

Global Report

토사 재료의 강재 부식 가능성을 특성화하기 위해 개선된 시 험방법 및 사례

1. - 요약 -
2. 제1장 배경
3. 제2장 연구 접근법
4. 제3장 시험실 측정(2단계)
5. 제4장 현장 측정(3단계)
6. 제5장 결론 및 향후 연구의 필요성

- 요약 -

NCHRP 프로젝트 21-11은 토사 재료의 강재 부식 가능성을 특성화하기 위한 현재 방법을 평가하고 개선하는 것을 목표로 합니다. 전기 저항률, pH, 염분 농도 및 유기물 함량과 같은 토사 재료의 전기 화학적 특성은 일반적으로 주변 토사와 직접 접촉하는 매립된 금속요소의 부식 가능성을 특성화하는데 사용됩니다. 1990년대 초에 채택된 AASHTO 시험표준은 토사재료의 전기 화학적 특성을 결정하기 위한 미국에서 가장 일반적인 업무 중 하나입니다. 그러나 이러한 방법은 인프라 건설에 사용되는 토사재료의 크게 다른 특성을 고려하지 않으며 특정 응용프로그램에 내재된 문제를 구분하지 않습니다. AASHTO T-288 (2016)은 비교적 작은 토사시료 내에서 압축된 표본의 저항률을 결정하기 위해 No.10 체보다 더 세밀한 토사가 필요합니다. 이런 입도특성(Gradation)은 토사의 조직을 변경하여 토사의 전도성에 영향을 미치며 원래 토사와 다른 저항률 결과를 초래할 수 있습니다 (즉, 미세입자 토사의 저항률은 일반적으로 거친 입자 토사보다 낮음). 따라서 현재 AASHTO 시험표준과 관련된 제한사항을 인식해야 하며 이러한 제한사항을 해결하기 위한 대안을 생각해야 합니다.

이 연구의 주요 결과물은 토사 재료의 강재부식 가능성을 샘플링, 시험 및 특성화하기 위한 시험계획안입니다. 구체적인 연구목표는 (1) 대표적인 토질재료를 식별, 샘플링 및 특성화하는 것, (2) 토사 및 침출수 샘플의 측정된 전기화학적 특성에 대한 다양한 전기화학적 측정기술 및 다양한 시료준비절차 (예: 응집체 크기)의 영향을 결정하는 것, (3) 실험실 시험결과와 적절한 분석을 위해 실험실과 현장측정 간의 연결을 설정하는 것, (4) 기존의 방법에 비해 토사 재료의 부식성을 더 정확하게 반영하는 시험계획안 및 부식전위의 해당특성 개발 등에 있습니다.

접근법

우리는 이 연구를 세 단계로 수행했습니다.

- 1 단계 (문헌 검토)에는 기존 정보의 검색 및 검토, 국내 및 국제관행의 종합, 지식격차의 구별 및 우선순위 지정, 토질재료의 강재 부식성 샘플링, 시험 및 평가를 위한 실험계획 초안 작성이 포함됩니다.
- 2 단계 (평가)에는 실험실에서 전기 화학적 특성을 측정하기 위한 대체 시험방법 방안에 대한 체계적인 연구, 토사재료의 부식가능성을 평가하기 위한 알고리즘 및 실험계획의 추가개발이 포함됩니다.
- 3 단계 (검증), 제안된 실험계획안 및 대체 실험실 시험방법의 실용성을 평가합니다. (2 단계에서 조사됨)

우리는 광범위한 재료(주로 보강토 옹벽(MSEW) 구조에 일반적으로 사용되는 재료)를 포함하는 샘플링 영역에 적용된 토사의 전기화학적 특성을 측정하기 위한 대체 실험실 시험절차를 연구했습니다. 자료에는 저항률, pH, 염화물 및 황산염 함량을 포함한 샘플의 토양 화학적 및 전기화학적 특성측정과 함께 다양한 샘플 소스(예: 최대 입자 크기 및 점차적 변화)의 특성화가 포함되었습니다.

19개 소스에 포함된 일반 및 아연도금 강재시편의 성능자료(즉, 부식률)를 문서화 했습니다. 전기 화학적 시험결과와 각 소스의 부식가능성을 특성화하는데 사용되었지만, 성능자료는 이러한 특성을 부식율과 연관시키는데 사용되었습니다.

토사저항을 측정하기위한 AASHTO 시험의 대안으로는 ASTM G-187 (2018), Tex-129-E (1999), Tex-129-M, ASTM WK24261, SCT 143(2008) 및 Tex-620-M이 있습니다. 저항력 시험방법은 (1) 토사시료의 압축된 토사샘플을 통과하는 적용된 전류에 대한 전압강하측정 (갈바 노스텍 시험) 또는 (2) 토사에서 추출한 샘플(침출수) 수용액의 전도도 측정을 포함하는 두 가지가 일반적인 유형입니다.

시험 간의 다른 차이점은 체 거름, 공기건조, 가열, 혼합방법, 침전 / 경화시간 및 여과를 포함할 수 있는 시료처리 측면입니다. 시험방법 ASTM WK24261 및 Tex-129-M은 현재 ASTM 및 TxDOT에 의해 구현을 고려중인 새로운 시험방법(개발 중)입니다. Tex-129-E(1999)는 Tex-129-M으로 대체될 수 있는 현재 TxDOT 표준입니다.

일반적으로 작은 토사샘플을 탈 이온수로 희석한 후 얻은 추출물에 대해 pH 및 염분함량 시험을 수행합니다. 토사샘플의 크기, 샘플에 포함된 토사의 부분(예 : 체 10번보다 미세한 부분), 희석비율, 담금 기간, 혼합방법 및 시간, 고형물 여과와 같은 표본준비의 구체적인 세부사항이 다른 시험절차 사이에서 다양합니다. 이러한 요소는 얻은 전기 화학적 결과에 상당한 영향을 줄 수 있습니다.

pH 측정을 위한 AASHTO 테스트의 대안으로는 ASTM D4972 (2019), SCT 143 (2008), Tex-128-E (1999), Tex-620-M, CorrTest에서 개발하고 NCHRP 프로젝트 21-06 (2009)의 일부로 설명되는 과정이 있으며 현재 ASTM위원회 D18에서 고려중인 새로운 시험방법을 포함합니다. 후자의 두 가지 시험방법과 Tex-620-M은 상대적으로 거친 입자의 pH를 측정하는데 적용할 수 있으며 반면에 다른 시험은 더 미세한 재료의 pH를 측정하는데 더 많이 적용할 수 있습니다.

용해성염 함량을 측정하기 위한 AASHTO 시험의 대안으로는 Tex-620-J (2005) 및 Tex-620-M이 있습니다. 또한 ASTM D4327 (2017)은 이온교환 색층 분석법(IC)을 사용하여 식수 및 폐수에 보다 더 적용할 수 있는 기타 음이온뿐만 아니라 염화물 및 황산염 이온함량을 포함한 가용성염 함량을 결정하는 보다 강력한 기술을 제공합니다. 이 기술은 AASHTO T-290 (2016) 및 AASHTO T-291 (2013)에 따라 준비된 샘플에 적용할 수 있습니다. 또한 색층 분석법(IC)을 사용할 때 동일한 시료에서 황산염 및 염화물 함량을 측정할 수 있습니다.

우리는 (a) 결과의 정확성 / 반복성, (b) 현재 AASHTO 시험에서 얻은 결과와 비교한 결과의 편향성, (c) 자료에서 확인한 현상 측면에서부터 여러 시험절차에서 얻은 결과를 비교했습니다. 반복성, 정밀도 및 편향성 측면에서 절차가 다른 절차보다 나은지 확인하기 위해 이러한 비교를 수행했습니다. 또한 다른 시험방법의 결과가 유사하고 결과가 다른 경우를 구별합니다. 결과의 차이가 관찰되는 경우 강재부식 가능성을 특성화하기 위한 최상의 결과를 구별하기 위해 추가분석을 수행했습니다.

정밀도 및 편향성

저항성

- 최고의 정밀도는 Tex-620-J (2005), Tex-129-E (1999), Tex-129-M 및 Tex-620-M에서 6.8% ~ 7.6% 범위의 반복성을 나타냅니다.
- 다른 시험방법의 정밀도는 9.1%에서 13.2 %사이의 반복성을 나타내어 정밀도가 약간 덜합니다. 반복성이 13.2%인 ASTM WK24261의 결과는 다른 비저항 시험방법에 비해 반복성이 가장 좋지 않습니다.
- 토사수 혼합물 (Tex-620-J (2005), Tex-620-M 및 SCT 143 (2008))에서 추출한 침출수에 대해 수행한 시험결과는 토사시료시험 (Tex- 129-M, Tex-129-E (1999), ASTM G-187 (2018), AASHTO T-288 (2016) 및 ASTM WK24261)으로부터 이뤄진 것에 비교할 수 있는 반복성을 가지고 있습니다.
- 저항 / 전도도 측정을 위한 텍사스 수정절차(Tex-129-M 및 Tex-620-M)에서 얻은 결과는 AASHTO T-288 (2016), SCT 143 (2008), ASTM G-187 (2018) 및 ASTM WK24261에서 얻은 결과에 비해 반복성이 향상되었습니다.
- 평균편향성은 변동계수 (COV)가 22% 인 Tex-129-E (1999)의 경우 약 1입니다. Tex-129-E (1999)와 AASHTO T-288 (2016)의 결과는 이들 시험방법 간의 유사성 때문에 비슷했습니다. 두 가지 시험은 시료에서 표본을 분리하는데 사용되는 체 크기(No. 8 vs. No. 10)와 AASHTO T-288 (2016)에서 첫 번

째 수분증분에 대해 규정한 12시간 경화기간이 다릅니다. 이 연구에서 시험된 모래 및 자갈재료의 경우 이러한 차이가 결과에 큰 영향을 미치지 않았습니다. 다른 시험절차는 COV가 일반적으로 50%보다 높은 1.00(Tex-620-M에서 5.22만큼)보다 눈에 띄게 높은 평균 편향 값을 보여줍니다.

- 평균편향은 더 심한 차이를 포함하는 시험절차 (즉, ASTM G-187 (2018), Tex-129-M 및 ASTM WK24261)에서 더 큼니다. ASTM G-187 (2018)은 최대 1/4"입자크기를 포함하지만 Tex-129-M 및 ASTM WK 24261은 모두 최대 1과 3/4"까지 입자크기를 포함합니다. 이는 ASTM G-187 (2018)의 결과에 비해 ASTM WK 24261 및 Tex-129-M에서 얻은 결과에서 더 높은 평균편향 값으로 반영됩니다. ASTM WK24261의 편향치는 ASTM WK24261에 대해 샘플이 건조된 후 측정이 수행되는 방식으로 인하여 Tex-129-M의 편향치보다 높습니다.

- 샘플 (고운모래, 거친 모래 및 자갈)의 섬세 정도에 따라 각 시험방법의 자료를 그룹화 했습니다. 샘플의 조도가 증가할수록 평균편향과 변동계수(COV)가 증가하는 것을 관찰했습니다. 고운 모래로 특성화된 재료와 토사시료 시험결과를 고려할 때 평균 편향성은 상대적으로 낮은 COV (평균 COV = 8 %)를 가진 편향성에 가깝습니다. 반면에 거친 모래와 자갈에 대한 편향은 시험편 내에 거친 입자를 포함하는 Tex-129-M의 결과를 고려할 때 각각 1.6과 3.1입니다. 또한 30%를 초과하는 COV가 관찰되는 거친 모래와 자갈로 특성화된 재료의 경우 변동계수 편향치가 점진적으로 증가합니다.

- 압축된 토사표본에 대한 시험과 침출수로 수행된 시험의 평균편향은 각각 2.13 및 2.95입니다.

우리는 침출수의 전도성 측정을 사용하여 변동성으로 인한 영향을 포함할 수 없기 때문에 육안조사에 의한 차이점을 기대했습니다.

- 침출수에 대한 시험의 편향치는 모두 1보다 큼니다. 더 미세한 성분으로 분리된 샘플의 경우에도 마찬가지입니다. (예 : Tex-620-J (2005) 샘플은 No. 40체에서 분리됨) 이는 토사시료 시험과 비교하여 다른 침출 시험에서 사용되는 침출수 혼합 및 추출방법과 희석비율이 다르기 때문입니다.

염분함량

- 정밀도 / 반복성은 염분함량 측정을 위한 시험방법들에서는 유사한 결과나 나타났습니다.
- 더 높은 염분함량은 AASHTO 시험과 비교하여 Tex-620-J (2005)를 통해 측정됩니다. Tex-620-M의 염분함량은 일반적으로 다른 시험방법보다 낮습니다.
- 염분함량과 저항률 측정 사이에서 최상의 상관관계는 AASHTO 시험표준에서 얻었습니다.

pH

- Tex-620-M의 pH 측정은 이 연구에서 조사된 다른 시험방법의 측정에 비해 반복성이 떨어집니다.
- 일반적으로 Tex-620-M은 연구에서 조사된 다른 시험방법에서 얻은 값에 비해 더 높은 pH값을 제공합니다.
- NCHRP 21-06 (2009)의 결과는 AASHTO T-289 (2018)에 비해 더 반복성이 크며 큰 편향성이 없습니다.

CR(부식율)과의 상관관계

시험프로그램에 포함된 각 비저항 시험에서 얻은 결과의 정확도를 평가하기 위해 부식율과 비저항 측정 간의 결정계수 R2를 지표로 사용했습니다. 이 단일 매개변수는 염분 및 수분함량을 포함하여 부식반응에서 역할을 하는 수많은 요인과 상관관계가 있기 때문에 비저항은 종종 부식성의 지표로 간주됩니다. (King 1977; Romanoff 1957)

회귀분석을 위한 시험 모집단에는 부식율에 대한 28가지 측정을 통합한 19개 샘플 소스의 측정이 포함되었습니다. 관찰된 부식율에는 아연도금 강재시편의 데이터 위치 18개소와 일반 강재시편의 데이터 위치 10개소가 포함되었습니다. 여기에 제시된 측정값은 각 현장 / 소스에서 관찰된 최댓값입니다. 가장 취약한 요소의 내구성을 고려하기 위해 최댓값을 사용합니다. 자료 모집단에는 실험실 시험의 측정 부식율 및 현장측정 부식율이 포함되었습니다.

Tex-129-M의 결과는 No.10체를 통과하는 비율이 약 22%미만인 재료에 잘 적용된다는 결론을 내립니다. No.10체를 통과하는 22%이상의 재료의 경우에는 AASHTO T-288이 저항율 측정에 적합합니다. 우리는 이러한 관측을 사용하여 부록 A에 제시된 제안된 실험계획안을 개발했습니다.

권장 실험계획안

우리는 2단계에서 수집된 자료에 대한 분석결과를 기반으로 제안된 실험계획안에 권장사항을 통합했습니다. 제안된 실험계획안을 그림 3-14에 표시된 순서도 형식으로 요약했습니다. 재료의 특성은 등급번호(GN)와 No. 10체를 통과하는 비율로 설명됩니다. 일반적으로 제안된 실험계획안은 $GN > 3$ 인 샘플 또는 No.10체를 통과하는 비율이 25%를 초과하는 경우, 현재 AASHTO 시험시리즈의 적용을 제안합니다. 그렇지 않고 $GN < 3$ 이고 No.10체를 통과하는 비율이 25 % 미만인 경우, 텍사스 수정절차가 권장됩니다. (예 : Tex-129-M 및 Tex-620-M)

구현 연구

NCHRP 프로젝트 21-11의 3단계 동안, 우리는 선택된 운송기관과 협력하여 권장 실험계획안이 "부수적 적용사양"으로 구현되었습니다. 자료에는 저항, pH, 염화물 및 황산염 함량 (즉, 총 염분함량)을 포함한 시료의 토양 화학적 및 전기 화학적 특성 측정과 함께 다양한 샘플 소스 (예 : 최대 입자크기 및 등급)의 특성화가 포함되었습니다. Wenner 4- 조사기술(ASTM G57 (2012) 및 Wenner (1915)에 따름)은 전기저항측정을 위해 현장에서 사용되었습니다. 토사의 대표적인 샘플은 현장 또는 자료원에서 수집되었습니다. 샘플은 텍사스 수정 및 AASHTO 시험절차를 사용하여 실험실에서 전기, 화학시험을 하였습니다. 또한 전기, 화학시험에 종사하는 실험실 및 여러 주에 있는 공급업체 / 운영자와의 상호관계를 통해 제안된 실험계획안의 실용성과 구현을 평가했습니다.

구현 연구 자료를 통해 동일한 시험표준을 사용하여 여러 실험실에서 얻은 결과를 비교할 수 있었습니다. 우리는 또한 현장에 배치된 재료와 동일한 등급을 가진 시편에서 얻은 실험실 측정과 비교를 위하여 현장 저항측정을 수행하였고 유사한 수분함량에서 측정했습니다.

NCHRP 프로젝트 21-11의 3단계 구현에서 얻은 정보와 자료는 보강재가 토사 저항측정에 미치는 영향과 보강재에 수직인 Wenner 4- 조사 시험을 위한 방침 방향의 이점을 보여줍니다. 이 자료는 또한 측정에 내재된 변동성과 이러한 변동에 대한 보강효과를 보여주었습니다. 우리는 또한 저항률의 실험실 및 현장측정 사이의 일치성을 관찰했습니다.

진행 중인 건설 프로젝트에서 제안된 실험계획안을 구현하여 수집된 경험과 자료는 부식가능성의 개선된 특성화를 위해 수정된 시험절차 및 시험 실험계획안이 기존방법에 비해 구현하기 더 쉽다는 것을 나타냅니다. 운영자 / 계약자는 수정된 시험절차를 수행할 수 있었고 거의 예외 없이 이러한 시험을 수행하는데 필요한 장비를 확보할 수 있었습니다. 부식성 특성에 어떤 시험절차를 적용해야 하는지에 대한 권장사항은 명확하고 실행하기 쉬운 것으로 밝혀졌습니다.

보고서의 구성

NCHRP 프로젝트 21-11은 토사재료의 강재부식가능성을 특성화하기 위한 현재방법을 평가하고 개선하는 것을 목표로 합니다. 이 연구의 주요목표는 사용조건 및 현장 성능관찰과 일치하는 토사재료에 대한 부식가능성의 특성화를 촉진하는 시험 실험계획안을 개발하는 것입니다. 이 보고서는 NCHRP 프로젝트 21-11의 결과, 자료수집 및 해석, 결론 및 권장사항을 설명합니다.

1 장은 토질재료의 부식성을 평가하기 위한 현재 시험방법 및 관행과 관련된 장단점을 요약 한 것입니다 (1 단계). 2 장은 연구의 주요목표를 달성하는데 사용되는 연구접근방식을 요약합니다. 이 장에는 또한 프로젝트의 각 단계에 포함된 목표와 연구과제가 요약되어 있습니다. 3 장에서는 실험실 프로그램에서 사용되는 샘플영역과 실험실측정에서 얻은 결과를 설명합니다. 이 장에는 토질재료를 샘플링 및 시험을 행하고, 강재부식가능성을 특성화하기위한 권장사항 및 실험계획안 개발에 중점을 두고 다양한 시험방법에서 얻은 전기 화학적 특성 측정간의 논의 및 비교가 포함되어 있습니다. 4 장에서는 운영자 / 관계자와의 협력, 권장사항 및 제안된 실험계획안의 구현을 진행 중인 건설 프로젝트의 "부수적 적용사항"으로 설명합니다. 그 다음에는 서로 다른 실험실에서 얻은 실험실 시험결과와 동일한 소스의 샘플을 비교합니다. 우리는 또한 저항률의 현장 측정 및 실험실 및 현장 측정결과 간의 비교를 위한 현재 관행에 대한 개선을 제안합니다. 5 장은 향후 연구를 위한 결론과 권장사항을 포함하고 있습니다.

제1장 배경

1.1 소개

전기 저항, pH, 염분농도 및 유기물 함량과 같은 토사 재료의 전기 화학적 특성은 일반적으로 부식가능성을 특성화 하는데 사용됩니다. 1990년대 초에 채택된 AASHTO 시험표준은 토사재료의 전기 화학적 특성을 결정하기 위한 미국에서 가장 일반적인 관행 중 하나입니다. 그러나 AASHTO 시험방법은 광범위한 물리적 및 전기 화학적 특성을 포함하는 모든 토질재료에 적용되지 않으며 특정 유형의 인프라건설에 내재된 문제를 구분하지 않습니다. 예를 들어, AASHTO T-288 (2016)은 포화 또는 슬러리 상태에서 토사재료의 최소 저항률 (p_{min})을 결정하는데 사용됩니다. 그러나 슬러리 상태는 토류구조물의 유효수명 동안 발생하는 상태를 나타내지 않습니다. 이러한 시험에서 얻은 최소저항률은 그 안에 배치된 금속요소 수명동안 시험한 토사재료의 저항률을 나타내지 않습니다. 또한 AASHTO T-288 (2016)은 시료를 입자크기에 따라 여러 구획으로 분리하고 시험편에 10번 체를 통과한 부분만 포함하여 시험편을 준비하는 방법을 지정합니다. 토사재료에 대한 비저항 측정은 토사질감의 영향을 받으므로 시험표본 내에 샘플의 미세한 부분만 포함하면 샘플고유의 모든 입자크기가 포함된 경우 측정되는 것과는 다른 저항률측정이 가능합니다. AASHTO 시험은 거친 유형의 토사재료의 부식성을 결정하는데 적합하지 않을 수 있으며 현장에서 경험할 수 있는 수분함량에 대한 제한을 실제로 고려하지 않습니다. 현재 AASHTO 관행의 결과는 실험실 조건에서 서로 다른 토사의 부식성을 비교하기 위한 공통기준점을 설정하는 것이상으로 해석될 수 없습니다. 이 연구는 특정 응용분야 (예 : MSEW : 보강토 옹벽)에 더 적합할 수 있는 대체 시험방법을 평가하고 더 큰 입자크기를 포함하는 더 넓은 범위의 토사의 종류를 고려합니다.

1.2 연구목표

이 연구의 주요목표는 토사재료의 사용 중인 강재의 부식가능성을 특성화하기위한 시험 실험계획안을 개발하는 것입니다. 이 목표를 달성하는데 필요한 목표는 다음과 같습니다. (1) 대표적인 토질재료를 식별, 샘플링 및 특성화; (2) 고형시료에서 추출한 압축토사 또는 침출수의 측정된 전기 화학적 특성에 대한 다양한 전기 화학적 측정기술 및 다양한 시료준비 순서(예 : 응집체 크기)의 영향을 결정하는 것,

(3) 실험실 시험 결과의 적절한 분석을 위해 실험실과 현장측정 간의 연결을 설정하는 것, 그리고 (4) 기존방법에 비해 토사재료의 부식성을 더 정확하게 반영하는 시험 실험계획안 및 부식전위의 해당 특성을 개발하는 것 등.

1.3. 토사재료의 부식가능성 특성화를 위한 현재 관행검토

이 장에서는 토사재료의 부식성을 평가하는데 사용되는 현재 시험방법을 요약하고 제안된 결과해석을 제시합니다. a) 전기저항 b) 염화물함량 c) 황산염함량 및 d) pH측정을 위한 실험실 시험이 조사에 포함되었습니다. 각 시험방법과 관련된 샘플준비 및 제한사항도 이 장에 나와 있습니다.

1.4. 지식 격차 및 연구 목적

전기 화학적 특성측정을 위한 대체 시험방법을 추천하기 전에 해결해야 하는 지식의 차이는 다음 질문으로 요약됩니다.

- 10번 체를 통과하는 부분을 시험하기 전에 재료가 얼마나 미세해야 합니까?
- 저항력을 알기위한 탈수시험을 하기 전에 재료가 얼마나 거칠어야 합니까?
- 다른 시험방법에서 얻은 결과는 어떻게 비교됩니까?
- 개별 시험방법의 정밀도와 편향성은 무엇입니까?
- 제안된 부식가능성 특성화가 성능 / 관찰된 부식율과 얼마나 잘 연관되어 있습니까?

제2장 연구 접근법

2.1 소개

이 연구는 9개 작업을 포함하여 3단계로 수행되었습니다. 과제 1 ~ 4로 구성된 1단계에는 기존 정보의 검색 및 검토, 국내 및 국제관행의 종합, 지식격차의 식별 및 우선순위 지정, 토사재료의 강재 부식성을 샘플링, 시험 및 평가하기 위한 실험계획안 초안 작성이 포함되었습니다. 작업 5와 6으로 구성된 2단계 (평가)에는 실험실에서 전기 화학적 특성을 측정하기 위한 대체 시험방법에 대한 체계적인 연구, 토질재료의 부식 가능성 평가를 위한 알고리즘, 실험계획안의 추가개발이 포함되었습니다. 작업 7 ~ 9를 포함한 3단계 (검증) 동안 제안된 실험계획안 및 대체 실험실 시험방법 (2단계부터)의 실용성을 평가하고 필요에 따라 제안된 실험계획안을 검증 및 수정하고 해당 영역에서 제안된 실험실 시험방법의 구현을 용이하게 했습니다. 다음 장에서는 모든 작업에 대한 간략한 설명을 제공합니다.

제3장 실험실 측정(2단계)

다음 장에서는 2단계에서 구현한 샘플링 및 시험프로그램에 대해 설명합니다. 우리는 실험실 시험프로그램의 자료를 사용하여 다양한 시험절차에서 측정의 정밀도와 편향성을 연구했습니다. 또한 전기 화학적 특성의 측정값을 동일한 소스에 대한 부식율 관찰과 비교하며 해당 부식전위 특성의 정확성을 평가했습니다. 우리는 이 정보를 사용하여 권장사항을 개발하고 토사재료 샘플링, 적절한 시험 및 부식가능성의 특성화를 위한 실험계획안을 제안했습니다.

3.1 소개

2단계의 목표는 현재 AASHTO 시험절차의 시험결과가 토사재료의 강재부식 가능성을 특성화하는데 가

장 적합한 시기와 토양 화학적 및 전기 화학적 특성 측정을 위한 대체 시험방법을 적용해야 하는 시기를 결정하는 것이었습니다. 2단계 동안 우리는 광범위한 재료 (주로 보강토 웅벽(MSEW) 공사에 일반적으로 사용되는 재료)를 포함하는 샘플링 영역에 적용된 토사의 전기 화학적 특성을 측정하기 위한 대체 실험실 시험절차를 연구했습니다. 자료에는 저항률, pH, 염화물 및 황산염 함량을 포함한 시료의 토양 화학적 및 전기 화학적 특성 측정과 함께 다양한 시료소스 (예 : 최대 입자 크기 및 등급)의 특성화가 포함됩니다. 이 장에서는 27개의 서로 다른 토사재료 샘플에서 얻은 실험실 자료를 요약합니다. 19개 소스에 포함된 일반 및 아연도금 강재시편의 성능자료(즉, 부식율)를 문서화했습니다. 전기화학적 시험 결과는 각 소스의 부식가능성을 특성화하는데 사용되었지만 성능자료는 이러한 특성을 부식속도와 연관시키는데 사용되었습니다.

다른 시험표준을 적용한 결과를 동등한 AASHTO 시험에서 얻은 결과와 비교하고 관찰된 차이의 원인을 확인했습니다. (즉, AASHTO 테스트를 참조로 사용) 이 장에서 사용된 자료 모집단 (27개의 서로 다른 재료샘플)에 대한 간략한 설명이 다음 장에 나와 있습니다. 그 다음에는 저항성 / 전도성, pH 및 염화물 / 황산염함량의 형태로 다양한 시험방법에서 얻은 주요결과가 이어집니다. 마지막으로 자료 모집단 내에서 관찰된 추세를 논의하고 대안의 결과를 AASHTO 시험방법의 결과와 비교합니다. 시험절차와 정밀도 및 편향에 대한 세부사항은 표로 작성되어 부록 B에 나와 있습니다. 두드러진 세부사항은 다음과 같습니다.

3.5. 권장 실험 계획안

우리는 2단계에서 수집된 자료에 대한 분석결과를 기반으로 제안된 실험계획안(부록 A에 제시됨)에 권장사항을 통합했습니다. 제안된 실험계획안을 그림 3-14에 표시된 순서도 형식으로 요약했습니다. 일반적으로 제안된 실험계획안은 $GN > 3$ 인 샘플 또는 No.10체를 통과하는 비율이 25%를 초과하는 경우 현재 AASHTO 시험 시리즈의 적용을 제안합니다. 그렇지 않으면 $GN < 3$ 이고 No.10체를 통과하는 비율이 25% 미만이면 Texas 수정절차가 권장됩니다. (예 : Tex-129-M 및 Tex-620-M)

(관련 그림이나 표는 첨부된 원문을 참고하시기 바랍니다.)

우리는 a) 시험방법의 정밀도 및 반복성, b) 매개변수 간의 호환성 (예 : 염분 함량 및 저항률), c) 토양 화학적 특성과 전기 화학적 특성 간의 상관관계, 부식성 및 부식률, d) 시험 결과의 유용성을 고려했습니다. 이러한 모든 요소는 제안된 실험계획안 내에서 수정된 AASHTO 및 Texas 절차의 구현을 지원합니다.

시험방법의 평가에 포함된 통계는 시험결과의 반복성과 부식성 / 비저항 및 부식율 측정 간의 상관관계를 설명합니다. 이러한 통계는 제안된 실험계획안이 관찰된 차이가 크지는 않으며 부식율 관찰과 가장 잘 관련되는 결과를 나타냄을 보여줍니다. 또한 텍사스 수정시험 시리즈의 반복성은 다른 시험방법에 비해 가장 좋습니다. 이것은 제안된 실험계획안에서 AASHTO 시험시리즈 및 Texas 수정시험 시리즈를 권장하는 것을 정당화하는데 부분적으로 사용됩니다. 다른 고려사항으로는 염분 함량 및 저항과 같은 매개변수 사이에 관찰되는 경향과 시험결과의 유용성이 포함되며, 이는 AASHTO 또는 Texas 수정시험을 선호하게 합니다.

상관계수와 측정통계는 시험 권장사항을 선택할 때 고려되는 유일한 요소가 아닙니다. 수분함량과 저항률 사이의 관계를 얻는 데에는 장점이 있습니다. 이러한 장점에는 현장 수분함량이 알려진 저항률의 실험실 및 현장측정을 관련시키는 기능이 포함됩니다. 실험실과 현장측정 간의 상관관계는 실험실과 현장에서 시험한 재료의 등급이 비슷해야 합니다. Tex-129-M은 이러한 요구를 충족시키는데, 그 이유는 시험에서 포화까지의 수분함량 범위에 대해 저항률 측정값을 얻도록 지정하고 시험에는 최대 1과3/4 인치

이하의 모든 입자 크기가 포함되기 때문입니다.

ASTM G-187 (2018)은 입수 또는 포화상태에 해당하는 수분함량에서만 수행되며 14인치까지 입자 크기만 포함합니다. 따라서 MSEW 적용의 경우 ASTM G-187 (2018)은 Tex-129-M만큼 바람직하지 않습니다. ASTM G-187은 수분함량이 시간에 따라 변하지 않거나 항상 포화상태와 같은 특정수준으로 유지되는 다른 응용분야에 바람직할 수 있습니다.

ASTM WK 24621은 또한 다양한 수분함량에는 적용되지 않지만 자유롭게 배수되는 일부 재료에는 적용될 수 있습니다. ASTM WK 24621은 수분을 흡수하는 재료에 적용할 수 있고, 포화상태에는 침강이 필요하며 24 시간 침강기간이 WK 24621에 지정되어 있기 때문입니다.

제4장 현장 측정(3단계)

4.1 소개

NCHRP 프로젝트 21-11의 3단계 동안 우리는 선택된 운송기관과 협력하여 권장 실험계획안이 "부수적 적용사양"으로 구현되었습니다. 자료에는 저항, pH, 염화물 및 황산염 함량(즉, 총 염분함량)을 포함한 시료의 토양 화학적 및 전기 화학적 특성측정과 함께 다양한 시료 소스(예 : 최대 입자 크기 및 등급)의 특성화가 포함됩니다. Wenner 4-조사 기술 (ASTM G57 (2012) 및 Wenner (1915)에 따름)은 전기저항 측정을 위해 현장에서 사용되었으며 대표적인 재료샘플은 현장 또는 소스에서 수집하여 텍사스 수정 및 AASHTO 시험절차를 사용하는 실험실에서 전기 화학시험을 수행했습니다.

이 장에서는 두 운영자 (텍사스 및 뉴욕 DOT), 네 개의 서로 다른 지반공학 시험 실험실 (UTEP, McMahon & Mann, NYSDOOT 및 TXDOT), 4개 일반 계약자가 협동하여 네 개의 진행 중인 건설 프로젝트에서 얻은 현장 및 실험실 시험결과를 요약합니다. 이 장의 주요 초점은 기존방법과 비교하여 제안된 실험계획안을 사용하여 부식가능성을 더 잘 특성화하기위한 연구 프로젝트의 주요 기술적 목표가 충족되었는지 확인하는 것입니다. 또한 전기 화학시험에 참여하는 실험실 및 여러 주에 있는 공급업체 / 운영자와의 상호작용을 통해 제안된 실험계획안의 실용성과 구현을 평가합니다.

우리는 다음 장에서 3단계를 추구하면서 얻은 자료에 대한 간략한 설명을 제공합니다. 그 다음에는 Wenner 4- 조사 시험(현장에서 사용)에서 얻은 저항률 형태의 다양한 시험방법에서 얻은 주요결과와 저항률, pH 및 염화물 / 황산염 함량을 포함한 실험실 측정값이 이어집니다. 마지막으로 자료 모집단 내에서 관찰된 경향에 대한 자세한 논의와 현장 및 실험실 측정간의 비교를 제시합니다.

4.3. 결과

4.3.1 저항성-토사시료

그림 4-3에서는 소스 및 3단계에 포함된 현장에서 검색된 샘플에 대해 수정된 토사시료를 사용하여 토사 저항률의 실험실 측정을 보여줍니다. 실험실 저항측정에 사용되는 장비는 다음과 같습니다. 1) 토양 저항측정기, M.C. Miller, 모델 : 400D 및 2) Potentiostat, Gamry Instruments, 모델 참조 600 potentiostat는 약 10 %-15%의 반복성을 나타냈습니다. M.C. Miller 장치는 약 1%의 반복성을 나타냈습니다. 따라서 우리는 다음과 같이 M.C. 밀러 장치에서 얻은 결과를 제시합니다.

우리는 NY Buffalo, Schroon, NY; 텍사스 주 샌 안토니오; 그림 4-4의 텍사스 주 엘파소에 있는 소스 및 현장에서 수집된 샘플의 저항률에 대한 실험실 측정을 제시합니다. 그림 4-4에는 AASHTO T 288 (2016) 및 Tex-129-M을 통한 시험샘플의 결과와 운영자 / 계약자 및 UTEP (NCHRP 연구 팀)에서 얻은 자료가 포함되어 있습니다. 그림 4-4에 제시된 자료는 소스(UTEP 및 운영자에 의해 시험 됨)에서

검색된 샘플의 저항률 측정값과 현장에서 얻은 값(UTEP에 의해 테스트 됨)간에 상대적으로 좋은 일치 를 보여줍니다. 이 관찰에 대한 예외는 Tex-129-M (그림 4-4에서 저항 = $9300\Omega\text{-cm}$)을 통해 시험된 NY Schroon의 현장샘플입니다.

이 결과는 소스에서 획득하고 Tex-129-M을 통해 시험한 다른 시험결과에 비해 낮은 것으로 보이며 AASHTO T-288 (2016)을 통해 얻은 결과보다 높지 않습니다. 이는 그림 3-4 및 3-5에 표시되고 3.3.1.2.에서 논의된 편기정도로 묘사된 것처럼 Tex-129-M을 통한 저항측정이 일반적으로 동일한 샘플 을 사용하여 AASHTO T-288을 통해 얻은 측정보다 높기 때문에 이례적입니다.

4.5. 결론

3단계의 일환으로 운영자 / 계약업체와 협력하여 수집한 자료에서 다음과 같은 관찰을 했습니다.

- 시공 전 소스 및 시공 중 현장에서 가져온 샘플로 만든 저항률 측정에서 관찰된 변화와 비교하여 유사한 샘플을 시험하는 실험실 간의 결과에서 더 큰 차이를 관찰했습니다. 이는 일반적으로 현장 또는 소스에서 검색된 샘플이 유사하기 때문입니다.
- 3단계에 포함된 현장연구에서 관찰한 변동은 2단계 동안 동일한 작업자 / 실험실을 사용한 시험모사 에서 관찰한 변동보다 높았습니다. 이는 실험실 관행 간에 존재하는 변동성과 샘플 간의 변동으로 인한 오류로 인한 것으로 예상됩니다. 우리는 2단계에 대한 실험실 시험 프로그램을 구현할 때 샘플 간의 차 이를 의도적으로 제한하여 샘플링 오류를 완화했습니다.
- 보강재는 MSEW(보강토 옹벽)토사에서 저항률의 현장측정에 영향을 미칩니다.
- Wenner 4-조사 시험을 위한 배열이 보강재에 수직인 경우 보강재는 저항측정에 가장 적은 영향을 미 치는 것으로 보입니다.
- 실험실 시험이 현장 채움과 같이 입자크기, 등급 및 수분함량을 사용하고 뒤채움 토사의 내부 수분함 량을 고려하여 다짐된 시료로 실험실 시험을 수행할 때 저항률에 대한 실험실 및 현장측정 간의 우수한 일치성을 관찰했습니다.

진행 중인 건설 프로젝트에서 제안된 실험계획안을 구현하여 수집된 경험과 자료는 부식가능성의 개선 된 특성화를 위해 수정된 시험절차 및 시험 실험계획안이 기존방법에 비해 구현하기 더 쉽다는 것을 나 타냅니다. 운영자 / 계약자는 수정된 시험절차를 수행할 수 있었고 거의 예외 없이 이러한 시험을 수행 하는데 필요한 장비를 확보할 수 있었습니다.

제5장 결론 및 향후연구의 필요성

5.1 주요 결론

우리는 토사재료의 강재부식 가능성을 샘플링, 시험 및 특성화하기위한 모범사례를 설명하는 실험계획 안을 제안했습니다. 이 실험계획안은 저항, pH, 염화물 및 황산염 이온함량을 포함한 전기 화학적 특성 을 측정하기 위해 현재 AASHTO 시험표준에 대한 대안을 통합합니다. 우리는 현재 시험절차 및 관행에 대한 검토, 광범위한 재료 및 시험 대안을 포함하는 실험실 시험 프로그램, 부식을 일으키는 아연도금 및 일반 강재요소의 부식속도 관찰을 통해 실험계획안을 개발했습니다.

현재 AASHTO 시험절차는 No.10체를 통과하는 상당량의 재료를 포함하는 시험재료로 제한됩니다. AASHTO 시험의 대안으로 고려되는 수정된 시험표준에는 각각 저항률 및 염분함량 측정을 위한 Tex-129-M 및 Tex-620-M이 포함됩니다. AASHTO 시험과 달리 이러한 대안은 시험표본 내에 더 큰

크기의 입자를 통합합니다. 실험실 시험 프로그램에서 관찰된 결과의 정확성과 반복성, 시험결과와 유용성, 이러한 재료 내에서 부식이 발생하는 일반 및 아연도금 강재 요소의 관찰된 성능을 기반으로 후보군에서 Tex-129-M 및 Tex 620-M을 선택했습니다.

개념적으로 임계값(예 : PP # 10)이 있으며, 그 이상으로 10번 체보다 미세한 재료부분이 재료를 통과하는 부식전류 1의 성능과 능력을 제어합니다. 더 미세한 입자는 벌크 샘플에서 얻은 측정값에 비해 염분함량이 높고 저항률이 낮습니다. 10번 체를 통과하는 재료가 충분한 경우 부식전류는 미세한 재료가 집중되는 경로를 따라 집중됩니다. (즉, 전류는 저항이 가장 적은 경로를 따릅니다) 따라서 부식성은 재료의 용적 특성에 비해 미세한 부분의 특성에 더 많이 영향을 받습니다. 우리는 Tex-129-M의 결과가 No.10체를 통과하는 약 22%미만으로 재료에 잘 적용된다는 결론을 내렸습니다. No.10체를 통과하는 22%이상의 재료의 경우 AASHTO T-288이 저항률 측정에 적합합니다. 우리는 이러한 관찰을 사용하여 부록 A에 제시되고 제안된 시험계획안을 개발했습니다. 여기서 22% 임계값은 10번체를 통과하는 25%로 반올림되었습니다.

일반적으로 제안된 실험계획안은 등급번호(GN)가 3보다 크거나 No.10체를 통과하는 비율이 25%를 초과하는 경우 현재 AASHTO 시험 시리즈의 적용을 추천합니다. 그렇지 않고 GN <3이고 No.10체를 통과하는 비율이 25% 미만이면 Texas 수정절차가 권장됩니다. (예 : Tex-129-M 및 Tex-620-M) GN은 스크리닝에 포함되어 Tex-129-M의 사용을 자갈함량이 상대적으로 높은 거친 질감의 샘플로 제한합니다.

이 연구에 포함된 재료를 저항률 범위와 부식성을 특성화하기 위해 독일방법 (DVGW-GW9)에서 결정된 부식지수에 따라 집단으로 그룹화 했습니다. 독일 방법은 관련 토질재료의 전기 화학적 특성, 현장조건 및 탄산염 또는 산업부산물의 존재를 고려하여 부식성을 분류하기 위한 다 변량 접근방식입니다. 우리는 비 부식성, 약한 부식성 및 보통에서 심한 부식성조건에 해당하는 저항률 및 부식지수 범위를 선택했습니다. 우리는 일반 및 아연도금 강재요소에서 측정된 부식률을 주어진 부식성 설명에 해당하는 문헌에 인용된 비율과 비교했습니다. 제안된 실험계획안에 따라 시험결과를 적용했을 때 상대적으로 좋은 비교결과를 관찰했습니다.

5.2 장래 연구를 위한 추천사항

1. 본 연구에 설명된 시험 프로그램에는 No. 200체를 통과하는 5%이상을 포함하지 않는 모래와 자갈로 설명될 수 있는 재료가 포함되었습니다. 이 샘플 영역은 MSEW(보강토 옹벽) 공사 관행과 관련이 있습니다. 그러나 이 샘플 영역은 말뚝, 암거 및 배수관의 설치를 포함할 수 있는 다른 응용분야에서 발생하는 토질재료를 대표하지 않았습니다. 또한, 일부 주에서는 No. 200체를 통과하는 15% 이상의 재료가 MSEW 공사에서 일반적입니다. 따라서 상당한 미세함량(200번 체, 즉 세사 및 점토 분분을 통과하는 재료)을 가진 토사재료에 대한 강재부식 가능성의 특성을 평가하려면 더 많은 자료가 필요합니다. 또한, 부식가능성에 대한 점토미립자와 비교하여 세사미립자의 영향을 구별하기 위해 더 많은 자료가 필요합니다. 경우에 따라 재료의 특성과 적용에 따라 저항률 시험의 종료 점을 수정해야 할 수도 있습니다. 일부 재료 및 응용분야의 경우 적절한 시험 종료 점은 재료가 포화될 때이며 다른 경우 종료 점은 최저(최소)저항에 도달할 때입니다. 종료 점에 대한 후자의 정의는 시편이 "압축된"시편이 아닌 시험 종료 시 슬러리 상태에 있을 수 있음을 의미합니다. 이 연구에서 저항률시험의 종료 점은 포화지점이었습니다.

2. 산업부산물, 재활용재료 또는 경량 뒤채움재료를 포함할 수 있는 건축에서 비 재래식재료의 사용을 고려하기 위한 추가연구가 필요합니다. 이러한 물질의 조성, 화학적 및 전기 화학적 특성은 토사와 크게

다릅니다. 따라서 전기 화학적 특성의 적절한 측정을 위해 특별한 시험 고려사항 및 샘플준비를 개발해야 합니다.

3. 이 연구를 위해, 우리는 사용 중인 토사보강재의 현장측정 외에도 부식율의 실험실 측정에서 토사 재료에 포함된 금속원소의 성능관찰을 사용했습니다. 실험실 시험은 다양한 뒤택음유형에서 자료를 얻는 효율적인 수단입니다. 성능 데이터베이스를 확장하고 공용수명 모델링을 위한 부식성과 기능의 특성을 구체화하려면 더 많은 자료가 필요합니다. 성능 데이터베이스를 확장하기 위해 현장측정으로 검증된 광범위한 실험실 시험 프로그램을 수행할 것을 제안합니다.

4. Wenner 4-조사 기술을 사용한 현장시험의 더 많은 자료가 필요합니다. 현장시험의 결과는 현장에서 더 많은 샘플을 수집하고 실험실시험이 필요한지 결정하는데 유용할 수 있습니다. 현장 시험결과가 비슷한 수준의 수분함량에서 Tex-129-M의 실험실 측정과 일치하면 건설 전에 샘플링하고 시험한 재료가 현장에 전달되어 건설 중 배치된 재료와 유사함을 나타냅니다. 결과가 일치하지 않으면 현장에서 부식성이 없는 재료가 현장에 배치되고 있는지 깊이 있는 실험실 시험과 확인을 위해 재료원과 현장으로부터 더 많은 샘플을 선택해야 합니다. 현재는 4개 현장의 자료만 보유하고 있으며 이 접근방식을 검증하려면 더 많은 자료와 경험이 필요합니다.

5. 권장 실험계획안을 홍보하고, 실험계획안에 설명된 샘플링 및 시험에 대한 정보를 전달하고, AASHTO위원회 및 주 DOT와 상호 협동하여 수정된 관행을 고려하기 위해 추가 구현활동이 필요합니다. 제안된 실험계획안의 구현을 촉진하기 위해 다음과 같은 활동을 제안합니다.

- 실험계획안 및 시방을 포함하여 필요한 모든 정보를 하나의 수정된 시험표준으로 결합합니다. 여기에는 현재 AASHTO 표준에 대한 수정 및 개선이 포함될 수 있습니다.
- 교육을 위해 코스자료, 가이드북 및 실험실 시연을 준비합니다.
- 제안된 실험계획안에 포함된 시험의 정밀도와 반복성에 대한 더 많은 자료를 얻기 위해 실험실 간 시험을 수행합니다.
- AASHTO위원회 및 FHWA 지역회의에 참석하고 발표하여 주 DOT에 참여하며 NCHRP 21-11 및 제안된 실험계획안을 추구하면서 얻은 지식을 이전합니다.
- 건설을 위해 종종 토사를 선택하는 계약자 및 양호한 건설관행 및 사양의 사용을 장려하는 MSEW 시스템 공급업체를 포함하여 건설 산업에 참여합니다. 이것은 보강토 옹벽 협회 (AMSE) 및 미국 일반 건설 협회 (AGC)를 포함한 다양한 산업그룹과의 상호작용을 통해 달성할 수 있습니다.
- 이러한 관행의 전개를 지원하기 위해 FHWA를 참여시킵니다.

여기에는 토질보강재, 암거 등의 부식 및 열화와 뒤택음 재료의 샘플링 및 시험을 설명하는 FHWA에서 게시한 기존문서에 대한 업데이트가 포함될 수 있습니다. (예 : FHWA-NHI-09-087, Elias et al., 2009)

- 리포트 내용에 포함된 그림과 표는 원문을 참조하시기 바랍니다.

pl: 본 보고서의 내용은 토질 및 토양환경 분야로 관련 기존의 많은 발행 보고서와 연구결과가 관련되어 있으므로 전문적인 지식습득을 위해서는 별도로 내용에 포함된 보고 및 연구 자료를 참고하셔야 하겠습니다.

<원문제목> Improved Test Methods and Practices for Characterizing Steel Corrosion Potential of Earthen Materials

<원문출처> National Academy of Sciences(TRANSPORTATION RESEARCH BOARD)