

Global Report

포틀랜드 시멘트 콘크리트 포장 신축이음부 실란트 사례 및 성능

1. -요약문-
2. 제 1 장 소개
3. 제 2 장 문헌검토
4. 제 3 장 실무현황
5. 제 4 장 사례 예
6. 제 5 장 결론

- 요약문 -

콘크리트 포장의 신축이음부는 슬래브 내에서 발생하는 건조수축, 온도변화 및 수분차이로 인한 체적 변화에 의해 유도되는 슬래브 거동의 자유를 제공하기 위한 것입니다. 강체 포장 신축이음부를 충전하는 주요 목적은 비압축성 재료의 침입을 방지하거나 제한하고 포장구조에 침투하는 수분의 양(하층 침식을 초래할 수 있음), 지지력 손실 및 기타 수분 관련 문제를 줄이는 것이어야 합니다. 포장구조에 수분이 존재하면 결국 포장구조의 열화 및 수명감소로 이어지는 다양한 지배문제 유형에 기여합니다. 최근 콘크리트 포장 신축이음부의 침수피해를 보호하는 실란트의 효과가 큰 관심을 받고 있습니다.

포틀랜드 시멘트 콘크리트(PCC) 포장 신축이음부 충전 재료기술은 최근 수십 년 동안 발전해 왔습니다. 실란트의 구성, 설계, 준비, 특히 좁은 신축이음부 폭의 설계 및 검사방법에 대한 발전된 기술 중의 일부는 기존 권장사항과 모순되는 것으로 보입니다. 신축이음부 충전의 관행은 오랫동안 확립되었지만 현재 신축이음부 실란트의 효과는 잘 문서화되지 않았습니다. 따라서 PCC 포장설계에서 신축이음부 실란트의 사용사례를 조사함과 동시에 접합 실란트 평가에 대한 표준화된 접근방식을 수립할 필요가 있습니다.

이 보고서에 대한 정보는 문헌검토, 주 교통부 설문조사, 사례를 문서화하는 절차를 위해 선별된 기관과의 후속 논의를 통해 수집되었습니다. 그 설문지는 신축이음부 실란트 관행을 반영하고 선택된 신축이음부 실란트 요인(신축이음부 실란트, 신축이음부 유형, 크기, 모양 등을 포함하거나 제외)에 대한 통찰력을 제공하기 위해 구성되었습니다. 신축이음부 준비의 특성이 성능에 상당한 영향을 미칠 수 있기 때문에 신축이음부 설치 및 시기와 관련된 질문도 포함되었습니다. 신축이음부 웰(절단부 홈)설계와 신축이음부 실란트 성능 사이의 상관관계를 조사하기 위해 신축이음부 실란트 성능 및 관련 유형의 문제에 대한 질문을 공식화했습니다. 실란트 유지관리 및 신축이음부 실란트 사용에 대한 대안에 관한 추가 질문도 포함되었습니다. 설문지에는 50개 주 중 42개(84%)의 응답이 있었습니다.

설문조사 결과 및 사례 예에서 발견한 사항은 다음과 같습니다.

- 많은 기관에서 신축이음부 실링의 필요성과 양질의 신축이음부 실란트 실행을 촉진하는 장기적 장점을 인정합니다.
- 포장성능에 대한 실란트 상태의 영향을 추적하기 위한 조치를 문서화하거나 모니터링하는 것은 장점이 있는 것으로 보입니다.
- 모든 기관이 실란트 형상요소와 관련하여 확립된 관행을 따르는 것은 아니므로 조기결합 실패의 위험이 있습니다.
- 청소 및 신축이음부 준비작업에 대한 기관검사를 용이하게 하는 도구 또는 제어 계획안이 필요한 것으로 보입니다.
- 또한 신축이음부 충전의 장점을 평가하고 신축이음부 실란트를 선택하거나 재충전 작업을 수행할 시기를 결정하기 위한 보조도구 및 기준이 필요합니다.

제 1 장 소개

최근 수십 년 동안, 포틀랜드 시멘트 콘크리트(PCC) 포장 신축이음부 충전 재료기술은 신축이음부 충전방식과 마찬가지로 계속해서 발전해 왔습니다(Shober 1996). 이러한 발전 중 일부는 실란트 구성, 디

자인, 준비 및 특히 더 좁은 신축이음부의 사용과 관련하여 발생했습니다. 그러나 어떤 경우에는 장시간 적용되어온 권장사항에 위배되는 것으로 보입니다. 또한 주어진 프로젝트 조건 모집단에 대한 신축이음부 실런트 선택에 상당한 불균일성과 불일치가 있는 것으로 보입니다. 신축이음부 충전 관행이 오랫동안 확립되었음에도 불구하고 현재 권장되는 관행과의 편차의 영향은 잘 문서화되지 않았습니다. 또한 신축이음부 실란트의 효과에 대한 질의가 있으며 신축이음부 실란트 선택에 대한 표준화된 접근방식의 수립과 주어진 PCC 포장(PCCP) 설계에 대한 실란트 성능의 영향을 평가하는 도구가 필요합니다.

취합목표

이 취합의 목적은 PCC 포장시공에 사용되는 기존 신축이음부 실란트에 대한 유지보수 계획안 및 신규 건설에서 PCC 포장 신축이음부 실란트를 사용하는 현재 관행을 문서화하는 것입니다.

이 연구는 콘크리트 포장건설에서 신축이음부 실란트의 사용과 관련된 실습, 교훈, 사양 및 성능 효율성의 예를 보여주기 위한 것입니다.

취합범위 및 접근방식

수집된 정보에는 다음이 포함됩니다.

- PCC 포장 신축이음부 실런트 사용 여부
- PCC 포장 신축이음부 실란트에 사용되는 재료의 종류
- PCC 포장 신축이음부 실란트에 사용되는 공법
- 제품승인을 위한 NTPEP(National Transportation Product Evaluation Program) 자료사용
- PCC 포장 신축이음부 실란트에 사용되는 검사 및/또는 승인절차 및 사양
- 장기간 PCC 신축이음부 실런트 성능
- 수분의 존재 또는 거동 및 소음 기여와 같은 PCC 신축이음부 실런트 사용 또는 효과를 둘러싼 문제
- 사양, 성능 및 설치절차를 포함하여 신축이음부 면의 포화수준을 더 잘 제어하기 위해 충전 신축이음부 (예: 관통 충전제)대신 사용되는 대체방법

제 2 장 문헌검토

이 장에서는 설문지를 배포하기 전에 수행한 문헌검토 결과를 문서화합니다. 이 장에서 논의되는 주제는 다음과 같습니다.

- 콘크리트 포장의 신축이음부
- PCC 포장에서 실란트의 조기사용
- 현재 실란트 재질유형
- 현재 실란트 관행
- 신축이음부 및 채움부 설계(실런트 이동 및 형상, 표면구성 및 재료선택 포함)
- 시공 및 설치
- 신축이음부 실런트 성능
- 유지보수(재충전)
- 대체방법

콘크리트 포장의 신축이음부

콘크리트 포장의 신축이음부는 주로 건조수축, 온도변화 및 수분변화로 인한 콘크리트의 체적변화에 대

한 슬래브의 자유도를 제공하기 위한 것입니다. 기능적으로 말해서 신축이음부는 균열을 제어하고 이러한 변화로 인한 포장응력을 최소화하도록 설계되었지만 수분침투 또는 비압축성 재료의 침입을 제한하거나 방지하기 위해 접합부를 충전해야 합니다.

규칙적인 간격으로 신축이음부를 배치하는 것은 경험에 의해 검증되었지만 시간이 지남에 따라 발전했습니다. 콘크리트 포장의 이 신축이음부 배치에 관한 첫 번째 사양은 1914년 미국 콘크리트 협회(American Concrete Institute)에서 횡단 신축이음부 간격에 대한 지침에서 다루었습니다(Hall et al. 2008). PCC 포장(Shober 1996)에서 신축이음부 사용으로 인해 나타나는 불연속성은 슬래브에 취약면을 만드는 경향이 있기 때문에 주요 성능 관심사였습니다. 많은 경우에 문제점은 종종 이러한 신축이음부 위치 또는 근처에서 시작되고 전개됩니다. 따라서 신축이음부 간격을 확장하여 신축이음부 수를 줄이려는 시도가 있었지만 이러한 조치는 슬래브의 온도 또는 습기유발 변형에 대한 콘크리트의 민감도 영향으로 상쇄되는 경향이 있습니다. 맞춤형 양생 기술과 시공방법의 사용은 아마도 더 긴 신축이음부 간격을 가진 PCC 포장을 만드는데 어느 정도 성공했을 것입니다. 그럼에도 불구하고 그럼에도 불구하고 신축이음부 패턴의 개선과 관련된 현장 관찰방법은 신축이음부의 초기 문제점을 방지하는데 도움이 되는 것으로 제시 되었습니다(loannides, Long, and Minkarah 2004).

PCC 포장에서 실란트의 조기사용

1871년 미국 특허는 콘크리트 신축이음부의 신축이음부 충전재로 고무, 타르 또는 고무재료의 사용을 나타냅니다(Teller와 Sutherland 1936). 나중에 신축이음부를 채우기 위해 역청재료를 사용하는 것이 일반적인 건축관행 이었습니다. 역청질 재료는 상대적으로 비용이 저렴하고 배치하기 쉽습니다. 1912년에는 최초의 철근 콘크리트 포장이 미시간 주 포트 휴런에 건설되었습니다. 이 프로젝트의 신축이음부는 슬래브 전체 두께로 확장되었으며, 신축이음부를 채우고 물의 침투를 방지하기 위해 아스팔트 시멘트가 사용되었습니다(Hall et al. 2008). 1910년 초에 콘크리트 포장 유지관리 작업에는 슬래브 균열의 충전이 포함되었으며 대부분은 모래와 타르가 혼합된 충전재 재료로 이루어졌습니다(Hall et al. 2008).

1920년대 초반에 많은 주에서 콘크리트 포장의 균열을 보수하기 위해 다양한 타르 및 아스팔트 충전재를 연구했습니다. 이 연구 중 하나는 균열 유지관리에 사용하기 적합한 타르 및 아스팔트 등급을 확인하기 위해 1923년 Iowa State Highway Commission에서 후원했습니다. 아이오와 주 디모인 외곽에 위치한 실험구역에서 3가지 유형의 타르, 9가지 아스팔트, 블로운 오일, 유화역청, 밝은 단일 색상재료를 포함한 다양한 재료가 시험되었습니다(Hall et al. 2008). 균열은 충전재를 설치하기 전에 압력세척 및 건조되었습니다. 최종 검사 후 세 가지 등급의 타르는 모두 거의 100% 손상되지 않았으며 신축이음부 채움부의 벽에 달라붙었습니다. 이들은 우수한 성능을 나타내는 유일한 재료였습니다.

현재 실란트 재료유형

오늘날 강성 포장도로에 사용되는 실란트는 주로 아스팔트 기반 실란트, 실리콘 기반 실란트 및 압축 실란트의 세 가지 유형이 있습니다. 역사적으로 콘크리트 포장 신축이음부에 가장 일반적으로 사용되는 실란트 재료는 고온 타설 아스팔트 기반재료였습니다. 그러나 실리콘 기반 실란트[ASTM(American Society for Testing and Materials) D5893] 및 사전 성형된 압축 충전재료(ASTM D2628)는 강성 포장도로 사용에 더 적합해졌으며 많은 주 DOT(Lynch et al. 2000)의 우선 선택사항이 되었습니다.

Hot-pour(고온 주입) 실란트 - 고온 주입 실란트는 개발된 첫 번째 유형의 실란트입니다. 제조업체는 우수한 확장성과 낮은 탄성을 유지하면서 이러한 실란트의 접착품질을 개선했습니다(ACPA 2018). 적절한 설치를 위해 재료는 일반적으로 350°F ~ 400°F(177°C ~ 204°C)의 가열이 필요합니다. 계약자는 실란트가 필요한 온도에 설치되었는지 확인해야 합니다.

실리콘 실란트 - 실리콘 실란트는 폴리머, 현장주입 액체입니다. 포장 사양은 1970년대에 이러한 제품을 포함하기 시작했습니다(Zimmer, Carpenter, and Darter 1984). 설치절차는 다른 현장 제작 실런트의 설치절차와 유사합니다.

실리콘 실런트는 셀프 레벨링(초저탄성율)과 논-새그(저탄성율) 유형으로 구성됩니다. 셀프 레벨링 실리콘은 일반적으로 마감이나 툴링없이 신축이음부 채움부에 주입되면 형상대로 흘러들어갑니다. 비 처짐 실리콘을 설치하려면 툴링이 필요합니다.

재료는 즉시 적용할 수 있도록 미리 포장되어 제공됩니다. 그러나 실리콘재료는 적절하게 보관해야 합니다. 제조업체는 사용 전에 용기는 직사광선을 피하고 습도 80% 이하, 온도 35°F~90°F(2°C~32°C)에서 보관할 것을 권장합니다.

실리콘 실란트는 설치를 위해 혼합이나 가열이 필요하지 않은 단일 구성요소이기도 합니다. 그러나 주변 공기에 부유하는 수분은 실리콘 실란트의 경화를 촉진하기 때문에 제조업체는 우천 시 또는 콘크리트가 이슬점 온도 미만일 때 실리콘 실란트를 배치하지 않도록 주의합니다. 실리콘 실런트는 온도 범위가 넓은 기후에서 탄성거동을 유지합니다. 대부분의 실리콘은 낮은 탄성계수를 나타내므로 우수한 확장 및 압축회복이 가능합니다. 일반적인 저 탄성 실리콘은 결합용량을 고려하지 않고 해로운 영향 없이 최소 100% 확장 및 50% 압축을 겪을 수 있습니다(ACPA 2018).

사전 성형된(압축) 실란트 - 제조업체는 1960년대 초에 사전 성형된 압축 실란트를 도입했습니다. 현장 가열, 혼합 또는 경화 없이 즉시 적용할 수 있다는 점에서 다른 실런트와 다릅니다. 압축 및 응력을 받는 현장성형 실런트와 달리 사전성형 압축 실런트는 배치된 후에만 압축을 위해 설계되었습니다. 따라서 그 효과는 수명 동안의 측면압력에만 의존합니다(ACPA 2018; Bakhsh and Zollinger 2015; FHWA 2019).

압축 반발 강성이 우수한 합성고무인 네오프렌은 사전 성형 실란트의 주성분입니다. 이 실런트는 채움부 벽에 내부 힘을 제공하여 제자리에 고정하는 직포로 구성됩니다. 제조업체는 다른 채움부 치수에 맞게 다른 공칭 너비와 깊이를 이러한 실런트에 제공합니다. 모든 경우에 실런트 너비는 최대(가장 추운 날씨) 신축이음부 채움부 너비를 초과해야 합니다. 일반적으로 미리 형성된 실런트는 채움부 너비의 2배여야 하지만 실런트와 채움부 너비는 호환성을 보장하기 위해 함께 신중하게 선택해야 합니다. 또한 채움부 깊이는 압축하는 동안 충전깊이를 초과해야 합니다. 사전 성형된 실런트가 다양한 신축이음부 개구부에 걸쳐 20%에서 50% 압축된 상태를 유지하면 우수한 성능 결과를 얻을 수 있습니다(ACPA 2018; Taylor et al. 2012).

현재의 실런트 적용 현황

최근 몇 년 동안 각 주에서는 지역 선호도, 기후 및 교통상황에 따라 접합된 포장도로에 보다 다양한 신축이음부 충전 방식을 채택했습니다. 이러한 변화의 원동력은 부분적으로 성능저하 없이 충전비용을 줄일 수 있다는 인식일 수 있습니다. 일반적으로 지하층에 배수가 잘 되는 곳이나 기후가 매우 덥고 건조한 곳에서는 신축이음부가 수분을 덜 보유할 가능성이 높기 때문에 신축이음부에 발생하는 문제의 정도가 약합니다. 이로 인해 일부 기관에서는 더 좁은 신축유간을 적용하고 충전재를 설치하지 않으려는 시도로 이어질 수 있는 반면, 습한기후와 배수가 잘 되지 않는 노반재료를 사용하는 기관은 충전된 신축이음부를 선호합니다(Morian and Stoffels 1998). PCC 포장의 횡방향 수축 신축이음부는 전통적으로 다음 단계로 구성됩니다.

1. 균열을 제어하기 위해 초기 줄눈(sawcut) 만들기
2. 신축이음부 실런트 채움부를 만들기 위해 두 번째 줄눈 만들기

3. 채움부 표면청소 및 준비

4. 충분한 건조 후 채움부에 지지대 로드를 넣어 실런트가 채움부 바닥에 들러붙지 않게 하고, 실런트의 바닥면이 휘어지도록 한다.
5. 채움부에 실란트 재료배치(실런트를 제자리에 고정하는 것을 포함할 수 있음)

신축이음부 및 채움부 설계

이 절에서는 실런트의 움직임과 형상을 포함하여 문헌에 보고된 바와 같이 신축이음부 실런트의 설계와 관련된 요소를 검토합니다. 앞에서 언급했듯이 콘크리트 포장에서 신축이음부의 한 가지 목적은 균열을 제어하고 온도 및 수분 변화로 인한 콘크리트 팽창 및 수축의 움직임을 제공하는 것입니다. 충전된 신축이음부는 일반적으로 신축이음부와 기본포장 하부구조로의 수분 침투를 제한합니다. 신축이음부 충전재는 또한 신축이음부 면에 미세한 비압축성 재료의 침투 및 축적을 제한할 수 있습니다.

달리 언급하지 않는 한, 이후 논의에서는 다양한 콘크리트 포장 신축이음부를 집합적으로 고려합니다. 그림 1의 단면도에 표시된 충전된 신축이음부의 구성요소는 실런트(즉, 신축이음부 재료), 채움부(즉, 실런트를 포함하는 신축이음부 웰 또는 공동) 및 지지대 로드(신축이음부 채움부에 적합한 압축성 재료)입니다. 지지대 로드(즉, 적절한 실런트 형상계수(SF)를 설정하는데 도움이 됩니다. SF는 폭에 대한 실런트 깊이의 비율이며 실런트 내부의 응력을 최소화하고 결과적으로 3면 접착을 방지하는데 유용합니다.

시공 및 설치

설치 및 청소절차가 여기에 설명되어 있습니다.

(신축이음부 준비 방법 및 절차)

가로방향 수축 및 길이방향 신축이음부는 두 단계로 절단해야 합니다. 초기 줄눈은 원하는 신축이음부 위치에서 균열이 시작하도록 설계되었습니다. 필요한 깊이에서 1/8인치 너비의 절단 날로 만들어야 합니다. 두 번째 줄눈은 사용된 충전재료에 필요한 SF(폭에 대한 밀봉재 깊이의 비율)를 수용할 수 있는 적절한 신축이음부 웰(절단부 홈) 치수를 제공합니다(FHWA 2019).

신축이음부 실런트 성능

실링 신축이음부는 두 가지 방식으로 콘크리트 포장성능에 유익한 것으로 널리 알려져 있습니다(Morian and Stoffels 1998). 첫째, 포장구조로의 수분 침투를 최소화합니다. 포장구조에 수분이 있으면 포장수명을 단축할 수 있는 지지문제가 발생할 수 있습니다. 염화물 침입을 줄이는데 있어 밀폐된 신축이음부의 효과에 대한 연구에서 밀폐되지 않은 신축이음부가 있는 콘크리트 슬래브는 부식밀도의 비율이 가장 높았습니다(Abo-Qaidis 및 Al-Qadi 1995). 둘째, 충전된 신축이음부는 박리를 유발할 수 있는 더 큰 크기의 비압축성 재료(즉, 모래, 작은 돌 및 파편)가 신축이음부로 침투하는 것을 줄인다는 것이 오랫동안 받아들여져 왔습니다(Morian and Stoffels 1998). 그러나 신축이음부 면에 미세먼지가 쌓이는 것을 줄여 신축이음부에서 밀치는 경향이 감소할 가능성이 더 큼입니다. 이러한 성질의 비압축성 재료의 축적은 슬래브 온도의 변화로 인해 팽창이 발생할 때 결국 포장파열 문제점으로 이어질 수 있습니다. 성능에 영향을 미치는 다른 요소는 다음 논의에서 자세히 설명합니다.(원문을 참조하시기 바랍니다)

유지보수(재충전)

적용

포장 상태조사에서 신축이음부 실런트 손상밀도가 충분히 높다고 판단되면 신축이음부 충전재의 기능을 복원하기 위한 조치를 취해야 합니다. 주 기관은 이 결정을 지원하기 위해 비용 및 교통통제 요인과 함께 보수 고려사항을 유발하는 특정 문제수준을 지정할 수 있습니다(ACPA 2018).

대체 방법

줄눈 및 충전작업은 초기 건설비용의 2%에서 7% 사이로 추정됩니다(Hall et al. 2008). 콘크리트 고속도로 건설기능의 상대비용에 대한 연구에 따르면 실리콘 충전 신축이음부의 상대비용(기준 포장 단면을 기반으로 한 주어진 설계형상에 대해)은 충전되지 않은 신축이음부의 상대비용보다 약 7% 더 높습니다. 연구에 따르면 더 비싼 실런트 재료를 사용하면 비용이 훨씬 더 많이 듭니다(예: 가장 비싼 실런트 옵션은 1/2인치 압축 실런트인 것으로 확인됨)(Scofield 2010).

일부 주 DOT에서 제안한 한 가지 대체 방법은 좁은 폭의 신축이음부를 단일 패스로 절단하고 충전되지 않은 상태로 두어 비용을 줄이는 것입니다. 이 접근방식은 WisDOT에서 사용하므로 넓은 줄눈 절단을 만들지 않습니다. 1990년에 WisDOT은 신축 및 유지보수를 위해 모든 PCC 신축이음부 충전을 제거하는 정책을 채택했습니다(Rutkowski 1990). Shober(1997)의 보고서에 따르면 이 "충전 없음" 정책은 Wisconsin에서 연간 600만 달러를 절약하면서 포장성능의 손실을 일으키지 않고 고객의 안전과 편의성을 높였습니다. 추가 경험을 통해 WisDOT은 이제 저속도로(45mph 미만)의 신축이음부를 충전하지만 고속도로에서는 여전히 개방형 신축이음부를 사용합니다(ACPA 2018, FHWA 2019).

두 번째 대안은 좁은 신축이음부를 사용하되 실런트로 채우는 것입니다. 이 구성에서 실런트는 줄눈의 측면과 바닥에 접착되게 됩니다. 그것은 2차의 더 넓은 줄눈의 비용을 절약하지만 실런트를 높은 비점착 응력상태에 놓이게 합니다. 최근에는 더 좁은 신축이음부의 건설이 더 보편화되었습니다. Caltrans 신축이음부 및 실런트 평가에 따르면 가장 좁은 너비(1/8인치)의 신축이음부가 가장 적은 문제점을 겪었습니다. 또한 이러한 신축이음부는 1년 동안 고온변화(80° 온도변동을 경험하는 Central Valley에서와 같이) 영역에서도 잘 기능했습니다(Caltrans 2012). 이 발견은 기존 설계사양과 모순되며 추가조사가 필요합니다. 연간 신축이음부 개방의 규모에 대한 정보는 거의 없지만, 비점함 파손을 최소화할 수 있을 만큼 충분히 낮다고 가정할 수 있습니다.

세 번째 대안은 좁은 지지 봉(rod)과 실런트가 설치된 단일 줄눈으로 구성된 좁은 충전 신축이음부를 사용하는 것입니다. 지지 봉은 실런트를 더 잘 지지하고 구조적으로 더 나은 모양으로 놓이도록 하여 응력을 더 효과적으로 분산할 수 있습니다.

이러한 대안은 초기비용을 줄이기 위한 것이며 반드시 성능을 향상시키기 위한 것은 아닙니다. 이 세 가지 대안(비용 증가 순으로 제시됨)은 실란트 채움부를 형성하는데 필요한 두 번째 줄눈작업과 채움부를 채우는데 필요한 추가 실란트 재료 소요를 제거합니다(Morian and Stoffels 1998).

제 3 장 실무현황

이 자료조사를 위해 준비된 설문지의 목적(부록 B 참조)은 미국의 주 DOT에 의한 신축이음부 실란트 관행을 문서화하는 것이었습니다. 설문조사는 다음과 같은 질문으로 구성되었습니다.

- 일반 신축이음부 실란트 설치 현황
- 신축이음부 실런트의 설계
- 신축이음부 준비
- 성능
- 유보수(재충전)
- 대체방법

설문지는 여러 주의 관행이 신축이음부 실런트 성능과 연결될 수 있도록 구성되어 선택된 신축이음부 실런트 요소(신축이음부 실런트 유무, 신축이음부 유형, 크기, 모양 등)에 대한 통찰력을 제공합니다. 신

축이음부 준비의 특성상 실런트가 접착력 저하상태에 놓이는 경우 성능면에서 상당한 영향을 미칠 수 있다는 점을 고려하여 설문지에는 설치 및 시기에 관한 질문이 포함되었습니다. 신축이음부 실란트 수명 및 관련 문제점 유형에 대한 질문도 가능하면 실란트 구성과 신축이음부 준비가 신축이음부 실란트 성능에 미치는 상관관계를 조사하기 위해 공식화되었습니다. 실런트 유지관리 및 신축이음부 실란트 사용에 대한 대안에 대해 추가 질문이 준비되었습니다.

이 설문지에서 다음과 같은 유형의 정보를 주제로 구성하였습니다.

- 사용되는 실런트의 종류
- 실런트 종류 선정기준
- 신축이음부 실란트 형상계수
- 최소 초기 채움부 너비
- 신축이음부 실링을 위한 표면구성
- 청소절차
- 습기 대비
- 신축이음부 준비 점검
- 초기 설치 사례
- 틀링 방법/계획안
- 성능수명
- 성능에 영향을 미치는 요소
- 문제 유형
- 재충전 기준
- 대체방법

다음 관행 및 요인에 관한 질문에는 매우 다양한 응답이 있었으며 일부 경우에는 주정부 기관에서 이러한 항목에 대한 정보를 제공하지 않았습니다.

- 청소절차
- 습기 대비
- 틀링 방법/계획안
- 성능에 영향을 미치는 요소
- 재충전 기준

일반 신축이음부 실란트 적용 현황

설문조사는 그림 15의 상단 패널에 표시된 것처럼 50개 주 중 42개 주(84%)에서 응답을 받았습니다. 응답한 42개 주 중 33개 주(79%)는 신축이음부 실런트를 사용하는 반면, 응답한 다른 9개 주는 신축이음부 충전 대신 대안을 사용하거나(6개 주) 콘크리트 포장을 사용하지 않는다고 말했습니다(3개 주). 북쪽 동결지역의 9개 주는 신축이음부 실런트를 사용하지 않는다고 응답했습니다(그림 15의 하단 패널).

신축이음부 실런트를 사용하는 33개 주 중에서 고온 주입 실런트가 가장 많이 사용되는 신축이음부 실런트입니다(그림 16). 절반 정도의 주에서만 비 처짐(non-sag) 및 자체 평탄화 실리콘 실런트를 사용하여 실리콘 실런트를 설치합니다. 신축이음부 실런트를 설치하지 않는 주에 대해 설문조사에서는 신축이음부 실런트의 대안에 대한 세부정보와 콘크리트 포장의 신축이음부 성능문제에 대한 정보를 요청했습니다.

그림 17은 미국의 4대 주요 기후 지역을 보여줍니다. 신축이음부 실란트 사용에 대한 기후별 분석은 대부분의 비동결 지역에서 실리콘과 고온 주입 실란트가 모두 사용된다는 것을 보여줍니다. 추운 북부(건

냉동 및 습식동결 모두)에서는 실런트 사용과 관련하여 다양한 반응이 있었습니다. "실링 없음"이라고 응답한 9개 주는 모두 동결지역에 있습니다.

동일한 동결영역, 특히 습식 동결영역(23개 주)에서도 한 상태를 제외하고 모두 신축이음부를 실링하지 않거나 고온 주입 실링재만 사용합니다(그림 18). 즉, 실리콘 실란트는 습윤-동결 지역에서 거의 사용되지 않습니다.

이 설문조사는 또한 주정부에 NTPEP-PCC Joint Seals 및 HMA Crack Seals 자료를 사용하여 신축이음부 실런트에 대한 통합정보(예: 제품정보, 배치정보, 재료시험정보 및 성능자료)를 얻는 방법에 대해 질문했습니다. 이 자료원은 기관이 프로젝트의 현재 및 과거 실런트 사용을 분석하고 보고하는데 도움이 되는 도구를 제공합니다. 이를 통해 여러 실런트 제품에 대한 동적 의문과 사양 또는 검사 요구사항을 직접 비교할 수 있습니다. 자료원은 사용된 특정 실런트에 대한 제조 시험자료 모음을 나타내지만 개별 기관 시험자료도 포함할 수 있습니다. 설문조사 결과에 따르면 12개 주에서는 주로 품질관리를 위해 NTPEP 자료원(그림 19)을 사용합니다. NTPEP 자료원의 사용과 관련하여 지역적 특성은 발견되지 않았습니다.

신축이음부 실런트의 설계

SF(Shape Factor)는 이전에 언급한 바와 같이 형성된 현장 실런트의 너비 대 깊이의 비율입니다. 줄눈의 너비와 깊이, 지지 봉(rod)의 삽입깊이가 SF의 치수를 정의합니다. SF는 충전재가 아닌 실런트로 사용하기 위한 재료의 성공 정도에 중요한 것으로 간주됩니다.

제 4 장 사례 예

6개 주(애리조나, 캘리포니아, 아이오와, 루이지애나, 노스다코타, 사우스다코타)의 DOT 대표는 특정 프로젝트에 통합된 신축이음부 실란트 관행에 대한 추가 정보를 수집하기 위해 인터뷰했습니다. 인터뷰 대상기관은 신축이음부 실란트, 검토 및 현장 감독에 대한 요구사항 및 관행이 확립된 기관 중에서 선택되었습니다. 사례 인터뷰에서 배운 교훈은 이장의 끝에 포함되어 있습니다.

애리조나

애리조나에서는 ASTM D3406 또는 ASTM D3569의 요구사항을 준수하는 1액형 용융 충전재만 허용됩니다. 콜타르 재료는 허용되지 않습니다. 또한 적용 및 보관 중 최소 주변 온도를 유지하는데 중점을 둡니다(ADOT 2008). 설치하기 전에 각 신축이음부 면을 철저히 청소합니다. 승인된 청소방법에는 신축이음부를 청소하기 위한 샌드블라스팅 및 에어 블라스팅(오일 및 물이 없음)이 포함되어야 합니다. 그런 다음 신축이음부를 더 세척하여 각 면이 깨끗하고 건조하며 먼지가 없도록 합니다.

실리콘 신축이음부 실런트는 그림 30에 표시된 요구사항을 준수해야 하며 제조업체의 권장사항에 따라 적용해야 합니다. 제조업체에서 권장하는 모든 현장시험은 엔지니어가 수행합니다. Mesa에서 동쪽으로 향하는 US-60에 대해 2006년에 수행된 평가는 표 5(ATRC 2006)에 요약되어 있습니다.

캘리포니아

Caltrans는 대부분의 유형의 실런트가 15년 이상의 공용수명을 유지한다고 설문지에 응답했습니다. Caltrans는 승인된 재료목록에서 모든 신축이음부 실런트를 선택하도록 요구합니다. 기관은 제품승인 및 품질보증을 체계적으로 관리하지만 이러한 목적을 위해 NTPEP 자료원을 사용하지 않습니다. 이 기관은 1/4인치에서 5/8인치까지 다양한 너비의 신축이음부 구성을 사용하면서 실리콘 및 고온 주입 실런트 모두에 대해 권장되는 ACPA SF 지침을 충족합니다.

품질관리를 위해 Caltrans는 설치 전에 계약자가 충전재 제조업체의 담당자에게 액체 또는 미리 성형된 압축 충전재 설치를 위한 신축이음부 청소 및 준비에 대한 교육을 제공하도록 추천할 것을 요구합니다. 지지 봉, 액체 신축이음부 충전재 또는 미리 형성된 압축 충전재를 설치하기 4시간 이내에 청소를 완료해야 합니다(Caltrans 2018).

신축이음부 청소는 이물질 제거, 건조, 샌드 블라스팅, 에어 블라스팅 및 진공청소의 5가지 절차로 구성되며 기관의 사양에 자세히 설명되어 있습니다. 시공된 치수와 공극에 대한 완성된 충전재의 육안검사를 기준으로 설치가 허용됩니다. 표 6에는 캘리포니아의 특정 프로젝트 성과자료가 나와 있습니다.

아이오와

Iowa DOT는 성능수명이 15년 이상이라는 표시 때문에 선택되었으며 후속 인터뷰에서 추가 질문으로 이어졌습니다. 기관은 실런트의 제품승인을 위해 NTPEP 자료원을 사용한다고 응답했습니다. PCC 포장 신축이음부 실런트에 사용되는 제품승인 및 승인절차 및 사양에 대한 NTPEP 자료의 사용은 제품 품질 보증에 효과적입니다. 기관에서 사용하는 일반적인 신축이음부 너비는 1/8인치입니다. 신축이음부 충전재는 계약문서에 명시된 대로 제조업체에서 권장하는 대로 사용됩니다(그림 31).

Iowa DOT 사양에 따른 신축이음부 준비절차는 다음과 같습니다.

1. 평방 인치당 1,000파운드의 최소 압력으로 작동하는 고압 물 분사기를 사용하고 완성된 치수에서 3시간 이내에 습윤 줄눈 잔여물을 줄눈 면에서 씻어냅니다. 충전이 완성된 크기로 복원된 후 3시간 이내에 습기와 오일이 없는 압축공기를 제공하기 위해 공기 압축기로 신축이음부에서 마른 줄눈 잔여물을 불어냅니다(Iowa DOT 2015).
 2. 실런트를 설치하기 직전에 공기분사로 신축이음부를 청소하십시오. 육안검사로 신축이음부 표면이 건조하고 먼지와 오염이 없는지 확인할 때까지 충전하지 마십시오.
- 세척은 매우 구체적이고 체계적으로 이루어지며, 채움부의 오염정도와 습도는 육안검사를 통해 확인됩니다.

가장 자주 경험하는 기본 유형의 문제점은 노화와 응집성 균열로 나타납니다. 루이지애나주(다음에 설명)와 같이 주의 신축이음부 준비방법은 신축이음부 강도의 보존으로 인해 신축이음부 실란트 수명이 상대적으로 길어지는데 기여했을 가능성이 큼니다.

루이지애나

루이지애나 교통 개발부(LaDOTD)는 11~15년 범위의 신축이음부 실런트 성능수명을 경험했습니다. 설문조사 질문에 대한 LaDOTD의 응답분석을 기반으로 몇 가지 주목할 만한 항목을 강조하는 후속 인터뷰에서 추가 질문이 제시되었습니다.

LaDOTD는 실란트 재료의 제품승인을 위해 NTPEP 자료원을 사용한다고 응답했습니다. 이러한 방식으로 실란트 재료의 제품선택은 실란트 수명을 연장하는데 도움이 되는 것으로 보입니다. 이 기관은 ACPA 설계지침에 따라 신축이음부 실란트 설계를 위해 1.5에서 2.0 범위의 SF(폭에 대한 밀봉재 깊이의 비율)를 사용합니다. 그러나 신축이음부 너비는 ACPA의 설계 권장사항보다 1/8인치 좁습니다.

가장 자주 경험하는 문제의 기본유형은 비부착입니다. 이전 장의 그림 27에서 볼 수 있듯이 대부분의 주에서는 접합 실런트 문제의 가장 빈번하게 경험되는 유형으로 디본딩 및 접착제 분리에 의한 실패를 선택했습니다. 설치 전 신축이음부 준비 과정에서 청소가 충분하지 않아 접착력이 떨어져 분리될 수 있습니다. LaDOTD는 샌드블라스팅을 사용한 후 오일 프리 에어 제트를 사용하여 충전 직전에 신축이음

부를 철저히 청소합니다(LaDOTD 2016).

LaDOTD는 어떤 유형의 실란트가 사용 되었는지와 함께 각각의 기간을 포함하여 프로젝트에 대한 자료를 가지고 있습니다. 또한 교통자료를 수집하고 제공합니다. 여기에는 신축이음부의 박리정도에 대한 자료가 있지만 해당 정보가 2년마다 수행되는 자동화된 자료수집의 일부인 경우에만 해당됩니다. 대행기관은 신축이음부당 비부착 길이에 대한 자료를 수집하지는 않습니다.

노스다코타(대안)

North Dakota DOT(NDDOT)는 신축이음부를 충전하지 않고 대신 신축이음부를 채우므로 North Dakota는 신축이음부 충전에 대한 대안을 사용하는 다코다주의 한 예입니다. NDDOT 표준의 현재 사양에는 포장 깊이의 1/3을 절단하는 1/8인치 너비의 줄눈 사용이 포함됩니다. NDDOT은 또한 주로 고온 주입 실란트를 사용하지만, 이 방식의 변형은 실리콘으로 채워진 1/2인치 너비 절단을 사용하는 것입니다.

NDDOT의 표준사양은 또한 실란트를 설치하기 전에 신축이음부를 깨끗하고 건조해야 합니다. 압축공기는 신축이음부를 청소하는데 사용됩니다. 신축이음부 실란트의 적용은 공기온도가 40°F 이상인 경우에만 허용됩니다. 신축이음부는 콘크리트 타설(신규공사) 후 10일 이내에 충전되지만 공사 및 대중교통에 개방되기 전입니다(NDDOT 2019). NDDOT은 7~8년 동안 이러한 표준을 사용해 왔으며 스폐링(부서진 조각)과 관련된 문제를 경험한 적이 없습니다.

사우스다코타

SDDOT은 15년 이상의 공용수명을 보여주는 신축이음부 실란트가 있는 프로젝트를 표시했습니다. 그 관행에는 그림 32와 같이 신축이음부 실란트에 대한 3/8인치 채움부 폭이 포함됩니다. 또한 SDDOT은 허용되는 폭 범위내로 허용범위를 제한합니다(표 7).

고온 주입 실란트의 경우 1/8인치 및 1/4인치 폭은 그림 33과 같이 채워진 신축이음부에 사용됩니다. 실리콘과 고온 주입 재료는 포장 표면 약간 아래에 실란트가 배치된 오목한 실란트 구성으로 사용됩니다. SDDOT은 지방의 고속도로에는 실리콘 실란트를 사용하고 일반적으로 연석과 배수로를 포함하는 도시의 저속 노선에는 고온 주입 실란트를 사용하는 관행을 채택했습니다. 기관의 경험에 따르면 도시 포장의 실리콘 충전재는 지방 포장의 실리콘 충전재보다 훨씬 빨리 고장나는 경우가 많습니다. 도시 포장도로에서 신축이음부 채움부의 먼지, 모래, 눈 및 얼음이 쌓이면 실리콘 실란트 위의 교통하중으로 인해 "펀치"효과를 유발, 탈락되면서 부착 실패를 일으키는 것으로 판단되었습니다.

고온 주입 실란트와 관련하여 SDDOT는 콘크리트 포장표면에 옆질러진 재료를 재료가 냉각되는 즉시 제거해야 한다고 지정합니다. 재료 제거가 만족스러운 수준으로 수행되었는지는 엔지니어가 판단합니다. 또한 SDDOT 검사관은 ACPA 닦음시험과 본질적으로 동일한 검은색 장갑 손가락 닦음시험 사용에 대해 교육을 받았습니다.

SDDOT은 신축이음부 실란트의 성능을 향상시키는 중요한 요소는 다음과 같다고 보고했습니다.

- "실리콘 실란트의 경우 검사 중 실란트와 콘크리트 사이의 우수한 결합을 촉진하는데 필요한 청결도를 확인합니다. 또한 적절한 형상계수를 유지하면서 지나가는 차량과의 접촉을 최소화하기 위해 포장 표면 아래에 실란트를 약간 오목하게 합니다."
- "고온 주입 실란트의 경우, 다시 검사하는 동안 접착을 촉진하기 위해 충전 전에 필요한 청결도를 확인하고 겨울철에 접착손실을 방지하기 위해 충전재의 충분한 깊이를 확인합니다."

SDDOT 관행에는 필요에 따라 유지보수 인력이 고온 주입 실란트를 사용하여 가끔 현장 고정을 수행하

도록 하는 것이 포함됩니다. 프로젝트 수준의 재충전은 계약에 의해서만 이루어지며 12~25년마다 발생하는 경향이 있습니다. 표 8에는 사우스다코타주의 특정 프로젝트 성과자료가 나와 있습니다.

신축이음부 실란트 사양 요약

표 9는 신축이음부 실란트 및 대안사례를 확인하기 위해 후속 인터뷰에 참여한 DOT의 신축이음부 실란트 사양을 요약한 것입니다. 이러한 연결고리가 응답에 직접 언급되지는 않았지만 자료분석을 통해 제품승인 및 품질보증을 위해 NTPEP 자료원을 사용하는 것이 표 10과 같이 실란트의 수명에 긍정적인 영향을 미치는 경향이 있음을 시사합니다. 또한 실란트의 초기 접착에 관한 설치절차의 품질보증이 신축이음부 실란트의 수명연장에 있어 SF 설계기준을 충족하는 효과보다 더 중요한 것으로 보입니다.

사례 예에서 얻은 교훈

사례 예를 검토하면 다음과 같은 교훈을 얻을 수 있습니다.

- 인터뷰한 DOT는 대부분 실란트 선택을 위해 승인된 목록을 사용합니다. SDDOT은 매우 구체적이고 체계적인 제품승인 절차와 매뉴얼을 가지고 있습니다.
- 신축이음부 실란트 설계는 제조업체의 지침을 따르거나 ACPA 설계 권장사항의 범위 내에서 수행됩니다.
- 대부분의 신축이음부 준비 절차는 설치 전에 최소 두 번 수행됩니다. 이러한 절차에는 세심한 청소와 먼지, 습기 및 기름제거가 포함됩니다. 세척 후 신축이음부 실링이 지연되는 경우 설치 직전 신축이음부 세척을 체계적으로 반복합니다.
- 신축이음부 준비 작업의 검사는 다양한 맞춤형 테스트로 채워져 있는 것으로 나타났습니다. 세 가지 상태는 설치 전에 검사가 필요합니다. 이러한 신축이음부 검사 계획안은 신축이음부 실란트의 접착 또는 접착실패(포장 수명의 초기 단계에서)의 발생을 예방하거나 줄일 것으로 예상됩니다.

제 5 장 결론

결과

3장에 제시된 자료는 주 DOT가 신축이음부 실란트를 고려, 선택 및 사용하는 방식과 관련하여 다음과 같은 일반적인 결과를 제시합니다.

- 많은 기관에서는 신축이음부 실링이 필요하고 신축이음부 실란트가 콘크리트 포장성능의 중요한 요소이며 고품질 신축이음부 실란트 관행을 촉진하고 수행하는데 장기적인 장점이 있다고 믿습니다.
- 포장성능에 대한 실란트 상태의 영향을 추적하기 위한 조치를 문서화하거나 모니터링하는 것은 장점이 있는 것으로 보이지만 조사결과에 따르면 신축이음부 실란트 상태가 잘 문서화되지 않았습니다.
- 청소 및 신축이음부 준비작업에 대한 기관검사를 용이하게 하는 도구 또는 제어 계획안이 필요한 것으로 보입니다.
- 또한 신축이음부 충전의 장점을 평가하고, 신축이음부 실란트를 선택하거나, 재충전 작업을 수행할 시기를 결정하기 위한 보조도구 및 기준이 필요한 것으로 보입니다.
- 신축이음부 실란트의 역할은 일반적으로 포장수명을 보장하는 핵심항목으로만 간주되었습니다.
- 모든 기관이 실란트 형상인자와 관련하여 확립된 관행을 따르는 것은 아니므로 조기 접착실패의 위험이 있습니다.

SF 한계에 대한 확립된 지침을 준수하지 않는 것은 단일 줄눈 신축이음부가 일정한 신축이음부 간격으로 적절하게 충전될 수 있다는 개념에서 비롯된 것 같습니다. 이것은 실란트 관행이 발전한 영역일 수 있지만 관련 신축이음부 간격에 관한 관행은 그렇지 않습니다. 매우 좁은 신축이음부를 사용하면 신축이음부 준비 및 충전작업 모두에 문제가 발생합니다. 어느 정도 확신을 가지고는 수행할 수 없습니다. 예를 들어, 설치 전에 검사하는 동안 좁은 신축이음부의 필요한 청결도를 확인하는 것이 어렵습니다. 이

러한 요인은 더 높은 응력수준과 결합하여 조기 비접착 및 실란트 실패를 초래할 수 있습니다. 신축이음부 실란트의 장기적인 성능을 유지하기 위해 DOT는 권장 신축이음부 설계지침과 확립된 신축이음부 준비 또는 신축이음부 검사 계획안을 따를 수 있습니다. 인터뷰한 DOT는 이러한 지침을 수행하고 준수함으로써 이익을 얻었습니다.

기타 주목할 만한 조사결과는 다음과 같습니다.

- NDDOT은 신축이음부 충전(지지 봉(rod) 없이 설치 : 일반적으로 신축이음부의 충분한 깊이까지 완전히 충전)을 수행하는 대신 기존 신축이음부 충전(충전재가 신축이음부에 적절한 모양을 가지도록하기 위해 지지대 로드와 함께 설치)에 대한 대안에 대해 성능기록을 수립하기 시작했습니다. 그러나 많은 이전 연구에서 보고된 바와 같이 좁고 깊은 신축이음부 실런트 구성은 동일한 변형정도에서 기존 신축이음부 구성($SF \geq 1$, 정사각형 또는 넓은 직사각형)에 비해 응력수준을 증가시키는 경향이 있습니다. 결과적으로, 충전된 신축이음부 실란트의 성능은 여전히 신축이음부 실란트의 탈착으로 인한 침식손상 및 단층 또는 기타 문제로 이어질 가능성이 있습니다. 이것은 또한 모든 상황에서 사실이 아닐 수 있으므로 후속조치로 보다 심층적인 조사가 필요함을 시사합니다.
- 기관에서 실런트 설치를 위해 신축이음부를 준비하는 방식에는 경향이 없었습니다. 신축이음부 준비는 기관이 지시하는 방법과 절차에 따라 수행됩니다. 일부 주에서는 공동준비절차 및 방법을 설치 계약자에게 위임합니다.
- DOT는 개별기준에 따라 신축이음부 실런트를 설치하므로 동일한 실런트 유형에 대해 수명이 다를 수 있습니다. 이러한 상황은 한동안 발전해 왔지만 사용된 모호한 표준으로 인해 명확한 결과를 내지 못한 것으로 보입니다. 또한 신축이음부 실란트의 성능을 분석하는데 사용할 수 있는 상당한 정도의 자료원을 개발하지 못했습니다.
- 조사자료와 국가기관의 후속 인터뷰는 신축이음부 실런트의 성능이 콘크리트 포장의 수명에 크게 기여한다는 개념을 뒷받침합니다.
- 신축이음부 실란트와 관련된 국가 자료원의 사용은 참여하는 주 기관에 도움이 되었습니다.

추가 연구를 위한 권장사항

이 취합의 결과는 추가 연구를 위한 몇 가지 분야를 제안합니다. 이러한 추가 연구의 이유와 목적은 다음과 같습니다.

- 신축이음부 채움부의 설계에서 신축이음부의 폭은 ACPA의 설계지침보다 좁아지는 경향이 있습니다. 이러한 추세에 따라 설치의 내구성을 적절하게 보장하기 위해 좁은 신축이음부 폭을 선호하여 ACPA에서 제안한 SF를 준수하는 실란트 두께를 재평가해야 할 수 있습니다. 또한 현재 청소방법의 적절성에 대해서도 재평가가 필요할 수 있습니다.
- 일부 주정부 기관은 신축이음부 실런트 사용을 중단하고 있습니다. 이것과 밀접한 관련이 있는 것은 신축이음부 충전을 위해 주어진 후보 프로젝트에 대한 재료선택을 적절하게 만들기 위한 자료, 도구 및 자료원의 부족과 관련된 결함입니다. 관련된 실란트의 필요성과 유형에 대한 결정은 콘크리트 포장성능에 대한 역할만큼 실란트 요구사항의 근본 원인이 됩니다. 이 유형의 결정에 중요한 요소는 포장의 접합 시스템, 교통 수준 및 콘크리트 슬래브 아래에 사용되는 보조기층 유형과 관련된 세부사항입니다. 즉, 신축이음부 충전성능과 충전하지 않음에 따른 위험을 확인하기 위해서는 모델링 도구가 필요합니다.
- 침식 가능성의 평가는 충전의 필요성과 주어진 프로젝트에 사용해야 하는 충전재의 유형을 평가하기 위한 도구개발의 핵심이 될 것입니다. 이러한 도구에는 교통부하 및 하중빈도, 수분의 존재 및 수분이 기부 층으로 들어가는 경로(즉, 신축이음부 실런트의 효율성), 기부의 재료 특성(Bakhsh, Zollinger, 및 Jung 2013)을 포함합니다. 따라서 침식 가능성의 평가는 포장성능과 실란트 관행 및 효율성을 연결하는데 중요합니다.
- 기관이 완전한 장점을 실현하기 위해 주요 결정을 내리고 신축이음부 실란트를 사용하는데 필요한 자료, 도구 및 자료원의 개발을 위해 신축이음부 실란트의 성능 및 상태에 대한 장기조사를 수행하는 것

이 좋습니다.

<원문제목> Portland Cement Concrete Pavement Joint Sealant Practices and Performance

<원문출처> Transportation Research Board. 500 Fifth St. NW, Washington, D.C. 20001