

GOVP1199705006

625.85
L 293표
v. 2.

제2차 년도
최종보고서

폐콘크리트 및 아스팔트를 재활용한 농어촌 도로포장 공법의 개발(Ⅱ)

Rural Road Pavement Construction using Recycled
Concrete and Asphalt Materials(Ⅱ)

연구기관
강원대학교

농림부

Rural Road Pavement Construction using Recycled Concrete and Asphalt Materials

(Final Report)

**Department of Agricultural Engineering
Kangwon National University
Chun Chon, 200-701 KOREA**

Ministry of Agriculture and Forestry

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “폐콘크리트 및 아스팔트를 재활용한 농어촌 도로 포장 공법의 개발” 과제의 제 2년차 최종 보고서로 제출합니다.

1996 년 11월 30일

주관연구기관명: 강원대학교
총괄연구책임자: 김 광 우
연 구 원: 류 능 환
연 구 원: 김 주 인
연 구 원: 김 회 남
연 구 원: 안 경 애
연 구 원: 박 용 철
연 구 조 원: 최 영 규
연 구 조 원: 이 상 범
연 구 조 원: 정 규 동
연 구 조 원: 조 희 원

목 차

목 차	1
요 약 문	3
Summary	7
Contents	13
제 1 장 연구의 배경과 현황	17
제 1 절 연구개발의 필요성	17
1. 건설 폐기물의 재활용의 필요성	17
2. 재생재료에 의한 농촌 도로 포장의 필요성	18
제 2 절 연구개발 사업 목표	19
1. 최종 연구개발 사업 목표	19
2. 당해 년도 연구개발 사업 목표	20
제 3 절 연구내용 및 범위	20
제 2 장 아스팔트 포장재료의 재활용	25
제 1 절 서 론	25
제 2 절 아스팔트 재활용의 연구 동향	26
1. 아스팔트 포장 재활용의 역사	26
2. 미국의 아스팔트 포장재료의 재활용	28
3. 유럽 및 캐나다의 아스팔트 포장재료의 재활용	34
4. 아세아에서의 아스팔트 포장재료의 재활용	35
제 3 절. 재활용 방법의 분류	36
1. 표면 재활용 공법 (Surface Recycling)	37
2. 플랜트 재활용 공법 (Central Plant Recycling)	40
3. 현장 재활용 공법(In-place Surface and Base Recycling)	41
제 4 절 결 론	43
참고문헌	43
제 3 장 재생 골재의 활용도 증진 방안 연구	49
제 1 절 서 론	49
제 2 절 재료 및 방법	50
1. 사용 재료	50
2. 시험 방법	52
제 3 절 결과 및 고찰	55

1. 재생 콘크리트의 특성	55
2. 재생골재 아스팔트 혼합물의 특성	58
제 4 절 결론	60
참고문헌	61
제 4 장 재생 아스팔트 농촌도로 포장 개발	67
제 1 절 서론	67
제 2 절 재료 및 방법	68
1. 사용 재료	68
2. 시험 방법	72
3. 혼합과 다짐	81
4. 재생 아스팔트 콘크리트 시험 포장	82
제 3 절 결과 및 고찰	86
1. 추출·재생된 아스팔트의 특성	86
2. 재생 아스팔트 콘크리트의 배합설계	94
3. 아스팔트 보조기층 및 안정처리기층의 시험 시공	96
4. 재생 아스팔트 포장의 현장 시공	97
제 4 절 결론	110
제 5 장 재생콘크리트 포장 상태 점검 및 실용성 분석	111
제 1 절 시험포장 상태	111
제 2 절 재생골재 생산공정, 경제성 분석 및 시방규정(안) 제정	112
제 6 장 종합 결론, 기대 효과 및 활용 계획	117
제 1 절 결론	117
제 2 절 기대 효과 및 활용 계획	118
참고 문헌	121
부 록	137
부록 1: 재생콘크리트에 의한 농어촌 도로 건설 공사 시공 지침 (안)	141
부록 2: 아스팔트 포장재료의 가열혼합 재활용 지침	167

요 약 문

I. 제목

폐콘크리트 및 아스팔트를 재활용한 농어촌 도로포장 공법의 개발 (II)

II. 연구개발의 목적 및 중요성

본 연구개발의 목적은 폐아스팔트 포장재료를 재활용하여 농어촌 도로를 포장하는 기법을 개발하는 것이다. 현재 우리 나라는 도시 지역이 작은 골목길까지 다 포장되어 있는데 비하여 농촌지역은 도로 포장율이 상대적으로 낮으며 농어촌 도로의 포장율은 극히 낮아 개선이 시급한 상태이다. 더구나 선진국들에 비하여 국내 농촌 소도로의 포장율은 매우 낮은 실정이며 이의 향상을 위해서는 보다 구하기 쉽고 경제적인 재료에 의한 포장 공법의 개발이 필요한 실정이다.

따라서 본 연구자는 다년간의 건설 재료 재활용에 대한 연구로부터 축적되어 온 재활용 기법 및 도로 포장에 관한 연구 기반을 이용하여 본 연구의 2차년도에는 농촌 지역의 도로에 아스팔트 폐기물을 재활용하여 포장을 건설하는 기법을 개발하는 연구를 수행하였다. 농어촌 주민의 생활 수준 향상과 농촌 지역의 전원화 등의 차원에서 볼 때 농어촌 도로의 포장은 필수적이며 이를 위해 재활용 재료를 사용하는 것은 환경 보호, 자원 절약, 경제적 이득 등 일거양득의 효과를 거둘 수 있는 매우 바람직한 일이라고 판단된다.

III. 연구개발 내용 및 범위

본 과제 의 2차년도 연구는 폐아스팔트로부터 회수된 아스팔트 포장재료를 다시 포장재료로 재활용하여 농어촌 도로를 포장하는 연구로서 그간의 기초 연구를 근거로 하여 실용화를 위한 연구에 치중하였다. 2차년도에 수행된 연구내용은 (1) 폐아스팔트 재활용 문헌 및 실태 조사, (2) 회수 아스팔트 포장재료를 이용한 아스팔트 안정처리기층의 개발, (3) 재활용 아스팔트 콘크리트를 이용한 농어촌 도로 포장 공법의 개발 등이다. 이를 위해 본 연구에서는 2지역에서 수집된 재료를 실험에 사용하였으며 한가지 규격의 농어촌 도로를 개발하는 연구를 수행하였다. 또한 1차년도에 시공된 재생콘크리트 시험포장을 지속적으로 관찰하고 사용된 재생콘크리트의 장기 강도 변화를 고찰하였으며 재생골재의 활용 비율 증가를 위한 연구도 수행하였다.

IV. 연구 개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구 결과

가. 회수 아스팔트 포장재료(Reclaimed asphalt pavement: RAP)와 천연(신규) 재료를 5 : 5로 사용하여 상온혼합(Clod-mix)으로 제조된 재생 아스팔트 포장재료와, 또한 모두 RAP 만을 사용하여 상온에서 다진 혼합물은 각각 농촌도로의 아스팔트 안정처리기층 및 보조기층 용으로 충분한 사용 가능성이 있었다.

나. 회수 아스팔트 포장재료를 천연재료와 4 : 6으로 사용한 가열혼합 아스팔트 배합설계를 마샬 방법에 의하여 수행하여 재생 경량포장 아스팔트 혼합물의 현장배합을 결정하고, 제조된 재생 아스팔트 콘

크리트의 특성 시험을 수행하여 농촌도로 포장재료로 사용 가능한 만족한 결과를 얻었다.

다. 이를 바탕으로 지역의 한 아스콘 회사의 협조 하에 농촌도로 경량포장 시험 시공을 수행하였다. 사용된 재료로 제조한 공시체와 시험 포장에서 채취한 코어를 통하여 포장의 상태를 점검한 결과 모두 일반 아스팔트 포장의 기층 및 표층 규격에 적합한 상태여서 시험포장이 성공적으로 수행되었음을 알 수 있었다.

라. 따라서 사용된 시공 방법에 따른 시방 규정 개발 및 품셈 개발을 수행하여 그 안을 제시하였으며 폐아스팔트 포장재료의 가열혼합 재활용 지침도 아울러 제시하였다.

마. 1차년도 시공된 재생콘크리트 시험포장의 상태 및 장기 강도 변화를 관찰하였다. 이 포장은 약간의 균열 외에 거의 다 손상이 없이 상태가 잘 유지되고 있었다. 그리고 코어 채취를 통한 강도 측정 결과 28일 압축강도가 약 250kg/cm^2 에서 재령 6개월에는 약 370kg/cm^2 으로 그리고 재령 1년에는 약 400kg/cm^2 으로 크게 증진되었음을 알 수 있었다. 또한 재생 굵은골재의 사용비율을 80%까지 높여 재생콘크리트를 제조, 시험한 결과 재생골재의 사용비율이 강도에 큰 영향을 미치며 사용비율 60%까지에서 설계 강도를 일반적인 배합설계를 통해 얻을 수 있었고 80%에서도 사용 가능성이 엿보였다. 또한 Non-parametric 회귀분석을 통해 재생골재의 함량에 따른 재생콘크리트의 강도를 측정하는 모델을 개발하였다.

바. 따라서 본 연구에서 수행한 재생재료를 이용한 농촌도로 포장은 비교적 쉽게 시공할 수 있도록 개발되었으며, 골재의 가격을 비교할

때 직접적으로 경제적인 이득이 있으며 환경보호 등 간접적인 면을 고려한다면 그 이득은 더욱 클 것으로 추정되었다.

2. 활용 방안에 대한 건의

가. 우선 본 연구 결과를 농림부를 통하여 전국 각 시·군에 보급하여 각 자치단체 별 담당 부서의 관할 하에 구역 내의 일정한 농어촌 도로에 직접 시범 포장 사업을 수행할 것을 제시한다. 그렇게 함으로써 자치단체 별로 담당 부서 공무원이 기술적인 부분을 먼저 습득하게 되고 아울러 현장 실용성 면을 확인할 수 있을 것이다.

나. 그리고 재활용에 대한 인식 제고와 사회적 분위기 형성을 위하여 이와 같은 사업을 관 주도하에 몇 번 더 수행해 봄에 따라 관공서 자체는 물론 농촌 주민들과 시공사들의 인식도 바뀌게 될 것이다. 그리고 필요하다면 본 연구에서 수행한 현장을 견학토록 하는 것도 고정관념 (재생재료는 안 좋다는 생각)을 바꿀 수 있는 좋은 계기가 될 것이다.

Summary

Title

Rural Road Pavement Construction using Recycled Concrete and Asphalt Materials (II)

Objectives and Significance

Objective of this study was to develop a paving technology for rural road using reclaimed asphalt pavement materials and to introduce this technique for practical use in rural road pavement construction. Infrastructure systems of country side in Korea are far less developed than those of city area and of advanced foreign countries. Especially, the ratio of paved road in rural area is very lower than that in city area. Therefore, providing existing road with a certain type of pavement is very important project that should not be ignored by government, not only for improving living standard in rural area but also for expediting mechanized farming in these days.

Researchers of this study have worked on many projects in construction materials and their recycling system during last decade, and performed this work based on those backgrounds. In the second year study, reclaimed asphalt pavement materials were collected and various laboratory and field works were conducted for recycling these materials

in rural road pavement.

If the approach in this project is practically applied, there will be a great advantage to the society not only due to constructing pavements on existing rural roads with relatively cheap materials, but also due to saving mineral aggregate resources and conserving environment by using recycled materials.

Scope

The scope of this study is divided into three major subjects. The first was to examine current recycling practice and review previous research in asphalt recycling in the country as well as in the world. The second was to recycle reclaimed asphalt pavement (RAP) for asphalt-stabilized base course materials for rural road. And the third was to develop an approach to recycling reclaimed asphalt pavement materials for surface course of low-volume rural road, which could be practically applicable to existing unpaved roads in rural areas.

A field experimental pavement was constructed in a 30m length and a 3m width. However, the works were limited to developing, with collected materials, only one type of pavement which consisted of a recycled bituminous concrete course on the surface (thickness of 7cm) and recycled aggregate granular base course (thickness of 15cm) on top of the naturally compacted subgrade.

As follow-up studies of the previous year works, the recycled concrete pavement which was constructed experimentally last year was monitored continuously by examining surface condition and strength of cores taken from the pavement. Strength of recycled concrete in various recycled aggregate contents was examined and possibility of using increased recycled aggregate contents was evaluated in recycled concrete pavement.

Results and Suggestions

Research Results

The cold recycled asphalt materials with ratio of 40% by weight of total mix showed acceptable properties for asphalt-stabilized base course for rural low-volume road pavement. The compacted RAP without adding virgin materials also showed good bearing capacity for subbase of pavement.

The hot-mix recycled mixture using 40% of RAP showed good Marshall properties and the mixture could be successfully used in a rural road pavement. The measured Marshall stability, flow, indirect tensile strength and air void were 1,368kg, 35, 12.5kg/cm² and 7%, respectively. Using the laboratory mix-designed materials, an experimental section of pavement in a rural area was constructed using plant hot-mix recycled mixture. The construction was successfully finished by using a small

vibration roller (1 ton) and manual works.

Based on two year studies, a prototype specification for construction and labor work was developed, and a manual for hot-mix recycling of asphalt pavement materials was also presented, together with the prototype specification in Appendix of this report.

From follow up studies for previous year works, it was found that the recycled concrete pavement was in a good condition except several cracks which had appeared right after construction in a slope area.. The long term strength of the recycled concrete was measured from cores taken from the pavement. It was found to be improving by the time, showing compressive strength increase approximately 47% in six months and 60% in one year, compared with that at 28 days.

To examine possibility of increasing usage of recycled aggregate in recycled concrete making, five different contents, 0%, 50%, 60%, 70% and 80%, of recycled aggregate were used for this study. Study results showed that the compressive strength, flexural strength, tensile strength, elastic modulus and fracture toughness varied with contents of recycled aggregates. The recycled concretes with recycled aggregate contents of 50% and 60% revealed excellent strength than the higher contents. Target strength of the recycled concrete could be defined by nonparametric regression model as a function of content of recycled aggregate in the mix.

Suggestions for Practical Use

To promote the spread of this technique, launching several model projects for constructing rural road pavements with recycled concrete and recycled asphalt mixtures are suggested for local government. By doing this first, the local government engineers will first acquire technical knowledges about this project and can judge a practical advantage of using recycled materials for rural pavement.

Conducting model projects by city or provincial government and providing a specification for the recycled pavement construction by them will create a motivation of using recycled materials to the general people in society. This will slowly change the apprehension of general people about using what they call "low quality" materials in public roads. Also, it will be a good idea for making advertisement to those in construction industry to show the quality of current work through a field tour to the site if they want.

여 백

Contents

Contents	1
Korean Summary	3
English Summary	7
English Contents	13
Chapter 1. Research background and presence	17
Section 1. Need for research and development	17
1. Need for recycling construction wastes	17
2. Need for pavement of rural road using recycled materials	18
Section 2. Objective of research	19
1. Final objective of research project	19
2. objective of current year research	20
Section 3. Scope and contents	20
Chapter 2. Recycling of asphalt pavement materials	25
Section 1. Introduction	25
Section 2. Research trends of asphalt pavement recycling	26
1. History of asphalt pavement recycling	26
2. History of asphalt pavement recycling in U.S.A.	28
3. History of asphalt pavement recycling in Europe and Canada	34
4. History of asphalt pavement recycling in Asia	35
Section 3. Classification of recycling method	36
1. Surface recycling	37
2. Central plant recycling	40
3. In-place surface and base recycling	41
Section 4. Conclusions	43
References	43
Chapter 3. Studies for increasing usage of recycled aggregate	49
Section 1. Introduction	49
Section 2. Materials and Methods	50
1. Materials	50
2. Methods	52
Section 3. Results and discussion	55
1. Characteristics of recycled concretes	55

2. Characteristics of recycled aggregate asphalt mixture	58
Section 4. Conclusions	60
References	61
Chapter 4. Development of rural road pavement using recycled asphalt pavement materials	67
Section 1. Introduction	67
Section 2. Materials and Methods	68
1. Materials	68
2. Methods	72
3. Mixing and compaction	81
4. Experimental pavement using recycled asphalt mixtures	82
Section 3. Results and discussion	86
1. Characteristics of recovered asphalt cement	86
2. Mix design of recycled asphalt mixture	94
3. Experimental pit of subbase and asphalt stabilized base course using reclaimed asphalt materials	96
4. Field construction of recycled asphalt pavement	97
Section 4. Conclusions	110
Chapter 5. Monitoring of recycled concrete pavement and analysis for practical applicability	111
Section 1. Condition of experimental pavement	111
Section 2. Analysis of recycled aggregate processing, economics, and suggestion of prototype specification	112
Chapter 6. Comprehensive conclusions, expectancy and practical application plan	117
Section 1. Conclusion	117
Section 2. Expectancy and practical application plan	118
References	121
Appendixes	137
Appendix 1: A prototype specification for construction of recycled concrete pavement for rural road	141
Appendix 2: Manual for asphalt hot-mix recycling	167

제 1 장
연구의 배경과 현황

여 백

제 1 장 연구의 배경과 현황

제 1 절 연구 개발의 필요성

1. 건설 폐기물의 재활용의 필요성

급진적인 농촌 인구의 감소와 도시화는 도시 지역의 재개발 및 재건축을 활성화시켜 건설폐기물을 양산하고 있다. 이러한 폐기물의 급증과 함께 이의 처리를 규정하는 환경 관련 법규의 강화는 건설폐기물 처리를 매우 신중하게 다루게 하고 있다. 이로 인하여 중간처리업이 새로이 등장하게 되었고, 이러한 중간 처리장을 통한 폐기물의 처리는 그 비용이 매우 비싸게 되었다. 이러한 법규의 강화와 처리 비용의 상승은 건설폐기물의 불법 투기를 유발하고 결과적으로 농촌 지역이 이 폐기물을 버리는 대상이 되고 있다. 따라서 이와 같은 불법 투기는 농산업의 사양 및 인구 감소로 가뜩이나 낙후되어 가는 농촌을 더욱 황폐화시키고 있다.

상기의 건설폐기물, 특히 폐콘크리트와 폐아스팔트 콘크리트 (세칭 아스콘)의 재활용은 절실한 문제이다. 하지만 국내뿐만 아니라 전세계적으로 볼 때 그중 매우 소량만이 재활용되고 있으며 그것도 콘크리트용 골재로 재활용되기보다는 대부분 채움재, 도로의 기층이나 보조기층 재료로 사용될 뿐이다.

하지만 이에 대해 매우 다행인 것은 대부분의 철거되는 콘크리트들은 재활용이 가능하다는 사실이다. 이는 지금까지의 외국에서의 많은 연구와 실제 사업의 시행에서 밝혀지고 있다. 그들은 초기에는 폐콘크리트를 도로의 下部構造 재료로만 사용하였으나 지금은 도로 포장용 콘크리트로 거의 완벽하게 이용하고 있고 아스팔트 콘크리트의 재활용은 거의 완벽한 재활용

전의 품질을 얻어내고 있다.

폐기 처분의 심각한 현실 때문에 현재 폐콘크리트나 폐아스콘을 원한다면 쉽게 구할 수 있다. 특히 전국적으로 각 도시 지역에 설립된 중간 처리장에서 일정 크기로 파쇄된 재생골재는 천연골재에 비하여 가격이 매우 낮지만 품질은 그런 대로 양호하다. 따라서 이를 도로의 보조기층 재료 등으로 사용할 시는 전혀 문제가 없으며, 폐콘크리트 재생골재는 표층 콘크리트에 그리고 회수된 폐아스팔트 포장재료는 아스팔트 포장용 혼합물에 다시 재활용 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이와 같은 재활용 기법을 개발하고 이를 농촌도로의 포장에 활용하고자 하는 것이다. 더구나 재생재료로 농촌도로 포장 공법을 개발할 경우 경제성이 좋아 같은 예산으로 보다 많은 도로를 포장 할 수 있음은 물론 폐기물의 불법 투기를 방지하는 일거 양득의 효과가 있다 하겠다.

2. 재생재료에 의한 농촌 도로 포장의 필요성

우리 나라의 국력 향상과 농민의 소득 증대에 따른 자동차의 생활화와 영농 장비의 대형화가 가속화되어 가는 시점에서 농촌도로의 확대 및 포장은 매우 시급한 문제가 되었다. 즉, 농촌 지역 도로의 개설 및 기존 도로의 포장은 주민의 생활은 물론 생산의 기반 시설로 농촌 지역의 전원화, 도시 배후 지역으로서의 휴식 공간화 등을 통한 선진화를 위해서 상하수도 시설과 함께 시급히 해결해야 할 중요 과제 중 하나이기 때문이다.

국민소득 1만불 시대를 맞이하면서 도시 지역은 도로 개설, 상하수도 보급률 등 생활 시설이 꾸준히 향상되어 온데 비하여 농촌 지역은 그 혜택이 상대적으로 적었음을 현재의 농촌 도로 포장율을 통해 잘 알 수 있다.

하지만 이제는 이를 더 방관할 수 없는 시점이며 이의 소홀은 농촌을 현대화하는데 장애를 초래할 것이다. 즉, 농촌의 도로 포장이 선결되지 않고는 농촌 개발 및 선진화는 한갓 공론에 불과할 것이다.

따라서 본 연구와 같은 농촌 도로포장 기법의 개발은 농촌 주민 모두의 애로, 즉, 각종 농기계의 원활한 소통으로 인한 농작업의 극대화, 농산물 유통로의 개선 등의 문제를 해결해 주게 된다. 따라서 본 연구는 정부 차원의 애로를 해결하는 매우 파급효과가 큰 과제라 할 수 있다. 그러므로 이의 개발은 국가적 차원에서의 지원과 농업 토목 분야에서 적극적인 노력이 필요한 사업이라 할 수 있다.

연구자는 다년간의 건설재료 재활용에 대한 연구로부터 축적되어 온 재활용 기법 및 도로 포장에 관한 연구 기반을 이용하여 농촌 지역의 도로에 아스팔트 및 콘크리트 폐기물을 재활용하여 포장을 타설하는 공법을 개발하는 연구를 수행하였다.

제 2 절 연구개발 사업 목표

1. 최종 연구개발 사업 목표

농촌 지역의 도로는 그 용도상 대형 트럭 등의 진입이 매우 적고 또한 승용차 등 소형 차량의 소통도 도시 지역의 도로에 비하여 매우 적은 편이어서 강도가 그리 크지 않은 재료를 사용한 포장도 가능하다. 또한 선진국과 같은 농촌 지역의 전원 주거지화 등의 차원에서 볼 때 농어촌 도로의 포장은 필수 사항이며 이를 위해 재활용 재료를 사용하는 것은 일거양득의 효과를 거둘 수 있는 매우 바람직한 일이라고 여겨진다.

따라서 본 연구에서 해결하고자 하는 연구의 최종 목표는 농촌도로 포

장에 폐콘크리트 및 폐아스팔트 포장재료를 재활용하는 공법을 개발하는 것이다. 이를 위한 세부 목표로는 재생골재에 대한 각종 기초적이고 세부적인 실험 연구 수행, 재생골재를 도로의 기층 및 보조기층 재료로의 재활용 연구, 그리고 이를 포장의 표층용 재료로 재활용하는 연구 등이다.

2. 당해 년도 연구개발 사업 목표

본 연구는 총 2년의 연구 기간으로 이루어져 있으며 그중 1차년도에는 폐콘크리트를 이용하여 농어촌 도로의 포장 공법 개발에 관한 연구를 수행하였으며, 2차년도인 금년에는 폐아스팔트 콘크리트로부터 회수된 아스팔트 포장재료를 이용한 농어촌 도로 포장 공법의 개발을 수행하는 것이다. 이를 위한 세부 목표는 폐아스팔트 포장재료의 각종 특성 평가, 폐콘크리트 아스팔트 혼합물의 개발 및 특성 연구, 아스팔트 재생 기층 개발, 아스팔트 재생 농촌도로 포장의 개발, 현장 시공을 통한 재생 포장의 상태 점검 및 실용성 분석 등이다.

제 3 절 연구 내용 및 범위

본 연구의 내용은 폐아스팔트 콘크리트로부터 회수된 아스팔트 포장재료를 이용하여 농어촌 도로 포장 공법을 개발하는 것이다. 이중 금년도의 연구 내용은 크게 다음과 같이 구분 할 수 있으며 이에 대한 세부 사항은 다음과 같다. 그리고 금년도에는 1차년도 연구 결과에서 심사 위원들의 추가 요구에 따른 폐콘크리트 재활용 비율의 향상에 대한 연구도 수행하였다. 또한 각종 실험실 시험의 결과를 토대로 재생 아스팔트의 시험포장을 농촌 소도로에 시공하고 그것의 성능을 평가하는 것을 본 연구의 범위로 하였다.

표 1-1. 2차년도 연구개발 내용과 세부 항목

연구개발 내용	세부 항목
1. 재생 아스팔트 콘크리트 기층 개발	폐아스콘 재생골재의 품질 조사
	폐아스콘 기층 시험 pit 시공
	혼합물의 특성 검사 및 지지력 검사
2. 폐콘크리트 재활용 비율의 향상 연구	재생골재의 품질 검사 및 특성 시험
	배합설계에 의한 혼합비 결정
	공시체 제조 및 양생
3. 폐콘크리트 아스팔트 혼합물의 특성 연구	재생골재 아스팔트 혼합물 제조 가능성 분석
	재생골재 아스팔트 혼합물 배합설계
	재생골재 아스팔트 혼합물의 마찰 특성 평가
4. 재생 아스팔트 농촌 도로 포장 개발	상온혼합 아스팔트 혼합물의 특성 연구
	가열혼합 아스팔트 혼합물의 특성 연구
	재생 배합비율 결정 및 혼합물 현장 제조
	재생 아스팔트 농촌도로 시험포장 시공
5. 실용성 및 경제성 평가	시공 지침서(안) 개발
	실용성 및 경제성 분석

여 백

제 2 장

아스팔트 포장재료의 재활용

여 백

제 2 장 아스팔트 포장재료의 재활용

제 1 절 서 론

현재 정부는 국토의 균형 개발의 차원에서 국도는 물론 지방도 등 간선 도로의 확·포장 외에도 많은 소도로(Low volume Road)의 확·포장 사업도 추진하고 있다. 반면 과거에 개설하여 놓은 도로는 포장의 수명이 더해 감에 따라 도로포장의 파손이 심해지고 있어 유지 보수 부분이 더욱 늘어나고 있고 더구나 차량의 급속한 증가와 중량화로 인하여 많은 도로의 포장 상태는 급속히 악화되고 있는 실정이다. 그러나 정부의 예산 부족 등으로 인하여 적기에 유지 관리를 시행하지 못함으로 인하여 대규모의 보수가 필요하게 되고 더구나 포장재료의 확보와 폐기 재료의 처리에 대한 환경문제가 심각하게 대두되고 있으며 건설과 보수시 경제성 등이 논란이 되고 있다.

도로가 발달한 선진 외국에서는 기존 도로의 유지 보수비용이 새로운 도로의 건설비용에 비해 더 큰 비중을 차지하고 있다. 이에 따라 유지 보수에 관한 기술도 발달하여 최근에는 재포장으로 발생하는 폐포장재료(Waste pavement materials)의 사토장 확보의 어려움을 해결하고, 한편으로는 자원 절약, 폐기물 이용, 경제성 등을 고려하여 포장폐재를 재활용하는 기술이 개발되어 실용화되고 있다. 또한 많은 연구와 실험 포장을 통하여 축적된 기술을 바탕으로 이제는 재생 포장의 품질을 거의 원래 상태로까지 복원시킬 수 있을 정도로 기술이 발달되어 있는 실정이다.

도로포장 및 유지, 보수 등에서 발생하는 폐아스팔트 콘크리트(폐아스콘: Waste asphalt concrete)에 대한 우리 나라의 자료는 거의 없으나 외국의 자료를 살펴보면 미국에서는 1950-1960년대에 펜실베니아주에서 가열혼

합 (Hot-mix) 방식의 리사이클링 플랜트로 많은 양의 혼합물을 재생한 바 있고, 유럽에서도 1970년에 처음으로 노상 표층 재생 방식에 의한 시공이 이루어졌으며 서독, 프랑스 등에서 본격적인 시험 시공이 이루어진 이래 현재는 표면 재활용(Surface Recycling) 공법이 주류를 이루어 시공되고 있다.

그러나 우리 나라에서는 경험과 기술의 부족으로 인하여 아직까지 포장 폐재의 재활용이 보편화되고 있지 않는 실정이다. 하지만 국내에서는 매년 상당량의 아스팔트 포장이 철거되므로 재활용 기술이 보급된다면 이로부터 상당량의 회수 아스팔트 포장재료(Reclaimed asphalt pavement: RAP)를 확보하여 재활용 할 수 있을 것이다. 따라서 본 절에서는 아스팔트 포장의 재활용 기술에 관한 선진국에서의 재활용 공법 역사와 연구 동향 및 방법을 간략히 기술하고자 한다.

제 2 절 아스팔트 재활용의 연구 동향

1. 아스팔트 포장 재활용의 역사

도로 시스템을 유지 관리하고 보수하는데는 비용 및 시간이 많이 소요될 뿐만 아니라 재료 확보에 대한 문제도 대두되고 있다. 유지 및 보수를 위한 기존 포장재료의 재사용(Re-use) 또는 재활용(Recycling)은 기존 보수 공법에 비해 여러 가지 이점이 있다. 즉, 재활용을 통해 환경을 보호할 수 있으며 골재, 결합재(Binder) 등의 재료 절약과 에너지를 절약할 수 있을 뿐만 아니라 기존의 도로의 층상 구조를 그대로 유지할 수 있다.

즉, 기존 도로를 재건설시 철거되는 폐포장재료나 재포장을 위한 표면 절삭 등으로 발생하는 재료를 다시 도로의 포장에 사용하게 되면 여러 가지 이점이 있다. 이를 재활용시 국내의 경우 우선 폐 포장재료를 폐기 처분하

는 비용의 절감과 함께 새로운 재료 구입 비용의 절감 등 경제적 효과가 가장 클 것이다. 또한 '이로부터 수반되는 자원 및 에너지의 절약, 환경보호 등의 효과를 고려하면 그 이득은 더 클 것이다.

이러한 아스팔트 포장의 재활용은 단지 근래에 시작된 것이 아니다. National Asphalt Paving Association (NAPA 1979)에 따르면 재활용에 관한 최초의 문헌은 1915년에 Warren Brothers'에 의하여 쓰여졌다고 한다. 그들은 아스팔트 플랜트 판매 책자에서 "가열하여 재 포설된 기존의 Sheet 아스팔트 포장들에 대한 결과들은 상당히 우수하였으며 그 결과 비용이 상당히 절약되었다"고 기술하였다.

이런 형태의 연구는 1930년대 초반까지 지속되었는데 기록에 의하면 이 기간 동안 미국 동부의 도시 지역에서 대단히 많은 양의 아스팔트 포장이 재활용되었다. 그러나 새로운 원유 정유소가 여러 곳 설립되면서 아스팔트의 공급량이 증가되어 새로운 아스팔트의 가격이 기존 아스팔트를 재활용하는 것보다 낮아졌기 때문에 이러한 연구는 별로 각광을 받지 못했다.

한편 Scott은 1953년 그의 특허에서 노후한 아스팔트 도로 포장을 잘게 부수어서 흐트러진 입자를 고 방향족 석유 추출 오일로 처리하여 재생 (Revivifying) 시키는 방법을 제시하였다. 심사 위원들은 1931년부터 1940년 사이에 허가된 17개의 특허를 이 특허 신청에 대항하는 문헌으로 인용하였다. 1955년 Neville 이 취득한 특허는 아스팔트 표층 재료를 회수하여 액상의 Hydrocarbon을 첨가하여 혼합하는 방법이다. 그는 이 특허의 심사에 1900년도부터 1943년도까지 허가된 5개의 특허가 참고문헌으로 인용되었다. 하지만 Scott이나 Neville 중 어느 누구도 설계 기준을 제시하거나 결과를 평가하지는 않았다. 그들은 단지 더 나은 혼합물을 얻는 법을 주장하였을

뿐이다.

2차대전을 전후로 해서 아스팔트 포장의 재활용은 저질(low-type)의 도로를 향상시키기 위한 건설 단계의 개념으로까지 구체화되었다. 기존의 포장 구조물을 재사용하고 개량시키는 이 방법은 포장 구조물을 단계적으로 강화시키는 과정으로서 이것이 바로 진정한 의미의 재활용의 시작이라 할 수 있다.

2. 미국의 아스팔트 포장재료의 재활용

1956년부터 미국에서는 주간 고속도로 (Interstate Highway System) 시스템의 건설이 시작되면서부터 재활용을 포함한 기존 포장의 재건과 유지보수로부터 보다 품질이 좋은 역청 재료를 사용한 신도로의 건설에 더 역점을 두기 시작하였다. 그러나 원유 값이 폭등하여 그에 따른 아스팔트 값이 상승하게 되면서, 그리고 주간 고속도로 건설 사업이 어느 정도 종료됨에 따라 경제성과 에너지 절약이라는 차원에서 재활용의 필요성이 다시 한번 부각되게 되었다.

1953년에 Scott는 “파쇄된 아스팔트 도로의 재생”에 관한 방법을 서술하기도 하였으며, 1955년 Neville은 아스팔트 포장의 재활용에 관한 공정으로 특허를 신청하기도 하였다. 즉, 그는 아스팔트 포장도로의 재활용 공정을 다음과 같이 분류하였다.

- ① 도로 기초에서 재료의 제거 과정
- ② 재료의 크기별 분류 과정
- ③ 끓는점(Boiling point)이 약 250℃에서 399℃까지이고 중량의 약 40%만큼의 방향성(aromatic)을 함유하고 있는 산화조절제의 첨가

과정

④ 이 조절제와 아스팔트 재료의 완전한 혼합 과정

⑤ 혼합물의 양생 과정

등이다. 그러나 Scott와 Neville의 논문은 어떠한 설계 기준이나 측정 결과들이 수립되어 있지 않았다. 그들의 주장은 단지 더 나은 혼합물을 제공하기 위한 방법의 제시뿐이었다. 포장을 재활용하기 위한 이들의 연구는 혼합물을 기계적으로 만들기 위하여 혼합물의 물리적 특성을 복원시키려는 방향으로만 수행된 것들이다.

재활용 아스팔트 포장재료의 성능과 노화 정도의 측정에 최초로 화학적·물리적 특성을 함께 고찰한 연구는 Rostler(1959)와 Vallergera(1963)에 의해서였으며, 이 이후의 연구들은 기존 장비를 재활용 현장에 이용할 수 있는가와 재활용의 경제적 이점과 타당성 등에 초점을 맞추어 진행되었다.

아스팔트 포장의 재활용 방법에 관한 두 가지 과정들이 1975년에 발표되었다. 이 두 과정은 모두 노후한 포장의 파쇄와 아스팔트 개질재의 첨가를 포함하고 있는데, 그 첫 번째는 “on-grade”라 불리는 것으로 현장에서 수행되는 방법이다. 즉, 이 방법은 재생할 아스팔트 포장재료를 plant로 운반하여 혼합물을 제조하지 않고 현장에서 그대로 적절히 혼합하여 다시 포장에 사용하는 방법이다. 이런 형태의 대표적인 실험이 수행된 것이 1975년에 Texas Highway Department에 의해 수행된 프로젝트이다(Lindley 1975).

또 다른 방법은 “off-grade”라 불리는 것으로 이것은 포장체를 제거하고 파·분쇄하여 이것을 hot plant로 운반하여 그곳에서 가공·혼합하여 다시 현장으로 운반하여 재포설하는 방법이다. 이 hot plant로는 기존의 pugmill과 drum mixer 또는 Mendenhall-type의 장치를 이용할 수 있었다. 또한

Dunning (1975) 등은 열의 대류 방식을 이용하는 드럼 믹서 혼합 방식 기계를 발명하여 노후한 아스팔트 콘크리트를 재활용하는데 이용하기도 하였는데, 이들은 이 기계를 공항과 고속도로의 아스팔트 재활용에 적용하여 만족할 만한 성과를 거두었다고 보고하였다.

1977년에 Davidson등은 노후한 아스팔트 포장의 화학적·물리적 결합을 밝혀 내고 포장공학자들이 이러한 결합들을 올바르게 치료할 수 있는 설계 지침서를 개발하였다. 즉 이들은 재활용된 아스팔트 포장의 내구성과 혼합시의 워커빌리티를 적정 수준으로 맞추기 위하여 첨가해야 할 개질재의 양을 결정하는 설계 방법을 개발한 것이다. 또한 Chrmichale(1977)등은 아스팔트 포장의 In-Place Recycling 방법에서 가열 방식의 문제점을 지적하고, 이것을 해결하기 위한 방법을 제시하기도 하였다. 이들은 여기서 가열 방식이 많은 이점을 갖고 있음에도 불구하고 보편화되지 못한 이유가 포장 표면의 가열시 사용되는 기계가 다양하기 때문에 적절한 가열 온도를 찾지 못하기 때문이라고 주장하면서 유한차분법(finite difference solution)을 이용하여 적정 온도를 예측할 수 있는 새로운 방법을 제시하였다.

한편 1980년대에는 Foamed Asphalt를 재활용 아스팔트 포장의 결합재로 이용하려는 연구가 미국 인디아나를 중심으로 많이 수행되었다. Foamed Asphalt란 가열된 아스팔트에 공기와 찬물을 주입하여 거품을 발생시킨 것으로 이것은 젖은 골재를 도포(coat)하고 접착시킬 수 있는 것으로 알려져 있다. Brennen(1983) 등은 이러한 Foamed Asphalt를 역청 포장의 재활용에 사용할 수 있는지 여부를 실내 실험을 통하여 규명하였는데, 이것은 양생 기간과 Foamed Asphalt의 함량을 다르게 하여 제작한 마샬 공시체를 이용하여 마샬안정도와 수분 취약성 등을 측정하여 Foamed Asphalt의

첨가량을 구하는 것이었다. 그 결과 재활용 혼합물에 0.5%의 Foamed Asphalt를 첨가했을 때 가장 높은 안정도 값이 나타났으며, 수분 취약성 실험에서는 1.0%의 Foamed Asphalt를 첨가했을 때 안정도 값이 가장 높게 나타났다고 주장하였다.

또한 공시체의 제작시 자이레토리 (Gyratory) 다짐 방법과 마샬 다짐 방법을 사용하여 다짐을 한 결과 자이레토리 다짐 방법의 경우가 마샬 다짐 방법에 비하여 안정도 값이 약 2배정도 증가하는 것으로 나타났다고 보고하였다. 또한 Foamed asphalt의 현장 시공성에 대한 연구가 1981년에 Adriaan Van wijk 와 Wood (1983)에 의하여 조사되었다. 즉 이들은 인디애나주의 14km의 도로에서 Foamed Asphalt를 결합재로 하여 상온 재생을 실시하여 본 결과 시공시 기존 장비의 이용이 가능하였으며, Recycling 과정 또한 간단하였다고 주장하였다. 그러나 이 방법을 사용하기 위해서는 수분 함량을 적절히 조절해야 한다는 것도 지적하였다.

상온혼합(Cold Recycling) 방법으로 생산된 아스팔트 혼합물의 장기 거동을 평가한 실험이 Mamlouk와 Ayoub(1983)에 의해 보고되었다. 이들은 Cold Recycling 방법으로 제작된 마샬 공시체를 이용하여 크리프 시험과 마샬 시험을 수행해 본 결과 재활용된 아스팔트 공시체의 크리프 컴플라이언스(Compliance)가 초기 경화시에는 급속히 감소되었지만 얼마 지나지 않아 변화가 없었고, 또한 마샬안정도의 값도 장기 양생된 후에는 어떠한 감소도 없었다고 보고하였다.

또한 Van Wijk(1984)은 Foamed Asphalt와 유제를 결합재로 사용하여 Cold Recycling한 두 포장층의 구조적 강도를 비교하기도 하였다. 그에 따르면 Cold Recycling 방법으로 도로를 포설한 후 처음 400일 동안은 두개의

실험 구역에서 모두 강성과 강도가 증가하였다. 그리고 처음 250일 동안은 Foamed Asphalt로 시공한 구간이 유제로 시공한 구간보다 강도가 더욱 빠르게 증가하였고, 또한 대부분의 평가 기간동안 Foamed Asphalt로 시공한 구간의 강도가 유제로 시공한 구간보다 조금 높게 나타났으나 그 차이가 아주 미세한 것이었다고 한다.

미국 인디애나주의 Rebecca S. McDaniel(1986년) 38번 주도로인 2차선 도로를 상온 재활용하는 연구를 수행하였다. 5년간의 연구에서 재생 포장과 일반 도로 재포장의 비용, 강도, 성과 등을 비교하였다. 육안으로 균열과 피로도의 진전을 조사하였고 코어를 채취하여 밀도, 공극율, 아스팔트 함량, 안정도 등을 측정하였다. 그 결과 포장 1년 후 재생된 포장은 일반 포장과 비교했을 때 더욱 상태가 좋게 나타났다. 횡반사균열(Transverse reflection crack)과 세로 확장 균열이 일반 재료로 포장한 부분에서 나타나기 시작하였고, 재생 포장된 부분에서는 어떠한 균열도 나타나지 않았다. 또한 두 종류의 포장에서의 휨변형은 큰 차이를 보이지 않았다.

Noureldin 과 Wood(1990)는 비파괴 시험을 이용하여 재활용된 아스팔트 포장의 성능을 실험실에서 측정하기도 하였다. 즉 그들은 음파 진동 속도 실험(sonic pulse velocity test)과 회복 탄성계수 실험, 그리고 마찰 시험 등을 이용하여 가열혼합 재활용 아스팔트 혼합물의 특성을 규명하였다. 또한 재활용 아스팔트의 두께 설계에 적합한 비파괴 실험법의 타당성을 입증하기도 하였다.

한편 1990년에 발표된 미 육군 공병단의 연구 보고서에는 아스팔트 포장의 가열 혼합식 노상 재생 방법에 관한 배합설계 과정 및 현장 시공법 등에 관한 연구 결과가 보고되었다. 또한 1990년 NCHRP 보고서에서는 Cold-

Recycling에 관한 여러 가지 배합설계 과정을 비교한 연구 결과를 발표하기도 하였다.

1995년 미국 조지아주 교통국 (Georgia Department of Transportation: GDOT)에서의 가열혼합 재생은 RAP 비율을 연속 플랜트에서는 최대 40%를 사용할 수 있고 배치 플랜트에서는 25%까지 사용할 수 있게 규정하고 있다. 그리고 보통의 아스팔트 포장에서는 AC-30을 사용함에 반하여 재활용 도로포장일 경우에는 AC-20을 사용하였다. GDOT에서는 일반 아스팔트 포장(비교용)과 비교하여 재활용 도로포장의 성능을 평가하기 위하여 약 4년간 반복하여 페아스팔트 재활용 포장을 시공하였다. 포장 후 18~27개월에 걸친 통계분석 결과 두 도로 사이에 특별한 품질상에 다른 점이 없음을 확인하였다. 그리고 10개의 비교용과 13개의 재활용 아스콘의 아스팔트 성질을 분석한 결과 점도와 침입도 또한 특이한 차이가 없음을 확인하였다.

미국 텍사스주 Texas Transportation Institute의 Joe W. Button등(1995년)은 가열 현장 재생 포장(HIPR)을 할 때의 시공성, 공용성, 비용 등을 연구하였다. HIPR은 예전의 재활용 기계가 표면이 심하게 노후화 되어 크랙킹과, 러팅 등이 심각하게 발생한 아스팔트 표면을 기준에 합당하게 수평 등을 맞추기 어려웠던 것에 비하여 근래의 많은 HIPR기계는 노후화된 표면(크랙, 러팅, 래블링(raveling), 박리, 마찰력 감소)을 재생 포장하여 모든 손상을 거의 완전히 제거할 수 있음을 보고하였다. 또한, 재생 포장 도로의 공용성은 8~12년간 유지되었음을 보고하였다. 그리고 비교용 도로와 비교하였을 때 표면을 재생 포장한 도로의 공용성 지수 (PSI: Present serviceability index)가 0.5가 적었는데 대체적으로 좋은 공용성을 유지하는 것으로 보고하였다.

3. 유럽 및 캐나다의 아스팔트 포장재료의 재활용

유럽에서는 1970년에 처음으로 현장 표층 재활용 방식에 의한 시공이 이루어진 것으로 보고되어 있으며 1977년에는 서독, 프랑스 등에서 본격적인 시험 시공이 이루어진 이래 현재는 표면 재활용 공법이 주류를 이루어 연간 200만 m^2 정도가 시공되고 있다.

캐나다 온타리오주에서는 1987년 교통부에서 구조적으로는 이상이 없으나 표면상의 피로를 보이는 고속도로에 대한 복원 방법으로서 가열 현장 혼합 재생법 사용 가능성을 결정하기 위한 시범 연구를 수행하였다. 이 연구에서는 포장을 40mm 깊이로 가열하여 현장 혼합 재생(HIR)하였다. 이 연구에서는 HIR방법이 원래의 가열혼합 재생을 능가하는 명확한 이점을 가진 실행 가능한 복원 기술이라는 것을 증명하였다. 그 이점은 다음과 같다. 교통 방해를 최소화할 수 있었고 골재의 품질 저하가 거의 없었고 세로 조인트를 만들 수 있었다. 그리고 재생 포장에 가지는 원래의 이점인 환경적이고 경제적인 차원으로 골재와 에너지를 보호할 수 있고 쓰레기가 발생하지 않는 것 등이었다. 그러나, HIR방법에서 해결해야 할 사항들이 있었는데, 이는 시공시 일관성을 유지하기 어려웠고 첨가제를 첨가할 때 통제가 어려웠다는 점이다. 그리고 재생 포장도로의 아스콘을 회수한 아스팔트의 침입도 분석 결과를 일반적으로 인정하지 않는 것 등이었다고 하였다.

그 후 브리티시 콜럼비아(B.C.)주의 표층 재생 가열 현장혼합 포장(1991년 400만 m^2)과, 온타리오주의 드럼 플랜트를 이용한 가열 포장(1991년 1300만톤), 뉴펀들랜드에서의 재생포장 등 캐나다 전역에서 상온과 가열혼합 포장이 이루어져 왔다. 그리고 페아스콘의 재활용을 시작한 지 13~15년간 되는 B.C.주, 앨버타주, 온타리오주 등은 RAP의 함량을 20~50% (사스캐취

안주는 30~70%)로 사용하였다. RAP의 함량은 각 주에 따라 최하 15%에서 최대 70%까지 사용 비율이 다르게 나타나는데, 이는 재생 방법과 재생 기술의 발전도 등에 따른 것이다.

RAP을 사용하는 방법은 MTO(Ontario Ministry of Transportation)에서의 연구에 따라 많은 발전이 있어 왔다. MTO는 RAP의 함량을 최대 30%로 설정하여 일반골재와 혼합하여 적합한 입도와 재료 성질을 얻게 하였다. RAP을 20%이상 사용하여 재활용하였을 때 CBR값이 눈에 띄게 저하되므로 신중히 시공하여 다짐이 적당히 되도록 하여야 함을 보고하였다.

4. 아세아에서의 아스팔트 포장재료의 재활용

1930년대 싱가포르에서의 재활용에 관한 연구 결과들이 Taylor (1978)에 의해 보고되기도 하였는데, "Recondo"라 불려진 이 과정은 Barber 아스팔트 플랜트를 사용하여 Sheet 아스팔트를 재활용한 것이었다. 또한 이러한 방법은 2차 세계대전 후 인도의 Bombay에서 소개되기도 하였다.

일본에서의 아스콘 재생 이용에 관한 연구는 1976년부터 연구가 이루어져 재포장과 절삭 덧씌우기에서 발생하는 포장폐재를 플랜트에서 가열 아스팔트 혼합물로 재생하는 공법이 1977년부터 실용화 단계에 들어가 1990년에 1757만톤이 발생되어 그중 50.6%가 재 이용되었으며 일본 전역에 산재되어 있는 291개소의 처리 시설에서 재생 아스팔트 생산량도 652만톤에 이르고 있다. 특히 노후된 간이 포장을 노상에서 기층 재료 재생하는 '노상 재생 기층 공법'이 최초로 1977년에 개발되어 시행하고 있다.

이스라엘에서 포장 재활용은 1984년에 상온혼합으로 처음 시도되었다. 그 후 여러 방법에 의해 재생 포장이 이루어져 왔는데 가열 현장 혼합 재생

이 가장 일반적이고 실제적인 포장 방법으로 쓰이게 되었다. Ilan Ishai(1994)가 재생 포장의 아스팔트 특성 변화를 일반 포장과 비교·분석한 결과 가열 현장 혼합 재생시 도로의 물리적 역학적 특성에 나쁜 영향을 끼치지 않았고, 고속도로용의 기준에도 매우 적합함을 알 수 있었다.

이와 같이 전 세계적으로 아스팔트 포장의 재활용은 상당한 연구와 경험을 통해 실용화되고 있으며, 건설비용과 비용절감비는 지역적 특성에 따른 변수에 많은 영향을 받아 다소 차이가 있다. 즉 첨가될 첨가제, 새로운 골재 등의 양과 각 지역 골재 등의 재료 가격과 연료비 등에 따라 변동이 심하다고 하였다. 미국의 경우 25mm를 깎아 내고 다시 그 위에 25mm로 재생 포장한 가격은 깎아 내는 과정에서 $\$1.2/m^2$, 재생 포장하는 과정에서 $\$1.97/m^2$ 으로 총 $\$3.17/m^2$ 의 비용이 소용되었다. 보편적으로 위와 같은 포장 시에는 소요 비용이 $\$3.5/m^2$ 으로 알려져 있는 데 보통의 포장과 비교했을 경우 25%정도의 비용 절감 효과를 얻을 수 있었다. 그리고 이와 같은 재활용은 일반적으로 노후 아스팔트를 깎아 내고 그 위에 새로운 재료를 이용한 포장을 덧씌우는 것 보다 5~50%의 비용을 절감할 수 있다고 알려져 있다.

제 3 절. 재활용 방법의 분류

아스팔트 포장의 재활용 방법은 여러 가지가 있다. 이들 중 한 방법을 선택하기 위해서는 기존 포장체의 구조와 형태, 노화 및 파손 정도를 정확히 파악하여야 한다. 아스팔트 재활용의 방법들은 사용된 장비의 종류와 작업 깊이, 작업이 수행된 장소, 그리고 혼합 과정에서의 가열 여부 등에 따라 구분된다.

미국 Asphalt Institute 와 National Asphalt Pavement Association은 재

활용의 방법을 작업 형태에 따라 Hot mix Recycling 방법과 Cold mix Recycling 방법, 그리고 Surface Recycling 방법 등으로 분류하였고, EPP 등과 NCHRP에서는 작업 장소에 따라 Surface Recycling 방법과 In-place Surface and Base Recycling 방법, 그리고 Central Plant Recycling 방법 등으로 분류하였다. 그러나 본질적으로 두 분류는 모두 같다. 즉 hot mix recycling 은 central plant recycling과 거의 유사하고, cold mix recycling은 in-place surface and base recycling과 거의 비슷하다. 그래서 요즈음에 가장 일반적으로 사용되는 재활용 방법의 분류는 후자의 분류법을 사용하고 있다. 이 분류법에 의한 각 공법의 일반적인 특징과 문제점은 다음과 같다.

1. 표면 재활용 공법 (Surface Recycling)

이 방법은 기존 아스팔트 포장의 표면을 현장에서 깎아 내거나(planed) 분쇄(milled) 또는 가열 (heated) 하여 재활용하는 방법이다. 가열하는 방식의 경우에는 포장체를 긁어 부수어 (scarified) 가열·재혼합한 후 포설하여 다짐을 하는 방법이다. 이 과정에서 기존 재료를 필요로 하는 혼합물로 만들기 위하여 새로운 아스팔트나 새로운 골재 등을 첨가할 수도 있다. 이렇게 하여 생산된 최종 혼합물은 아스팔트 포장의 표층이나 아스팔트 덧씌우기에 사용된다.

이 방법은 1970년대를 전후로 해서 가장 광범위하게 사용되었던 재활용 방법으로 포장을 재건(rehabilitation)하기 전에 수행되는 표면 처리 방법으로 특히 유용하게 사용되었으며, 또한 피로 하중에 의한 표면의 결함을 바로잡는 방법으로 쓰이기도 하였다. 이 방법은 기존의 덧씌우기 방법으로 쉽게 고칠 수 없는 도로의 구조적 결함(curbs, manholes, catch basins 등)이나

도로의 기하학적 결함(overlay buildups, vertical clearance, roadway cross-slopes 등)들을 바로잡는데 가장 적합한 방법으로 알려져 있다.

Surface Recycling은 1인치 두께 전·후 포장 구조의 결함을 바로잡는데 사용되는데, 이들 중 몇몇 방법들은 결함이 있는 표면 재료를 제거한 후 이들을 다른 장소에 재 사용하거나 재활용하기도 한다.

표면 결함의 주된 원인은 포장의 노화로 인하여 발생하는 산화 작용에 기인한 것이다. 이 문제를 해결하기 위한 대부분의 기존 유지 보수나 재건 방법들은 이 결함을 제거할 수 있는 충분한 두께의 overlay를 포설하는 방법들이었다. 그러나 Coons 와 Wright(1968)의 연구에 의하면 포장의 노화나 산화는 포장 표면의 1/2인치 이내에서 발생한다는 것이 밝혀졌다. 즉 이들은 포설 된지 1년에서 13년이 경과한 여러 아스팔트 도로에서 직경 6인치의 코어를 채취하여 이들을 1/4인치 두께로 잘라서 각 조각마다의 아스팔트의 특성을 조사하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- ① 노화의 정도를 나타내는 아스팔트의 점도는 맨 위 부분의 경우는 두 번째 부분과 비교하였을 때 약 50%가 증가하였다.
- ② 점도의 변화가 가장 크게 일어나는 부분은 표면 바로 아래 부분이었다.
- ③ 포장 표면에서 1/2인치 부분까지가 나머지 부분보다 훨씬 더 많이 재령의 영향을 받았다.
- ④ 1 1/2 인치 이하 부분의 아스팔트는 재령의 영향을 거의 받지 않았다.

따라서 Surface Recycling 방법은 노령(Aged)이나 아스팔트의 산화와 관련된 표면 결함의 처리에 가장 적합하다고 할 수 있다. 즉 포장의 표면

부분을 제거하거나 회복시킴으로서 거의 원래의 결합재의 특성을 복원시킬 수 있다는 것이다.

표면 재활용 방법은 포장 표면을 처리할 때 가열 여부에 따라서 상온 표면 재활용 방법과 가열 표면 재활용 방법으로 구분된다. 가열 표면 재활용 방법은 포장 제거 과정을 수월하게 하기 위한 방법으로 열에너지를 이용하여 표면 재료를 가열시키는 방법이다. 이 작업을 수행하는데는 heater-planers, heater-scarifiers, hot millers 등의 기계가 사용된다. 가열 표면 재활용 방법을 이용하는데 가장 큰 문제점은 열에너지의 적절한 수준을 선정하는 것이다. 너무 높은 온도는 포장재료를 손상시킬 뿐만 아니라 대기오염도 발생시키게 되며, 온도가 너무 낮게 되면 포장의 제거 과정이 지연되거나 표면 재활용 공정이 방해받기 때문이다.

상온 표면 재활용 방법은 포장 제거 과정에 도움을 주기 위해 열에너지를 이용한다기 보다는 기계 에너지를 이용하는 방법이다. 이 방법에 사용되는 장비로 가장 널리 알려져 있는 장비가 포장 표면 재료를 제거하기 위한 cutting 날과 회전 드럼이 장착되어 Cold planing을 수행하는 milling machine이다. 이 방법을 사용할 경우 온도 때문에 발생하는 아스팔트 결합재의 품질 저하나 산화 작용은 없다. 그러므로 cold miller는 포장재료를 제거하는데 Hot Surface Recycling 장비보다는 단위당 에너지 소모가 적고 통과 횟수 당 제거량이 많으며 동시에 더 정확하게 cutting 할 수 있다.

역사적으로 이 두 가지 형태는 수년 동안 광범위하게 사용되어 왔다. Cold Planing이 처음 도입된 것은 1930년대로 주로 여분의 아스팔트나 손상된 포장재료를 제거하는데 사용되었으며, 가열 표면 재활용 방법은 1950년대 초에 도입되어 1960년대에 포장재료의 제거에 필요한 노력을 절감시키고

제거 작업을 신속히 하기 위하여 많이 사용되었다.

2. 플랜트 재활용 공법 (Central Plant Recycling)

그 동안 포장 기술자들과 아스팔트 생산자들에게 가장 많은 관심의 대상이 된 재활용 방법은 바로 Central Plant Recycling 방법이다. 이 방법은 아스팔트 포장재료를 제거하여 이 폐기 재료들을 central plant로 운반하여 회수된 재료들을 가열 혼합하는 과정에서 새로운 재료들을 첨가하는 방법이다. 이렇게 재생된 골재는 기존의 포설 장비를 이용하여 노반 위에 다시 포설 된다. 이러한 재활용 과정을 거치는 동안 기존 포장의 구조적 성능을 상당히 개선시킬 수 있는 것으로 입증됐다. 그리고 기층과 보조기층을 아스팔트 포장재료가 제거된 후에 다시 건설할 수도 있기 때문에 기존 포장의 근본적인 결함도 해결할 수 있다.

일반적으로 회수된 아스팔트 포장재료들은 그것이 비록 제거되는 과정에서 파쇄 되었다 할지라도 Central plant 현장에서 골재 파쇄 장비를 이용하여 다시 한번 파쇄 해야 한다. 이렇게 파쇄된 골재들은 입경별로 분리되어 중앙 플랜트에 공급되어 혼합하게 되는데, 이 과정에서 기존의 노후한 아스팔트와 골재의 품질이 개선되게 되는 것이다.

Central Plant Recycling 방법을 이용하여 아스팔트 재료를 재활용할 때 가장 큰 문제점이 회수된 결합재가 건조 열에 의해 연소되면서 산화되는 것이다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방법으로 골재의 가열을 2중 공급 장치를 이용한 열전도 방식에 의하여 가열한다.

이 열전도 방법에 따라 Central Plant Recycling 방법은 크게 두 가지로 구분된다. 즉, 그 첫 번째 방법은 Batch Plant Recycling 방식이다. 이 방법

은 새로운 골재를 건조로 안에서 고온으로 가열시킴과 동시에 회수된 포장 재료들을 건조로의 측면을 통하여 batch plant tower에 직접 공급한다. 이렇게 하여 회수된 포장재료들은 Batch Plant의 계량 hopper와 pugmill에서 고온으로 가열되어 있는 새 골재에 의하여 가열되게 함으로써 아스팔트의 산화가 방지된다.

두 번째 방법은 Drum Mixer Recycling 방식으로 이것의 열전도 과정은 다음과 같은 3가지 방법이 사용된다. ① 배기가스에 의해 간접적으로 가열하는 방법, ② 드럼 내의 온도 분포를 조절하여 거친 공기 혼합 작용을 발생시켜 생기는 대류 열을 이용하는 방법, ③ 드럼 앞쪽에 있는 새로운 골재를 높은 온도로 가열하여 이것을 드럼 중앙으로 접근시켜 환류나 열전도에 의하여 드럼 중앙에 있는 골재를 가열하는 방법 등이다. 이렇게 Batch Plant나 Drum Mixer Plant에서 소정의 온도로 혼합된 혼합물들은 Surge bin이나 트럭에 적재되어 기존의 포장 기계와 다짐 기계를 이용하여 다시 포설 된다. Central Plant Recycling에서는 두 가지 혼합 방식 모두 기존의 장비를 사용해도 되지만 개조를 하거나 재활용 kit를 추가하면 더욱 능률적이다.

3. 현장 재활용 공법(In-place Surface and Base Recycling)

이 방법은 노후한 도로를 노면에서 1인치 이상의 두께로 분쇄하여 재생 처리한 후 다시 고르게 펼쳐 놓고 다짐을 하는 방법이다. 이 과정에서는 필요하다면 새로운 골재나 결합재를 첨가할 수도 있다.

다양한 종류의 장비와 건설 기술이 아스팔트 포장재료를 노면에서 재활용하기 위하여 사용되어 왔는데, 이 방법의 가장 일반적인 형태가 상온 현

장 재활용 방법이다. 일반적으로 새로운 재료로 overlay를 하거나 아스팔트 표면을 보수했을 경우에는 재생된 포장의 구조적 강도를 증가시키기 위하여 물의 침입을 막고 교통을 통제해야 한다. 그러나 이 방법은 노면에서 직접 수행되고 열을 가하지 않기 때문에 작업 당시만을 제외하고는 이내 소통이 가능하기 때문에 교통 통제가 거의 필요 없다.

또한 현장 재활용 방법은 기존의 도로 건설 장비를 이용하여 수행할 수 있으며, 아스팔트 재료가 보조기층 위의 제자리에서 재활용되기 때문에 운반비용이 필요 없고, 앞서 언급한 2가지 재활용 방법보다 에너지 소모가 적기 때문에 재활용 비용이 상당히 절약된다. 그러나 이 방법의 가장 큰 문제점은 재활용된 생산물의 품질을 조절할 수 없다는 것이다. 즉 현장에서 재료를 재활용할 때 골재의 입도, 하부 층의 재료가 섞이는 현상 등을 통제(Control) 할 수 없고, 사용되는 장비와 기술에 따라 생산품의 품질에 차이가 많이 나기 때문에 최종 생산물의 품질관리가 힘들다는 것이다.

아스팔트 포장을 노면에서 재활용하기 위해서 가장 먼저 해야 할 일은 기존 포장을 청소하고 제거하는 것이며 그 다음이 회수된 포장재료를 파쇄하고 분쇄하는 과정이다. 그리고 그 다음 공정은 필요한 경우에는 재료를 추가하여 회수된 재료와 혼합하는 것이고 마지막으로 이것을 고르게 포설하고 다지는 것이다.

이러한 과정을 수행하는데 있어 단순한 장비로부터 상대적으로 복잡한 장비에 이르기까지 그 사용 장비는 매우 다양하다. 그러므로 재활용된 혼합물에 첨가할 새로운 결합재의 종류는 혼합의 형태와 포설과 다짐에 사용된 장비에 따라 조절해서 사용해야 한다. 최종 재활용된 포장의 양과 품질은 포장의 제거와 파쇄 과정에서 적절한 장비를 선택했는가에 좌우된다.

즉 선택된 장비의 종류는 재활용량을 조절할 뿐만 아니라 재활용 과정에 관련된 비용에 커다란 영향을 끼친다.

제 4 절 결 론

우리 나라 Recycling 공법의 수준이 매우 초보적인 단계임을 고려하여, 지금까지 아스팔트 포장의 재활용 방법에 대하여 외국의 연구 사례를 중심으로 개괄적으로 살펴보았다.

아스팔트 포장의 재활용은 점점 더 심각해지고 있는 자원 부족난을 해결할 수 있고, 기존 포장체의 폐기물을 이용하므로써 환경문제도 해소할 수 있으며, 자원을 재활용할 수 있다는 장점이 있다. 이와 같은 효율적인 방법을 우리 나라에서도 더욱 활용해야 하며, 그러기 위해서는 많은 실험이 뒷바침 된 기본 연구가 체계적으로 수행되어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Carmichael, T. (1977), "Modeling Heater Techniques for In- Place Recycling of Asphalt Pavements," Proc. AAPT, Vol. 46, pp. 526~540.
2. Davidson, D. D. (1977), "Recycling of Substandard or De- teriorated Asphalt Pavements-A Guideline for Design Procedures," Proc. AAPT, Vol. 47, pp. 496~525.
3. Scott, F. S. (1953), U. S. Patent 2,639,651, May. 26.
4. Neville, C. A. (1955), U. S. Patent 2,701,213, Feb. 26.
5. Rostler, F. S. (1959), U. S. Air Force Pavement Conference, Berkeley, California, 27-31 July, pp. 333~354.

6. Vallerger, B. A. (1963), Highway Research Board Record 24, pp. 62~105.
7. Lindley, B. R. (1975), Report No. 613-1, State Department of Highways and Public Transportation, State of Texas, October.
8. Adriaan Van wijk and Wood, L. E. (1983), "Use of Foamed Asphalt in Recycling of an Asphalt Pavement," TRR 911, TRB, 96~103.
9. Brennen, M., Tia, M., Altschaeffl, A. and Wood, L. E. (1983), "Laboratory Investigation of the Use of Foamed Asphalt for Recycled Bituminous Pavements," TRR 911, TRB, 80~87.
10. Mamlouk, M. S. and Ayoub, N. F. (1983), "Evaluation of Long-Term Behavior of Cold Recycled Asphalt Mixture," TRR 911, TRB, 64~66.
11. Van Wijk, A. J. (1984), "Structural Comparison of Two Cold Recycled Pavement Layers," TRR 954, TRB, 70~77.
12. Dunning, R. L., Mendenhall, R. L. and Tischer, K. K. (1975), "Recycling of Asphalt Concrete Description of Process and Test Sections," Proc. AAPT, Vol. 44, pp. 537~563.
13. Samy Noureldin, A. and Wood, L. E. (1990), "Laboratory Evaluation of Recycled Asphalt Pavement Using Nondestructive Tests," TRR 1269, TRB, 92~100.
14. NAPA, (1979), "Recycling," Construction Digest, Vol. 51, No. 27, pp. 20~38.
15. Taylor, N. H. (1978), "Life Expectancy of Recycled Asphalt Paving," Recycling of Bituminous Pavement, ASTM STP 662, pp. 3~15.
16. Shoenberger, J. E. and Vollar, T. W. (1990), "Hot In-Place Recycling of Asphalt pavements," Technical Report GL-90- 22, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.

17. Epps, J. A. (1990), "Cold-Recycled Bituminous Concrete using Bituminous Materials," NCHRP Synthesis 160.
18. Coons, R. F. and Wright, P. H. (1968), "An Investigation of the Hardening of Asphalt Recovered from Pavements of Various Ages," Proc. AAPT, Vol. 37, pp. 510~528.
19. LaHue, S. F. (1980), "Economix of Recycling," TRR 780, TRB, 1~4.

여 백

제 3 장

재생 골재의 활용도 증진 방안 연구

여 백

제 3 장 재생골재의 활용도 증진 방안 연구

제 1 절 서 론

본 연구는 1차년도 연구 결과에 대한 심사에서 심사 위원들이 폐콘크리트의 재활용 용도를 향상시키기 위하여 폐콘크리트 재생골재를 ① 재생콘크리트 제조시보다 많은 량을 사용하기 위한 방안 연구, ② 이를 아스팔트 혼합물 제조시 골재로 사용 가능성 여부 연구를 수행할 것을 제시하였다. 하지만 2차년도 연구는 이미 계획이 서 있었고, 상기 두 과제는 각각이 자체적으로 하나의 연구 과제가 될 정도로 많은 량의 시간과 노력이 필요한 것들이다. 따라서 본 2차년도 연구에서는 기 계획된 내용 이 두 가지 내용을 추가하여 아주 기초적인 연구만을 수행하였다.

추가로 제시된 내용 중 첫 번째 것은, 1차년도 수행시 재생골재를 50% 함유하여 재생콘크리트를 제조하던 것을 더 증진시킬 목적으로 재생골재 함량을 60~80%까지 향상시키고 이 재생골재의 함량 변화에 따른 콘크리트의 각종 특성을 실험적으로 규명하였다. 또한 두 번째 것은 재생콘크리트 제조에 사용되었던 폐콘크리트로부터 얻어진 재생골재를 아스팔트 혼합물용 골재로 재활용하기 위한 연구를 수행하였다. 이는 폐콘크리트로부터 얻어진 재생골재를 콘크리트로 재활용할 뿐만 아니라 아스팔트 포장용 골재로의 사용 가능성을 실험을 통하여 규명하고자 한 것이다.

본래 폐콘크리트 재생골재는 흡수율이 크고 마모율도 비교적 높으며 비중이 낮아 골재로서의 품질 시험을 충분히 하여야 하며 재생골재를 아스팔트 포장도로의 안정 처리 기층 재료로 사용할 수 있을지 여부를 주된 목표로 하여 실험을 수행하였다. 이는 세계적으로 아직 시도된 예가 드물고 연

구·보고된 문헌도 매우 드물어 본 연구팀의 그간의 경험에 의하여 국내 규정에 맞는 아스팔트 콘크리트 혼합물을 제조 가능한지에 일차적 관심을 두고 수행되었다.

제 2 절 재료 및 방법

1. 사용 재료

가. 재생골재

본 실험에서는 실용성의 확보를 위해 재생콘크리트 제조를 위해서는 일반적으로 가장 많이 쓰이는 국내산 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다. 재생골재(Recycled aggregate)는 춘천 지역 건설폐기물 중간 처리장에서 수거된 폐콘크리트를 실험실에서 최대치수 25mm로 파쇄 하여 사용하였다. 한편 천연골재(Virgin aggregate)로는 강원도 춘천시 남면의 석산에서 채취한 편마암 쇄석 굵은골재(최대치수 25mm)와 동 지역의 하상에서 채취한 자연산 강모래를 사용하였으며, 이는 비교용 일반 콘크리트(Control)와 재생콘크리트 제조시 혼합용으로 사용되었다. 사용된 재생골재 및 천연골재의 물리적 성질 및 마모율은 다음과 같다.

표 3-1. Physical properties of aggregates

종류 \ 항목	SSD Specific gravity	Absorption (%)	Unit weight (kg/m ³)	Abrasion (%)	F. M
Recycled coarse aggregate	2.29	7.48	1,695	45.7	-
Virgin coarse aggregate	2.62	0.7	1,713	24.3	-
Virgin fine aggregate	2.60	1.26	1,490	-	2.5

본 연구에서는 혼화재료로 값이 저렴하고 취급이 용이하며 선진국 연구에서 가장 많이 사용한 Fly Ash를 사용하였으며 그 특성은 다음과 같다. 또한 작업성의 증진을 위하여 국내산 S사 제품 유동화제(Plasticizer)를 사용하였다.

표 3-2. Chemical Composition and Physical Property of Fly Ash

Chemical Composition (%)					Physical Property	
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Ig.Loss	Specific Gravity	Fineness
89.8	0.3	0.2	1.0	4.5	2.23	3200cm ² /g

아스팔트 혼합물 제조를 위해서도 재생골재는 25mm체를 통과하고 #4체에 남는 재생 굵은골재만을 사용하였으며 잔골재는 강모래를 사용하였다. 이는 역시 재생 굵은골재보다도 흡수율이 훨씬 높은 재생 잔골재를 사용할 때 아스팔트를 크게 흡수하여 아스팔트 소요량이 높아지며 또한 잔골재의 품질 불량으로 인한 아스팔트 혼합물의 품질 저하를 우려하였기 때문이다.

나. 아스팔트

사용된 아스팔트는 국내산 Y사의 AP-3로 침입도 등급 85~100인 제품이다. 이는 국내 추풍령 이북 지역에서 가장 널리 쓰이는 것이다.

표 3-3. Physical properties of asphalt cement (AP-3)

Penetration (0.1mm)	Ductility (cm)	Flash point(°C)	Pen. ratio after TFOT(%)	Asphaltene content (%)	Solubility in trichlorethylene (%)	Specific gravity
91	150	45.0	60.4	8.0	99.4	1.03

2. 시험 방법

가. 재생콘크리트 배합설계

본 연구에서는 재생골재를 가능한 한 많이 사용하면서도 합성 골재의 입도 등이 규정에서 벗어나지 않는 범위 내에서 재생골재 사용 비율을 정하였다. 따라서 재생 굵은골재를 전체 굵은골재 량의 50%, 60%, 70%, 80%씩 각각 사용하여 배합비를 결정하였다. 여기서 재생 굵은골재를 100% 사용하는 경우는 배제하였는데 이는 파쇄된 재생 굵은골재 그 자체만으로는 대개 입도 및 마모율 규정에 부적합하여 어느 정도 일반골재를 첨가해야 하기 때문이다. 또한 재생 잔골재의 사용은 배제하였는데 이는 선진국에서의 연구를 토대로 결정한 것이다.

재생 굵은골재는 파쇄된 폐콘크리트를 체가름 하여 25mm 체를 통과하고 No.4 에 남는 것들이다. 한편 비교용 콘크리트는 전부 천연골재만을 사용하여 제조하였다. 모든 콘크리트에 유동화제 첨가 후 현장에서 약 16 ± 2 cm의 슬럼프를 얻기 위해 사전 실험을 통하여 결정한 Fly Ash를 시멘트 량의 5%, 유동화제를 시멘트 량의 1%씩 사용하였으며 이에 대한 최종 배합설계 표는 다음과 같다.

표 3-4. Results of mix design.

Ratio	Slump ¹ (cm)	Air (%)	W/C (%)	S/a (%)	Unit Weight (kg/m ³)						
					W	C	Fly Ash	Plast- icizer	Sand	Coarse Agg.	
										Virgin	Recycled
Control	4/16±2	5	42.9	41	163	380	19	3.8	673	1050	-
50 : 50										525	459
60 : 40										420	551
70 : 30										315	643
80 : 20										210	735

¹ Slump values before/after adding plasticizer

나. 공시체 제작 및 시험 방법

공시체는 KS F 2403의 규정에 따라 제작하였으며 혼합은 강제식 믹서로 하였다. 공시체의 규격은 지름 10cm, 높이 20cm의 원주형과, 9×12×52cm 인 각주형 鋼材몰드를 사용하였다. 원주형 공시체는 3층으로 나누어 다짐 붓으로 각각 25회씩, 각주형 공시체는 2층으로 나누어 바이브레이션 테이블 위에서 진동을 가하면서 각각 25회씩 붓으로 다짐하여 실온에서 양생 24시간 후 탈형하여 25℃ 수중에서 28일간 양생한 후 시험에 사용하였다.

다. 재생골재 아스팔트 콘크리트의 배합설계

재생골재는 그 자체의 품질이 일반골재만 못하므로 이를 아스팔트 혼합물에 사용할 때 고품질이 요구되는 표층보다는 앞서 언급하였듯이 기층용 골재로 사용하는 것이 더 합리적인 방법이라고 판단되었다. 따라서 폐콘크리트 재생골재를 아스팔트 안정처리기층용 BB-1(건설부 지방서) 아스팔트 혼합물(재생골재 아스팔트 콘크리트: Recycled aggregate asphalt concrete: RAAC) 골재로 사용키 위한 마샬 방법에 의한 배합설계를 수행하였다.

아스팔트 함량은 재생골재의 흡수율이 크므로 비교적 높은 6~8%사이로 시험 배합을 수행하였다. 재생 굵은골재는 BB-1 입도 규정에 적합하도록 체가름을 통하여 사전 조정하였다. 표 3-5에서 보여주듯이 굵은골재는 모두 재생골재로 대체하였으며 골재 전체에 대한 중량은 69%로 고정하였으며 아스팔트 함량에 따라 혼합물 전체 중량의 63~65% 범위에 해당되는 양이었다. 이는 골재 혼합용 컴퓨터 프로그램을 이용한 범위 안에서 결정된 것이다. 근본적으로 이는 재생골재를 최대한 사용하면서도 아스팔트 안정처리기층용 골재 규정에 적합한 범위 안에서 혼합물을 제조할 수 있도록 결

정된 것이다.

따라서 재생 굵은골재만을 모두 사용하여 RAAC 제조가 성공할 경우 굵은골재의 전부를 그리고 골재 총 중량의 69%를 재생골재로 대체하는 효과를 가져올 것이다. 또한 채움재량은 규정 범위에서 높은 쪽인 7.5%를 사용하였는데 이는 재생 굵은골재의 많은 공극을 충분히 채워 줄 수 있도록 하기 위한 조치였다.

표 3-5. 재생골재 아스팔트 콘크리트(RAAC)의 배합설계표

아스팔트		골재							총중량 (g)
		재생 굵은골재		천연 잔골재		채움재		소계	
함량(%)	g	g	%	g	%	g	%	g	
6	70.8	765.3	64.86	260.7	22.09	83.2	7.05	1109.2	1180
7	82.6	757.2	64.17	257.9	21.86	82.3	6.97	1097.4	1180
8	94.4	749.1	63.48	255.1	21.62	81.4	6.90	1085.6	1180

주: 골재 총 중량에 대한 재생 굵은골재 : 천연 잔골재 : 채움재의 비율은 69 : 23.5 : 7.5임

라. 마샬 특성치 측정

배합설계를 위해 마샬 공시체를 제작하였다. 마샬 공시체는 직경 10cm, 평균 높이 6.3cm로 공시체 양면을 각각 50회씩 다짐하여 제조하였다. 제조된 재생골재 아스팔트 혼합물에 대한 공시체는 마샬 특성치인, 공극율, 밀도, 마샬안정도 및 흐름을 측정하였다. 공시체는 양면을 50회씩 다짐하였으며 24시간 후 탈형하여 물리적 성질을 측정하고 60°C 물에 30분간 침수한 후 물기를 제거하고 바로 마샬안정도 몰드에 넣고 안정도와 흐름값을 측정하였다.

제 3 절 결과 및 고찰

1. 재생콘크리트의 특성

콘크리트의 작업성은 KS F 2402 방법에 따라 슬럼프로 시험하였다. 모든 배합에서 물-시멘트 비는 42.9%로, 유동화제 첨가 전 슬럼프는 약 4cm가, 유동화제 첨가 후에는 15~18cm가 얻어졌다. 콘크리트의 압축강도 시험은 KS F 2403, 3405에 의하여, 휨강도 시험은 KS F 2408 에 의하여, 인장강도 시험은 KS F 2423 에 따라 시험하였다. 콘크리트의 탄성계수 시험은 KS F 2438 중에서 스트레인 게이지를 사용하여 파괴 하중의 40% 까지 반복하여 얻어진 세컨트 계수로 구하였다. 파괴인성(Fracture toughness) 시험은 휨강도 시험용과 같은 공시체에 초기 균열비 0.3의 Notch를 만들고, 3점 재하시험으로 측정하였으며, 이 데이터를 토대로 ECM 방법에 의하여 파괴인성(K_{Ic})을 계산하였다. 이 모든 특성의 측정 결과를 표 3-6에 나타내었다. 또한 각각의 강도를 비교용 콘크리트의 해당 강도 값에 대한 비율로 환산한 것을 그림 3-1에서 보여주고 있다.

표 3-6. Various test results

Ratio of using recycled agg. (%)	Slump before / after plasticizer use (cm)	Elastic modulus (kg/cm ²)	Compressive strength (kg/cm ²)	Flexural strength (kg/cm ²)	Split tensile strength (kg/cm ²)	Fracture toughness (Mpa · m ^{1/2})
0(Control)	4.2 / 18.0	262,010	366.3	52.2 (14.26%)	33.99 (9.28%)	1.129
50	3.4 / 16.2	260,400	339.2	43.86 (12.93%)	31.29 (9.22%)	1.090
60	3.8 / 17.1	243,480	313.9	41.51 (13.22%)	29.88 (9.52%)	0.858
70	3.6 / 17.1	228,350	243.0	38.63 (15.89%)	23.78 (9.78%)	0.762
80	3.7 / 15.6	222,879	226.7	36.1 (15.92%)	21.8 (9.62%)	0.763

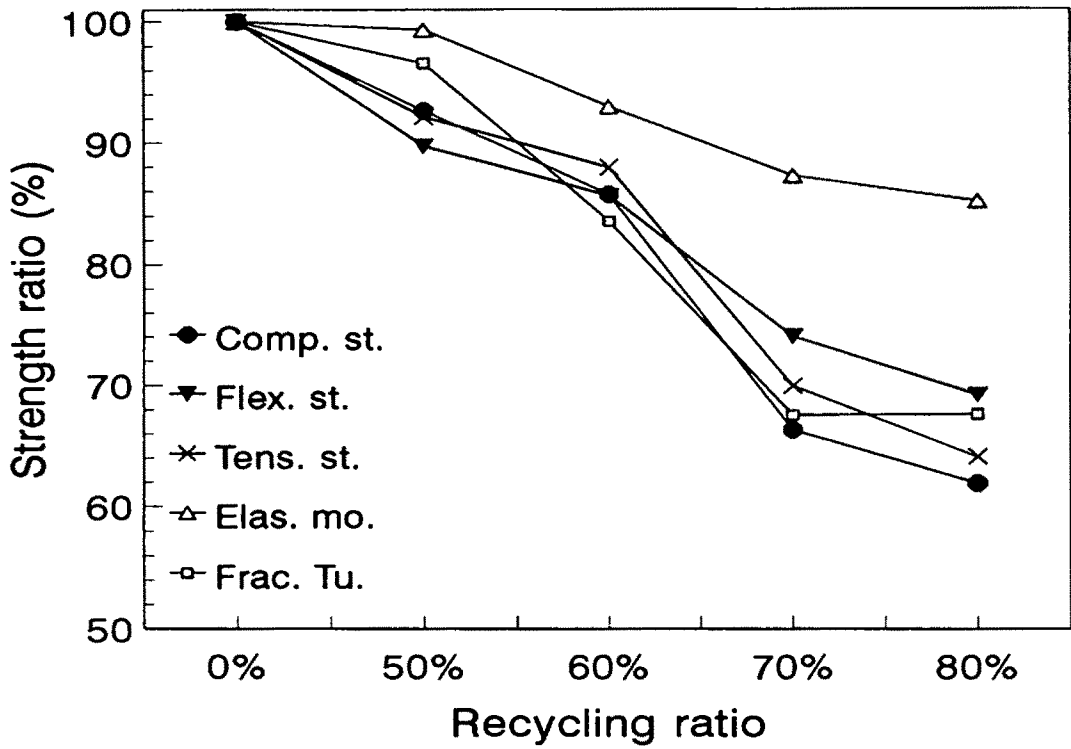


그림 3-1. Relationship between strength and ratio of using recycled aggregate.

재생골재 배합비가 증가함에 따라 재생콘크리트의 모든 특성은 저하되었다. 재생콘크리트의 압축강도는 재생골재의 배합비율이 50%에서 80%로 증가함에 따라 비교용 콘크리트의 약 93%에서 62% 수준으로 저하되었다. 특히 재생골재의 함량이 60%와 70% 사이에서 상대적으로 크게 떨어지는 현상을 보였다. 또한 이와 유사한 현상은 인장강도에서도 나타났다. 반면 휨강도의 경우는 50%부터 80%까지 비교적 균등한 비율로 저하되었고, 탄성계수는 가장 적게 그리고 파괴인성은 60% 이상에서 크게 낮아진 후 70%와 80%에서는 차이가 없어 특성별로 다소 차이를 나타냈다.

비교용 콘크리트의 파괴인성은 $1.129\text{Mpa}\cdot\text{m}^{1/2}$ 이며 재생골재 배합비 50%, 60%에서는 비교용에 96.5% 및 83.5%로 매우 양호한 편이었다. 그러나 재생골재 배합비 70%, 80%에서는 67.5% 수준으로 급격히 떨어졌다. 한편 탄성계수는 모두 85% 이상으로 비교적 양호한 편이었다.

재생골재 배합비별로 휨강도 값을 해당 압축강도와 비교한 결과 휨강도는 약 12.9~16% 사이의 수준이었다(표 3-6의 괄호 안의 값). 그런데 재생골재 사용 비율이 50%에서는 가장 낮은 12.9%에서 80%로 증가함에 따라 상대적으로 강도 수준이 가장 높은 16% 까지 증가하는 경향을 보였다. 한편 인장강도의 압축강도에 대한 비율은 재생골재 사용 비율의 변화에 따라 큰 차이를 보이지 않고 모두 9~10% 수준의 값으로 나타났다. 그러나 이는 인장강도가 압축강도의 10% 내외, 휨강도가 압축강도의 15% 내외라는 일반적으로 알려진 비율과 유사한 것이었다.

상기의 결과 중 압축강도, 휨강도 및 인장강도 등 3가지의 강도 치를 비교용 콘크리트의 해당 강도에 대한 비율을 이용하여 Nonparametric 선형 회귀분석을 수행하였다. 즉, 재생골재를 하나도 사용하지 않은 경우에 대하여 사용 비율에 따라 저하되는 강도비를 추정하기 위하여 회귀 분석을 수행하였다. 여기에 종속변수로는 비교용 콘크리트의 강도에 대한 비율이 사용되었고 독립변수로는 각 재생골재 배합비 0%부터 80%가 "순서(Order)"로 사용되었다. 즉, 독립변수로 0%, 50%, 60%, 70%, 80%를 Nonparametric 순서 값인 1, 2, 3, 4, 5 로 대치하여 사용하였다. 따라서 이 선형 회귀분석의 모델에서 강도비(Y)는 재생골재 배합비 순서(X)의 종속으로 함수 $Y=f(x)$ 로 나타내며 이는 X를 실제 비율 값으로 넣는 것 보다 회귀분석 결과 훨씬 더 높은 상관 계수를 얻을 수 있어 신뢰도를 더 크게 하여 주었다.

이에 따른 회귀분석 결과 얻어진 각 모델과 r^2 값은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 Y_c &= 112.1 - 10.25X, & r^2 &= 0.957 \\
 Y_f &= 102.8 - 7.16X, & r^2 &= 0.912 \quad \text{----- (3-1)} \\
 Y_t &= 111.0 - 9.40X, & r^2 &= 0.956
 \end{aligned}$$

여기서, Y_c, Y_f, Y_t 는 임의의 재생골재 첨가비에서 압축강도, 휨강도 및 인장강도의 비교용 콘크리트(재생골재 0%)에 대한 비율이며, X 는 재생골재 사용 비율의 Nonparametric order이다. 예를 들어 재생골재 배합비가 50%이면 X 값은 2가되며 첫 번째 식에 의하여 강도비를 구하면 $Y_c = 112.1 - 10.25(2) = 91.6\%$, 재생골재 배합비가 80%이면 X 값은 5이고 $Y_c = 112.1 - 10.25(5) = 60.85\%$ 가 된다.

한편 이 식에 의한 추정시 결정계수(Coefficient of determination) r^2 는 모두 0.9 이상이며, 압축강도와 인장강도는 0.95 이상으로 매우 높은 값을 보이고 있다. 따라서 이 모델에 의해 주어진 재생골재 배합비 50~80% 내에서 임의의 배합비에 따른 강도비를 추정할 경우 신뢰성이 매우 큼을 알 수 있었다.

2. 재생골재 아스팔트 혼합물의 특성

표 3-7의 배합설계 시험표에서 보듯이 모든 RAAC는 전반적으로 마샬 안정도가 매우 우수하며 흐름 값도 6~7%에서는 만족하였다. 하지만 공기 함량이 대단히 높고 밀도는 비교적 낮은 편으로 나타났다. 이 높은 공기량과 낮은 밀도는 그러한 특성을 지닌 재생골재 때문인 것으로 생각된다. 그러므로 마샬안정도가 가장 높고 VMA와 흐름이 가장 낮은 7%가 여기서는

가장 적절한 아스팔트 함량으로 보여지나 설계 아스팔트 량의 시방 규정을 만족하지는 못하는 것으로 나타났다.

표 3-7. 재생골재 아스팔트 콘크리트의 마샬 특성치

아스팔트함량 (%)	실측밀도 (kg/cm ²)	공극율 (%)	VMA ^o (%)	채움율 (%)	마샬 안정도(kg)	흐름 (0.1mm)
6	2.118	11.24	23.68	52.51	1036	35
7	2.150	8.61	23.34	63.11	1092	34
8	2.168	6.59	23.56	72.04	1068	41
시방 규정	-	3~10	-	-	350이상	20~40

즉, 재생골재의 흡수율이 매우 높은 관계로 시방서에 제시된 설계 아스팔트 함량 3~6%이내인 6%로 했을 경우 마샬안정도와 흐름은 규정인 350kg이상과 40미만을 만족하나 공극율이 11.24%로 규정인 3%~10%를 만족시키지 못한다. 그러나 아스팔트 함량을 더 높여 7% 정도를 택하면 마샬안정도, 흐름(34) 및 공극율(8.61%)도 만족한다.

그러나 이 아스팔트 함량은 설계 아스팔트 함량의 권장 범위인 3~6%를 초과할 뿐만 아니라 일반적으로도 너무 높은 값이어서 실용적이지 못하다. 한편 전반적으로 VMA가 매우 높으며 채움율의 경우 65~80% 범위에 드는 아스팔트 함량은 7% 보다 좀더 높게 됨을 알 수 있다. 따라서 이 모든 것을 만족하는 아스팔트 함량은 약 7.5%로 보여진다. 하지만 이는 아스팔트 함량이 높아 경제성이 문제시되며 실용화를 위해서는 재생골재의 사용에 따른 경제적 이득이 아스팔트를 더 많이 사용함에 따른 경제성과 비교가 있어야 할 것으로 보여지며 또한 지속적으로 아스팔트 함량을 더 낮추기 위

한 연구가 필요한 것으로 사료된다.

이를 위해서는 굵은골재의 일부를 비교적 흡수율이 낮은 일반골재로 대체하는 방법, 또는 잔골재 율을 다소 증가시키는 방법, 규정 범위 내에서 채움재 량의 하향 조정 및 잔골재의 입도 조정 등이 향후 연구되어야 할 것으로 보여진다. 그렇게 하여 아스팔트 함량이 6%이하 수준으로 낮추어지고 모든 규정치 들을 만족하는 혼합물이 얻어진다면 이는 매우 실용 가치가 크다. 왜냐하면 이는 같은 기층 재료보다도 안정도가 매우 높은 수준에 있어 훨씬 성능이 우수한 혼합물로 보이며 또한 폐건설재료를 사용함에 따른 환경보호 및 자원 절약의 이점도 있기 때문이다.

제 4 절 결론

본 연구는 폐콘크리트를 보다 많이 재활용하기 위한 목적으로 콘크리트 공시체를 제작하여 시험한 것이며, 또한 폐콘크리트로부터 얻어진 재생골재를 아스팔트 포장재료로의 사용 가능성을 실험을 통하여 규명하였다. 이상의 결과에서 볼 때 다음과 같은 결론에 도달하였다.

- 1) 본 연구에 사용된 모든 재생골재의 배합에 유동화제를 일정량 사용하여 수작업이 가능한 작업성을 얻는 것이 가능하였다.
- 2) 재생콘크리트는 비교용 일반 콘크리트에 비하여 전반적으로 강도 특성이 낮게 나타났다. 하지만 압축강도에 대한 인장강도 및 휨강도의 비율은 각각 일반적으로 콘크리트 특성으로 알려진 10% 내외 및 15% 내외 수준으로 나타났다.
- 3) 또한 재생골재의 첨가 비율 증가에 따른 모든 강도의 전반적인 저하는 예견되었던 사실이기는 하나 압축강도의 수준이 첨가 비율이 가장 높은

80%에서도 220Kg/cm^2 이상이어서 강도 상으로 볼 때 어느 정도 활용성이 엿보인다.

4) 특히 재생골재 배합비 60%에서 압축강도는 비교용 콘크리트에 85% 이상 (300Kg/cm^2), 파괴인성 83% 이상 ($1.0\text{Mpa}\cdot\text{m}^{3/2}$)을 얻을 수 있어, 본 연구 결과에 의한다면 재생골재를 60% 정도까지 사용하는 것은 앞으로 충분한 실용성이 있는 것으로 보인다.

5) Nonparametric 회귀분석을 통해 재생골재 배합비율 50~80% 내에서 임의의 배합비에 따른 일반 콘크리트와의 강도비 추정 식을 개발하였으며, 이 모델들의 결정계수가 0.9 이상이어서 재생골재 배합비에 따른 강도비 추정이 가능함을 알 수 있었다.

6) 상기의 결과는 본 연구에서 사용된 천연골재 및 재생골재의 특성에 기인하는 것이다. 따라서 특정 지역에 재생재료의 사용을 위해서는 적절한 재료 시험을 통해 현장에 적절한 배합설계 등을 수행하여야 한다.

7) 재생골재 아스팔트 콘크리트(RAAC)는 전반적으로 마찰 특성치가 매우 우수하게 나타났다. 그러나 재생골재의 특성상 흡수율이 높은 관계로 아스팔트 함량이 비교적 높게 요구되었다. 따라서 이를 개선 할 수 있는 연구를 향후 수행한다면 농어촌 도로에는 물론 일반 도로에도 충분히 사용할 수 있을 것으로 보인다.

참고문헌

1. 김광우, 도영수, 김진영, 박용철, "콘크리트 폐기물을 재활용한 콘크리트의 제조 및 품질 특성 연구," 동아 그룹 창립 50주년 기념 동아건설논문상 수상 논문집, 1995. 9.

2. 김광우 등, "폐콘크리트 및 아스팔트를 재활용한 농어촌 도로포장 공법의 개발(I)," 농림 수산 특정 연구 사업, 제1차년도 연차 보고서. 1995. 12.
3. 김광우, 류능환, 박용철, "소도로 포장재료로서 재생콘크리트의 역학적 특성," 한국 콘크리트학회 논문집, 제 8권 5호, 1996. 10.
4. 김광우, 류능환, 박용철, 최영규, "재생콘크리트를 이용한 소도로 시험포장," 한국콘크리트학회 학술 발표회 논문집, 제 8권 1호 (통권 14집), 1996. 5.
5. 김광우, 류능환, 최영규, "폐콘크리트를 재활용한 소도로 포장에 관한 연구," 한국농공학회 논문집, 제 38권, 4호, 1996. 8.
6. Sri Ravindraiah, and Tam. C. T., "Method for Improving the Quality of Recycling Aggregate Concrete," Proc., 2nd Int'l Symp. by RILEM, Chapman and Hall.
7. Y. KASAI, "Guidelines and the present state of the reuse of demolished concrete in Japan", Third International RILEM Symposium, October 1993.
8. 本多 淳裕・山田 優 共著"建設系廢棄物の 處理と 再利用", 1990年 7月
9. Karihaloo, B. and Nallathambi, P., "An improved effective crack model for the determination of fracture toughness of concrete," Cement and concrete research, vol. 19, 1989
10. Ingberg, R. C. (1980), "Specification related to project selection," TRR 780, TRB, 21~26.
11. Smith, R. W. (1980), "State-of-the-Art Hot Recycling," TRR 780, TRB, 115~124.
12. Brown, D. J. (1980), "Equipment for Hot Recycling," TRR 780, TRB, 125~129.
13. Brown, E. R. (1984), "Evaluation of Properties of Recycled Asphalt Concrete Hot Mix," Technical Report GL-84-2, US Army Engineer Waterways Experimental Station, Vicksburg, MS.
14. Amirghanian, S. N. and Burati, J. L. (1992), "A Study of Re-use of Moisture-Damaged Asphalt Mixtures," Report No. FHWA-SC-92-05,

Clemson University, Clemson, SC.

15. Epps, J. A., Little, D. N. and Holmgreen, R. J. (1980), "Guidelines for Recycling Pavement Materials," NCHRP Report 224, TRB.
16. Miller, R. H. and Collins, R. J. (1976), "Waste Materials as Potential Replacements for Highway Aggregates," NCHRP Report 166, TRB.
17. Davidson, D. D., Canessa, W. and Escobar, S. J. (1978), "Practical Aspects of Reconstituting Deteriorated Bituminous Pavements," ASTM STP 662, 16~34.
18. Page, G. C. and Murphy, K. H. (1987), "Hot-Mix Recycling Saves Florida DOT \$38 Million," ASPHALT. 1(1), 3~4.
19. McMillan, C. and Palsat, D. (1986), "Alberta's Experience in Asphalt Recycling," Proc. CATT 31, 148~165.
20. Lackey, B. R. (1986), "Hot-Mix Recycling of Asphalt Pavement," Proc. CATT 31, 260~280.

여 백

제 4 장

재생 아스팔트 농촌도로 포장 개발

여 백

제 4 장 재생 아스팔트 농촌도로 포장 개발

제 1 절 서 론

회수 아스팔트 포장 (RAP) 재료의 재활용은 폐아스팔트를 폐기 처분함에 따른 환경오염 문제와 더불어 점차 심각해지는 자원 난을 동시에 해결할 수 있어 외국에서는 많은 연구가 수행되었다. 그들은 연구 결과를 토대로 해서 상당 기간에 걸친 시험포장과 관찰, 보정 등 많은 실용화 노력으로 그 품질을 인정받아 이미 실용화 단계에 있다. 그러나 우리나라에서는 아직 재생재료의 품질에 대한 의심으로 거의 실행이 되지 못하고 있다. 하지만 기 사용된 골재와 아스팔트를 그 고유의 기능으로 다시 이용하는 것은 쓰레기나 메움재로 처리하는 것 보다 훨씬 더 가치 있는 것임에 틀림없다.

국내에서 폐아스팔트 콘크리트 (세칭 폐아스콘) 포장을 철거 또는 파쇄하여 얻어지는 회수 아스팔트 포장재료 (RAP)는 대부분 기층과 표층이 함께 철거된 두께 10~30cm 정도의 두꺼운 덩어리이다. 여기에는 기층재와 표층 재료가 함께 섞여 있어 이를 분리하기란 매우 힘들다. 특히 본 연구에서 사용한 폐아스팔트 콘크리트도 하부층은 10여년 이상된 것으로 기층 재료와 표층 재료 그리고 보조기층용 골재(약 50mm)도 소량 달라붙어 있어 이를 일률적으로 표층 재료로 재활용하기란 매우 어려운 실정이다.

따라서 본 연구의 목적은 RAP을 효과적으로 재활용하여 농촌도로에 경량 포장을 건설하기 위한 기법을 개발하는 것이므로, 본 연구는 크게 두 단계로 나눌 수 있다. 첫 번째는 재생재료를 수거하여 품질 검사와 이를 이용한 아스팔트 콘크리트를 제조하고 각종 시험 및 분석을 실험실에서 수행하는 단계이고, 두 번째는 현장에 재생 아스팔트 보조기층, 안정처리기층 및

아스팔트 포장을 일정 규모로 시험 시공을 하는 것이다. 이를 위해서 보조 기층 및 기층은 시험 피트(Pit)에 시험 시공하였으며, 시험포장은 농촌도로에 직접 시공하였다.

제 2 절 재 료 및 방 법

1. 사 용 재 료

가. 회수 아스팔트 포장재료

본 연구에 사용된 폐아스콘은 강원도 인제군 도로현장과 춘천시 지역의 도로 현장에서 철거된 두 종류로, 기층과 표층이 함께 철거된 두께 10~30cm 정도의 두꺼운 덩어리였다 (그림 4-1). 이를 소형 파쇄기를 이용하여 입도 25mm이하의 작은 덩이로 파쇄하여 회수 아스팔트 포장재료(RAP)를 만들었다 (그림 4-2, 4-3).

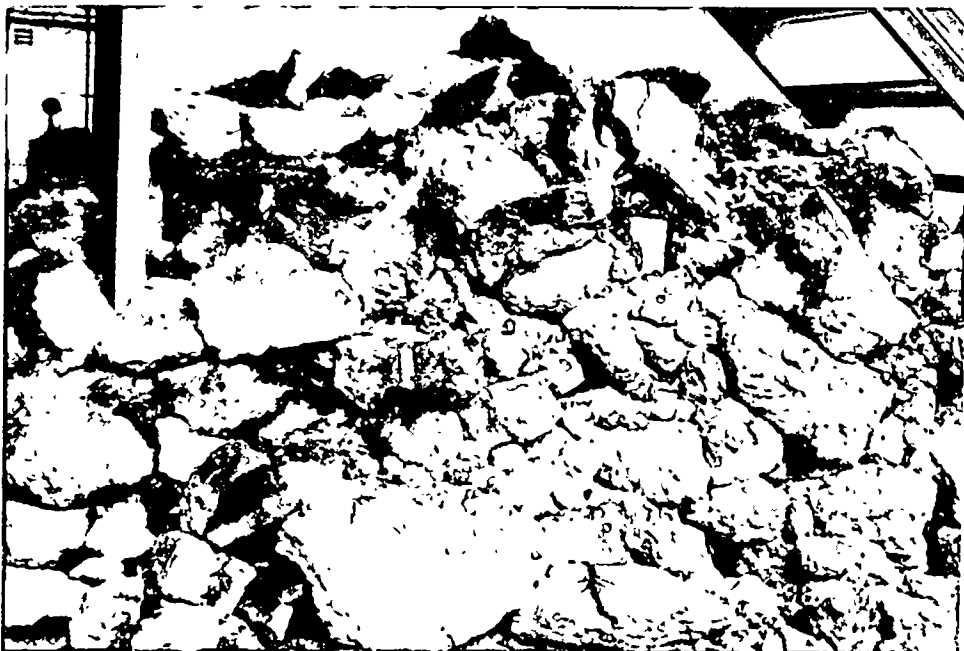


그림 4-1. 수거된 폐아스팔트 포장재료.



그림 4-2. 폐아스팔트 포장재료를 파쇄하는 장면



그림 4-3. 파쇄된 회수 아스팔트 포장재료 (RAP)

또한 이의 품질을 검사하고 아스팔트 안정처리기층 및 표층용 골재의 입도에 맞는지 확인하여 필요시 19mm 이하 입도의 골재를 일정량 첨가하여 사용토록 준비하였다. RAP로부터 추출된 골재(그림 4-4)의 입도분포 및 물성은 표 4-1, 4-2와 같고 RAP의 구성 배합비는 표 4-3과 같았다.



그림 4-4. RAP으로부터 추출된 재생골재

표 4-1. RAP로부터 추출된 골재의 입도분포

Sieve Size	40mm	25mm	19mm	10mm	#4	#8	#30	#50	#100	#200
Passing (%)	100	96.78	87.48	59.71	44.76	35.40	193.31	12.83	8.08	4.76

표 4-2. 추출된 골재의 물리적 성질

		Specification Requirement	Coarse Aggregates	Fine Aggregates	Filler
Specific Gravity	SSD		2.609		
	Apparent	2.45 ↑	2.669	2.643	2.646

표 4-3. 페아스콘으로부터 추출된 재료의 특성

재료	아스팔트	잔골재	굵은골재	채움재
함량(%)	5.24	22.69	68.67	3.39

또한 회수 아스팔트 재료와 혼합용으로 최대치수 25mm이하의 천연 굵은골재 한 종류와, 천연 잔골재 한 종류 및 채움재 (Filler) 한 종류를 사용하였다. 이는 강원도 춘천시에서 생산되는 쇄석 및 강모래이며, 이들의 품질 시험과 입도 시험 결과는 표4-4, 4-5와 같다.

표 4-4. 사용된 천연골재의 입도분포

Sieve Size	40mm	25mm	19mm	10mm	#4	#8	#30	#50	#100	#200	
Passing (%)	25mm	100	49.68	64.51	6.28						
	13mm			100	96.09	72.11	48.80	22.01	15.08	8.92	3.73
	#4					87.66	64.64	32.22	20.38	10.50	4.98
	Filler							100	94	80	69

표 4-5. 사용된 천연골재의 물리적 성질

Specific Gravity	Specification Requirement	Coarse Agg.	13mm Agg.	Fine Agg.	Filler
SSD		2.639			
Apparent	2.45 ↑	2.691	2.689	2.701	3.04

또한 결합재(Binder)로 아스팔트 시멘트(AP-3, AP-1)와 아스팔트 유제(RSC-4)를 사용하였다. 특히 시험포장 등에 사용된 아스팔트는 국내산 Y사의 AP-3로 침입도 등급 85~100인 제품이다. 이는 국내 추풍령 이북 지역에서 가장 널리 쓰이는 것으로서 이에 대한 각종 특성은 표 4-6과 같다.

표 4-6. Physical properties of asphalt cement (AP-3)

Penetration (0.1mm)	Ductility (cm)	Flash point(°C)	Pen. ratio after TFOT(%)	Asphaltene content (%)	Solubility in trichlorethylene (%)	Specific gravity
91	150	45.0	60.4	8.0	99.4	1.03

2. 시험 방법

가. 노화된 아스팔트의 추출 및 재생 결합제에 대한 시험

1) 노화된 아스팔트의 추출·재생

재생 아스팔트 제조에 사용될 회수 아스팔트 포장재료에 포함되어 있는 노화 아스팔트에 대한 침입도 및 점도, 그리고 크로마토그램 특성을 조사하기 위하여 수거된 폐아스팔트 포장재료로부터 노화된 아스팔트를 추출·재생하였다. 추출·재생 방법은 ASTM D1856의 Abson Recovery 방법을 사용하

였다. 이는 우선 회수 아스팔트 포장재료를 가열하여 그림 4-5에서와 같이 녹여 잘게 부수고, 이를 그림 4-6과 같이 일정 시간 동안 Trichloroethylene 용액에 담가 놓았다. 그리고 거의 다 아스팔트가 녹은 다음 이를 그림 4-7과 같이 원심 분리기에 넣고 밀폐한 다음 일정한 속도로 돌려서 아스팔트가 녹은 용액을 골재로부터 추출·분리해 내었다.

그 다음 이로부터 분리된 골재(그림 4-8)는 말려서 입도분포 시험에 사용되었고, 추출된 아스팔트는 그림 4-9와 같은 재생 장치를 이용하여 재생시켰다. 이때의 재생 과정은 1차 가열에 의한 Trichloroethylene의 증류 과정과 2차 가열에 의한 아스팔트의 회생 과정으로 나눌 수 있다. 특히 2차 과정에서는 아스팔트를 정밀하게 회생시키기 위해서 일정 온도를 유지시키며 탄산가스를 주입시키는 과정이 매우 중요하다.



그림 4-5. 아스팔트 추출을 위해 RAP을 가열하여 잘게 부수는 과정



그림 4-6. RAP을 Trichloroethylene 용액에 침전시키는 과정

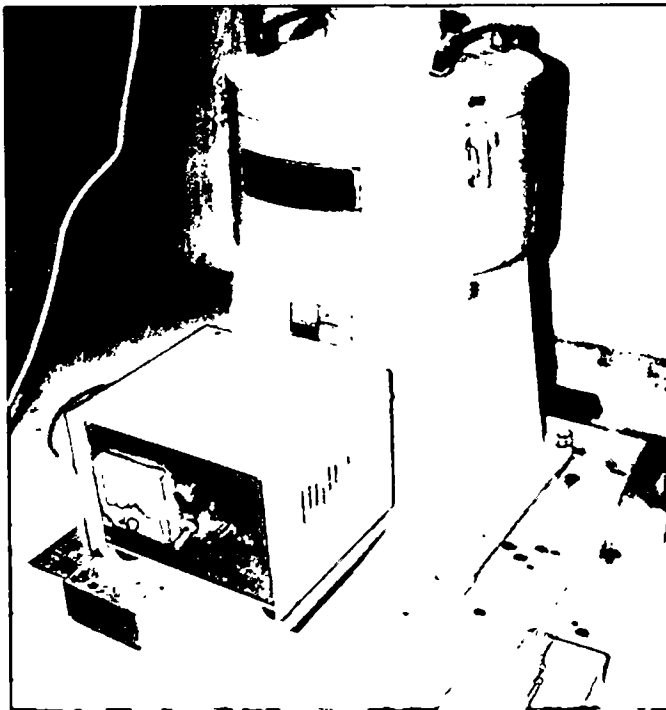


그림 4-7. 아스팔트 추출용 분리기

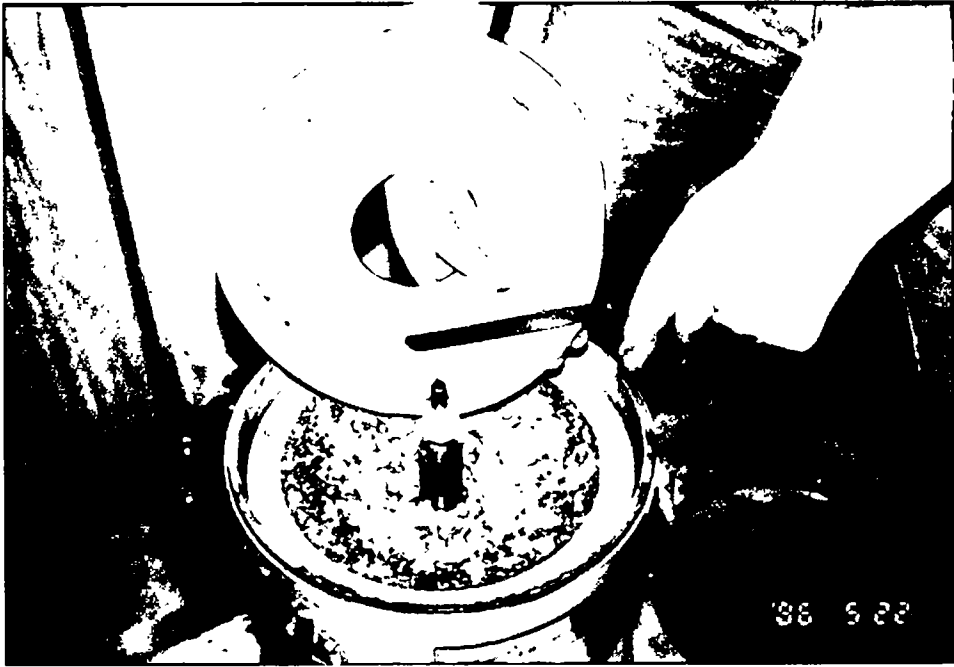


그림 4-8. RAP에서 아스팔트가 추출되고 남은 골재

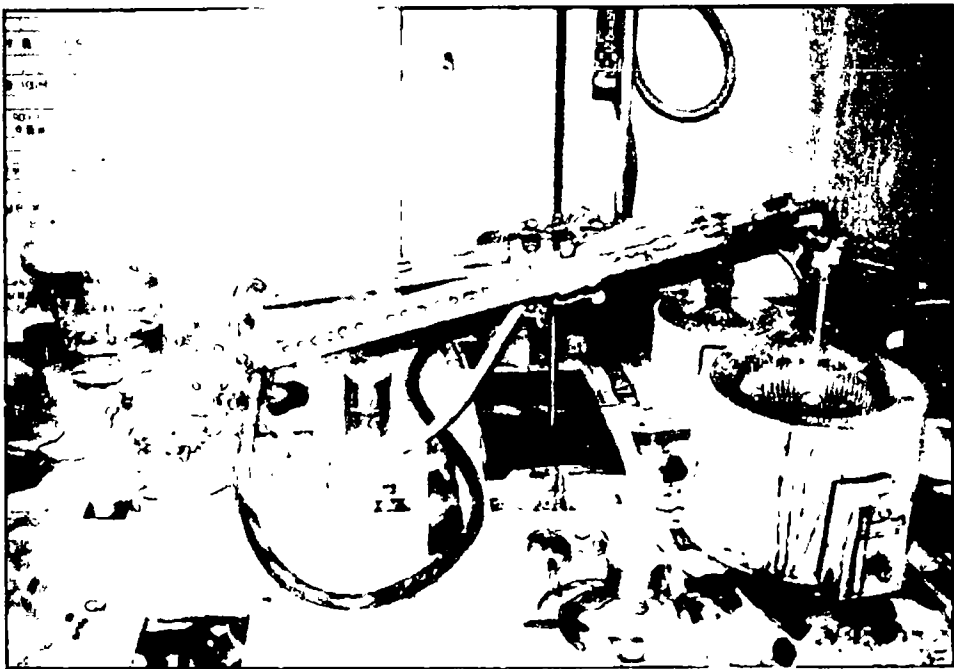


그림 4-9. 아스팔트 재생 시험장치 (Abson 방법)

2) 침입도 (Penetration) 및 점도 시험

국내 도로포장에 가장 많이 쓰이는 AP-3 아스팔트의 침입도를 공시체 제작 전과 제작하고 30일 후 아스팔트를 ASTM D1856에 따라 추출·재생한 후 측정하여 추출·재생 과정이 옳게 되었는지 사전에 확인하였다. 또한 두 곳에서 가져온 RAP로부터 추출한 재생 아스팔트와 첨가용 AP-1 아스팔트의 침입도와 점도를 측정하였다.

침입도란 아스팔트의 굳기 정도를 나타내는 것으로서 측정 방법은 KS M 2252에 의해서 표준 온도(25°C)에서 수행하였다. 그림 4-10은 사용된 아스팔트 침입도 측정기를 보여주며, 각 샘플은 그림 4-11과 같이 직경 5cm 깊이 4cm의 알루미늄 캔에 넣어서 측정 전 소정의 온도로 유지된 항온수조에 한시간 담가 두었다가 측정되었다.

한편 점도란 아스팔트의 점성(Viscosity)을 나타내는 지수로서 절대점성(Absolute viscosity)과 동점성(Kinematic viscosity)이 있는데 미국의 점도 등급(Viscosity grade)에서 쓰이는 절대점도를 본 연구에서는 측정하였다. 이 절대점도는 아스팔트를 60°C로 가열한 상태에서의 점도를 측정하는 것으로서 ASTM D2170 방법에 의해 그림 4-12와 같은 시험장치에 그림 4-13과 같은 점도계가 사용되었다.

2). 크로마토그램 (Chromatogram)

RAP으로부터 추출된 재생 아스팔트에 대해 크로마토그램을 분석하였다. 노화에 따른 크로마토그램 상의 변화와 차이가 침입도 및 점도에 어떤 상관관계를 가지는지, 그리고 아스팔트는 노화 전후에 어떤 차이가 나타나는지를 분석하기 위하여 크로마토그램의 시험 결과는 중요한 자료이다.

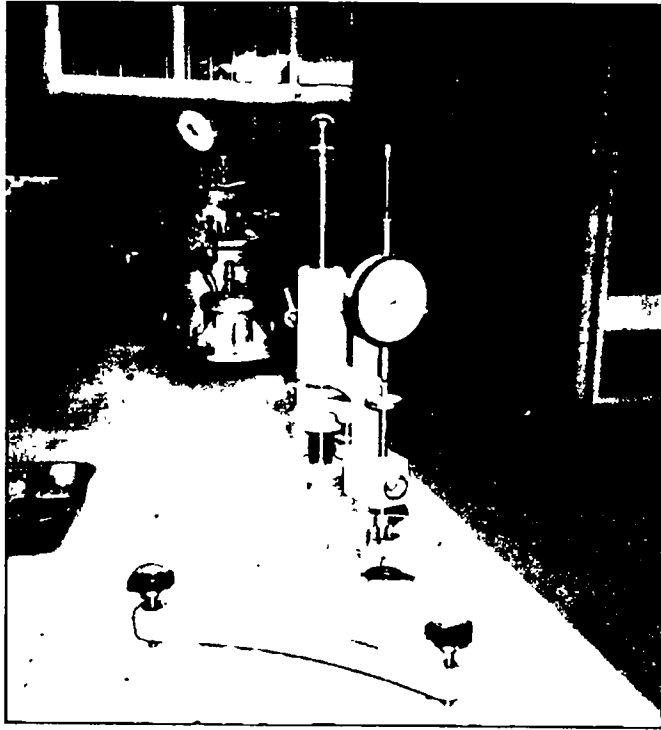


그림 4-10. 아스팔트 침입도 시험장치 (Abson 방법)



그림 4-11. 아스팔트 침입도 시험용 샘플

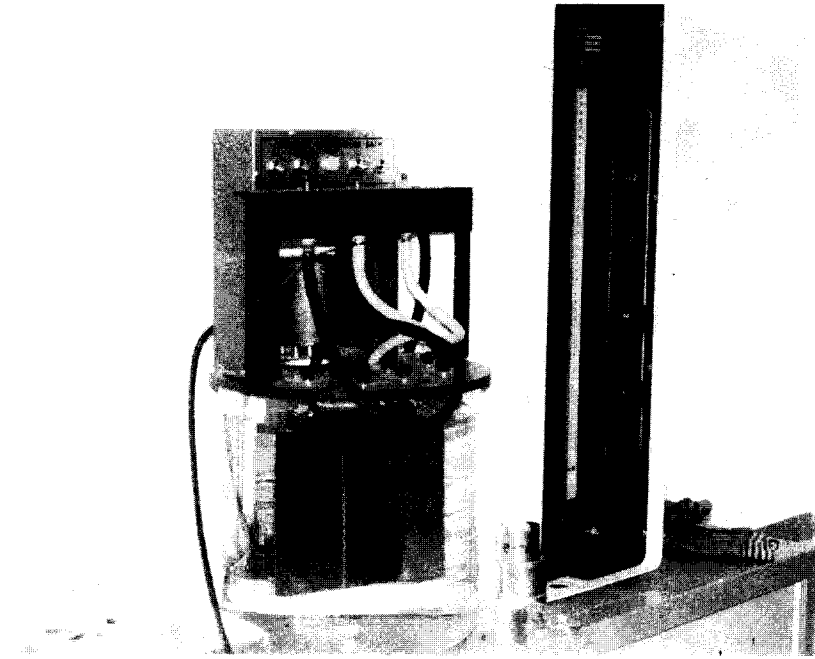


그림 4-12. 아스팔트 절대 점도 시험장치

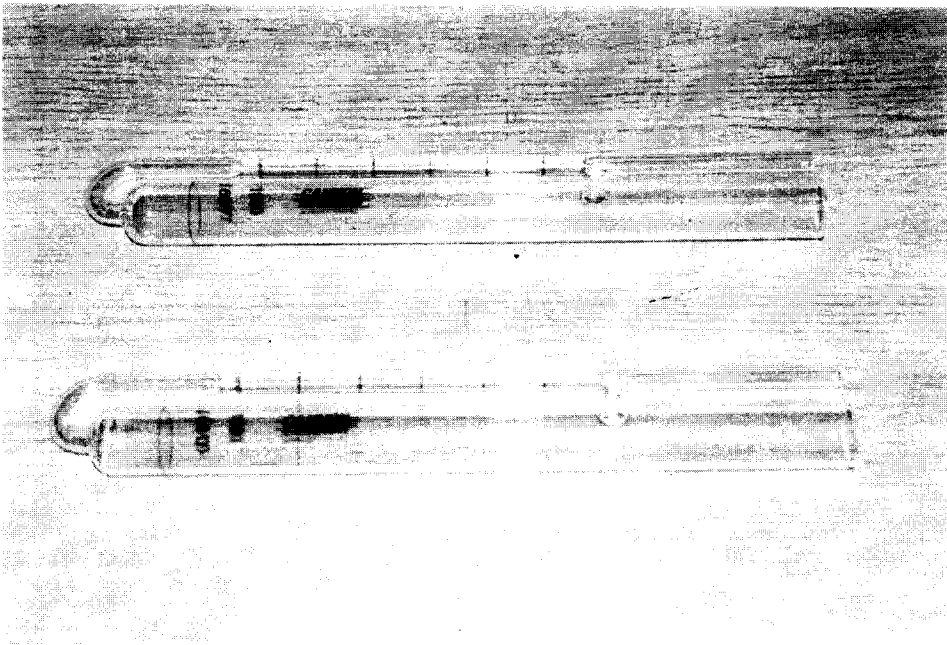


그림 4-13. 아스팔트 점도계(절대 점도용)

측정 기기로는 미국 Waters사의 HP-GPC (High performance - gel permeation chromatography) System을 사용하였다. 이 시스템의 검출기로는 Differential Refractometer (RI Detector)가 사용되었으며 데이터의 기록과 분석 및 출력에는 Millenium 컴퓨터 소프트웨어가 사용되었다. 사용된 칼럼은 길이 30cm의 styragel HR(High resolution) 4E와 HR 3이었으며 이 두 개의 칼럼을 연속으로 이어서 사용하였다. 그림 4-14는 HP-GPC system 전체를, 그림 4-15는 칼럼오븐내에 연결되어 있는 칼럼을 보여준다. 이 두 칼럼의 Pore 크기와 효과적인 분자량 범위를 표 4-7에서 보여준다.

GPC 분석을 위해 사용된 유동액은 Tetrahydrofuran(THF) 이었으며 이 THF의 유동 속도는 1ml/min 였고, 분석용 아스팔트는 중량비 1/100로 희석하여 1회 주입시 50 μ l씩을 주입하였다. 분석용 샘플은 역시 THF에 의해 희석되었으며 주입 직전 0.45 μ m filter로 걸러 이물질의 반입을 막았다. 또한 시험중 칼럼이 외기의 온도 변화를 받지 않도록 하기 위해 온도가 25°C 로 유지되는 칼럼오븐에 넣어 일정 온도를 유지하였다. 1회 시험은 약 30분 걸렸으며 각 샘플은 3회 반복 시험되었다.

Table 4-7. Pore size and effective molecular weight range of columns

Column	External Length (cm)	Pore size (Å)	Effective Molecular Weight range (ps)
Styragel HR 3	30	1,000	500-30,000
Styragel HR 4E	30	Mixed bed	50-100,000



그림 4-14. HP-GPC system

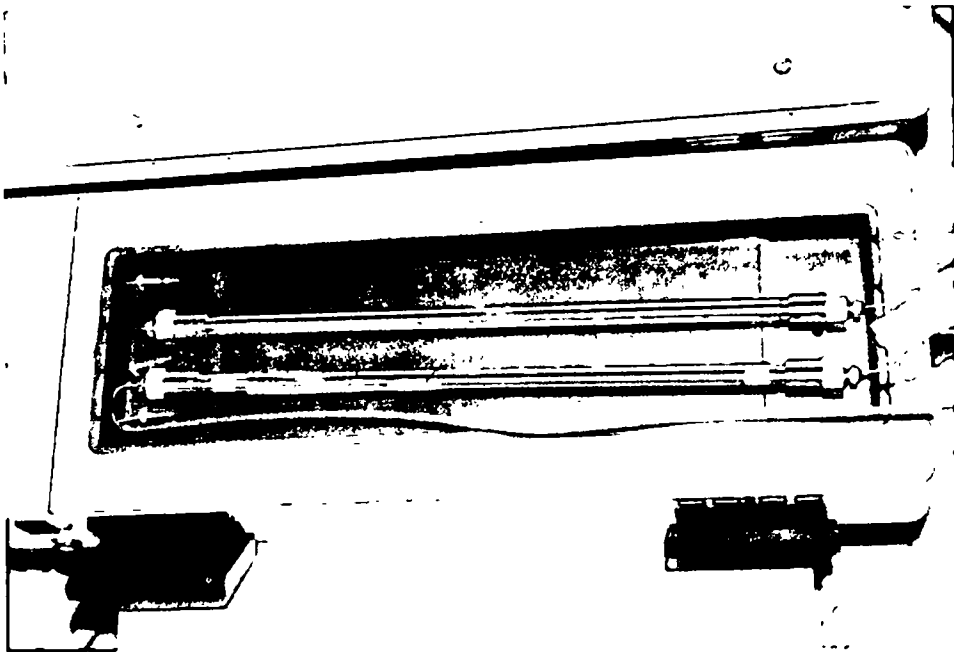


그림 4-15. HR 3 와 4E columns

나. 재활용 배합설계

회수 아스팔트 포장재료를 이용한 재활용 배합설계는 아스팔트 유제(RSC-4)를 사용한 상온혼합(Cold-Mix)과 아스팔트 시멘트(AP-1)를 사용한 가열혼합(Hot-Mix) 두 종류로 수행하였다. 이중 상온혼합은 아스팔트 안정 처리기층용과 보조기층용으로 RAP을 각각 50%와 100% 사용하여 시험하였다. 가열혼합은 농촌 도로포장 표층용으로 비교적 우수한 품질을 얻기 위해 RAP을 40% 사용하기 위한 연구를 수행하였다. 한편 미국 아스팔트 연구원(The Asphalt Institute)의 추천에 의하면 RAP의 적절한 사용 비율은 20~35%이며 최대 사용 비율은 50%로 제시하고 있어 본 연구에서도 그 범위 내에서 최대한 재활용율을 높게 하기 위하여 40%로 설정하였다.

농촌도로 포장용 가열혼합 배합설계를 위한 골재 입도는 마모층을 배제하고 기층과 표층의 중간 정도의 입도를 이용하였으며 마샬 특성치는 표층의 기준을 적용토록 하였다. 배합설계에 있어서는 아스팔트 유제와 아스팔트 시멘트의 함량을 각각 5.5~7.0, 4.5~6.5로 하여 최적 아스팔트 함량을 결정하였다.

3. 혼합과 다짐

상온혼합은 두 가지로 하였다. 한가지는 RAP을 50% 재활용하는 것으로서 RAP에 물을 1%정도 첨가하여 천연골재와 60℃의 아스팔트 유제를 넣고 골재에 유제의 도포율이 95%이상 되도록 손 비빔으로 혼합하였다. 그 후, 60℃에서 1시간 정도 방치하였다가 마샬 다짐기로 공시체 상하 75회 씩 다진 후 상온에서 15~24시간을 방치하고 탈형을 하였다. 그리고 40℃에서 3일간이 지난 후 마샬 시험을 실시하였다. 다른 상온혼합 한가지는 RAP을

100% 사용하는 것으로 특별한 기법 없이 RAP의 온도가 약 60°C 되도록 천연 가열한 후 (필요시 유제를 소량 첨가) 상온에서 이를 혼합 다짐하였다.

가열혼합은 먼저 준비된 천연골재를 용기에 넣고 혼합한 후 150~165°C로 하룻밤 가열하였다. 그리고 RAP과 아스팔트를 혼합 1시간 정도전에 오븐에 넣고 165°C로 가열하여 용기에 넣은 다음 그림 4-16과 같이 손 비빔으로 혼합하여 그림 4-17의 몰드에 넣었다. 그 후 마샬 다짐기(그림 4-18)로 공시체를 상하 50회 씩 다짐하여 그림 4-19과 같은 공시체를 제조하였다. 그리고 하루가 지난 후 그림 4-20과 같이 마샬 시험을 수행하였다.

4. 재생 아스팔트 콘크리트 시험포장

상기 재료를 이용하여 시험 pit에 회수 아스팔트 포장재료만으로 상온혼합 보조기층 및 RAP과 천연재료를 4 : 6으로 섞어 아스팔트 안정처리기층을 시험 시공하였다. 아스팔트 안정처리기층을 위하여 회수 아스팔트 포장재료에 아스팔트 유제를 소량 첨가하고 상온 혼합하여 필요한 장소에 고르게 폈다. 시험 pit의 크기는 1.8m x 3.6m, 평균 두께 15cm이었으며, 다짐은 소형 롤러를 이용하여 단층으로 다짐하였다. 시공후 평판재하시험을 통해 기층의 지지력 및 혼합물에 대한 각종 특성을 분석하였다.

또한 상기의 가열 혼합물을 이용한 재생 아스팔트 농촌도로 시험포장을 1차년도 재생콘크리트 시험포장 장소(강원도 춘천시 신동면 의암리)에 연결하여 수행하였다. 시험포장은 길이 30m 표층 폭 3m로 그림 4-21에서와 같이 설계하였다. 시험시공시 기층은 재생골재 기층을 사용하였는데 이는 1차년도에 개발한 것으로 금년도 개발한 아스팔트 안정처리기층과 비교시 재생콘크리트 기층의 지지력 등이 더 우수하였기 때문이었다.



그림 4-16. 아스팔트 혼합물의 손 비빔

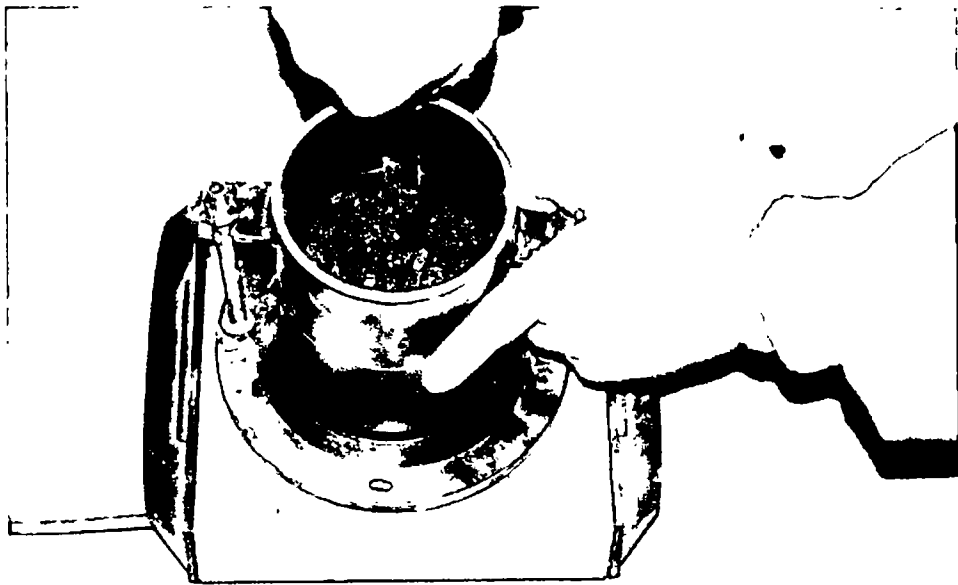


그림 4-17. 마샬 시험용 공시체 몰드에 혼합물을 넣고 고르는 과정

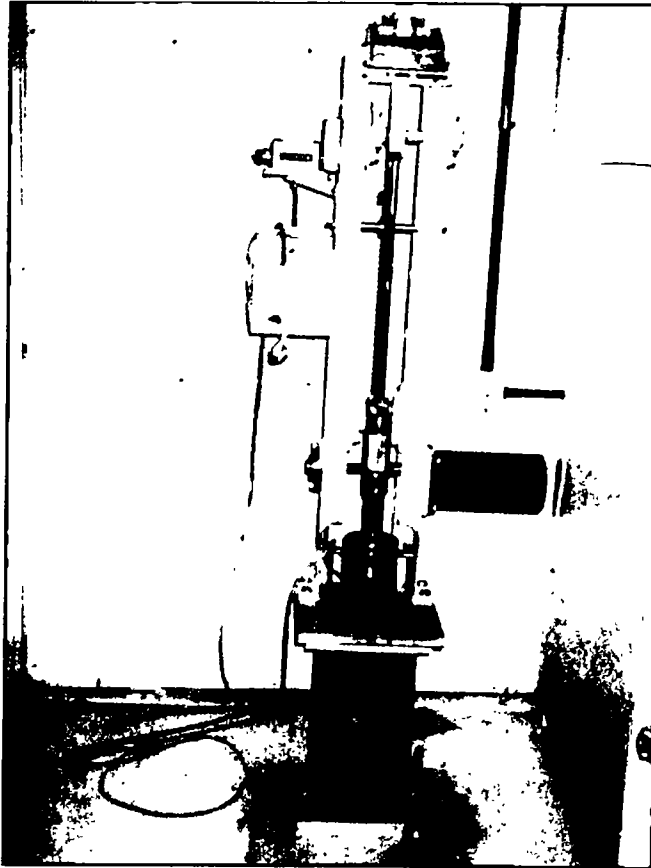


그림 4-18. 마샬 공시체 다짐기

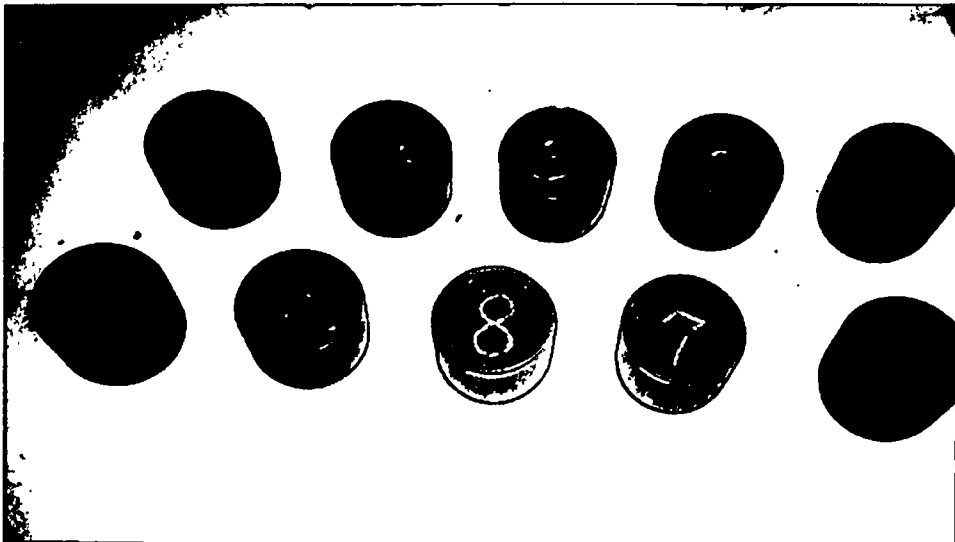


그림 4-19. 제조된 마샬 공시체

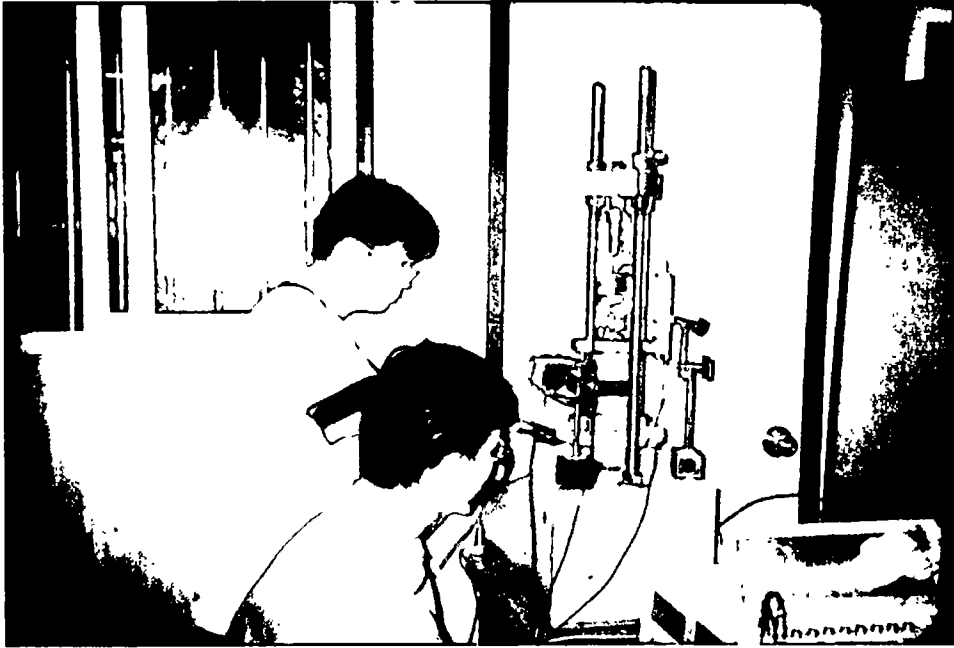


그림 4-20. 마샬 안정도 시험

가열 혼합물은 춘천시 소재 삼광아스콘(주)의 협조하에 플랜트에서 제조하였다. 이때 RAP은 사전에 소정량 협조사의 콜드빈에 넣었으며, 주어진 배합설계표에 의해 AP-3 아스팔트 및 천연골재를 투입하였다. 또한 제조된 가열 아스팔트 포장재료는 15톤 덤프트럭에 실어 운반하였으며 그 단면은 AASHTO 약식 포장설계법에 의해 그림 4-21과 같이 결정하여 시공하였다.

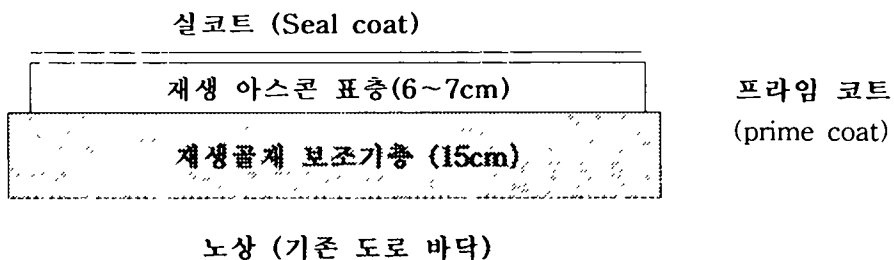


그림 4-21. 재생 아스팔트 콘크리트 시험포장 설계 단면도

제 3 절 결과 및 고찰

1. 추출·재생된 아스팔트의 특성

가. 침입도 및 점도

새로운 아스팔트(AP-3)와 그것으로 제조한 공시체에서 추출·재생한 아스팔트와의 침입도 시험 결과는 표 4-8에서 보듯이 거의 차이가 없으므로 추출 시험은 아스팔트의 침입도에 거의 영향을 주지 않음을 확인하였다. 회수 아스팔트 포장재료에서 분리하여 추출·재생한 두 종류 RAP의 아스팔트 함량은 평균 4.79% 였으며 추출·재생된 아스팔트의 침입도는 20 및 33 였다. 재활용에는 이 둘을 섞어 사용하였으며, 새로운 AP-1, AP-3 및 AP-3와 노화 아스팔트를 6 : 4로 섞은 아스팔트의 침입도와 점도 측정 결과는 표 4-8과 같다. 여기서 RAP은 재령이 오래된 것이므로 산화로 인하여 침입도가 낮아졌음을 알 수 있었다.

표 4-8. 아스팔트의 침입도

	Fresh AP-3	Recovered AP-3 ¹	Reclaimed Asphalt 1	Reclaimed Asphalt 2	Fresh AP-1	(AP-1)+(RA1+2)	(AP-3)+(RA1+2)
Penetration (0.1mm)	88	87	33	20	135	81	68
Viscosity (ps)	952	-	3345		-	-	2557

¹ 일반 AP-3로 공시체를 제조하고 이를 1개월 후 추출 재생한 것임

나. 크로마토그램 분석

또한 추출 재생 아스팔트에 대한 품질 검사 및 노화의 정도를 추정하기 위해서 크로마토그램 분석을 수행하였다. 재생 아스팔트를 THF용액에 희석시켜 HP-GPC를 이용하여 크로마토그램을 분석한 결과 수집된 아스팔트가 현장에서 상당히 노화된 것을 알 수 있었다. 또한 현장에서 시공된 아

스팔트 포장에서 코어를 채취하여 이로부터 추출된 아스팔트의 크로마토그램도 분석하였다.

아스팔트의 크로마토그램은 앞의 시험 방법에서 설명 한대로 아스팔트 시료를 HP-GPC 시험기에 넣고 나면 그림 4-23과 같이 약 11분이 지나 검출(Elution)되기 시작하여 20분 정도에 모두 검출이 끝나고 다시 Base line 이 안정 상태에 들어가 30분에 한 시험이 모두 끝났다. 시험 결과는 컴퓨터에 내장된 Millenium 소프트웨어를 이용하여 기록되며, 이 기록된 데이터 중 시료가 검출된 부분만을 이용하여 여러 구간(Slice)으로 나누어 분석에 이용한다. 그림 4-23은 그림 4-22의 전체 Profile 중 시료 검출 부분만을 확대하고 (Zooming) 이를 일정 간격으로 하여 12구간으로 나눈 것을 보여주는 그림이다.

그림에서 나타난 곡선은 주어진 시간에 해당 아스팔트 분자가 검출된 양을 나타내는 것으로서 검출 시간 중 앞부분에 검출되는 분자는 입자가 큰 것들이고 뒤로 가면서 검출되는 것들은 점차 작은 입자들이다. 따라서 이러한 크로마토그램의 특성상 어떤 정해진 시간에 검출되는 분자는 모든 아스팔트의 종류에 관계없이 같은 크기의 분자이고 이 분자의 과다에 따라 y축의 값이 다르게 나타나게 된다.

대부분의 아스팔트는 분자 입자의 분포가 조금씩 달라 서로 조금씩 다른 분포 곡선이 얻어진다. 따라서 각기 다른 이들을 비교하기 위하여 일정한 시간 간격으로 나누어 그 구간의 면적을 전체 면적으로 나누어 해당 구간의 상대 면적 비율을 구한다. 그러면 아스팔트 별로 해당 구간에서의 분자량의 비율을 상대적으로 알 수 있고, 그것을 이용해 아스팔트의 노화 특성 및 점도 특성 등을 알 수 있다.

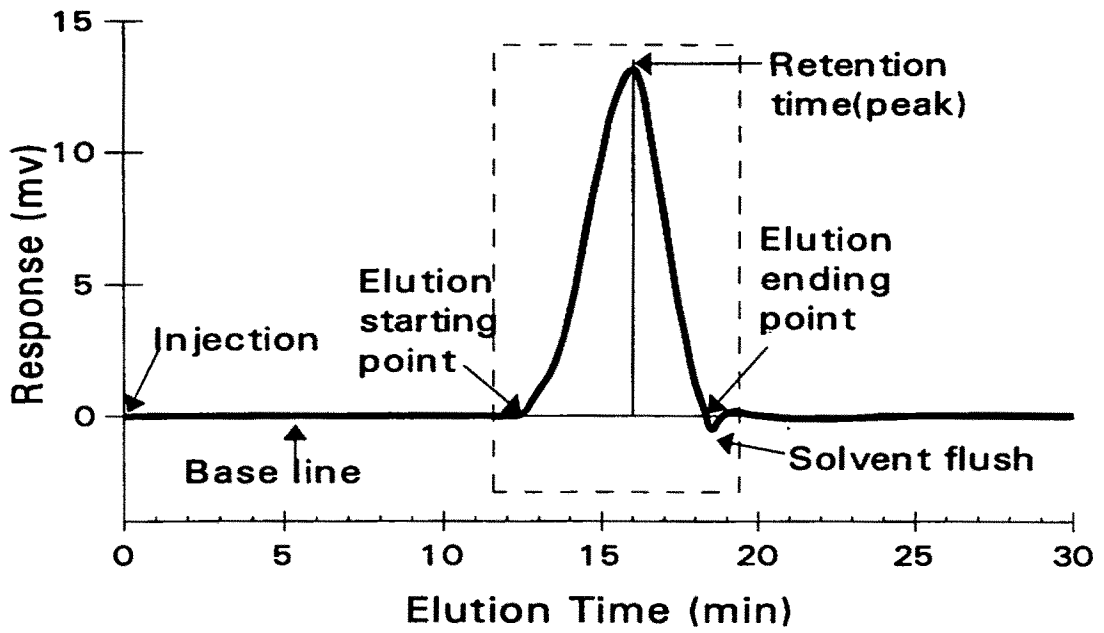


그림 4-22. 전체적인 크로마토그램 Output

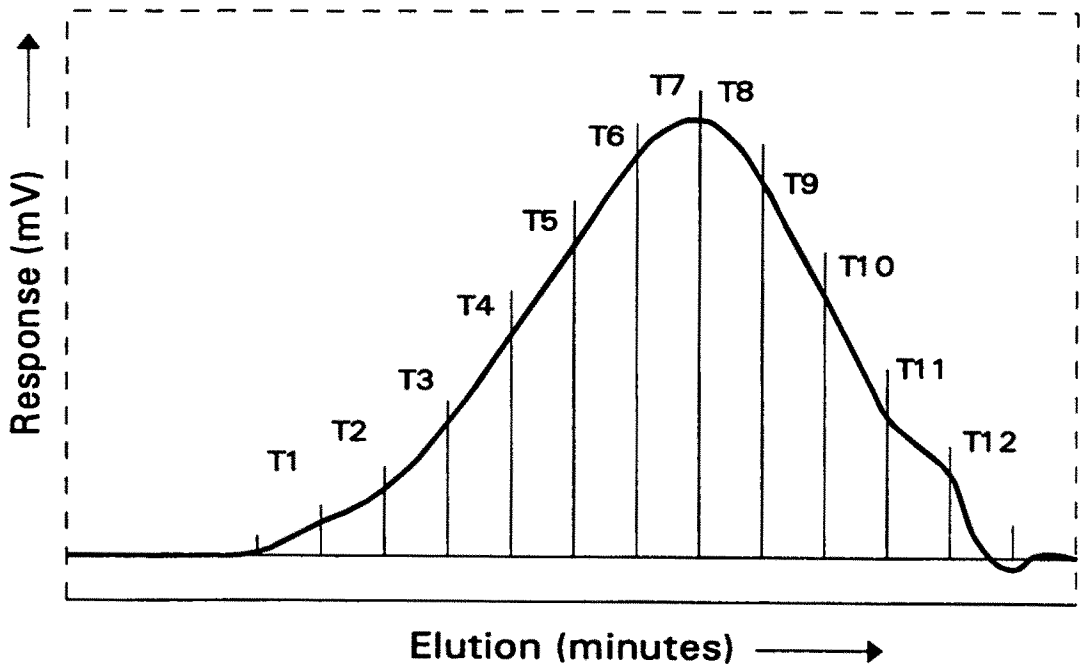


그림 4-23. 아스팔트가 검출된 부분을 확대하여 12구간으로 나눈 것

본 연구에서 사용된 구간 분할 방법은 우선 각 크로마토그램별로 Retention time (Peak가 이루어지는 시간)을 구하고 그 시간을 기점으로 좌측으로 7구간과 우측으로 5 구간을 나누었다. 따라서 각 구간별 시간 간격은 30 초이며 전체를 다시 크게 분류할 때 초기의 4구간 (S1~S4)을 대형분자(Large molecular size: LMS), 중간의 4구간 (S5~S8)을 중형분자(Medium molecular size: MMS), 그리고 마지막 4구간 (S9~S12)을 소형분자(Small molecular size: SMS)라 명명하였다.

크로마토그램 분석에 사용된 아스팔트는 4종류이다. 첫째는 새로운 아스팔트(Fresh asphalt)로 이것의 대표적인 크로마토그램 (GPC profile)의 Millenium 소프트웨어 Output은 그림 4-24에, 두 번째는 수거된 폐아스콘으로부터 추출·재생한 노화 아스팔트(Old asphalt)로 이것의 대표적인 크로마토그램은 그림 4-25에서 보여준다. 세 번째는 이 새로운 아스팔트와 노화 아스팔트를 6 : 4로 혼합한 재생 아스팔트로 그림 4-26에, 그리고 마지막 것은 이 비율로 아스팔트 콘크리트를 제조하여 현장에 포설하고 코어를 채취하여 이를 다시 추출·재생한 아스팔트로 그림 4-27에 보여주는 것이다.

그림에서 새 아스팔트에 비해 노화 아스팔트의 앞부분(왼쪽)이 보다 블록해 보인다. 반면에 재생 아스팔트와 코어로부터 추출·재생한 아스팔트는 그 모양이 매우 비슷하다. 이는 현장 시공이 설계 한대로 적절히 혼합되었음을 보여주는 것이다. 이 앞부분은 대형 분자 부분으로 LMS라하며, 이의 크기 여부가 아스팔트의 노화 정도를 나타내는 것으로 아스팔트의 특성을 나타내는데 민감한 부분이다. 즉, 아스팔트의 노화가 진행되면 산화 과정을 통해 대형 분자가 증가하게 된다. 따라서, LMS 면적비가 낮으면 아스팔트가 산화되지 않은 것이며, 이 부분이 클수록 노화가 더 많이 진행된 것이다.

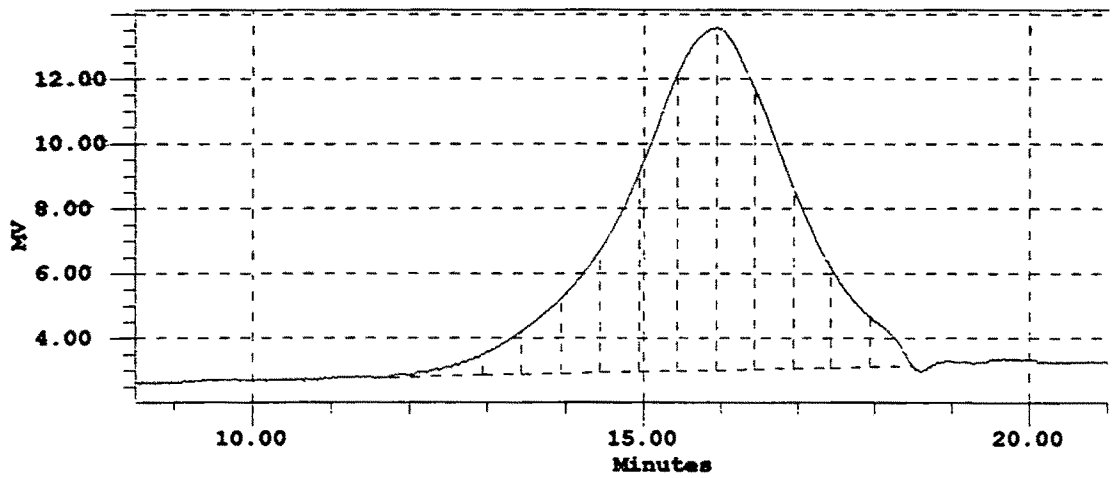


그림 4-24. 새로운 아스팔트의 크로마토그램

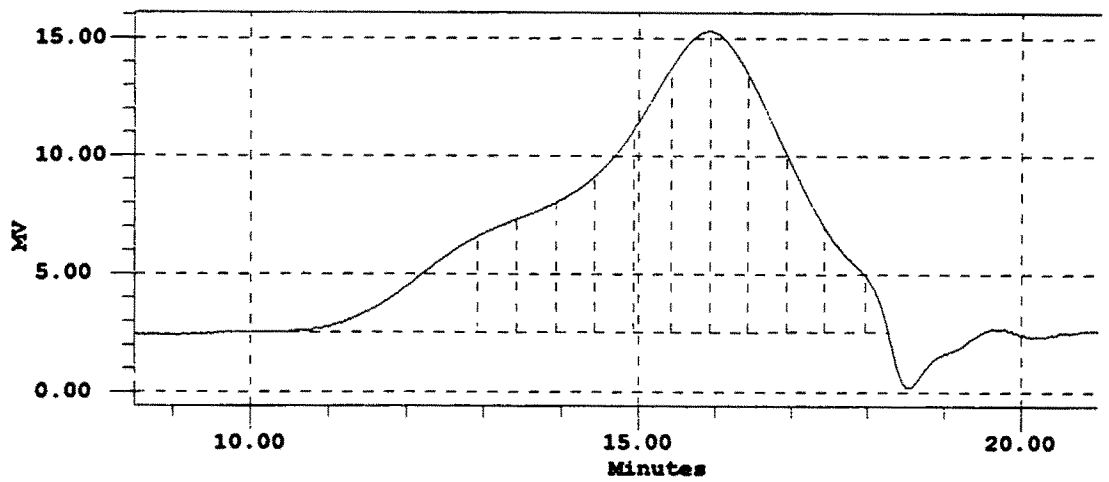


그림 4-25. 노화된 아스팔트의 크로마토그램

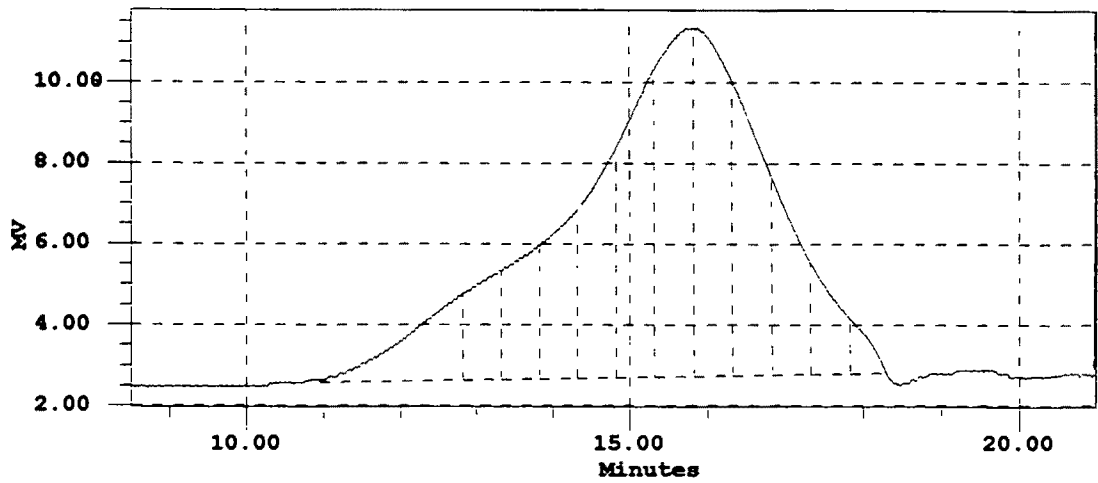


그림 4-26. 새 아스팔트와 노화 아스팔트를 6:4로 배합한 크로마토그램

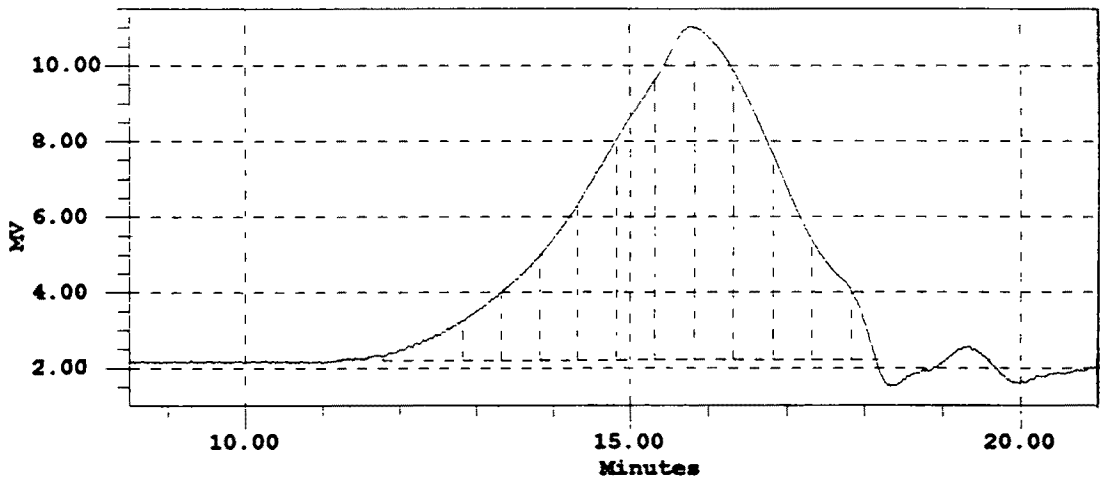


그림 4-27. 6:4로 배합하여 현장 시공하고 추출·재생한 아스팔트의 크로마토그램

각 아스팔트별 크로마토그램을 12구간으로 나누어 각 구간별 면적비(%)를 분석한 결과를 그림 4-28에 보여준다. 이 그림에서는 새 아스팔트와 노화 아스팔트를 실험실에서 6:4로 혼합한 것과 코어를 채취하여 추출·재생한 것과 거의 유사하므로 이 둘 중에서는 실험실에서 혼합한 것만 나타내었다. 여기서 각 구간(Slice) 별 면적비는 3회 반복 실험한 크로마토그램으로부터 얻어진 평균값이다.

이 그림에서도 특히 slice 1~4가 중요한데 새로운 아스팔트 (그림에서 AP-3)의 값이 다른 두 아스팔트에 비해 slice 1~4의 값이 가장 낮다. 반면 노화된 아스팔트(old)는 이 값들이 가장 커서 노화가 제일 많이 되어 있음을 알 수 있었다. 또한 둘을 6 : 4로 혼합한 아스팔트는 1~4 slice가 새 아스팔트보다 약간 크게 나타났으나 노화된 것보다는 훨씬 작아, 재활용을 위한 들의 배합에 의해 비교적 노화 정도가 많이 낮아졌음을 알 수 있었다.

한편 크로마토그램의 특성과 점도와의 상관관계를 보기 위해 각 slice 별 면적비와 점도와의 관계를 회귀분석을 통해 분석한 결과를 그림 4-29에 나타내었다. 여기서 첫 번째 slice는 제외했는데 이는 그 값이 매우 작고 또한 이전의 연구 결과 검출 시점을 선정하는 데에 따라 그 값이 크게 차이가 나기 때문에 오류의 여지가 많아 제외하였다.

회귀분석은 가장 간단한 1차 선형 회귀분석으로 각 Slice의 면적비를 종속변수(Y)로 놓고 점도를 독립변수(X)로 하여 모델 $Y=f(x)$ 를 설정하였다. 회귀분석 결과 각 Slice는 r^2 값이 모두 0.8 정도 씩 나와 각 Slice가 아스팔트의 노화로 점도가 증가함에 따라 그 상대면적이 직선적으로 증가됨을 잘 나타내고 있다.

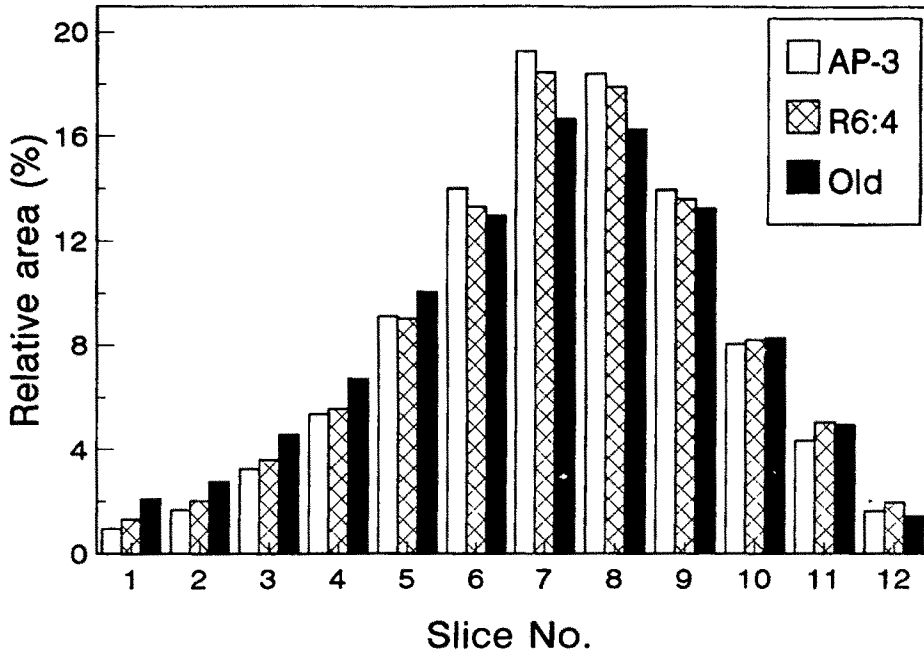


그림 4-28. 아스팔트 종류별 각 Slice의 면적비

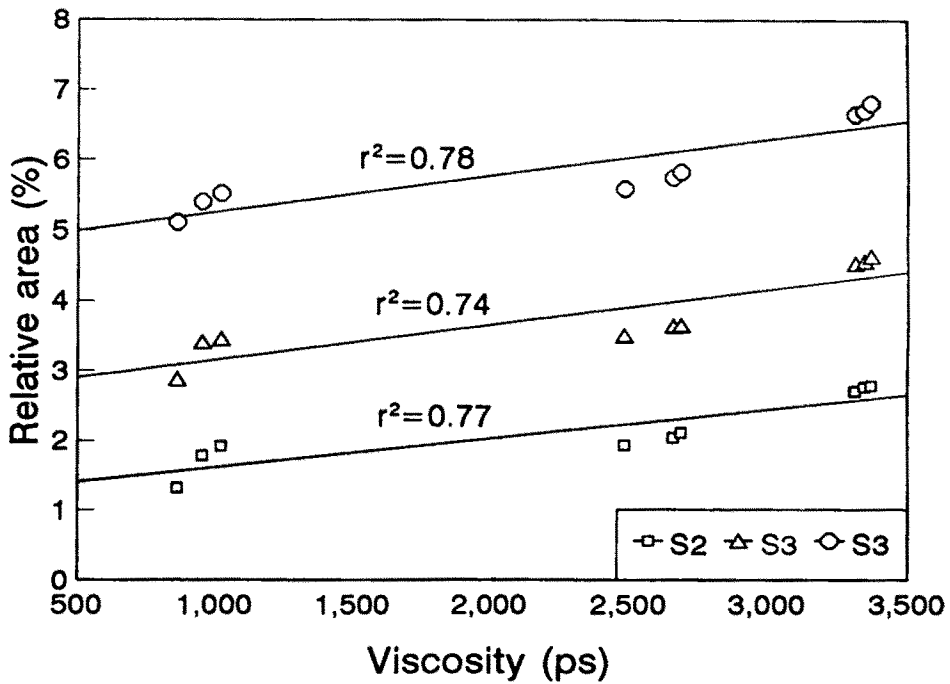


그림 4-29. 아스팔트 크로마토그램 Slice의 면적비와 점도의 상관관계

2. 재생 아스팔트 콘크리트의 배합설계

농촌도로의 포장용으로 폐아스팔트 포장재료를 재활용하기 위하여 25mm이하의 RAP을 50% 사용한 상온혼합 및 RAP을 40% 사용한 가열혼합물의 배합설계를 수행하여 얻어진 중요 변수에 대한 결과를 표 4-9에 보여준다. 각 배합에는 새로운 골재와 아스팔트를 소요량 첨가하였는데 이때 첨가한 아스팔트는 새로 넣은 골재와 혼합됨은 물론 RAP에 있는 노화 아스팔트를 보다 묽게 회생시키는데도 쓰인다. 앞의 아스팔트 침입도 및 점도 측정에서 보여주었듯이 노화 아스팔트의 점도는 약 3,000ps로 비교적 노화 상태가 적은 편이어서 첨가 아스팔트는 AP-3를 사용하였다. 재생 혼합되어 얻어지는 아스팔트 최적 함량은 가열혼합의 경우 4.5~5.0% 사이로, 상온혼합의 경우는 6.0~6.5%가 가장 나으나 규정상으로 결정은 불가능하였다.

표 4-9. 상온 및 가열혼합 아스팔트 혼합물의 배합설계 결과

Mixture	AC Content (%)	Air Void (%)	Density (g/cm ³)	VMA (%)	Void Filled (%)	Marshall Stability (kg)	Flow (0.1mm)
Cold-Mix	5.5	16.6	2.039	27.57	39.80	222	23
	6.0	14.1	2.083	26.34	46.43	251	25
	6.5	14.9	2.046	27.96	46.54	286	28
	7.0	15.0	2.028	28.85	48.15	284	33
Hot-Mix	4.5	4.92	2.375	15.38	67.99	1567	39
	5.0	2.78	2.410	14.57	80.90	1538	40
	5.5	2.01	2.412	14.99	86.60	1326	47
	6.0	1.62	2.403	15.73	86.69	1137	52
	6.5	0.94	2.425	16.22	94.18	1209	58

표에서 알 수 있듯이, 상온혼합보다 가열혼합 아스팔트 혼합물이 훨씬 품질이 좋게 나타남을 알 수 있었다. RAP의 상온혼합에서는 아스팔트가 6.2%에서 가장 품질이 좋은 아스팔트 함량임을 알 수 있었다. 하지만 마찰안정도가 286kg 흐름치는 28, 공극율은 14.9가 나와 흐름치만 기준에 적합할 뿐 공극율은 상당히 크고 마찰안정도는 아주 낮게 나타났다. 향후 연구를 통해 개선을 해야만 농촌도로의 경량 포장 표층용으로 사용 가능성이 있을 것으로 보여진다.

가열혼합의 경우 마찰안정도가 1500kg 이상이나 나와 매우 안정도가 높은 것으로 나타났다. 또한 재활용 혼합물의 궁극적인 최적 아스팔트 함량은 공극율과 흐름치 및 안정도를 고려하여 4.7%로 결정하였다. 이 경우 안정도 및 공극율은 기준치에 충분히 만족하며, 흐름치도 만족하기는 하나 표층 재료의 한계선인 40에 거의 근접하는 것으로 보여진다. 이번 결과에서는 같은 RAP로 배합설계를 하여도 혼합 방법에 따라 성질이 크게 변화함을 알 수 있었다.

상기의 배합설계 결과를 토대로 재생재료의 사용 비율을 다양화하기 위하여 RAP과 천연골재의 사용 비율은 아스팔트 침입도 분석 결과는 물론 골재의 합성 입도가 규정에 적합하도록 얻어지는 비율을 택하였다. 따라서 골재 합성용 컴퓨터 프로그램을 이용하여 RAP과 천연골재의 사용 비율을 4 : 6, 5 : 5, 6 : 4로 변화시켰으며 혼합물 1 톤 제조에 따른 소요 재료의 량을 표 4-10에 나타내었다.

표 4-10. 재생 아스팔트 혼합물의 배합

재활용 비율	RAP (kg)	천연재료 (Virgin Materials, kg)				
		굵은골재	잔골재	채움재	아스팔트	소계
4:6	400	427.3	117.1	25.8	27.8	600
5:5	500	356.9	98.1	21.8	23.2	500
6:4	600	285.9	78.7	17.1	18.3	400

3. 아스팔트 보조기층 및 안정처리기층의 시험 시공

사용된 페아스콘 재료의 입도 분석 결과 이는 일반 도로의 입도 조정 기층 규정을 거의 만족하고 또한 가열혼합 (Hot-mix) 아스팔트 안정처리기층 혼합물의 기준에 적합하여 별도의 골재 혼합 없이 입도 조정 기층이나 아스팔트 안정처리기층으로 사용할 수 있었다. 하지만 가열혼합 아스팔트 안정처리기층으로의 사용은 이를 아스콘 플랜트로 가져가 160°C 이상으로 가열하여 현장에서 운반해야 하는 등 번거로움이 있어 다른 방법을 사용하기로 하였다.

즉, 농촌에서 손쉬운 시공을 위해서는 이를 입도 조정 기층으로 사용하는 것이 좋으나 이 재료에는 본래 아스팔트가 함유되어 있고 입도도 좋아 이를 낮게 가열하여 상온혼합 (Cold-mix) 아스팔트 안정처리기층으로 시공기로 하였다. 다시 말해 입도 조정 기층과 가열혼합 아스팔트 안정처리기층의 중간 정도로 활용기로 한 것이다. 또한 RAP 만을 이용하여 보조기층으로의 시험도 같이 수행하여 별도의 천연재료 없이 보조기층으로 사용 가능성을 확인하였다.

상온혼합물의 혼합 및 다짐 온도는 60°C로 유지되도록 해야 한다. 한편

국내 중부지역의 하절기 아스팔트 포장 혼합물의 내부 온도는 60°C 정도인 것으로 조사되었다. 그래서 이를 농촌지역에서 별도의 가열 시설 없이 태양 열에 의하여 혼합물의 온도가 거의 60°C를 유지토록 하기 위하여 하절기 오후를 택하여 시공하도록 하였다. 이를 위해서 날이 맑고 더운 날 오전에 혼합물을 필요한 장소에 미리 가져다 고르게 펼쳐 놓고 아스팔트 유제(6%)만 가열하여 가장 더워지는 오후 2시경부터 비빔과 다지기를 수행하였다.

시험 pit는 강원대학교내 약 4평정도 규모의 터에 만들어 졌으며, RAP을 100% 사용한 보조기층은 다짐후 페아스콘은 한 덩어리처럼 달라붙어 일반적으로 상온 혼합물을 다져 놓은 것과 유사한 형태로 되었다. 그 위에서 수행된 평판재하시험 결과 k 값이 15kg/m³으로 매우 양호하게 나타났다.

한편 이 RAP과 천연재료 5 : 5의 재생 아스콘 상온혼합물의 마찰안정도는 약 251kg, 흐름은 25로 나타나 앞의 상온혼합 배합설계 시와 유사하였다. 따라서 이는 일반 도로용 가열 아스팔트 안정처리기층의 기준에 약간 미흡하나 소도로용으로는 적용이 가능할 것으로 사료되었다.

4. 재생 아스팔트 포장의 현장 시공

가. 혼합물의 특성

상기 혼합물의 비율 중 재활용 비율을 4 : 6로 한 배합설계에서 최적 아스팔트 함량을 4.7%로 하여 농촌도로 포장용으로 아스팔트 콘크리트를 제조하였다. 이때의 천연골재 및 아스팔트 등은 시험시공시 협찬 아스콘 회사에서 사용하는 재료들을 사용하였다.

공시체는 양면 50회씩 다짐하여 제조하였으며 그에 대한 마찰 특성을 측정한 결과는 표 4-11과 같다. 이에 따르면 재생 혼합물의 안정도와 간접

인장강도는 매우 우수하고 흐름치도 기준치 이내에 적합하게 나타났다. 하지만 공극이 일반 도로의 표층 규정인 3~6%보다는 다소 높으나 일반 도로의 기층 규정인 3~10%를 적용하면 만족하고 있다. 따라서 이 배합을 이용하여 가열혼합 아스팔트 포장에 현장에 시험 시공을 수행하였다.

표 4-11. 재생 아스팔트 혼합물의 마찰 특성

밀도 (g/cm ³)	공극율 (%)	VMA (%)	채움률 (%)	간접인장강도 (kg/cm ²)	안정도 (Kg)	흐름 (0.1mm)
2.249	7.07	21.05	61.67	12.5	1368	35

나. 현장 시험 시공

본 연구에서는 앞서 언급한대로 강원도 춘천시 신동면 의암리 농촌도로 일부를 시험포장으로 시공하였다. 사용된 재료는 상기에서 연구한대로 재생 아스팔트 재료(RAP) 40%와 일반 재료를 60% 사용하였으며 포장 구조는 앞의 그림 4-21과 같다.

시험포장 대상 도로는 1차년도 재생콘크리트 시험포장이 끝난 곳에서 연결되는 곳이며 그림 4-30에서 1, 2차년도의 시험 시공 포장의 위치와 개략적인 형태를 보여주고 있다. 도로의 바닥은 매우 견고하였으며 그 위에 폐콘크리트 재생골재로 기층을 설치함에 있어 문제가 없었다.

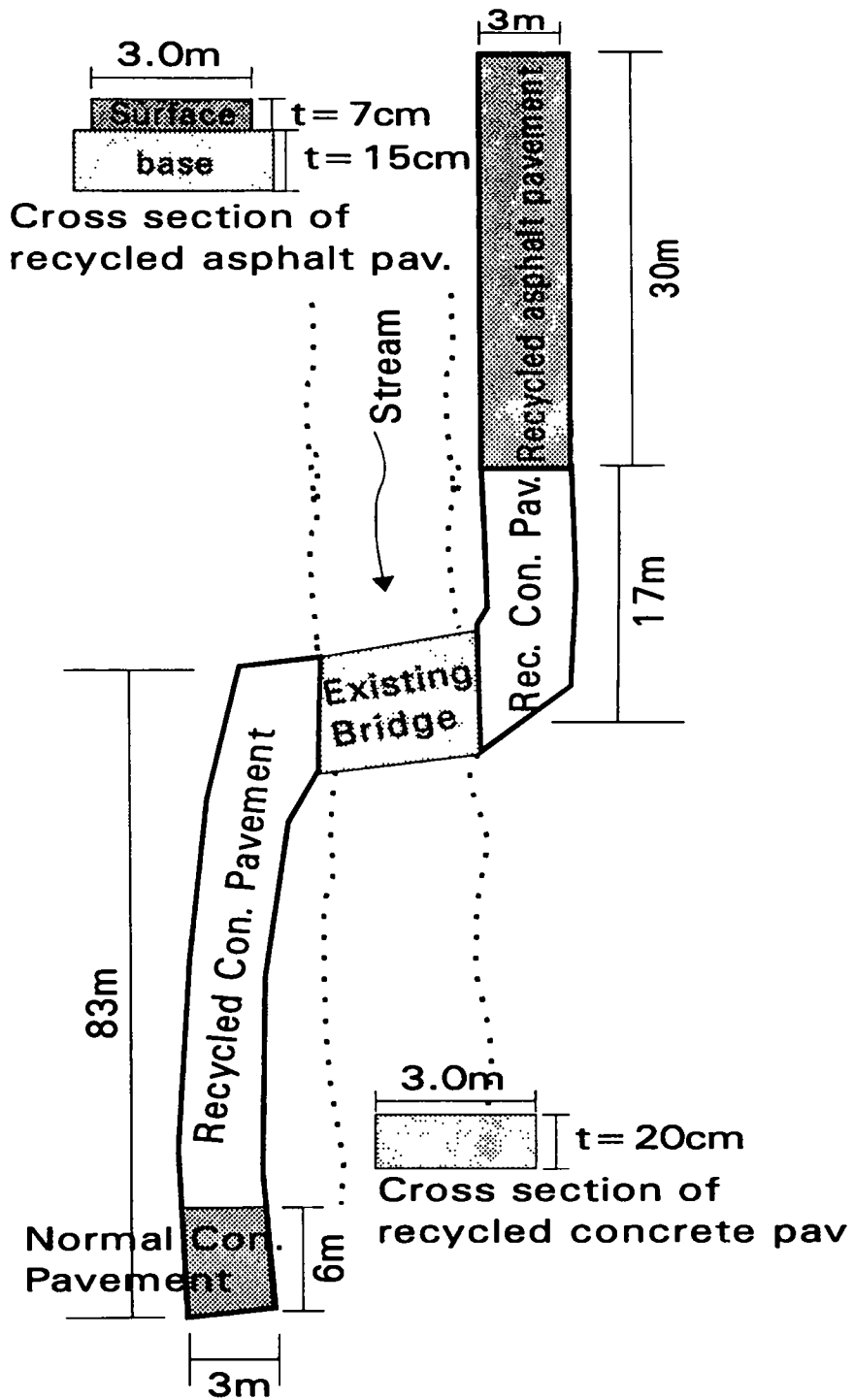


그림 4-30. 시험포장 지역의 개략적인 도형

그림 4-31는 시공 이전의 도로 상태를 보여주며, 그림 4-32은 재생골재를 수작업으로 고루 펴고, 그림 4-33과 4-34은 이를 소형(1톤) 진동 롤러로 물을 뿌리고 다지는 모습이다. 다짐은 단층으로 5회 이상 반복하였으며, 프라임 코우트는 잘 다져진 재생골재 기층 위에 아스팔트 유제(RSC-4)를 뿌렸으며 (그림 4-35) 이때 그림 4-36와 같은 살포기를 이용하였다.

아스팔트 포장재료의 가열혼합은 춘천시 관내의 삼광 아스콘 주식회사의 협조를 받아 1996년 9월 5일 수행하였다. 즉, 소정 량의 회수 아스팔트 포장재료(RAP)를 아스콘 플랜트의 홉퍼에 넣고 기 결정된 배합비율에 따라 골재를 투입하여 혼합하였다. 아스콘 플랜트로부터 혼합되어져 나온 가열 재활용 혼합물은 15톤 덤프트럭에 적재되어 현장에 운반·포설되었다.

운반 거리는 약 8km이었으며 시간으로 약 10분 걸렸다. 포장 현장에 운반 하차된 재활용 아스팔트 혼합물은 의암리 현지 주민의 트랙터 1대와 수작업으로 고르게 펼쳐졌으며, 이어서 소형(1톤) 진동 롤러를 이용하여 다짐하였으며 마무리 다짐시는 물을 살포하며 다짐을 수행하였다. 모든 작업은 가능한 한 현지 주민들이 특별한 기술 없이 시공이 가능한 방법을 택하였다. 다짐 시간은 약 1시간 걸렸으며 전체 작업 시간은 약 1시간 30분 정도 걸렸다 (그림 4-37, 4-38).

포설된 포장 위에 다음날 아스팔트 유제와 굵은 모래(#4체 통과, #30체 잔유)를 이용하여 실코우트(Seal coat)를 시공하였다. 이 실코우트는 포장 표면의 마찰력을 향상시켜 주고, 표면으로 빗물 등이 침투되어 들어가는 것을 막아 포장을 보호하는 등의 기능을 가진다. 하지만 본 연구에서는 포장 재료가 25mm 였으며 표층을 별도로 사용하지 않았으므로 칩실(Chip seal)을 2겹으로 처리하여 표층의 기능을 대신 하도록 하였다 (그림 4-39, 4-40).



그림 4-31. 시험 시공 이전의 도로 상태

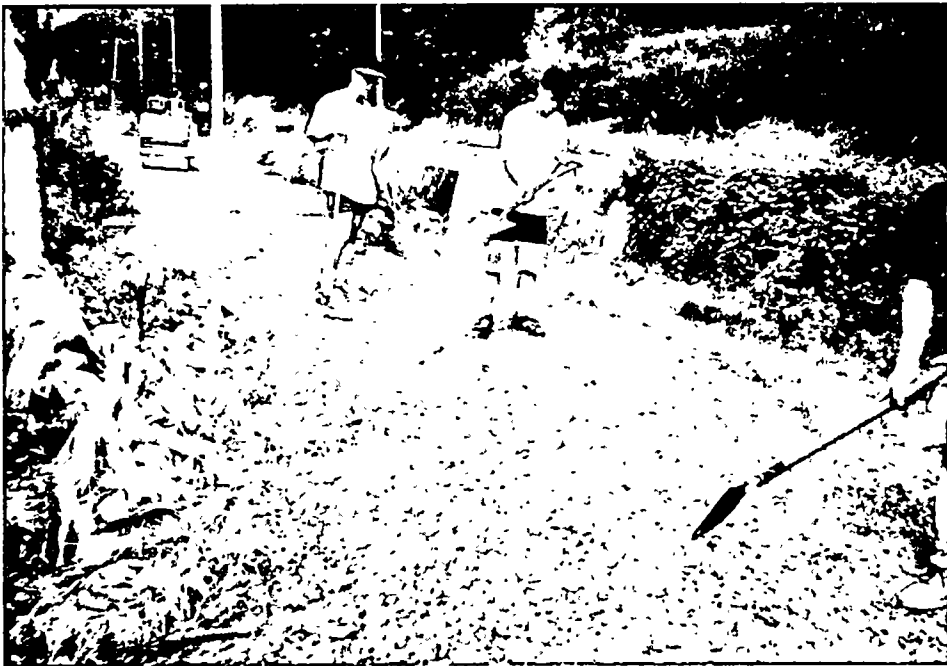


그림 4-32. 재생골재 기층을 위해 수작업으로 고르게 펴는 작업



그림 4-33. 재생골재 기층을 다지는 초기 작업



그림 4-34. 마무리된 재생골재 기층



그림 4-35. 프라임 코트(Prime coat)를 뿌린 모습



그림 4-36. 아스팔트 표층의 다짐작업



그림 4-37. 재활용 아스팔트 표층의 표면 상태



그림 4-38. 표면에 실코트를 위해 유제를 살포한 모습



그림 4-39. 표면에 실코트(Seal coat)용 잔골재(5mm)를 뿌리는 작업



그림 4 40. 완성된 포장의 모습

포설당시 현장에서 하차된 재생 아스팔트 혼합물을 무작위로 채취하여 실험실로 가져와 마샬 공시체를 12개 제조하였다. 또한 완성된 재생 아스팔트 포장에서 다음날 코어를 6개 채취하여 포설 깊이와 혼합물의 특성을 점검하였다 (그림 4-41, 4-42). 채취된 코어의 높이는 6cm부터 9cm였다. 이는 설계된 두께 6~7cm를 만족하는 것으로 수작업으로는 비교적 고르게 시공된 것으로 나타났다.

현장 재료로 실험실에서 제조한 공시체는 무작위로 나누어 마샬안정도와 간접인장강도 측정에 3개씩을 사용되었고 나머지 6개는 동결-융해에 112사이클 처리후 마샬 특성치와 간접인장강도를 측정·비교하였다. 동결-융해 처리용 공시체는 물로 포화시킨 후 비닐 봉지에 싸서 시험조에 넣었으며, 1사이클은 4시간으로 -30℃와 +30℃를 반복하였다. 또한 코어 채취한 공시체에 대해서는 마샬 특성치와 간접인장강도를 측정하였으며 그 결과는 표 4-12와 같다.

표 4-12. 재생 아스팔트 혼합물의 마샬 특성

공시체 종류	상태	밀도 (g/cm ³)	공극율 (%)	VMA (%)	마샬 안정도 (kg)	흐름 (0.1mm)	간접인장강도 (kg/cm ²)	비고
제조	무처리	2.368	3.79	16.53	946	36	-	
제조	동결-융해	2.372	3.62	16.38	802	37	-	
코어	무처리	2.376	3.47	16.25	847	48	-	
제조	무처리	2.380	3.31	16.11	-	-	13.5	
제조	동결-융해	2.382	3.22	16.04	-	-	9.6	
코어	무처리	2.366	3.86	16.59	-	-	8.7	

제조: 현장에서 혼합물의 샘플을 채취하여 실험실에서 공시체 제조

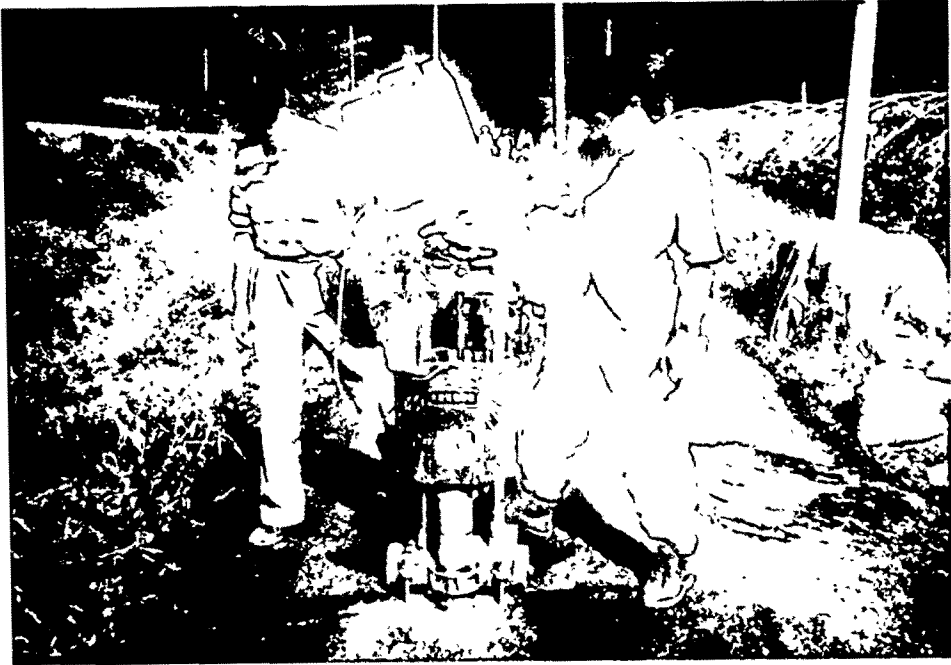


그림 4-41. 포장 현장에서 코어를 채취하는 작업



그림 4-42. 채취된 코어

포설된 재생 아스팔트 혼합물은 비교적 양호한 상태였다. 코어 공시체를 채취·시험한 결과 공극이 4% 이내로 매우 잘 다져졌고 밀도도 2.3~2.4로 양호하며 마찰안정도는 800kg이 훨씬 넘어 일반 도로 표층의 규정치 500kg을 충분히 만족했다. 그러나 흐름값이 다소 높았으나, 시험실 제조 공시체의 경우는 안정적으로 40 이내 이었다. 또한 간접인장강도도 8.7kg/cm²이어서 매우 우수하게 나타났다. 동결-융해를 112사이클 처리후 마찰안정도 유지비는 84.8%이었으며 간접인장강도 유지비는 71.1%이어서 상당히 양호한 편이었다.

제 4 절 결 론

회수 아스팔트 포장재료를 새로운 골재와 혼합하여 제조한 재활용 아스팔트 혼합물은 상온혼합에서는 안정도 등 특성치가 기준에 미달이었으나, 가열혼합으로는 안정도, 공극율 등이 국내 규정을 만족하는 아주 우수한 성질을 나타냄을 알 수 있었다. 이상의 연구 결과로 가열혼합 아스팔트 포장용으로 폐아스팔트 재료를 이용하여도 소요 성질 이상의 성능을 얻을 수 있음을 확인하였다.

한편 이를 이용해 농촌도로에 시험포장을 시공한 결과 매우 우수한 품질의 포장을 얻을 수 있었다. 또한 시공도 기존 아스콘 플랜트에서 혼합하여 소형 롤러 및 수작업으로 시공할 수 있어 향후 매우 실용성이 높을 것으로 판단되었다. 이와 같이 폐아스팔트를 사용하는 것은 자원 고갈과 환경보호 면을 고려할 때 앞으로 적극 실용화를 추진하면 그 효과가 클 것으로 기대된다.

제 5 장

재생콘크리트 포장 상태 점검 및 실용성 분석

여 백

제 5 장 재생콘크리트 포장 상태 점검 및 실용성 분석

제 1 절 시험포장 상태

1차년도에 시험 시공한 농촌도로 100m의 포장 표면 상태 및 제반 사항을 지속적으로 관찰하였다. 포장 표면에는 시공후 일주일 이내에 경사진 부분에 횡 방향 미세 균열이 나타났으며 이는 동절기에 5mm 정도 폭의 균열로 확장되었다가 하절기에 다시 그 폭이 2mm 이하로 축소되었다. 이는 온도 변화에 의한 포장체의 수축·팽창에 따른 것이다. 일반적으로 도로에서의 균열폭 5mm 이하는 미세한 것으로 간주되며 아직 확대되는 경향이 없어 이는 큰 문제로 보이지 않는다. 그리고 그 외의 곳에는 별다른 손상이 나타나지 않았다.

한편, 포장되어 있는 재생콘크리트의 장기간에 걸친 강도 변화를 측정하기 위하여 시공 6개월이 되는 1996년 3월 15일과, 시공 1년이 되는 9월 15일 시험포장 도로에서 각각 3개의 코어를 채취하여 압축강도를 측정하였다. 표 5-1에서 알 수 있듯이 시공 6개월만에 압축강도는 370.6kg/cm^2 으로 재령 28일의 약 250kg/cm^2 보다 크게 향상되었으며 다시 6개월이 지나 1년 되었을 때의 압축강도는 400kg/cm^2 이상으로 증가되었음을 알 수 있었다. 이는 사용된 플라이애쉬의 영향으로 해석되며, 탄성계수도 역시 6개월만에 5%이상의 증가가 있었다.

따라서 재생콘크리트 농촌도로 포장은 매우 양호한 상태를 유지하고 있으며 일반 콘크리트 포장과 비교하여 전혀 손색이 없는 것으로 나타났다. 더구나 장기 강도의 증가 및 탄성계수의 향상은 이것의 기대 수명이 일반

콘크리트보다 더 길게 할 수 있다는 증거를 보여주는 것이기도 하다.

표 5-1. 재령에 따른 시험포장 재생콘크리트의 강도 변화.

재령	휨강도(kg/cm ²)	압축강도(kg/cm ²)	탄성계수(kg/cm ²)
28일	45.4	249.4	2.31 × 10 ⁵
6개월	-	370.6	2.41 × 10 ⁵
12개월	-	400.7	-

제 2 절 재생골재 생산공정, 경제성 분석 및 시방규정(안) 제정

재생골재를 제대로 생산하기 위해서는 폐콘크리트를 파쇄함에 있어서 충격 파쇄기(Impact crusher)를 사용하는 것이 매우 바람직한 것으로 나타났다. 왜냐하면 일반적으로 많이 쓰이는 죠크러셔(Jaw crusher)는 재생골재가 길거나 가늘고 납작하게 파쇄 되는 등 입형이 매우 불량하게 되어 가뜩이나 작업성(Workability)이 불량한 재생콘크리트를 시공시 더욱 작업하기 어렵게 만드는 결과가 되기 때문이다. 한편, 유기물 등 이물질의 함유량을 낮추기 위한 방법으로는 바람을 이용하는 방법, 침수시키는 방법 및 수작업 제거법 등이 있는 것으로 조사되었다.

경제적으로 재활용 재료의 사용은 저렴한 가격으로 포장을 건설하여 같은 예산이라도 보다 많은 도로를 포장할 수 있다는 이점이 있다. 골재의 구입 가격이 해마다 상승함은 물론 전국적으로 볼 때 막대한량의 골재가 소도로 포장에 필요한 실정임에 재활용 재료의 사용은 천혜의 부존자원이 빈약한 우리 실정을 감안할 때 분명한 해결책의 하나가 될 수 있다.

실제 가격 면에서 본 연구에 사용된 천연골재와 재생골재를 비교해 보면 '95년말 현재 천연 쇄석 굵은골재는 톤당 8,000 ~ 10,000원(춘천 지역 산지) 인데 비하여 재생골재는 톤당 2,000원(춘천, 대전)으로 쇄석 골재의 20~25% 수준이다. 이를 이용하여 50%를 재생골재로 대체하는 경우 본 연구의 배합설계 기준에 의한다면 1m³의 콘크리트 제조에 약 4,000원 정도의 원가 하락 요인이 되며 레미콘 한 트럭을 사용할 경우 약 25,000원 정도의 원가가 저하된다.

하지만 이는 단지 현재의 연구 결과인 굵은골재의 50%를 재생골재로 대체하는 경우일 뿐 앞으로 재활용 비율을 더 높여 60 ~ 80%로 한다면 그 차이는 28,000 ~ 37,000원으로 더 커질 것이다. 하지만 이는 골재 사용량에 따른 단순 비교이나 재생콘크리트가 강도 유지성이 더 우수한 점을 고려하고, 재활용에 따른 자연 환경보호 및 자원 절약 효과를 고려한다면 그 이득은 훨씬 더 클 것이다.

또한 재생콘크리트 도로포장 공법을 실제 농촌에 사용할 수 있게 하기 위하여 농촌도로 포장용 시방규정 및 표준 품셈에 대한 지침서를 작성하였으며 이를 부록에 제시하였다. 또한 회수 아스팔트 포장 (RAP) 재료를 이용하여 농촌도로 포장을 시공하게 하기 위하여 미국 아스팔트 연구원에서 제시한 재활용 지침을 번역·작성하여 부록에 제시하여, 향후 실용화를 위한 기틀을 마련하였다.

여 백

제 6 장
종합 결론, 기대 효과 및 활용 계획

여 백

제 6 장 종합 결론, 기대 효과 및 활용 계획

제 1 절 결론

본 연구는 폐콘크리트 및 폐아스콘을 재생하여 농어촌 도로 포장용 재료로 재활용하는 기법을 개발하는 연구이었다. 2년간의 연구 중 마지막 해인 2차년도 연구에서는 회수 아스팔트 포장재료를 재활용하는 연구이다. 이 연구에서 가열 혼합물(Hot-mix)은 농촌도로 경량 포장의 표층으로, 그리고 상온혼합(Cold-mix)은 아스팔트 안정처리기층으로 사용할 수 있었으며, 금년도에 수행한 세부 과제별 연구로부터 최종적으로 얻어진 세부적인 결론을 요약하면 다음과 같다.

폐콘크리트 재생 굵은골재와 천연 굵은골재의 배합비율을 보다 높이기 위해 그 비율을 8 : 2까지 높인 연구를 수행한 결과 60% 선까지는 일반 도로에 사용할 수 있을 정도로 우수한 품질의 콘크리트가 얻어졌다. 또한 재생골재를 70 ~ 80% 활용시도 $\sigma_{28} = 220kg/cm^2$ 이상이 얻어져 활용 가능성이 충분히 엿보였다.

또한 폐콘크리트 재생골재를 아스팔트 혼합물에 사용하기 위한 연구를 수행한 결과, 양호한 혼합물을 제조할 수 있었으나 비교적 높은 아스팔트 함량이 요구되어 향후 이에 대한 연구가 있어야 하겠다.

회수 아스팔트 포장재료(RAP)와 천연재료를 5 : 5로 사용한 상온혼합으로 제조된 재생 아스팔트 포장재료 및 모두 RAP 만을 사용하여 하절기 이후 상온에서 다진 것은 각각 농촌도로의 아스팔트 안정처리기층 및 보조기층용으로 충분한 사용 가능성이 있었다.

회수 아스팔트 포장재료를 천연재료와 4 : 6으로 사용한 가열혼합 아스

팔트 배합설계를 마샬 방법에 의하여 수행하고, 제조된 재생 아스팔트 콘크리트의 특성 시험을 수행하여 농촌도로 포장재료로 사용 가능한 만족한 결과를 얻었다.

이를 바탕으로 아스콘 회사의 협조하에 소형(1톤) 진동로울러와 수작업으로 시험포장을 수행하였다. 사용된 재료로 제조한 공시체와 시공된 포장에서 채취한 코어를 통하여 포장의 상태를 점검한 결과 특성치가 대부분 규정에 적합한 상태여서 시험포장이 성공적으로 수행되었음을 알 수 있었다(표 4-12). 따라서 지방 규정 개발에 대한 연구 및 품셈 개발을 수행하여 그 안을 제시하였다.

1차년도 시공된 재생콘크리트 시험포장의 상태 및 장기 강도 변화를 관찰하였다. 이 포장은 약간의 균열 외에 거의 다 손상이 없이 상태가 잘 유지되고 있었다. 그리고 코어채취를 통한 강도 측정 결과 28일 압축강도가 약 250kg/cm^2 에서 재령 6개월에는 약 370kg/cm^2 으로 그리고 재령 1년에는 약 400kg/cm^2 으로 크게 증진되었음을 알 수 있었다.

따라서 본 연구에서 수행한 재생재료를 이용한 농촌도로 포장은 비교적 쉽게 시공할 수 있도록 개발되었으며, 골재의 가격을 비교할 때 직접적으로 경제적인 이득이 있으며 환경보호 등 간접적인 면을 고려한다면 그 이득은 더욱 클 것으로 추정되었다.

제 2 절 기대 효과 및 활용 계획

본 연구에서 1차년도에는 폐콘크리트를 첨가한 재생콘크리트로, 2차년도에는 폐아스팔트 포장재료를 첨가하여 제조한 아스팔트 혼합물을 재활용하여 농촌도로에 시험포장을 성공적으로 수행하였다. 두 재활용 재료에 의

한 농촌도로 포장에 주민들이 충분히 만족하는 상태로 시공·유지되고 있으며, 강도 등을 코어채취를 통하여 조사한 결과 설계치를 모두 만족하는 성과를 얻었다.

따라서 본 연구에서 제시한 기법으로 농어촌 도로를 재활용 재료로 포장할 경우 같은 예산으로 보다 많은 농어촌 도로의 포장을 시공할 수 있음은 물론 농촌 주민이 만족할 수 있는 품질의 도로를 건설할 수 있을 것이다. 이 결과 콘크리트 포장시 굵은골재의 50%를 폐콘크리트 재생골재로, 아스팔트 포장시 전체 사용 재료의 40%를 폐아스팔트 재료로 재활용하는 효과를 얻었다. 또한 향후 이 비율은 노력을 통해 보다 높게 향상시킬 수 있을 것이다. 이는 값어치 있는 재료를 재활용하는 것이므로 경제성은 물론 자원 절약, 환경보호 효과와 함께 농촌 주민의 생명선인 도로 포장률을 향상시키는데 크게 기여할 것으로 기대된다.

본 연구에서는 시공 방법도 농촌 지역에 쉽게 적용할 수 있도록 특수 장비 없이 손쉬운 시공 방법을 사용토록하여 매우 양호한 포장을 얻었다. 따라서 이를 적극 활용하기 위하여 관계 기관과 협조하에 보다 대규모의 시험 시공을 수행토록 할 것이며, 이를 위해 농촌도로 재활용 포장 시공 지침서와 표준 품셈도 개발하였고 폐아스팔트 포장재료의 재활용 지침도 제시하였다. 또한 이를 보다 널리 보급하기 위하여 최종 보고서를 전국 각 시도에 배포할 것이며, 신문, 방송들을 통한 홍보도 적극적이고 추진하였으며 앞으로도 계속 할 것이다. 한편 본 연구와 관련된 신문 및 방송의 보도는 이미 여러차례 (신문 3건, 방송 5건) 보도된 바 있으며 그 시기 및 해당 보도 기관은 아래와 같다.

신문 보도

조선일보 1995. 11. 29,

강원일보 1995년 11월 28일,

연합건설신문 1996년 6월 5일.

방송 보도

KBS 제1라디오 1995년 11월 27일 저녁 6시 10분 생방송 오늘

YTN 1995년 12월 뉴스,

KBS 춘천 방송 총국 1995년 12월 낮 1시 40분,

MBC 1995년 12월 스튜디오 774 밤 10시 40분,

YTN 1996년 12월 뉴스.

참고 문헌

1. ACI Committee 226 (1987), "Use of Fly Ash in Concrete," (ACI 226.3 R-87), ACI Materials Journal, Vol. 84, No. 5, Sept.-Oct. 1987, pp 381-409
2. Adriaan Van wijk and Wood, L. E. (1983), "Use of Foamed Asphalt in Recycling of an Asphalt Pavement," TRR 911, TRB, 96~103.
3. Akhtaruzzaman, A. A. and Hasnat, A. (1983), "Properties of Concrete Using Crushed Brick as Aggregate," Concrete International, Feb., pp. 58-63.
4. Amirkhaniyan, S. N. and Burati, J. L. (1992), "A Study of Re-use of Moisture-Damaged Asphalt Mixtures," Report No. FHWA-SC-92-05, Clemson University, Clemson, SC.
5. Bairagi, N. K., Vidyadhara, H. S. and Ravend, K. (1990), "Mix Design Procedure for Recycled Aggregate Concrete," Construction & Building Materials, Vol. 4, No.4, December, pp. 188-193.
6. Barth, H. P. (1994), "Financial, Economical and Political Aspects of the Reuse of Construction and Demolition Waste," Proc., 3rd Int'l RILEM Symp, Ed. by Lauritzen, E & FN Spon, London.
7. Bauchard, M. (1988), "The Use in Roads of Aggregates made from Demolition Materials," Reuse of Demolition Waste, Proceedings, 2nd International Symposium by RILEM, Kasai, Y. Ed., Chapman and Hall, pp. 719-725.
8. Bergren, J. V. and Britson, R. A. (1977), "Portland Cement Concrete Utilizing Recycled Pavement," Iowa Department of Transportation, Division of Highways, Office of Materials, January
9. Brennen, M., et al., Altschaeffl, A. and Wood, L. E. (1983), "Laboratory Investigation of the Use of Foamed Asphalt for Recycled Bituminous Pavements," TRR 911, TRB, 80~87.

10. Brown, D. J. (1980), "Equipment for Hot Recycling," TRR 780, TRB, 125~129.
11. Brown, E. R. (1984), "Evaluation of Properties of Recycled Asphalt Concrete Hot Mix," Technical Report GL-84-2, US Army Engineer Waterways Experimental Station, Vicksburg, MS.
12. Buck, A. D. (1973), "Recycled Concrete," Highway Research Record 430, HRB, pp. 1-8.
13. Buck, A. D. (1977), "Recycled Concrete as a Source of Aggregate," ACI Journal, Title No. 74-22, May, pp. 212-219
14. Busch, C. (1988), "Crushed Concrete used as Base course Material on Runway 04R-22L at Copenhagen Airport," Reuse of Demolition Waste, Proceedings, 2nd International Symposium by RILEM, Kasai, Y. Ed., Chapman and Hall, pp. 766-774.
15. Carmichael, T. (1977), "Modeling Heater Techniques for In-Place Recycling of Asphalt Pavements," Proc. AAPT, Vol. 46, pp. 526~540.
16. 최민수, 김무한, Namba, Abe, (1995), "재생조골재의 물리적 특성에 미치는 재 파쇄 횟수의 영향에 관한 연구," 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집 제12집, 경북대학교.
17. 최진성, 윤병수, 임정수, 김진만, 남상일, 김무한. (1993), "재생골재 콘크리트의 공학적 특성에 미치는 재생골재 혼합 조건의 영향에 관한 실험적 연구(제1보)," 콘크리트학회 학술발표회 논문집 제 8집, 건국대학교.
18. 최청각, 윤기원, 한천구, 김무한. (1993), "재생골재 콘크리트의 강도조기 추정 및 비파괴 실험 적용성에 관한 연구 (II) - 제1보 역학적 성질 및 강도 조기 추정," 콘크리트학회 학술발표회 논문집 제 9집, 전남대학교.
19. Collins, R. J. (1994), "Reuse of Demolition Materials in Relation to Specifications in the U. K.," Proc., 3rd Int'l RILEM Symp, Ed. by Lauritzen, E & FN Spon, London.
20. Coons, R. F. and Wright, P. H. (1968), "An Investigation of the Hardening of Asphalt Recovered from Pavements of Various Ages,"

Proc. AAPT, Vol. 37, pp. 510~528.

21. "Crushing converts rubble into subbase aggregate," (1971), Roads and Streets, May.
22. Davidson, D. D., Canessa, W. and Escobar, S. J. (1978), "Practical Aspects of Reconstituting Deteriorated Bituminous Pavements," ASTM STP 662, 16~34.
23. Davidson, D. D. (1977), "Recycling of Substandard or Deteriorated Asphalt Pavements-A Guideline for Design Procedures," Proc. AAPT, Vol. 47, pp. 496~525.
24. De Pauw, C. (1994), "Demolition and Reuse Following Disaster," Proc., 3rd Int'l RILEM Symp, Ed. by Lauritzen, E & FN Spon, London.
25. "Disaster Planning, Structural Assesment, Demolition and Recycling," (1994), Report of Taskforce 2 of RILEM Technical Committee 121-DRG, Ed. by C. D. Pauw and E. K. Lauritzen, E & FN Spon, London
26. Dunning, R. L., Mendenhall, R. L. and Tischer, K. K. (1975), "Recycling of Asphalt Concrete Description of Process and Test Sections," Proc. AAPT, Vol. 44, pp. 537~563.
27. "도로포장 설계·시공 지침," (1991), 건설부
28. Eldin, N. N. and Senouci, A. B. (1993), "Observation on Rubberized Concrete Behavior," Cement, Concrete, and Aggregate, Vol. 15, No. 1, pp. 74-84
29. El Kholy, F. A. (1985), "Aggregate Blending using Microcomputers," Report, Department of Civil Engineering, Clemson University, Clemson, SC.
30. Emery, J. (1993), "Use of Waste, Surplus Materials and By-Products in Transportation Construction," Paper presented at Annual Conference of Transportation Association of Canada, Ottawa, Canada,

Sept.

31. Epps, J. A. (1990), TRB, "Cold-Recycled Bituminous Concrete using Bituminous Materials," NCHRP Synthesis 160.
32. Epps, J. A., Little, D. N. and Holmgren, R. J. (1980), "Guidelines for Recycling Pavement Materials," NCHRP Report 224, TRB.
33. Faase, R. M. W., Manhoudt, J. H. J. and Kwint, E. (1991) "Power Concrete," Waste Materials in Construction, Proceedings of International Conference on environmental implication of construction with waste materials, Studies in Environmental Science 48, Elsevier Amsterdam, pp. 415-423.
34. Forster, S. W. (1985), "The use of recycled PCC as aggregates in PCC pavements," FHWA, Office of Engineering and Highway Operation Research Development, Washington, D.C.
35. Forster, S. W. (1986), "Recycled Concrete as Aggregate," Concrete International, Oct. pp. 34-40.
36. "Fracture mechanics test methods for concrete," Report of Technical Committee 89-FMT, RILEM, Ed. by Shah and Carpinteri, Chapman Hall, London, 1991, pp. 1-86.
37. Frondistou-Yannas, S. (1977), "Waste Concretes as Aggregate for New Concrete," ACI Journal, August, pp. 373-376.
38. Frondistou-Yannas, S. and Itoh, T. (1977), "Economic Feasibility of Concrete Recycling," Journal of Structural Engineering Div., ASCE, April, pp. 885-899.
39. Gottfredsen, F. R. and Thogersen, F. (1994), "Recycling of Concrete in Aggressive Environment," Proc., 3rd Int'l RILEM Symp, Ed. by Lauritzen, E & FN Spon, London.
40. Gorle, D. and Saeys, L. (1988), "Reuse of Crushed Concrete as a Road Base Material," Reuse of Demolition Waste, Proceedings, 2nd International Symposium by RILEM, Kasai, Y. Ed., Chapman and

Hall, pp. 736-745.

41. Graff, O. (1948), "Crushed-Brick Concrete, Sand Stone Concrete and Rubble Concrete," *Die Bauwirtschaft* (Wiesbaden), Jan. - Mar.
42. 한상욱, 조윤주, (1995), "건설폐기물의 실태와 대책 방안 (1)," *첨단환경 기술*, 5월호, pp. 78-86.
43. 한상욱, 조윤주, (1995), "건설폐기물의 실태와 대책 방안 (2)," *첨단환경 기술*, 6월호, pp. 74-79.
44. Hansen, H. (1994), "A Method for Total Reutilization of Masonry by Crushing, Burning, Shaping and Autoclaving," *Proc., 3rd Int'l RILEM Symp.*, Ed. by Lauritzen, E&FN Spon, London, pp. 407-410.
45. Hansen, T. C. (1986), "Recycled Aggregate and Recycled Aggregate Concrete: Second State-of-the-Art Report Developments 1945-1985," *Materials and Structures*, 19 (111), June, pp. 201-246.
46. Hansen, T. C. (1990), "Recycled Concrete Aggregate and Fly Ash Produce Concrete without Portland Cement," *Cement and Concrete Research*, Vol. 20, pp. 355-356.
47. Hansen, T. C. (1992), "Recycling of demolished concrete and masonry," Part 1, Report of Technical Committee 37 - DRC, RILEM, E & FN Spon, London, pp. 1-160.
48. Hansen, T. C. and Angelo, J. W. (1986), "Crushed Concrete Fines Recycled for Soil Modification," *ACI Journal*, Title No. 83-87, pp. 983-987.
49. Hansen, T. C. and Boegh, E. (1985), "Elasticity and drying shrinkage of Recycled- Aggregate Concrete," *ACI Journal*, Title No. 82-56, pp. 648-652.
50. Hansen, T. C. and Hedegard, S. E. (1984), "Properties of Recycled Aggregate Concrete as Affected by Admixtures in Original Concretes," *ACI Journal*, Title No. 81-3, pp. 21-26.

51. Hansen, T. C. and Marga, M. (1988), "Strength of Recycled Concrete Made from Coarse and Fine Recycled Concrete Aggregate," Reuse of Demolition Waste, Proceedings, 2nd International Symposium by RILEM, Kasai, Y. Ed., Chapman and Hall, pp. 605-612.
52. Hansen, T. C. and Narud H. (1983), "Strength of Recycled Concrete made from Crushed Concrete Coarse Aggregate," Concrete International, Jan., pp. 79-83.
53. Hansen, T. C. and Narud H. (1983b), "Recycled Concrete and Fly Ash make Calcium Silicate Bricks," Cement and Concrete Research, Vol. 13, No. 4, pp. 505-510.
54. Hansen, T. C. and Narud H. (1983c), "Recycled Concrete and Silica Fume make Calcium Silicate Bricks," Cement and Concrete Research, Vol. 13, No. 5, pp. 626-630.
55. Hansen, T. C. (1992), "Recycling of Demolished Concrete and Masonry," Part 1. Report of Technical Committee 37 -DRC, RILEM, E & FN Spon, London, pp. 1-160
56. Halverson, A. D. (1985), "Recycling Portland Cement Concrete Pavement," Minnesota Department of Transportation, Office of Research and Development.
57. Ingberg, R. C. (1980), "Specification related to project selection," TRR 780, TRB, 21~26.
58. Ikeda, T., Yamane, S. and Sakamoto, A. (1988), "Strength of concrete containing recycled concrete aggregate," Reuse of Demolition Waste, Proceedings, 2nd International Symposium by RILEM, Kasai, Y. Ed., Chapman and Hall, pp. 585-594.
59. Kaga, H., Kasai, Y., Takeda, K. and Kemi, T. (1988), "Properties of Recycled Aggregate from Concrete," Reuse of Demolition Waste, Proceedings, 2nd International Symposium by RILEM, Kasai, Y. Ed., Chapman and Hall, pp. 690-698.
60. Kakizaki, M., Harada, M. and Motoyasu, H. (1988), "Manufacturing

of Recovered Aggregate Through Disposal and Recovery of Demolished Concrete Structures," Reuse of Demolition Waste, Proceedings, 2nd International Symposium by RILEM, Kasai, Y. Ed., Chapman and Hall, pp. 699-708

61. Kakizaki, M., Harada, M., Soshiroda, T., Kubota, S., Ikeda, T. and Kasai, Y. (1988), "Strength and Elastic Modulus of Recycled Aggregate Concrete," Reuse of Demolition Waste, Proceedings, 2nd International Symposium by RILEM, Kasai, Y. Ed., Chapman and Hall, pp. 565-574.
62. Karihaloo, B. L. and Nallathambi, P., "An Improved Effective Crack Model for the Determination of Fracture Toughness of Concrete," Cement and Concrete Research, Vol. 19, 1989, pp. 603-610.
63. Kasai, Y., Hisaka, M. and Yanagi, K. (1988), "Durability of Concrete Using Recycled Coarse Aggregate," Reuse of Demolition Waste, Proceedings, 2nd International Symposium by RILEM, Kasai, Y. Ed., Chapman and Hall, pp. 623-632.
64. Kawai, T., Watanabe, M. and Nagataki, S. (1988), "Preplaced Aggregate Concrete made from Demolished Concrete Aggregate," Reuse of Demolition Waste, Proceedings, 2nd International Symposium by RILEM, Kasai, Y. Ed., Chapman and Hall, pp. 680-689.
65. Kawamura, M. and Torii, K. (1988), "Reuse of Recycled Concrete Aggregate for Pavement," Reuse of Demolition Waste, Proceedings, 2nd International Symposium by RILEM, Kasai, Y. Ed., Chapman and Hall, pp. 726-735.
66. Kibert, C. J. (1994), "Concrete/Masonry Recycling Progress in the USA," Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, Proc. of 3rd Int'l RILEM symp., Ed. by Lauritzen, Odense, Denmark, pp. 83-92
67. Kikuchi, M., Yasunaga, A. and Ehara, K. (1994), "The Total Evaluation of Recycled Aggregate and Recycled Concrete," Proc., 3rd Int'l RILEM Symp, Ed. by Lauritzen, E & FN Spon, London.

68. Kikuchi, M., Mukai, T. and Koizumi, H. (1988), "Properties of Concrete Products Containing Recycled Aggregate," Reuse of Demolition Waste, Proceedings, 2nd International Symposium by RILEM, Kasai, Y. Ed., Chapman and Hall.
69. Kim, K. W. and Burati, Jr. J. L. (1993) "Use of GPC profiles for characterizing aged asphalts," ASCE Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 5, No. 1.
70. Kim, K. W., Burati, Jr. J. L. and Amirkhanian, S. N. (1993) "Relationship of HP-GPC profile with mechanical properties of AC mixtures," ASCE Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 5, No. 4.
71. Kim, K. W., Burati, Jr. J. L. and Park, J. S. (1995), "Methodology for defining LMS portion in asphalt chromatograms," ASCE Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 7, No. 1.
72. Kim, K. W., Lee, B. H., Park, J. S. and Doh, Y. (1992). "Performance of Crushed Waste Concrete as Aggregate in Structural Concrete," Utilization of Waste Materials in Civil Engineering Construction, ASCE, New York.
73. 김광우 (1995), 폐콘크리트를 이용한 도로포장, 농공기술 통권 제 47호.
74. 김광우, 김주인, 김기성, (1995) "재생콘크리트의 휨변형과 파괴 특성," 한국농공학회 논문집 제 37권 4호
75. 김광우, 도영수, 김진영, 박용철, (1995) "콘크리트 폐기물을 재활용한 콘크리트의 제조 및 품질 특성 연구," 동아 그룹 창립 50주년 기념 동아건설논문상 수상 논문집.
76. 김광우, 박제선. (1992). "폐콘크리트의 재활용-미국 FHWA 시범 프로젝트 (DP#47) 의 소개," 대한토목학회지 10월호
77. 김광우, 연규석, 박제선, 이봉학 (1994), 콘크리트 재활용 실태 및 연구 동향, 기술 기사, 한국콘크리트학회지, 제 6권 6호.
78. 김광우, 연규석, 이병덕. (1992b) "재생콘크리트의 강도 특성상의 문제

- 점," 콘크리트학회 학술발표회 논문집 제 7집, 충남대학교.
79. 김광우, 연규석, 최중대 (1992), "노화에 의한 아스팔트 시멘트의 형질 변화의 HP-GPC 분석," 大韓土木學會 論文集 제 12권 4호.
 80. 김광우, 류능환, 박용철, (1996) "소도로 포장재료로 폐콘크리트의 역학적 특성," 한국콘크리트학회 논문집, 제 8권 5호.
 81. 김광우, 이봉학, 도영수. (1992a). "재생콘크리트의 동결 융해 저항성과 변형 특성," 콘크리트학회 논문집, 제 4권 4호.
 82. 김무한 외. (1986), "잔·굵은골재로서 폐기 콘크리트를 사용한 콘크리트에 관한 실험적 연구 (제1보 - 제4보)," 대한 건축학회 학술발표회 논문집 6(1).
 83. 김무한, 최희용, 김진만, 남상일 (1995), "플라이애쉬를 혼입한 재생골재 콘크리트의 시공성 및 공학적 특성에 관한 실험적 연구," 콘크리트학회 학술발표회 논문집 제12집, 경북대학교.
 84. 김진만, 유광우, 남상일, 김무한. (1993), "재생골재 콘크리트의 구조체 적용성에 관한 실험적 연구(제 2보)," 콘크리트학회 학술발표회 논문집 제 8집, 전국대학교.
 85. 김진영, 金光宇, 李奉鶴, 박제선, (1994) "Fly Ash를 사용한 구조용 재생콘크리트의 강도 특성," 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집, 제6권 2호(통권 11집), 동국대학교.
 86. 김수일, (1990), "농어촌 도로 포장 공법의 개선 방안," 농어촌 도로의 역할과 발전 방향. pp. 34-44
 87. Klöpffer, R. (1994), "Special techniques for the recycling of concrete base plate (railway slippers)," Proc., 3rd Int'l RILEM Symp, Ed. by Lauritzen, E & FN Spon, London.
 88. Kobayashi, S. and Kawano, H. (1988), "Properties and Usage of Recycled Aggregate Concrete," Reuse of Demolition Waste, Proceedings, 2nd International Symposium by RILEM, Kasai, Y. Ed., Chapman and Hall, pp. 547-556.

89. Kristensen, P. (1994), "Recycling of Clay Bricks," Proc., 3rd Int'l RILEM Symp, Ed. by Lauritzen, E & FN Spon, London.
90. 구본충, (1990), "농촌도로의 정비 및 유지 관리," 농공기술 7권 5호, pp. 69-92
91. Lackey, B. R. (1986), "Hot-Mix Recycling of Asphalt Pavement," Proc. CATT 31, 260~280.
92. LaHue, S. F. (1980), "Exonomix of Recycling," TRR 780, TRB, 1~4.
93. Lauritzen, E. K. and Jannerup, M. (1994), "Guidelines and Experience from the Demolition of House in Connection with Oresund Link between Denmark and Sweden," Proc., 3rd Int'l RILEM Symp, Ed. by Lauritzen, E & FN Spon, London.
94. 이봉학, 김광우, 박제선, 김진영, (1995) "재생 폐콘크리트의 성능 향상에 관한 연구," 콘크리트학회지, 제 7권 2호, pp. 136-145
95. 이상수, 최민수, 김진만, 남상일, 김무한. (1993), "재생골재 콘크리트의 구조체 적용성에 관한 실험적 연구(제 1보)," 콘크리트학회 학술발표회 논문집 제 8집, 건국대학교.
96. 이용재, 윤기종, (1991a), "농촌도로 투자 분석 및 유지 관리에 관한 연구," 대한토목학회 학술발표회 초록집
97. 이용재, 오주삼, (1991b), "농촌도로의 계층별 설계 기준," 대한토목학회 학술발표회 초록집
98. 이용재, 손진현, (1991c), "농촌도로 체계 설정의 방법에 관한 연구," 대한토목학회 학술발표회 초록집
99. Lindley, B. R. (1975), Report No. 613-1, State Department of Highways and Public Transportation, State of Texas, October.
100. Mamlouk, M. S. and Ayoub, N. F. (1983), "Evaluation of Long-Term Behavior of Cold Recycled Asphalt Mixture," TRR 911, TRB, 64~66.
101. McMillan, C. and Palsat, D. (1986), "Alberta's Experience in Asphalt

- Recycling," Proc. CATT 31, 148~165.
102. Miller, R. H. and Collins, R. J. (1976), "Waste Materials as Potential Replacements for Highway Aggregates," NCHRP. Report 166, TRB.
 103. Merlet, J. D. and Pimienta, P. (1994), "Mechanical and Physico-Chemical Properties of Concrete Produced with Coarse and Fine Recycled Concrete Aggregates," Proc., 3rd Int'l RILEM Symp, Ed. by Lauritzen, E & FN Spon, London.
 104. Mukai, T., Kikuchi, M. (1988), "Properties of Reinforced Concrete Beams Containing Recycled Aggregate," Reuse of Demolition Waste, Proceedings, 2nd International Symposium by RILEM, Kasai, Y. Ed., Chapman and Hall, pp. 670-679.
 105. Mulheron, M. (1988), "The Recycling of Demolition Debris: Current Practice, Products and Standards in the United Kingdom," Reuse of Demolition Waste, Proceedings, 2nd International Symposium by RILEM, Kasai Ed., Chapman and Hall, pp. 510-519.
 106. Mulheron, M. and O'Mahony, M. (1988), "The Durability of Recycled Aggregate and Recycled Aggregate Concrete," Reuse of Demolition Waste, Proceedings, 2nd International Symposium by RILEM, Kasai, Y. Ed., Chapman and Hall, pp. 633-642.
 107. 남상일, 김진만, 최희용, 김무한, (1995), "플라이애쉬를 혼입한 재생골재 콘크리트의 시공성 및 공학적 특성에 관한 실험적 연구," 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집
 108. 남상진, 이상수, 유광우, 박정일, 김진만, 김무한. (1993), "재생골재 콘크리트의 공학적 특성에 미치는 재생골재 혼합 조건의 영향에 관한 실험적 연구 (제2보)," 콘크리트학회 학술발표회 논문집 제.8집, 건국대학교.
 109. NAPA, (1979), "Recycling," Construction Digest, Vol. 51, No. 27, pp. 20~38.
 110. Neville, C. A. (1955), U. S. Patent 2,701,213, Feb. 26.
 111. Nishibayashi, S. and Yamura, K. (1988), "Mechanical Properties and

- Durability of concrete from Recycled Coarse Aggregate Prepared by Crushing Concrete," Reuse of Demolition Waste, Proceedings, 2nd International Symposium by RILEM, Kasai, Y. Ed., Chapman and Hall, pp. 652-659.
112. Nixon, P. J. (1978), "Recycled concrete as an aggregate for concrete - a review," Materials and Structures, Vol. 11. No. 65, pp. 371-378.
 113. 오세훈, (1990), "농어촌 도로 건설사업 개요와 현황," 농어촌 도로의 역할과 발전 방향. pp. 18-23
 114. "Old Pavement Recycled into New Subbase (1975)," Concrete construction, Oct., pp. 441-442.
 115. O'Mahony, M. M. and Milligan, G. W. E. (1991), "Recycling of Construction Waste," Waste Materials in Construction, Proceedings, International Conference on environmental implication of construction with waste materials, Studies in Environmental Science 48, Elsevier Amsterdam, pp. 225-231.
 116. Ong, K. C. G. and Sri Ravindrarajah, R. (1987), "Mechanical Properties and Fracture Energy of Recycled- Aggregate Concrete," SEM/RILEM International Conference on Fracture of Concrete and Rock, Houston, TX, June, pp. 150-158.
 117. Page, G. C. and Murphy, K. H. (1987), "Hot-Mix Recycling Saves Florida DOT \$38 Million," ASPHALT. 1(1), 3~4.
 118. Pakvor, A, Muravljov, M. and Kovacevic, T. (1994), "Exploration of Concrete and Structural Concrete elements Made of Reused Masonry," Proc., 3rd Int'l RILEM Symp, Ed. by Lauritzen, E & FN Spon, London.
 119. 박대권, (1990), "농어촌 도로 건설 사업의 발전 방향," 농어촌 도로의 역할과 발전 방향. pp. 24-33
 120. 박영진, 박원철, 박은영, 최영훈, (1995), "도로 성토 재료로서 폐콘크리트의 활용성 연구," 대한토목학회 학술발표회 논문집 I 권 (도로 분과), pp. 516-519

121. Ploger, R. R. (1947), "An Investigation of the Compressive Strength of Concrete in Which Concrete Rubble was Used as Aggregate," MS Thesis, Cornell University, Ithaca.
122. Puckman, K. and Henrichsen, A. (1988), "Reuse of concrete pavements," Reuse of Demolition Waste, Proceedings, 2nd International Symposium by RILEM, Kasai, Y. Ed., Chapman and Hall, pp. 746-755.
123. Rahlwes, K. (1994), "Recycling of reinforced structures and buildings using composite construction: approach to an environmental-economic assessment," Proc., 3rd Int'l RILEM Symp, Ed. by Lauritzen, E & FN Spon, London.
124. Rasheeduzzafar, and Khan, A. (1984), "Recycled concrete - a source for new aggregate," Cement, Concrete, and Aggregates, Vol. 6, No. 1, pp. 17-27.
125. Ray, G. K. (1978), "Recycling Portland Cement Concrete Pavement," Paper for Worldwide Air Force Pavement Conference, Panama City Beach, Oct.
126. "Recycle Old Concrete? It can save you money," (1978), Highway & Heavy Construction, January pp. 30-31.
127. "Recycled rubble saves contractors money," (1973), Roads & Streets, April, pp. 80 and 83.
128. "Recycled Slab is New Runway Base," (1977), Highway & Heavy Construction, July, pp. 30-33.
129. "Recycling portland cement Concrete," (1985), Demonstration Project Program: DP#47, FHWA, US Department of Transportation
130. "Recycling roads and buildings with portable plants," (1973), Pits & Quarry, Feb., pp. 90-91, 106.
131. Rostler, F. S. (1959), US. Air Force Pavement Conference, Berkeley, California, 27-31 July, pp. 333~354.

132. Samy Nouredin, A. and Wood, L. E.(1990), "Laboratory Evaluation of Recycled Asphalt Pavement Using Non- destructive Tests," TRR 1269, TRB, 92~100.
133. Sadler, T. B. (1973), "A Crushing Success: aggregate from concrete," Public Works, Apr., pp. 72-73
134. Sano, M., Yagishita, F. and Yamada, M. (1994), "Recycling Powdered Concrete Waste," Proc., 3rd Int'l RILEM Symp, Ed. by Lauritzen, E & FN Spon, London.
135. Schulz, R. R. (1988), "Concrete with Recycled Rubble -Developments in West Germany," Proc., 2nd Int'l RILEM Symp., Ed. by Kasai, Chapman and Hall, pp. 500-509.
136. Schulz, R. R. (1994), "The processing of building rubble as concrete aggregate in Germany," Proc., 3rd Int'l RILEM Symp, Ed. by Lauritzen, E & FN Spon, London.
137. Schulz, R. R. and Hendricks, C. F, (1992), "Recycling of Masonry Rubble," Part 2, Report of Technical Committee 37 - DRC, RILEM, E & FN Spon, London, pp. 161-255
138. Scott, F. S. (1953), U. S. Patent 2,639,651, May. 26.
139. Shoesberger, J. E. and Vollar, T. W. (1990), "Hot In-Place Recycling of Asphalt pavements," Technical Report GL-90-22, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
140. Smith, R. W. (1980), "State-of-the-Art Hot Recycling," TRR 780, TRB, 115~124.
141. 신현국, (1994) "건축 폐기물 관리 방안," 첨단환경기술, 1994. 10월호, pp. 44-47
142. Sommer, H. (1994), "Recycling of Concrete for the recon- struction of the concrete Pavement on the Vienna- Salzburg Motorway," Proc., 3rd Int'l RILEM Symp, Ed. by Lauritzen, E & FN Spon,

London.

143. Sri Ravindraiah, R., Loo, T. H. and Tam, C. T. (1988), "Strength Evaluation of Recycled- Aggregate Concrete by in-situ Tests," *Materials and Structures*, 21 (124), July, pp. 289-295.
144. Sri Ravindraiah, and Tam, C. T. (1985), "Properties of Concrete Made with Crushed Concrete as Coarse Aggregate," *Magazine of Concrete Research*, Vol. 37, No. 130, March, pp. 29-38.
145. Sri Ravindraiah, and Tam, C. T. (1988a), "Recycling Concrete as Fine Aggregate in Concrete," *The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*, Vol. 9, No. 4, November, pp.235-241.
146. Sri Ravindraiah, and Tam, C. T. (1988b), "Method Improving the Quality of Recycled Aggregate Concrete," *Reuse of Demolition Waste, Proceedings, 2nd International Symposium by RILEM*, Kasai, Y. Ed., Chapman and Hall, pp. 575-584.
147. Schulz, R. R. (1988), "Concrete with Recycled Rubble -Developments in West Germany," *Reuse of Demolition Waste, Proceedings, 2nd International Symposium by RILEM*, Kasai Ed., Chapman and Hall, pp. 500-509.
148. Schulz, R. R. and Hendricks, C. F, (1992), "Recycling of Masonry Rubble," Part 2, Report of Technical Committee 37 - DRC, RILEM, E & FN Spon, London, pp. 161-255
149. Taylor, N. H. (1978), "Life Expectancy of Recycled Asphalt Paving," *Recycling of Bituminous Pavement, ASTM STP 662*, pp. 3~15.
150. Trevorrow, A. Joynes, H. and Wainwright, P. J. (1988), "Recycling of Concrete and Demolition Waste in the U. K.," *Reuse of Demolition Waste, Proceedings, 2nd International Symposium by RILEM*, Kasai, Y. Ed., Chapman and Hall, pp. 520-526.
151. "Utilization of Waste Materials in Civil Engineering Construction," (1992), *Proceedings, '92 ASCE National Convention*, Ed. by Inyang

& Bergeson, New York, NY.

152. Vallergera, B. A. (1963), Highway Research Board Record 24, pp. 62~105.
153. Van Wijk, A. J. (1984), "Structural Comparison of Two Cold Recycled Pavement Layers," TRR 954, TRB, 70~77.
154. Vyncke, J. and Rousseau, E. (1994), "Recycling of Construction and Demolition Waste in Belgium: Actual Situation and Future Evolution," Proc., 3rd Int'l RILEM Symp, Ed. by Lauritzen, E & FN Spon, London.
155. Wainwright, P. J., Trevorrow, A., Yu, Y. and Wang, Y. (1994), "Modifying the Performance of Concrete Made with Coarse and Fine Recycled Concrete Aggregates," Proc., 3rd Int'l RILEM Symp, Ed. by Lauritzen, E & FN Spon, London.
156. Yamato, T., Emoto, Y., Soeda, M. and Sakamoto, Y. (1988), "Some Properties of Recycled Aggregate Concrete," Reuse of Demolition Waste, Proceedings, 2nd International Symposium by RILEM, Kasai, Y. Ed., Chapman and Hall, pp. 634-651.
157. Yagishita, F., Sano, M. and Yamada, M. (1994), "Behavior of Reinforced Concrete Beams Containing Recycled Aggregate," Proc., 3rd Int'l RILEM Symp, Ed. by Lauritzen, E & FN Spon, London.
158. Yanagi, K. and Hisaka, M. (1988), "Effect of Impurities in Recycled Coarse Aggregate upon a Few Properties of the Concrete Produced with It," Reuse of Demolition Waste, Proceedings, 2nd International Symposium by RILEM, Kasai, Y. Ed., Chapman and Hall, pp. 613-622.
159. Yanagi, K., Hisaka, M. and Kasai, Y. (1994), "Physical Properties of Recycled Concrete Using Recycled Coarse Aggregate Made of Concrete with Finishing Materials," Proc., 3rd Int'l RILEM Symp, Ed. by Lauritzen, E & FN Spon, London.
160. Ying, P. (1991), "Developing a New Field of Utilization of Concrete

- with Waste Materials," Waste Materials in Construction, Proceedings, International Conference on environmental implication of construction with waste materials, Studies in Environmental Science 48, Elsevier Amsterdam, pp. 407-414.
161. Yoshikane, T. (1988), "The instances of Concrete Recycled for Base Course Materials in Japan," Reuse of Demolition Waste, Proceedings, 2nd International Symposium by RILEM, Kasai, Y. Ed., Chapman and Hall, pp. 756-765.
 162. Yoda, K., Yoshikane, T., Nakashima, Y. and Soshiroda, T. (1988), "Recycled Cement and Recycled Concrete in Japan," Reuse of Demolition Waste, Proceedings, 2nd International Symposium by RILEM, Kasai, Y. Ed., Chapman and Hall, pp. 527-536.
 163. Yrjanson, W. A. (1989), "Recycling of Portland Cement Concrete Pavements," NCHRP Syn. 154, TRB, December.
 164. 윤기원, 김기철, 한천구, 김무한. (1993a), "재생골재 콘크리트의 강도조기추정 및 비파괴실험 적용성에 관한 연구 (I) - 제2보 비파괴시험," 콘크리트학회 학술발표회 논문집 제 8집, 건국대학교.
 165. 윤기원, 최창각, 한천구, 김무한. (1993b), "재생골재 콘크리트의 강도조기추정 및 비파괴실험 적용성에 관한 연구 (II) - 제2보 비파괴 시험," 콘크리트학회 학술발표회 논문집 제 9집, 전남대학교.

여 백

부 록

여 백

**부록 1: 재생콘크리트에 의한 농어촌 도로
건설 공사 시공 지침 (안)**

(1996년 제정)

강원대학교 농공학과

여 백

목 차

제 1 장 농어촌 도로 시공

1-1. 일반 사항

1-2. 시공 관리

1-3. 시공 세목

제 2 장 재생콘크리트

2-1. 용어 정의

2-2. 재료

2-3. 배합

2-4. 계량 및 비비기

2-5. 운반 및 치기

제 3 장 재생콘크리트 기초 단가

3-1. 기초 단가 내역서

3-2. 일위대가 표

3-3. 단가 전산 처리도

여 백

I. 농어촌 지역 도로 시공

1-1. 일반 사항

○ 시공 측량

- 설계 도서에 의한 시공 측량을 정확히 실시하여 설계도서와 상이 여부를 확인한 후 시공 계획 수립 (가 B.M설치, 중심선 측량, 종횡단 측량 등)

○ 가설물 설치

- 건립부지는 관계 규정에 따라 인· 허가 조치
- 가설물은 설계 규격을 준수하여 설치함.

○ 안전관리

- 작업시 안전관리 요원 및 안내 입간판 설치 철저
- 자체 안전 점검 건설 공사의 공사 기간 매일 실시함.

○ 현장 상주 근무자 근무 철저

- 현장 대리인, 시험사, 안전관리사 등 현장 배치 기술자 근무 철저

1-2. 시공 관리

○ 토 공

- 성 · 절토부 표토제거는 15cm이상 실시
- 흙쌓기 재료(입도)의 최대치수는 노체부분은 300mm이하, 상부 노상 100mm이하, 하부 노상 150mm 이하이어야 한다.
- 흙쌓기 1층 다짐 두께는 노체 30cm, 노상 20cm가 되게 부설하여 수평층 다짐을 한다.
- 흙쌓기시 유기성 점토, 이토질토, 나무뿌리 등 불순물이 함유된 재료는 사용하여서는 안된다.
- 노체의 다짐도는 최대 건조밀도 90%이상, 노상은 95% 이상 되어야 한다.
- 토공의 마무리 면의 허용 오차는 다음 범위 내이어야 한다.

┌	성토부 : 노체 ±5cm, 노상 ±3cm
	절토부 : 노상 ±3cm
	절취면 : 토사 ±10cm, 풍화암 ±20cm, 발파암 ±30cm

○ 적용할 제 기준

- KS F 2302 (흙의 입도 시험)
- KS F 2303 (흙의 액성한계 시험)
- KS F 2304 (흙의 소성한계 시험)

- KS F 2306 (흙의 함수량 시험)
- KS F 2312 (흙의 다짐 시험)
- KS F 2314 (흙의 일축 압축 시험)
- KS F 2518 (석재의 흡수량 및 비중 시험 방법)
- KS F 2320 (실내 CBR 시험)
- KS F 2321 (현장 CBR 시험)

○ 구조물 공

- 버림 콘크리트 타설시 용수의 배제 대책과 이 물질을 제거한 후 타설
- 거푸집은 강도, 강성과 아울러 내구성과 작업성을 가질 것
- 거푸집은 설계도서의 규격, 형상, 치수에 적합하게 설치한다.
- 거푸집의 청소 상태 및 박리제 도포를 철저히 할 것
- 비계 및 동바리는 하중을 지탱할 수 있도록 설치
- 철근의 가공은 재질 변형을 방지하기 위하여 절단기 (쉬어카터, 쇠톱 등)를 사용
- 콘크리트 타설시 내부 진동기를 사용하여 철저한 다짐 실시
- 콘크리트 압축강도 시험은 배합이 다른 때와 타설량 150m³마다 실시
- 콘크리트 슬럼프 시험은 배합이 다를 때와 1일 1회 이상 실시

- 콘크리트 양생시 가마니, 비닐 등을 덮어 수분의 증발을 최대한 억제하고 습윤 양생을 실시
- 각종 볼트, 너트의 철저한 조임과 용접은 밀실 하게 실시한 후 용접 부위를 검사(비파괴 검사 등)한 후 기록 유지

○포 장 공

- 보조기층의 재료는 유해물을 포함하여서는 안되며 입도분포는 설계 도서에 규정한 적합한 재료 사용
- 보조기층의 1층 다짐 두께는 20cm이하이어야 하고, 다짐도는 최대 건조밀도 95%이상
- 보조기층의 마무리 두께의 허용 범위는 설계 치의 10%이내

1-3. 시공 세목

○ 토 공

- 기존 구조물 철거 (콘크리트 포장, 측구, 맨홀 등)
- 벌개 제근 : 나무뿌리까지 제거
- 표토 제거
 - 제거한 표토는 사토 처리
 - 저습지 구간에 대해서 시공 방법 검토
 - 경사지 표토 제거 철저, 층따기 실시후 시공

- 노체 재료의 최대치수는 300mm, 상부 노상 100mm, 하부 노상 150mm이하
- 시공 두께는 노체 30cm, 노상 20cm이하로 하고 전압후 시공
- 다짐율은 최대 건조밀도의 노체 90%, 노상 95%이상 유지
- 시험 규정에 의한 토질 시험 실시 철저
- 토공 작업 완료시는 감독관의 검측을 필히 득할 것
 - 토공 마무리 면은 계획고에서 +20cm ~ -5cm
 - 3m 직선자로 확인시 요철부가 2.5cm이상 되어서는 안됨.
- 토공 작업 중 설계와 상이한 부분은 감독관과 협의 후 시행

○ 보조기층

- 골재원에 대한 선정 시험 실시
- 골재채취시에는 반드시 체가름 하여 반입 조치 → 골재 최대치수 80mm 이하
- 다짐시는 20cm 두께로 균일하게 부설하여 시공
- 부설시는 반드시 그레이드 사용
- 전압은 진동로울러를 사용하고, 최대 건조밀도의 95%이상 유지 되도록 시행
- 보조기층 완료시 감독관 검측 필히 득할 것
- 보조기층 마무리는 계획고보다 ±3cm 이상 또는 설계 두께보다

10%이상 틀려서는 안됨

○ 포 설

- 콘크리트를 포설하기 전에 필히 현장을 점검
- 분리막의 기능은 콘크리트의 슬래브의 온도, 습도 변화에 따른 슬래브의 신축 작용은 원활하게 슬래브 바닥 면과의 마찰 저항을 감소시키기 위하여 설치하는 것으로 재료는 일반적으로 폴리에틸렌 필름을 사용한다. 또한 가능한 한 전 폭으로 깔아 겹이음부를 없도록 하며 부득이한 경우 세로방향 10cm이상, 가로방향 30cm 이상으로 하도록 한다.
- 철망은 슬래브의 표면부터 두께의 1/3위치에 두는 것이 일반적이거나 그 위치의 오차는 목표치에 대하여 $\pm 3\text{cm}$ 범위 내이어야 한다.
- 콘크리트는 충분히 다져야 하고, 거푸집 끝, 모서리 줄눈부 등의 다짐에 특히 유의해야 한다.

II. 재생콘크리트

2-1. 용어 정의

본 장에서 사용되는 용어들은 다음과 같이 정의한다.

- **폐콘크리트(Waste concrete)**: 기존 콘크리트 구조물의 철거로부터 얻어지는 콘크리트 덩어리 또는 콘크리트에 철근, 타일, 벽돌 및 기타 재료가 같이 붙어 있는 덩어리.
- **재생골재(Recycled aggregate)**: 폐콘크리트 큰 덩어리를 일정 치수 이하로 파쇄 하여 얻어진 조각(입자)들. 기존의 골재와 몰탈이 붙어 있는 입자들로서 재생 잔골재와 재생 굵은골재로 구분.
- **재생 잔골재(Recycled fine aggregate)**: 재생골재 중 #4체로 체가름 하여 통과되고 #200체에 남은 입자.
- **재생 굵은골재(Recycled coarse aggregate)**: 재생골재 중 #4체로 체가름 하여 남는 굵은 입자.
- **재생콘크리트(Recycled concrete)**: 재생골재를 일정 비율 사용하여 제조한 콘크리트.
- **천연골재(Virgin aggregate)**: 재생골재에 상대적 의미로 사용되는 용어로 콘크리트에 사용된 적이 없는 골재 (강자갈, 강모래 및 부순골재).

2-2. 재료

- 콘크리트의 재료는 건설교통부 제정 콘크리트 표준 시방서에 준하고 그 품질이 확인된 것을 사용해야 한다.

- 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용함을 원칙으로 한다.
- 물은 기름, 산, 유기 불순물, 혼탁물 등 콘크리트나 강재의 품질에 나쁜 영향을 미치는 물질의 유해량을 함유해서는 안된다. 오염의 염려가 있는 물을 사용하고자 할 경우에는 수질 시험 등에 의해 확인해서 사용하는 것이 좋다.

○ 잔골재

- 잔골재는 천연골재를 사용하되 깨끗하고, 강하고 내구적이고, 알맞은 입도를 가지며, 먼지, 흙, 유기 불순물, 염화물 등의 유해량을 함유해서는 안된다. 입도는 대소의 알이 알맞게 혼합되어 있는 것으로서, 그 범위는 다음 표와 같으며, 체가름 시험은 KSF2502에 따른다.

표-1. 잔골재의 입도의 표준

체의 호칭	체를 통과한 것이 중량 백분율 (%)
10mm	100
NO. 4	95 ~ 100
NO. 8	80 ~ 100
NO. 16	50 ~ 85
NO. 30	25 ~ 60
NO. 50	10 ~ 30
NO. 100	2 ~ 10

○ 굵은골재

- 천연 굵은골재는 깨끗하고, 강하고 내구적이고, 알맞은 입도를 가지며, 얇은 석편, 가느다란 석편, 유기 불순물, 염화물 등의 유해량을 함유해서는 안된다. 입도의 표준은 다음 표-2와 같으며, 체가름 시험은 KSF 2502에 따른다. 재생 굵은골재는 아래 재생골재 항의 기준에 합당한 것 이어야 한다.

표-2. 굵은골재의 입도의 표준

골재 번호	체의 호칭 골재 의 크기	각 체를 통과하는 것의 중량 백분율												
		100	90	80	65	50	40	25	19	13	10	NO.4	NO.8	NO.16
1	90~40	100	90~ 100		25~ 60		0~ 15		0~ 5					
2	65~40			100	90~ 100	35~ 70	0~ 15		0~ 5					
3	50~25				100	90~ 100	35~ 70	0~ 15		0~ 5				
327	50~NO.4				100	95~ 100		35~ 70		10~ 30		0~5		
4	40~19					100	90~ 100	20~ 55	0~ 15		0 ~5			
467	40~NO.4					100	95~ 100		35~ 70		10~ 30	0~5		
5	25~13						100	90~ 100	20~ 55	0~ 10	0~5			
56	25~10						100	90~ 100	40~ 75	15~ 35	0~ 15	0~5		
57	25~NO.4						100	95~ 100		25~ 60		0~ 10	0~5	
6	19~10							100	90~ 100	20~ 55	0~ 15	0~5		
67	19~NO.4							100	90~ 100		20~ 55	0~ 10	0~5	
7	13~NO.4								100	90~ 100	40~ 70	0~ 15	0~5	
8	10~NO.8									100	85~ 100	10~ 80	0~ 10	0~5

○ 재생골재

- 재생골재는 폐콘크리트 및 구조물에 사용되었던 콘크리트, 시멘트 벽돌, 시멘트 블록, 붉은 벽돌, 타일 등은 모두 포함하되, 입도분포는 상기 입도 규정을 적용한다.

- 재생골재의 표면건조포화상태 비중은 2.2 이상인 것을 사용하여야 하며 이때 재생골재에 포함된 유기물(나무, 비닐, 플라스틱 등)은 중량비로 1.0% 이하로 유지해야 하며 어떠한 경우도 1.5%를 넘어서는 안된다.
- 재생 굵은골재는 천연 굵은골재와 혼합하여 사용하되 재생 굵은골재의 사용 비율은 75% 이내에서 표-2의 입도 기준에 맞도록 조정하여 사용하여야 한다.
- 재생 잔골재는 사용하지 않는다.

○ 혼화재료

- 혼화재료는 플라이애쉬를 사용하며, 이 플라이애쉬는 KSF4049에 적합한 것이라야 하고 그 양은 10%미만으로 한다.

2-3. 배 합

- 재생콘크리트의 배합은 재생골재를 50% 첨가하되 소요의 강도, 내구성, 수밀성 및 작업에 적합한 워커빌리티를 갖는 범위 내에서 단위 수량이 될 수 있는 대로 적게 되도록 해야 함.
- 물-시멘트 비는 소요의 강도와 내구성을 고려하여 정하되 물-시멘트 비를 50% 이하로 한다.
- 굵은골재의 최대치수는 40mm로 한다.
- 슬럼프는 운반, 치기, 다짐 등의 작업에 알맞은 범위 내에서 될 수 있는 대로 작은 값으로 하는 것을 원칙으로 6cm로 하되 현장에서의 유동성을 좋게 하기 위하여 유동화제를 사용한다.

2-4. 계량 및 비비기

- 콘크리트의 각 재료는 소정의 품질을 얻을 수 있도록 정확하게 계량하여야 한다.
- 재료를 계량하기 전에 시방 배합을 현장 배합으로 고치고, 현장 배합에 따라 계량한다.
- 콘크리트의 재료는 반죽된 콘크리트가 균등 질이 될 때까지 충분히 비벼야 한다.
- 믹서는 강제 혼합 믹서를 사용하되, 비빈 콘크리트를 배출할 때 재료 분리를 일으키지 않는 것이라야 한다.
- 비비는 시간은 1분 이상을 표준으로 한다.

2-5. 운반 및 치기

- 공사 개시 전에 운반, 치기 등에 관해서 미리 충분한 계획을 세워야 하며, 검토한 사항으로는 1일 시공량, 인원, 운반 장비, 타설장비, 시공 구획, 치기 순서 등이 있다.

Ⅲ. 표준 품셈

3-1 재생콘크리트 기초단가

3-1-a 기 초 단 가 내 역											
종별	재료또는 치수	원수	단위	총 액		노 무 비		재 료 비		경 비	
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액
재생콘크리트 포장 <인력,T=20cm>											
콘크리트<재생>	210-40	0.2080	m'	55,893	11,626	14,207	2,955	30,517	6,348	11,169	2,323
콘크리트포설		1.0000	m'	6,022	6,022	5,372	5,372	650	650	0	0
양생		1.0000	m'	276	276	108	108	168	168	0	0
계					17,924		8,435		7,166		2,323
일반콘크리트 포장<인력,T=20cm>											
콘크리트	210-40	0.2080	m'	55,212	11,484	16,268	3,384	26,722	5,558	12,222	2,542
콘크리트포설		1.0000	m'	6,022	6,022	5,372	5,372	650	650	0	0
양생		1.0000	m'	276	276	108	108	168	168	0	0
계							8,756		6,208		2,542

3-1-b 기초 단가 내역

종별	재료또는 치수	원수	단위	총액		노무비		재료비		경비	
				단가	금액	단가	금액	단가	금액	단가	금액
콘크리트 <Q=10이상>											
시멘트	1.03x0.300	0.3090	Ton	68,269	21,096	11,164	3,450	44,360	13,707	12,745	3,939
모래	1.03x0.300	0.7280	Ton	10,513	7,654	4,004	2,915	4,626	3,368	1,883	1,371
자갈	1.12x1.350	1.4170	Ton	17,092	24,219	6,149	8,713	6,533	9,257	4,410	6,249
혼화재	20kg	0.0000	L	0	0	0	0	0	0	0	0
비빔	믹서0.45m³	1.0300	m³	2,180	2,246	1,158	1,193	380	391	642	662
계					55,215		16,271		26,723		12,221

3-1-c 기초 단가 내역

종별	재료또는 치수	원수	단위	총액		노무비		재료비		경비	
				단가	금액	단가	금액	단가	금액	단가	금액
포장절단<콘크리트>100m당											
블레이드	D=320-400mm	0.3100	개	130,000	40,300	0	0	130,000	40,300	0	0
물	3000/1000	3.0000	Ton	0	0	0	0	0	0	0	0
인부		0.8400	인	27,200	22,848	27,200	22,848	0	0	0	0
콘크리트캇타	100/<60x0.5>	3.3330	HR	12,032	40,103	7,344	24,478	3,460	11,532	1,228	4,093
양수기손료	100/30	3.3330	HR	54	180	0	0	0	0	54	180
잡재료	노력비의 5%	0.0500	%	22,848	1,142	0	0	22,848	1,142	0	0
계					104,573		47,326		52,974		4,273
포장콘크리트 인력 포설											
포설공	3.3/100	0.0330	인	44,700	1,475	44,700	1,475	0	0	0	0
인부	12.1/100	0.1210	인	27,200	3,291	27,200	3,291	0	0	0	0
와이어메쉬	#6150x150	1.1000	m ²	568	625	0	0	568	625	0	0
결속선	#20	0.0500	kg	520	26	0	0	520	26	0	0
철근공		0.0120	인	50,500	606	50,500	606	0	0	0	0
계					6,023		5,372		651	0	0

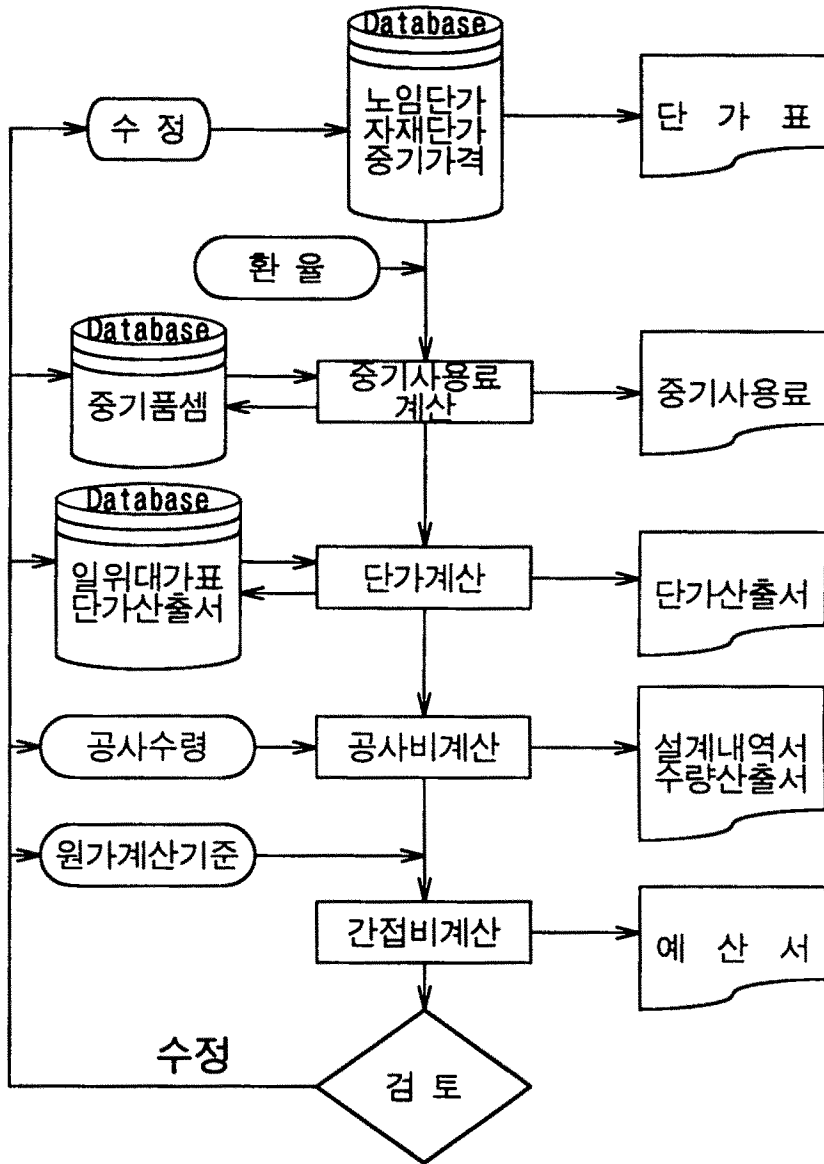
3-1-d 기 초 단 가 내 역

종별	재료또는 치수	원수	단위	총 액		노 무 비		재 료 비		경 비	
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액
포장콘크리트 양생 1㎡					4100m						
표면양생재	12/100	0.1200	kg	1,400	168	0	0	1,400	168	0	0
인부	0.4/100	0.0040	인	27,200	109	27,200	109	0	0	0	0
계					277		109		168		0

3-2 일위 대가표

재생콘크리트 1㎡당											
종별	재료또는 치수	원수	단위	총액		노무비		재료비		경비	
				단가	금액	단가	금액	단가	금액	단가	금액
시멘트	1.03x0.388	0.3990	Ton	68,269	27,240	11,164	4,454	44,360	17,700	12,745	5,086
모래	1.12x0.65	0.7280	Ton	10,513	7,654	4,004	2,915	4,626	3,368	1,883	1,371
자갈<천연>	1.05x0.436	0.4570	Ton	17,092	7,812	6,149	2,810	6,533	2,986	4,410	2,016
자갈<재생>	1.05x0.439	0.4610	Ton	14,447	6,661	6,149	2,835	3,888	1,792	4,410	2,034
혼화재<Fly Ash>	20kg	20.0000	kg	64	1,280	0	0	64	1,280	0	0
유동화재	3kg	3.0000	kg	1,000	3,000	0	0	1,000	3,000	0	0
비빔	믹서 0.45㎡	1.0300	㎡	2,180	2,246	1,158	1,193	380	391	642	662
계					55,893		14,207		30,517		11,169

3-3 단가 전산처리도



IV. 농어촌지역 도로 시공시 유의 사항

1. 일반 사항

○시공 측량

- 설계 도서에 의한 시공 측량을 정확히 실시하여 설계도서와 상이 여부를 확인한 후 시공 계획 수립 (가 B.M설치, 중심선 측량, 종횡단 측량 등)

○가설물 설치

- 건립부지는 관계 규정에 따라 인·허가 조치
- 가설물은 설계 규격을 준수하여 설치함.

○안전관리

- 작업시 안전관리 요원 및 안내 입간판 설치 철저
- 자체 안전 점검 건설 공사의 공사 기간동안 매일 실시함.

○현장 상주 근무자 근무 철저

- 현장 대리인, 시험사, 안전관리사 등 현장배치 기술자 근무 철저

2. 시공 관리

○토 공

- 성·절토부 표토 제거는 15cm이상 실시
- 흙쌓기 재료(입도)의 최대치수는 노체부분은 300m/m이하, 상부 노상 100m/m이하, 하부 노상 150m/m이하이어야 한다.
- 흙쌓기 1층 다짐 두께는 노체 30cm, 노상 20cm가 되게 부설하여 수평층 다짐을 한다.
- 흙쌓기시 유기성 점토, 이토질토, 나무뿌리 등 불순물이 함유된 재료는 사용하여서는 안된다.
- 노체의 다짐도는 최대 건조밀도 90%이상, 노상은 95%이상 되어야 한다.

- 토공의 마무리 면의 허용 오차는 다음 범위 내이어야 한다.

E	성토부 : 노체 ±5cm, 노상 ±3cm
	절토부 : 노상 ±3cm
	절취면 : 토사 ±10cm, 풍화암 ±20cm, 발파암 ±30cm

○구조물공

- 버림 콘크리트 타설시 용수의 배제 대책과 이 물질을 제거 후 타설
- 거푸집은 강도, 강성과 아울러 내구성과 작업성을 가질 것
- 거푸집은 설계도서의 규격, 형상, 치수에 적합하게 설치한다.
- 거푸집의 청소상태 및 박리제 도포를 철저히 할 것
- 비계 및 등바리는 하중을 지탱할 수 있도록 설치
- 철근의 가공은 재질 변형을 방지하기 위하여 절단기 (쉬어카터, 쇠톱 등)를 사용
- 콘크리트 타설시 내부 진동기를 사용하여 철저한 다짐 실시
- 콘크리트 압축강도 시험은 배합이 다를 때와 타설량 150㎡마다 시행
- 콘크리트 슬럼프 시험은 배합이 다를 때와 1일 1회이상 실시
- 콘크리트 양생시 가마니, 비닐 등을 덮어 수분의 증발을 최대한 억제하고 습윤 양생을 실시
- 각종 볼트, 너트의 철저한 조임과 용접은 밀실하게 실시한 후 용접부위를 검사(비파괴 검사 등)한 후 기록 유지

○포장공

- 보조기층의 재료는 유해물을 포함하여서는 안되며 입도분포는 설계 도서에 규정한 적합한 재료 사용
- 보조기층의 1층 다짐 두께는 20cm이하이어야 하고, 다짐도는 최대 건조밀도 95%이상

- 보조기층의 마무리 두께의 허용 범위는 설계치의 10%이내

3. 세부 사항

○ 토 공

- 기존 구조물 철거 (콘크리트 포장, 측구, 맨홀 등)
- 벌개 제근 : 나무뿌리까지 제거
- 표토 제거
 - 제거한 표토는 사토 처리
 - 저습지 구간에 대해서 시공 방법 검토
 - 경사지 표토 제거 철저, 층따기 실시후 시공
- 노체 재료의 최대 최수는 300m/m, 상부 노상 100m/m, 하부 노상 150m/m이하
- 시공 두께는 노체 30cm, 노상 20cm 이하로 하고, 전압 후 시공
- 다짐율은 최대 건조밀도의 노체 90%, 노상 95%이상 유지
- 시험 규정에 의한 토질 시험 실시 철저

- 토공 작업 완료시는 감독관의 검측을 필히 득할 것
 - 토공 마무리 면은 계획고에서 +20cm ~ -5cm
 - 3m 직선 자로 확인시 요철부가 2.5cm이상 되어서는 안됨.
- 토공작업중 설계와 상이한 부분은 감독관과 협의후 시행

○ 보조기층

- 골재원에 대한 선정 시험 실시
- 골재채취시에는 반드시 체가름 하여 반입 조치 → 골재 최대치 수 80mm 이하
- 다짐시는 20cm 뚜껑으로 균일하게 부설하여 시공
- 부설시는 반드시 그레이드 사용
- 전압은 진동로울러 사용하고, 최대 건조밀도의 95%이상 유지되

도록 시행

- 보조기층 완료시 감독관 검측 필히 득할 것
- 보조기층 마무리는 계획고 보다 $\pm 3\text{cm}$ 이상 또는 설계 두께보다 10%이상 틀려서는 안됨

○ 포 설

- 콘크리트를 포설하기전에 필히 현장을 점검
- 분리막의 기능은 콘크리트의 슬래브의 온도, 습도 변화에 따른 슬래브의 신축 작용은 원활하게 슬래브 바닥 면과의 마찰 저항을 감소시키기 위하여 설치하는 것으로 재료는 일반적으로 폴리에틸렌 필름을 사용한다. 또한 가능한 한 이유 없이 전 폭으로 깔아 겹이음부를 없도록 하며 부득이한 경우 세로 방향 10cm이상, 가로 방향 30cm 이상으로 하도록 한다.
- 철망은 슬래브의 표면부터 두께의 1/3위치에 두는 것이 일반적이나 그 위치의 오차는 목표치에 대하여 $\pm 3\text{cm}$ 범위 내이어야 한다.
- 콘크리트는 충분히 다져야 하고, 거푸집 끝, 모서리 줄눈부 등의 다짐에 특히 유의해야 한다.

여 백

부록 2.

아스팔트 포장재료의 가열혼합 재활용 지침

(Manual for Asphalt Hot-mix Recycling)

강원대학교 농공학과 포장공학 실험실
Department of Agricultural Engineering
Kangwon National University
Chunchon, 200-701 Korea
1996. 11.

여 백

I. 아스팔트 포장의 재활용

1. 아스팔트는 다시 쓸 수 있다.

아스팔트 포장 구조의 가용 수명은 여러 가지 요인에 달려 있다. 그중 중요한 요인은 차량의 중량과 통과 대수, 기후, 재료의 품질, 노상의 지지력, 배수, 그리고 시공 견실도 등이다. 적정 시기의 유지 보수는 포장의 가용 수명을 연장시킬 수 있다. 하지만 그럼에도 불구하고 결국 포장은 부서지기 시작하고 재건설을 해야 하게 된다. 그런 경우에도 노후한 재료는 버릴 필요가 없다. 그것들은 재건설시 사용될 재료의 일부로 재활용 될 수 있기 때문이다. 그러므로 아스팔트 포장체는 재활용 가능한 자원이다.

2. 재활용 용어의 정의

본 지침서에 사용 될 용어들은 다음과 같이 정의된다.

아스팔트 시멘트 (Asphalt cement): 가열-혼합 아스팔트 혼합물의 제조 시에 골재 및 채움재 등의 결합용 재료로 사용되는 역청 물질. 일반적으로 아스팔트로 알려져 있음.

가열-혼합 아스팔트 혼합물 (Hot-mix asphalt mixture): 아스팔트 시멘트, 골재 및 채움재 (필요시 첨가제)를 일정 온도 (145°C 이상)로 가열하여 혼합한 것.

아스팔트 포장 구조 (Asphalt pavement structure): 노상이나 처리된 노

반 위에 건설된 포장 구조로서 아스팔트-골재의 혼합물 또는 아스팔트 층과 무 처리 골재 층이 복합적으로 이루어진 모든 포장 층을 말함.

재활용 (Recycling): 일반적으로 최초의 특정 목적으로 사용된 적이 있는 재료를 어떤 전 처리 과정을 거쳐 다시 사용하는 것.

가열-혼합 재활용 (Hot-mix recycling): 회수된 아스팔트 포장재료나 추출된 골재 또는 이들 둘 다를 새로운 아스팔트, 첨가제(필요시) 및 새로운 골재와 섞어서 가열-혼합 포장 혼합물로 다시 사용하는 과정. 최종 생산품은 해당 혼합물의 표준 규격과 지방 규정에도 맞아야 함.

회수 아스팔트 포장 (Reclaimed asphalt pavement: RAP): 철거되어 파·분쇄 처리된 포장재료로서 아스팔트와 골재가 포함되어 있는 상태.

회수 골재 재료 (Reclaimed aggregate material: RAM): 철거되어 파·분쇄된 포장재료로서 역청 결합재가 포함되어 있지 않은 것. 이는 주로 포장 하부의 무 처리 기층이나 보조기층을 철거했을 때 얻어지는 것으로써 아스팔트가 거의 묻어 있지 않음.

추출 골재 (Extracted aggregate): 노화된 아스팔트 포장재료를 용해시켜 본래의 상태로 추출·분리한 골재

추출 아스팔트 (Extracted asphalt): 노화된 아스팔트 포장재료를 용해시

켜 추출해 낸 아스팔트.

재생 아스팔트 (Recovered asphalt): 추출 아스팔트를 Abson 방법에 의하여 다시 아스팔트 시멘트로 재생한 것.

재활용 혼합물 (Recycled mixture): 회수 아스팔트 포장재료, 새 아스팔트 시멘트, 재활용 첨가제(필요시) 및 입도 조정된 새로운 (혹은 회수된) 골재를 혼합한 최종 생산품(혼합물).

아스팔트 재활용 첨가제 (Asphalt recycling agent): 유기물질로 노화된 아스팔트를 회복시키는 물리·화학적 특성을 가진 재료.

3. 한가지 대안으로서의 재활용

가열혼합 아스팔트 재활용은 노화 및 손상된 아스팔트 포장을 회생시키는 몇 가지 방안 중에 하나이다. 몇 가지 방안이란,

- (1) 가열-혼합 재활용
- (2) 상온-혼합 재활용(cold-mix recycle)
- (3) 표면 재활용(Surface recycle)
- (4) 완전 새로운 재료로의 재건설
- (5) 패치 보수 및 두꺼운 덧씌우기
- (6) 패치 보수 및 박층 덧씌우기
- (7) 패치 (일상적인 관리).

노화 또는 손상된 아스팔트 포장을 처리하기 전에 우선 이 모든 방안들을 고려한 후 한가지를 택해야 한다.

첫째 단계는 포장 손상의 모든 가능한 원인을 고려해야 한다. 이를 위해서는 최초의 설계와 시공 기록을 조사해야 한다. 또한 모든 현장 시험과 포장 표본에 대하여 실험실에서의 시험이 이루어져야 한다. 이 결과는 어떤 회생(처리) 방법이 가장 좋은지의 결정을 염두에 두고 분석되어야 한다.

각 대안에 대한 평가는 포장 설계 원칙에 근거하여 이루어져야 한다. 즉, 성능, 환경적 영향, 예상 교통량과 운하중, 포장 단면 및 경제성(초기 건설비와 예상 유지 관리비용) 등이 고려되어야 한다. 본 지침에서는 재활용을 대안으로 선택할 경우 중에서도 가열-혼합 재활용 방법에 대해서만 다룬다.

4. 가열-혼합 재활용의 이유

가열혼합 아스팔트 재활용은 낡은 포장을 개선하기 위해 사용될 수 있는 입증된 방법 중하나이다. 게다가 포장층 하부의 무 처리 골재에 아스팔트를 첨가하여 같은 두께의 재료로 다시 사용 될 수 있다는 것이 그 재활용의 큰 이점이다. 아스팔트 결속층 두께의 증진은 포장 구조의 강도를 증진시키므로 포장의 하중 재하능력을 향상시킨다. 이에 의해 기존의 복합 구조 단면은 고품질 두꺼운 층 또는 全層(Full-depth) 아스팔트 포장으로 전환될 수 있다 (전층 아스팔트 포장이란 아스팔트 혼합물이 노상 또는 개량지반위의 모든 층에 사용된 것을 말한다.)

비용-효율 면만을 본다 하더라도, 기존 포장의 재활용은 도로 보수 계획의 수립시 주된 고려 사항이 되어야 한다고 본다. 하지만 재활용의 또다른 이유는 천연자원의 보존이다. 아스팔트와 골재가 — 가장 많이 쓰이는 포장

건설재료 — 재활용되어 도로를 보다 견고하게 향상시킬 때 비용 절감, 생태계 보호 및 에너지 절약 모두가 이루어지는 것이다.

5. 가열-혼합 재활용의 이점

가열-혼합 아스팔트 재활용의 이점으로 경제성 및 천연자원의 절약을 이미 언급하였다. 그 외에도 도로 공학적 측면에서 현저히 많은 이점들이 있으며 그것은 다음과 같다.

- 거의 층두께의 변화(증가) 없이 크게 구조 성능을 향상시킬 수 있다.
- 공사 중에 별도의 도로 시설이 없어도 된다.
- 동상 취약성이 감소될 수도 있다.
- 표층과 기층의 혼란 문제가 고쳐질 수도 있다.
- 기존 혼합물의 결함이 고쳐질 수도 있다.
- 수반되는 문제가 별로 없다. 있다면 다음과 같은 것들이다. 만일 적절한 장비가 사용되지 않거나 회수 아스팔트 포장(RAP)재료가 너무 많은 비율로 사용되면 플랜트에서의 공기 오염 문제가 제기될 수 있다. 그리고 품질 좋은 물건을 생산하기 위하여 새 재료로 시작하는 것보다 더 많은 주의를 필요로 할 것이다.

6. 가열-혼합 재활용 방법

모든 회수 아스팔트 포장의 가열-혼합 재활용은 열전도 방법으로 이루어진다. 재활용 혼합물(Recycled mixture)은 배치 플랜트나 드럼 믹스 플랜트에서 공히 잘 생산될 수 있다. 그러나 어떤 플랜트는 약간의 개조가 필요한데 이는 VI장에서 언급할 것이다.

배치 플랜트에서, 열전도 개념은 새로운 골재(또는 회수 골재)를 초과 가열하여 회수 아스팔트 포장재료의 온도를 높이는 방법이다.

드럼 믹스 플랜트에서도 열전도는 이루어진다. 3가지 주된 방법이 쓰인다. 첫째 공정은 배기가스로의 간접 가열에 완전히 의존한다. 둘째 방법은 일정한 가스 온도 분포를 일으키는 공기 혼합 작용과 완전연소 공정을 포함하는 복사열을 사용하여 이루어진다. 셋째 방법은 새 골재(또는 회수 골재)를 드럼 앞부분에서 가열하고 회수 아스팔트 포장재료를 드럼의 중간에 넣어서 새 골재의 열을 이용 복사와 전도로 나머지 드럼을 통하여 혼합하는 방법이다.

이렇게 하여 공히 배치 플랜트나 드럼 믹스 플랜트에서 생산되는 혼합물은 일반 혼합물의 온도와 같은 온도로 써지 빈이나 운반 트럭에 출하된다. 그리고 이렇게 얻어진 재활용 재료들은 일반 아스팔트 포장 장비를 사용하여 도로에 포설 된다.

II. 재료의 검정

1. 개요

재활용 가열-혼합은 회수된 재료와 새로운 재료를 일정 물성을 얻기 위해 배합설계하여 혼합한 것이다. 가장 첫째 단계는 사용될 재료의 검사 시험이며 이를 토대로 배합설계를 수행한다(마찰 또는 뽐 방법). 모든 재료는 혼합물의 규격에 적합 여부를 판정하기 위하여 시험 및 검정되어야 한다. 이를 위해, 본 장에서는 새로운 재료 및 회수된 재료 모두에 대한 시험 방법을 논한다.

2. 시료 채취

재료의 대표성 있는 표본을 얻기 위한 몇 가지 방법이 개발되었다. 그중 ASTM의 D140은 아스팔트에 대해, D75는 골재에 대해, D979는 아스팔트 혼합물에 대해서 취급하고 있다. 하지만 어떤 방법이든 표본 계획을 수립함에 있어서 엔지니어의 판단을 요구한다.

이제까지 고안된 방법 중에는 무작위 표본 추출(Random sampling)이 가장 좋은 방법으로 알려져 있다. 이 방법에서는 조사 대상 내의 모든 곳에서 고르게 표본이 추출될 수 있도록 표본 채취 지역을 선정하여야 한다. 이것은 난수표의 번호를 이용하여 완전히 무작위로 선정하기 때문에 불 편향(Unbiased) 선정으로 볼 수 있다.

통계적 배경에 근거하고 있는 무작위 표본 채취 과정의 사용은 그 외에도 작업량과 비용을 줄여 주는 부수적인 이점도 있다. 무작위 표본 추출에

대한 ASTM D3665의 세부 사항을 이용하여 표본 채취의 장소를 결정 할 수 있다.

RAP을 파쇄 하거나 평삭(Milling)하면 골재의 입도가 변경될 수 있다. 그러므로 시험에 쓰일 표본은 배합시에 상온 공급될 플랜트 지역에 야적된 재료를 대표하는 것이어야 한다. 야적 재료의 표본 추출에 대해서는 미국 주 도로 교통 관계자 협회(AASHTO) 시험법 T-2에 설명되어 있다.

3. 회수 아스팔트 포장 (Reclaimed Asphalt Pavement: RAP)

RAP을 20% 이상 포함하는 아스팔트 혼합물의 배합설계는 일상적인 마샬이나 빔 방법 외에 추가 시험을 필요로 한다. 첫째 아스팔트 혼합물의 구성 성분이 분석·결정되어야 한다. 이것은 다음의 항목을 포함한다.

- 골재의 입도
- 아스팔트 함량
- 아스팔트 점도 (60°C)

그리고 회수 골재(RAM)가 있다면 그것의 입도 분석도 이루어 져야 한다. 이 정보들은 필요한(첨가할) 새로운 아스팔트의 량과 추가될 골재의 입도와 량을 결정하는데 이용된다.

회수 아스팔트 포장내의 골재와 아스팔트는 별도로 품질 특성을 검사해야 한다. 그러므로 RAP 표본으로부터 노화된 아스팔트를 추출해야 한다. 이에 대한 시험법은 다음과 같다.

1) 골재의 검정

RAP에서 골재만의 입도분포를 알기 위하여 ASTM C136에 의한 체

가름 시험을 수행한다. 부족한 부분에 대해서는 새 골재나 RAM의 필요한 체에 해당 재료를 RAP의 골재와 섞음으로서 보정할 수 있다.

2) 추출

ASTM D 2172나 그와 대등한 방법을 사용해야 한다. 추출의 목적은 아스팔트와 골재를 분리하는 것이다.

3) 아스팔트의 검정

RAP의 아스팔트 함량은 추출된 아스팔트와 골재의 중량비로서 결정된다. 추출된 아스팔트는 ASTM D1856에 의해 용액으로부터 재생될 수 있다. 이 재생 아스팔트의 유동성(Consistency)은 60°C에서의 점도로써 ASTM D2171에 의해 결정될 수 있다. 이것의 결정은 재활용 혼합물 배합설계에 사용될 새 아스팔트의 등급과 양을 추정하기 위하여 필요하다.

4. 새로운 아스팔트

RAP과 새로운 골재 혼합물에 첨가될 새로운 저 점도 아스팔트 시멘트는 두 가지 역할을 한다. 첫째는 혼합물의 전체 아스팔트 함량을 증가시킨다. 둘째는 RAP의 노화된 아스팔트와 섞어 규격에 적합한 아스팔트를 형성한다. 일반적으로 침입도 등급 85-100, 120-150이 사용되는데 이는 국내의 AP-3, AP-1 및 미국의 AC-10, AC-5 등에 해당되며 심하게 노화된 아스팔트의 경우 침입도 200-300 (AC-2.5) 등도 사용된다. 이들 아스팔트는 표준 규격 (ASTM D 3381 이나 D946)에 적합한 것이어야 한다.

5. 재활용 첨가제 (Recycling Agent)

재활용 첨가제는 물리·화학적 특성이 노화된 아스팔트를 본래 규격의 아스팔트로 회복시키기 위하여 사용되는 유기 재료이다. 재활용 첨가제를 선정함에 있어 첨가제와 섞인 최종 아스팔트의 점도 특성이 가장 중요한 요소이다.

비록 이에 대한 국가 규격이 정해져 있는 것은 아니지만, 많은 재활용 첨가제가 재활용 혼합물의 설계에 사용되고 있다. 1976년 태평양 아스팔트 사용자·생산자 학회에서 재활용 첨가제의 규격을 개발하기 위하여 위원회가 설립되었다. 1979년 동 회의는 이에 대한 규정(안)을 채택하였다. 이 규정(안)은 규격 개발을 위해 ASTM에 제시되었다.

6. 무 처리 골재

대개의 경우 재활용 혼합물이 소요의 입도 규정에 적합하도록 RAP에 골재를 첨가해야 한다. 이를 위해 아스팔트 포장에 사용되는 새로운 골재나 회수 골재 또는 이들 둘 다가 이용된다. 재활용 혼합물 각각의 적정량 결정을 위해서 혼합 골재의 사전 검사가 필요하다.

새 골재나 회수된 골재를 선정함에 있어서 재활용 혼합물이 개랑 기층에 사용될지, 아스팔트 콘크리트 기층 또는 표층에 사용될지를 고려해야 한다. 각 혼합물은 배합설계와 포장 구조 단면의 시험 한계치에 관한 규격에 적합해야 한다. 또한 적절한 포설이 가능하도록 충분한 workability를 지녀야 한다.

7. 혼합 골재

회수 골재와 새 골재의 혼합은 사용코자 하는 해당 규격에 적합해야 한다. 이에 대한 규격은 미국 아스팔트 연구원(The Asphalt Institute)의 “Model construction specification for asphalt concrete and other plant-mix types(SS-1)”에 제시되어 있다. 그 외에도 ASTM D3515의 규격이나 타 규정을 사용하여 혼합 골재의 입도 및 품질의 적합 여부를 검사할 수 있다.

이에 더하여 혼합 골재의 박리 저항성을 검사하여야 한다. 사용될 아스팔트와 공인된 수분 민감성 시험 방법을 사용하여 특정 광물 채움재나 박리 방지용 첨가제가 필요한지를 결정해야 한다.

아스팔트 시멘트를 사용한 아스팔트 혼합물의 시험에는 ASTM D 1075의 “Effect of water on cohesion of compacted bituminous mixtures,”에 의한 수침 압축 시험 방법을 추천한다. 이때 강도 유지율은 75% 이상이어야 한다. 또한 아스팔트 연구원의 “Cause and prevention of stripping in asphalt pavements (ES-10)도 참조하기를 바란다.

III. 재활용 가열-혼합물의 배합설계

1. 개요

본 장에서는 회수된 재료의 사용 비율을 정하고, 아스팔트 시멘트의 등급과 양을 결정하고(필요시 재활용 첨가제도 결정), 최종 재활용 혼합물의 배합설계를 수행하기 위한 단계적 과정을 제시한다. 특히 이 장에서 취급하는 것은 회수 아스팔트 포장재료를 20~70% 범위에서 사용한 가열-혼합 재활용 방법이다. 일반적으로 배치 플랜트에서는 RAP을 (사전 가열하는 특별한 보조 장치 없이) 50% 까지 재활용 할 수 있고 가장 실용적으로 적절한 범위는 20-35% 이다. 또한 드럼 믹스 플랜트에서는 RAP을 최대 70% 까지 취급할 수 있는데, 가장 실용적으로 적절한 범위는 20-50% 이다.

2. 사전 준비 과정

본 재활용 배합설계는 마샬 방법이나 빔 방법을 사용하며 다음과 같은 사전 준비를 해야 한다. 우선 회수 아스팔트 포장재료 내의 골재와 새로운 골재를 혼합한 것이 해당 규정에 적합하도록 적정 비율로 섞어야 한다. 일단 각 골재의 혼합 비율이 결정되면 총 아스팔트 소요량이 결정되어야 한다. 새 아스팔트의 등급은 RAP의 노화된 아스팔트를 회복시켜 기능상으로 재활용 혼합물 내의 아스팔트의 규격에 적합하면서도 아스팔트 총 소요량을 만족하도록 선정되어야 한다. 이 결정에 이어, 마샬 방법이나 빔 방법에 의한 배합설계를 통해 정확한 아스팔트 함량을 결정한다.

3. 배합설계

제 2 장에서 구한 재료에 대한 각종 자료를 가지고 재활용 가열-혼합 배합설계가 수행 될 수 있다. 미국 아스팔트 연구원의 방법으로는 60°C에서의 점도(절대 점도)를 RAP과 재활용 혼합물 아스팔트의 특성으로 취급한다. 하지만 국내의 경우 침입도를 사용하므로 25°C에서의 침입도를 사용 할 수 있다. 그림 A3-1에서는 이 배합설계 방법을 단계적으로 보여주고 있다.

1) 재활용 혼합물에서 혼합 골재

RAP의 골재 및 새로운 골재의 입도를 사용하여 혼합 골재의 입도분포가 해당 규격에 적합한지를 계산한다.

2) 혼합 골재의 아스팔트 배합량(%)

혼합 골재의 아스팔트 소요량은 캘리포니아 등식(CKE)이나 다음의 실험 공식으로 계산 할 수 있다.

$$P_c = 0.35a + 0.045b + Xc + F \quad (A2-1)$$

여기서 P_c = 전체 혼합물 중량에서 아스팔트의 비율(%)

a = #8 체에 남은 골재의 중량비(%)

b = #8 체에 통과하고 #200 체에 남은 비율(%)

c = #200체를 통과한 골재(채움재)의 중량(%)

X = c 값이 11~15% 일 경우 0.15 사용

c 값이 6 ~10% 일 경우 0.18 사용

c 값이 5% 이하인 경우 0.20 사용

F = 0~2% 로서 자료가 없을 경우 0.7~1% 사용. 이는 비중이 2.6~2.7인 보통 골재' 경우에 근거한 값임.

* 상기에 사용되는 %는 모두 정수를 사용함.

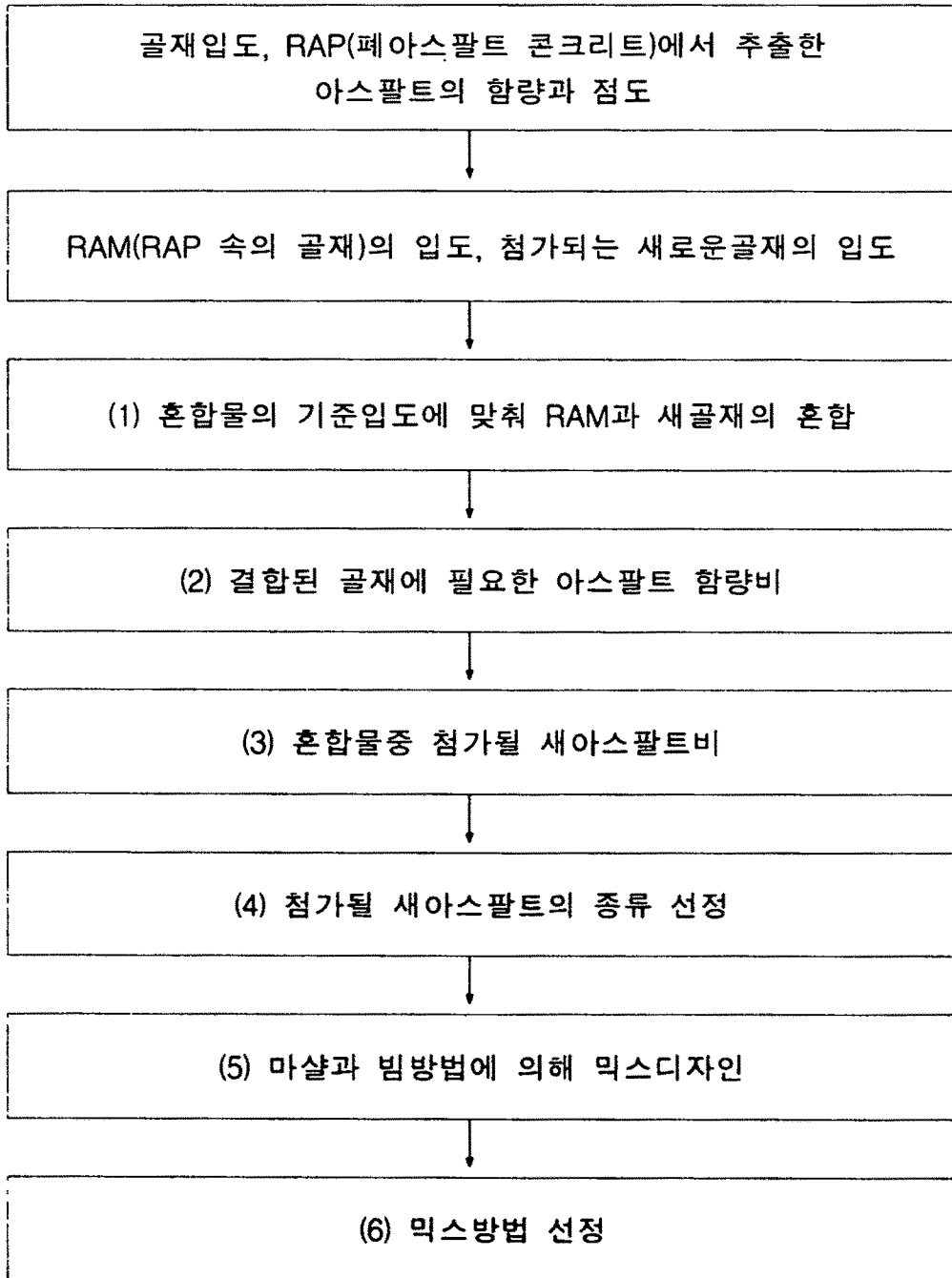


그림 A2-1 배합설계 과정의 흐름도

3) 혼합물에 필요한 새 아스팔트 소요량(%)

재활용 혼합물에 첨가할 새로운 아스팔트 량은 앞의 2)절에서 결정된 아스팔트 량에서 RAP에 포함된 아스팔트 량을 제외한 것으로 그 식은,

$$P_r = P_c - (P_a \times P_p) \quad (A2-2)$$

여기서 · P_r = 재활용 혼합물 내에 새 아스팔트의 비율(%)

P_c = 전체 혼합물 중량에서 아스팔트의 비율(%)

P_a = RAP 중량에서 아스팔트의 비율(%)

P_p = 재활용 혼합물 내에 들어간 RAP의 중량비(소수)

4) 새 아스팔트의 등급 선정

그림 A2-2를 이용하여 혼합 아스팔트의 목표점도(침입도)를 결정한다. 일반적인 목표점도(침입도)는 해당 범위의 중간 값으로 한다. 예를 들어 AC-20 경우 점도의 중간 값인 2,000 poise를 취한다.

새로운 아스팔트의 량은 새 아스팔트 함량(%)를 전체 결합재 량으로 나누어 100을 곱하여 나타낸다. 즉, $(P_r/P_c \times 100)$.

혼합물 내의 새 아스팔트 함량을 나타내는 수직선과 목표 점도를 나타내는 수평선이 만나는 점 A를 결정한다. 다음, RAP으로부터 추출·재생된 노화 아스팔트의 점도를 좌측 축에 점 B로 나타낸다. 이 두 점을 잇는 직선을 그어 우측 축과 만나는 점에 해당되는 아스팔트가 첨가할 새로운 아스팔트의 점도이다. 만일 우측 축과 만나는 점이 AC-2.5 이하로 내려가면 그것은 재활용 첨가제가 필요하거나, RAP의 재활용 비율을 낮추어야 한다.

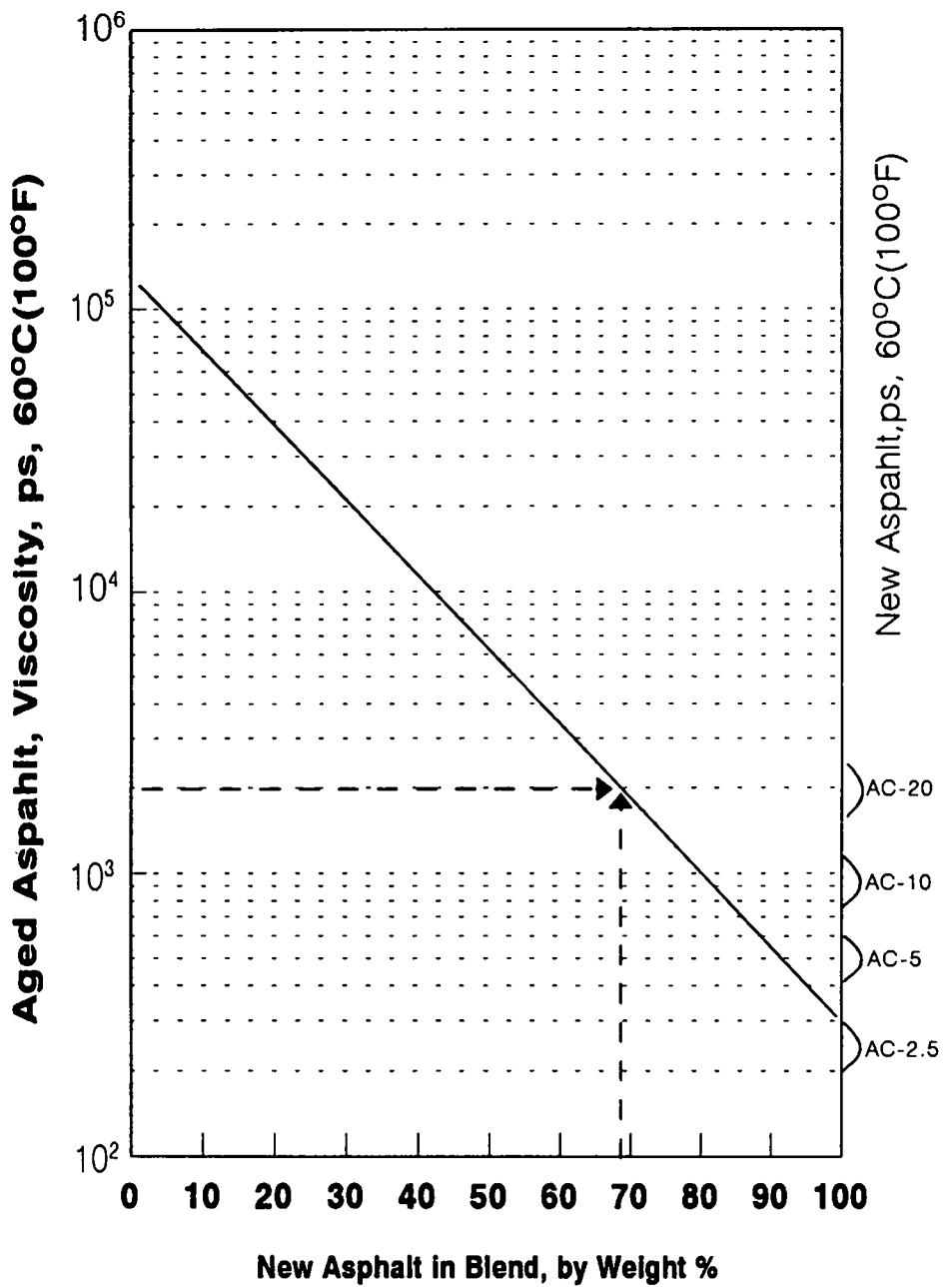


그림 A2-2. 첨가할 아스팔트의 점도 등급 결정 방법

5) 시험 배합설계

시험 배합설계를 마샬 (또는 빔) 방법에 의하여 수행한다. 아스팔트 함량은 사용되는 배합설계 방법이 정하는 규격에 맞도록 새 아스팔트 량을 조절하여 바꿀 수 있다.

6) 현장 배합비의 선정

배합설계 예 1.

RAP의 아스팔트 함량이 5.4%이고 추출·재생한 점도가 100,000 poises 이었다. RAP 및 사용할 새 골재(두 종류)의 입도분포가 다음 표와 같다.

재활용 혼합물에 RAP의 사용 비율을 30%로 결정하였는데 이는, (1) 배치 플랜트가 사용이 되며, RAP의 함수비가 5%이었으며, (3) 따라서 이 비율이 실용 가능한 재활용 혼합물 생산 범위이다.

표 A2-1. 사용 재료의 입도분포

체	통과량 (%)		
	RAP 골재	새 골재 1	새 골재 2
25mm	100	100	100
19mm	98	92	100
10mm	85	45	100
#4	65	19	94
#8	52	5	85
#50	22	1	26
#200	0	0	6

1 단계 : 재활용 혼합물의 골재 혼합(표)

Sieve	30% RAP Aggr. % Pass.	+	60% RAM Aggr. % Pass.	+	10% NEW Aggr. % Pass.	=	Comb. Aggr. % Pass.
25.0 mm (1in.)	[100x0.3=30.0]	+	[100x0.6=60.0]	+	[100x0.1=10.0]	=	100.0
19.0 mm (3/4in.)	[98x0.3=29.4]	+	[92x0.6=55.2]	+	[100x0.1=10.0]	=	94.6
9.5 mm (3/8in.)	[85x0.3=25.5]	+	[45x0.6=27.0]	+	[100x0.1=10.0]	=	62.5
4.75 mm (No.4)	[65x0.3=19.5]	+	[19x0.6=11.4]	+	[94x0.1= 9.4]	=	40.3
2.36 mm (No.8)	[52x0.3=15.6]	+	[5x0.6= 3.0]	+	[85x0.1= 8.5]	=	27.1
300 μm (No.50)	[22x0.3= 6.6]	+	[1x0.6= 0.6]	+	[26x0.1= 2.6]	=	9.8
75 μm (No.200)	[8x0.3= 2.4]	+	[0x0.6= 0.0]	+	[6x0.1= 0.6]	=	3.0

Job Specification ASTM D 3515, Table 3 3/4in. (19mm) Nom.

Sieve	Max. Size % Pass.	Combined Aggr. % Pass
25.0 mm (1in.)	100	100.0
19.0 mm (3/4in.)	90 - 100	94.6
9.5 mm (3/8in.)	56 - 80	62.5
4.75 mm (No.4)	35 - 65	40.3
2.36 mm (No.8)	23 - 49	27.1
300 μm (No.50)	23 - 49	9.8
75 μm (No.200)	2 - 8	3.0

2 단계: 혼합 골재의 소요 아스팔트 량

식 1의 실험식을 이용하여 골재를 혼합시 필요한 아스팔트 량을 추정할 수 있다.

$$\begin{aligned}P_c &= 0.35a + 0.045b + Xc + F \\ &= 0.35(72.9) + 0.045(24.1) + 0.2(3.0) + 1.0 \\ &= 5.23 \%\end{aligned}$$

3 단계: 혼합물 내의 새로운 아스팔트

$$\begin{aligned}P_r &= P_c - (P_a \times P_b) \\ &= 5.23 - (5.4 \times 0.30) = 5.23 - 1.62 \\ &= 3.61 \%\end{aligned}$$

4 단계: 새 아스팔트의 등급

그림 A3-2에서 A점은 목표점도 2,000과 $P_r/P_c \times 100 = 3.61/5.23 \times 100 = 69\%$ 로부터 결정되었다. 점 B는 노화된 아스팔트의 점도 100,000 poises 이다. 이를 우측 축까지 연결한 점에 가까운 곳에 위치한 점도는 AC-2.5 (침입도 200-300)의 약간 위쪽으로 나타난다.

국내의 경우 생산되는 아스팔트는 AP-1, AP-3, AP-5 등 세종류로 이들의 침입도는 각각 120-150, 85-100, 60-70이다. 이들은 그림 A2-3에서 보듯이 아스팔트의 점도 등급과 어느 정도 상관관계가 있으며, 침입도 60-70

는 AC-20 및 AC-10과, 85-100은 AC-20, AC-10 및 AC-5의 일부와, 그리고 120-150은 AC-10, AC-5와 AC-2.5의 일부와 유사하다.

따라서 본 문제의 경우 새 아스팔트 등급은 AC-2.5에 가까워야 하며 이에 해당하는 국내 아스팔트는 침입도 120-150인 AP-1에 가깝다. 하지만 이 보다는 앞에 언급하였듯이 침입도 200-300이 더 정확한 등급이나 국내에서는 구입이 어려운 것이다.

그러므로 새로운 아스팔트의 등급이 보다 정확히 AP-1이 되게 하려면 RAP 사용량을 적절히 조정하면 가능 할 것이다. 이를 위해 3단계에 혼합물 내의 새로운 아스팔트 량을 30%에서 27%로 조정하면 $P_r = 5.23 - (5.4 \times 0.27) = 3.77$ 이 되며, A점은 목표점도 2,000과 $P_r/P_c \times 100 = 3.77/5.23 \times 100 = 72$ %로부터 이전보다 약간 오른쪽으로 조정된다. 따라서 점 B와 A를 이으면 소요 아스팔트의 등급은 AC-5로 결정된다.

5 단계: 시험 배합설계

RAP 27%와 새 골재 1을 60%, 새 골재 2를 13% 사용하여 배합설계용 마샬 공시체를 제조한다. 새로운 아스팔트 함량은 예상치 약 3.8 (3단계에서 3.77로 계산)을 기준으로 0.5% 씩 변화시켜 가며 2.8, 3.3, 3.8, 4.3, 4.8%로 하였다.

6 단계: 현장 배합비의 결정

새로운 아스팔트의 최적 함량과 배합설계를 마샬 배합설계 방법에 의하여 결정한다.

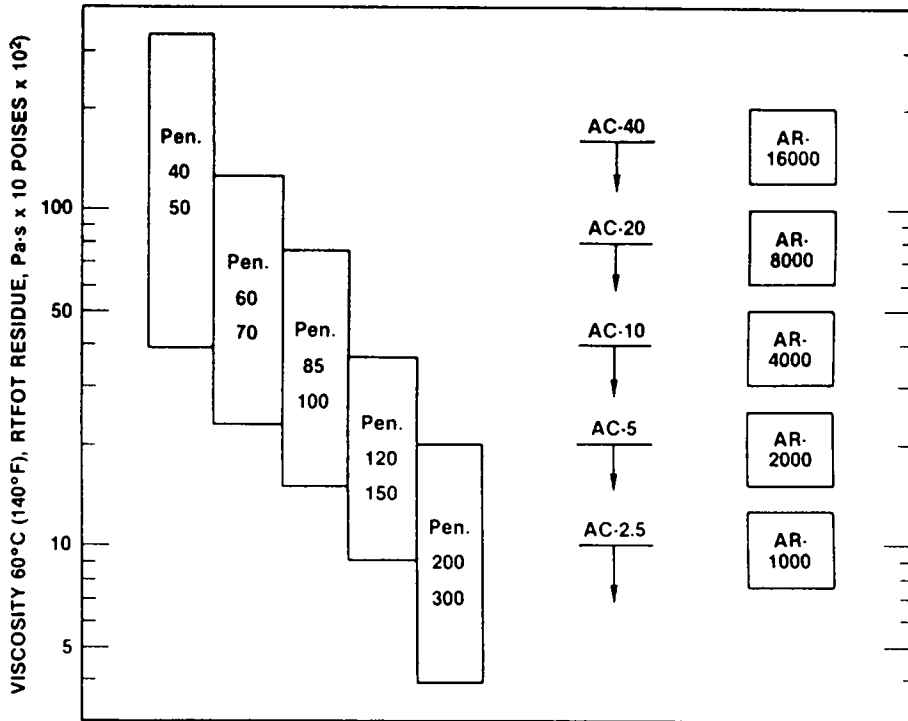


그림 A2-3. 아스팔트의 침입도와 점도의 관계