건설교통 R&D 정책·인프라사업 연구보고서

R&D / 창업·사업화

배수성 및 내유동성 아스팔트포장을 위한 첨단 아스팔트개질제 사업화

주관연구기관 / (주)뉴페이브
위탁연구기관 / 인하대학교

국 토 해 양 부
한국건설교통기술평가원

Land Transpot and Maritime R&D Report

제 출 문

국토해양부장관 귀하

이 보고서를 "건설교통 R&D 정책·인프라에 관한 연구"과제(세부과제 "창업・사업화 지원에 관한 연구")의 보고서로 제출합니다.

2010. 02. 28.

주관연구기관명 :(주)뉴페이브

주관연구책임자 :허 정 도 외4명

위탁연구기관명 :인하대학교

위탁연구책임자 :정 진 훈 외6명

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>창업・사업화 지원</td><td>해당단계 연구기간</td><td>09.08.31.~ 10.02.28.</td><td>단계구분</td><td>(해당단계)/2차 (총 단 계)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 사 업 명</td><td>중 사 업 명</td><td colspan="4">건설교통 R&D 정책·인프라</td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4">창업・사업화 지원</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 과 제 명</td><td>대 과 제 명</td><td colspan="4">건설교통 R&D 정책·인프라에 관한 연구</td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4">배수성 및 내유동성 아스팔트포장을 위한 첨단 아스팔트 개질제 사업화</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 책 임 자</td><td rowspan="2">허 정 도</td><td>해당단계 참여 연구원수</td><td>총 : 12명
내부 : 5명
외부 : 7명</td><td>해당단계 연 구 비</td><td>정부 :121,875천원
기업 : 81,250천원
계 :203,125천원</td></tr>
<tr><td>총연구기간 참여 연구원수</td><td>총 : 12명
내부 : 5명
외부 : 7명</td><td>총연구비</td><td>정부 :200,000천원
기업 :133,343천원
계 :333,343천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및 소 속 부 서 명</td><td colspan="2">(주)뉴페이브</td><td>참여기업명</td><td colspan="2">(주)뉴페이브</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="3">상대국명 :</td><td colspan="2">상대국연구기관명 :</td></tr>
<tr><td>위 탁 연 구</td><td colspan="3">연구기관명 : 인하대학교</td><td colspan="2">연구책임자 : 정 진 훈</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)</td><td>보고서면수</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">색 인 어
(각 5개 이상)</td><td>한 글</td><td colspan="4">배수성아스팔트포장, 내유동성아스팔트포장, 분말개질제 생산, 혼합물배합설계, 개질아스콘생산, 포설및다짐</td></tr>
<tr><td>영 어</td><td colspan="4">Porous Asphalt Pavements, Rut-resistant Pavements, Manufacturing Powdered Modifiers, Mix Design Methods, Modified Asphalt Concrete Production, Paving & Compaction</td></tr>
</table>

요 약 문

Ⅰ. 제 목

배수성 및 내유동성 아스팔트포장을 위한 첨단 아스팔트 개질제 사업화

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 필요성

본 연구개발의 목적을 한마디로 요약하면 배수성 아스팔트포장과 내 유동성 아스팔트포장 시장에 진입하여 수익을 창출하고 나아가 국내의 도로포장시장의 기술발전을 위해서, 필요한 관련기술들을 개발하는 데 있다. 이를 자세히 살펴보면 아래와 같다.

강우량이 비교적 많은 국내 기후조건을 고려할 때, 빗길 교통사고로 인한 인명과 재산피해, 아파트 밀집지역에서의 교통소음으로 인한 민원증가, 빗길의 심각한 교통정체로 인한 차량연료와 시간의 낭비, 여름철 도심에서 아스팔트포장의 복사열로 인한 열섬현상, 등의 문제들이 도로포장과 직접 관련이 있다. 하나의 해결대안이 배수성 아스팔트포장이다. 국내 기술수준은 아직도 낙후되어 있어 기술적으로 우수하고 가격경쟁력이 있는 배수성포장의 출현이 기대된다. 본 연구 개발의 목적 중의 하나는 이러한 배수성포장을 위한 기술개발을 완료하여 배수성아스팔트포장의 건설시장에 진입할 준비를 완료하는 것이다.

국내 아스팔트포장은 전체 도로포장의 약 85%로서 인력과 물동량의 주요 이등수단이다. 국내의 여름철 아스팔트포장 온도는 무려 60-70℃에 달하여 포장의 점도를 급격히 떨어뜨려서 심각한 소성변형 문제를 유발시키는 한편, 겨울철의 포장온도는 약영하 15-20℃ 이하로 내려가서 포장의 수축을 가져와 각종 균열을 발생시키는 직접적인 원인이 된다. 이를 개선할 목적으로 내유동성 포장이 도입되었으며, 이 포장의 특성은 아스팔트포장의 내구성을 증진시켜 포장수명을 연장시키는 데 목적이 있다. 그러나 국내 내유동성포장의 기술수준은 아직도 미흡함으로 본 연구를 통해 효과적인 내유동성포장을 건설하기 위한 기술을 개발하고, 이 시장에 참여할 준비를 갖추는 데 있다.

배수성 및 내유동성 포장 재료는 다른 연구를 통하여 이미 개발하였으나 이 재료들이 아무리 뛰어나더라도 이들을 효과적으로 사용하기 위한 개질 아스콘 생산이나 시공 기술이 없다면, 결코 우수한 포장을 건설할 수 없다. 생산과 시공기술이 성공적으로 개발될 때에야 비로소 배수성 및 내유동성포장의 품질이 보장되어 기능성과 내구성이 우수한 도로포장을 건설할 수 있다. 따라서 생산과 시공기술의 필요성은 반드시 시험포장의 건설을 포함하며 본 연구의 주요 연구내용이 된다.

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

배수성 및 내유동성 개질제 제품의 성공적 시장진입을 위한 후속 기술개발이 본 연구개발의 범위이다. 후속기술개발로는 일곱 단계의 연구과정을 거치게 된다. 첫째,

상기 개질제 제품을 다량으로 제조하기 위한 공정설비 구축 및 생산연구이다. 둘째, 생산된 제품과 골재설계를 통한 혼합물 시편제조와 물성시험이다. 셋째, 혼합물 물성시험을 통한 배수성 및 내유동성 혼합물 배합설계이다. 넷째, 혼합물 배합설계와 생산제품을 통한 배수성 및 내유동성 개질아스콘을 생산기술 개발이다. 다섯째, 생산된 개질아스콘으로 시험포장 건설과 제품의 검증을 완료하는 것이다. 여섯째, 이상의 결과를 토대로 건설신기술을 신청하는 것이다. 일곱째, 영업활동을 위해서 웹사이트작성 및 홍보물 작성을 완료하는 것이다.

Ⅳ. 연구개발결과

1. 배수성과 내유동성 개질제의 원료구매처 확보.
2. 개질제 분말설비 구축과 생산조건의 기술 확보.
3. 배수성포장과 내유동성포장의 골재입도 설계기술.
4. 배수성과 내유동성 혼합물 배합설계기술 확립.
5. 배수성과 내유동성포장의 개질아스팔트 콘크리트 혼합물의 생산조건 확립.
6. 페이브로 재료를 포설할 때의 주요 문제점과 이를 해결하기 위한 기술개발.
7. 포설 후 다짐할 때의 주요 문제점과 이를 해결하기 위한 기술개발.
8. 다짐 시 다짐장비의 선정과 다짐문제를 해결하기 위한 기술개발.

Ⅴ. 연구개발결과의 활용계획

개발된 배수성 및 내유동성 아스팔트포장의 재료, 생산과 시공기술을 적용하여 각 지자체 도로, 고속도로, 산업도로, 국도 등에 배수성 및 내유동성포장을 적용시키고자 함. 이 기술에 대한 건설신기술 확보와 국내 및 해외 협력업체 선정을 통해 영업활동을 하여 매출을 창출하고자 함. 개발된 기술에 대한 건설신기술확보는 필요한 사항들을 하나씩 준비해가고 있으니 조속한 시일 내에 확보될 것으로 기대함.

SUMMARY

The porous asphalt pavement has several important functions like traffic noise reduction, skid resistance, decreased thermal island during summer in cities, reduced traffic congestion in rainy days, etc. Meanwhile, the rut-resistant pavement shows good durability like promoting less rutting and fatigue cracking. These two kinds of pavements are very important in improving quality of road service for driving. Even though these technologies have been already around us, many problems associated with these pavements have been reported. To resolve those problems, the excellent modifiers to assure good pavements have been developed from the result of other research. This research lies in developing better technologies how to use the good material in the actual pavement construction; that is, an effective method of paving-material production, a reliable mix design method, desirable manufacturing conditions of asphalt concrete mixtures, a problem-free paving and a compaction method. This research has successfully accomplished these research goals by going through all pavement construction steps by using the developed material. Now it is ready to go into the related construction market for sales of material products developed, that is the final goal of this research.

CONTENTS

Chapter 1 Introduction of the Research Development Subject

Section 1 Introduction of the Research Development Subject.....9
1. Goals of Research Development.....9
2. Necessity of Research Development.....10
3. Scope of Research Development.....10

Chapter 2 Domestic and Abroad Technology Development Status.....11

Section 1 Domestic and Abroad Technology Development Status in Related Fields.....11
1. Characteristics of Porous Asphalt Pavements.....11
2. Advantages of Porous Asphalt Pavements.....11
3. Economic Aspects of Porous Asphalt Pavements.....12
4. Importance of Porous Asphalt Pavements.....12
5. Importance of Porous Asphalt Pavements in East Asian Countries.....15
6. Expanded Use of Porous Asphalt Pavements.....16
Section 2 Position of Domestic Technology Status Compared to the Abroad Technology.....17
1. Domestic Technology Trends.....17
2. Abroad Technology Trends.....18
3. Position of this Research Among Technologies in Domestic & Abroad 24

Chapter 3 Contents and Results Obtained by Research Development.....25

Section 1 Theoretical Approach 25
Section 2 Experimental Approach.....29
1. Property Measurement of Porous Asphalt Binders.....29
2. Property Measurement of Porous Asphalt Concrete Mixtures.....30
가. Marshall Stability Tests.....30
나. Cantablo Tests.....31
다. Wheel Tracking Tests.....31
라. Water Penetration Tests.....33
Section 3 Contents of Research 35
1. Porous Aggregate Size Study for Mix Design 35
2. Development of Powdering Process of Modifiers for a Plant-Mix Method 37
3. Construction Management for Pavement Construction 38
가. Management of Construction Quality Control.....38
나. Problems & Improvements in Construction Quality.....41
다. Problems of Mix Design in Asphalt Pavements 42
라. Main Quality Control and Improvements at each Construction Step 44
Section 4 Research Results 73
1. Porous Aggregate Sizes for Mix Design.....73
가. 19mm Porous Aggregate Distribution 74
나. 13mm Porous Aggregate Distribution.....74
2. Results of Mixture Property Measurements.....78
3. Development of Powdering Process Technology for Modifiers 81
4. Construction Technology of Modified Asphalt Pavements 82
가. Construction of Porous Asphalt Pavements 82

나. Construction of Rut-Resistant Asphalt Pavements 89

Chapter 4 Contribution to Goal Completion and Related Fields.....93
Chapter 5 Usage Plan of Research Development Results.....94

Section 1 Necessity of Additional Researches 94
Section 2 Applications to Other Researches.....94
Section 3 Business Development Strategies.....94

Chapter 6 Abroad Technology Information Obtained during Research 95

Chapter 7 References.....96

목 차

제1장 연구개발과제의 개요 9
제1절 연구개발과제의 개요 9
1. 연구개발의목적 9
2. 연구개발의 필요성 10
3. 연구개발의 범위 10
제2장 국내외 기술개발 현황 11
제1절 국내·외 관련분야에 대한 기술개발현황 11
1. 배수성포장의 특징 11
2. 배수성포장의 장점 11
3. 배수성포장의 경제성검토 12
4. 배수성포장의 중요성 12
5. 동북아 지역의 배수성 포장의 중요성) 15
6. 배수성포장의 사용확산 16
제2절 국내 기술개발현황이 국외에서 차지하는 위치 17
1. 국내기술동향 17
2. 국외기술동향 18
3. 본 연구가 국내외 기술개발 변화에서 차지하는 위치 24
제3장 연구개발 수행내용 및 결과 25
제1절 이론적 접근방법 25
제2절 실험적 접근방법 29
1. 배수성 아스팔트바인더의 물성시험 29
2. 배수성 아스팔트 혼합물의 물성시험 30
가.마샬안정도시험 30
나. 칸타블로 시험 31
다. 휠트랙킹(Wheel Tracking) 시험 31
라. 투수시험 33
제3절 연구내용 35
1. 혼합물 배합설계를 위한 배수성골재 입도연구 35
2. 현장배합방식을 위한 개질제의 분말제조공정 기술개발 37
3. 포장건설을 위한 시공관리 38
가. 시공품질관리 38
나. 시공 품질관리에 따른 문제점 및 개선방안 41
다. 아스팔트 포장 혼합물의 배합설계 문제점 42
라. 시공단계별 주요 품질관리 항목 및 개선 사항 44
제4절 연구결과 73
1. 혼합물 배합설계를 위한 배수성골재 입도연구결과 73
가. 19㎜ 배수성 입도분포 74
나. 13㎜ 배수성 골재입도 74
2. 혼합물 물성측정 연구결과 78
3. 개질제 분말화 제조공정 기술개발 81
4. 개질아스팔트포장의 건설 82
가. 배수성 아스팔트포장의 건설 82
나. 내유동성 아스팔트포장의 건설 89
제4장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도 93
제5장 연구개발결과의 활용계획 94
제1절 추가연구의 필요성 94
제2절 타 연구에의 응용 94

제3절 기업화 추진방안을 기술.....94
제6장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보.....95
제7장 참고문헌.....96

제1장 연구개발과제의 개요

제1절 연구개발과제의 개요

1. 연구개발의 목적

본 연구개발의 목적을 한마디로 요약하면 배수성 아스팔트포장과 내 유동성 아스팔트포장 시장에의 진입과 수익창출을 위해서, 필요한 관련 기술개발을 완료하는 데 있다. 이를 자세히 살펴보면 아래와 같다.

우리나라는 여름철 장마로 인한 강우량이 상당히 많고 여름철뿐만 아니고, 봄이나 가을철에도 강우량이 상대적으로 많은 편이다. 이로 인해 고속도로나 국도에서 빗길 교통사고로 인한 인명과 재산피해가 사회적 문제로 대두된 지 오래되었으나 뚜렷한 해결책이 없어 왔다. 또한 도심지역에 인구가 집중되다보니 과다한 차량통행으로 인해 발생하는 교통소음도 심각한 상태에 도달해 있다. 이로 인해 제기되는 민원도 증가하는 추세이나 도로 여건상 방음벽을 설치하기 어려운 경우가 대부분이다. 또한 빗길의 도심이나 고속도로에는 항상 교통정체가 상시로 발생하며 이로 인해 차량연료와 귀중한 시간의 낭비도 해결해야 할 어려운 숙제이다. 상기 문제점들을 해결하기 위한 하나의 방안으로서 도입된 가장 유망한 포장이 배수성 아스팔트포장이다. 배수성 아스팔트포장은 빗길의 물 튀김 방지, 수막현상제거, 미끄럼방지, 야간 빗길의 노면 불빛반사 감소 및 도로소음을 경감시키는 특성을 가지고 있어 상기에 언급한 문제점해결에 가장 적합하다. 이러한 특성 때문에 단순히 차량이 주행하는 도로 이상의 기능, 즉, 인간의 생활편익을 고려한 특성을 가짐으로서 기능성포장으로 분류된다. 본 연구 개발의 목적 중 하나는 우수한 배수성포장을 건설하기 위한 기술개발을 완료하여 배수성아스팔트포장의 건설시장에 진입하기 위한 준비를 완료하는 것이다.

국내 아스팔트포장은 전체도로의 80% 이상을 차지하고 있는 중요한 도로포장 수단이다. 수많은 차량이 이러한 포장 위를 달리고 있어서 우수한 아스팔트포장 상태를 유지하는 것은 원활한 인력과 물동량의 이등을 의미함으로 국가발전에 중요한 기여를 하게 된다. 그러나 국내 기후조건은 사계절을 가지고 있어서 여름철에는 덥고 겨울철에는 몹시 춥다. 여름철의 기온은 35℃ 이상을 올라가고 이로 인해 열 흡수체인 아스팔트포장의 온도는 무려 60-70℃에 달한다. 고온의 아스팔트포장은 포장 재료의 점도를 급격히 떨어뜨려 차량하중에 대한 포장지지력을 약하게 만든다. 이로 인해 국내 아스팔트포장이 처음 도입된 이래로 지금까지 아스팔트포장 표면에 발생하는 가장 흔한 문제점으로 소성변형을 꼽을 수 있으며 이를 유지보수하기 위한 국가예산의 낭비가 지금도 심각하다. 한편 겨울철에는 시베리아의 차가운 기온영향으로 포장온도가 무려 영하 15-20℃ 이하로 내려간다. 기온의 급강하는 아스팔트포장에 심각한 재료수축을 일으키며 이 상태에서의 차량주행으로 인한 반복하중은 포장균열을 발생시키는 직접적인 원인이 된다. 이로 인해 각종 포장균열이 발생하고 있으며 이를 유지보수하기 위한 국가예산의 낭비도 또한 심각

하다. 이처럼 아스팔트포장에 발생하는 두 가지 중요한 문제점으로 소성변형과 각종 균열을 들 수 있으며 이를 개선하기 위한 포장이 내유동성 포장이며, 이 포장의 특성은 아스팔트포장의 내구성을 증진시켜 포장수명을 연장시키는 데 있다. 본 연구개발의 또 하나의 목적은 효과적인 내유동성포장을 건설하기 위한 기술개발을 완료하여 내유동성포장 건설시장에 참여할 준비를 갖추는 것에 있다.

2. 연구개발의 필요성

배수성과 내유동성 아스팔트포장을 건설하는 데 있어서 필연적으로 요구되는 재료가 배수성포장용 고점도 개질제와 내유동성 개질제이다. 이 재료들을 제조하기 위한 연구는 많은 노력 끝에 이미 완료되어 있으나 상기 재료들을 사용하여 우수한 배수성포장과 내유동성포장을 건설하기 위한 실용화를 위한 여러 가지 후속연구를 통한 기술개발은 미흡한 실정이다. 배수성 및 내유동성 개질제의 재료특성도 포장의 품질에 궁극적으로 영향을 미치는 중요한 요소이긴 하나 이 재료들을 효과적으로 사용하기 위한 해당 개질 아스콘의 생산이나 시공에 대한 적절한 기술을 개발하지 못한다면, 결코 우수한 품질을 가진 배수성 및 내유동성포장의 건설에 이르지 못한다는 것은 자명한 사실이다.

실제로 이미 국내에서도 이들 포장에 대한 초기포장실적이 쌓여가고 있으나 많은 문제점들이 노출되고 있으며, 이들 중 재료에 기인하는 문제도 있긴 하나 재료 이외의 건설기술 상의 문제점도 상당하다. 예를 들어, 배수성 및 내유동성포장을 건설한 후 문제가 발생하면 이러한 문제가 재료문제인지, 시공 상의 문제인지에 대한 논란이 항상 제기된다. 이러한 논란의 핵심은 두 기술 공히 중요하며 이 기술들이 모두 개발될 필요가 있음을 명백히 보여주는 사례라 할 수 있다. 본 연구개발의 필요성은 후자인 생산과 시공기술 상의 문자를 해결하는 데 초점이 맞추어져 있다. 이러한 후속 기술개발의 필요성은 이러한 기술개발이 성공적으로 완료될 때에야 비로소 배수성 및 내유동성포장의 품질이 보장되어 기능성과 내구성이 우수한 도로포장을 건설할 수 있기 때문이다. 후속 기술개발의 필요성은 반드시 시험포장의 건설을 포함하는 효과적인 개질 아스콘생산에 대한 기술개발의 필요성도 포함하고 있다. 이들에 대해서는 자세한 내용은 아래 연구개발의 범위에서 언급될 것이다.

3. 연구개발의 범위

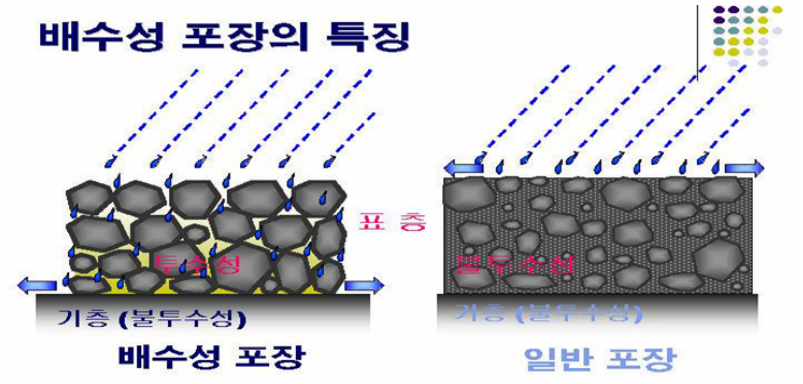
국가 연구프로젝트를 통해 개발된 배수성 및 내유동성 개질제 제품의 성공적 시장진입을 준비하기 위한 후속기술개발이 본 연구개발의 범위이다. 후속기술개발로는 일곱 단계의 연구과정을 거치게 된다. 첫째, 상기 개질제 제품을 다량으로 제조하기 위한 공정설비 준비 및 생산연구를 들 수 있다. 둘째, 상기 생산된 제품과 골재설계를 통한 혼합물 시편제조와 물성시험이다. 셋째, 혼합물 물성시험을 통한 배수성 및 내유동성 혼합물 배합설계 단계이다. 넷째, 혼합물 배합설계와 생산제품을 통한 배수성 및 내유동성 개질아스콘을 생산하기 위한 기술개발이다. 다섯째, 생산된 해당 개질아스콘으로 시험포장 건설과 제품의 검증을 완료하는 것이다. 여섯째, 이상의 결과를 토대로 건설신기술을 신청하는 것이다. 일곱째, 영업활동을 위해서 웹사이트작성 및 홍보물 작성을 완료하는 것이다.

제2장 국내외 기술개발 현황

제1절 국내·외 관련분야에 대한 기술개발현황

1. 배수성포장의 특징

배수성포장이란 아래 그림 1과 같이 골재분포도에 있어서 조골재(80%)가 일반포장의 조골재(55%)에 비하여 큰 비중을 차지함으로 포장의 공극이 20% 정도에 이르는 다공성포장을 말한다. 이러한 다공성으로 인하여 표면의 빗물이 표층에서 기층으로 투과되어 불투수층인 기층 위에서 측구로 배출되는 구조를 가진다.



재료구성	일반포장	배수성포장
粗骨材 (쇄석)	55%	80%
細骨材 (모래)	34%	10%
채움재, 아스팔트, 등	11%	10%
공극율	4%	20%

그림 1. 배수성포장과 일반 아스팔트포장과의 특성비교.

2. 배수성포장의 장점

배수성포장은 상기의 특성으로 인하여 다음의 장점을 가진다.

- 환경 친화성 (교통소음 감소, 열 섬 현상 완화)
- 주행 안전성 (빗길 교통사고 감소, 수막현상에 의한 사고제거)
- 생활 쾌적성 (여름철 포장온도 감소, 물 튀김 제거)
- 주행 편리성 (빗길 교통체증 감소, 주행 쾌적 성)

3. 배수성포장의 경제성 검토

배수성 아스팔트포장은 일반 아스팔트포장에 비해 초기시공비용이 1.3-1.8배 정도 비싸며, 포장수명도 약간 짧아(일반포장의 수명이 10년이라 하면 배수성포장 수명은 8-9년) 유지보수비용도 약 10-20% 비싼 편이다. 그러나 이러한 경비는 배수성포장의 편익비용 중 빗길 교통정체의 감소로 인한 주행시간의 단축을 고려한다면 위의 비용을 충분히 상쇄하고도 남는다. 배수성포장은 생활편익 이외에도 사고편익, 방음편익 및 주행편익이 있어서 이들을 모두 고려한다면, 배수성포장이 일반포장보다도 훨씬 경제적이라 할 수 있다.

◆ 시공비용	1.건설비(배수성포장 **시공비용**이 다소 고가) 2.유지관리비(배수성 **포장수명**이 다소 짧음)
◆ 편익비용	1. 생활편익(주행시간 단축으로 **연비절감**, 열대야 완화) 2. 사고편익(교통사고 경감에 따른 **사고비용** 감소) 3. 방음편익(교통소음 **방음벽 설치 비용** 감소) 4. 주행편익(시계불량 방지, 야간 난반사 감소, 심리적 안정감)

4. 배수성포장의 중요성

배수성포장은 교통안전과 도로소음저감과 같은 긍정적 환경영향으로 인하여 다공성 혹은 저소음포장으로도 알려져 있다. 배수성포장의 특징으로서 빗길의 물튀김방지, 수막현상제거, 미끄럼방지, 야간 빗길의 노면 시인성 향상 및 도로소음의 경감 등을 들 수 있으며 이러한 특성 때문에 단순히 차량이 주행하는 도로 이상의 기능을 가짐으로 기능성 포장으로 분류된다. 이러한 포장기능을 가능하게 하기 위해서는 고점도 개질 아스팔트가 필수적이며, 이러한 고점도 바인더를 사용함으로서 배수성 아스팔트포장의 내구성도 크게 향상된다. 아래에 배수성포장의 교통사고 방지기능, 소음 저감기능 그리고 포장내구성에 대해 알려진 연구내용을 기술한다.

첫째, 배수성 아스팔트포장은 교통안전에 적극적으로 기여한다. 왜냐하면 물 튀김 방지, 미끄럼저항성 향상, 빗길 노면의 시인성 확보에 직접적으로 도움을 주기 때문이다. 이러한 현상은 배수성포장의 다공성구조로 인하여 빗물이 공극사이로 스며들어 노면에 물이 고이지 않기 때문이다. 이러한 기능으로 인하여 배수성포장을 하기 이전과 하고난 후의 빗길사고로 인한 인명피해나 차량파손에 현저한 차이가 발생한다. 아래 그림 2와 3에는 일본의 통계수치를 나타내며, 고속도로의 한 지점에서 측정한 결과 배수성포장을 한 후의 빗길 교통사고가 그 이전의 일반 아스팔트포장에 비해 무려 85%나 감소함을 지적하고 있다. 이상의 통계수치는 배수성포장이 일반 밀입도 포장보다도 빗길 교통사고에 훨씬 안전하다는 증거를 명백히 보여주고 있다.



그림 2. 배수성포장의 교통안전에 대한 영향

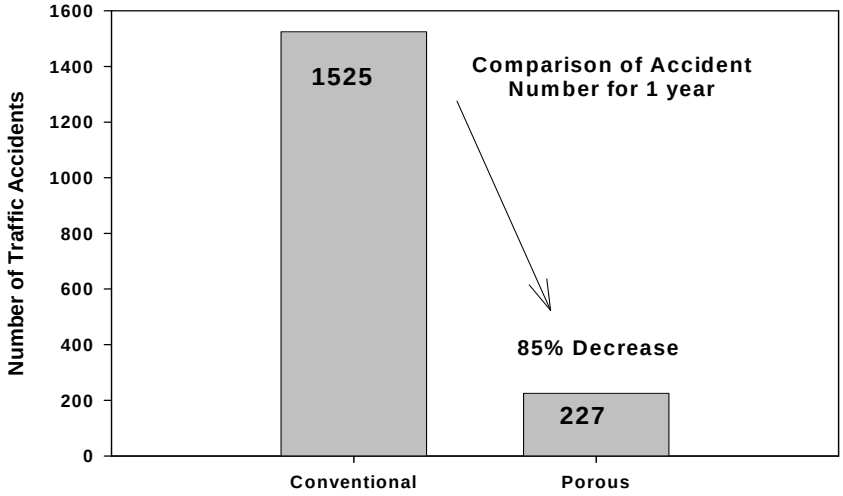


그림 3. 일반과 배수성포장의 일 년 동안 교통사고 비교.

둘째, 배수성포장을 도심도로에 사용하는 또 하나의 중요한 이유는 도로 교통소음을 줄이기 위해서 이다. 소음에 대한 민원을 해결하고자 비싼 방음벽을 설치하고 있으나 이는 시야를 차단함으로서 구속된 느낌을 준다. 어쨋든 생활의 윤택과 더불어 소음문제가 심각한 사회문제로 대두되고 있다. 이에 대한 해결책의 하나로 소음을 감소시키는 데 효과가 있는 배수성포장을 도입하는 사례가 늘고 있다. 도로소음을 측정하는 방법으로서 타이어와 노면의 마찰에 의해 발생하는 소음(타이어/도로 소음)이 가장 널리 사용된다.

밀입도포장과 배수성포장 사이의 소음레벨 비교는 그림 4와 5에 나타나 있다. 그림 4에 의하면 배수성 아스팔트포장의 소음레벨이 일반 아스팔트포장과 비교하여 1000Hz 이상의 높은 주기밴드에서 다소 감소한다. 그림 5에 의하면 소음레벨은 차량속도가 증가하면 증가하며, 정상 속도범위에서는 배수성포장이 일반포장에 비하여 3-5dB(A) 정도의

소음레벨 감소현상을 보여준다. 비록 3-5dB 정도의 감소이지만 사람이 느끼는 소음감소는 상당히 크다.

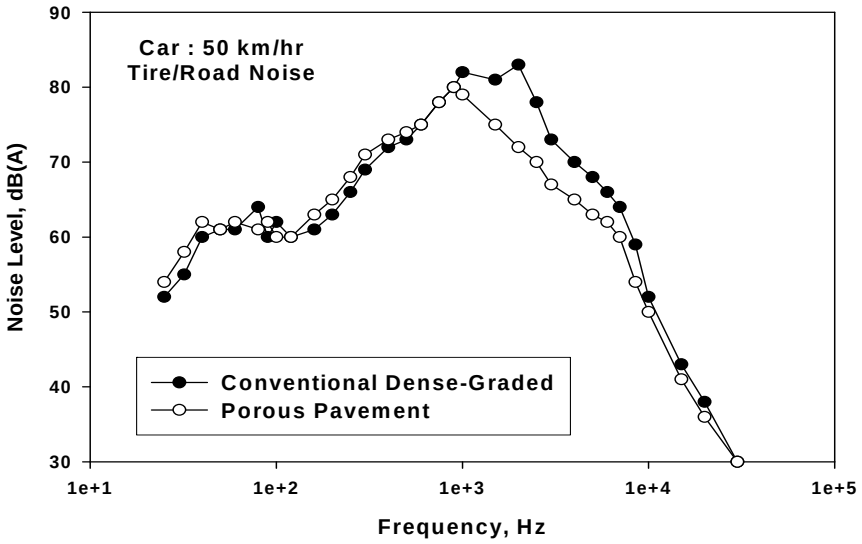


그림 4. 주기 함수로서의 소음레벨 비교.

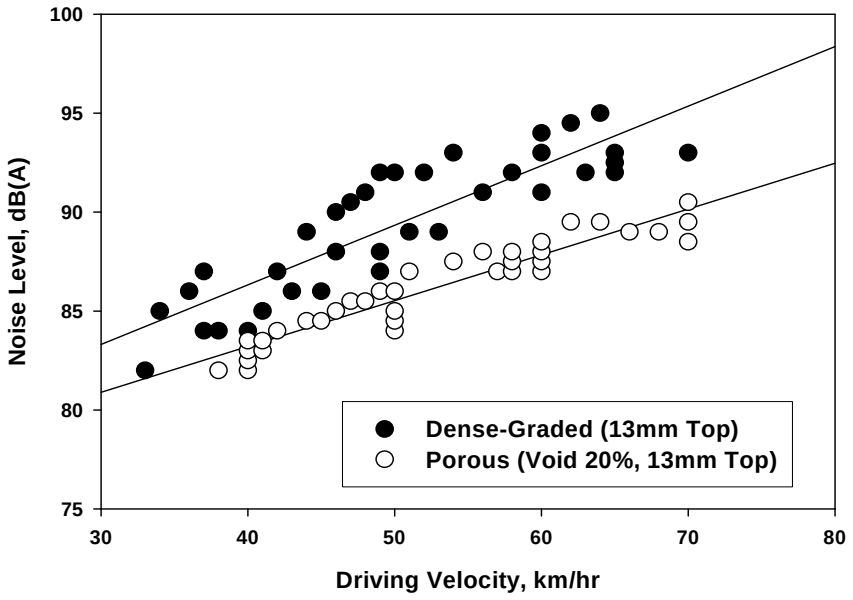


그림 5. 차량속도에 따른 소음레벨의 비교.

5. 동아시아 지역에서의 배수성포장의 중요성

그림 6은 유럽, 미국 그리고 동 아시아 국가들의 일일 최대온도의 월 평균값을 보여준다. 여기서 유럽이라 함은 London, Le Bourget, Madrid, Berlin, Roma Fiumicino의 평균수치를, 미국이라 함은 Los Angels, Washington DC의 평균수치를, 동아시아라 함은 Seoul, Beijing, Chengdu, Xi′an, Wuhan, Shanghai, Taibei, Sapporo, Tokyo, Nagoya, Naha의 평균수치를 일컫는다. 동아시아의 여름철 온도는 30℃를 초과하며 유럽보다도 약 5℃가량 높다. 5℃ 의 온도 차이는 상당히 큰 수치이며, 이 수치는 동아시아의 아스팔트포장에서 소성변형이 심각한 문제가 되도록 하고 있다. 이러한 소성변형문제를 해결하기 위하여 동아시아의 배수성 아스팔트포장에 사용되는 개질 아스팔트는 유럽과 달리 고점도를 요구한다.

그림 7에는 유럽, 미국 그리고 동아시아에서의 월평균 강우량을 나타내고 있다. 이 그림에 의하면 동아시아에서의 여름철 강우량은 유럽에 비하여 약 4배나 많다. 이러한 요인은 동아시아에서 여름철 빗길 교통사고가 빈번히 발생하게 하는 요인이 되게 한다. 따라서 이 지역에서 배수성 아스팔트포장의 중요성이 부각될 수 밖에 없다. 상기 여름철 높은 대기온도와 강우량은 배수성 아스팔트포장을 건설하기 위하여 이에 적절한 특수 아스팔트바인더 재료(소성변형과 물에 대한 높은 저항성을 가진 재료)를 요구한다.

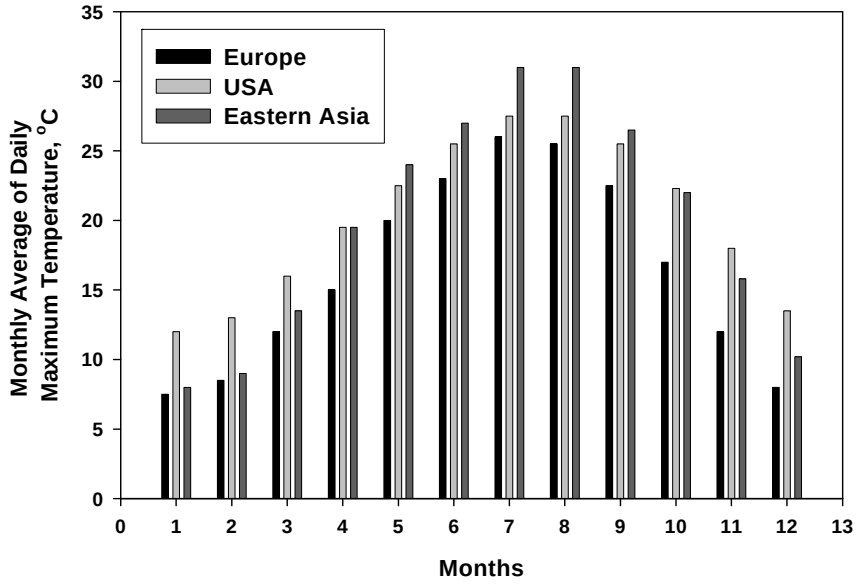


그림 6. 일일 최대온도의 월 평균값.

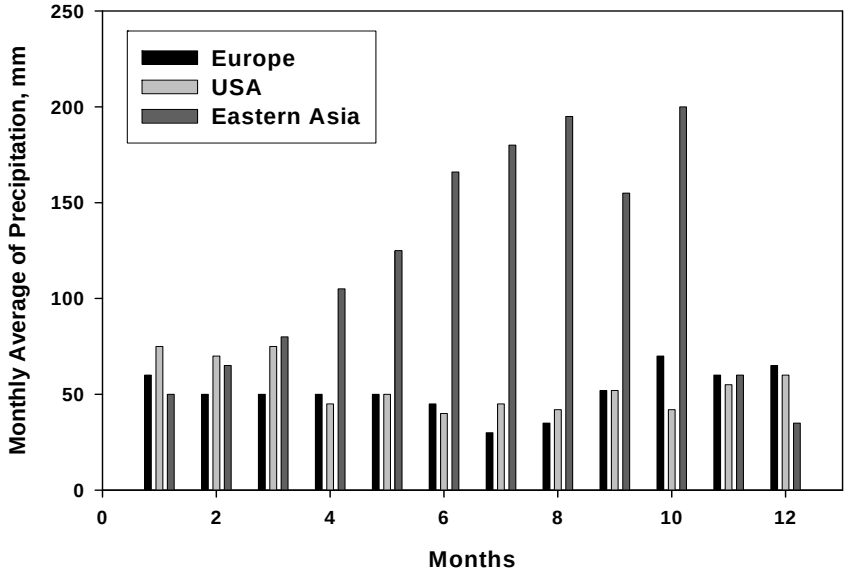


그림 7. 월별 평균 강우량.

6. 배수성포장의 사용 확산

1990년대 후반기에는 포장의 품질이 포장의 양보다도 더욱 중요하게 되었다. 예를 들어, 교통안전 면에서 배수성이나 미끄럼저항성이 우수하고, 도로 옆 지역의 환경보호 차원에서 저소음이 뛰어나며, 한랭지에서는 저온균열을 제어할 수 있는 도로포장이 요청되었다. SBS 고분자가 이러한 다양한 요구를 수용하는 개질아스팔트를 개발하는 데 큰 역할을 담당하게 되었다.

배수성포장은 약 20%의 공극을 가지는 다공성 아스팔트 혼합물이 표면 바인더층으로 사용되는 포장을 말한다. 이 포장은 비가 오더라도 빗물이 표면에 남아 있지 않기 때문에 일정한 미끄럼저항성을 유지할 뿐만 아니라 물보라가 생기지 않음으로 향상된 시인성을 제공한다. 따라서 배수성포장은 1990년대에 교통안정의 목적을 위해서 국가의 고속도로나 자동차 전용도로에 급속도로 널리 사용되게 되었다. 1989년에서 1990년 사이의 1년 간 일본의 고속도로통계에 의하면 배수성 아스팔트포장은 일반 아스팔트포장과 비교하여 84%의 사고감소율을 낳는 큰 결과를 가져왔다.

20%의 공극을 유지하면서도 포장으로서의 역학적 내구성을 확보하는 데는 배수성포장을 위한 개질아스팔트의 결합력 향상이 필수적이다. 개질에 있어서 단순히 고분자의 농도만을 증가시키는 것은 바인더의 점도를 증가시키긴 하지만 작업성의 감소를 가져오는 결과를 낳으므로 결합력과 작업력 사이의 좋은 균형을 유지시키는 방법에 대한 해결책이 필요하다.

제2절 국내 기술개발현황이 국외에서 차지하는 위치

1. 국내 기술동향

국내에서는 1998년 빗길 안전운전을 목적으로 일본의 고점도 개질 아스팔트를 사용함으로서 배수성 아스팔트포장을 처음으로 시공하였다. 2000년도에는 D사에 의해 배수성 아스팔트 혼합물을 위한 첨가제가 처음으로 개발되었고, 국도에 시험포장이 시공되었다. 이 첨가제는 비교적 낮은 온도와 강우량에 적합한 유럽의 배수성포장 첨가제 제품과 유사한 것으로 평가된다. 2001년에 도로공사는 아스팔트를 개질하기 위해하여 일본의 첨가제(TPS)를 사용하였고, 남해고속도로에 배수성 아스팔트 시험포장을 시공하였다. 그리고 D사에서 개발된 첨가제를 사용한 배수성 아스팔트포장을 남해에 건설하였다. 그리고 2002년과 2003년도에 일본의 첨가제(TPS)를 이용한 배수성 아스팔트포장이 김해, 대전, 그리고 전주시에 건설되었다. 대전시에 배수성아스팔트포장이 건설된 주된 목적은 소음을 경감시키기 위해서였다. 2003년과 2004년도에 D사는 부천시, 경인고속도로, 서울외곽순환도로 등에 배수성 아스팔트포장을 시공하였다.

그러나 그 후 골재이탈과 같은 심각한 문제가 발생하기 시작하여 배수성포장에 대한 인식이 크게 나빠졌다. 한동안 배수성포장의 수요가 끊겼다가 최근 2008년부터 다시 서울시를 중심으로 배수성포장에 대한 수요가 등장하기 시작하는 추세이며, 이에 따라 다른 대도시 (부산, 인천, 대전, 등)에서도 배수성포장에 대한 물량이 생겨나기 시작하고 있다. 이에 발맞추어 3-4개의 배수성포장을 위한 제품이 선보이고 있으나 국내의 배수성포장기술은 아직도 낙후하여 배수성포장이 요구하는 고점도의 제품을 만들지 못하고 있다. 이를 위해 일반 개질아스팔트포장용 개질고분자 함량을 개질아스팔트포장 함량에 비하여 증가시키면 고점도 배수성포장이 되는 것처럼 생각하는 범주에 머물러 있다. 이렇다 보니 이미 시공을 마친 배수성포장에서 골재이탈이나 균열 및 소성변형 현상이 자주 발생하여 포장수명이 단축되는 경우가 허다하다. 이러한 문제 때문에 배수성포장에 대한 전반적인 기술개발이 시급히 요청되는 실정에 있다.

국내 내유동성포장은 1985년경부터 관심의 대상이 되어 왔다. 그 이유는 국내 아스팔트포장에 심각한 소성변형이 과거에 너무 많이 발생하였고 그 당시에도 발생하였기 때문이다. 처음에 SBR 개질아스팔트가 주로 교량에 적용되어 오다가 이 제품이 도로포장에도 적용되기 시작했다. 1998년경에 (주)SK가 미국의 Koch material 사에서 SBS 개질아스팔트기술을 들여와서 비로소 이 제품이 국내의 주력 내유동성 개질아스팔트포장 제품으로 사용되기 시작했다. 그러나 SBS 고분자가격이 다른 고분자에 비하여 고가이다 보니 많은 함량을 사용할 수가 없고 아스팔트바인더 함량의 3-4%정도만 사용하다보니 물성향상이 크지 않다는 한계점을 갖고 있다. 따라서 중차량의 통행이 빈번한 도로에서는 여전히 소성변형문제가 발생하고 있다. 이 외에도 미국의 애리조나 주에서 폐타이어 분말을 이용한 개질아스팔트포장 기술을 도입하여 국내에 사용하여 왔으나 폐타이어 분말과 아스팔트바인더와의 접착력에 문제가 있어서 포트홀이 발생하거나 포장에 국소적인 균열문제가 발생하거나 아스팔트와 폐타이어가 분리되는 현상이 목격되곤 한다. 특히 아

스팔트와 폐타이어와의 분리현상을 방지하기 위하여 고온에서 2-3시간에 걸쳐 폐타이어를 아스팔트에 숙성시키는 조치를 취함으로서 연료비용이 증가하는 문제점을 안고 있다. 이외에도 분자량이 비교적 적은 폴리아미드 계열의 고분자를 사용하는 개질아스팔트제품이 있으나 이 또한 고분자가 고가라서 아스팔트함량의 3%를 사용함으로 인하여 물성향상이 적어 세룰로오즈 섬유를 함께 섞어 사용하고 있다. 상기 문제점들은 국내 내유동성 포장의 물성향상에 의문을 제기하고 있으며, 이에 대한 근본적인 해결책을 요구하고 있다.

시공적인 측면에서는 국내 시공회사들이 배수성포장과 내유동성포장에 대한 지식과 경험이 부족하다. 이 때문에 비록 재료는 우수하다 하더라도 시공을 잘 못하여 포장손상을 가져오는 경우도 많다. 특히 배수성포장과 내유동성포장에는 고분자 개질제가 포함되어있고 이 재료들은 온도가 조금만 내려가도 급격히 점도가 상승함으로 온도관리를 소홀히 하면 반드시 문제가 발생한다. 그러나 대부분의 시공회사들은 이러한 재료의 특성을 잘 못 이해하여 마치 일반 스트레이트 아스팔트포장처럼 시공하게 됨으로 인하여 많은 문제점들을 일으키고 있는 것 또한 사실이다. 따라서 이해대한 연구가 필요하며 연구결과를 배수성과 내유동포장시공 시에 반영시키는 것이 중요하다.

국내의 배수성 아스팔트 혼합물을 위한 아스팔트규정은 고속도로를 위해서 도로공사에 의해 처음으로 확립되었다. 이 규정은 일본 배수성 아스팔트바인더 규정과 거의 동일하며 고점도 개질아스팔트로 분류된다. 2004년도에는 이 규정이 건설교통부의 규정으로 채택되어 현재 전국적으로 적용되고 있다.

2. 국외 기술동향

<미국 및 호주>

배수성포장이 기원은 미국이나 호주에서 노면의 미끄럼방지 개선을 위해 채택한 OGFC(Open Graded Friction Coures)이다. 이 OGFC는 1960년대에 시작하였으며, 노면의 주행안전성 향상을 목적으로 하고 있다. 이 층의 두께는 1.6~1.9cm로 마모층에 포함되며 포장구조 설계 시에는 포함되지 않는다. 1959년 애리조나와 네바다 주에서 개립도 마모층 OGFC 혼합물을 처음으로 추진하였으며, 미연방도로국(FHWA)에서는 1974년 OGFC 지침서를 제시하여 각 주에 이의 사용을 권장하였지만 별로 만족스러운 지침서가 되지 못하였다. 1998년에 NCAT(National Center for Asphalt Technology)는 미국전역에 걸쳐 OGFC사용, 문제점, 실시여부 및 공용연한에 대한 조사를 실시하였는데, 상당히 많은 주들이 내구성과 표면마찰문제 때문에 더 이상 OGFC를 사용하지 않는다고 답하였다. 대부분이 내구성문제는 표면골재의 이탈에 기인하였다. 그러나 성공적으로 OGFC를 사용한 주는 일반 아스팔트보다도 고분자 개질아스팔트를 사용한 주로 밝혀졌으며, 1974년에 발표한 FHWA 지침서보다 굵은 입자를 사용한 것으로 밝혀졌다. 또한 성공적으로 OGFC를 사용한 주들은 포장공용연수를 평균 10년으로 보고하였다. 2000년에는 NCAT를 주축으로 새로운 차세대 OGFC의 혼합물배합설계에 대한 연구를 진행하였으며, 그 결과 하나의 입도분포를 제시하였는데, 최근에는 광범위한 연구를 통해 미 전역의 표층 혼합물 골재형태에도 적용 가능한 혼합물 배합설계를 만들고 있다. 이러한 혼합물 배합

설계에 가장 중요하게 고려되는 요인은 골재입경과 분포도 이외에도 개질 첨가제의 종류와 그 특성이다.

<유 럽>

1970년도 후반에 배수성포장을 시작하였다. 물튀김방지 미끄럼저항성 개선, 교통소음의 감소와 같은 새로운 기능들에 주목하여 배수성포장이 유럽에 널리 퍼지기 시작하였다. 초기 배수성 아스팔트포장은 일반적인 스트레이트 아스팔트를 채용하였으며, 그 후 셀루로즈섬유, 고무분말, EVA, PE와 간은 열가소성 수지 그리고 SBS, SBR과 같은 열가소성 탄성체가 개질제로서 사용되기 시작하였다. 유럽의 기후는 아세아 나라들과 비교하여 5℃ 정도 낮기 때문에 배수성포장에 사용하는 아스팔트의 연화점을 60~80℃로 규정하고 있으나, 이 규정은 아세아의 배수성포장 규정보다 낮은 수치이다.

유럽에서의 배수성포장은 주로 도로교통소음을 저하시키기 위하여 사용하고 있으며, 4~5cm의 두께를 가진다. 일반적으로 우수한 골재를 선정하고, 개질 아스팔트를 적용한 혼합물을 기본으로 하고 있다. 사용골재의 최대치수는 14, 11, 8mm로 구분하고 공극률은 20%정도를 목표로 하고 있다. 아스팔트의 함량은 4.5~6%에서 결정된다. 시공두께는 35~50mm 범위에서 결정되며, 배수성 포장층은 전체 포장 구조설계 시에 포함된다. 이태리는 배수성포장수명을 대략 5~8년으로 예측하며 네델런드는 교통량 6만대/일의 도로에서 약 10년(일반 밀입도 혼합물 12년)을 잡고 있다. 배수성포장의 기능에 대해 스페인이 보고한 바에 의 하면 고분자 개질 아스팔트를 사용할 경우 7.5년 정도 투수성을 지속하며, 차량 통과부가 비차륜 통과부에 비해 혼합물 투수성을 보다 잘 지속시키며, 공극이 적은 배수성포장일 수록 틈이 쉽게 막힌다고 보고하고 있다.

<일본>

1987년에 동경시가 소음방지목적을 위해 유럽에서 처음으로 배수성포장 기술을 도입하였다. 그러나 유럽과의 기후차이(일본의 여름철 기온이 5℃ 높고, 강우량이 150㎜ 더 많음)로 인해 실패하였다. 그 후 연구를 거듭한 결과 유럽과는 다른 고점도 개질아스팔트를 개발하게 되었고, 이를 바탕으로 배수성 아스팔트포장을 건설하는데 성공하였다. 그 후로 배수성포장이 일본 전국에 걸쳐 주목을 받기 시작하였다.

1996년에는 일본의 고속도로공사가 배수성 아스팔트포장의 사용지침을 만들게 되었다. 그리고 1997년 11월에 "배수성포장 기술지침(안)"이 간행되기에 이르렀고, 누계시공실적은 80-100만㎡에 달하기에 이른다. 여기에다 1997년도 말에 도시도로에 있어서의 저소음도로 총연장은 약 450 ㎞(상하선을 합치면 900 ㎞)이고, 그 60%는 4차선 이상의 도시도로이다. 1999년에는 일본 고속도로공사는 모든 고속도로에 배수성 아스팔트포장을 건설하도록 규정하였다.

배수성 아스팔트포장은 고점도 개질 바인더를 개발함으로서 가능해졌으며, 바인더의 기술적 특성은 다음 표 1과 같다.

표 1. 배수성 아스팔트포장 용 고점도 개질 바인더의 특징

항목	혼합물의 요구 성상	바인더 성상
골재비산 저항성	혼합물의 안정성 확보 필요.	결합력이 강한 바인더.
내후성	혼합물의 공극율 과다로 일광과 공기의 유출입 자유. 퇴화방지 필요.	두꺼운 피막형성과 고점도 바인더.
내수성	포장 내부의 빗물 침투로 골재에 대한 바인더의 부착성 향상 필요.	골재와의 점착성이 높은 (박리저항성이 큰) 바인더.
내 유동성	강한 소성변형 저항성 필요.	동적안정도(연화점)가 높은 바인더.

최근 일본에서의 포장기술동향은 배수성포장의 사용으로 급속도로 확산되고 있는 추세이다. 또한 포장 공용성 측면에서도 소성변형이나 피로균열에 비교적 우수하다는 평가를 받고 있다. 물론 우수한 포장 공용성에는 이러한 포장시공에 필수적 재료인 고점도 개질 아스팔트바인더의 개발이 가능했기 때문이다. 최근에는 고점도 개질 아스팔트가 강상판 교량의 교면포장과 한랭지역의 도로포장에로 확산되어 있으며 중 교통도로에도 적용되고 있는 실정이다. 일본의 고속도로에서는 주행의 안정성에 중점을 두고, 지방도로에서는 물 튀김 방지로, 주택지 에서는 소음저감 등등으로 시공실적을 급속하게 신장시켜 왔다. 최근에는 기하급수적으로 배수성포장의 사용이 확장되어 일본에서 가장 흔히 사용되고 있는 포장으로 성장했으며, 현재는 일본 전체 아스팔트포장의 약 50% 이상을 차지하고 있다.

배수성 아스팔트포장 용 고점도 개질 아스팔트의 탄생이 있기까지의 전 과정을 이해하면 현재의 기술수준을 이해하는 데 도움이 된다. 이 목적을 위해 일본의 고분자 개질 아스팔트바인더의 역사를 살펴보기로 하자. 일본의 고분자 개질 아스팔트바인더 용으로서의 고분자재료는 처음에 고무재료에서 열가소성 수지 그리고 열가소성 탄성체로 변화되어 왔다. 현재는 열가소성 탄성체인 SBS가 아스팔트 개질 고분자의 주류를 이룬다. 고분자개질 아스팔트의 미세구조를 살펴보면, 지금까지 소성변형 저항성 개선을 목적으로 사용되는 일반 고분자 개질 아스팔트의 구조는 아스팔트가 연속상이고 고분자는 그 속에 분산되어 있었다. 그러나 배수성포장을 위한 고분자 개질 아스팔트의 내부구조는 이와는 정반대로 고분자가 연속상이고 아스팔트는 분산상으로 되어 있다. 이러한 내부구조의 변화는 고분자개질 아스팔트의 공용특성을 크게 향상시키는 결과를 가져왔으며, 역학적 성능이 보다 개선된 고분자개질 아스팔트바인더를 제조하기 위한 방향을 제시하고 있다.

고분자개질 아스팔트의 개발은 소성변형저항성의 역사를 대변한다 할 수 있다. 소성변형 저항성을 위해 최초로 채택된 고분자개질 아스팔트는 1960년도에 개발된 개질아스팔트 타입-I(다음부터는 타입-I으로 명명)이며, “고무화 아스팔트”라 불렀다.

1970년도에는 교통량은 물론이고 중 차량의 주행회수도 크게 증가하게 되었다. 그 결과 타입-I은 충분한 소성변형 저항성을 제공할 수 없게 되었고, 그 결과 “수지 아스팔트” 혹은 고무-수지 개질 아스팔트“라 불리는 개질아스팔트 타입-II(다음부터는 타입-II로 명명)가 개발되었다. 1980년도 후반기에는 개질아스팔트의 수요가 급격히 증가하였고,

이러한 경향은 소성변형과 균열 저항성을 동시에 개선시킨 고도의 내구성을 지닌 개질아스팔트(다음부터는 타입-III으로 명명)를 개발하기에 이르렀다. 표 2에는 과거와 현재에 사용되는 개질 아스팔트의 종류와 사용함량을 표시하고 있다.

표 2. 개질제의 종류와 함량

항목		개질제 타입-I	개질제 타입-II	개질제 타입-III
개질제	과거	SBR	SBR, EVA, EEA, SIS	---
	현재	SBR, SBS	SBS	SBS
개질제 함량 (%)		1-3	3-5	5-7

타입-I, II, III의 개질아스팔트의 전체 생산량은 1970년대와 그 후로 증가일로에 있는 주행자동차 수와 함께 계속 증가되어 왔으며, 1970년대 말경에는 150,000톤/년에 이른다. 그 후 연이은 10년 동안 생산량은 100,000-150,000톤/년의 범위를 지속하였다. 그러다 1990년도 후에는 수요가 급격히 증가하여 1990년대 말에는 생산량이 무려 450,000톤/년에 달하게 되었으며, 포장용 아스팔트 총생산량의 10%를 찾이하게 되었다.

타입-I의 생산량은 1979년에 최대점에 이르렀고 그 후 1990년대에는 다소 감소하기 시작했다. 타입-II의 생산량은 1970년대부터 점차 증가하기 시작하여 1990년대에는 급격히 증가하여 타입-I의 생산량을 앞지르게 되었다. 타입-III은 중 차량의 주행이 많은 과도한 조건의 포장에 적용된다. 그래서 타입-III의 생산량은 다른 개질아스팔트의 생산량에 비하여 소량으로 제한되어 있다. 다음 표 3에는 일본의 개질아스팔트 타입-I, II, III 바인더의 규정을 표시한다.

표 3. 일본 개질아스팔트 타입-I, II, III의 규정

항목	단위	개질아스팔트 타입-I	개질아스팔트 타입-II	개질아스팔트 타입-III	개질아스팔트 타입-IV
Penetration, 25℃	0.1mm	55	52	50	>40
Softening Point	℃	52.5	62.0	79	>80
Ductility, 7℃	cm	85	---	---	---
Ductility, 15℃	cm	---	74	65	>50
Toughness	N.m	12.1	17.3	22.6	>20
Tenacity	N.m	7.8	11.7	17.9	>15
Viscosity, 60℃	Pa.s	2,000	4,500	10,000	>20,000

1990년대 후반기에는 포장의 품질이 포장의 양보다도 더욱 중요하게 되었다. 예를 들어, 교통안전 면에서 배수성이나 미끄럼저항성이 우수하고, 도로 옆 지역의 환경보호 차원에서 저소음이 뛰어나며, 한랭지에서는 저온균열을 제어할 수 있는 도로포장이 요청되었다. SBS 고분자가 이러한 다양한 요구를 수용하는 개질아스팔트를 개발하는 데 큰 역할을 담당하게 되었다. 20%의 공극을 유지하면서도 포장으로서의 역학적 내구성을 확보하는 데는 배수성포장을 위한 개질아스팔트의 결합력 향상이 필수적이다. 개질에 있어서 단순히 고분자의 농도만을 증가시키는 것은 바인더의 점도를 증가시키긴 하지만 작업성의 감소를 가져오는 결과를 낳으므로 결합력과 작업력 사이의 좋은 균형을 유지시키는 방법에 대한 해결책이 필요하다.

배수성포장을 위한 개질아스팔트는 고 점도를 필요로 하지만 고 점도를 만들면 작업성이 나빠져 시공이 불가능하게 된다. 이러한 문제점을 극복하기 위하여, 1990년대에 우수한 작업성과 고농도의 SBS 개질아스팔트가 개발되었다. 배수성아스팔트포장에만 적용되는 아스팔트로서 “고점도 개질 아스팔트” (다음부터는 타입-IV)라 명명하였다. SBS의 미세 분산상을 얻기 위한 많은 개념이 도입되어 개발된 상기 아스팔트는 고분자 개질 아스팔트의 공용성을 크게 향상시켰을 뿐만 아니라, SBS의 농도를 15%정도 증가시킬 경우에도 작업성을 유지시키는 능력을 보장해 주었다. 배수성포장용 개질바인더의 내부구조는 SBS가 연속상이고 아스팔트가 분산상이다. SBS-개질 아스팔트는 종전의 개질 아스팔트의 내부구조와는 판이하게 다른 구조를 가지고 있는 새로운 형태이다. 특정한 성능을 발휘하기 위해서는 안정되고 미세한 분산 상태를 만드는 분산기술을 확립하는 것이 중요하다. 타입-IV는 60℃의 점도가 20,000 Pa.s 이상이며 다른 개질 아스팔트와 비교하여 상당히 높은 점도를 가지고 있음으로 고점도 개질 아스팔트라 불린다.

고점도 고분자 개질 바인더(타입-IV)를 사용하는 배수성포장은 최근 수년간 급속한 진전을 이루었다. 왜냐하면 미끄럼저항성과 저소음기능이 사회의 필요성과 일치하였기 때문이다. 이제 타입-IV의 수요는 2002 재정년도의 전체 개질 아스팔트 물량 (433,000톤) 중 35.8%를 차지하였다. 또한 기존의 타입-IV 보다 품질이 더욱 우수하며, 높은 고분자 함량을 가진 새로운 타입-IV도 개발되었다. 이 새로운 타입-IV는 극한 환경지역의 배수성포장을 위해 개발되었으며, 예를 들어, 교통체증이 심한 교차로, 한냉지역, 강상판교량 등이 이에 속한다. 그리고 성능관련규정을 명시한 도로건설에도 자주 채택되는 데, 즉, 표층에 골재크기가 작고 높은 공극율을 가지며 동시에 고내구성을 만족시키는 배수성포장과 같은 규정을 말한다.

새로운 타입-IV는 여러 종류의 고분자와 첨가제를 함께 혼합하여 제조함으로, 이 제조법은 일반 타입-IV보다 더욱 어렵다. 저장하는 동안에 상 분리나 열분해가 일어나지 않도록 품질을 보증하기 위하여 아스팔트와 고분자 간의 상용성 확보가 매우 중요하다. 더구나 새로운 타입-IV는 미세 아스팔트 상이 고분자 연속 상에 분산되어 있는 미세구조를 가지고 있다. 따라서 기존의 타입-IV의 성능시험으로 새로운 타입-IV의 성능특성을 충분히 산정하는 것은 거의 불가능하다[2, 3]. 개질 혼합물의 성능은 새로운 타입-IV 내의 고분자 분산구조에 의해 영향을 받는다[4]. 그래서 새로운 타입-IV의 성능산정방법의 확립은 제품품질제어를 위해 가장 시급히 해결해야 할 과제이다.

본사에서 개발한 배수성포장용 개질제는 타입-IV와 같은 개념을 가진 고점도 개질제이다. 즉, 여러 종류의 고분자와 화학첨가제를 함께 혼합하여 제조하였다. 사전배합방식에서는 배수성포장용 아스콘을 만들기 위해서 개질제와 아스팔트를 사전에 균일하게 혼합한 용융액체를 제조하여 아스콘공장의 탱크에 저장하였다가 퍼그밀에서 골재를 투입할 때 함께 분사하여 혼합하는 반면에, 현장배합방식에서는 고체 분말형태의 고점도 개질제를 미리 만들어 아스콘공장에 운반하여 골재와 아스팔트를 퍼그밀 혼합기에 투입할 때 함께 첨가하고 혼합하여 아스콘을 제조하게 된다. 따라서 현장배합방식에서는 아스팔트와 고점도 개질제가 각각 따로 아스콘 공장에 운반되어 퍼그밀에서 비로소 함께 혼합되는 대신에, 사전배합방식에서는 고점도 개질제와 아스팔트를 정유공장에서 미리 균일하게 혼합한 용융액체를 아스콘공장에 운반하여 탱크에 저장하였다 사용하는 차이가 있다. 고분자 개질제에는 목표양의 특수 고분자만 포함되어 있고 아스팔트는 포함되어 있

지 않는 반면에, 개질 아스팔트에는 목표양의 고분자 와 아스팔트가 함께 혼합되어 균일 액상을 형성하고 있다. 본사의 제품은 고점도 개질제를 개발하여 사용하는 현장배합방식을 채택하고 있다.

<중국>

중국에서의 배수성 아스팔트포장개념은 국제 학술대회나 기술교류를 통하여 처음 소개되었다. 중국의 기술자들은 1993년에 이미 배수성 아스팔트포장에 대한 정보와 재료를 수집하고 시험포장을 하였다. 그러나 시공 후에 배수성과 낮은 소음기능은 확인되었지만, 중국 남부지방의 여름철 높은 온도조건 하에서 포장의 역학적인 성질은 만족시키지 못했다. 또한 중국에서는 먼지와 노란모래에 의해서 배수성 아스팔트포장의 공극이 조기에 매워지는 위험성이 존재하며 이로 인해 유지관리문제도 쉽지 않았다. 이 시기에 발생한 이러한 문제들 때문에 중국에서의 배수성 아스팔트포장에 대한 연구개발이 더 이상 진전될 수 없었다.

동지대학(Tongji University)은 1997년에 프랑스기술을 참고로 하여 실험실적 연구를 완료하였고, 1998년에는 Zhejian성의 104번 국도에 1㎞길이의 시험포장을 건설하였다. 혼합물의 최대골재크기는 16㎜, 공극은 18%, 마샬안정도는 4kN, 사용한 아스팔트는 EVA와 고무분말이 혼합된 Esso#70 이고, 연화점은 75℃ 이었다. 애석하게도 이 시험포장은 공용후 2년이 되자 파손이 일어났다.

상하이 시 공학연구소는 1998년에 상하이 시의 고속도로에 30m 길이의 배수성포장 시험도로를 건설하였다. 포장에 사용한 아스팔트바인더는 PE개질된 Esso#70이며, 연화점은 68℃, 공극은 15%, 혼합물골재의 최대크기는 13.2㎜이었다. 지금까지도 이 포장에 중요한 파손은 발견되지 않았지만, 표면공극은 이미 상실되어 배수가 되지 않으며, 내구성과 고온 안정성에 대한 요건도 충족시키지 못하고 있다.

Zhejian성 진화(Jinhua)시의 도로연구부는 일본고속도로회사로부터 기술을 도입하여 실험실적 연구를 완료했다. 배수성포장에 사용된 아스팔트는 EVA와 셀루로즈섬유를 혼합한 Esso#70 이고, 연화점은 53℃, 혼합물의 최대크기는 13.2㎜, 공극은 20%, 마샬안정도는 5kN이상이며, 칸타블로시험에 대한 손실은 18.2%, 투수계수는 0.262 ㎝/s 이었다. 이들 시험 중의 몇몇은 관련 일본규정을 만족시키긴 하였으나 전반적인 역학적 물성은 요구조건을 충족시킬 수 없었다. 그 이유는 사용된 아스팔트의 연화점이 중국 남부지방에 사용하기 위해서는 너무 낮기 때문이다.

후난(Hunan)성의 Zhangsha 시와 광동(Guangtong)성의 Guangzhou 시는 배수성포장기술을 독일과 영국으로부터 수입하여 작은 규모의 시험도로를 건설하였다. 그러나 시험포장 결과는 둘 다 만족스럽지 못했다. 원인은 사용된 아스팔트의 성질이 적절하지 못하였으며, 중국과 유럽 간의 기후와 교통조건의 차이를 고려하지 못했기 때문이다. 그 후, 중국과 일본의 포장기술자들은 배수성포장에 대한 기술교환을 진전시켰다. 특히 상하이(Shanghai)와 Shaanxi 성은 배수성포장에 대한 기술을 확립하기를 열망하였다. 일본 아스팔트바인더(TPS)를 도입함으로서, 배수성포장을 위한 첫 시험포장이 2002년도에 상사이의 일반도로에 건설되었다. 그 후, 일본 기술(TPS)에 의해 Shaanxi 성의 18㎞ 고속도로상에도 시험포장이 건설되었다. 이들 시험포장은 일본의 규정에 근거하였으며, 공용성과 사용성에서 모두 만족스러운 결과를 낳았다.

3. 본 연구가 국내외 기술개발변화에서 차지하는 위치

앞에서도 언급한 바와 같이, 배수성포장의 핵심은 고점도 개질 아스팔트이다. 일본에서의 배수성 아스팔트포장의 성공적인 적용은 고점도 개질 아스팔트의 개발에 기인한 것이라 하겠다. 일본의 고점도 개질 아스팔트는 사전배합방식에 의하며, 콜로이드 밀에 의해 분산입자를 극도로 미세하게 분쇄하는 기술을 개발함으로서 고점도이면서도 유동이 쉬운 개질 아스팔트를 개발한 것이 핵심기술이라 하겠다. 그 외 중국이나 미국 유럽 등은 아직도 고점도 개질 아스팔트를 개발하여 사용하지 않고 있다. 유럽은 독자적으로 배수성 아스팔트포장 용 개질 아스팔트를 개발하여 사용하고 있기는 하지만 엄밀한 의미에서 일본에서 규정하고 있는 고점도 개질 아스팔트보다는 점도가 낮다. 여름철 기온이 극동아세아 지역보다도 5℃ 낮은 유럽에서는 이러한 유형의 개질 아스팔트가 배수성포장에 적합할지 모르나, 유럽보다 5℃ 높은 극동 아세아의 기후를 고려할 때, 유럽의 배수성포장 용 개질아스팔트는 동남 또는 극동아세아에서 사용하기에 적절한 바인더라 할 수 없다.

본 회사에서는 극동 아세아의 기후조건에 적합한 고점도인 개질제를 개발하여 현장배합방식을 적용하고 있으나 이를 적절하게 생산하고 시공하기 위한 후속연구(혼합물 배합설계, 배수성 아스콘 생산, 배수성포장 시공 등의 기술개발에 대한 연구)가 부족하여 본 연구를 수행하게 되었다.

제3장 연구개발 수행내용 및 결과

제1절 이론적 접근방법

고점도 개질아스팔트는 배수성포장에 있어서 필요 불가결한 핵심적 재료이다 고점도 개질아스팔트의 개발이 있었기 때문에 배수성포장의 성공적 건설이 가능해졌다고 하는 것이 옳을 것이다. 고점도 개질아스팔트는 소성변형에 대한 저항성이 커서 높은 공극을 영구변형에 의한 막힘없이 그대로 유지시켜 배수를 가능하게 하며, 골재의 이탈을 막아서 내구성을 증진시키며, 피막두께를 두껍게 하여 공기의 유출입에 의한 산화노화나 빗물의 침투로 인한 재료의 퇴화를 방지해 준다.

배수성포장을 성공적으로 시공하기 위하여, 일본에서는 1990년대에 우수한 작업성을 가진 고농도의 SBS 개질아스팔트를 개발하였다. 배수성아스팔트포장에만 적용되는 아스팔트로서 이를 “고점도 개질 아스팔트”라 명명하였다. SBS의 미세 분산상을 얻기 위한 많은 개념이 도입되어 개발된 상기 아스팔트는 고분자 개질 아스팔트의 공용성을 크게 향상시켰을 뿐만 아니라, SBS의 농도를 15%정도 증가시킬 경우에도 작업성을 유지시키는 능력을 보장해 주었다. 즉, 고분자의 입도를 미세단위로 분산시키는 기술을 개발함으로서 고점도를 만드는 것이 가능하게 되었다.

국내 배수성포장을 위한 SBS농도는 아스팔트바인더의 대략 8% 정도이지만 이러한 농도는 고점도 바인더로서는 낮은 점도이다. 배수성포장을 위한 SBS-개질 아스팔트는 종전의 개질 아스팔트의 내부구조와는 판이하게 다른 구조를 가지고 있는 새로운 형태이다. 특정한 성능을 발휘하기 위해서는 안정되고 미세한 분산 상태를 만드는 분산기술을 확립하는 것이 중요하나 불행하게도 국내기술은 아직 여기에 미치지 못한다. 배수성포장에 사용되는 고점도 개질아스팔트는 60℃의 점도가 20,000 Pa.s이상으로 정의하고 있으나, 실제로는 대부분 100,000 Pa.s 이상을 사용함으로서 다른 개질 아스팔트와 비교하여 상당히 높은 수치를 요구하고 있다.

다음은 Nakanishi et al(2002)이 배수성포장에 관한 연구를 논문으로 발표한 것이다. 일본의 배수성포장용 아스팔트의 혼합물 규정은 다음 표 4와 같다.

표 4. 일본의 배수성포장용 개질아스팔트 규정

시험 항목	값	비고
공극 퍼센트	약 20%	목표 값
투수계수	1x10-2 cm/s 이상	목표 값
마샬안정도	3.5kN (360kgf) 이상	바람직한 값
소성변형 동적안정도	3,000회/분 이상	바람직한 값 (중교통도로)

배수성포장에 있어서 공극이 클수록 배수기능은 좋지만, 혼합물의 역학적 강도는 감소한다. 골재분포도와 공극의 관계에 있어서, 조골재 양이 세 골재 양에 비해 상대적으로

커지면 공극은 증가한다. 이를 정량적으로 표현하면 (식 1)과 같다.

$$\text{연속공극}(\%) = 38.933 - 1.2135\ (2.36\text{mm pass}\%), \quad r^2=0.991 \qquad \text{(식 1)}$$

(식 1)은 2.36mm를 통과하는 미립분이 많으면 연속공극이 감소함을 보여준다. 이러한 식은 배수성포장의 공극을 설계하는 데 매우 유효하다. 즉, 공극을 20% 이상으로 하고 싶으면 2.36mm를 통과하는 세 골재함량을 15.6% 이하로 두면 가능하다.

개질 아스팔트의 점도가 증가할수록 혼합물의 역학적 성질은 증가한다. 실내 바퀴주행시험 전후의 시편 내 골재 움직임을 조사한 결과, 개질 아스팔트의 점도가 증가할수록 골재의 움직임은 물론, 움직임에 영향을 받는 영역도 작아짐이 판명되었다. 공극과 바인더 점도의 함수를 가지고 소성변형의 동적안정도와 칸타블로 손실정도를 시험하였다. 여기서 소성변형 동적안정도는 소성변형에 대한 저항성을, 그리고 칸타블로 손실은 골재의 이탈 저항성을 대변한다. 이들을 정량적으로 표현하면 아래 (식 2) 및 (식 3)과 같다.

$$DS = 1516 \log(h) - 362.6\ v + 4725 \qquad \text{(식 2)}$$

$$\log(CL) = -0.115 \log(h) + 0.055\ v + 0.420 \qquad \text{(식 3)}$$

DS = 동적안정도(pass/mm),
h = 60℃ 아스팔트점도(Pa · s)
CL = 칸타블로 손실율(%),
v = 혼합물의 공극 퍼센트(%)

위 식에서 동적안정도(DS)는 개질바인더의 점도(h)가 클수록 증가하고 공극(V)이 클수록 감소함을 알 수 있다. 반면에 칸타블로 골재이탈 손실율은 개질바인더의 점도(h)가 증가할수록 감소하고, 공극(V)이 클수록 증가함을 보여주고 있다. 즉, 개질바인더의 점도는 동적안정도와 골재 이탈에 직접적으로 영향을 줌으로 배수성 아스팔트포장에 있어서 고점도가 필요한 이유를 명백히 하고 있다.

시간경과에 따른 배수기능의 감소는 모래 또는 먼지 혹은 일부 파쇄된 골재 미립자에 의하여 공극이 막혀서 생기거나, 차량의 반복하중에 의하여 포장변형이 발생해 공극이 막히거나, 또는 두 요인의 복합작용에 의하여 발생한다고 판단된다. 이 중 특히 소성변형으로 인한 공극 막힘은 배수성포장에 고점도 개질 아스팔트를 사용하는 것과 관련하여 주목할 필요가 있다. 그림 8에는 일본에서의 10년 이상 동안에 배수성포장의 투수성(permeabilty) 변화를 측정하여 나타낸 것이다. 이 그림에 의하면 차량주행부 사이의 포장부분은 차량주행부와 비교하여 투수성이 상대적으로 빨리 감소하는 것을 볼 수 있다. 그 이유는 포장 재료가 바퀴주행 압력이 직접 가해지는 곳에서 압력이 가해지지 않는 부분으로 유동하여 그 부분의 공극을 메우기 때문으로 사료된다.

그림 9는 교통개방 후 12년 동안에 발생한 소성변형의 변화를 보여준다. 이 그림은 일본의 모든 고속도로의 배수성포장의 평균 소성변형깊이와, 토메이 고속도로의 일반 스트레이트 아스팔트포장의 소성변형깊이의 변화를 나타내고 있다. 12년 후의 배수성포

장의 소성변형깊이는 약 11mm인 반면에, 일반 스트레이트 아스팔트의 소성변형깊이는 29mm에 달함으로, 배수성포장이 일반 아스팔트포장에 비하여 소성변형에 저항하는 저항성이 현저하게 우수함을 입증하고 있다. 이는 배수성포장의 골재입도가 일반 아스팔트포장에 비하여 상대적으로 클 뿐만 아니라 두 포장 간의 바인더 점도에도 상당히 차이가 있기 때문인 것으로 사료된다.

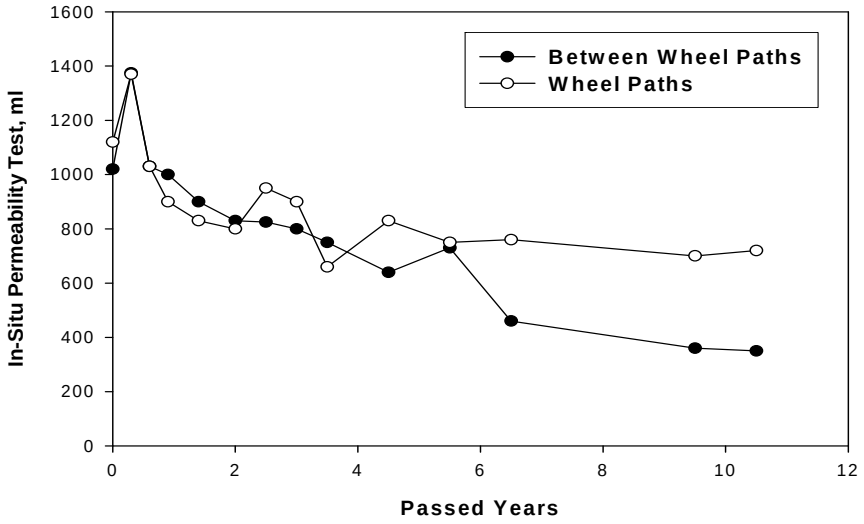


그림 8. 공용기간에 따른 배수성포장의 현장투수계수의 변화.

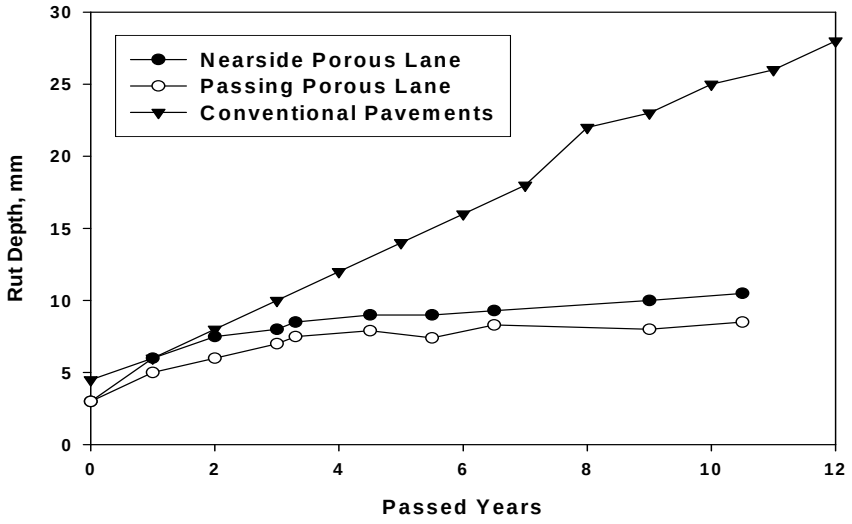


그림 9. 교통개방기간의 경과에 따른 소성변형깊이의 변화.

그림 8과 9를 비교하면, 배수성포장을 건설한 후 4년이 경과하면 배수성포장의 소성변형은 거의 일정한 값에 수렴하나, 투수계수는 4년이 지나도 여전히 감소함을 볼 수 있다. 이러한 투수계수의 감소는 배수성포장을 구성하는 개질바인더의 점성과 상관관계가 있는 것으로 관측된다. 여름철 포장온도가 높을 때, 배수성 개질아스팔트의 점도가 충분히 높지 않으면 재료자체의 중력에 의해 서서히 유동이 일어나 포장공극이 메워지기 때문인 것으로 판단되며 이러한 공극 막힘은 소성변형과 다른 메캐니즘임을 알 수

있다. 따라서 상기 연구결과는 공극 막힘과 동시에 소성변형방지를 위해서도 배수성포장용 개질아스팔트가 고점도여야 할 필요성을 재 확인시켜준다.

일본의 최근 데이터에 따르면, 배수성 아스팔트포장의 배수기능 지속성이 현저히 향상되고 있으며, 지난 10년간 배수기능이 전혀 감소하지 않은 많은 배수성포장이 생겨났다. 이러한 현상은 첫째, 사용한 개질아스팔트의 점도를 크게 상승시켜 고점도로 만든 점, 둘째 경도가 높은 골재를 사용한 점, 마지막으로 20%정도로 공극 퍼센트를 높인 결과에 기인한다고 알려져 있다.

바퀴주행시험의 반복하중을 혼합물시편(바인더점도와 공극이 다른 시편들)에 일정한 주행회수가 되도록 적용한 후, 하중 받은 부위에 대한 투수계수를 측정하였으며, 동일한 시편에 대해 주행회수를 달리하면서 투수실험을 수행하였다. 이 실험에서 얻은 데이터를 통하여, 다음의 회귀분석 식을 얻었다.

$$\log(A(v,h)) = -0.239 \log(h) - 0.110\, v - 1.852 \qquad \text{(식 4)}$$

A(v,h) = 공극 막힘 속도
v = 아스팔트혼합물의 공극 퍼센트(%)
h = 60℃ 아스팔트바인더 점도(Pa・s)

(식 4)를 통해, 차량의 반복하중으로 형성된 포장변형을 분석할 수 있었다. 포장변형으로 공극이 막히는 정도는 개질 아스팔트바인더의 점도(h)가 클수록, 또한 공극(v)이 증가할수록 줄어들었다. (식 4)에 의하면 LOG(바인더점도)와 공극의 공극 막힘 속도에 대한 영향은 약 2:1 의 비율로 나타난다. 다시 말하면, 점도를 10배 증가시키는 것이 공극을 2배 증가시키는 것과 동일한 효과를 낳는다. 공극을 증가시키는 것은 내구성문제로 어려움이 있으나 바인더의 점도를 증가하는 것은 가능하다. 배수기능의 지속성을 위해 현재 일본의 대부분의 배수성 아스팔트포장은 100,000 Pa.s의 고점도 바인더와 약 20%의 공극을 채택하고 있다.

결론적으로, 일정한 공극(20%) 하에서 개질아스팔트바인더는, 점도가 증가할수록 동적안정도는 향상되고, 칸타블로 골재이탈 손실비율은 적어지며, 배수기능의 지속성도 증가하므로, 고점도 개질아스팔트바인더는 배수성포장에 가장 중요하며, 필수 요소임을 재차 확인할 수 있다. 이러한 고점도 개질아스팔트는 동일한 배수성골재입도 하에서 저점도 개질아스팔트에 비하여 점도가 훨씬 높은 배수성혼합물을 만들고, 고점도 배수성혼합물은 마샬안정도 값과 동적안정도 값을 증가시켜 위에서 언급한 공극의 장기적 유지, 공극 막힘 방지, 골재이탈 저항성 및 소성변형저항성 등을 높여준다. 여기서 고점도 아스팔트바인더라 함은 단순히 점도만 높은 바인더가 아니라 점성과 탄성 즉 점탄성 성질이 높은 아스팔트바인더를 통칭하여 일컫고 있음을 간과해서는 안 된다.

제2절 실험적 접근방법

1. 배수성 아스팔트바인더의 물성시험

본 사는 배수성포장을 위한 고점도 개질아스팔트의 중요성에 착안하여 이를 개발하는데 성공함으로서 국내의 타사와 제품품질 면에서 차별화를 이루었다. 먼저 고점도 배수성아스팔트바인더의 물성에 대한 측정을 하여 제품품질에 대한 신뢰성을 확보해야 한다. 이를 위해서 고점도 배수성 개질제가 전체 배수성 개질 아스팔트함량의 16%가 되게끔 아스팔트에 첨가하고 고온에서 혼합하여 균일한 고점도 배수성 개질아스팔트를 제조하였다. 이러한 배수성 개질아스팔트바인더에 대하여, 침입도시험, 연화점 시험, 점도시험, 터프니스와 터내시티 시험, 터프니스와 터내시티, 신도 그리고 인하점시험을 수행하였다. 바인더시료를 충분히 만들어 건자재시험연구소에 이들에 대한 물성시험을 의뢰하였다. 아래 표 5는 본사가 개발한 배수성포장용 개질아스팔트를 건자재시험연구소에 의뢰하여 측정한 값이다. 표 5에서 터프니스와 터내시티 값은 탄성성질과 관련이 있으며, 골재이탈 저항성을 나타내는 데, 본 사의 배수성포장용 제품은 골재이탈과 관련된 값이 우수함을 볼 수 있다. 표 5에서 A와 B는 국내의 타 배수성 개질아스팔트 제품을 나타내고 있으나 점도가 약하여 고점도 개질바인더라 할 수 없다. 즉, 타사 제품은 점도가 배수성포장에서 요구하는 고 점도 기준인 20,000Pa.s을 약간 상회하거나 못 미치는 데 반하여, 본사 제품은 규정점도를 훨씬 상회하여 500,000Pa.s에 이르는 고점도 개질아스팔트임을 확실히 보여준다. 이러한 고점도는 배수성포장의 유동을 방지하여 공극이 영구적으로 막히지 않도록 하는 역할을 수행하여 배수성포장의 기능을 오랫동안 유지하는 데 결정적 역할을 한다.

표 5. 당사와 타사의 배수성포장용 개질아스팔트바인더의 물성 비교.

항목	일본 표준	일본 사례	당사	A	B
침입도(25℃, 1/10mm)	40<	43	43	45	42
연화 점(℃)	80<	88.3	102	84	68
점도(60℃, 10^4Pa.S)	2<	36.9	50.8	4	0.8
터프니스(Nm)	20<	24.2	34.5	26	18
터내시티(Nm)	15<	18.3	26.5	21	14
신도(15℃, cm)	50<	101	22	120	86
인화점(℃)	260<	260	315	280	280

2. 배수성 아스팔트 혼합물의 물성시험

가. 마샬안정도 시험(KS F 2337 참조)

마샬시험(ASTM D 1559, KS F 2337)의 목적은 표준 실험실 다짐도로 다져진 아스팔트 혼합물의 안정도(Stability)와 흐름값(Flow)을 측정하기 위한 것이다. 마샬시험법은 설계 아스팔트 함량을 결정하기 위한 마샬배합 설계법의 일부로 사용되며 아스팔트 혼합물의 품질관리에도 사용된다. 마샬시험은 반원형의 재하 헤드를 통하여 직경 101.6mm, 높이 63.5mm인 원통형 공시체에 50.8mm/min의 하중 재하비율로 압축 하중을 가하여 공시체가 파괴될 때의 최대 하중과 그때까지의 수직 변위량을 측정한다. 시험시 공시체의 온도는 60±1℃를 유지시키는데, 이것은 포장체가 여름철에 받게 되는 대략적인 최대 포장온도로서 가열 아스팔트 혼합물에 대한 가장 열악한 조건을 모사하기 위함이다.

마샬시험으로부터 안정도와 흐름값을 얻게 되는데, 안정도란 공시체가 파괴될 때까지 가해진 하중으로써, 공시체가 견딜 수 있는 최대 하중을 나타낸다. 그리고 흐름값은 최대 하중에 이를 때까지의 공시체의 총 수직변위를 나타낸다. 일반적으로 흐름 값이 높으면, 그 혼합물은 탄성이 커서 균열저항성이 우수하다는 것을 나타낸다. 반대로 흐름 값이 낮으면, 이 혼합물은 필요한 아스팔트 함량이 부족하거나 취성이 강하여 조기균열이 발생할 우려가 있다. 전통적으로 마샬 안정도 시험은 아스팔트 혼합물의 소성변형에 대한 저항성을 알아보기 위하여 통상 실시한다. 아스팔트포장의 소성변형은 전형적으로 60℃에서 측정한다고 알려져 있기 때문에, 마샬공시체를 60℃의 항온수조에 30분간 수침시켰다가 꺼내어 시험을 실시한다. 즉, 마샬안정도 시험은 마샬공시체를 만들어서 상온으로 냉각한 후 몰드에서 탈형하여 하루 동안 실온에 방치한다. 그리고 난 후, 실온으로 냉각된 마샬공시체를 60℃의 항온수조에 30분간 담구었다가 꺼내어 마샬 안정도 재하헤드에 장착하고, 50.8mm/분의 속도로 하중을 가하여 하중과 변형곡선을 구한다. 이 역학곡선에서 최대값을 나타내는 피크하중을 취하면 이 값이 바로 마샬 안정도 값이다.

마샬 안정도 값의 실용성에 대한 논란이 많다. 그러나 아스팔트포장의 공용성 관련 물성으로 아직도 널리 사용되고 있는 것 또한 사실이다. 본 연구를 통해 밝혀진 바로는, 마샬 안정도는 특정 아스팔트 혼합물의 항복응력을 나타내고, 이 항복응력은 소성변형 깊이와 밀접한 관계를 가지고 있다는 것이다. 즉, 항복응력이 적을수록 전체 소성변형깊이가 커지고, 클수록 작아진다는 것이다. 따라서 아스팔트혼합물의 항복응력을 마샬 안정도 시험을 통해 측정함으로서 소성변형 저항성을 예측할 수 있다. 그러나 측정값에는 공시체 내부의 골재분포도에 따른 상당한 오차 등 다수의 오차가 포함되는 것을 피할 수 없는 것도 사실이다.

그러나 마샬 안정도의 오차를 줄이기 위하여 필히 주의할 점이 한 가지 있다. 항온수조에 30분간 담그기 바로 직전의 실온에서의 마샬공시체의 온도이다. 겨울과 여름철의 실온이 다르고, 아침, 한나절 및 저녁의 실온이 다르기 때문에 실온에서의 마샬공시체 온도도 때에 따라 다르다. 이처럼 실온 온도가 각기 다른 마샬공시체를 30분간 60℃의 항온수조에 담구었다고 하여 동일하다는 보장이 없다. 실제로 항온수조에서 꺼내었을 때, 공시체 외부표면온도는 60℃로 동일할 수도 있겠으나, 내부온도는 서로 다르다고 보는

것이 사실에 가까울 것이다. 그 증거로서 항온수조에 담그기 이전의 공시체온도가 다르면 측정된 마샬 안정도 값에도 상당한 차이를 보인다는 것이다. 따라서 마샬 안정도측정을 원한다면, 항온수조에 담그기 이전의 실온의 온도를 일정하게 하는 것이 중요하다. 실온의 온도를 25℃로 규정한다면, 마샬공시체는 항온수조에 담그기 이전에 25℃의 항온챔버에서 적어도 4시간이상 넣어 두어서 충분히 25℃로 만든 후에 60℃의 항온수조에 30분간 담그는 것이 측정의 재현성에 도움이 될 것이다.

나. 칸타블로 시험

배수성 아스팔트포장용 혼합물에만 적용하는 시험으로서 골재의 이탈을 측정하는 시험이 있다. 배수성포장은 큰 골재가 많고 공극이 과다함으로 쉽게 골재이탈이 일어난다. 골재의 이탈에는 두 가지 다른 형태가 있으며, 하나는 저온에서 교통하중에 의해 발생하는 것이고, 다른 하나는 고온에서 바인더점도의 감소에 기인한 골재입자들의 상호결합력 약화로 발생하는 것이다. 후자는 교차점이나 자동차의 진입로 같은 타이어의 비틀림작용이 일어나는 장소에서 명백히 관측되는 손상이다.

스페인의 Cantabria 대학에서 고안된 칸타블로(Cantabro)시험이 저온에서의 골재이탈을 산정하는 방법으로 통상 사용된다. 칸타블로시험이란 마샬시험시편을 만들어 로스앤젤스 마모시험기에 넣고, 철재볼을 사용하지 않고 300번 드럼을 회전시킨다. 회전이 진행되는 동안에 마샬시편이 로스앤젤스 마모시험기의 바깥 회전통 내부에 일정한 간격으로 설치된 배플(baffle)에 부딪혀 골재이탈이 진행된다. 300번 회전이 완료된 후에 시편을 꺼내어 발생한 무게 손실을 측정하여 칸타블로 손실율을 계산한다. 계산식은 다음 (식 5) 같다.

$$\text{손실율 (\%)} = \frac{A - B}{A} \times 100 \qquad \text{(식 5)}$$

A = 시험전의 시편무게 (그램)

B = 시험후의 시편무게 (그램)

다. 휠트랙킹(Wheel Tracking) 시험

국내 아스팔트 포장에 가장 크게 발생하는 손상형태는 소성변형(Rutting)이다. 소성변형은 안정도 및 간접인장강도 등과 같은 정하중 하에서의 특성 치와 크게 상관성이 없으므로 아스팔트 혼합물의 압밀, 유동에 대한 저항성을 평가할 경우 실제 도로에서의 소성변형 발생 메카니즘을 모사한 휠트랙킹 시험을 수행한다.

소성변형 발생 메카니즘은 아스팔트 혼합물이 준 고온(일반적으로 아스팔트의 연화점 이상의 온도)에 처하여 물러진 상태에서 차륜의 반복주행으로 내부의 변형이 누적되는 것이다. 아스팔트는 본래 비(非)뉴토니안(Non-Newtonian) 물질로써 온도변화에 따라 형태가 변화하며 저온에서는 고체(solid), 상온에서는 반고체(semi-solid), 고온에서는 액체(fliud)가 된다. 따라서 저온에서 아스팔트 혼합물은 탄성거동을 하지만 상온에서는 점탄성(visco-elastic)거동을 한다. 점탄성 상태에서는 외력에 의해 발생한 변형이 시간이

지남에 따라 회복하게 되는데 온도가 높을수록 회복되는데 시간이 더 걸리게 된다. 그러므로 아스팔트 혼합물이 준 고온인 60℃정도에 처하면 (국내 아스팔트 포장 표면의 여름철 최고온도 수준임) 가해진 윤하중에 의하여 한번 발생한 변형이 회복되는데 상당한 시간이 걸린다. 이 상태에서 반복적으로 윤하중이 주행하면 포장 내부에는 변형이 회복되지 못하고 누적되어 영구변형 형태로 남게 되며 이를 국내에서는 회복불능의 소성변형이라 칭한다.

이와 같은 현상을 모사하기 위하여 세계적으로 여러 가지 형태의 (하지만 비교적 유사한) 휠트랙킹 시험기가 개발되어 사용되고 있지만 아직 국제적으로나 특정 국가에서 표준화된 기법은 제시되지 못했다. 이 시험으로부터 얻어지는 결과는 비교적 단순한 침하깊이(rut depth)와 동적안정도(dynamic stability)이지만 이것은 가해진 윤하중, 바퀴의 크기, 폭, 접촉부의 재질, 왕복속도, 횟수 그리고 온도 및 수분조건 등에 따라 다양하게 나타날 수 있다. 따라서 대부분의 경우 이 시험은 상기의 여러 가지 조건을 모두 한가지로 고정하고 얻어지는 결과를 비교하여 혼합물별로 상대적 우열을 가리는 방법으로 사용된다.

휠트랙킹 시험으로 얻어진 결과를 현장에서의 성능과 연관 지어 어떠한 결정을 내리는 것은 그리 쉽지 않아 아직 많은 연구의 여지가 있다. 왜냐하면 실제 도로에서의 윤하중과 환경조건은 매우 다양하고, 그와 같은 조건을 모두 만족하는 실험을 할 수 없기 때문이다. 즉, 특정도로 위를 통과할 때 차량의 윤하중에 의해 생기는 응력(Load induced stress)의 크기와 속도, 수분조건, 재령(재령은 아스팔트 점성과 관계됨) 등에 따라 발생하는 포장의 소성변형에는 큰 차이가 있다.

예를 들어 여름철 아스팔트 혼합물의 포와슨비는 0.5 이상에도 달하지만 상온에서는 0.3~0.4 저온영역에서는 그 값이 콘크리트와 같이 0.2이하까지도 변화한다. 따라서 동절기에는 아무런 영향을 미치지도 못하는 특정 크기의 윤하중이 하절기에는 손상을 일으키게 되며 그것도 같은 날 낮과 밤에 따라서도 차이를 가져온다. 그럼으로 외력(하중)과 내력(강도, 저항성)을 현실적으로 반영하기가 어려워 온도에 둔감한(포와슨비 차이가 거의 없는) 콘크리트 같은 재료에 비해 현장 성능(예상수명, 공용성 등)과 실험치와의 상관성을 추정하는 데에 한계가 있다.

주행 시험용 Wheel은 직경 20mm, 폭 50mm의 soild tire로서 60℃의 온도에서 경도가 76~80의 고무를 두께 15mm로 씌워있다. Test wheel의 접지압은 시험목적에 맞도록 조절할 수 있게 설계되어 있다. 접지압은 하중판, 공기압, 유압의 세가지 종류가 보급되어 있다. Test wheel은 공시체 중심부를 42±1회/분의 속도로 수평 왕복운동을 하고 한 방향 1회 주행거리는 23±1cm 정도이다. 시험전후의 공시체의 변형측정은 다이얼 게이지나 또는 다른 수단으로 자동기록이 될 수 있도록 고안되어 있다.

시험용 공시체의 온도가 항상 일정하게 유지될 수 있어야 하고 자동 연속기록되고 있으며 일반적인 경우 60℃를 시험온도로 하고 있으나 목적에 따라 필요한 온도로 조절 유지 할 수 있어야 한다 (일본 60℃, 영국 45℃). 공시체를 시험하는 동안 고정시킬 수 있는 홀더(폭 300mm 및 150mm)가 있고 시험기 Test wheel이 일정한 위치를 주행하도록 설계되어있다. 일정한 온도유지를 위해 시험기구 전체가 들어갈 수 있는 크기의 항온실(temperature chamber)을 사용한다.

동일 배합의 공시체를 3개이상 제작하여 1조로 한다. 아스팔트의 세이볼트 퓨롤도가

85±10초일 때 혼합을 하고 혼합한 혼합물은 사용된 아스팔트의 세이볼트 퓨롤도가 145±15초일 때 다짐을 실시한다. 다짐은 혼합물을 30cm×30cm×15cm mold에 놓고 몰드 주변을 hand scoope로 가볍게 누르고 몰드 중앙부위를 약간 볼록하게 정형한다. 다짐은 원호형의 roller compactor로 다지며 다짐시 하중이 900kg이 된다. 밀도는 marshall density를 기준밀도로 하고 허용범위는 ±1%안에 들어야 한다. compactor의 다짐면도 미리 가열해둔다. 제작한 공시체는 실내에서 실내온도 상태로 12시간이상 방치 양생시킨다. 공시체는 시험시작 전 5시간 이상 60±2℃의 항온실에서 양생한다.

공시체를 시험기에 setting시킨 후 공시체 표면온도가 60±0.5℃로 될 때까지 놓아둔 후 온도가 안정 상태로 유지되면 Test wheel의 하중은 70±1kg로 한다 (접지압으로는 6.5±0.15kg/㎠). 주행속도는 1분간 42회 속도로 왕복운동을 시킨다. 처음 5분간은 매분마다 공시체의 변형량을 측정하고 그 후는 5분마다 측정한다. 주행시간은 시간-변형량 곡선을 전체적으로 파악할 수 있을 때까지 계속한다.

휠트랙팅 시험결과는 변형량(침하량) - 시간(또는 재하횟수) 관계곡선에서 변형량증가율이 거의 일정하게 되는 45분에서 60분까지의 15분간 주행의 변형량을 취하여 이것을 변형률(RD, Rate of Deformation, mm/min)로 나타낸다. 또한 이때 1mm 변형하는데 소요되는 차륜의 통과회수로 나타낸 것을 동적안정도(DS, Dynamic Stability, 회/mm)라고 한다. (식 6)과 (식 7)은 변형율과 동적안정도를 구하는 식이다. 이 때 각 명칭의 정의는 표 6에 나타낸다.

$$\text{변형율 } (\text{RD, mm/분}) = \frac{(d_{60} - d_{45})\text{mm}}{15\ \text{min}} \quad \text{(식 6)}$$

$$\text{동적안정도 } (\text{DS, 회/mm}) = \frac{1}{\text{변형율 (RD)}} \times \text{주행속도 (RT, 42회/min)} \quad \text{(식 7)}$$

d60 : 60분에서의 변형율
d45 : 45분에서의 변형율

표 6. 휠트랙킹 시험에 있어서의 명칭의 정의

기 호	명 칭	정 의
RT (회/min)	Rate of Tracking (주행속도)	주행바퀴의 주행회수와 주행시간의 비
RD (mm/min)	Rate of Deformation (변형율)	시험시작 45분과 60분의 15분간에 있어 단위시간 당의 변형량
DS (회/mm)	Dynamic Stability (동적안정도)	시험시작 45분과 60분의 15분간에 있어 단위변형량 당 차륜통과회수

라. 투수시험

투수계수시험은 일반적으로 정 수위 투수시험 장치를 사용한다. 정 수위 투수시험 장치의 특징은 투수계수를 측정하기 위한 시료의 윗부분에 일정 수위의 수두를 형성하게 하여 투수시험을 한다는 것이다. 그렇게 하기 위해서 위에 공급하는 물의 양이 아래에

배수되는 물의 양보다 많아야 한다. 이 때 여분의 물은 위의 옆 부분에 설치된 배출구를 통해 방출되게 함으로서 일정한 수두를 계속 유지할 수 있게 한다. 실험결과 얻어진 데이터로부터 다음 (식 8)에 의해 투수계수를 구한다.

$$K_T = \frac{L}{h} \cdot \frac{Q}{A(t_2 - t_1)} \qquad \text{(식 8)}$$

L =시공체 두께

A = 공시체 단면적

H = 수도

t1, t2 = 측정개시 및 종료시간

Q = t1에서 t2까지 넘친 수량

투수계수는 온도 15℃에서의 투수계수 값(K15)으로 규정한다. K15는 온도 T℃에서의 물의 점성계수에 의한 보정계수를 구하여 KT에 곱함으로서 (식 9)와 같이 하여 얻어진다.

$$K_{15} = K_T \cdot \frac{\mu_T}{\mu_{15}} \qquad \text{(식 9)}$$

μ_{15} = T℃에서의 물의 점도

제3절 연구내용

1. 혼합물 배합설계를 위한 배수성골재 입도연구

배수성 아스팔트포장용 잔골재, 굵은골재 및 채움재를 혼합한 혼합골재 입도는 다음 표7의 기준을 표준으로 한다. 표층용 배수성 골재의 최대입경은 19mm와 13mm가 있으나, 소음특성과 내구성에서 13mm가 19mm 보다 우수함으로 이를 고려하여 통상 13mm 입도를 대부분 사용하고 있다. 배수성포장용으로는 경도가 우수한 골재의 사용이 적극 추천된다.

표 7에는 13mm 배수성 골재입도의 상한과 하한 값으로 골재입도범위를 제시하지만, 이 범위 내에서도 골재입도 선정에 따라 해당하는 물성(투수계수, 마샬안정도, 간접인장강도, 등)에 상당한 변화를 가져온다. 따라서 표층 13mm 배수성포장의 혼합물 배합설계를 위해서는 20%의 공극조건을 만족하면서 역학적 강도도 우수한 최선의 입도선정을 위한 연구가 필수적이다.

표 7. 배수성포장 혼합골재의 입도기준

체 의 치 수	통과중량 백분율(%)	
	19mm	13mm
26.5mm	100	-
19.0mm	95-100	100
13.2mm	53-78	92-100
9.5mm	35-62	62-81
4.75mm(No.4)	10-31	10-31
2.36mm(No.8)	10-21	10-21
600㎛(No.30)	4-17	4-17
300㎛(No.50)	3-12	3-12
150㎛(No.100)	3-8	3-8
75㎛(No.200)	2-7	3-7

입도분포 선정기준은 다음과 같이 하였다. 배수성 아스팔트혼합물의 투수계수는 10^{-2}~10^{-1}cm/s 정도가 일반적이다. 일본의 배수성 아스팔트 혼합물의 규정을 보면 투수계수가 10^{-2}cm/s 이상이 되어야 한다고 규정하고 있다. 그러나 배수성포장의 공극율은 통상 20%를 요구함으로 이에 대한 투수계수 값은 0.6-0.8cm/s가 적정하다. 공극율과 투수계수의 관계는 공극율이 클수록 투수계수도 커진다. 아래 그림 10에서 그 결과를 보여준다. 예를 들어, 그림 10에서 최대 골재입도가 13mm라 할 때, 공극율 20%에 해당하는 투수계수를 구하면 아래와 (식 10)과 같다;

$$\mathbf{v = 20 = 2.439k + 4.105\,;\quad k = 0.0652\,cm/s} \qquad \text{(식 10)}$$

즉, 20%의 공극을 달성하기 위해서 투수계수는 0.0652cm/s가 되어야 함을 알 수 있다.

8번체(2.3mm) 통과율과 투수계수와 공극율과의 관계를 그림 11에, 8번체(2.3mm) 통과율과 안정도와의 관계를 그림 12에 각각 나타낸다.

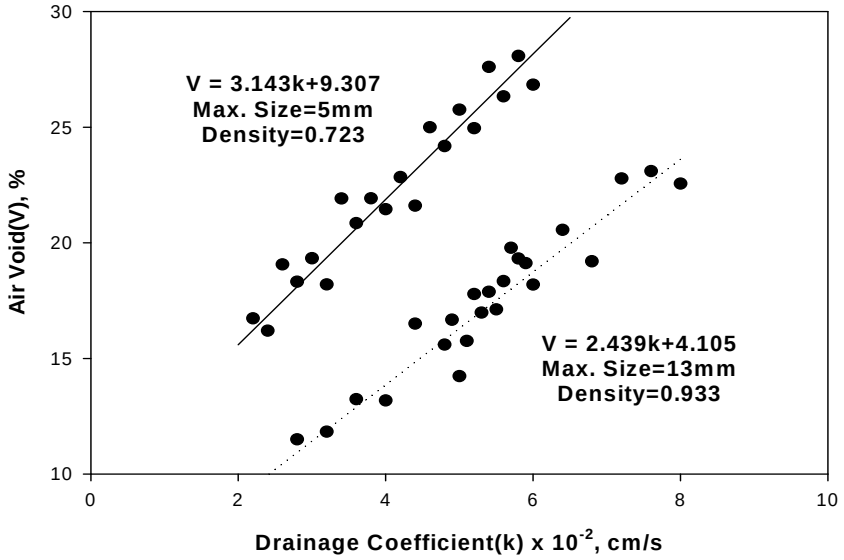


그림 10. 공극율과 투수계수와의 관계.

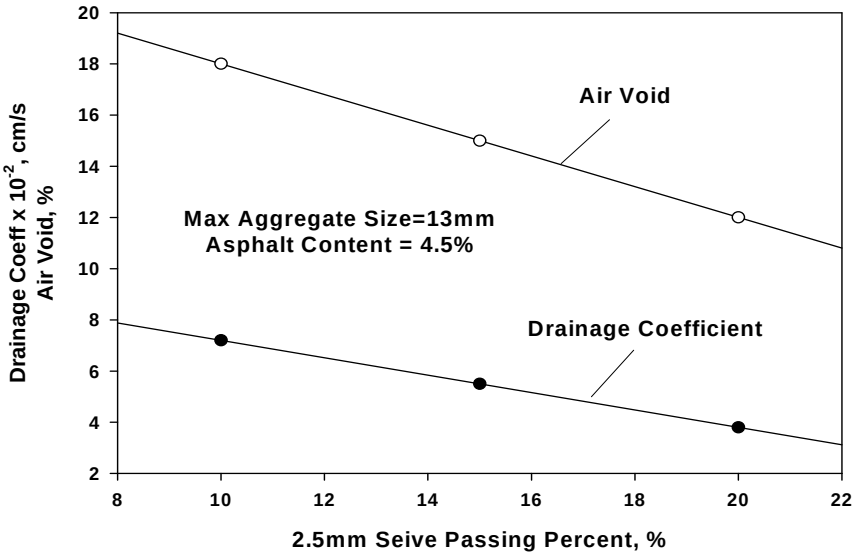


그림 11. 8번체 통과 골재%와 투수계수 및 공극율과의 관계.

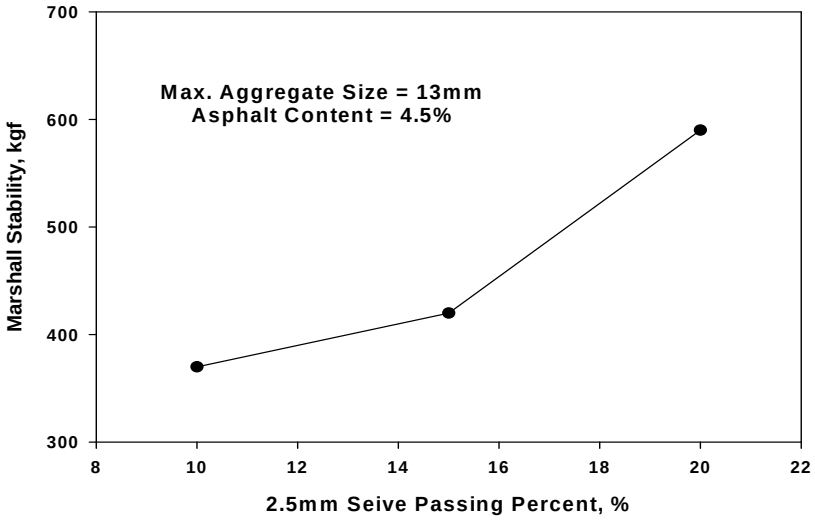


그림 12. 8번체 통과 골재%와 마샬안정도와의 관계.

8번체 통과율이 작을수록 투수성은 좋으나 안정도는 떨어짐을 볼 수 있다. 따라서 그림 10, 11 및 12를 함께 고려하면 다음 결론에 도달한다. 배수성포장의 입도를 설계하려고 할 때, 내구성과 안정도 향상을 위하여, 투수계수가 너무 작아지지 않는 범위 내에서 8번체를 통과하는 입도를 적정량 포함시켜야 함을 알 수 있다. 8번체를 통과하는 세골재의 양에 대한 실험을 수행하였고 그 실험결과는 다음 장에 기술한다.

2. 현장배합방식을 위한 개질제의 분말제조공정 기술개발

현장배합방식은 사전배합방식과는 달리 고분자 개질제만 따로 일정한 양을 비닐백에 담아 아스콘 공장에 운반하고 거기서 골재, 아스팔트 및 고분자 개질제를 혼합하여 개질 아스콘을 제조하는 방법을 말하며 본 연구의 배수성 및 내유동성 아스콘제조에는 이 방식을 채택하고 있다. 현장배합방식은 사전배합방식과 비교할 때 장단점을 갖고 있다. 장점으로서는 우선 개질제 입자가 고체형태로서 비닐백에 포장하여 운반할 수 있음으로 가열 탱크롤리 대신에 일반 화물트럭으로 운반할 수 있어 수송이 간편하다는 점이다. 무엇보다도 최대장점은 아스콘공장의 혼합챔버 내에 개질제와 아스팔트가 각기 따로 투입됨으로 투입할 개질제의 첨가량을 아스팔트함량과는 무관하게 임의로 첨가할 수 있어 최종 혼합물의 점도를 조정하는 일이 가능하다는 점이다. 이것은 개질제를 미리 아스팔트에 용융 분산시켜서 고온의 액체 상태로 아스콘 공장의 저장탱크에 저장하는 사전배합방식과는 전혀 다르다. 이러한 사전배합방식에서는 개질제를 아스팔트에 다량으로 첨가하면 점도가 너무 높아 저정탱크에서 탱크롤리로 펌프하기도 어렵거니와 아스콘공장의 저장탱크에서 혼합기 내부에 분사하기도 쉽지 않음으로 아스팔트에 용융시키는 개질제함량이 제한될 수밖에 없다. 현장배합방식의 경우에도 아주 고점도가 되면 짧은 혼합시간 내에 골재를 피복시켜야 하는 데 골재의 피복에 장시간이 걸림으로 어려운 문제에 직면하게 된다. 따라서 무한정으로 많은 개질제를 첨가하는 것은 불가능하다. 그러나 사전배합방식보다는 더 많은 개질제를 첨가하는 것이 별 어려움 없이 가능함으로 점도를 높여서 충분한 물성향상을 꾀하는 것이 가능하다. 다만 더 많은 개질제를 투입할수록 가격이 더욱 상승한다는 점을 유의해야 하지만, 중 차량의 빈번한

주행으로 소성변형이 심한 도로포장에는 가격이 조금 고가라 할지라도 개질제 함량을 증가시킬 수 있다.

현장배합방식에 의해 아스콘공장의 퍼그밀 혼합기내부에서 배수성 아스콘을 만들기 위해 골재, 채움재, 아스팔트바인더와 개질제를 투입하고 혼합하는 시간은 40-50초 정도이다. 이 중 10-15초는 재료투입시간이라 간주할 때, 실제 개질제가 용융하여 아스팔트바인더와 균일하게 혼합된 후 골재와 채움재를 피복하기 위한 시간은 불과 30-35초 정도라고 보는 것이 타당하다. 이처럼 짧은 시간 내에 균일하게 피복된 배수성 개질아스콘을 만들기 위해서는 개질제의 순간용융이 필수적이다. 이를 위해 개질제의 조성물 중 순간용융을 가능하게 하는 용융제가 포함되지만 무엇보다 중요한 점은 개질제 자체가 미세분말형태로 제조되어야 한다는 점이다. 일반적으로 유기화합물인 고분자 개질제는 열전도율이 뛰어난 금속물질과는 달리 열전도율이 아주 낮아서 고분자 개질제 입자표면에서부터 내부까지 열이 전달되어 개질제 입자 전체가 용융하는 데는 상당한 시간이 소요된다. 용융시간이 오래 걸리면 개질아스콘 제조과정의 짧은 시간 동안 개질제가 충분히 용융되지 못하고 그 결과 개질제의 기능발휘가 불가능하여 물성향상을 도모할 수 없음으로 개질제를 첨가하는 의미를 상실한다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 개질제 입자크기를 미세한 분말로 만들어서 열전달시간을 최소화시켜 용융시간을 최대한 단축시키는 방법을 채택하게 된다. 이러한 이유로 분말제조공정의 기술개발이 필요하다. 어느 정도 경도가 있는 딱딱한 재료는 파쇄가 쉬워서 분말을 만들기 쉬우나 유기물질인 개질제는 분말을 만드는 과정에서 마찰열에 의해 녹아서 기계에 달라붙게 됨으로 분말제조가 쉽지 않다. 이러한 재료를 분말화하기 위해서는 특수 공정이 필요한 이유이다. 본 연구를 통해 고분자 개질제의 사업화를 위한 분말공정 기술개발을 이루게 되었다.

3. 포장건설을 위한 시공관리

가. 시공품질관리

아래 그림 13에 아스콘생산에서 포장건설까지의 각 단계를 보여주고 있다. 각각의 단계 아래에 기재되어 있는 내용은 아스팔트 포장 시공 단계별 현장의 품질시공에 영향을 미치는 가장 중요한 요소들을 언급한 것이다.

아스팔트 혼합물은 아스팔트와 골재를 고온에서 혼합하여 생산한다. 아스팔트의 품질뿐만 아니라 양질의 골재수급이 아스팔트 포장 혼합물의 공용수명 연장에 상당히 중요한 이유이다. 아스팔트 혼합물에 사용되는 아스팔트는 스트레이트 아스팔트 이외에도 품질향상을 위해 다양한 종류의 개질아스팔트(PMA, Polymer Modified Asphalt)가 사용되고 있다. 골재의 종류는 일반 밀입도 이외에도 내유동성 입도, SMA 입도, 배수성 입도 및 수퍼페이브 입도, 등 다양한 입도와 분포도를 가진다. 이처럼 다양한 아스팔트와 골재의 종류가 존재하는 이유는 모두 포장의 품질향상에 목적이 있기 때문이다.



그림 13. 아스팔트 포장의 주요 시공단계 및 품질관리 아이템

아스팔트 플랜트에서 생산된 아스팔트 혼합물은 적당한 운송수단에 의하여 현장으로 수송된다. 주로 트럭이 사용되며 플랜트에서 트럭으로의 상차과정과 현장에 도착한 다음 페이버 호퍼에 아스콘을 하차하는 과정이 아스팔트 혼합물의 골재분리(aggregate segregation)에 가장 큰 영향을 미친다. 또한 운송과정 동안에 발생하는 온도분리 현상(thermal segregation)은 골재분리현상 보다 훨씬 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 골재분리와 온도분리를 적절히 관리하여야 우수한 포장을 건설할 수 있다.

2006년도에 미국의 보고서에 의하면 온도분리를 관리하기 위하여 미국의 여러 주에서는 포설 직후 포장 면에서의 온도분포를 적외선 카메라(InfraRed Camera)로 찍어서 그 최대 온도편차가 약 7~15℃ 이상이면 포장의 하자로 인정하는 조항을 신설하여 아스팔트 혼합물의 수송 중에 발생하는 혼합물의 온도분리를 통제하고 있다. 특히 우리나라처럼 동절기 시공과 아스팔트 혼합물 운반트럭의 온도관리가 부족한 점을 고려한다면 시공 후 포장의 공용수명에 대하여 문제점이 많이 발생할 수 있음을 짐작할 수 있다.

특히 트럭의 적재함에 투입된 아스팔트 혼합물은 중력에 의해 주로 굵은 골재가 적재함의 주변으로 흘러내리게 되고, 잔골재들은 적재함의 중앙부에 위치하게 된다. 현장에 도착한 트럭이 적재함에 있는 혼합물을 피니셔의 호퍼에 하차할 때 적재함의 맨 뒷부분에 위치한 굵은 골재 (주로 많이 식어있음)와 적재함 주변의 굵은 골재들도 중력에 의해 먼저 떨어져 골재공급(feeding) 시스템을 통하여 주로 스크리드의 양쪽 끝부분으로 인도된다. 잔골재들은 비교적 늦게 떨어져 스크리드의 안쪽부분에 위치한다. 결국 이러한 이유로 골재분리 현상이 일어나고 조골재가 몰린 곳에는 조골재를 연결해 줄 세골재가 부족하여 충분한 다짐이 이루어지지 못하고, 이로 인해 골재 간의 결합력이 떨어져 궁극적으로는 세로방향의 균열이 조기에 발생하는 원인이 된다. 미국에서는 셔틀바기(Shuttle Buggy)라는 장비에 덤프트럭의 아스콘을 투입하면, 이 장비가 아스콘을 재혼합하여 피니셔에 공급함으로서 재료분리를 방지하고 있다.

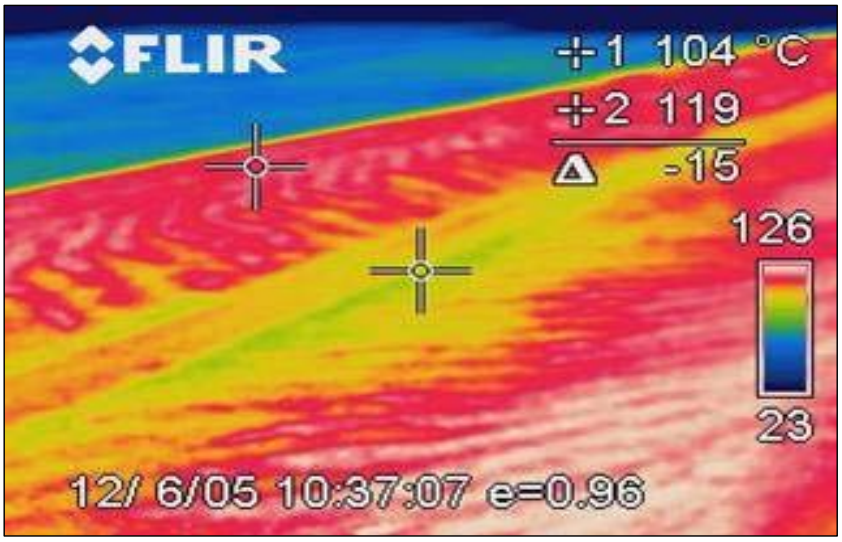


그림 14. 적외선 카메라로 촬영한 신설포장의 온도분포,
(2005년도 네델란드 시공장면)

아스팔트 포장의 포설단계에서 가장 중요한 요소는 일관성 있는 장비의 운용이며, 이는 포설과 다짐작업을 통하여 장비 운행자들이 명심해야 할 가장 중요한 하나의 단어이다. 포설작업은 항상 롤러와 적당한 거리 범위 내에서 움직여야하며, 포설된 혼합물이 과도하게 식기 전에 다짐작업이 진행되어야 하며, 동절기 공사인 경우에는 이 점이 더욱 중요하다. 포설작업 중에 가장 중요한 문제는 세로 이음처리를 정확하게 하여 이음부에 밀도저감을 최소화하여야 하며 옆 차로와의 결합력 확보에 최선을 다하여야한다.

그림 14와 같이 두 대의 페이버를 동시에 사용하는 Echelon 포장공법을 사용하여 실질적으로 세로 이음부 숫자를 없애는 공법을 쓸 수 있다. 이 경우 현장의 플랜트에서의 혼합물 공급능력이 원활하여야 하고, 이를 위해 두 개 이상의 플랜트를 사용할 경우 동일한 제품을 생산할 수 있도록 품질관리에 만전을 기하여야 한다.

그림 14에서 또 한 가지 주목할 점은 1차 다짐에 일반적으로 탄뎀롤러를 진동으로 사용하는 경우가 많다는 것이다. 이는 국내 현장에서 전형적으로 사용되고 있는 "1차다짐: 머케덤→ 2차다짐: 타이어→ 3차다짐: 탄뎀" 방식의 다짐작업이 현장의 상황에 따라서 충분히 바뀔 수 있으며, 결국 다짐밀도의 조기 확보가 중요하며 어떠한 롤러를 1차 또는 2차 다짐에 쓰는 것이 중요하지 않다는 사실을 의미한다.

아스팔트 포장의 다짐도 확보는 평탄성 확보와 각 층의 두께 확인과 함께 아스팔트 포장공사의 품질검사를 위한 3대 요소이다. 그러나 아스팔트 포장체의 장기 공용성능 확보와 가장 밀접한 작업은 다짐작업이다. 다짐도 계산은 시험실에서 제작된 마샬공시체의 겉보기 밀도(기준밀도)에 대한 현장에서 채취한 코어의 겉보기 밀도의 비로 표시된다. 기준밀도는 기존의 배합설계 시에 사용된 밀도 값을 사용해서는 안 되며 시공 당일 생산된 혼합물로 제작된 공시체의 겉보기 밀도 값을 기준밀도 값으로 사용하여야 하며, 현장에서 채취한 코어시료도 동일한 날 시공한 현장에서 채취한 시료를 사용하여야 진정한 의미에서의 시험실의 기준밀도와 현장에서의 다짐밀도와의 비를 계산 할 수 있다.



그림 15. 페이버 2대의 Echleon 포장공법 시공 전경

다짐작업 중에 기준밀도 값의 변화를 날짜별로 모니터링 하는 것도 가장 중요한 현장품질관리의 한 부분이 될 수 있다. 물론 기준밀도를 이론최대밀도로 사용할 수도 있으나 국내에서는 일반적으로 그림 16의 식을 따른다.

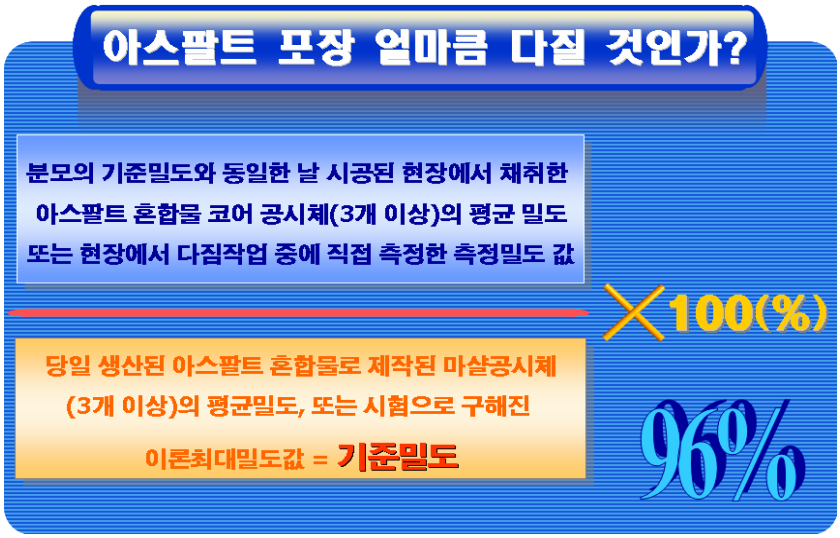


그림 16. 아스팔트 포장의 다짐도 구하는 공식

나. 시공 품질관리에 따른 문제점 및 개선방안

1970년대 이후 국가경제의 비약적인 발전에 따라 자동차와 물동량은 폭발적으로 증가하였으나, 도로건설은 이에 적절히 대응하지 못하여 교통지체의 심화, 교통사고의 증가, 노면 파손의 증가로 인한 물류비용의 증가는 국가 경쟁력을 약화시키는 요인으로 지적되고 있다. 도로 포장의 상태는 이용자의 안전과 승차감에 직접적인 영향을 미치며, 차량의 손상 및 에너지 소비와도 관련이 있다.

지난 10여 년간 국내 도로 포장 학계 및 업계에서 관심의 초점이 되고 있는 아스팔

트 포장의 소성변형에 의한 파손현상은 경부고속도로의 건설과 함께 시작된 아스팔트 포장의 역사와 함께 긴 세월동안 잠재되어온 품질관리 문제점의 복합적인 표출이라고 볼 수 있다. 특히 아스팔트 포장 건설의 특성상 사업의 주관자인 발주기관과 감독업무를 수행하는 감리회사 그리고 시공을 책임지는 시공업체와 아스팔트 혼합물의 생산을 담당하는 아스팔트 플랜트 사이의 유기적인 연계와 함께 엄격한 품질기준의 적용이 제대로 지켜지지 않은데 원인이 있다. 각 주체들이 따로 따로 기능을 수행하다보니 서로의 연계를 상실하고 있다.

특히 우리나라에서 빈번하게 발생하고 있는 소성변형의 원인들에 대해서는 그 동안 국내의 여러 학술보고서를 통하여 소개되었다. 물론 1990년대 이후의 이상 고온 현상과 중차량의 급속한 팽창에 의한 교통 특성의 변화도 간과 할 수 없는 원인 중의 하나로 판단되지만, 시공에 사용되는 골재, 아스팔트 등 재료들의 생산품질관리와 아스팔트 혼합물의 현장 배합설계의 문제점 등 아스팔트 플랜트에서의 전반적인 생산 관련 품질관리 문제와 포설과 다짐으로 이어지는 현장 투입 이후 시공 품질관리의 문제점들이 복합적으로 작용하고 있는 것으로 사료된다.

국내 일반 국도의 약 90% 이상을 차지하는 아스팔트 포장의 공용성 확보 및 유지/보수 비용의 절감 효과를 얻기 위한 일련의 국책연구 과제들이 최근에 활발히 추진되고 있다. 아스팔트 포장의 구조적인 연구에서부터 재료적인 문제의 해결에 이르기까지 다양한 연구 성과들이 축척되고 있다. 그러나 이러한 연구 성과들의 현장 적용성 확보를 위해서는 국가적인 현장 시공 품질관리의 체계가 구축되어야만 그 성과들을 올바르게 적용시킬 수 있다. 또한 현재의 국내 아스팔트 포장 분야는 시공 품질관리 기술기반이 취약하여 품질관리가 형식에 그치거나 실무자의 경험에만 의존되는 경향이 있어 시공회사나 지역 그리고 현장마다 기술수준의 차이가 현격한 실정이다. 다음의 사항들은 국내 아스팔트 포장의 현장품질관리 문제점의 주요원인들을 설명한 것이다.

다. 아스팔트 포장 혼합물의 배합설계 문제점

최근까지의 아스팔트 포장 시공현장에서 이루어지는 관례에 의하면, 시공회사는 설계서 상의 아스팔트 포장 단면에서 요구되는 아스팔트 혼합물을 현장주변의 아스팔트 플랜트로부터 구입(관급이든 사급이든)한다. 그러나 대부분의 경우에 시공회사(또는 시공회사의 시험실) 차원에서의 자세한 배합설계의 요구 사항이나 검토는 이루어지지 않고 있으며, 대부분의 작업이 아스팔트 플랜트의 품질 시험실에 의존한다. 특히 발주기관과 계약 당사자 간의 주요 서류인 공급원 승인서가 주로 아스팔트 플랜트의 시험실에 만들어지고 있어, 실제적인 발주기관과 시공회사 사이의 계약사항과 품질수준에 대하여 정확한 이해와 요구가 이루어지지 않고 있다.

또한 현장에서 사용 중인 공사시방의 내용도 이러한 현장중심의 특수한 환경을 고려하는 경우는 드물고, 고정된 골재입도와 굵은 골재 최대치수 그리고 각 포장 층의 두께를 소개하는 수준이다. 현 단계에서 보다 우수한 현장시공을 위해서는 현장 공사시방의 작성단계에서 분야별 전문가가 참여하여 설계사에서 제공하는 공사시방 또는 배합설계의 자세한 시공 품질관련 사항을 검토하고 현장여건을 고려하여 그 내용을 조정할 수 있어야 한다.

골재의 입도를 예로 들면, KS 규정에서 규정되는 골재입도는 각 체의 통과량에 허용 범위가 정해져있고, 시공회사나 감리단 또는 아스팔트 혼합물 생산플랜트에서 원한다면, KS 범위 안에서도 여러 종류의 다양한 골재입도를 갖는 다른 성질의 아스팔트 혼합물을 생산할 수 있도록 되어있다. 특히 현장의 필요에 따라서는 최근에 국제적으로 많이 사용되는 수퍼페이브의 골재입도나 이와 비슷한 종류의 거친(예, gap 또는 coarse graded) 입도의 아스팔트 혼합물을 설계하고, 생산 할 수 있어야한다. 그러나 현장에서는 기존의 정형화된 입도만이 생산되며(최근에 모든 국도는 일명 #67이라 불리는 20mm 밀입도를 기본으로 하고 있다), 시공회사, 현장의 감리회사, 그리고 발주기관에서도 포장수명 및 공용성능 향상을 위한 시도가 전혀 이루어지지 않고 전국적으로 정형화 된 골재입도가 계속적으로 사용되고 있다.

2002년과 2003년에 걸쳐 실시한 아스팔트 플랜트에 대한 현장실사에서 수집한 자료에 의하면 전국의 아스팔트 포장 공사 현장에서 사용되는 아스팔트 혼합물의 공급원 승인서상의 입도는 거의 동일하다. 이러한 문제점들이 국가적으로 소성변형을 포함한 여러 포장의 파손문제를 극복하는데 상당한 걸림돌이 되고 있다. 이런 문제점에 대한 주요원인은 아스팔트 혼합물의 배합설계가 공사계약의 주관기관인 시공회사나 감독기관인 감리단의 의견을 충실히 반영하기 보다는 아스팔트 플랜트에서 임의대로 이루어진다는 사실을 의미한다.

선진국에서는 현장의 시공회사가 각각의 재료의 선정 및 배합설계 및 포설 및 다짐작업을 포함한 포장작업 전반의 품질관리 업무를 컨설턴트라는 포장 전문업체 또는 전문시험실(일반적으로 Design Laboratory라고 부름)에게 특별 발주하여 배합설계를 포함한 개질재의 사용 여부 또는 골재입도나 아스팔트 선택을 포함한 모든 재료적인 설계를 포함하는 활동과 시공 중의 아스팔트 혼합물의 수송, 포설 및 다짐관련 모든 품질관리 활동에 대하여 책임지도록 요구하고 있는 실정이다. 물론 이런 부분에 대한 지출 비용은 설계 시에 발주처에게 승인을 얻거나, 품질의 향상을 위하여 발주기관이 별도의 전문기관과의 계약을 유도한다. 국내의 경우, 아스팔트 플랜트(특히 시험실)에서 실제적으로 이러한 모든 책임을 맡고 있어 전체적인 품질관리에 가장 큰 문제점으로 인식되고 있는 실정이다.

국내에서 사용중인 마샬배합 설계방법의 가장 큰 문제점은 이론최대밀도 시험을 하지 않는 것이다. 이 시험법은 KS F 2366과 AASHTO T 209-94에 정의되어 있으나, 지금까지 잘못된 규정에 의하여 간편한 계산에 의한 방법이 사용되고 있는 실정이다. 2005년 1월에 발간된 건설교통부 지침서에서 이 문제를 언급하고 있어 조속히 새로운 배합설계법이 현장에 정착할 수 있도록 발주기관을 포함한 감독기관에서 노력을 하여야 한다. 특히 이론최대밀도 시험의 결과는 공극률로 직접 연결되며, 공극률이 아스팔트 혼합물의 배합설계 인자 중에서 volumetric 특성을 결정하는 가장 중요한 요소이다. 특히 미국의 국립아스팔트 포장연합회(National Asphalt Pavement Association, NAPA)에서는 최적 아스팔트 함량(일반적인 밀입도 아스팔트 혼합물의 경우)을 결정할 때 공극률이 4%가 되도록 규정하고 있으며, KS에서도 언급되고 있는 그 외의 기준들 (안정도, 흐름치, 포화도, 단위중량)은 공극률이 4%인 경우에 만족 여부를 확인하는 수준에서 보조적인 자료로 그치고 있는 실정이다. 시공 직후와 교통개방 후의 시간이 흐른 다음에 아스팔트 표층의 공극률을 꾸준히 추적하면, 아스팔트 포장의 장기적인 소성변형 저항성을 예측할 수 있

으므로, 해외공사에서는 이론최대밀도와 공극률로 현장 품질관리를 실시한다. 이 문제 또한 우리나라 현장에서 방관하고 있는 소성변형 문제의 중요한 요소 중의 하나이다.

라. 시공단계별 주요 품질관리 항목 및 개선 사항

(1) 아스팔트 혼합물의 수송 (Hot Mix Asphalt Delivery or Hauling)

아스팔트 혼합물의 수송은 아스팔트 플랜트에서 생산된 아스팔트 혼합물을 이용하여 현장에 있는 페이버의 호퍼까지 수송하는 작업을 말한다. 여기에는 아스팔트 혼합물의 트럭 상차, 혼합물의 수송 중 온도관리, 시공 현장까지의 운반, 페이버의 호퍼에 하차 후 다시 아스팔트 플랜트로 돌아오는 과정들이 포함된다. 이러한 전체 과정을 트럭 사이클이라고 하는데, 생산량과 현장에서 다짐 및 포설되는 양과 균형을 이루도록 정해진 규격의 트럭에 필요 대수가 먼저 분석되어져야 한다. 아스팔트 혼합물의 수송 중의 온도관리와 트럭 상차 과정에서의 재료 분리는 포설 및 다짐에 중대한 영향을 미칠 수 있기 때문에 트럭 사이클에 대한 품질관리는 반드시 필요하다.

아스팔트 플랜트에서 트럭의 적재함에 아스팔트 혼합물을 투입할 때 아스팔트 혼합물의 재료 분리 현상(segregation)을 최소화 할 수 있는 방안을 강구한다. 그림 17과 같이 아스팔트 혼합물의 트럭 적재 시 하나의 더미로 쌓지 않고 단계적으로 구분하여 쌓는 것이 재료 분리를 최소화하는 방법이다.

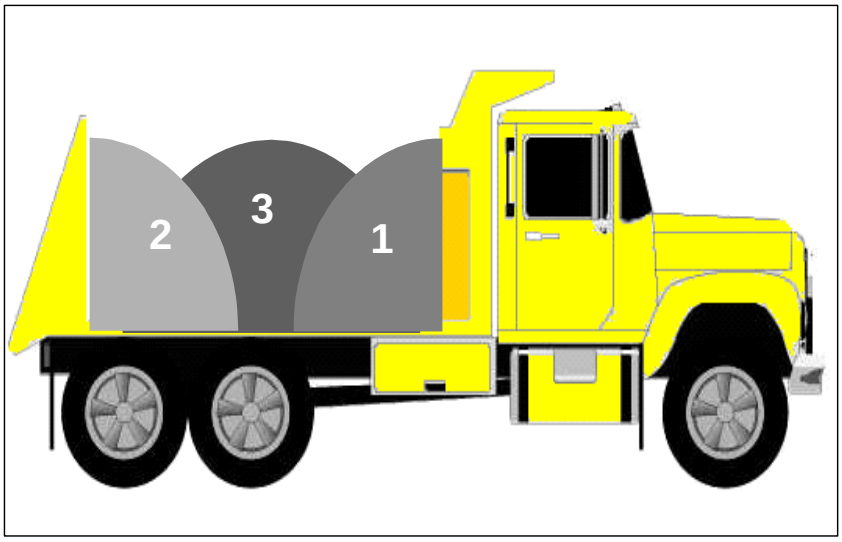


그림 17. 아스팔트 플랜트에서의 혼합물 적재패턴

특히 온도에 의한 재료 분리가 일어나기 쉬운 동절기에는 품질관리 또는 그에 상응하는 실무자의 아스팔트 혼합물의 적재패턴을 확인하는 것이 바람직하다.

아스팔트 혼합물을 수송하는 트럭의 적재함 바닥(truck bed)에 오염 물질이 없어야 하며, 바닥은 비 석유계 접착 방지제를 골고루 도포하여(디젤 절대금지) 아스팔트 혼합물의 하차 작업이 매끄럽게 이루어지도록 한다.

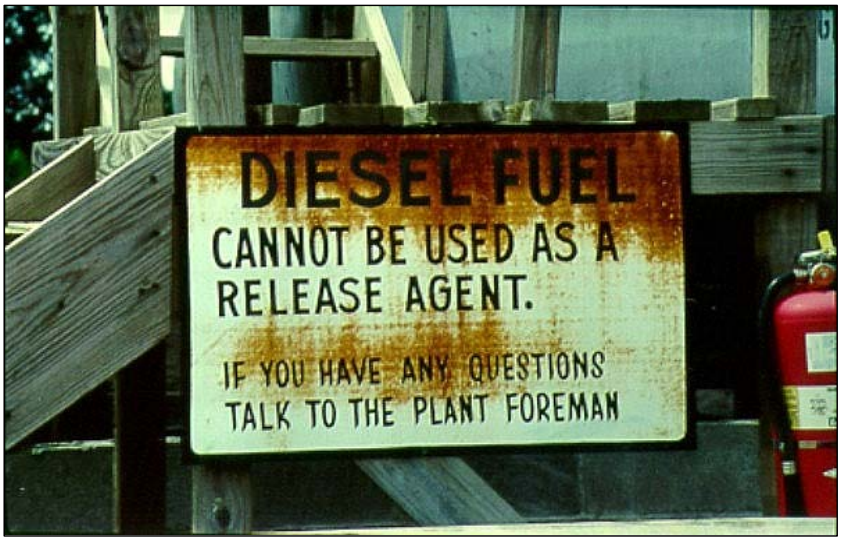


그림 18. 아스팔트 플랜트의 경유 사용금지 표지

수송 중인 가열 아스팔트 혼합물은 열손실 방지를 위하여 철저한 보온조치를 한다. 트럭 적재함의 보온을 위하여 1인치 정도의 나무판을 트럭 적재함의 옆면과 바닥에 설치하여야 한다. 아스팔트 혼합물이 적재된 수송 트럭은 찢어지거나 구멍이 없는 상태의 방수와 내열성이 우수한 덮개로 덮어져야 한다. 이러한 덮개는 적재함을 덮을 뿐만 아니라 옆면과 뒷면을 덮을 수 있을 만큼 충분히 해야 한다. 또한 바람에 날아가지 않도록 충분한 잠금 장치가 있어야 한다.

덤프트럭으로 운반 될 경우 페이버가 멈춰서 혼합물을 받는 것이 아니라 이동하면서 받을 수 있도록 페이버에 근접해서 멈춰야 한다. 또한 페이버의 호퍼에 어떠한 접촉이나 하중의 전달이 없도록 페이버와 상호 유기적으로 접촉하여야 하며, 트럭에 의하여 페이버에 부딪히지 않도록 주의한다. 그러나 MTV(Material Transfer Vehicle)와 결합하는 경우에는 이런 주의는 필요하지 않는다.

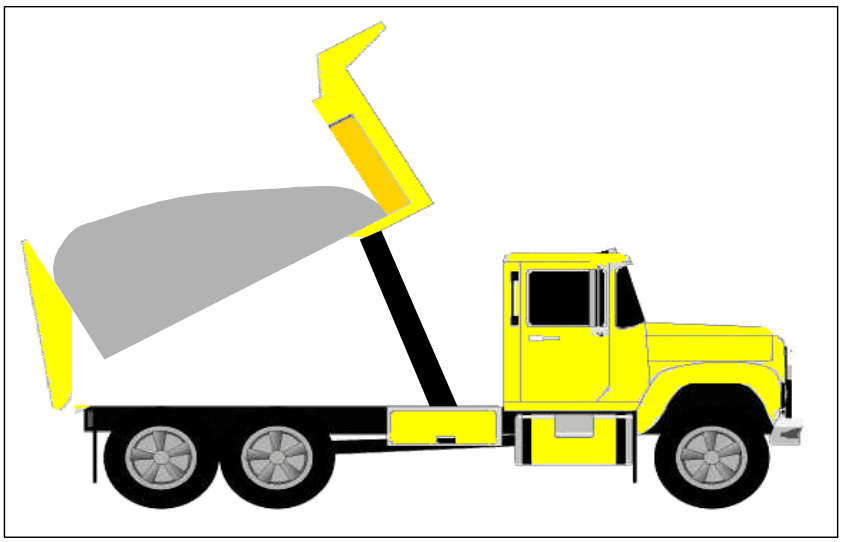


그림 19. 아스팔트 혼합물의 하차 : 적재함의 뒷 쪽문을 마지막에 열어주는 모습



그림 20. 미국 ROADTEC社의 MTV인 Shuttle Buggy.

아스팔트 혼합물의 하차를 위하여 수송 덤프트럭의 적재함을 올릴 때 까지 트럭 적재함 뒤에 있는 문(tailgate)을 열지 않고, 아스팔트 혼합물이 자동으로 약간 흘러서 후미에 모이도록 조치하고, 페이버의 호퍼에 부드럽게 투입하여 투입 과정에서의 아스팔트 혼합물의 재료 분리를 최대한 방지한다.

현장 여건에 따라 트럭과 페이버의 사이에 MTV(Material Transfer Vehicle)을 배치하여 보온과 재혼합 작업을 통하여 일정한 온도의 유지와 골재 분리를 감소시키는 방법을 강구할 수 있다. 개질 아스팔트 및 특수 아스팔트 포장의 경우나 동절기 포장 공사 또는 야간공사 그리고 교면포장 공사에서는 수송된 아스팔트 혼합물의 온도 저감 문제가 심각하므로 현장의 품질관리를 위하여 반드시 필요한 장비이다. 특히 서울시와 같은 대도시의 야간 절삭/재포장 공사는 아스팔트 혼합물의 골재 분리에 의한 세로 이음부의 균열 발생과 아스팔트 혼합물의 온도 편차에 의한 포장면의 포트홀 발생의 가능성이 높으므로 아스팔트 포장의 품질 보증과 공용 성능의 확보에 적용 가능한 장비이다.

현재 미국에서도 네바다 주를 포함한 대부분의 주정부에서 MTV를 포장 장비로 사용하고 있는 실정이며 2005년 현재 약 20여대의 Shuttle Buggy가 중국에서 사용 중이다. 그림 21은 가장 대표적인 MTV인 ROADTEC社의 Shuttle Buggy와 트럭 그리고 페이버가 포장 작업 중인 모습이다.



그림 21. 미국 ROADTEC社의 Shuttle Buggy 작업광경

특히 Shuttle Buggy의 장점은 트럭과 페이버의 접촉과 동반 포설작업으로 인한 시간 손실이 거의 없어 공사에 투입되는 총 트럭의 댓 수가 감소하여 시공비의 절감이 가능하며 투입된 아스팔트 혼합물을 보온하고 remix작업을 통하여 골재분리현상을 최소화하여 포장 면에서의 굵은 골재의 분리현상으로 인한 포트홀이나 세로 이음부 균열을 저감 할 수 있다. Shuttle Buggy는 페이버와 일렬로 배치될 필요가 없이 포장작업구간의 좌우측에서 투입구를 회전하면서 작업할 수 있어 (그림 22 참조) 공간적인 활용성도 우수하다. 그림 23과 그림 24는 일반적인 트럭과 페이버의 결합으로 시공한 포설면과 ROADTEC社의 Shuttle Buggy를 사용한 포설면의 온도편차에 의한 분리현상 (thermal segregation)의 차이를 극명하게 보여주는 적외선 카메라의 사진이다.



그림 22. 미국의 NCAT Test Track 시험포장중인 Shuttle Buggy : 페이버의 좌측에서 혼합물을 투입하는 광경

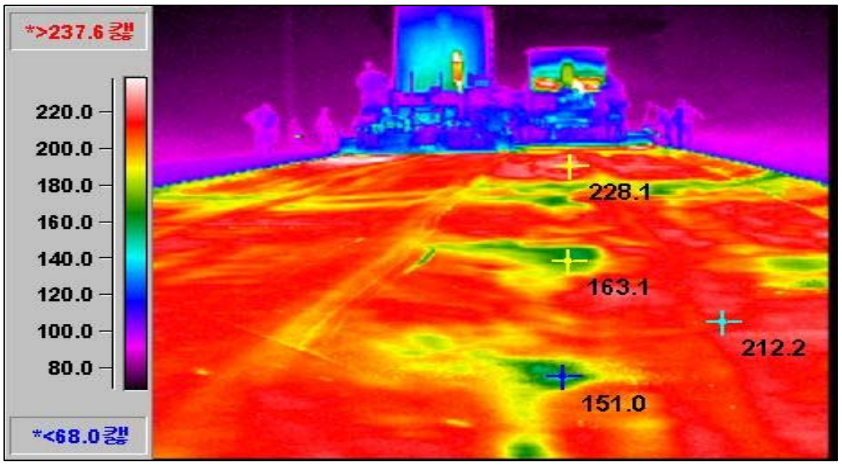


그림 23. 일반적인 트럭과 페이버의 연결에 의한 포설 면의 온도편차로 인한 예상 포트홀 지역

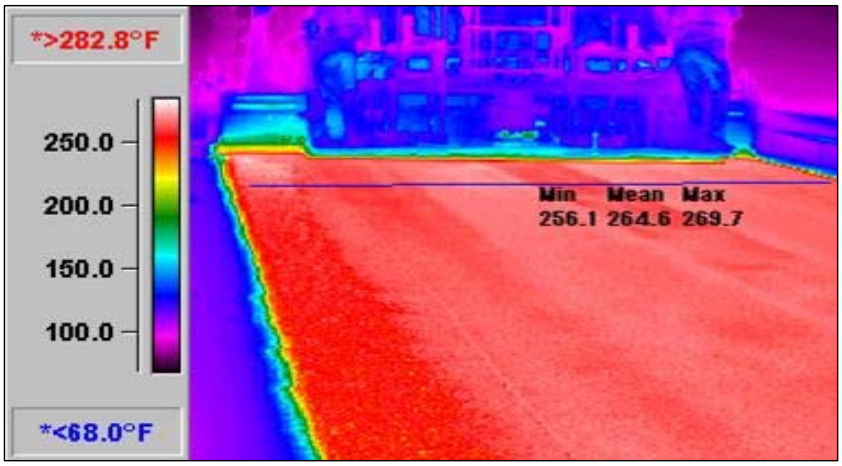


그림 24. ROADTEC社의 Shuttle Buggy를 활용한 포장면의 온도편차에 의한 분리 현상이 없는 포장면의 상태

(2) 기존의 포장 층에 대한 준비 작업 (Surface Preparation)

아스팔트 포장의 표층공사를 하기 이전에 신규포장(이 경우는 중간층 또는 보조기층)이나 덧씌우기 포장이나 상관없이 기존 포장 면에 대한 표면처리를 먼저 실시해야 한다. 교통 상황 하에서 아스팔트 포장의 공용성은 각 포장 층간의 결합상태에 직접적으로 연관되어있다. 표면 처리되지 않은 거친 표면의 기층 위에 신규 아스팔트 포장 층을 시공하기 위해선 기층 재료는 안정해야 하고 표면은 건조된 상태이어야 한다. 기존 아스팔트층 위에 새로운 아스팔트 혼합물을 포설할 시에는 기존 포장 층의 표면은 적절하게 처리되어야 한다. 즉 포트홀 보수, 균열 실링, 표면 청소 등이 시공 이전에 미리 보수되어야 한다. 또한 기존 포장 표면과 신규 아스팔트 덧씌우기 사이의 접착을 확실히 하기 위해 택코팅 시공이 이루어져야 한다. 그림 25과 26은 택 코트 유제를 포장 면에 도포하는 장면을 보여준다.



그림 25. 택코트 시공1



그림 26. 택코트 시공2

(3) 신규 아스팔트 포장을 위한 기층 처리

(가) 노상토(Subgrade Soil)

아스팔트 포장이 노상토 위에 바로 시공이 된다면 노상의 재료는 수분 함량, 비중, 구조적 지지력, 평탄성 등의 적절한 요구 조건을 만족시켜야 한다. 포설하기 위한 노상토의 준비가 완료되고 포설을 시작하기 전에 노상이 공사 트럭의 하중을 지지할 수 있는지의 여부를 점검하는 것이 꼭 필요하다. 아스팔트 포설이 시작되기 전에 노상은 견고한 기초를 제공해야만 한다. 포설 작업을 하는 동안 노상토에 변형이 발생하면 상태가 개선될 때까지 아스팔트 혼합물의 포설은 중단해야 한다.

일반적으로 노상토 위에는 아스팔트 유제나 커트백 아스팔트의 프라임 코팅이 필요가 없다. 특히 노상토가 실트질 점토이거나 점토일 때는 프라임 코팅 재료는 노상 물질에 흡수가 되지 않기 때문에 사용할 필요가 없다. 모래질의 노상토에서의 프라임 코팅의 사용을 제고해야 한다. 만약 모래 재료가 운송 트럭의 바퀴 아래에서 과도하게 변형하는 경우에는 하중을 지지할 수 있는 물성을 갖기 위해 포설을 하기 전 안정화 처리를 실시해야 한다. 이러한 경우에 프라임 코팅의 적용은 일반적으로 포설 작업을 하는 동안 모래질 흙을 고정시키기에 충분하지 않다. 프라임 코팅은 노상토의 적절한 준비 작업을 위한 목적으로 사용해서는 안 된다.

(나) 입상 기층(Granular Base Course)

아스팔트 층을 기존의 처리되지 않은 거친 기층 또는 새로운 기층 위에 시공해야 할 경우, 그 기층의 재료는 수분 함량, 비중, 구조적 강도 그리고 평탄성에 대한 모든 요구 사항을 만족시켜야 한다. 거친 기층 위에 사전 롤링을 통하여 기층의 총 처짐과 트럭에 의한 바퀴 패임의 양을 기록해야 한다. 기층 재료가 안정하고 건조하며 처짐이 발생하지 않고 직렬 축을 가진 트럭의 바퀴 하중에 의해 패임이 발생하지 않았다면 프라임 코팅이나 새로운 아스팔트 혼합물의 포설을 시작해도 된다. 기층 재료의 상태가 만족스럽지 못하다면 표층 덧씌우기 작업을 하기 위한 적당한 상태가 될 때까지 재작업을 하거나 안정화 처리를 시행해야 한다.

프라임 코팅은 포설 전 비가 오는 동안 과도한 수분 흡수를 방지하고 기층을 보호하는 역할을 한다. 또한 기층을 적은 교통량에 한해서 통행할 수 있도록 해주고 거친 기

층 표면의 미세 입자들을 굳게 하며, 기층과 새로운 덧씌우기 층의 접착을 향상시키고 얇게 덧씌워진 포장 층이 미끄러지는 것을 방지해 준다. 그러나 프라임 코팅의 목적은 습한 기후로부터 밑에 있는 재료들을 보호해 주는 것이다. 밑에 있는 재료들을 비가 내리기 전에 덮을 수 있다면 프라임 코팅은 필요하지 않다. 프라임 코팅을 할 때, 포설을 시작하기 최소 48시간 전에 분사 장치를 이용하여 보조 기층 면에 프라임 코팅을 해야 한다. 프라임 코팅 재료의 사용량은 기층 재료의 다공성에 따라 다양하게 적용한다. 프라임 코팅 재료가 24시간 안에 기층에 완벽하게 흡수될 수 없다면 더 이상 사용해서는 안 된다. 프라임 코팅 재료 모두가 완벽하게 흡수되지 않으면, 초과량은 모래를 뿌려 없애거나 제거해야 한다.

기존의 포장 층에 대한 준비 작업은 표층의 평탄성을 포함한 공용성에 아주 중요한 영향을 미치므로 특별한 주의가 필요하다. 기존의 층에 대한 준비 작업은 다음과 같은 이유에서 아주 중요하다.

- 기층/보조기층의 균질성과 강도 확보
- 기존의 포장층에 있을 수 있는 포장 하자 상태 파악
- 기존 포장층과 신설 포장층의 완전한 결합
- 표층의 평탄성 확보를 위한 기초

다음은 기존 포장층 준비 과정에서 중요한 항목들이다.

① 노상위에 프라임 코팅은 일반적으로 사용하지 않는다.
② 기존 포장층에 발생한 균열은 반드시 보수해야하고, 파손이 심각한 포장층은 치환하며, 주위 청소에 주의한다.
③ 기존 포장층 (아스팔트 또는 콘크리트) 위에 가열 아스팔트 혼합물로 덧씌우기 시공을 하기 전에는 반드시 택코팅을 실시한다.
④ 택코팅 재료로는 유화 아스팔트를 사용하며, 특히 절삭된 포장면에는 충분한 양을 사용한다. 반대로 너무 많은 양의 택코팅을 살포하면 두 층 사이에 미끄럼 현상이 발생하고 포장 표면에 블리딩 현상을 유발할 수 있다.
⑤ 유화 아스팔트는 양생 과정에서 갈색에서 검정색으로 색깔이 변하게 되며, 아스팔트 혼합물 운반 트럭이나 주변의 공사용 트럭에 의하여 묻어나는 일이 발생하여서는 안 된다.
⑥ 두 층의 신규 아스팔트 층이 연속으로 시공되는 경우에는 두 층 사이를 부착할 수 있는 충분한 양의 아스팔트가 존재하므로 택코팅은 필요하지 않는다.

(4) 아스팔트 혼합물의 포설 작업 (Hot Mix Asphalt Placement or Laydown)

아스팔트 혼합물의 포설에서 가장 중요한 것은 일관성(consistency)있는 포설작업을 유지하는 것이다. 일정한 페이버의 진행 속도를 유지해야 균질한 포설면이 생성되고 이는 균질한 다짐 작업을 진행하는데 필수적이다. 특히 수송트럭의 현장 도착 시간을 잘 조절하여 연속성 있는 작업을 진행하도록 한다. 포설 작업이 잠시라도 정지되면 가로 이음부가 발생하고 이는 포장면의 평탄성 확보에 문제를 야기할 수 있다. 페이버의 포설

작업의 여하에 따라 세로 이음부 균열과 가로 이음부의 문제가 발생될 수 있으므로 페이버의 진행과 함께 가로 이음부의 처리에 만전을 기하고 골재분리 현상에 의하여 포장면의 양쪽 끝단에 굵은 아스팔트 혼합물이 몰리지 않도록 조치한다.

포설 작업 중에 호퍼 날개(wing)부분에 붙은 아스팔트 혼합물은 포장 품질에 문제를 야기할 수 있으므로 호퍼 날개를 자주접지(털지) 않도록 조치해야하며, 만일 날개벽에 붙어있던 식은 아스팔트 혼합물이 호퍼 안으로 떨어진 경우에는 컨베이어 벨트로 흘러들어가지 않도록 제거해야한다. 그림 27은 페이버의 구성도를 보여준다.

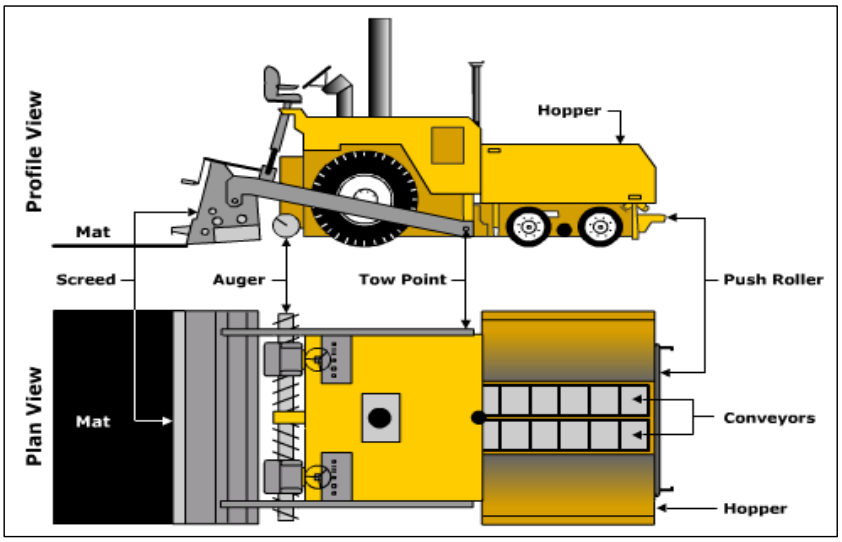


그림 27. 아스팔트 혼합물 페이버의 구성도

신규 포장공사인 경우에는 세로 이음의 수를 줄이기 위하여 가능하면 폭이 큰 페이버의 사용을 고려하거나 페이버를 가로방향으로 두 대 배치한 Echelon paving 방법을 사용하도록 조치한다. 페이버의 진행 패턴으로 인해 세로 이음의 발생을 피할 수 없는 경우에는 이음부의 위치가 중앙차선이나 차선위에 놓이도록 배려하고, 차선의 차량바퀴 통과부분 위에 이음부가 위치하지 않도록 배려한다.

다음의 주요 항목들은 아스팔트 혼합물의 포설 작업을 감독할 때 고려하여야 한다.

페이버의 호퍼에 직접 아스팔트 혼합물을 하차하는 트럭을 사용할 때에는 트럭이 페이버와 근접해서 정지하도록 해야 한다. 페이버와 트럭의 접촉을 위해서는 페이버가 앞으로 이동해야 한다. 즉 트럭이 페이버 쪽으로 후진하는 것이 아니라 페이버가 트럭쪽으로 이동하여 접촉해야 한다. 트럭의 적재함이 들어올려 질 때 적재함이 페이버에 걸리지 않도록 주의해야 한다.

(가) 페이버의 호퍼에 아스팔트 혼합물을 하차하기 위해 트럭의 뒷문을 열기 전에, 아스팔트 혼합물이 뒷문 쪽으로 모일 때까지 적재함을 천천히 올려야 한다. 이러한 과정은 아스팔트 혼합물이 페이버의 호퍼에 낙하시 이동거리가 감소하여 스크리드 뒤에서의 재료 분리를 감소시킨다.

(나) windrow(덤프트럭이 아스팔트 혼합물을 도로포장 면 위에 세로방향으로 길게 미리 하차하여 놓은 상태)로부터 아스팔트 혼합물을 모아서 페이버의 호퍼로 옮기는 작업을 위해 windrow elevator를 사용한다면, 페이버의 slat conveyor는 기존 표층에 아스팔트 혼합물이 남지 않도록 windrow의 아스팔트 혼합물을 남김없이 운반하여야 한다. 그러나 레벨링 기층의 포설 시에는 기존 포장의 울퉁불퉁함 때문에 최소한의 혼합물을 기존 표층에 남겨두어야 한다. 그림 28는 windrow elevator를 보여준다.

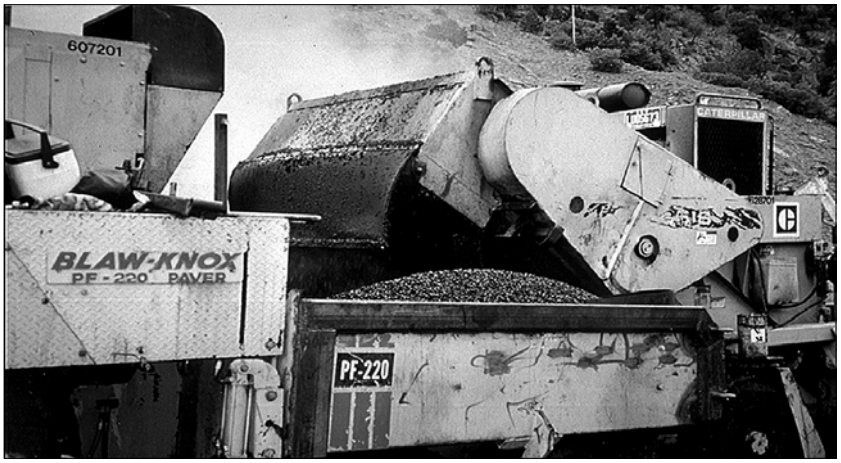


그림 28. Windrow elevator

(다) windrow의 크기는 페이버 호퍼에 있는 아스팔트 혼합물이 항상 flow gate나 tunnel opening보다 위에 있도록 할 수 있을 만큼 충분히 커야한다.

(라) 페이버가 트럭을 기다리기 위해서 멈추어야 할 때에는 가능한 한 빨리 그리고 부드럽게 정지하여야 한다. 또한 적어도 flow gate나 tunnel opening보다 위에 아스팔트 혼합물이 있도록 충분한 양이 페이버 호퍼에 남아있어야 한다. 어떠한 경우에도 호퍼의 바닥에 있는 slat conveyor가 보일 정도로 호퍼가 비어 있어서는 안 된다. 또한 windrow elevator나 MTV가 페이버 호퍼로 아스팔트 혼합물을 옮기는데 사용된다면 절대로 slat conveyor가 보여서는 안 된다. 페이버 스크리드 앞쪽의 아스팔트 혼합물의 양이 항상 일정하게 유지하도록 하기 위해서, 호퍼에 있는 아스팔트 혼합물의 양은 항상 일정하게 유지하여야 한다.



그림 29. 페이버 전경

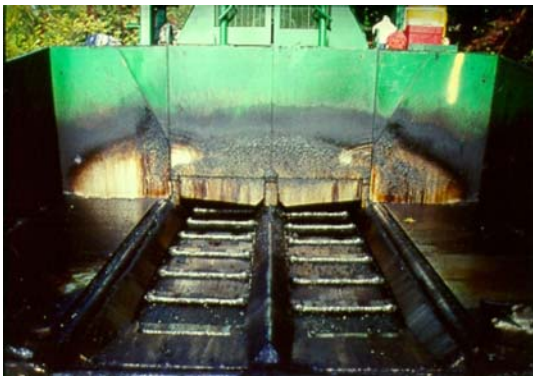


그림 30. 페이버 호퍼의 바닥

그림 29는 페이버 호퍼의 양쪽 날개 부분이 들어올려진 그림이며 그림 30은 페이버 호퍼 바닥의 slat conveyors를 보여준다.

(마) 운반된 아스팔트 혼합물이 작업 위치로 이동하는 동안, 호퍼의 구석부분에 잔여분의 아스팔트 혼합물이 쌓이는 것을 방지하기 위한 경우를 제외하고는 페이버는 날개가 접혀진 채로 정지해 있을 것이다. 날개가 비어있을 때 반복적으로 세게 닫아서는 안된다. 날개에 있는 아스팔트 혼합물은 상대적으로 가득 찬 페이버 호퍼로 비워진다. 호퍼에 있는 아스팔트 혼합물의 양은 flow gate나 tunnel opening보다 위에 있어야 한다.

(바) 호퍼에 새로운 아스팔트 혼합물이 채워지기 시작하면 페이버는 가능한 빨리 작업 속도를 높여 아스팔트 플랜트에서 운반되는 아스팔트 혼합물의 양에 따라 일정한 속도로 작업이 지속되도록 한다. 페이버의 적정한 작업 속도 유지는 스크리드 앞의 아스팔트 혼합물 양이 일정하게 유지되도록 한다.

(사) 트럭 교체가 완료되는 동안 일반적인 작업 속도보다 느리게 페이버를 운행해서는 안 된다. 페이버가 트럭 교체가 이루어지는 동안 계속해서 천천히 앞으로 이동한다면, 호퍼에 있는 아스팔트 혼합물의 양은 호퍼가 텅 비게 되고 오거(auger)에 있는 아스팔트 혼합물의 양도 줄어든다. 결국 스크리드의 각도를 낮추고 포장의 두께를 감소시킨다. 트럭을 교체하는 동안 감소된 페이버의 속도는 스크리드에 작용하는 힘을 변화시키고 아스팔트 층의 두께를 변화시킨다. 또한 스크리드에 있는 많은 양의 아스팔트 혼합물은 스크리드를 상승시키고 포장의 두께를 두껍게 한다. 따라서 트럭 교체 중 페이버 속도를 감소하지 않아야 한다.

(아) 페이버 호퍼의 뒤의 flow gate는 slat conveyor와 오거가 100% 운행 가능한 높이로 조절되어야 한다. 평탄한 포장면의 비결은 스크리드 앞의 아스팔트 혼합물의 양을 일정하게 유지하는 것이다. 또한 이것을 위한 방법은 페이버의 속도를 일정하게 유지함으로써 오거를 일정하게 작동시키는 것이다.

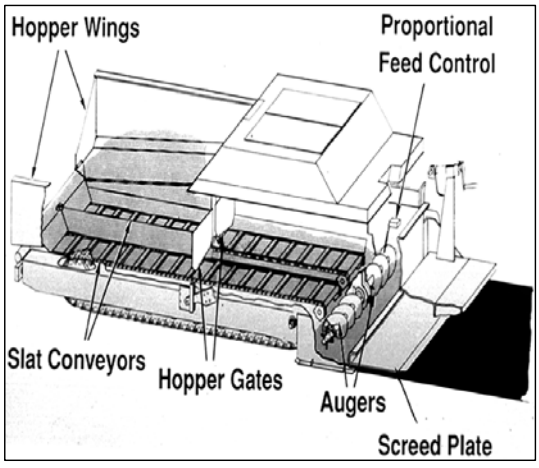


그림 31. 페이버를 통한 아스팔트 혼합물의 흐름



그림 32. 페이버 오거(Auger)

(자) Automatic flow control device (아스팔트 혼합물이 자동으로 흘러들어가도록 조절하는 장치)가 페이버에 장착된다면, 오거를 일정하게 작동시킴으로써 스크리드 앞의 아스팔트 혼합물의 양을 일정하게 유지하기 위해서 이 장치는 끝판 근처에 위치하여야 한다. 이 장치의 위치는 스크리드 바깥 경계에서 운반되는 아스팔트 혼합물의 양이 너무 많거나 너무 적지 않도록 조정 하는데 중요한 역할을 한다.

(차) 페이버 스크리드를 수동으로 작동한다면, 스크리드 운전기사는 포설되는 포장층의 두께를 변화시킬 때를 제외하고는 스크리드의 각을 변화시켜서는 안 된다.

(5) 아스팔트 포장의 다짐작업 (Compaction)

다짐 작업은 앞에서 언급한 것처럼 아스팔트 포장 공사에서 공용성능 확보를 위하여 가장 중요한 작업의 하나이다. 다짐 작업을 적절하게 수행한다면 아스팔트 포장의 피로 수명이 연장되고, 소성변형이 감소하며 아스팔트의 산화 또는 노화에 의한 내구성 문제를 줄일 수 있다. 또한 포장 층으로의 수분 침투에 의한 박리 현상과 이로 인한 파손 가능성이 감소되며, 저온 균열도 감소한다. 시험실에서 우수한 배합설계가 된 아스팔트 혼합물이라도 적절한 밀도로 현장 다짐이 이루어지지 않으면 공용성은 감소될 수 있다. 실제로 품질이 불량한 아스팔트 혼합물을 적절히 다짐을 한 경우가 최상의 품질을 가진 아스팔트 혼합물을 적절치 못하게 다짐을 한 경우보다 더 나은 공용성을 나타내는 것으로 알려져 있다.

(가) 다짐작업의 정의

다짐은 외부압력을 작용시켜 아스팔트 혼합물이 압축되고 체적이 줄어드는 과정이다. 어떤 물질의 밀도는 정해진 체적을 가진 물질의 무게이다. 예를 들어, 석회석을 포함한 아스팔트 혼합물은 2,355kg/㎥의 다짐밀도를 가진다. 이 밀도는 즉 단위중량은 아스팔트 혼합물 다짐 정도를 나타낸다. 다른 골재들로 만들어진 포장 재료는 완전히 다른 밀도를 가질 수도 있다. 예를 들어, 경량골재로 만들어진 아스팔트 혼합물은 다짐밀도가 1,362kg/㎥ 정도밖에 되지 않는다. 다짐은 혼합물의 공극을 감소시키고, 밀도를 증가시킨다. 다짐의 결과로 혼합물의 아스팔트로 코팅된 골재들은 서로 더욱 밀착된다. 이것은 골재간의 맞물림과 마찰력을 증가시키고 혼합물의 공극률을 감소시킨다. Vacuum으로 공극을 없게 만들어 아스팔트 혼합물의 밀도를 계산하는 것은 장비를 갖춘 실험실에서 이루어질 수 있다. 이러한 점에서 이론최대밀도라고 불리는 아스팔트 혼합물내의 공극이 없는 상태가 가능하다. 이론최대밀도는 아스팔트 혼합물 각 성분의 비율와 비중으로부터 구할 수 있다. 또한 'ASTM Test Method D2041, Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous Paving Mixtures' 또는 'Rice Test' 라고도 불리는 실험실 시험으로도 구할 수 있다. 실험실 시험으로 이론최대밀도를 구하는 방법이 아스팔트 혼합물 구성 성분 계산법보다 더 선호된다.

실제 도로에서는 아스팔트 혼합물을 공극이 없는 상태로 다짐하는 것은 불가능하다. 따라서 모든 아스팔트 혼합물은 다짐이 끝나도 어느 정도의 공극을 가진다. 아스팔트 혼합물의 공극률은 단순히 아스팔트 코팅된 골재들 사이의 체적이다. 이러한 체적은 직접적으로 측정할 수가 없으므로 다짐된 아스팔트 혼합물의 단위중량과 이론최대밀도와의 비가 사용된다. 공극률은 다음의 식에서 나타나듯이 겉보기 비중과 이론최대밀도와의 비

로부터 계산된다.

$$\text{공극률}(\%) = 100\times[1-(\text{겉보기 비중}/\text{이론최대밀도})] \qquad \text{(식 11)}$$

따라서 겉보기 비중이 이론최대밀도의 95%라면 혼합물은 5%의 공극을 가진다. 아스팔트 혼합물의 다짐밀도가 2355kg/㎥이고 이론최대밀도가 2467kg/㎥이다. 이러한 아스팔트 혼합물의 공극률은 두 값의 차(2467-2355=112kg/㎥)를 이론최대밀도로 나눈 값, 즉 4.5%일 것이다.

(나) 다짐에 영향을 미치는 요소들

다음의 다섯 가지 주요한 요소들이 아스팔트 혼합물을 다짐하기 위한 다짐장비의 성능에 영향을 미친다. 즉 혼합물의 재료의 특성, 환경 변수, 포설현장의 조건, 사용된 다짐장비의 종류, 다짐 롤러의 운영. 이러한 각각의 요소들의 세부적 영향 요소를 분류하면 아래 그림 33과 같다.

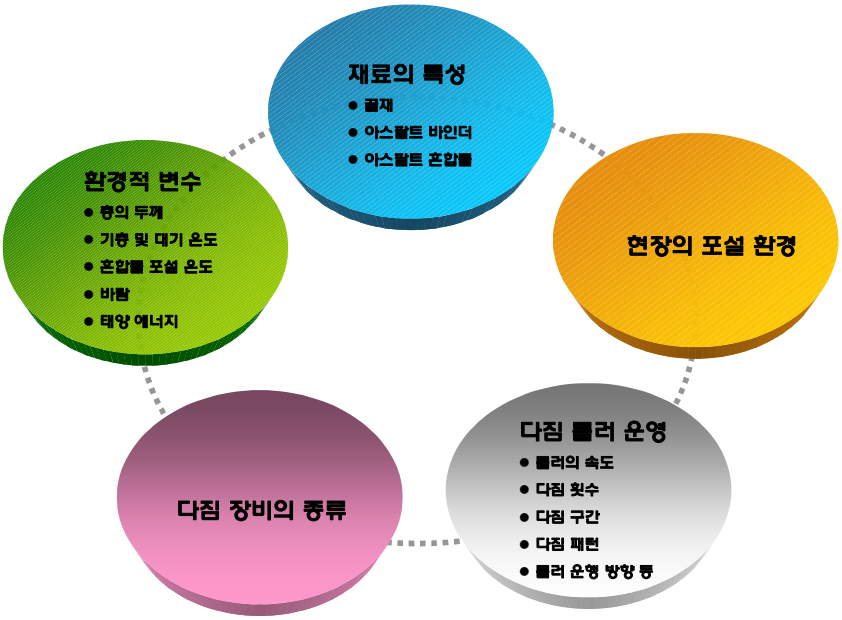


그림 33. 다짐에 영향을 미치는 요소들

아스팔트 혼합물의 다짐은 일반적인 상식을 필요로 한다. 층의 두께, 기층 및 대기온도, 아스팔트 혼합물의 포설온도, 태양 에너지 등이 감소하거나 바람이 증가한다면, 아스팔트 혼합물의 온도가 80℃까지 떨어지기 전에 필요한 밀도를 얻기 위한 시간이 줄어들 것이다. 따라서 이러한 요소들에서의 큰 변화는 내구성 있는 포장과 초기파괴에 민감한 포장 사이에서의 차이점이 될 것이다.

현장에서 다짐 과정 중에 발생할 수 있는 문제를 해결하기 위한 최선의 방법은 가능한 한 포장의 포설 두께를 증가시키는 것이다. 25mm 두께의 포장은 좋은 환경조건 하에서조차 매우 빨리 식어서 적절한 밀도를 얻기가 어려울 것이다. 최적의 환경조건 하에

서 규정된 최소 층 두께는 38mm이다. 이른 봄이나 늦가을에 포설되는 경우에는 다짐된 아스팔트 혼합물의 한 층의 두께는 가능한 최소 50mm이상이어야 한다. 다짐시간 문제를 해결하기 위한 가장 쉬운 방법은 다른 문제가 발생하지 않는다면, 아스팔트 플랜트에서 혼합물의 생산 온도를 증가시키는 것이다. 높은 생산 온도는 포설온도를 증가시킬 것이고, 다른 모든 변수들은 똑같이 유지하며 아스팔트 혼합물이 80℃까지 떨어질 때까지의 시간을 증가시킬 것이다. 온도가 증가하면 아스팔트 바인더의 노화와 흡수가 증가하기 때문에 아스팔트 혼합물 온도를 높이는 것은 신중히 결정해야 한다. 그러나 불리한 환경조건 하에서나 얇은 층 두께를 가지는 아스팔트 혼합물의 경우에는 아스팔트 혼합물의 온도를 올리는 것만으로는 다짐을 위한 적절한 시간을 확보하기가 어려울 수도 있다. 그림 34는 온도 저하에 영향을 주는 요인들과 온도 저하 시간의 관계를 보여준다.

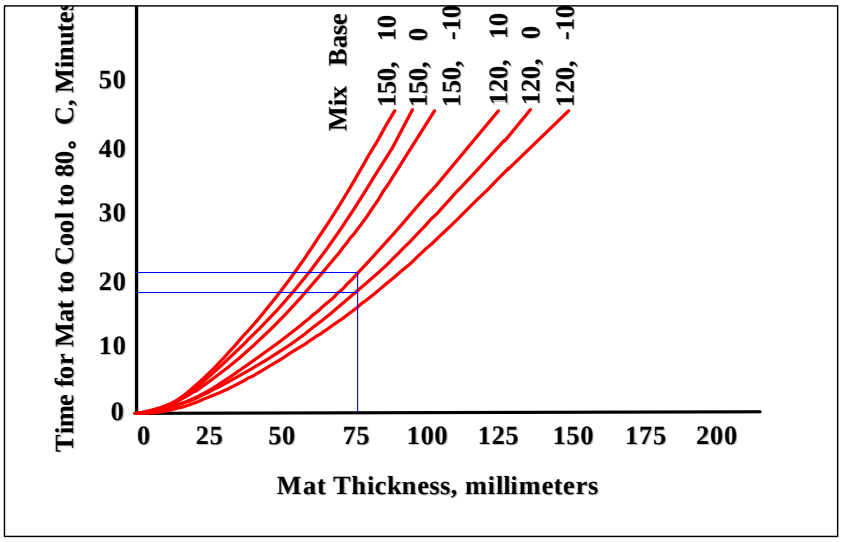


그림 34. 포설온도 및 두께, 하부 층의 온도에 따른 다짐 허용시간

아스팔트 혼합물의 온도가 너무 높으면 아스팔트 혼합물은 다짐장비 아래에서 너무 부드러울 수도 있고, 연기나 다른 화학물질들의 배출문제를 야기 시킬 수 있다. 이러한 경우는 다짐 작업을 시작하기 전에 혼합물의 온도를 식혀야 한다. 따라서 온도 증가에 대한 상한선이 있어야 한다.

다짐효율(compaction effort)은 단순히 더 많은 롤러를 사용함으로서 증가될 수 있다. 또한 좁고 가벼운 장비 대신 넓고 무거운 장비로 대체할 수 있다. 필요한 다짐정도를 얻기 위한 또 다른 방법은 다짐 장비를 더욱 효과적으로 사용하는 것이다. 포설되는 폭과 롤러의 폭에 따라 롤러는 꼬리를 물고 있는 것을 대신하여 평행하게 위치될 수도 있다. 이러한 방법으로 작업하는 롤러는 기존의 방법으로 작업하는 롤러보다 더욱 빨리 주어진 구간을 처리할 수 있다. 또한 아스팔트 포장 면이 80℃까지 떨어지기 전에 더 많은 다짐력이 작용할 수 있으므로 밀도는 증가할 것이다. 본질적으로 이 방법은 한 대의 초기 다짐 롤러와 한 대의 중간 다짐 롤러를 대신해서 두 대의 초기 다짐 롤러가 필요하다. 하지만 필요한 밀도를 얻기 위해서는 중간다짐 롤러가 여전히 필요할 수도 있다. 롤러 속도를 증가시키는 것은 다짐을 향상시키는 좋은 방법은 아니다. 빠른 속도로 두 번 다짐하는 것이 절반의 속도로 한번 다짐하는 것보다 덜 효과적이다.

만약 진동롤러와 타이어롤러와 같이 두 가지의 다른 종류나 크기의 롤러가 같이 편성되어서 사용된다면, 각각의 롤러가 모든 포장 면을 커버해야 된다는 것은 중요하다. 이것은 이 롤러들이 다른 패턴과 통과 횟수로 서로 교차하면서 작업한다는 것을 의미한다. 또한 하나의 롤러가 세로 이음부를 다짐하고 있다면 이것은 각각의 다짐 장비의 패턴을 정하는 과정에서 고려되어야 한다. 모든 롤러가 페이버의 속도를 따라갈 수 있어야 한다는 것과, 필요한 다짐도(level of compaction)가 포장의 폭을 따라서 균일하게 얻어졌다는 것을 증명하기 위해서 밀도를 측정해야 한다는 것은 매우 중요하다. 밀도를 증가시키기 위해서 사용되어서는 안 되는 한 가지 방법은 아스팔트 혼합물의 아스팔트 바인더의 함량을 자주 증가시키는 것이다. 아스팔트 바인더 함량의 증가는 아스팔트 혼합물의 작업성을 증가시키지만 배합설계의 목적과 맞지 않을 뿐만 아니라 소성변형이나 shoving과 같은 장기 공용성 문제와 연관된다. 아스팔트 포장의 다짐에 사용되는 롤러 장비는 포설된 아스팔트 혼합물의 체적을 감소시켜 규정된 공극률 또는 밀도가 얻어질 때까지 다짐 에너지를 제공하는데 사용된다. 이러한 다짐 과정에는 다음의 목적을 위해 2개 또는 그 이상의 롤러 장비가 투입된다.

① 기준을 만족하는 공극률 또는 밀도를 얻는다.
② 포장 표면의 평탄성을 제공한다.

이러한 두 가지 목적은 1차 다짐롤러(breakdown)및 중간(intermediate)롤러를 사용해 소요 밀도를 얻고 마무리롤러를 사용해 롤러 자국을 제거함으로서 달성된다. 압착 및 중간 롤러는 페이버의 속력이나 압착 롤러의 성능에 따라 한 대 이상이 사용된다. 1차 다짐롤러 만에 의해 소정의 밀도가 얻어진다면, 중간 롤러는 필요치 않다. 마무리 전압 롤러는 항상 필요하다.



그림 35. Tandem Steel Roller

다짐은 언제나 접지 압이 가해진 결과로 나타난다. 골재 입자들이 서로 밀착됨에 따라 골재끼리 접하는 부분이 증가하게 된다. 따라서 다짐은 롤러, 하부지지층, 둘러싸인 혼합물 입자들로 구속될 때 일어나게 된다. 충분한 구속력이 없을 경우에는 연직 방향의

다짐은 일어나지 않고 혼합물이 수평방향으로 밀릴 수 있다. 밀도가 감소할 수 있는 가능성을 고려해 다짐방식을 결정해야 한다. 혼합물의 온도가 떨어지고, 골재끼리 접하는 부분이 증가함에 따라 다짐에 대한 저항이 커지게 된다. 이러한 과정은 더 이상의 밀도 증가가 일어나지 않을 때까지 지속된다. 이러한 한계(refusal) 밀도 값에 이르게 되면, 혼합물의 내부저항은 다짐에 의한 접지압력과 같거나 커지게 된다. 한계 밀도 값이 시방기준밀도에 미치지 못한다면, 다짐압력을 높여야 한다. 현장밀도를 높이기 위하여 혼합물의 배합설계를 변경하는 착오를 포장현장에서 볼 수 있다. 일반적으로 현장밀도를 증가시킬 목적으로 혼합물의 배합설계를 변경해서는 안 된다. 롤러의 접지 압을 변경시킬 수 있을 때 시방밀도를 얻을 수 있는 가능성은 증대된다.

접지 압을 증가시킬 수 있는 방법들은 다음과 같다.

① 밸러스트(ballast)무게를 증가시킴(철륜롤러, 타이어롤러)
② 타이어압을 증가시킴(타이어롤러)
③ 진동력의 크기를 증가시킴(진동롤러)



그림 36. 타이어롤러



그림 37. 진동 철륜롤러

1차 다짐롤러는 새로 포장되는 아스팔트 혼합물을 가장 먼저 전압 하는 것으로, 일반적으로 철륜롤러가 사용되나 타이어 롤러도 사용될 수 있다. 철륜롤러는 정하중 및 동하중을 줄 수 있는데, 어느 것이든 구동륜(驅動輪)이 먼저 혼합물을 다져야 한다. 이는 구동륜으로 느슨한 아스팔트 혼합물을 다지기 위한 것이다. 구동륜이 아닌 철륜으로 처

음 포설된 아스팔트 혼합물을 다지는 경우에는 수평방향으로 밀리거나 롤러가 후진한 후에는 철륜 바로 앞쪽의 혼합물이 융기되는 현상이 발생하는 경향이 있다. 이와 같은 방법으로 다질 경우에는 미세한 균열이 발생할 수도 있다. 타이어롤러도 압착롤러로 사용될 수 있지만 마무리 다짐 시 롤러자국을 없애기가 어려운 경우가 종종 있다. 가열 아스팔트 혼합물은 또한 고무타이어에 달라붙기 쉬우며 이때 표면에 결함이 생기게 된다. 따라서 타이어롤러는 중간다짐용으로 가장 널리 사용된다. 마무리 다짐에는 철륜롤러가 사용된다.

(다) 다짐 롤러의 운행을 위한 품질관리 항목

모든 종류의 롤러에 있어서 다짐 과정 중에 통제될 수 있는 주요한 다짐 변수들은 롤러 속도, 롤러 통과횟수, 다짐구간, 다짐패턴이다. 또한 진동롤러의 운행방향이나 운행모드는 다짐기술자의 통제 하에 있다. 이러한 각각의 요소들은 다짐 작업 후에 얻어지는 밀도에 영향을 미친다.

① 롤러 속도

롤러가 특정지점을 빠른 속도로 통과할수록 롤러의 하중이 그 지점에 머무는 시간은 줄어든다. 즉 아스팔트 혼합물에 작용하는 다짐이 줄어든다. 롤러 속도가 증가할수록 각 롤러 통과로 증가되는 밀도의 양은 줄어든다. 롤러속도는 페이버 속도, 층 두께, 롤러의 위치 등 요소들의 조합으로 정해진다.

철륜롤러는 3~9km/h의 속도로 작업할 수 있고, 타이어롤러는 3~11km/h, 진동롤러 3~6km/h의 속도로 작업할 수 있다. 초기다짐에서는 각 롤러는 각자의 속도범위의 가장 낮은 속도로 작업해야 한다. 중반다짐에서는 롤러의 속도는 보통 속도범위의 중간 정도의 속도로 작업한다. 마무리 다짐에서는 거의 최고속도에 가까운 속도로 작업한다. <표 8>은 세 가지 종류의 롤러와 세 가지 다른 위치에서의 롤러속도의 범위를 보여준다. 롤러는 여기의 값보다 훨씬 빨리 혹은 느리게 작업할 수도 있지만 다짐의 정도는 가장 늦은 속도에서 훨씬 크다.

<표 8.> 롤러 속도의 범위(mph)

롤러의 종류	작업 위치(operating position)		
	초기다짐	중간다짐	마무리 다짐
Static steel wheel	2-3½	2½-4	3-5
Pneumatic	2-3½	2½-4	4-7
Vibratory	2-3	2½-3½	-

※ 1mph=1.6km/h

롤러 속도는 또한 아스팔트 혼합물의 가로방향 변위나 느슨한 정도에 영향을 받는다. 롤러 밑에서 아스팔트 혼합물이 과도하게 움직인다면 다짐장비의 속도를 줄여야 한다. 또한 롤러속도는 진동롤러의 충격간격에 영향을 미친다. 앞에서 설명하였듯이 이 간

격은 아스팔트 혼합물에 작용되는 동적 다짐에너지의 양을 조절하는데 중요할 뿐만 아니라 적절한 표면 평탄성을 얻는데도 중요하다.

롤러 속도는 보통 페이버의 속도에 의해서 정해진다. 페이버와 롤러의 거리가 너무 자주 벌어진다면 롤러는 따라잡기 위해서 속도를 높일 것이고 이것은 밀도를 낮추는 결과를 초래한다. 페이버 속도는 아스팔트 플랜트의 생산율에 맞춰서 정해져야 하고 일정하게 유지해야 한다. 그 다음으로 각각의 롤러에 대한 속도가 페이버의 속도와 통과횟수에 의해서 결정되어야 한다. 롤러 속도의 변화는 밀도의 변화를 야기한다. '천천히 그리고 일정하게'는 적절한 다짐을 위한 포인트이다. 먼저, 페이버의 속도는 아스팔트 플랜트와 롤러의 작업 속도를 맞추기 위해서 느려질 수 있다. 페이버는 운반 트럭을 맞추기 위해서 너무 자주 급하게 운행되거나 멈춰서 기다리기도 한다. 만약 아스팔트 플랜트 생산능력이 지속적으로 높은 페이버의 속도를 필요로 한다면 적절한 밀도를 얻기 위해서는 추가적인 롤러가 필요하다. 또한 폭이 넓은 롤러가 사용될 수도 있다. 예를 들어, 2.1m의 진동롤러는 1.4m의 탠덤롤러를 대체해서 사용할 수 있다. 롤러의 종류는 별문제 없이 바꿀 수 있다. 예를 들어, 이중드럼 진동롤러는 단일드럼 진동롤러나 철륜롤러를 대신해서 사용될 수 있다. 초기다짐 롤러와 중반다짐 롤러는 페이버가 트럭을 기다리기 위해 멈출 때마다 롤러 패턴이 마무리되지 않았음에도 불구하고 멈추기도 한다. 다음 트럭이 도착하고 페이버가 다시 운행하기 시작하면 롤러도 역시 다시 움직이고 다짐을 마무리 한다. 그러나 롤러의 작업이 더디다면 혼합물은 식을 것이고 따라서 여기서 얻어진 밀도는 주변에서 얻어진 밀도보다 적게 나올 것이다. 따라서 롤러는 정해진 패턴이나 통과횟수가 완료될 때까지 다짐을 계속해야 한다.

② 롤러의 통과횟수

규정된 공극률과 균질한 밀도를 얻기 위해서는 정해진 횟수만큼의 다짐이 이루어져야 한다. 롤러의 통과횟수는 가장 중요한 다짐 장비의 종류를 포함한 여러 변수들에 의해서 정해진다. 3륜 철륜롤러, 탄뎀철륜롤러, 고무 타이어롤러, 그리고 단일드럼 또는 이중드럼 진동롤러 모두는 서로 다른 작업능력을 가진다. 동시에 각 롤러들의 작업능력은 포장두께, 아스팔트 혼합물 온도, 아스팔트 혼합물의 특성(아스팔트 함량, 골재 특성 등) 및 환경 조건 등에 의해 달라진다. 마지막으로, 정해진 통과횟수는 롤러 배열에서의 롤러의 위치에 따라 달라진다.

적절한 밀도를 얻기 위해 필요한 롤러의 통과횟수를 결정하기 위해서는 한번 이상의 시험포장이 선행되어야 한다. 가능한 효율적으로 정해진 밀도를 얻을 수 있는 최적의 조합을 결정하기 위해서 다양한 롤러 조합과 롤러 패턴이 시도되어야 한다. 과거에 많은 시공경험이 있는 혼합물이 아니라면, 단 한 번의 시도로 가장 경제적인 다짐 방법을 결정하는 경우는 거의 없다. 그림 38은 현장 밀도 측정을 통한 다짐 방식의 설정 방법을 나타내었다.

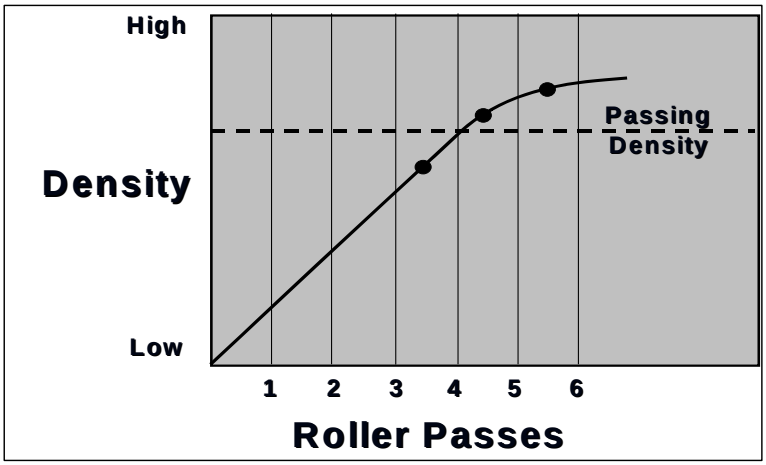


그림 38. 다짐통과 횟수의 설정 방안

롤러는 포장면의 폭이나 길이방향으로 균일하게 분포하도록 통과해야 한다. 보통 페이버 진행라인의 중심부(1차로 도로의 차량 바퀴의 접지부분 사이의 부분)는 적절한 롤러 다짐이 되지만, 포장면의 가장자리는 다짐이 덜 이루어진다. 뒤의 롤러 패턴 부분에서 논의되겠지만, 포장면의 전체 폭을 균일하게 롤러가 통과하는 것은 롤러의 통과횟수 만큼이나 중요하다. 최근에는 현장 밀도 측정기의 보급에 따라 현장에서 다짐 공정별로 밀도를 측정하고 이를 바탕으로 통과 횟수를 변화시키는 방법을 사용하고 있다(2003, NHI).

③ 다짐 구역(rolling zone)

다짐은 롤러 작업 중에 골재사이의 재배열이 가능하도록 아스팔트 바인더의 점성과 아스팔트 혼합물의 굳기가 충분히 낮을 때 이루어져야 한다. 즉, 포장 면은 효과적인 다짐을 위해서 충분히 뜨거워야 한다. 앞에서 논의된 것과 같이, 일반적으로 통용되는 적절한 수준의 공극률은 포장이 포설 온도로부터 80℃까지 떨어지기 전에 얻어져야 한다는 것이다.

정해진 밀도를 매우 빨리 얻기 위해서 초기다짐은 포설장비 바로 뒤에서 이루어져야 한다. 아스팔트 혼합물이 충분히 안정적이라면 초기다짐은 페이버와 매우 근접해서 포장면의 온도가 여전히 높을 때 수행될 수 있다. 혼합물의 온도가 110℃일 때보다 120℃일 때의 다짐이 더 높은 밀도를 얻을 수 있다. 따라서 다짐구역의 앞부분은 가능한 한 페이버의 뒷부분과 근접해야 한다. 일반적으로 페이버와의 간격은 15m, 단위 다짐 구역은 75m 정도로 설정할 것을 제시하고 있다(2003, NHI). 이는 각 현장별로 다짐의 영향요소를 고려하여 최적 방안을 마련하여 다짐 방법을 수립해야 한다.

때로는 너무 부드러운 혼합물(tender mix)이 포설될 때, 초기다짐은 롤러에 의한 아스팔트 혼합물의 과도한 밀림을 방지하기 위해서 지연된다. 아스팔트 혼합물의 특성에 따라 다르지만, 적절한 롤러의 조합과 다짐이 적용된다면 규정된 밀도는 얻어질 수 있다. 그러나 어떤 경우에는 아스팔트 혼합물이 너무 연해서 다짐이 지연되어야 하기도 한다. 이런 경우, 다른 해결방법이 시도되어야 한다. 연한 아스팔트 혼합물이 있을 때에는 그 원인을 찾아내야 하고 또한 적절한 밀도를 얻기 위해서 아스팔트 혼합물 생산이나 포설

과정상에서 변화를 주어야 한다.

④ 다짐 패턴

롤러는 항상 운행 중이어야 한다. 문제는 롤러가 제대로 그리고 효과적으로 운행을 하는가이다. 다짐은 종종 정확한 위치에서 운행되지 않는 경우가 많다. 다짐에 관한 수많은 연구에서 일반적으로 페이버가 통과하는 폭의 중간부분의 포장이 가장자리에서보다 훨씬 많은 다짐을 받는다고 한다. 그러나 불행히도 차량은 도로 폭의 중간부분보다 가장자리 근처를 더 많이 통과한다. 포장면의 가장자리에서의 롤러 통과횟수가 기준을 맞추기에 적당하다면 포장 면 중간부분의 밀도는 항상 기준치보다 높을 것이다. 따라서 다짐 패턴은 전체 포장 폭의 적당하고 균질한 다짐이 확보되도록 계획되어야 한다. 포장면의 모든 횡단면을 커버하는 데 필요한 통과횟수를 결정하기 위해서, 포장면의 폭은 다짐 드럼의 폭에 의해서 나누어져야 한다. 한 번의 통과란 한쪽 방향으로 롤러의 한 번의 이동을 말한다. 정해진 밀도까지 포장 표면의 모든 면을 완전하게 다짐하기 위해서는 다수의 통과횟수가 필요로 한다.

롤러 드럼의 폭이 2.1m이면, 3.7m 폭의 포장 면과 포장의 가장자리 바깥부분 150mm를 커버하기 위해서는 두 번의 통과횟수가 필요하다. 또한 중간부분 약 300mm의 폭을 중복해서 통과한다. 롤러 운전자가 항상 포장 면 가장자리의 150mm 부분을 유지할 수 없다고 하더라도 중간부분의 300mm의 중복되는 부분 때문에 전체 포장 폭을 다짐하기 위해서 두 번의 통과횟수로 충분하다. 1.8m 폭의 롤러는 3.7m 폭의 포장 폭을 두 번의 통과횟수로 커버할 수는 없다. 두 번의 통과로는 가장자리의 돌출부나 중간부분의 중첩되는 부분이 발생하지 않는다. 따라서 적절한 다짐을 위해서는 세 번의 통과횟수가 필요하다. 1.5m 폭의 드럼이나 타이어를 보유한 롤러는 1.8m 폭의 드럼을 가진 롤러와 마찬가지로 세 번의 통과횟수가 필요하다. 가장자리 돌출부를 150mm로 한다면 중간부분의 중복되는 부분은 300mm 정도가 될 것이다. 이 정도의 중첩은 롤러운전자의 운전상의 오차를 커버할 수 있고 3.7m 폭의 포장 면을 완전히 다짐하기에 충분하다. 1.4m 폭의 롤러는 3.7m의 포장 폭을 완전히 다짐하기 위해서는 네 번의 통과횟수가 필요하다. 세 번의 통과횟수로 다짐을 한다면, 가장자리 돌출부를 150mm로 할 때 중간부분의 중첩되는 부분이 75mm 밖에 안 되기 때문에 균질한 다짐을 확보하기에 부족하다. 따라서 네 번의 통과횟수가 필요하다.

롤러는 각각의 통과횟수마다 발생하는 가로 이음부의 같은 지점에서 멈춰 서서는 안 된다. 되돌아오는 지점에서는 혼합물의 밀림을 방지하기 위해서 롤러는 잠시 정지해야 한다. 되돌아오는 지점에서의 약간의 방향전환은 혼합물의 밀림을 방지하는데 도움이 된다. 롤러는 뜨거운 포장 면 위에서 대기하고 있으면 안 된다. 운반트럭의 지연이나 다짐장비에 물을 채우는 동안 발생하는 긴 대기시간 때문에 포장 면에는 움푹 꺼지는 현상이 발생한다. 이러한 현상은 일단 포장 면이 식으면 복구할 수가 없다. 따라서 작업 지체 시에는 모든 롤러는 길어깨나 식은 포장면의 가장자리 부분에서 대기해야 한다.

다짐 시방규정에서는 다짐 작업을 포장면의 낮은 위치에서 높은 위치방향으로 진행하도록 규정하고 있다. 하지만 최근의 다짐장비나 더욱 안정된 아스팔트 혼합물 덕분에 이러한 규정은 더 이상 필요가 없을 것이다. 그러나 경사진 부분에서나 최대골재입경 때문에 두꺼운 포장 층을 다짐할 때에는 타당한 방법일 것이다. 또한 몇몇 예전 시방규정

에서는 이전 통과 폭의 절반이상을 중첩해서 다짐할 것을 규정하기도 하였다. 그러나 이러한 방법은 오히려 균질하지 않은 다짐이 되게 하고 특히 가장자리 부분의 밀도가 매우 부족하게 되는 경향이 있다. 최근의 표준 방법은 최소 150mm의 중첩되는 부분만 요구한다.

(라) 다짐 패턴의 결정

아스팔트 혼합물의 종류에 따라 매우 다양한 다짐작업이 필요하고 따라서 다양한 장비와 다짐방법이 사용된다. 또한 예를 들어 굵은 골재를 사용한 아스팔트 혼합물의 규정된 밀도를 얻기 위해서는 가는 골재를 포함한 아스팔트 혼합물의 다짐에 사용된 것과는 다른 장비나 장비의 조합이 필요로 할 것이다. 앞에서 설명하였듯이, 다짐 패턴은 초기단계에서 하나이상의 시험포장을 통해 결정되어야 한다. 시험포장은 최종 포장의 일부로 포함될 수 있는 위치에서 행해져야 한다. 아스팔트 혼합물은 전체 재료를 대표할 수 있어야 하고 층 두께는 최종 두께와 동일해야 하며, 최소길이는 100m 이상이어야 한다. 또한 바닥면의 상태도 전체를 대표할 수 있어야 한다.

이전 공사에서 사용된 롤러의 조합이 새로운 공사에서는 비용 면에서 가장 최적이 아닐 수도 있고 여러 가지 변수들에 효과적으로 대처하지 못할 수도 있다. 일반적으로 진동롤러가 초기다짐을 위해서 그리고 공기타이어 롤러가 중간다짐을 위해서 사용되지만, 몇몇 단단한 혼합물의 경우에는 초기다짐에 큰 공기타이어 롤러를 사용하고 그리고 중간다짐을 위해서 진동롤러를 사용할 때 훨씬 적은 통과횟수로 더 큰 밀도를 얻기도 한다. 큰 타이어 롤러가 1차다짐 롤러로 사용된다면, 일반적으로 현장밀도측정기를 사용하여 최종 밀도를 계산하기가 어렵다. 왜냐하면 처음 서너 번의 통과 후에 포장면의 표면이 울퉁불퉁하기 때문이다. 현장밀도측정기는 중간다짐용 철륜, 진동, 또는 무진동롤러로 작업한 후의 평평해진 후에 사용되어야 한다.

아스팔트 혼합물이 뜨거울 때 정해진 밀도를 얻기가 훨씬 쉽다. 앞서 설명하였듯이, 전형적인 롤러 조합을 사용하기 전에 두 대의 초기다짐용 롤러의 사용을 고려해야 한다. 이 방법은 악조건 하에서 얇은 포장 면을 다짐할 때 유리하다.

두 대의 초기다짐 롤러는 나란히 동시에 작업함으로서 다짐을 더 빨리 할 수 있다. 롤러의 폭이나 포장면의 폭에 따라 다르지만 이 방법은 완전한 다짐을 매우 빨리 달성할 수 있다. 두 대의 다른 롤러가 나란히 작업을 할 때 중요한 것은 각각의 롤러가 한 차로를 완전히 커버할 수 있어야 한다는 것이다. 두 대의 롤러는 서로 앞서거니 뒤서거니 하면서 나아가야 할 것이다. 이것은 약간의 연습을 통해서 쉽게 익힐 수 있다. 다시 한 번 말하자면, 두 대의 롤러를 초기다짐에 사용하는 이유는 포장 면이 식기 전에 효과적인 다짐을 하기 위함이다.

① 다짐 패턴의 계산

최적의 다짐 패턴을 결정하기 위해 필요한 첫 번째 단계는 아스팔트 플랜트에서 생산되는 아스팔트 혼합물의 양과 포장될 차로의 폭, 그리고 포장두께를 바탕으로 페이버의 속도를 계산하는 것이다. 평균 페이버의 속도가 정해지면 롤러의 최고 속도가 정해질 것이다. 각각의 롤러에 대해 속도는 롤러의 종류나 폭, 그리고 다짐 순서에서의 위치에 따라 달라질 것이다. 또한 밀도와 평탄성, 그리고 균질한 포장 면을 만들기 위해 균형을

맞추는 롤러의 능력에 따라 달라진다. 두 번째 단계는 포설되는 폭과 롤러의 폭을 비교하여 전체 포장면의 폭을 커버하기 위해 필요한 롤러의 가로방향 차로수를 결정하는 것이다. 통과횟수는 반드시 페이버의 속도와 매치되어야 한다. 페이버의 속도, 롤러의 속도, 그리고 전체 폭을 커버하기 위한 롤러의 가로방향 차로수를 알고 있다면 각 롤러의 통과횟수를 결정할 수 있다.

롤러의 통과횟수는 매우 많은 변수에 영향을 받는다. 이중에서 가장 중요한 것은 포장 층에서 요구되는 밀도의 값이다. 실험실 밀도나 이론최대밀도의 정해진 %까지의 밀도가 요구된다면, 요구되는 밀도의 %가 높을수록 포장 층에 가해지는 다짐의 양은 더 커져야 할 것이다. 초기다짐에 사용되는 롤러의 종류도 또한 매우 중요하다. 어떤 조건하에서는 아스팔트 혼합물의 특성에 따라 다르지만, 하나의 진동롤러만으로 필요한 밀도를 얻을 수도 있다. 또 다른 경우로, 아스팔트 혼합물이 너무 부드러워서(tender) 롤러바퀴 밑에서 미세한 균열(checking)이 발생한다면 필요한 밀도를 얻기 위해 서너 번의 고무타이어롤러의 통과가 필요할 수도 있다. 보통 고무 타이어롤러가 사용될 때 롤러자국을 지우기 위해 무진동 철륜롤러의 한 번 이상의 통과가 필요로 한다. 다수의 변수들이 관여되기 때문에 모든 경우에 이용 가능한 최적의 롤러 조합이나 다짐 패턴을 일반화하는 것은 불가능하다.

국내 대부분의 시공회사들의 공사에서 변수들에 대한 고려 없이 항상 같은 통과횟수와 다짐패턴을 가지고 같은 롤러를 사용하여 작업하기도 한다. 즉, 포장 층의 두께가 얇거나 두껍거나, 또는 뜨거운 여름철이거나 추운 봄이나 겨울철이거나, 또는 단단한 지반이거나 연약지반이거나, 또는 단단한 아스팔트 혼합물이거나 연한 아스팔트 혼합물이거나에 관계없이 똑 같은 다짐을 실시한다. 그러나 앞에서도 언급하였듯이 아스팔트 혼합물의 종류나 공사의 조건에 따라 같은 밀도를 얻기 위해서는 서로 다는 다짐을 하여야만 한다.

② 밀도 체크(monitoring density)

롤러 통과에 따른 밀도의 변화를 체크하기 위한 가장 일반적인 방법은 그림 39와 그림 40에서 보듯이 미국에서 보편적으로 사용되는 방사능 물질을 이용한 현장밀도 측정장치를 이용하는 장면이다. 아스팔트 혼합물의 밀도는 장비에서 보내진 감마선(gamma ray)이 정해진 시간 내에 장비로 반사되는 양을 측정함으로서 구할 수 있다. 얻어진 데이터는 포장 층의 상대밀도와 연관된다. 이 장비에 의한 현장에서의 밀도측정은 각 롤러가 한번 통과할 때마다 실시되어야 하며 각각의 통과후의 밀도의 증가율을 계산하여야 한다. 롤러의 통과로 인한 밀도의 증가가 거의 없을 때의 값이 보통 최대상대밀도로 정해진다.

초기다짐에서 고무 타이어롤러가 사용될 때 일반적으로 방사능 게이지를 사용하여 정확한 밀도를 측정하는 것은 어렵다. 따라서 현장밀도 측정 장치로 정확한 밀도의 측정을 위해서는 한번 이상의 철륜롤러의 통과가 필요하다.

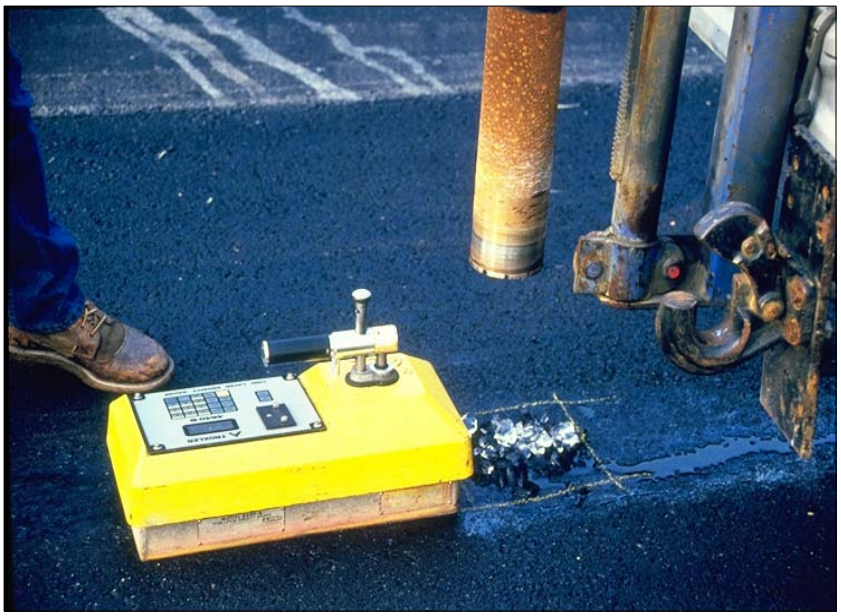


그림 39. 밀도 측정을 위한 방사능 게이지

현장밀도 측정 장치로 구한 밀도 값은 상대적이므로 일반적으로 포장 층에서 채취하여 만든 코어로부터 구한 밀도 값과는 같지 않을 수도 있다. 따라서 다짐 작업이 끝난 후에 Nuclear gauge로 측정한 현장 밀도 값과 코어로부터 구한 포장의 실제 단위중량 사이의 상관관계를 찾아내어야 한다. 정해진 밀도로 다짐되었는지를 판단하기 위해서 실제 단위중량은 아스팔트 혼합물의 이론최대밀도와 비교되어야 한다.

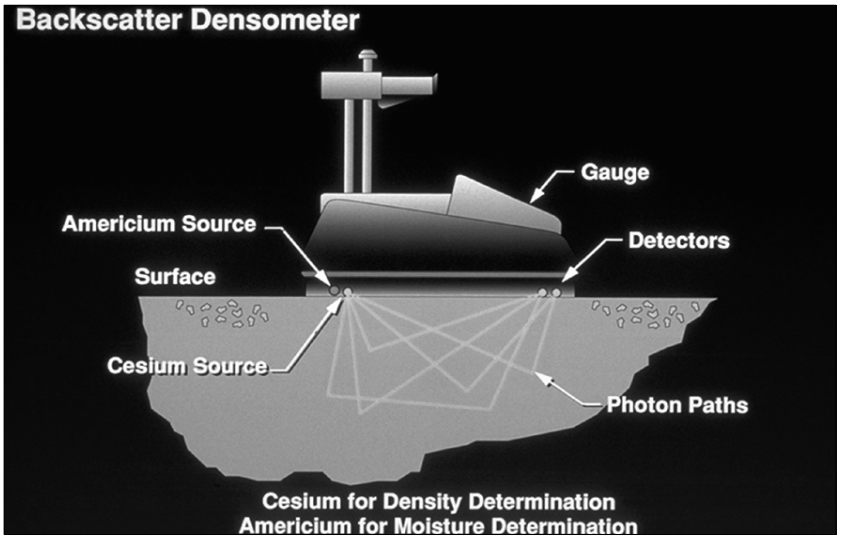


그림 40. Nuclear gauge 밀도측정 장치의 개요도

현장밀도 측정 장치의 종류에 따라 측정되는 값이 다르기 때문에 하나의 공사를 위해서는 한가지의 게이지만 사용되어야 한다. 하나 이상의 게이지가 사용된다면 각각의 게이지는 측정되는 밀도를 정확히 체크하기 위해서 코어밀도와 상관관계를 가져야 한다. 아스팔트 혼합물의 배합설계에서나, 다짐되는 층 두께에서, 또는 지반의 조건에서의 중요

한 변화가 있을 때에는 그때마다 새로운 상관관계를 찾아야 한다.

보통 현장밀도 측정 장치는 공사초기에 수행되는 시험포장에서의 코어를 채취함으로써 단위중량과 상관관계를 가지게 된다. 코어채취는 무작위로 선택되지만 10군데 정도가 일반적이다. 선택된 각 지점의 상부에서 다중밀도측정(multiple density reading)이 실시되고 그 다음에 코어를 채취하여 밀도를 측정한다. 그 다음으로, 한 축에는 각 지점의 평균 게이지 밀도 값을 표시되고 다른 축에는 그에 상응하는 코어의 밀도 값을 표시한 그래프를 작성한다. 마지막으로 데이터에 가장 근접한 회귀선을 찾아낸다. 나중에 밀도를 체크하기 위해서 방사능 게이지가 사용될 때 이 회귀선을 이용하여 코어밀도로 변환시킬 수 있다.

몇몇 기술자들은 상관관계를 구하기 위해서 평균 방사능 밀도를 계산하고 이를 평균 코어밀도와 비교하여 구하기도 한다. 즉, 그들은 두 가지 방법(회귀선을 이용한 방법과 평균값을 이용한 방법)사이에는 일정한 차이가 있다고 가정한다. 하지만, 사실상 그 차이는 일정하지 않고 현장밀도 측정 장치에 따라 변화한다. 따라서 평균값을 이용하는 방법은 사용되어서는 안 된다.

(6) 아스팔트 포장면의 이음부 처리 (Joint Construction)

아스팔트 포장 시공 중에 발생하는 이음에는 두 가지 종류가 있다. 그 하나는 가로이음(transverse joint)인데, 이 이음은 아스팔트 포장 작업이 중지된 경우에 진행 방향에 직각 면으로 발생하는 일종의 시공 이음이다. 또한 세로 이음은 포장 장비(페이버+롤러)가 한 차선을 작업하고, 그 다음 옆 차선을 작업하는 경우에 발생하는 이음으로 주로 아스팔트 혼합물의 온도 강하와 다짐패턴의 부주의 그리고 아스팔트 혼합물의 재료분리 현상이 그 주요 원인이 된다.

다음의 주요 항목들은 이음부 시공 작업을 감독할 때 고려되어야 한다.

(가) 시공 마무리(butt) 가로 이음부를 시공할 때, 페이버 기사는 시공 이음부가 시공되는 위치의 아래 부분까지 스크리드 앞의 아스팔트 혼합물의 양을 일정하게 유지해야 한다. 가로 이음 윗부분의 층 두께 감소를 방지하기 위해서는, 이음 위치까지 페이버가 도달하기 전에 호퍼나 slat conveyor, 그리고 오거를 아스팔트 혼합물이 비어있는 채로 운행해서는 안 된다. 그림 42는 시공 마무리(butt) 가로 이음부를 나타낸 그림이다.

(나) 시공 마무리(butt) 가로 이음부를 시공할 때, 이음부에서 아스팔트 혼합물의 끝부분을 둥그스름하게 하지 않으면서 이전에 포설된 아스팔트 혼합물과 동일한 강도로 이음부와 인접하여 아스팔트 혼합물을 다짐해야 한다.

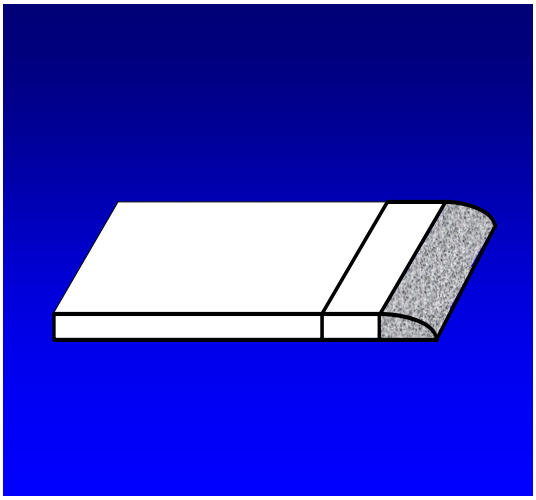


그림 41. 시공 마무리(butt) 가로 이음부



그림 42. 시공 마무리 가로 이음부에 택코트 살포 장면

(다) 경사진 끝단(tapered)의 가로 이음부의 시공시, 층 두께는 이음부의 수직면이 최종적으로 시공되는 지점까지 일정하게 유지되어야 한다. 경사진 끝단(tapered)에서 아스팔트 혼합물 밑에 사용되는 모래나 흙과 같은 접착방지 재료로는(bond-breaking) 접착방지용 (release) 종이를 사용해야 한다.



그림 43. 경사진 끝단(tapered) 가로이음부

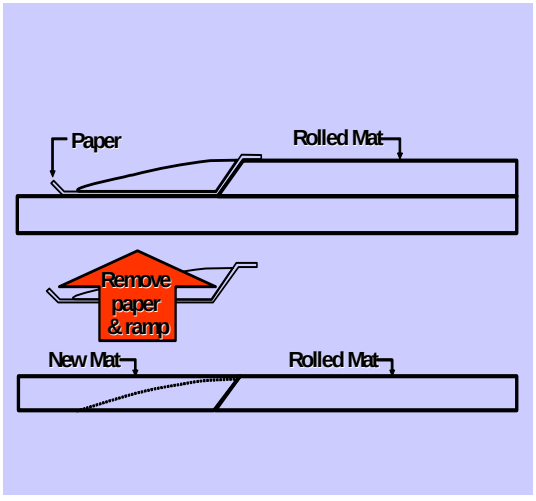


그림 44. 경사진 끝단(tapered) 가로 이음부의 시공

(라) 포설작업이 다시 재개될 때, 경사진 끝단(tapered)의 아스팔트 혼합물은 제거된 후 버려지거나 재활용되어야 한다. 수직면을 만들기 위해 기존 아스팔트 혼합물을 잘라내어야 한다. 그림 43과 같이 이음부의 기존 포장면에 택 코트를 해야 한다.

(마) 가로 이음의 아래 부분은 새로 포설되는 아스팔트 혼합물을 적절히 다짐하기 위해서 먼저 다짐된 부분보다 높아야 한다.

(바) 가로 이음의 시공에서 갈퀴질(raking)은 최소로 해야 한다.

(사) 가로 이음의 다짐은 가로방향으로 하는 것이 가장 이상적이다. 그러나 현실적인 이유와 안전상의 이유로, 새로운 아스팔트 혼합물의 초기 높이가 이음의 식은 부분의 기존 아스팔트 혼합물보다 높다는 조건하에서 세로방향으로 진행하는 롤러로 가로 이음부를 적절히 다짐할 수 있다.

(아) 세로 이음부에서 원하는 밀도를 얻기 위해서는, 첫 번째 차로의 구속되지 않은 가장자리를 적절하게 다짐하는 것이 필수적이다. 진동롤러나 무진동 철륜롤러의 드럼은 첫 번째 차로의 가장자리를 최소한 150mm 이상 겹쳐서 작업해야 한다.

(자) 세로 이음부를 시공하는 동안, 페이버의 끝부분(end gate)은 이전에 포설된 차로와 40mm이하로 겹쳐야 한다. 40mm 이상의 겹침은 아스팔트 혼합물이 너무 많이 쌓여서 이음부에서 갈퀴질을 해야 한다.

(차) 페이버 스크리드의 인접 차로와의 겹침이 40mm 이하라면, 세로 이음에서의 갈퀴질은 금지되거나 최소화해야 한다.

(카) 세로 이음부의 다짐은 식은 면과 약 150mm 정도로 겹치는 부분부터 다짐해야 한다. 이음의 뜨거운 부분에서의 초기 다짐이 이음부 안쪽에서 실시되는 것은 바람직하지 않다. 롤러의 첫 번째 통과는 이음부의 식은 부분을 약간 겹치면서 실시하는 것이 더욱 효과적이다.

일반적인 이음부 처리 사례는 그림 45를 참조한다.

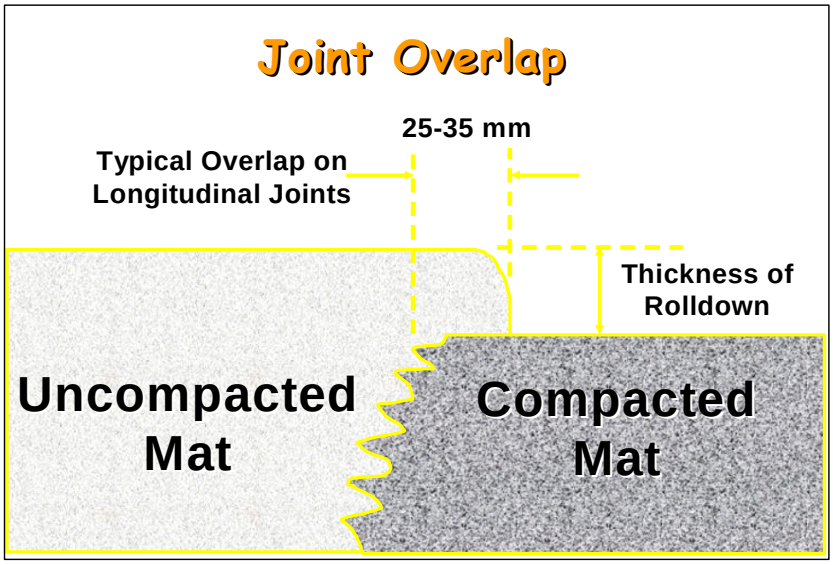


그림45. 일반적인 세로 이음부 처리 방법

(7) 시공 단계별 개선 사항

국내 아스팔트 도로포장의 품질확보를 위한 각 시공단계별 개선사항을 간략하게 요약하면 아래와 같다.

(가) 생산단계
① 아스팔트 포장용 규격골재의 생산시스템
② 산업부산물을 포함한 우수 도로용 골재 사용촉진(예, 전기로 슬래그)
③ 일반 및 개질아스팔트의 안정적 유통망 확보
④ 아스팔트 플랜트 생산 품질시스템 업그레이드
⑤ 아스팔트 플랜트 시험실 시설 및 시험 시 수준향상
⑥ 아스팔트 플랜트 수준별 평가시스템 구축
⑦ 아스팔트 혼합물 유통시장의 개편 및 단체수의계약제도 폐지
⑧ 아스팔트 혼합물의 품질확보를 위한 아스팔트 플랜트 업계의 자유경쟁체제 도입
⑨ 아스팔트 플랜트에서 날마다 이론최대밀도를 계산하여 공극율 계산과 기준밀도 (이 경우는 92% 이상의 다짐도 확보)로의 사용을 검토할 것

(나) 운송단계
① 트럭 운전자, 페이버 운전자, 롤러 운전자를 포함한 아스팔트 플랜트 시험사, 아스팔트 플렌트 오퍼레이터에 대한 아스팔트 혼합물 품질 교육실시
② 운송트럭, 페이버, 롤러에 경유 사용금지, 그에 따른 대체 접착 방지제를 국내에서 생산할 수 있는 시스템 구축
③ 아스팔트 혼합물 운송트럭의 자동 덮게 사용금지 및 아스팔트 혼합물 보온을 위한 품질지시사항 도입
④ 골재분리 및 온도편차에 의한 분리 현상 방지를 위한 시스템 도입

(다) 포설단계
① 페이버 운전자에 대한 아스팔트 혼합물 품질교육 실시
② 세로 및 가로 이음부 균열 최소화를 위한 시공방법 도입
③ Echelon 포장공법을 포함한 새로운 포설장비 도입 및 사업화 추진
④ 확폭페이버, MTV를 포함한 다양한 시공기술 연구 및 개발
⑤ 중·대형 포장업자 발굴 및 특수포장 전문 업체 발굴 및 지원

(라) 다짐단계
① 현장밀도 측정 장치의 적극적 활용(예, 미국 Troxler의 Pave Tracker)
② 시험실에서의 기준밀도 매일 측정 후 같은 날짜에 시공한 현장 코어밀도와 비교하여 현장다짐도 계산
③ 시험포장을 확실히 실시하여 정형화 된 다짐장비와 다짐횟수의 사용을 지양하고, 현장상황에 맞는 다짐도 확보 계획 마련
④ 가능하면 1차 다짐에 탄뎀롤러를 진동으로 사용하여 전압초기에 충분한 밀도 확보 할 수 있도록 배려(특히 야간공사나 동절기 공사에 활용가능)

(8) 아스팔트 포장 시공시 준수 사항

아스팔트 포장의 우수한 평탄성을 확보하기 위해 건설 현장에서 지켜야할 기본적인 준수사항을 정리하면 아래와 같다.

(가) 골재의 입형(shape), 입도, 최대치수와 아스팔트의 최적함량과 등급 그리고 생산된 아스팔트 혼합물의 잔존수분(residual moisture)과 같은 항목들이 아스팔트 포장의 포설과 다짐에 많은 영향을 미치는 것을 인식해야 한다. 포설작업에 종사하는 작업자에게 공급되는 아스팔트 혼합물은 항상 일정해야하며 시방규격에 적합한 것이어야 한다. 어떤 아스팔트 혼합물은 다지기 어려운 경우도 있고, 너무 부드러워 다짐작업의 진행이 힘든 경우도 있으므로 이런 현장에서 발생하는 배합설계에 관련된 문제들은 배합설계 전문 시험실이나 업체에 보내어 즉각적인 수정작업이 이루어질 수 있도록 해야 한다.

(나) 현장품질관리를 담당하는 부서는 정기적으로 포장현장을 방문하여야한다. 특히 현장에서는 배합설계의 과정에 관련된 사항들과 아스팔트 플랜트에서 발생할 수 있는 수정이나 변경사항에 대한 사항들을 제공하여야하며, 각 현장에서는 아스팔트 포장 체의 밀도와 온도측정을 위한 장비를 갖추어야한다. 정확한 다짐도 확보를 위하여 날마다 기준밀도 시료를 확보하여야 하며 현장의 교통특성과 혼합물의 특성을 고려한 실질적인 시험포장 결과를 고려한 롤러의 종류 및 진동여부 그리고 다짐횟수에 관한 사항을 알려주어야 한다.

(다) 아스팔트 혼합물은 페이버에 일정한 속도로 공급되어야한다. 페이버가 기다리는 시간을 최소화 할 수 있도록 아스팔트 플랜트의 생산 및 공급 속도와 페이버의 속도를 잘 조절하여야하며 페이버의 스크리드(인두판)가 포장 면에 닿는 부분에서 오래 머물러 포장 체에 침하가 발생하면 포장 면에 횡단으로 처짐(transverse depression)이 생기므로 주의하여야한다.

(라) 페이버는 항상 움직이고 있어야한다. 트럭은 페이버의 앞쪽에 정지해야만하며 가능하면 빨리 혼합물을 페이버로 이동시켜야한다. 이 작업동안에 트럭의 운전자는 브레이크를 밟지 않도록 해야 하며 페이버와 접촉 시 충격을 가하지 말아야한다. 이러한 충격으로 포장면에 스크리트 자국(screed mark)이 남겨질 수 있기 때문이다. 대도심지에서 주로 발생하는 야간공사나 동절기 공사 또는 바람의 영향을 많이 받는 광장이나 활주로 또는 교면포장의 시공 시에는 트럭과 페이버의 사이에 Material Transfer Vehicle(MTV)를 배치하여 아스팔트 혼합물의 골재분리와 부분적인 온도하강으로 인한 포장 체의 조기파손현상을 최소화하도록 배려한다.

(마) 스크리드의 앞쪽에 일정한 양의 아스팔트 혼합물(규정온도의)을 유지해야한다. 호퍼게이트(Hopper gate)를 수정할 때는 반드시 슬래트 컨베이어(slat conveyor)와 오거(auger) 그리고 페이버의 속도를 고려하여야한다.

(바) 가로 이음(transverse joint)의 수를 줄여야한다. 이음부의 숫자가 줄어들면 그만큼 도로사용자들에게 평탄성(승차감)이 우수한 포장을 제공할 수 있다. 이와 같이 포장작업 중에 가로 이음을 조심스럽게 처리하기 위해서는 시간적인 여유가 필요하다.

(사) 페이버의 자동조절(automatic control)장치는 자주 수정해서는 안 된다. 자동조절기능은 단지 스크리드의 작동을 위해서 평균적인 도로의 프로화일에 기준점(reference point)을 설정하기 위한 것이다. 이런 경우 가끔 약간의 부분에서 시방규정을 벗어 날 수도 있다. 만일 기준점이 설정된 후에 자동조절장치를 계속적으로 수정했다면 거칠거나 적당하지 않은 포장면이 생길 수도 있다.

(아) 정확한 다짐기술을 사용해야한다. 아스팔트 혼합물의 특성에 맞는 롤러의 종류와 댓수, 정확한 혼합물의 물량, 포설두께, 그리고 공급 및 포설 시의 온도 등이 결정되어야하며 시험포장을 통하여 다짐패턴을 결정하여야한다. 아스팔트 혼합물의 배합설계가 바뀌었거나 플랜트에서의 생산비율이 변하였거나 기온 또는 바람에 영향에 의한 체감온도의 변화가 있을 경우와 포장층 아래층의 조건이 변한 경우를 제외하고는 최초의 다짐패턴을 바꾸어서는 안 된다. 만일 위에서 열거한 조건이 발생한 경우에는 우선 포장층의 밀도를 확인해야하며(가능하면 현장밀도측정기를 활용) 필요에 따라 다짐패턴을 수정할 수 있다.

(자) 페이버와 롤러가 좋은 작동상태에 있는가를 확인하기 위하여 포설과 다짐과정 중에 발생할 수 있는 문제의 해결을 위한 예방적인 보수프로그램을 수립해야한다. 위에서 언급한 장비를 작동하는 운전자는 장비의 성능에 문제점이 있는 경우에 반드시 장비담당자에게 상황을 보고하여 조기에 이런 문제가 해결될 수 있도록 조치를 취하여야한다.

(9) 아스팔트 포장의 시공 단계별 품질관련 주요 이슈

(가) 석산 및 아스팔트 플랜트에서의 품질문제

- 개질 및 특수아스팔트 포장의 범용화로 고급 쇄석골재 요구증대
- 박리현장과 포트홀의 직접적인 원인제거를 위하여 골재의 세척시설 필요
- 아스팔트 혼합물 전용 “알골재” 시장의 필요성 대두
- 현재 진행 중인 석산 및 골재의 KS화가 반드시 필요함
- 아스팔트 혼합물의 품질확보와 플랜트 등급시스템의 필요성 대두
- 환경 친화적인 국제적인 수준의 아스팔트 플랜트 필요성 대두
- 국제적인 수준의 플랜트 시험실 시설보완 및 시험실직원의 교육시스템 구축

(나) 아스팔트 혼합물의 운송관련 품질문제

- 운송트럭 적재함의 아스팔트 혼합물의 온도보호 덮개 규정강화
- 적재함에 경유사용금지 및 새로운 접착 방지제 개발 및 규정수립
- 트럭운전자의 교육

- 아스팔트 혼합물의 분리현상 저감을 위한 MTV 활용 필요

(다) 아스팔트 혼합물의 포설관련
- 규정된 속도의 일관성 있는 작업이 가장 중요
- 세로 이음 균열 저감대책
- 페이버 운전자 교육 필수
- 가로 이음으로 인한 평탄성 문제 극복
- 골재분리로 인한 불균질한 포설면 극복을 위한 대책 필요
- 포설속도 증진과 평탄성확보를 위한 레이저 장비 활용

(라) 아스팔트 포장의 다짐작업 관련
- 실질적인 시험포장 결과의 도출
- 실질적인 다짐도 확보를 위한 시험실 제조 공시체의 기준밀도 매일측정
- 현장 밀도측정기를 활용한 현장 다짐도 추정기법 활용
- 기존의 맹목적인 다짐장비와 다짐횟수의 지양
- 1차다짐에 진동 탄뎀 활용법

제4절 연구결과

1. 혼합물 배합설계를 위한 배수성골재 입도연구결과

가. 19mm 배수성 입도분포

아래 표 9와 그림 46에 19mm 배수성골재의 입도분포에 관한 한 가지 사례를 제공한다. 하한과 상한입도의 평균입도를 사용하는 경우가 대부분이나 공극을 크게 하려면 평균입도보다는 낮고 하한입도보다는 큰 입도분포를 가져야 한다.

표 9. 19mm 입도 분포 선정

입자크기	하 한	상 한	평 균	선 정
26.500	100.000	100.00	100.000	**100.000**
19.000	95.000	100.00	100.000	**100.000**
13.200	64.000	84.000	76.730	**75.050**
9.500	28.000	60.000	39.070	**33.970**
4.750	10.000	31.000	21.590	**16.090**
2.360	10.000	20.000	17.240	**13.250**
0.600	8.000	16.000	11.600	**9.570**
0.300	6.000	13.000	9.150	**7.970**
0.150	4.000	10.000	6.570	**6.200**
0.075	3.000	7.000	5.280	**5.180**

입도분포가 결정되면 실제 배수성 아스콘 생산 시에 적용할 수 있도록 입도분포와 일치하는 합성입도를 계산하여야 한다. 이러한 합성입도는 고온저장소(hot bin)에서 각 저장소에 저장되는 골재입자의 입도를 알아야 합성입도를 계산하는 것이 가능하다. 표 10과 그림 47에는 표 9에서의 19mm 골재입도분포를 합성입도로 계산한 수치를 보여준다. 표 10에서 빨간 숫자는 각 빈에서의 골재입도크기를 대변하고 있다.

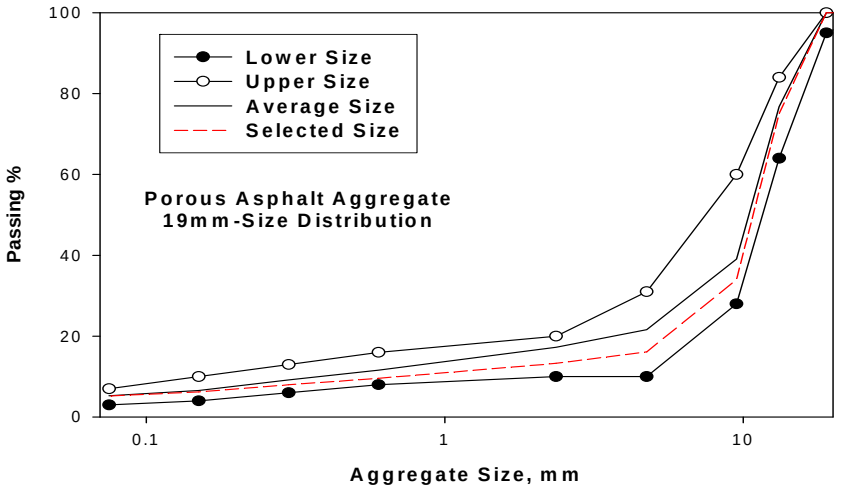


그림 46. 입도 크기와 투수성

표 10. 합성입도의 한 가지 사례

입도크기 mm	목표입도mm	19-13mm (45%)	13-6mm (42%)	6-0.075mm (8%)	채움재 (5%)
0.075	0.100	0.680	0.500	2.010	90.000
0.150	0.550	1.140	0.930	6.250	96.000
0.30	1.590	1.720	1.820	18.560	99.000
0.600	3.860	2.110	2.630	31.420	100.000
2.360	12.760	2.700	5.110	61.090	100.000
4.750	22.070	3.110	7.100	83.890	100.000
9.500	49.120	7.590	41.800	100.000	100.000
13.200	77.940	45.810	98.660	100.000	100.000
19.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000

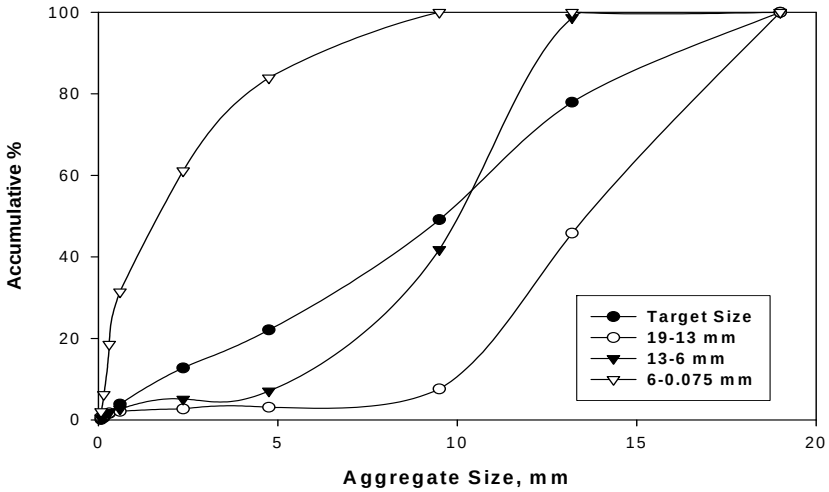


그림 47. 입도 크기와 누적률

나. 13mm 배수성 골재입도

13mm 배수성 골재입도가 대부분의 배수성 아스팔트포장 표층입도로 사용되고 있다. 그 이유는 19mm 배수성입도에 비해 포장내구성이 좋아 골재이탈이 적고, 소음흡수율도 상대적으로 우수하기 때문이다. 13mm 배수성입도분포도의 선정에 대한 연구를 다음과 같이 수행하였다.

개발제품의 최적 배합조건을 선정하기 위하여 사용골재 배합 비율에 변화를 주어 투수계수, 간접인장, 마샬안정도 등의 시험을 통해 그 물성이 가장 뛰어난 골재 및 바인더를 선정하고자 한다. 또한 본 연구에서는 경험과 실험결과에 의존 하던 기존의 배합설계방식을 획기적으로 개선하기위한 실험을 진행하였다. 먼저 배수성 13mm 최대골재입도의 배합 비율을 1A에서 5A까지의 5가지로 실험 하였다. 1A에서 5A로 갈수록 조골재의 양은 늘어나고 세골재의 양은 줄어든다. 이것은 결과적으로 혼합물의 공극에 지대한 영향을 미친다. 세골재가 줄어들면 공극이 커지고 그에 따른 배수기능이 향상되는 반면에 마샬안정도와 간접인장강도와 같은 역학적 값은 상대적으로 작아진다. 이러한 골재 변화에 따른 혼합물물성의 변화를 미리 예측함으로써 도로조건과 여건에 맞는 13mm 입도분

포를 제공할 수 있을 것이다. 다음 표 10-14는 1A에서 5A까지의 골재입도변화를 나타낸다.

표 11. 13mm 배수성골재 배합설계(1A)

<13mm 배수성골재 배합설계(1A)>			
입도분포(mm)	중량(%)	중량(1100g)	중량(2200g)
13.2~9.5	48.89%	537.79	1075.58
9.5~4.75	31.08%	341.88	683.76
4.75~2.36	4.41%	48.51	97.02
2.36~0.60	5.64%	62.04	124.08
0.60~0.30	2.26%	24.86	49.72
0.30~0.15	2.34%	25.74	51.48
0.15~0.075	1.11%	12.21	24.42
채움재	4.26%	46.86	93.72
합 계	100.00%	1100	2200

표 12. 13mm 배수성골재 배합설계(2A)

<13mm 배수성골재 배합설계(2A)>			
입도분포(mm)	중량(%)	중량(1100g)	중량(2200g)
13.2~9.5	48.89%	537.79	1075.58
9.5~4.75	32.08%	352.88	705.76
4.75~2.36	4.41%	48.51	97.02
2.36~0.60	5.64%	62.04	124.08
0.60~0.30	2.26%	24.86	49.72
0.30~0.15	1.34%	14.74	29.48
0.15~0.075	1.11%	12.21	24.42
석회석분말	4.26%	46.86	93.72
합 계	100.00%	1100	2200

표 13. 13mm 배수성골재 배합설계(3A)

<13mm 배수성골재 배합설계(3A)>			
입도분포(mm)	중량(%)	중량(1100g)	중량(2200g)
13.2~9.5	48.90%	537.9	1076
9.5~4.75	32.08%	352.88	706
4.75~2.36	4.41%	48.51	97
2.36~0.60	5.64%	62.04	124
0.60~0.30	2.26%	24.86	49.5
0.30~0.15	2.34%	25.74	51.5
0.15~0.075	0.11%	1.21	2.4
석회석분말	4.26%	46.86	93.6
합 계	100.00%	1100	2200

표 14. 13mm 배수성골재 배합설계(4A)

<13mm 배수성골재 배합설계(4A)>			
입도분포(mm)	중량(%)	중량(1100g)	중량(2200g)
13.2~9.5	48.89%	537.9	1075.8
9.5~4.75	33.25%	365.75	731.5
4.75~2.36	4.41%	48.51	97.02
2.36~0.60	5.18%	56.98	113.96
0.60~0.30	2.26%	24.86	49.72
0.30~0.15	1.89%	20.79	41.58
0.15~0.075	0.11%	1.21	2.42
석회석분말	4.00%	44	88
합 계	100.00%	1100	2200

표 15. 13mm 배수성골재 배합설계(5A)

<13mm 배수성골재 배합설계(5A)>			
입도분포(mm)	중량(%)	중량(1100g)	중량(2200g)
13.2~9.5	48.89%	537.79	1075.58
9.5~4.75	34.08%	374.88	749.76
4.75~2.36	4.41%	48.51	97.02
2.36~0.60	5.64%	62.04	124.08
0.60~0.30	1.26%	13.86	27.72
0.30~0.15	1.35%	14.85	29.7
0.15~0.075	0.11%	1.21	2.42
석회석분말	4.26%	46.86	93.72
합 계	100.00%	1100	2200

시험결과 조골재 양이 늘어날수록 투수성은 증가 하였으나 마샬강도나 간접인장강도는 저하하는 것을 확인 할 수 있었다. 투수계수가 작을수록 공시체내부의 공극이 작다는 것을 보여주는 결과라 사료된다. 시험결과는 표 16에 나타나 있다.

표 16. 13mm 배수성골재 입도변화에 따른 물성시험결과

구분	투수계수	마샬안정도(Kgf)	간접인장(Kgf)
배수성골재(1A)	0.42	1250.83	1313.5
배수성골재(2A)	0.69	1121.333	1241.17
배수성골재(3A)	0.842	1012.67	1064.75
배수성골재(4A)	1.014	917	990.833
배수성골재(5A)	1.142	780.5	939.5

표 16에 전시된 배수성 혼합물의 투수계수와 역학적 물성과의 상관관계를 그림 48부터 50까지에 나타내었다. 투수계수가 작을수록 공시체의 마샬강도와 간접인장강도가 증가하고 공시체의 강도가 작아질수록 투수계수 또한 작아지는 것을 확인할 수 있었으며 그 관계는 선형관계를 나타내었다. 이러한 결과는 혼합물의 투수계수와 역학적 강도는 밀접한 상관관계를 가지고 있음을 확인시켜준다. 이상과 같은 실험을 통해 얻어진 결과를 적절히 활용하면, 사용자가 원하는 조건에 적합한 투수계수와 강도를 가지는 혼합물의 배합설계가 가능하다. 본 연구에서는 13mm 배수성골재 3A가 투수계수도 충분히 크고, 마샬 안정도 및 간접인장강도가 비교적 우수함으로 이러한 골재분포도를 13mm혼합

물 입도로 선정한다.

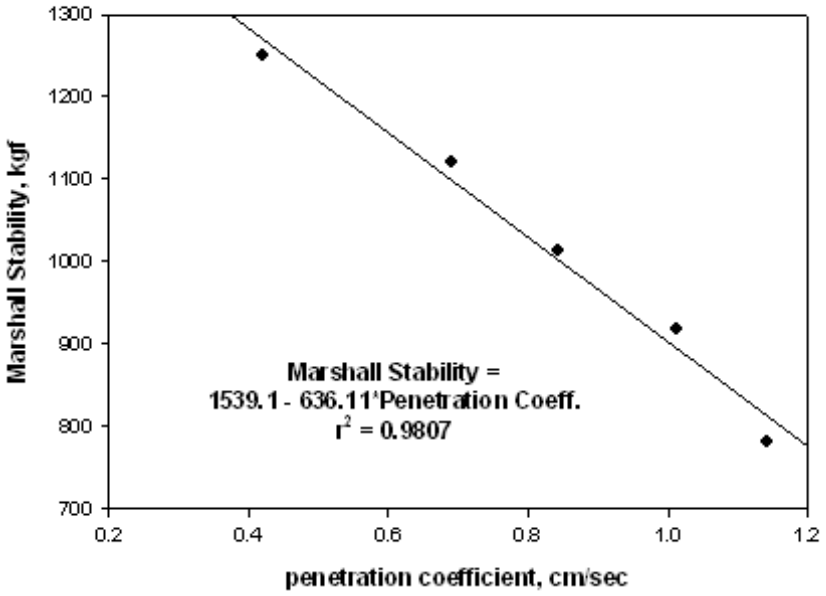


그림 48. 골재 배합비율 변화에 따른 마샬안정도와
투수계수와의 상관관계

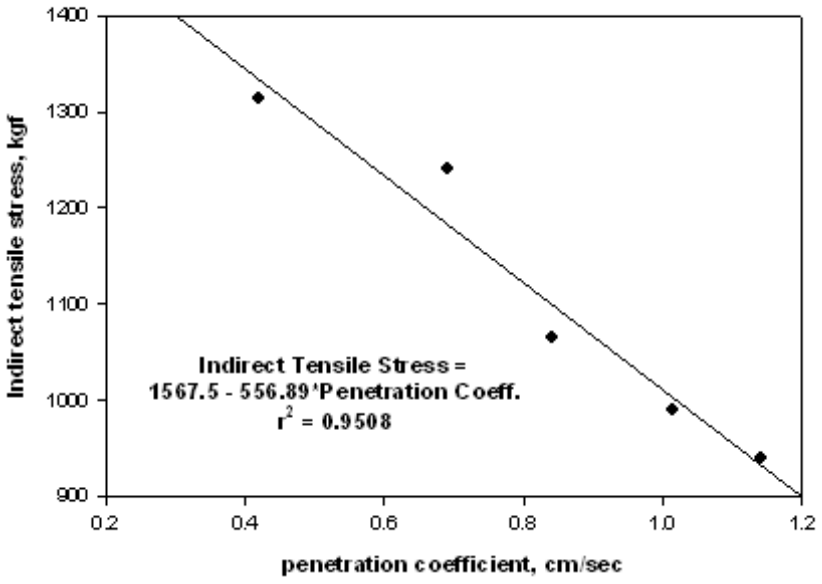


그림 49. 골재 배합비율 변화에 따른 간접인장강도와
투수계수와의 상관관계.

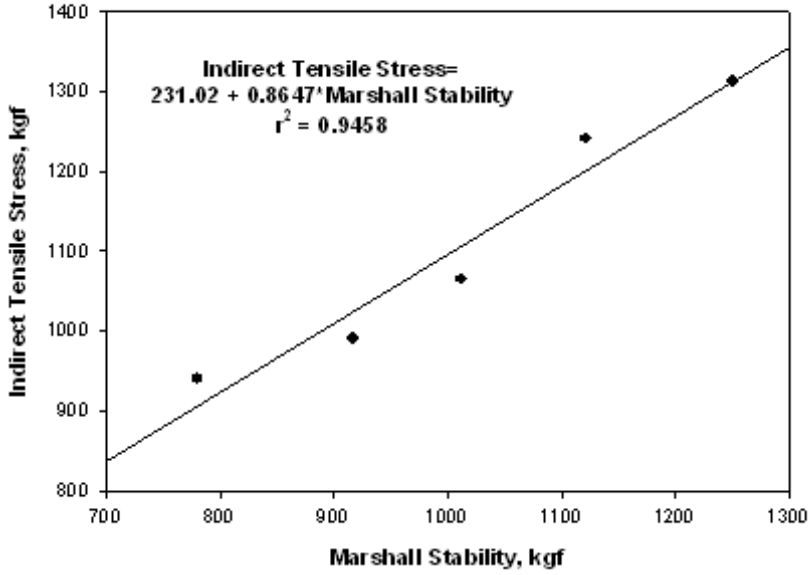


그림 50. 골재 배합비율 변화에 따른 마샬안정도와
간접인장강도와의 상관관계.

2. 혼합물 물성측정 연구결과

마샬배합설계를 하여 최적 배수성 개질아스팔트 함량이 4.6%임을 찾아내었다. 그러나 실제 사용하는 배수성 개질아스팔트 함량은 최적함량에 0.4%를 더한 5.0%를 사용하였다. 배수성포장 혼합물에 사용하는 배수성골재는 거의 동일한 골재를 사용하였다. 그 이유는 20%의 공극을 만족시키기 위함이다. 따라서 배수성 개질 아스팔트의 함량도 동일하게 5.0%를 사용하였다.

배수성 개질 아스팔트 5% (개질제 함량 = 개질아스팔트의 16%)와 배수성골재 95%를 사용하여 배수성 혼합물의 마샬시편을 만들고 이에 대한 공극률(%), 마샬안정도(N) 및 칸타블로 손실률(%)을 측정하였다. 상기 측정은 (주)유진의 기업부설연구소에서 독자적으로 측정한 값이다. 아래 표 3에서 보는 바와 같이 공극이 거의 동일할 때 배수성포장의 가장 중요한 두 물성은 마샬안정도와 칸타블로 손실률이며, 마샬안정도는 소성변형 저항 값(공극의 영구 막힘에 대한 저항 값)을, 칸타블로 손실률(재료의 탄성에 관한 물성)은 골재이탈정도를 각각 나타낸다.

표 17. (주)뉴페이브 사의 배수성혼합물에 대한 물성 측정결과

물성측정 종류	배수성 혼합물 물성 기준	A	B	C	D	당사
공 극 률 (%)	20<	20.8	19.7	20.3	19.9	19.8
마샬안정도 (N)	5000<	7,587	8,736	8,512	7,829	10,961
칸타블로 손실률(%)	20>	9.3	37.7	21.3	12.1	9.3

위 표에서 A, B, C & D는 국내 경쟁사의 제품을 나타낸다. 표에서 보는 바와 같이 당사 제품은 칸타블로 손실률이 뛰어나며, 특히 마샬안정도 값에서 타사 제품과 비교하여 월등하게 우수하다. 따라서 저온에서의 골재이탈은 물론이고, 점진적인 공극 막힘도 효과적으로 방지할 수 있다고 사료된다. 이러한 결과는 당사 제품이 우수한 배수성포장 건설을 위한 핵심제품으로 사용될 수 있음을 시사하고 있다. 물론 배수성포장용 개질제 제품의 함량을 줄임으로서, 일반 개질아스팔트를 위한 제품에도 사용할 수 있다. 일반 개질아스팔트포장용으로 사용할 경우에도 탄성으로 인한 저온 균열발생 저항성과 고점도로 인한 고온 소성변형 저항성 둘 다 우수하여 타 제품에 비해 품질 면에서도 우위를 확보할 수 있다.

표 18에는 위 표 17과 다른 배수성 개질제를 사용하여 물성을 측정하고 국내 품질규정 값과 비교하여 보았다. 표 17에 사용한 배수성 개질제는 품질이 아주 우수하나 비용이 고가라서 저렴한 배수성 개질제를 사용한 배수성포장 혼합물 제품을 개발하였다. 이 제품의 물성을 알기 위해 물성측정 실험을 수행하였고 그 결과는 표 18에 나타내었다. 이 개질제 제품으로 만든 배수성 혼합물도 국내 품질규정 값과 비교하여 모두 우수한 물성을 보여주고 있다. 이러한 결과는 저렴하면서도 비교적 우수한 배수성포장 개질제의 개발을 확신시켜준다.

표 18. 국내 배수성포장 혼합물 품질기준과 PBM 배수성 혼합물의 품질비교

시험항목	국내 13mm 배수성 혼합물 품질기준	13mm PBM 배수성 혼합물 측정 값
공극율(%)	20 이상	22
마샬 안정도 (kgf)	550 이상	860
칸타브로 손실율 (%)	20 이하	15
투수계수 (cm/sec)	0.01 이상	0.66
잔류안정도(%)	70 이상	95

아래 표 19에는 일본의 13mm 배수성 골재의 입도분포도와 PBM 배수성 혼합물의 골재입도를, 표 20에는 표 19의 입도분포를 가진 골재와 PBM 배수성 고점도 개질바인더(최우수제품)를 사용하여 만든 혼합물(PBM)의 측정값을 나타내고 있다. 국내와 일본의 입도분포에 대한 품질규정이 서로 크게 다르지 않음을 알 수 있고, 개발제품(PBM 배수성 혼합물)의 물성 측정값이 일본의 고점도 바인더를 사용한 혼합물의 품질규정 값보다 훨씬 뛰어남을 볼 수 있다.

표 19. 13mm 배수성 혼합물에 사용된 입도와 분포도

혼합물의 종류		일본 배수성 혼합물	PBM 배수성 혼합물
		13mm	13mm
통과중량백분율(%)	26.5mm	-	-
	19.0mm	100	100
	13.2mm	90-100	98.4
	4.75mm	11-35	23.6
	2.36mm	8-25	15.8
	0.6mm	5-17	10.5
	0.3mm	4-14	7.5
	0.15mm	3-10	5.4
	0.075mm	2-7	4.0

표 20. 일본 배수성포장 혼합물의 품질기준과 표 18의 입도를 사용하여 만든 PBM 혼합물의 물성측정 값

혼합물 종류	일본 배수성 혼합물, 13mm	PBM 배수성 혼합물, 13mm
사용 아스팔트	고점도 개질아스팔트	고점도 개질아스팔트
아스팔트량 (%)	4-6	4.8
공극률 (%)	15-25	22
마샬 안정도(kN)	5.5 이상	12.1
마샬 유동값(0.1mm)	20-45	39
잔류 안정도(%)	75이상	100
동적안정도(회/mm)	3,000이상	7,255(건자재시험연구소)
칸타블로 손실율(%)	20이하	15
투수계수(cm/s)	0.01 이상	0.66
밀도(g/cm^3)	보고	1.963

표 17, 18 및 20의 결과를 종합해보면, 물의 배수능력을 나타내는 공극율이나 투수계수 값이 모두 규정 값을 훨씬 상회하고 있으며, 소성변형저항성을 표시하는 마샬안정도 값은 규정치보다 훨씬 높다. 그리고 저온에서의 골재이탈정도를 표시하는 칸타블로 손실율도 충분히 규정 값을 만족하고 있다. 이런 모든 사항들을 종합해 볼 때 본사가 개발한 PBM 배수성포장 혼합물 두 종류의 품질이 탁월한 것으로 판명된다.

2. 개질제 분말화 제조공정 기술개발

아래 그림 51에는 본 연구에서 설계하고 구입하여 조립한 분말제조공정장비에 대한 도식을 나타내고 있다.

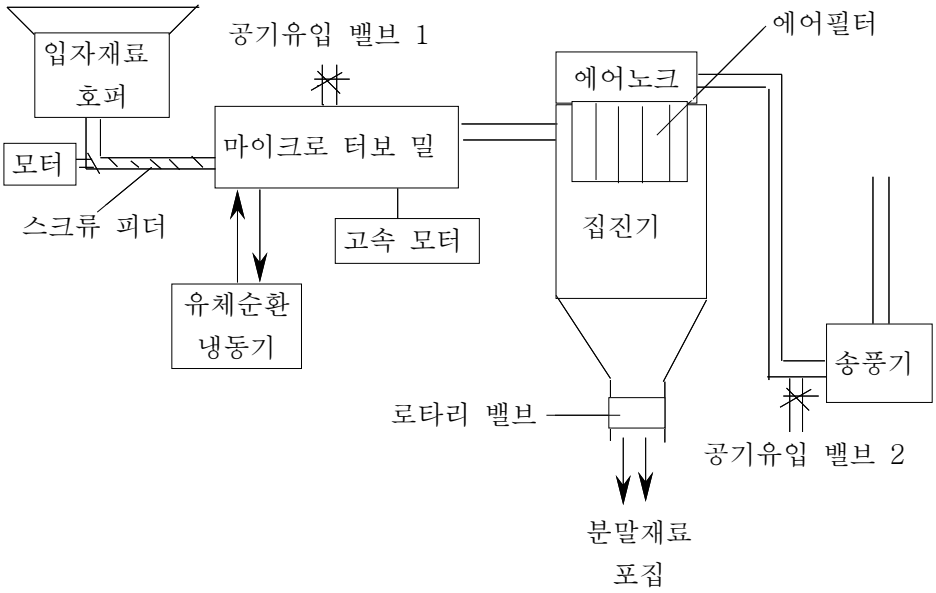


그림 51. 개질제 분말화 제조장비의 도식적 그림.

그림 51에서 재료호퍼에 입자재료를 넣으면 재료가 스크류피더에 의해 일정한 양을 마이크로 터보 밀에 공급한다. 마이크로 터보 밀은 고속모터에 의해 기계내부의 본체가 고속회전을 하면서 공급된 재료를 분말로 분쇄하여 집진기로 이송된다. 마이크로 터보 밀에서 재료가 분쇄될 때 마찰열에 의해 온도가 올라감으로 이를 냉각시키기 위해 유체순환 냉동기의 냉각유체를 마이크로 터보 밀 주변으로 순환시켜 온도상승을 막는다. 온도가 고온이 되면 재료가 녹아서 서로 엉켜붙어 분말화를 이룰 수 없다. 마이크로 터보 밀에는 공기유입밸브가 있는 데, 이 밸브의 개폐 정도에 따라서 분쇄되는 분말입자의 크기가 달라진다. 밸브를 많이 열수록 재료분쇄 생산량은 증가하나 분쇄입자의 크기는 커진다.

분쇄된 입자가 집진기에 이송되면 에어필터를 통해 공기는 빠져나와 송풍기에 의해 외부로 배출된다. 그러나 분쇄된 분말입자는 에어필터를 통과하지 못하고 필터에 붙어있거나 아래로 떨어진다. 일정한 시간간격을 두고 주기적으로 에어 노크가 작동하여 필터에 붙어 있는 분말도 아래로 떨어뜨린다. 에어 필터의 공기구멍이 분말에 의해 막히는 것을 방지하여 공기가 외부로 자유롭게 유출될 수 있게끔 하기 위함이다. 아래로 떨어진 재료는 로터리 밸브가 분말재료만 포집기에 떨어뜨리고 공기는 외부로 유출되는 것을 막는다. 이렇게 하여 입자로부터 분말화된 재료를 얻는다. 공기가 송풍기에 들어가기 전에 또 하나의 에어 밸브가 있는 데, 이 밸브의 개폐에 의해 많거나 적은 공기가 외부로 유출된다. 밸브를 많이 닫으면 공기유출이 적게 되어 분쇄입자의 크기를 작게 하는 효과를 얻는다. 반면에 생산량은 줄어든다.

그림 52에는 실제 분말화 제조공정 사진을 보여주며, 그림 53과 54에는 분쇄하기 전의 입자와 분쇄후의 입자에 대한 사진을 보여준다. 입자크기가 훨씬 작아진 것을 볼 수 있다.



그림 52. 개질제 분말화를 위한 제조장비 라인.

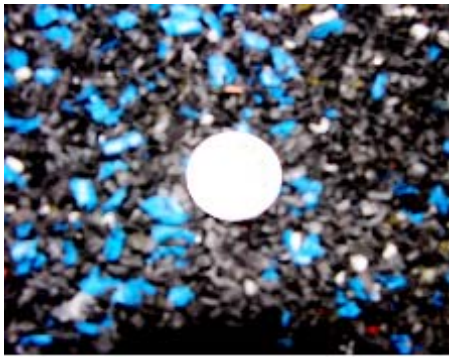


그림 53. 분쇄 전의 입자 크기.

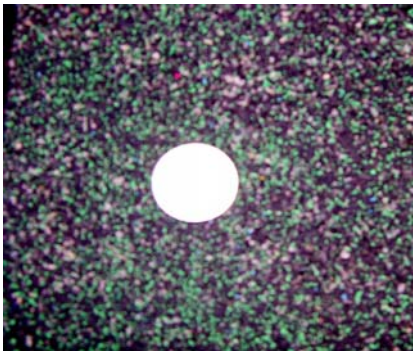


그림 54. 분쇄 후의 입자 크기.

3. 개질아스팔트포장의 건설

가. 배수성 아스팔트포장의 건설

(1) 배수성 아스콘 생산

앞의 혼합물 물성측정에서 알려진 바와 같이 5.0%의 배수성 개질아스팔트(배수성 개질제는 아스팔트의 16%)를 실제 아스콘 생산에 적용하였다. 골재는 경도가 좋은 배수성골재를 사용하였다. 골재 분포도는 아래 표 21과 같다.

표 21 배수성 시험포장에 사용된 합성골재 분포도.

체 크기(mm)	남은 양(그램)	통과 양(그램)	통과 율(%)
20		1352.6	100.0
13	11,8	1340.8	99.1
10	416.6	924.2	68.3
5	657.3	266.9	19.7
2.5	73.3	193.6	14.3
0.6	69.8	123.8	9.2
0.3	31.0	92,8	6.9
0.15	0.0	92.8	6.9
0.08	39.4	53.4	4.6
PAN	46.2		
필러	7.2		

배수성 개질 아스콘은 인천시 부천에 위치한 드림아스콘 회사에서 제조하였다. 골재 건조기를 거쳐 가열저장 빈에 저장된 골재온도가 190℃가 되게 한 후, 먼저 조골재를 계량하여 퍼그밀 혼합기에 투입하고, 배합설계에 따라 정해진 적정량의 배수성 개질제를 연이어 첨가하였다. 이렇게 하여 고온의 조골재에 상온의 고분자 개질제가 접촉하여 급속히 용융할 기회를 부여한 후, 가열된 세골재를 투입하고 곧 이어 170℃로 가열된 아스팔트를 정해진 양만큼 분사한 후 혼합하여 균일하게 피복된 아스콘 혼합물을 제조하였다. 아래 그림 55에는 아스콘 공장의 배치탑의 중간에 위치한 재료투입구에 배수성 개질제를 투입하는 장면을 보여 준다.



그림 55. 아스콘공장 배치 탑의 재료투입구에 개질제를 투입.

세 번째 배치의 아스콘 혼합물을 받아서 혼합 상태를 확인한바 전혀 문제점을 발견하지 못했다. 혼합물의 일정량을 연소시켜 개질아스팔트 함량을 조사한 결과 5.1%를 얻음으로서 설계함량 5.0%와 거의 일치하였다. 상기 혼합물을 시료로 채취하여 아스콘공장 시험실에서 각 시험마다 각각 3개의 시편을 만들어 물성을 측정하였으며, 결과는 아래 표 22에 나타나 있다.

표 22. 제조된 배수성 개질아스콘의 물성 측정 값

시험 명	규정 값	측정 값
마샬 안정도 (kgf)	550 이상	870
흐름 값 (0.1mm)	20 이상	36
칸타블로 손실율(%)	20 이하	12
겉보기 밀도(g/cm^3)	보고	1.96
공극율 (%)	20% 전후	18

모든 시험 값들이 기준 값을 충분히 만족하고 있음을 확인할 수 있었다. 아래 그림 56에는 배수성포장을 하기 위한 도로위치와 단면설계를 보여준다. 장소는 인천 박촌동 풍림아파트 앞 길 4차선에 약 1270톤의 배수성아스콘을 시공하였다.

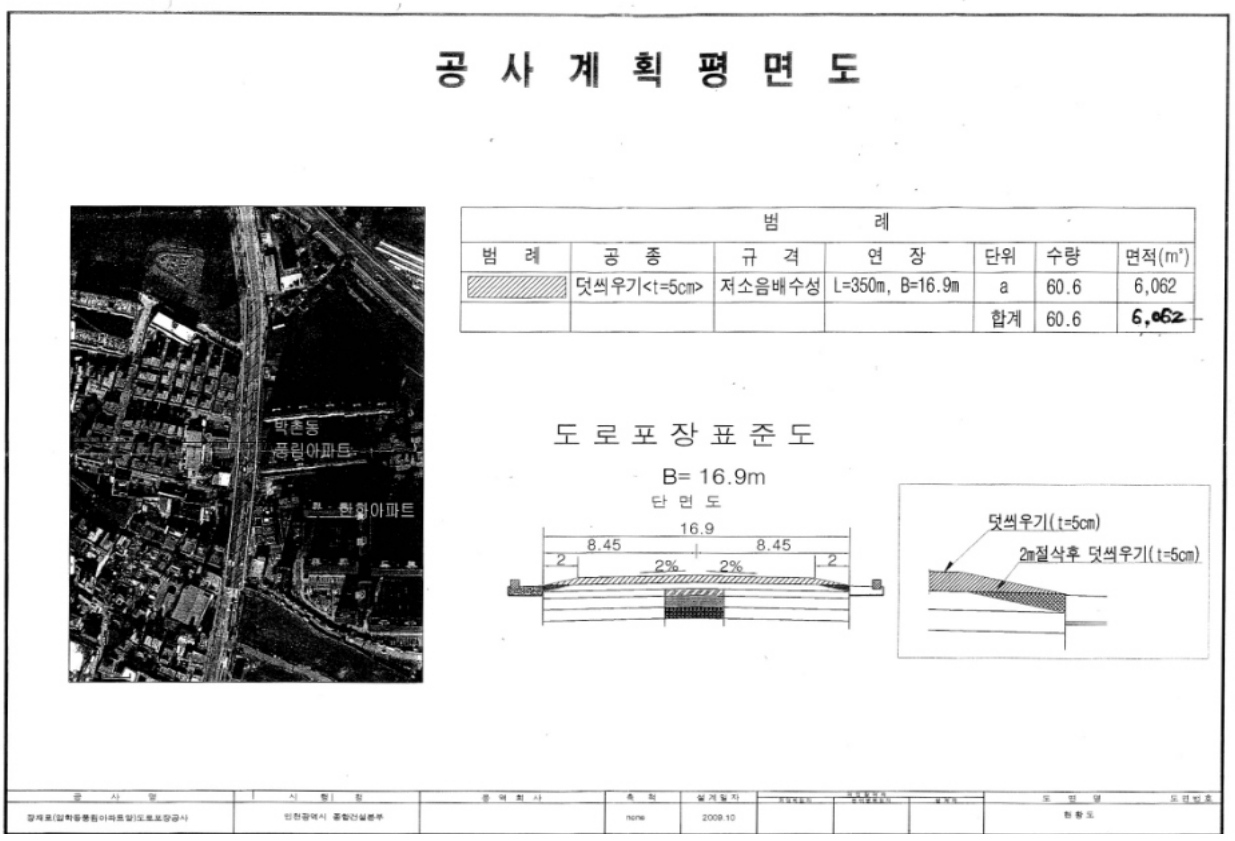


그림 56. 배수성 아스팔트포장 시공 위치와 설계도면.

이 길은 차량통행량이 항상 많은 4차선도로로서 교통정체를 피하기 위해 2009년 10월 25일 야간에 배수성포장을 시공하였다. 밤의 기온은 약 8℃ 정도까지 내려갔다. 아스콘은 부천시 서울외곽순환도로 옆에 위치한 드림아스콘 사에서 생산하여 포설현장에 운반하였는데 덤프운행시간은 약 20분 정도 소요되었다. 골재분리를 염려하여 덤프트럭이 배치 탑 아래서 생산된 배수성 아스콘을 적재할 때, 트럭 적재함의 맨 앞쪽과 맨 뒤쪽 그리고 중앙의 순서로 재료를 적재하여 조골재와 세골재의 분리를 최소화 하였다.

(2) 상온절삭

상온절삭은 카바이드 날이 장착된 회전드럼을 가진 절삭기계로 소정의 깊이까지 포장을 파쇄하는 작업이다. 절삭 장비로 먼저 도로의 두 차선에 해당하는 포장표면을 두께 5cm로 제거하고 청소차로 깨끗이 청소하였다. 청소는 택코팅 및 포설 작업에 영향을 미친다. 수거된 폐아스콘은 덤프트럭에 실어 폐기물처리장으로 이송하였다. 상온 절삭장비는 아래층에 해를 끼치지 않고 원하는 두께의 표면만 제거가 가능하며 거친 면을 남김으로서 좋은 미끄럼 저항성과 덧씌우기 층과의 뛰어난 접착을 제공하는 것으로 알려져 있다.

(3) 유공관

도로 가장자리에 직경이 1 cm의 철사로 된 유공 관을 설치하여 배수로로 연결하였다. 통상 2cm 정도의 플래스틱 유공 관을 기층 위에 골을 파서 묻는 것이 관례이나 함께 일한 시공회사는 상기 유공 관을 사용하였다.

(4) 택코팅

택코팅 분사 시에는 기층 면의 울퉁불퉁한 곳을 정리하고 먼지 등 기타 이물질을 완전 제거해야 한다. 택코팅 시 역청재 살포 량이 과다할 경우 여름철에 유동을 일으키는 원인이 됨으로 주의해야 한다. 택코팅에 사용되는 역청 재료는 RSC-4 로서 KS M 2203의 유화 아스팔트 규격에 합격한 것을 사용하였다.

본 배수성포장에서는 그림 57에서 보는 바와 같이 RSC-4를 이용하여 전 구간의 절삭층 위에 택코팅을 실시하였다.

(5) 포설

택코팅 액체를 분사한 후 충분한 시간을 주어 분사된 표면이 완전히 건조된 후에 포설과정에 들어간다. 적재함에 적재된 배수성 아스콘이 냉각되지 않도록 덮개를 덮어 현장에 도착한 덤프트럭은 적재함을 들어 올리고 기어를 중립으로 한 상태에서 페이버 혹은 피니셔와 체결되어 페이브가 전진하는 속도로 함께 전진한다. 이 때 적재함의 뒤 뚜껑이 일부 열려져 있어서 이를 통해 아스콘재료가 페이버의 호퍼에 점진적으로 떨어진다. 페이버의 호퍼에 떨어진 재료는 슬랫 컨베이어 (slat conveyor)에 의해 이송되어 게이트(gate)를 통과하고 통과된 재료는 오거(auger)에 의해 포장 폭에 알맞게 횡으로 분산된다. 횡으로 분산된 재료는 스크리드에 의해 일정두께의 매트로 포설된다.

페이버의 가장 큰 특징은 자동적으로 레벨을 조절하여 포설되는 재료의 횡단면을 결정하는 스크리드 장치이다. 페이버의 속도가 증가하면, 스크리드 밑을 통과하는 혼합물은 짧은 시간 동안 다짐을 받게 되어 혼합물의 밀도는 낮아지고 부피는 커짐으로 스크리드 판은 올라가게 된다. 이처럼 낮은 밀도의 재료는 저항력이 작기 때문에 낮은 온도에서 얻어지는 높은 밀도의 재료와 같이 높은 저항력을 주지 못한다. 페이브의 전진속도가 감소하여 다짐이 잘 되어 밀도가 높아지고 스크리드는 내려온다. 그러므로 평탄한 포장을 원한다면 페이버의 속도를 일정하게 유지하여 속도변화에서 오는 스크리드의 기복을 피해야 한다. 그림 58에는 본 사가 시공한 배수성포장의 페이브에 의한 포설장면을 보여준다.



그림 57. 청소한 절삭표면에 RSC-4로 택코팅하는 장면

통상적으로 배수성포장은 일반 아스팔트포장에 비하여 골재의 공극이 과다하여 아스콘 혼합물 내부에 공기의 유출입이 비교적 자유스럽고 이로 인해 재료냉각이 쉽게 이루어진다는 단점이 있다. 이 때문에 포설과 다짐 시에 온도관리에 대한 특별한 주의를 요하다. 다짐도 하기 전에 재료의 냉각이 심각하게 진행되면 이는 포설 후에 골재 간의 접촉 불량을 가져 와 골재이탈의 직접적인 원인이 된다. 특히 페이브 한 대로 한 차선을 포설하고 다시 다른 차선을 포설하게 될 때, 조인트부분이 이미 냉각되어 차선과 차선 사이에 불량의 원인이 될 수 있다. 중앙차선을 넘어 차량이동이 거의 없음으로 중앙선의 냉각조인트는 문제가 덜 심각하나, 4차선의 경우에 1차선과 2차선 사이의 냉각조인트는 차량의 차선변경으로 인하여 골재이탈이 가속화함으로 큰 문제가 될 수 있다. 이를 해결하기 위한 방법으로 페이브의 폭이 2차선을 모두 카바할 수 있는 페이브를 사용하거나 또는 페이브 두 대를 한꺼번에 사용하는 Echelon Paving 방법을 사용한다. 그림 59은 본사의 배수성포장에서 페이브 두 대를 사용하여 한꺼번에 두 차선을 포설하는 장면을 보여준다. 노란색 등과 초록색 등은 페이브의 야간 전조등을 나타낸다.



그림 58. 배수성포장건설을 위한 페이브 포설장면.



그림 59. 배수성포장시공에 사용한 Echelon Paving.

4차선 도로에서 한 쪽의 두 차선은 Echelon Paving 방법을 사용하고, 반대편 두 차선은 페이브 한 대만 사용하여 각각 따로 두 차선을 포장하였다. 시공할 때 10월 하순의 야간온도가 비교적 낮은 것이 주요인이긴 하겠으나, 시공 후 유달리 춥고 눈이 많이 온 첫 겨울을 지낸 후, Echelon Paving 방식을 채택한 첫 두 차선은 아무런 문제가 없었으나 페이브 한 대를 사용하여 각기 따로 시공한 반대편 두 차선에서는 차선과 차선 사이의 냉각조인트부분에 접착력이 부족하여 골재이탈문제가 발생하였다. 그럼으로 배수성포장이나 오픈 그레이드 포장 등의 포장건설에는 포설온도에 대해 특히 주의해서 포장할 도로차선의 수에 따라 페이브 한 대를, 두 대를, 아니면 세대를 사용할 것인지를 결정해야 한다.

(6) 다짐

다짐롤러는 페이버 뒤의 일정 다짐영역에서 작업을 하는데 우선 다짐 작업의 길이는 소정의 밀도를 얻는데 필요한 다짐횟수로 결정된다. 다짐횟수는 소정의 밀도를 주게 되는 롤러의 유효 능력, 포설되는 아스콘 혼합물의 다짐정도, 롤러의 폭, 포설하고자 하는 차로의 폭, 롤러속도, 포설된 혼합물의 온도저하에 따라 결정된다. 다짐은 포설된 혼합물의 소위 배수성포장의 마감온도로 불리는 100℃(212°F) 이하로 내려가기 전에 마쳐야 한다.

타이어 롤러는 철륜롤러보다 균일한 다짐정도를 주며, 서로 잘 맞물리고 치밀한 표면을 만들기 때문에 철륜롤러로는 얻기 힘든 높은 밀도를 얻을 수 있어서 많이 사용된다. 그러나 배수성포장의 경우에는 타이어롤러에 골재가 달라붙어 콩기름이나 물을 사용하여 씻어도 계속해서 골재가 부착하는 문제점이 발생하여 본 배수성포장의 다짐장비에서 제외시켰다. 이처럼 골재가 롤러에 붙게 되면 포장표면의 평탄성에 문제가 생기기 때문이다.

페이브에 의한 포설이 진행되면, 약 10m 후방에서는 마카담 롤러에 의한 다짐작업

을 시작하였다. 배수성포장은 조골재가 대부분이고 공극이 많아 포장내부에 공기 유출입이 커서 빨리 냉각됨으로 가능한 한 페이브를 가까이 따라가며 신속히 다짐작업을 해 가야 한다. 본 시공에서는 10톤의 마카담 롤러와 12톤의 탄덤 롤러를 사용하였다. 다짐과정에서 마카담 롤러가 4회 다짐을 하고 나면 곧이어 탄뎀 롤러가 8회 이상 다짐을 수행하여 시공을 완료하였다. 그림 60에는 페이브에 의해 포설된 두 차선을 한꺼번에 2대의 탄뎀롤러가 다짐하는 장면을 보여준다.



그림 60. 두 대의 탄뎀롤러로 다짐하는 장면.

(7) 시공완료

일반적으로 포장 시공 완료 후 교통 개방은 다짐 작업 후 포장의 표면온도가 50℃ 이하로 내려갈 때이다. 본 시공에서는 포장 시공 장소의 많은 교통량으로 인하여 교통 정체가 발생하였으므로, 배수성 포장의 시공 완료 후 30분 이후부터 교통 개방을 시작하였다. 불충분한 안정 시간으로 바퀴자국 패임이 나타날 우려도 있었으나 이후 확인한 결과 포장손상은 전혀 나타나지 않았다. 그림 61에는 시공이 완료된 배수성포장의 장면을 보여주고 있다.



그림 61. 시공이 완료된 배수성 아스팔트포장.

나. 내유동성 아스팔트포장의 건설

2009년 10월 15일 인천시 계양구 장기사거리에서 시작하여 수도권 매립지로 향하는 드림파크로에 내유동성 포장을 시공하였다. 수도권 쓰레기 매립지로 향하는 4차선 도로는 중 차량이나 덤프트럭이 가장 빈번히 왕래하는 도로로서 웬만한 포장은 3-4년을 견디지 못하고 파손이 일어나는 곳이다. 하도 차량이 빈번히 다니는 길이라 평일에는 시공이 불가능하여 금요일 저녁 10시에 시작하여 토요일 오전 11시경에 포장시공을 완료하였다. 밤 온도는 10℃ 정도로 낮았으나 낮 온도는 17℃까지 이르렀다.

(1) 내유동성 아스콘 생산

최적 개질아스팔트바인더의 함량은 마샬안정도시험을 수행한 결과 6.0%가 얻어졌다. 상기 개질아스팔트 중의 개질제는 15%를 차지한다. 골재는 일반 골재를 사용하였다. (주)경인아스콘의 Hot bin과 채움재의 골재 분포도는 아래 표 23과 같다. Hot bin의 골재와 채움재를 사용하여 설계한 합성입도는 표 24에 나타나 있다. 합성입도 계산에 따른 현장생산 배합은 표 25에 나와 있으며 이에 따라 개질아스콘을 생산하였다.

표 23. 경인아스콘의 Hot bin 골재와 채움재의 입도 분포도.

골재	사용 백분율(%)	각골재의 통과 입도									
		25mm	20mm	13mm	5.0mm	2.5mm	0.6mm	0.3mm	0.15mm	0.08mm	pan
3 BIN	13-19	100.0	100.0	51.3	1.3	0.7					
2 BIN	13-6	100.0	100.0	100.0	2.7	0.9	0.6				
1 BIN	6-0	100.0	100.0	100.0	95.2	61.2	34.0	20.0	12.0	5.8	
채움재	별도투입	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	97.2	92.3	87.5	
다스트	별도투입	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	95.7	90.4	87.9	

표 24. 합성입도 계산

각 골재	사용 백분율 (%)	각골재의 통과 입도									
		25mm	20mm	13mm	5.0mm	2.5mm	0.6mm	0.3mm	0.15mm	0.08mm	pan
3BIN	29.0	29.0	29.0	14.9	0.4	0.2					
2BIN	26.0	26.0	26.0	26.0	0.7	0.2	0.2				
1BIN	41.0	41.0	41.0	41.0	39.0	25.1	13.9	8.2	4.9	2.4	
채움재	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	2.9	2.8	2.6	
다스트	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	
혼합입도	100.0	100.0	100.0	85.9	44.1	29.5	18.1	12.1	8.6	5.9	
시방입도	***	100	95-100	70-90	35-55	20-35	11-23	5-16	4-12	2-7	

표 25. 현장생산 배합 지시서

구분	1BIN	1BIN	1BIN	1BIN	더스트	채움제	아스팔트	합계
배합비율 (%)	41.0	26.0	29.0	0.0	1.0	3.0	5.1	100.0
배합량(kg)	389.1	246.7	275.20	0	9.5	28.5	51	100.0

배수성 개질 아스콘은 인천시에 위치한 경인아스콘 회사에서 제조하였다. 골재 건조기를 거쳐 가열저장 빈에 저장된 골재온도가 190℃가 되게 한 후, 먼저 조골재를 계량하여 퍼그밀 혼합기에 투입하고, 배합설계에 따라 정해진 적정량의 배수성 개질제를 연이어 첨가하였다. 이렇게 하여 고온의 조골재에 상온의 고분자 개질제가 접촉하여 급속히 용융할 기회를 부여한 후, 가열된 세골재를 투입하고 곧 이어 170℃로 가열된 아스팔트를 정해진 양만큼 분사한 후 혼합하여 균일하게 피복된 아스콘 혼합물을 제조하였다.

세 번째 배치의 아스콘 혼합물을 받아서 혼합 상태를 확인한바 전혀 문제점을 발견하지 못했다. 세 번째 배치 혼합물의 일부를 시료로 채취하여 아스콘공장 시험실에서 각 시험마다 3개의 시편을 만들어 물성을 측정하였다. 그 결과는 아래 표 26에 나타나 있다.

표 26. 제조된 배수성 개질아스콘의 평균 물성측정 값

시험 명	규정 값	측정 값
마샬 안정도 (kgf)	750 이상	1870
흐름 값 (0.1mm)	20 이상	37
겉보기 밀도(g/cm^3)	보고	2.46
공극율 (%)	4-6	5.2

모든 시험 값들이 기준 값을 충분히 만족하고 있음을 확인할 수 있었다.

(2) 상온절삭

내유동성 포장을 위하여 한 차선의 폭이 3.5m인 4차선 도로 표면을 5cm 깊이로 절삭하였다. 절삭된 후의 폐기물은 트럭에 연동되어 옮겨졌으며, 절삭 표면은 전용 청소차로 깨끗이 청소하여 포설 작업에 영향을 주지 않도록 하였다.

(3) 택코팅

상온 절삭한 표면에 덧씌우기 포장을 시공할 경우에 절삭표면에 택코팅을 실시한다. 두 층간의 부착증진을 위한 택코팅 제로서 아스팔트 유제(RSC-4)를 살포하였다. 덜 분사되었거나 장비가 닿지 않는 부분은 직접 수동으로 분사하는 방법을 취하여 빠짐없이 코팅되도록 하였다. 문제점으로서 시공시간을 단축하기 위해 아스팔트 유제가 건조되기도 전에 덤프트럭이 아스콘을 싣고 와서 페이브에 쏟아 붇는 과정에서 발생한다. 덤프트럭이 살포된 택코팅 제 위를 지나면 유제가 타이어바퀴에 달라붙어 타이어가 지나간 절삭표면에는 코팅유제가 없어진다는 점이다. 유제살포 후에 충분한 시간을 주어 건조시키는 것이 그래서 중요하다.

(4) 포설

(주)경인아스콘의 골재와 본사가 제공한 개질제와 아스팔트를 이용하여 아스콘을 제작하고 이를 아스콘수송트럭으로 현장에 운반하였다. 포설작업에서는 플랜트에서 트럭으로의 상차과정과 현장에 도착한 다음 페이브 호퍼로의 하차과정이 아스팔트 혼합물의

골재분리에 가장 큰 영향을 미침으로 이를 주의해서 골재분리가 일어나지 않도록 하였다.



그림 62. 내유동성 아스콘의 포설장면.

(5) 다짐

철륜롤러-탠덤과 마카덤을 이용하여 다짐을 하였다. 가열된 아스팔트 혼합물은 철륜에 부착하기 쉬우므로 모든 롤러는 철륜에 물을 적신 상태로 다짐을 한다. 롤러에는 철륜에 붙는 아스팔트 혼합물을 제거하기 위하여 철륜의 가로 방향으로 흙 털이가 부착되어 있다. 물은 압착전압 중에만 공급하며 마무리 전압에는 사용하지 않는다.

중간다짐(2차다짐)으로는 타이어 롤러를 사용하였다. 타이어롤러는 혼합물을 치밀하게 하는 역할 외에 1차 다짐에서의 철륜롤러에 의해 생긴 미세 균열을 없애주는 역할을 한다. 미세균열은 철륜롤러의 다짐 작업 시 아스팔트 혼합물 표면에서 발생하는 아주 가늘고 미세한 횡방향 균열을 나타내는 용어이다. 미세균열은 일반적으로 철륜 롤러에 의한 다짐에서 혼합물의 수평방향 이동에 의해 발생된다. 이러한 현상은 혼합물이 원인이 되거나 부적절한 전압방법에 의해서도 발생할 수 있다. 아래 그림 63에는 다짐장비로서 마카덤과 타이어 롤러가 페이브를 따라 다짐을 하고 있음이 보인다.



그림 63. 타이어와 마카덤 롤러의 다짐.

(6) 시공 완료

시공관계로 2차선 주행이 1차선으로 감소하였기 때문에 주행 차들의 심각한 정체로 교통이 혼잡하여 빠른 교통개방이 요구되었다. 바로 시공을 마친 도로포장 위에 물을 살포하여 냉각시킨 후, 즉시 교통을 개방하게 되었다. 현재까지 아무런 문제없이 좋은 공용성을 보여주고 있다.

(7) 사후 점검

2009년도의 겨울에는 영하 17-18도까지 일주일 이상 혹한이 지속되고 눈도 많이 와서 대부분의 아스팔트포장에는 포트홀이 상당히 발생하였다. 봄이 오는 3월 중순에 다시 점검한 결과 포트홀도 전혀 생기지 않았고, 소성변형이나 피로균열도 전혀 없었다. 다만 중앙차선에 냉각조인트가 눈에 띄는 데, 이는 시공할 때 조인트부분의 다짐에 문제가 있었음을 나타낸다.

제4장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

연구목표 및 평가착안점	연구개발목표의 달성도	관련분야 기술발전에의 기여도
① 원자재 구매	국내 원자재 구매처의 확보	국내 원자재 생산업체의 판매에 기여
② 개질제 분말장치라인 구축	분말장치라인을 구축완료	다른 유사한 재료의 분말화에도 사용가능
③ 개질제의 다량 제조	시험생산을 통한 개질제 재료생산 기술 확립	국내 배수성 및 내유동성 개질제 산업의 기술발전에 기여함.
④ 혼합물 배합설계	배수성 및 내유동성 골재설계기술과 최적 바인더함량 기술을 바탕으로 아스콘생산기술의 확립	개질아스콘 생산 산업의 기술 확보에 기여
⑤ 배수성 개질아스팔트포장 건설	배수성 개질아스팔트포장을 건설함	국내 배수성 아스팔트포장 시공산업의 기술발전에 기여함.
⑥ 내유동성 개질아스팔트포장 건설	내유동성 개질아스팔트포장을 건설함	국내 내유동성 아스팔트포장 시공산업의 기술발전에 기여함.
⑦ 홍보물 작성	영어, 중국어, 한국어 홈페이지 작성	국내 및 국외 영업활동에 기여
⑧ 건설 신기술신청	신기술신청용 1차 및 2차 보고서 완료. 선행기술조사 완료. 원가분석과 신기술신청 진행 중.	건설신기술이 확보되면 국내 배수성 및 내 유동성포장 기술의 현장적용에 기여
⑨ 국내 협력업체 선정	울산시의 도화합자회사(시공회사)와 기술실시계약 체결	경남, 경북지역에, 본 연구에서 개발된 배수성 및 내유동성 포장의 사업화에 기여
⑩ 해외 협력업체 선정	미국 텍사스 주의 LoneStar 사와 MOU를 체결하고 샘플제품의 타당성 검토 중.	제품검증이 완료되면 미국에 수출할 길이 열림. 외화획득에 기여.

제5장 연구개발결과의 활용계획

제 1절 추가연구의 필요성

더 이상의 추가연구는 필요하지 않음.

제 2절 타 연구에의 응용

배수성포장은 반강성포장을 하기 위한 기초포장으로 응용될 수 있고, 또한 여름철 더울 때의 보습성 아스팔트포장 개발을 위한 기본포장이 됨.

제 3절 기업화 추진방안을 기술

본 기술은 기업체에서 개발하여 사업화를 추진하고 있는 제품임. 본 연구를 통해 사업화를 위한 모든 기술적 준비가 완료됨. 개발된 배수성 및 내유동성 아스팔트포장의 재료, 생산과 시공기술을 적용하여 각 지자체 도로, 고속도로, 산업도로, 국도 등에 배수성 및 내유동성포장을 적용시키고자 함. 이 기술에 대한 건설신기술을 확보하고 국내 및 해외에 협력업체를 선정하고 필요한 재료와 기술을 제공함으로서 영업활동을 하여 매출을 창출하고자 함.

건설신기술은 아직 확보하지 못하고 있으나 필요한 단계들을 하나씩 실천해가고 있으니 조속한 시일 내에 확보할 것으로 기대됨.

제6장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

해외과학 기술정보에 대해서는 본문의 11-30 페이지를 참조.

제7장 참고문헌

1. Nakanishi H, Kawanaka T, Ziqing L, Baocum H(2002), "Study on Improvement in Durability and Function of Porous Asphalt Pavement", 4th Intern. Conf. on Road & Airfield Pavement Technology, Kunming, China, Proceedings Vol. II, pp. 965-973.
2. 최한길, 허정도, 남영국(2001), Theoretical Modeling and Functions of Penetration Testing, 대한토목학회논문집, 영문판, Vol. 5, No. 2, pp. 147-155.
3. 허정도, 황성도, 최한길(2003) "아스팔트바인더를 위한 새로운 침입도 등급제정", 대한토목학회논문집, 제23권, 제1D호, 2003, pp.53-60.
4. Cox, W.P. and Mertz, E.H., J. Polymer Science, Vol. 28, 1958, pp. 619-622.
5. 허정도, 김한용, 조규태, 손원표 (2003), "아스팔트바인더 유체를 위한 특성방정식 모델링", 한국도로포장공학회, 학술발표회 논문집, pp. 83-90.
6. Bahia, H.U. and Anderson, D.A., "Strategic Highway Research Program Binder Rheological Parameters : Background and Comparison with Conventional Properties", Transportation Research Record 1488, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1995, pp. 32-39.
7. Bonaquist, R.F. and Mogawer, W.S. (1997), "Analysis of Pavement Rutting Data from FHWA Pavement Testing Facility Superpave Validation Study", Transportation Research Record 1590, TRB, National Research Council, Washington D.C., pp 80-88.
8. 허정도, 추상혁, 이강재, 남영국, 진정훈(2003), "아스팔트바인더의 소성변형등급(고온등급) 제정기술 개발", 한국건설교통부, R&D/01-목적A-07, 2001 건설핵심기술 연구개발사업 최종보고서, 주관연구기관/(주)드림테크.

주 의

1. 이 보고서는 국토해양부에서 시행한 건설교통 R&D 정책·인프라사업의 연구보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토해양부에서 시행한 건설교통 R&D 정책·인프라사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.

국토해양부 소관 연구개발사업 최종보고서·요약서

Ⅰ. 인쇄규격

1. 크기 : A4 신판(가로 210mm * 세로297mm)
2. 제본 : 좌철
3. 용지
   가. 표지 200g/㎡ 양면 아트지
   나. 내용 80g/㎡ 모조지
4. 인쇄방법
   가. 표지 : 바탕 백색,활자 흑색
   나. 내용 : 흑색 지정활자

Ⅱ. 편집순서

1. 표지
2. 제출문
3. 보고서 요약서
4. 요약문
5. 영문 요약서
6. 영문 목차
7. 목차
8. 본문
9. 뒷면지

Ⅲ. 참고사항

전자조판 인쇄시에는 이에 준한다.