입도의 곡선은 Figure 1과 같다.

페아스팔트혼합물의 혼입률별 유화아스팔트개질혼합물의 최적아스팔트 함량을 결정하였으며, 결정된 배합으로 혼입률별 공시체를 제작하였다[13,14].

상온재생 배합방법으로는 상온 25℃에서 공시체를 몰드 1개 단위의 배합으로 하였으며, 제조된 공시체는 양면 50회 다짐 후 60℃의 항온조에서 24시간의 양생을

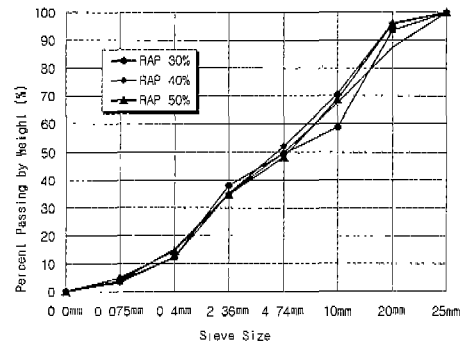


Figure 1. Gradation curves of composition aggregates.

Table 1. Typical properties of rejuvenator

Classification Types	Specific gravity (15/4℃)	Flash point (PMCC,℃)	Weight of sulphur (wt.%)	Chemical composition (wt.%)				
				Saturates	Aromatics	Resin	Asphaltene	Sum
YKS-1	1.075	226	1.29	7.4	78.6	11.6	2.4	100.0

Table 2. Properties of emulsified asphalt

Kinematic viscosity (SFS, 25℃, sec)	Sieve residuals (1190 μm, %)	Soundness of storage (5days, %)	Ion type	Residuals after evaporation			
				Residuals	Penetration (1/10 mm)	Ductility (cm)	Solubles to trichloroethane (%)
20	142	318	Cation (+)	62.4	88	52	99.87

Table 3. Quality Properties of Aggregates

Types of aggregates	Fineness modulus	Absorption (%)	Specific gravity	Soundness (%)
25 mm	7.0	0.66	2.67	3.2
13 mm	6.3	0.55	2.68	3.0
8 mm	3.3	1.2	2.64	3.1
모래	2.7	0.8	2.58	2.8

하였다. 이 공시체를 다시 25회 다짐을 한 후 역시 60℃ 항온조에서 24시간을 양생시킨 후 실온방냉을 거쳐 탈형 하였다. 상온재생 유화아스팔트 개질혼합물의 특성 향상을 위해 개질제로는 SBR Latex를 사용하여 배합을 하였으며, 배합방법은 골재와 물을 먼저 혼합한 프리믹싱 상태에서 SBR을 첨가 후 석계되면 일정상태의 혼합이 이루어지는데 이에 유화아스팔트를 첨가하여 혼합물을 완성하는 방법을 사용하였으며, 그 첨가량은 설계 아스팔트 함량의 3~7%의 수준으로 하였다. 그리고 구제아스팔트의 성능향상을 위한 재생첨가제는 페아스팔트혼합물내 함유되어 있는 구제아스팔트 비율의 4%로 첨가하였다[15].

### 3.2. 마찰안정도시험

상온재생 유화아스팔트 개질혼합물의 마찰안정도시험은 KS F 2337 [마찰시험기를 사용한 역청 혼합물의 소성효율에 대한 저항력시험 방법]에 준하여 실시하여 마찰안정도를 측정하였다. 이때의 실험온도는 25℃와 60℃에 대해서 각각 실시하였다[16-19]. 이때 밀도 및 공극률 측정은 일반적인 Marshall 방법에 의하여 실험 밀도와 이론밀도를 측정하여 공극률을 계산하였다.

### 3.3. 간접인장강도시험

원통형 시료의 지름을 지나는 수직면을 따라 하중을 가하여 간접수평인장응력을 유발시켜, 최종수평변형을 측정하므로써 재료의 인장응력, 인성과 균열에 대한 저항성 등을 결정할 수 있으며[20,21], 본 연구에서는 재생골재 혼합률을 0%, 30%, 40%, 50%로 변화시키면서 Auto Graph를 이용하여 상온(25℃)에서의 간접인장강도 및 최대변형량을 측정하였다.

### 3.4. 압축강도시험

아스팔트 혼합물의 압축강도시험은 「KS F 2351, 역청 혼합물의 압축강도 시험방법」에 준하여 각 재생골재 혼합률별 압축강도 및 최대변형량을 측정하였다.

## 4. 시험결과 및 고찰

### 4.1. 상온재생 개질혼합물의 물리·역학적 특성

#### (1) 혼합성 평가

상온재생 유화아스팔트 개질혼합물의 혼합성은 골재, 유제등을 혼합하여 믹서를 이용하여 혼합한 후 육안으로 골재의 피복상태를 관찰하여 판단하였으며, 유화아

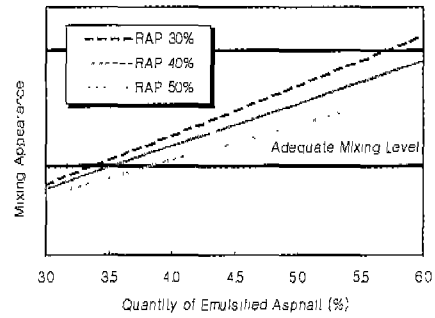


Figure 2. Relationship between emulsion quantity and mixing.

스팔트의 첨가량과 혼합성의 관계는 Figure 2에 나타낸 바와 같다. 페아스팔트혼합물 혼합을 30%에서는 3.4~5.7%, 40%에서는 3.5~6.0%, 50%에서는 3.8~6.0%의 수준에서 혼합성이 양호한 것으로 나타났다. 이를 기준으로 혼합물의 배합시 요구되는 첨가수량의 조정 및 설계아스팔트량의 결정에 적용하였다.

#### (2) 밀도 및 공극률

상온재생 개질혼합물의 마찰안정도시험시 측정된 밀도 및 공극률은 다음 Figure 3~5와 같다. 그 결과를 살

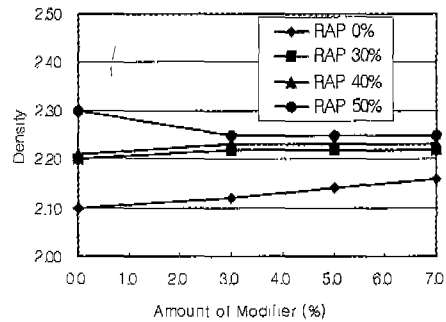


Figure 3. Relationship between density and amount of modifier (50 Compacting).

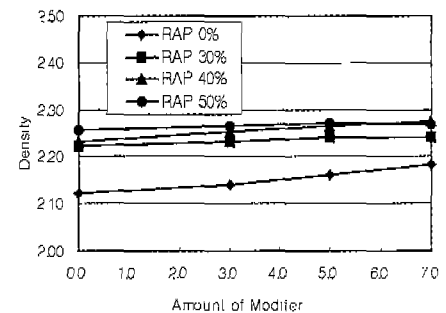


Figure 4. Relationship between density and amount of modifier (75 Compacting).

퍼보면 개질재 첨가량과 공극률과의 관계는 재생골재 혼입률 0%에서는 6.5~11%, 30%에서는 7~11%, 40%에서는 9~16%, 50%에서는 5.5~17%로 혼입률이 증가함에 따라 공극률도 증가하는 경향을 나타내었고, 개질재 첨가량에 따라서는 다소 저하하는 경향을 보이고 있다[22-24].

(3) 마찰안정도 (양생온도 60℃)

Figure 6~9는 60℃ 양생한 경우 마찰안정도 특성을 분석한 것이다. Figure 6은 상온에서의 실험결과로 50

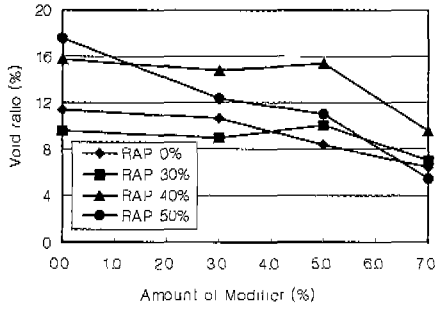


Figure 5. Relationship between density and void ratio.

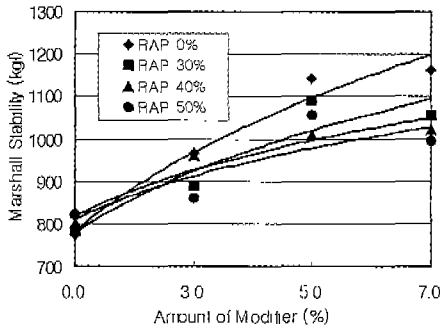


Figure 6. Relationship between marshall stability and amount of modifier (60°C curing, 50 compaction, test temperature 25°C).

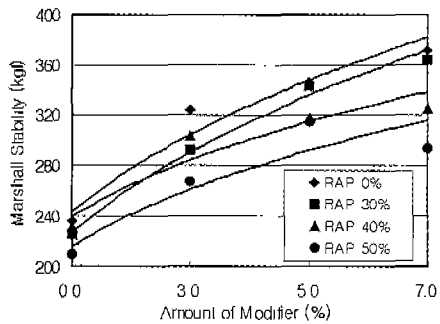


Figure 7. Relationship between marshall stability and amount of modifier (60°C curing, 50 compaction, test temperature 60°C).

회 다짐조건에서는 750~1160 kg 정도의 분포를 보이고 있으며, Figure 8의 경우는 75회 다짐조건에서의 마찰안정도는 1200~1670 kg의 분포를 보이고 있다. 개질재 첨가량에 따라서는 안정도가 증가하는 경향을 보이고 있으나, 개질재 첨가량 7% 이상의 수준에서는 오히려 증가 경향이 다소 둔화하는 모습을 보이고 있다. 재생골재의 함량이 증가할수록 안정도는 다소 감소하는 경향을 나타내고 있는데, 이는 재생골재내의 아스팔트량을 고려함에 따라 골재와의 구각에 작용하는 아스팔트량이 상대적으로 작아지는 것에 의한 영향이라 판단된다.

(4) 마찰안정도 (상온양생)

상온 양생한 경우 실험결과는 Figure 10~13과 같다. Figure 10은 시험온도 25°C에서 50회 다짐의 경우로서 600~1,000 kg의 안정도 분포를 보이고 있으며, Figure 11는 75회 다짐의 경우로 780~1,270 kg의 안정도를 나타내고 있다. Figure 12~13은 시험온도 60°C에서 각각 50회 다짐 및 75회 다짐을 한 경우로 50회 다짐의 경우에는 118~200 kg, 75회 다짐의 경우에는 160~280 kg 정도의 안정도를 나타내고 있다.

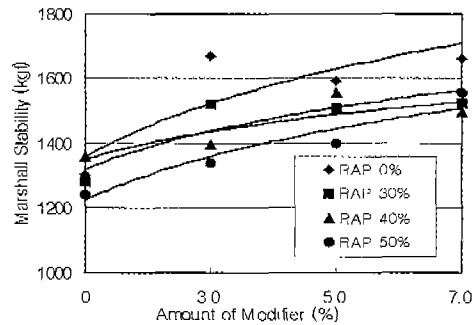


Figure 8. Relationship between marshall stability and amount of modifier (60°C curing, 75 compaction, test temperature 25°C).

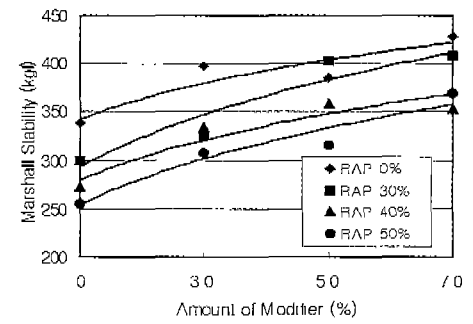


Figure 9. Relationship between marshall stability and amount of modifier (60°C curing, 75 compaction, test temperature 60°C).

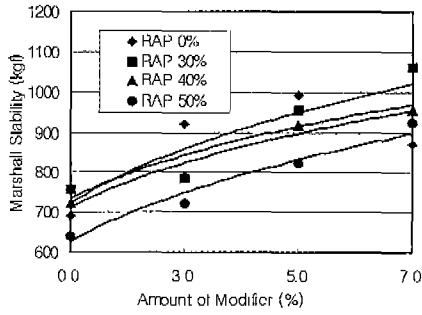


Figure 10. Relationship between marshall stability and amount of modifier (25°C curing, 50 compaction, test temperature 25°C).

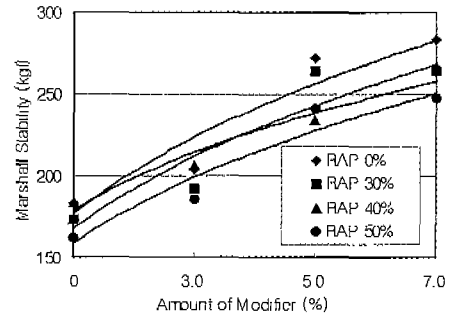


Figure 13. Relationship between marshall stability and amount of modifier (25°C curing, 75 compaction, test temperature 60°C).

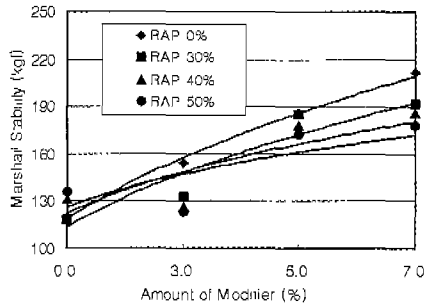


Figure 11. Relationship between marshall stability and amount of modifier (25°C curing, 50 compaction, test temperature 60°C).

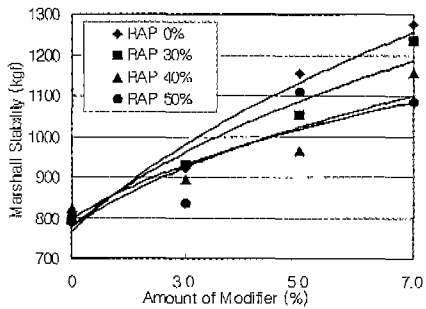


Figure 12. Relationship between marshall stability and amount of modifier (25°C curing, 75 compaction, test temperature 25°C).

#### 4.2. 간접인장강도

재생골재 혼입률을 0%, 30%, 40%, 50%로 하여 각각에 대한 최적아스팔트함량에서의 공시체를 제작하여 간접인장강도시험을 실시한 결과는 다음의 Table 4 및 Figure 14에 나타난 바와 같다.

이를 고찰하여 보면, 재생골재의 혼입률이 증가함에 따라 간접인장강도는 신재아스팔트 혼합물에 비하여 2~13.1% 정도 다소 저하하는 것으로 나타났다.

Table 4. Test results of indirect tensile strength and compressive strength of cold recycling asphalt mixtures

Contents of recycled aggregates (%)	Indirect tensile strength (kg/cm <sup>2</sup> )	Compressive strength (kg/cm <sup>2</sup> )
0	4.85	36.35
30	4.79	35.27
40	4.47	35.26
50	4.25	34.67

#### 4.3. 압축강도

재생골재 혼입률을 0%, 30%, 40%, 50%로 하여 각각에 대한 최적아스팔트함량에서의 공시체를 제작하여 압축강도시험 결과는 다음의 Table 4 및 Figure 15에 나타난 바와 같다. 이를 고찰하여 보면, 재생골재의 혼입률이 증가함에 따라 신재에 비하여 0.7~4.4% 정도 감소하는 경향을 보이고 있다.

### 5. 결 론

#### 5.1. 마찰안정도

(1) 상온재생 유화아스팔트 개질혼합물의 혼합성 평가 시험결과, 폐아스팔트혼합물 혼입률 30%에서는 3.4~5.7%, 40%에서는 3.5~6.0%, 50%에서는 3.8~6.0%의 범위에서 혼합성이 양호한 것으로 나타났다.

(2) 개질재 첨가량과 공극률과의 관계는 재생골재 혼입률 0%에서는 6.5~11%, 30%에서는 7~11%, 40%에서는 9~16%, 50%에서는 5.5~17%로 혼입률이 증가함에 따라 공극률은 증가하는 경향을 나타내었고, 개질재 첨가량에 따라서는 다소 저하하는 경향을 보이고 있다. 이는 재생골재 혼입률 증가에 따른 다짐에너지의 차이에 기인한 것으로 판단된다.

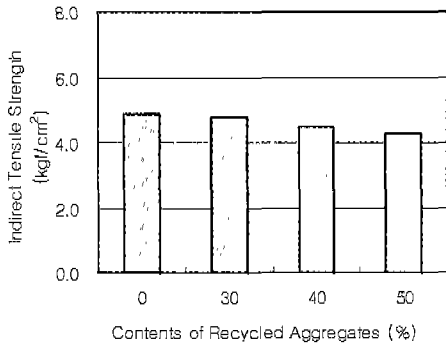


Figure 14. Indirect tensile strength of cold recycling asphalt mixtures.

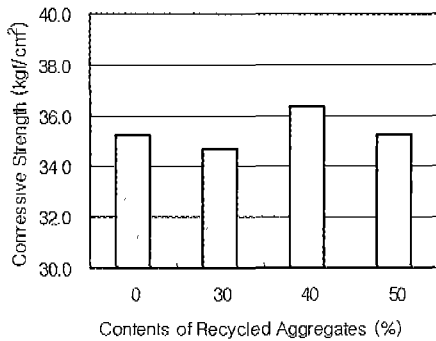


Figure 15. Compressive strength of cold recycling asphalt mixtures.

(3) 60℃ 양생한 경우 마찰안정도는 상온에서의 실험 결과 50회 다짐조건에서는 750~1160 kg 정도의 분포를 보이고 있으며, 75회 다짐조건에서는 1200~1670 kg의 분포를 보이고 있다. 개질재 첨가량에 따라서는 안정도가 증가하는 경향을 보이고 있으나, 개질재 첨가량 7% 이상의 수준에서는 오히려 증가 경향이 다소 둔화하는 모습을 보이고 있다. 그러므로 상온형 재생혼합물의 경우 개질재 첨가량의 범위를 4~7%로 제한하는 것이 바람직하다고 판단된다.

(4) 상온양생한 경우 실험결과를 시험온도 25℃에서 50회 다짐의 경우에는 600~1,000 kg의 안정도 분포를 보이고 있으며, 75회 다짐의 경우에는 780~1,270 kg의 안정도를 나타내고 있다. 시험온도 60℃에서의 안정도는 50회 다짐의 경우에는 118~200 kg, 75회 다짐의 경우에는 160~280 kg 정도의 안정도를 나타내고 있다.

### 5.2. 간접인장강도 및 압축강도

재생골재의 혼입률이 증가함에 따라 간접인장강도는 신재아스콘에 비하여 2~13.1% 정도 다소 저하하는 것으로 나타났으며, 압축강도는 재생골재의 혼입률이 증

가함에 따라 신재아스콘에 비하여 0.7~4.4% 정도 감소하는 경향을 보이고 있어 신뢰할 수 있는 수준의 양상을 보이고 있으며 품질관리 측면에서 재생첨가제 및 유화아스팔트량의 조정으로 이러한 역학적 성능의 개선이 가능한 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 연구는 건설교통부의 1997년도 건설교통기술연구개발사업의 지원에 의하여 수행되었으며 이에 깊은 감사를 드립니다.

### 참고 문헌

- [1] 박승변 외, "건설폐기물의 재활용 및 처리기술개발", 건설교통부, 1998.
- [2] 송재용, "건설폐기물의 경제적 이용방안", 건설폐기물의 처리 및 재활용 기술세미나(제3회) 논문집, 1995. 5.
- [3] 關西道路研究會鋪裝材再利用小委員會, "混入方式によるアスファルト廢材の再利用に關する調査", 鋪裝, 13(7), 17~21, 1978.
- [4] 谷木 誠, "アスファルト發生材の再生利用について", 第21回 日本道路會議論文集, pp. 600~601, 1993.
- [5] 鈴木登夫, "再生アスファルトの品質評價", 第21回 日本道路會議論文集, pp. 604~605, 1991.
- [6] D. A. Bernard and J. A. Epps. "Pavement Recycling", Prepared for Japan Highway Public Corporation, 1982.
- [7] "Flexible Pavement Design Guide for Highways", National Crushed Stone Association, Washington, DC, April 1975.
- [8] "An Overview of Recycling and Reclamation Methods for Asphalt Pavement Rehabilitation", Asphalt Recycling and Reclaiming Association, Annapolis, MD, 1992.
- [9] Dunning, R. L. and Mendenhall, R. L., "Design of Recycling Asphalt Pavements and Selection of Modifier" STP 662, ASTM, 1978.
- [10] "A Basic Asphalt Emulsion Manual Series 19(MS-19)", Asphalt Institute, March, 1979.
- [11] "Asphalt Cold-Mix Recycling", The Asphalt Institute Manual Series No.20(MS-20).

- [12] "Asphalt Cold-Mix Recycling", The Asphalt Institute Manual Series No.21(MS-21), Second Edition, 1986.
- [13] 박태순, 이동주, 이석근, "상온유화재생혼합물의 최적 아스팔트비 결정에 관한 연구", 대한토목학회 학술발표회 논문집IV, 1999.
- [14] 정규동, "상온 및 가열 재생아스팔트 혼합물의 국내 적용성 연구", 강원대학교, 1998.
- [15] 冨田 孝直, "再生用添加劑を添加したアファルトのねばりについて", 第18回 日本道路會議論文集, pp. 664~665, 1991.
- [16] "Mixture and Structural Design of Cold Recycled Pavements", Asphalt Recycling and Reclaiming Association, Annapolis, MD, 1996.
- [17] "Laboratory Manual of Test Procedures", Oregon State Highway Division, Oregon Department of Transportation, Salem, 1986.
- [18] "Cold Recycling of Asphalt Pavements", Prepared for AASHTO-AGC-ARTBA Joint Committee Task Force No.38(Draft), 1996.
- [19] "Guideline Specification for Hot In-Place Recycling", Asphalt Recycling and Reclaiming Association, 1988.
- [20] 김주원, "최신 아스팔트포장", 세종문화원, 1993.
- [21] 건설교통부, "아스팔트포장 설계·시공 요령", 1997. 7
- [22] 阿部 政, "セメント・アスファルト乳劑混合物の力學的性狀に關する基礎研究", 土木學會論文集, 第354号, Vol. 2, pp. 127~135. 1985. 2.
- [23] 楠木 郭, "改質再生混合物の性狀について", 第21回 日本道路會議論文集, pp. 590~591, 1993
- [24] 김광우 등, "상온기질·재활용 아스팔트 안정처리 기술 혼합물의 특성 연구", 아스팔트 포장공학의 첨단기술 논문집, 강원대학교 석재복합 신소재 제품 연구센터, 1997.