

**소규모 굴착복구공사  
품질향상 방안 수립  
학술연구용역**

**- 요약보고서 -**

**2013. 12**

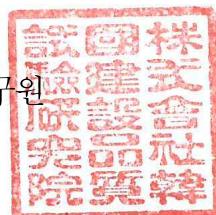


## 제 출 문

서울특별시 시설관리공단 이사장 귀하

이 보고서를 "소규모 굴착복구공사 품질향상 방안 수립 학술  
연구용역"과제의 요약 보고서로 제출합니다.

2013. 12. 31.



연구수행기관명 : (주)한국건설품질시험연구원

연구수행책임자 : 정 원 경

책임연구원 : 정 원 경

연구원 : 황 윤 석

연구보조원 : 신 석 철

연구보조원 : 정 두 원

# 목 차

---

제1장 연구과제의 개요 .....	1
1.1 연구용역의 목적 .....	1
1.2 현 기술 문제점 .....	2
1.2.1 적용 다짐장비의 한계점 .....	3
1.2.2 재료선정의 한계점 .....	3
1.2.3 품질기준의 한계점 .....	4
1.3 연구용역의 필요성 .....	4
1.4 연구용역 목표 및 범위 .....	5
1.4.1 연구개발 목표 .....	5
1.4.2 목표별 범위 .....	6
제2장 국내외 관련기준 현황 .....	8
2.1 국외 관련기준 현황 .....	8
2.2 국내 관련기준 현황 .....	10
2.3 유사 분야 지침 및 연구결과 사례 .....	11
2.4 국내외 관련기준 조사 결과 .....	13
제3장 공용 중 현장조사 내용 및 결과 .....	15
3.1 현장조사 및 평가방안 .....	15
3.1.1 현장시험 방법 .....	16
3.1.2 실내평가 방법 .....	16
3.2 공용 중 현장평가 분석 .....	17
3.2.1 공용 중 현장 개요 .....	17
3.2.2 공용기간별 현장 특성 .....	17
3.3 공용 중 현장평가 결과분석 .....	19
3.3.1 공용기간별 현장 기층 실내평가 결과 .....	19

3.3.2 공용기간별 현장다짐도 평가 결과 .....	20
<b>3.4 공용 현장 조사분석에 따른 소결론 .....</b>	<b>22</b>
<b>제4장 시험성토를 통한 최적의 다짐방안 평가 .....</b>	<b>23</b>
<b>4.1 시험성토 시행 및 평가방안 .....</b>	<b>23</b>
4.1.1 시험조건 및 시험항목 .....	23
4.1.2 사용된 기총재 .....	25
4.1.3 사용된 다짐장비 .....	26
4.1.4 시험성토 구간별 다짐횟수 .....	28
<b>4.2 진동 로울러 0.7ton(핸드가이드식) 다짐구간 특성 .....</b>	<b>28</b>
<b>4.3 램머 다짐구간 특성 .....</b>	<b>30</b>
<b>4.4 콤팩터 다짐구간 특성 .....</b>	<b>31</b>
<b>4.5 다짐장비, 다짐횟수 및 기총재에 따른 다짐도 평가결과 .....</b>	<b>33</b>
4.5.1 기총재 종류에 따른 입도분포 결과분석 .....	33
4.5.2 기총재 종류별 물성치 결과분석 .....	35
4.5.3 다짐장비별 최소 다짐횟수 평가결과 .....	36
4.5.4 소형 다짐장비별 작업량 산정 .....	38
4.5.4 소형다짐장비별 일위대가 및 단가산출 .....	39
4.5.5 토공골착규모에 따른 다짐장비 선정제안 .....	41
<b>제5장 결론 및 건의 .....</b>	<b>42</b>
<b>5.1 연구용역 주요 내용별 결과 도출 사항 .....</b>	<b>42</b>
<b>5.2 연구결론에 대한 건의 .....</b>	<b>44</b>
<b>5.3 타 연구에의 응용 .....</b>	<b>45</b>
<b>5.4 연구결과의 활용방안 및 기대효과 .....</b>	<b>47</b>

## 표 차례

---

<표 1-1. 연구개발의 최종목표>	5
<표 2-1. ASTM 보조기층 재료의 품질기준>	9
<표 2-2. ASTM 보조기층 재료의 입도기준>	9
<표 2-3. 일본 하층노반재와 상층노반재의 품질기준>	9
<표 2-4. 일본 입도조정노반재의 입도범위>	9
<표 2-5. 국내 토공사 관련 조사 시방규정 목록>	11
<표 2-6. 입도조정기층과 보조기층의 품질기준 비교자료>	14
<표 2-7. 입도조정기층과 보조기층의 입도분포 기준 비교자료>	15
<표 3-1. 서울시 보도블록 공사 시 기층재 품질기준>	16
<표 3-3. 공용 중 현장에 대한 기층재 품질기준 결과 분석>	20
<표 3-4. 공용 중 현장에 대한 다짐도 평가 결과 분석>	21
<표 4-1. 시험성토 시 평가방법 및 시험법>	24
<표 4-2. 시험성토 시 반입된 기층재 종류별 경제성 분석>	25
<표 4-3. 기층재 종류별 품질기준 만족도 여부 실내평가 결과>	35
<표 4-4. 다짐도 기준에 따른 다짐장비별 최소 다짐횟수 제안>	38
<표 4-5. 다짐장비별 시간당작업량 평가 결과>	39
<표 4-6. 시험성토 결과를 이용한 일위대가 및 단가 산출 결과>	40
<표 4-7. 다짐장비별 규격, 유효 다짐폭 및 표준작업속도>	41
<표 4-8. 토공굴착규모에 따른 다짐장비 선정 제안>	41
<표 5-1. 관거 되메우기 국내외 규정 및 제안>	46

## **그 림 차 례**

---

<그림 2-1. 시험시공에 따른 다짐횟수별 현장밀도 분석 결과>	12
<그림 2-2. 굴착복구공사 관련 주요 구조물 단면구성도>	14
<그림 3-1. 서울시 보도블록 단면구성 및 평가 재료>	15
<그림 3-2. 공용 중 현장에 대한 기층재 입도분포 곡선>	19
<그림 3-3. 공용기간별 현장다짐도 변화 추이>	21
<그림 4-1. 소규모 굴착복구공사 품질관리기준 마련을 위한 시험성토 절차>	24
<그림 4-2. 시험성토 시 적용된 기층재료 상태>	26
<그림 4-3. 시험성토 시 다짐장비 및 다짐횟수별 위치 선정>	28
<그림 4-4. 진동 로울러 0.7ton(핸드가이드식) 장비 특성>	29
<그림 4-5. 램머 다짐에너지 전달 후 골재파쇄 및 지반침하 상태>	30
<그림 4-6. 램머 다짐 장비 특성>	31
<그림 4-7. 콤팩터 다짐장비 특성>	32
<그림 4-8. 입도조정기층재 입도기준(B-2)으로 평가된 기층재 입도분포곡선>	34
<그림 4-9. 보조기층재 입도기준(SB-2)으로 평가된 기층재 입도분포곡선>	34
<그림 4-10. 40mm 혼합골재 다짐장비 및 다짐횟수별 다짐도 평가결과>	37
<그림 4-11. 입도조정기층재 다짐장비 및 다짐횟수별 다짐도 평가결과>	37

## 제1장 연구과제의 개요

### 1.1 연구용역의 목적

- 도심지 토공사 중 굴착공사는 상하수도관 확장 및 교체, 보차도 공사, 전기 공사 등 다양한 원인으로 시행되나 교통 및 유동인구, 기존 구조물 인접 등으로 인하여 대규모로 시행되지 못하며 특히, 공사시간대의 제약으로 인해 부분적 또는 필요시에만 시행되는 특징을 지니고 있음.
- 이러한 특징으로 도심지 굴착공사는 소규모로 차량흐름과 시민안전에 최대한 고려하여 긴급성을 가지고 시행하게 되며 이로인해 신규 단지조성 또는 도심지 외곽에서의 공사와 달리 신속성이 최우선의 공사목표가 되고 있음.
- 이러한 원인 등으로 인하여 도심지 소규모 터파기 및 되메우기 토공사 시 현장에서의 철저한 품질관리가 어려운 것이 사실이며 특히, 소규모 터파기 및 되메우기 토공사에 적합한 품질기준의 부재로 대단위 규모의 토공사 기준이 그대로 적용되고 있어 현장 품질평가를 더욱 어렵게 하고 있는 것이 실정임.
- 상기와 같은 원인과 결과로 소규모 터파기 및 되메우기 토공사는 손상의 빈도가 매우 크며 이로 인해 지반의 부등침하, 상부 포장체 파손 및 하부 구조물 손상으로 인해 유지보수비용 및 이용자 불편이 가중되고 있음.
- 따라서, 현재 서울시 등 소음, 진동, 지중구조물 영향 및 기존의 보도 위 가설구조물 등에 의해 대형 다짐장비를 활용할 수 없는 도심지 내 일부 보도공사 구간, 상수도관 교체 또는 가설을 위한 굴착복구공사 및 보도폭 자체가 협소한 도심지 내 구간에 대한 소규모 굴착복구공사의 특성 및 품질관리 현황을 분석하여 현장 실정에 맞는 품질관리기준 제시가 절실

히 요구되고 있으며 이를 통해 포장침하 등 하자발생을 최소화할 필요성이 있는 것이 현실임.

- 본 연구에서는 도심지 소규모 굴착복구 공사의 특성을 이해하고 국내외 관련 기준과 실제 공사현장에 대한 품질관리 현황을 분석하여 현실을 반영할 수 있는 현장 품질기준을 제시함으로써 지반침하, 구조물 및 포장체 손상 및 반복적인 유지보수에 따른 예산을 절감시키며 시공 시 철저한 품질관리를 통해 사용자의 불편함을 최소화 하고, 경제적인 공사가 이루어질 수 있는 기준 제시를 목표로 함.

## 1.2 현 기술 문제점

- 현재 소규모 굴착복구공사는 도심으로의 인구유입 증대에 따른 편의시설 확충, 교통량 증대에 따른 차량흐름 방해억제 대책, 도심지 팽창에 따른 기본시설 확충, 환경변화에 대한 예방적 차원, 기존 시설에 대한 점검 또는 확충, 사고 및 예기치 못한 원인 등에 의한 긴급복구 등 다양한 원인에 의해 발생하게 되며 소규모 굴착복구공사는 대단위 굴착복구와 달리 시간적, 공간적 제약을 받게 되므로 공사 시 철저한 품질관리, 시공지침 등의 관련 매뉴얼이 갖추어져 있지 않을 경우, 하자발생 가능성이 대단히 높은 특성을 지니고 있음.
- 그럼에도 불구하고 소규모 터파기 및 되메우기 토공사에 적합한 품질기준의 부재로 대단위 규모의 토공사 기준이 그대로 적용되고 있어, 현장의 품질평가(시험)을 더욱더 어렵게 하고 있으므로 소규모 굴착복구공사에 적합한 품질관기준을 수립할 필요가 있으나, 이에 대한 연구 또는 평가가 미미한 상태로 현장에서 적용 및 활용할 수 있는 자료가 부족한 것이 사실임.

- 이로 인해 도심지 소규모 굴착복구공사는 시행 후 초기 손상의 빈도가 매우 크며 이로 인해 지반의 부등침하, 상부 포장체 파손 및 하부 구조물 손상으로 인해 유지보수비용 및 이용자 불편이 가중되고 있음.
- 특히, 도심지 소규모 굴착복구공사는 대규모 굴착복구공사와 달리 다음과 같은 차별성, 한계점 및 차이로 인해 이를 극복하기 위한 근본적인 연구 및 방안 수립이 필요한 것임.

### 1.2.1 적용 다짐장비의 한계점

- 소규모 토공사로 인해 경제성, 투입장비의 한계로 인해 인력에 의한 소형 장비가 적용되고 있으며 콤팩트 1.5ton, 진동롤러 또는 램미 80kg 이상의 장비적용률을 사용하도록 규정하고 있으나, 대형장비와 비교하여 매우 작은 다짐에너지 및 인력에 의한 낮은 작업효율로 인해 다짐공정 자체가 매우 불리한 한계점을 지니고 있음. 이에 따라 소규모임에도 불구하고 공사 위치별 다짐도의 차이로 인해 공사 후 초기에 부등침하, 포장침하 및 포장 파손 등이 발생하여 유지관리비용이 증대되는 원인으로 작용하고 있음.

### 1.2.2 재료선정의 한계점

- 대규모 성토공사에서는 노체, 노상, 동상방지층, 보조기층, 기층재별로 재료에 대한 입도기준, 물성치 기준 등이 지침 또는 시방서 상에 기재되어 있어 공사 전 또는 공사 기간 중 철저한 시공관리 및 공사감독이 가능하나 소규모 굴착복구공사는 현재까지 범위에 대한 정의 및 그에 맞는 되메우기 재료에 대한 명확한 품질기준이 부족하여 현장에서 공사관계자에 의한 경험 또는 임의적으로 재료를 선정하여 시공하는 문제점이 있음.

### 1.2.3 품질기준의 한계점



- 토공사에 있어 터파기 및 되메우기 관련 품질기준은 관련 시방서 등에 제시되어 있으나 이는 대규모로 시행되는 토공사에 적합한 것으로 공간적, 시간적 제약을 받는 도심지 소규모 굴착공사에 적합한 현장 품질평가 기준으로 그대로 차용하여 적용하기는 현실적인 어려움이 있어 소규모 현장에 적용할 수 있는 품질기준 마련이 절실히 필요한 실정임.

### 1.3 연구용역의 필요성

- 도심지 토공사 중 굴착공사는 공사 특성 상 시간대의 제약으로 인해 부분적 또는 필요시에만 시행되는 특징을 지니고 있음에도 불구하고 매우 일상적인 공사형태로 자리잡고 있음.
- 이러한 굴착공사는 소규모로 차량흐름과 시민안전에 최대한 고려하여 긴급성을 가지고 시행하게 되며 최우선의 공사목표가 되고 있는 것이 현실. 이러한 원인 등으로 인하여 도심지 소규모 터파기 및 되메우기 토공사 시 현장에서의 철저한 품질관리가 어려우며 특히, 소규모 터파기 및 되메우기 토공사에 적합한 품질기준의 부재로 대단위 규모의 토공사 기준이 그대로 적용되고 있어 현장 품질평가를 더욱 어렵게 하고 있음.
- 본 연구에서는 도심지 소규모 굴착복구 공사의 특성을 이해하고 국내외 관련 기준과 실제 공사현장에 대한 품질관리 현황을 분석하여 현실을 반영할 수 있는 현장 품질기준을 제시함으로써 지반침하, 구조물 및 포장체 손상 및 반복적인 유지보수에 따른 예산을 절감시키며 시공 시 철저한 품질관리를 통해 사용자의 불편함을 최소화하고, 경제적인 공사가 이루어질 수 있는 기준 제시를 목표로 함

## 1.4 연구용역 목표 및 범위

### 1.4.1 연구개발 목표

□ 본 연구용역은 대형다짐장비를 활용할 수 없는 도심지 소규모 굴착복구 공사의 특성 및 품질관리 현황을 분석하여 현장 실정에 맞는 품질관리기준을 제시함으로서 포장침하 등 하자발생을 최소화하고자 시행하게 되었으며, 이를 위해 표 1-1과 같은 목적과 내용으로 수행되었음.

**<표 1-1. 연구개발의 최종목표>**

연구목적	소규모 굴착복구공사의 특성 및 품질관리 현황을 분석하여 현장 실정에 맞는 품질관리기준을 제시함으로서 포장 침하 등 하자발생을 최소화하고자 함.
연구의 주요내용	<p>1) 국내 및 국외의 굴착복구공사 품질관리기준 문헌조사</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-국내 시방서 품질관리기준 조사</li> <li>-국외 시방서 품질관리기준 조사</li> <li>-국내외 시방서 종합비교 검토</li> </ul> <p>2) 현장실태 조사 및 시험성토 평가</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-소규모 굴착복구공사 시공절차 및 품질관리 적정성 조사 및 평가</li> </ul> <p>3) 소규모 굴착복구 품질관리 기준 분석 및 개선사항 도출</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-시방서상 품질관리 기준분석</li> <li>-품질관리개선 필요사항 도출</li> </ul> <p>4) 결론 및 건의</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-소규모 굴착복구공사 품질기준 제시 <ul style="list-style-type: none"> <li>○토공 굴착 규모에 따른 다짐기계의 종류 및 다짐횟수</li> <li>○포장 굴착 규모에 따른 포장기계의 종류 및 다짐기계의 종류</li> <li>○굴착규모에 따른 기계인력 구분 기준 등</li> </ul> </li> <li>-기타 품질개선을 위한 건의</li> </ul>
활용계획	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 소규모 굴착복구공사 전반에 대한 품질관리기준으로 활용</li> <li>○ 서울시 전문시방서 개정 시 반영 요청</li> </ul>

### 1.4.2 목표별 범위

- 본 연구용역의 대상은 공사 시 소음, 진동, 지중구조물 영향 및 기존의 보도 위 가설구조물 등에 의해 대형 다짐장비를 활용할 수 없는 도심지 일부 보도공사 구간, 상수도관 교체 또는 가설을 위한 굴착복구공사 및 보도폭 자체가 협소한 도심지 내 구간에 대한 소규모 굴착복구공사이며, 연구의 주요 내용은 관련 문헌 조사, 공용 중인 현장에 대한 실태조사, 소규모 굴착복구공사의 특성을 고려한 시험성토 및 각종 평가실시와 이를 통한 개선사항 도출, 그리고 이를 종합한 결론 및 건의로 구분되어 각 단계별로 연구를 수행하였음.

#### (1) 국내 및 국외의 굴착복구공사 품질관리기준 문헌조사

- 본 연구의 목표에 맞는 국내외 관련 기준을 비교분석함으로써 도심지 소규모 굴착복구 공사에 적용할 수 있는 현실성 있는 품질평가 방안 제시
- 이를 위해 국내 시방서 품질관리기준을 조사하며 특히 국내 토공사 중 터파기, 되메우기, 보도포장 등 시공기준 및 품질기준에 대한 각 시방서 비교 분석

#### (2) 현장실태 조사 및 시험성토 평가

- 소규모 굴착복구공사 시공절차 및 품질관리 적정성 조사 및 평가를 시행하고자 연구기간 중 도심지 소규모 굴착공사 현장을 선정, 품질평가와 실제 적용되고 있는 기층재에 대한 실내평가를 시행함으로써 현재 시방서 상 기준의 적용성에 대해 본 연구과제 범위에 한하여 분석.
- 소규모 굴착복구공사 시공절차 및 품질관리 적정성 조사 및 평가를 위하

여 소규모 굴착복구공사 현장실태 조사 시 현장평가 시행

- 이를 위하여 소규모 굴착복구 현장 중 가장 대표적인 보도현장을 중심으로 공용 기간에 따른 다짐도 변화, 각 현장별 기층재 특성 등에 대하여 현장실태 조사분석을 실시하여 소규모 굴착복구 공사 현장에 대한 공용 기간별 차이점, 문제점 및 개선방안 제시

### (3) 소규모 굴착복구 품질관리 기준 분석 및 개선사항 도출

- 현재의 시방서 상 품질관리 기준을 분석하여 소규모 굴착복구공사 현장에 적용가능한 품질관리기준을 도출하여 개선이 필요한 사항이 있을 경우 이를 도출하여 소규모 굴착복구공사 특성을 최대한 반영할 수 있는 품질관리 기준을 제시하며 이러한 자료를 기초로 현장조사 평가내용과 현재 시방서상 기준의적용성 비교분석
- 품질관리 개선 필요사항을 도출하여 소규모 굴착복구공사 시 재료 선정 및 다짐장비 등에 의해 발생될 수 있는 시공 후 하자문제로 인한 빈번한 재시공에 따른 예산낭비를 방지하기 위한 품질관리 개선사항 도출

### (4) 결론 및 건의

- 본 연구용역의 결론에서는 국내외 문헌분석과 현장평가 자료를 기초로 도심지 소규모 굴착공사 관련 현황 및 현장 품질기준(안) 제시
- 소규모 굴착복구공사 관련 품질기준 제시는 도출한 개선사항에 대해 굴착복구공사의 토공을 중심으로 다짐장비 및 기층재 선정, 굴착 규모에 따른 다짐기계 종류 및 다짐횟수 기준 등 제시
- 또한 기타 품질개선을 위한 건의로 소규모 굴착복구공사에 대한 향후 개선 및 연구방향 제시

## 제2장 국내외 관련기준 현황

### 2.1 국외 관련기준 현황

- 미국에서 사용되고 있는 도로 보조기층 재료의 품질기준은 ASTM(American Standard Test Method) 시방서에 표 2-1과 2와 같이 규정되어 있으며 Base Course는 국내규정 SB-1에, Subbase Course는 국내규정 SB-2에 해당함<sup>1)</sup>.
- 일본에서는 도로공사 시 하층노반공과 상층노반공으로 구분하여 품질기준을 설정하고 있으며 각 층에 대한 품질기준은 표 2-3과 같음<sup>2)</sup>.
- 하층노반공은 입상노반공법, 시멘트안정처리공법, 석회안정처리공법이 표준적으로 사용되며 상층노반공법은 입도조정공법을 표준으로 하나 현지 조건을 감안하여 시멘트안정처리공법, 석회안정처리공법, 역청안정처리공법 등을 선정하여 사용할 수 있도록 하고 있음.
- 일본에서 도로 공사 시 적용되고 있는 하층노반공이 국내에서는 보조기층 또는 입도조정기층에 해당하며 상층노반공은 기층에 해당하는 것으로 판단되며 일본에서는 보조기층이라는 단어대신 입상노반 또는 입도조정 공법이라는 용어로 사용되고 있어 국내 입도조정기층재라는 단어의 유래를 일본에서 확인할 수 있었음.

---

1) 이재민, 다짐기준(KS 및 ASTM)에 따른 보조기층재료의 실내다짐 특성에 관한 연구, 전북대학교 산업기술대학원, 공학석사 논문, 2011

2) 국토교통성, 품질관리기준급과 규격치, 평성 23년 3월

**<표 2-1. ASTM 보조기층 재료의 품질기준>**

구분	시험방법	ASTM	국내기준
액성한계(%)	ASTM D 4318	25이하	25이하
마모감량(%)	ASTM C 131	50 이하	50이하
소성지수(%)	ASTM D 4318	5 이하	6이하
수정CBR치(%)	-	-	30이상
모래당량(%)	-	-	25이상
안정성(%)	ASTM C 88	12이하	보조기층 20이하
실내다짐	ASTM D 1557	다짐에너지 2700kNm <sup>3</sup>	
0.02mm를 포함 한 체분석(%)	ASTM D 422 No.635체	3이하	국내 규정 No.635없음

**<표 2-2. ASTM 보조기층 재료의 입도기준**

입경 (mm)	공칭입경에 대한 체 통과질량 백분율(%)							
	50	40	25	12.7	5	2	0.4	0.08
Base Course	100	70-100	45-80	30-60	20-50	15-40	5-25	0-8
Subbase Course	100					50		8

**<표 2-3. 일본 하층노반재와 상층노반재의 품질기준>**

구분	시험방법	하층노반공	상층노반공
수정CBR(%)	포장조사시험법편람[4]-5	20이상	80이상
소성지수(%)	JIS A 1205	6이하	4이하
수침팽창(%)	포장조사시험법편람[4]-16	1.5이하	1.5이하
마모감량(%)	JIS A 1121	50이하	
현장밀도(%)	JIS A 1214	93%이상 (보도 89%이상)	93%이상 (보도 89%이상)
안정성(%)	JIS A 1122		20이하

**<표 2-4. 일본 입도조정노반재의 입도범위>**

ふるい目		通過質量百分率(%)											
呼び名	粒度範囲	53mm	37.5mm	31.5mm	26.5mm	19mm	13.2mm	4.75mm	2.36mm	1.18mm	425 μm	75 μm	
粒度調整碎石	M-40	40~0	100	95~100	—	—	60~90	—	30~65	20~50	—	10~30	2~10
	M-30	30~0	—	100	95~100	—	60~90	—	30~65	20~50	—	10~30	2~10
	M-25	25~0	—	—	100	95~100	—	55~85	30~65	20~50	—	10~30	2~10

## 2.2 국내 관련기준 현황

- 국내 토공사 관련 시방규정은 크게 노체, 노상, 동상방지층, 보조기층, 기층 등에 관하여 재료, 시공 및 품질관리 기준에 대해 동일한 수준으로 자세히 기술되어 대규모 공사현장에서 이를 활용하여 시공 및 감독하기에 문제가 없는 상태이나, 이들 규정은 모두 대규모 도로공사 또는 성토와 관련된 규정으로 본 연구목적과 부합되는 소규모 굴착복구공사에 관한 명확한 기준은 없는 상태이며 유사한 분야로 적용가능한 것이 서울특별시의 「보도공사 설계시공 매뉴얼」이 유일한 상태이나 이또한 보도공사에 한정되어 있어 이를 다양한 형태의 소규모 굴착복구공사 현장에서 활용, 시공 및 공사감독에 적용하기에는 한계가 있다고 할 수 있음.
- 특히, 현재의 시방서 상 기준을 소규모 굴착복구공사에 그대로 적용하고자 할 경우 보도포장의 기층재료는 입도조정기층, 차도 관련 기층재료는 보조기층재 기준을 따라야 하므로 소규모 굴착복구 공사 시 소규모 굴착복구공사에 대한 정의 및 어느 기준을 적용해야 하는지에 대한 명확한 품질기준이 조속히 마련되어야 할 상황임.
- 본 연구용역에서는 이 중 토공사편에서의 기층재료 및 다짐관련에 대한 기준을 조사분석하고자 하였으며 그 결과, 표준시방서 3종, 전문시방서 4종, 설계기준, 매뉴얼 및 지침 5종에 대하여 관련 기준을 검색, 비교검토 하였음.
- 이를 통해 도심지 내 구간에 대한 소규모 굴착복구공사에 적용가능한 단면을 제안한 후 단면에 적합한 기층재료를 선별, 평가하여 최적의 시공방안을 제안하고자 함.

&lt;표 2-5. 국내 토공사 관련 조사 시방규정 목록&gt;

구분	시방서 및 설계기준	비고
표준시방서	도로공사 표준시방서	국토해양부, 2009
	토목공사 일반 표준시방서	대한토목학회, 2005
	상수도공사 표준시방서	환경부, 2007
전문시방서	건설공사 전문시방서	한국토지공사, 2007
	고속도로공사 전문시방서	한국도로공사, 2012
	LH 전문시방서	대한주택공사, 2012
	서울특별시전문시방서	서울특별시, 2011
설계기준 및 매뉴얼	도로 설계기준	국토교통부, 2012
	보도공사 설계시공 매뉴얼	서울특별시, 서울시설공단, 2013
	포장하부구조다짐관리 잠정지침	국토교통부, 2011
	보도설치및관리지침	국토교통부, 2011
	자전거 이용시설 설치 및 관리 지침	국토교통부, 2010

### 2.3 유사 분야 지침 및 연구결과 사례

- 2013년 10월 10일, 강동구 건설교통국 도로과에서는 「소규모 도로굴착복구공사 시 침하방지를 위한 램마다짐 시험시공 결과보고」를 발표하였음.
- 결과보고서에서는 소규모 도로굴착복구공사에 대한 문제점 및 필요성에 대하여 ① 되메움시 충다짐(두께 20cm) 미시행으로 장기침하 발생, ② 관로(D=300mm이상) 부설시 저면은 다짐의 효율저하로 침하우려가 된다고 기술하였음.
- 또한, 도로굴착후 되메움시 시방규정에 의한 품질시험 소요기간이 최소 10일 소요되어, 당일 굴착복구하여야 하는 업무처리규칙과 상호 모순됨에

따라 현장에서 이행하기 쉬운 램마다짐 회수에 따른 현장밀도를 정하고 향후 도로굴착 복구공사에 적용하여 침하방지와 굴착장기화로 인한 시민 불편해소를 위해 시험시공을 실시하였음.

-노상층은 다짐두께 T=20cm 충다짐 시행

-입도조정기층은 노상층 다짐후 다짐두께 T=10cm 충다짐 시행

-실내다짐시험은 KS F 2312의 E방법, 현장다짐밀도는 모래치환법에 의해 시행

-적용대상 : 굴착폭이 좁아 로울러 다짐이 곤란한 소규모 도로굴착복구공사

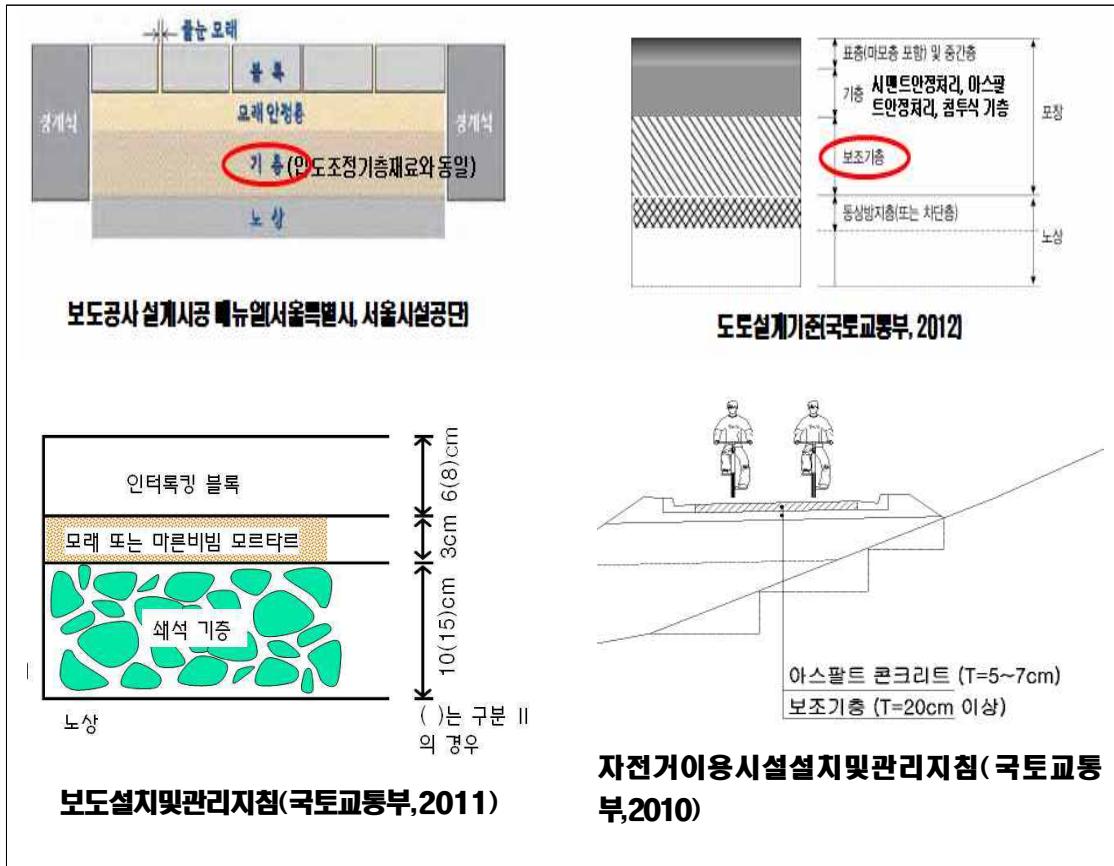


<그림 2-1. 시험시공에 따른 다짐횟수별 현장밀도 분석 결과>

- 시험시공 평가결과, 보도 시공 시 노상층은 램머 4회 다짐시, 입도조정기 층은 2회 다짐할 경우 시방기준 현장밀도 90%를 충족하는 것으로 나타났으며, 차도부는 노상층과 입도조정기층은 각 7회 다짐시 시방기준 현장밀도 95%를 충족하는 것으로 분석되었다고 최종 보고.
- 이러한 시험시공 결과보고는 소규모 굴착복구공사 시 발생되는 문제점을 인식하고 실제 현장에서 램머를 이용한 다짐횟수별 현장밀도를 측정, 그 결과를 제안한 것으로 매우 가치있는 연구결과보고서라 할 수 있음.
- 그러나, 다양한 형태의 도심지 소규모 굴착복구공사 전반에 적용하기에는 다짐기계의 종류 및 다짐횟수, 포장 굴착 규모에 따른 기층재 변수 등에 대한 접근이 이루어지지 않아 추가적인 연구검토가 필요한 것으로 평가.

## 2.4 국내외 관련기준 조사 결과

- 다양한 종류의 국내 시방서, 설계기준 및 매뉴얼 등을 조사 분석한 결과, 도심지 내 소규모 굴착복공사 구간에 적용할 수 있는 재료 품질규정, 다짐방안 등 시공관련 기준에 대한 구체적인 언급 및 제시가 없는 것으로 조사되었음.
- 현재 소규모 굴착복구공사에 대한 되메우기 재료, 다짐도 기준, 용어 및 품질기준 등을 각 시방서에서 임의적으로 차용, 적용함으로써 공사감독관 및 시공사의 해석상 차이를 나타낼 수 있어 이에 대한 명확한 정의 및 시방규정이 마련되어 공사개시 전부터 사후관리까지 하나의 기준으로 제시되어야 할 것으로 판단되었음.
- 토목공사 중 토공사에 있어 구조물 단면에 대한 시방서, 설계기준 등에 대한 검토 결과, 대규모 도로포장에 대한 토공은 노체, 노상, 동상방지층, 보조기층, 기층, 표층으로 대별되며, 보도설치 단면은 크게 쇄석기층으로 표현되는 입도조정기층, 모래안정층, 블록순이며, 자전거 도로 단면은 보조기층과 표층으로 구성. 이에 각 단면별 재료에 대한 품질 및 다짐 판정 기준은 명확하게 구분되어 있었으며, 소규모 굴착복구공사 단면에 적용되는 기층재료도 이를 재료를 분석하여 적정한 기층재를 선택, 활용할 경우 큰 문제가 없을 것으로 판단됨.
- 따라서, 본 연구용역에서는 도심지 소규모 굴착복구공사에 적용되는 되메우기 기층재료 선정을 위하여 보도공사에 규정된 입도조정기층재료 B-2와 도로공사에 일반적으로 적용되고 있는 보조기층재료 SB-2에 대한 수급현황, 가격경쟁력, 품질만족 여부를 위한 실내평가 및 현장 시험성토 등을 통해 종합검토 및 연구결과를 정리함.



<그림 2-2. 굴착복구공사 관련 주요 구조물 단면구성도>

<표 2-6. 입도조정기층과 보조기층의 품질기준 비교자료>

구분	시험방법	입도조정기층	보조기층
마모감량(%)	KS F 2508	40이하	50이하
소성지수(%)	KS F 2303	4이하	6이하
수정CBR치(%)	KS F 2320	80이상	30이상
안정성(%)	KS F 2507	20이하	-
모래당량(%)	KS F 2340	-	25이상
현장밀도(%)	KS F 2311	90%이상	95%이상
1층다짐두께		15~8cm	20cm이하

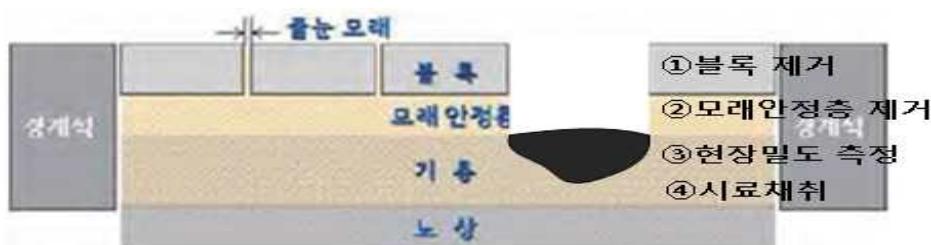
&lt;표 2-7. 입도조정기층과 보조기층의 입도분포 기준 비교자료&gt;

입경 (mm)	공청 입경에 대한 체 통과질량 백분율(%)										
	75	50	40	25	20	5	2.5	2	0.4	0.08	
보조 기층	SB-1	100	-	70-100	-	50-90	30-65	-	20-55	5-25	0-10
	SB-2	-	100	80-100	-	55-100	30-70	-	20-55	5-30	0-10
입도 조정 기층	B-1	-	100	95-100	-	60-90	30-65	20-50	-	10-30	0-10
	B-2	-	-	100	80-95	60-90	30-65	20-50	-	10-30	0-10

## 제3장 공용 중 현장조사 내용 및 결과

### 3.1 현장조사 및 평가방안

- 도심지 소규모 굴착복구공사 중 가장 대표적인 보도블록 공사 현장을 중심으로 준공 후 공용기간이 1년 미만의 최근현장, 1년 경과 현장 그리고 2년 이상 경과한 현장을 선별하여 하부 기층에 대한 현장밀도 및 기층에 품질기준 적합성 여부에 대한 평가를 실시하였음.
- 공용 중인 소규모 굴착복구공사 준공 현장에 대한 현장시험 및 기층재에 대한 실내평가를 위하여 현행 굴착금지 기간인 2년을 중심으로 1년 미만, 1년 이상 및 2년 이상 경과한 서울시 보도블록 준공 현장을 선정하여 입도조정기층 기준에 해당하는 물성치 평가를 각 현장 시료에 대해 실내외 평가를 수행하였음.



&lt;그림 3-1. 서울시 보도블록 단면구성 및 평가 재료&gt;

### 3.1.1 현장시험 방법

- 평가일자 : 2013년 11월 18일 오전9:00~오후 6:00
- 평가위치 : 서울시 보문로, 안암로, 을지로 일대 보도블록 준공현장
- 평가방법 : 현장 밀도에 의한 다짐도 및 입도조정기층재 기준 만족여부를 위한 평가

### 3.1.2 실내평가 방법

- 보도공사 설계시공 매뉴얼(서울특별시, 서울시설공단, 2013)에서는 보도블록 공사 시 블록 하면에 모래안정층을 포설한 후 기층재로써 입도조정기층재를 사용하게끔 규정되어 있음.
- 따라서, 본 연구용역에서도 공용 중 현장실태 조사에서 채취된 보도블록 기층재에 대하여 입도조정기층재의 품질기준 만족여부에 대해 실내시험을 수행하였음.

**<표 3-1. 서울시 보도블록 공사 시 기층재 품질기준>**

〈서울시 보도블록 공사 시 입도조정기층의 품질기준〉				
구분	시험방법	입도조정기층	비고	
마모감량(%)	KS F 2508	40이하		
소성지수(%)	KS F 2303	4이하		
수정(CBR치)(%)	KS F 2320	80이상		
안정성(%)	KS F 2507	20이하		
현장밀도(%)	KS F 2311	90%이상		
1층다짐두께		15~8cm		

〈서울시 보도블록 공사 시 입도조정기층의 입도분포 기준〉								
입경 (mm)		공칭입경에 대한 체통과질량 백분율(%)						
		50	40	25	20	5	2.5	0.4
입도조정기층	B-1	100	95-100	-	60-90	30-65	20-50	10-30
	B-2	-	100	80-95	60-90	30-65	20-50	10-30
								0-10

## 3.2 공용 중 현장평가 분석

### 3.2.1 공용 중 현장 개요

#### ① 공용연수 2년 이상 현장개요

- 공사명 : 삼선동 일대 ○○○○○ 정비공사
- 공사기간 : 2011.04.27. ~ 2011.10.23.
- 공사개요 : D=200~300mm, L= 1,130m, 제수변실 28개소

#### ② 공용연수 1년 이상 현장개요

- 공사명 : 정릉동 ○○○○○ 정비공사
- 공사기간 : 2012.03.22. ~ 2012.09.17.(계약:3/22,착공:3/22,준공:9/17)
- 공사개요 : D=20~200mm, L=1,073m

#### ③ 공용연수 1년 이내 현장개요

- 공사명 : 명동 ○○○○○ 정비공사
- 공사기간 : 2013.03.25. ~ 2013.07.22
- 공사개요 : D13~300mm, L=1,340m

### 3.2.2 공용기간별 현장 특성

#### (1) 공용기간 2년 이상 현장(보문로 보도)

- 보문로 현장은 만 2년이 경과한 시점에서 현장 육안조사 결과, 일부 구간에서 부분적으로 보도블록 재포장이 시행되어져 있었으나 전체적으로 보도블록의 파손, 부등침하 등의 직접적인 손상은 관찰되지 않았으며 보다 정확한 평가를 위해 보문로 현장일대에서 3군데에 대한 다짐도 평가 및 시료채취를 실시하였다.

## (2) 공용기간 1년 이상 현장(안암로 보도)

- 안암로 현장은 만 1년이 경과한 시점에서 현장 육안조사 결과, 보문로 현장과 달리 부분적인 재포장 구간은 관찰되지 않았으며 보도블록의 파손, 단차 등이 육안 상 관찰되지 않았으나 보다 정확한 평가를 위해 안암로 현장일대에서 3군데에 대한 다짐도 평가 및 시료채취를 실시하였다.

## (3) 공용기간 1년 미만 현장(을지로 보도)

- 을지로 현장은 만 1년이 경과하지 못한 시점에서 현장 육안조사 결과, 보도블록 단차, 부등침하 등이 관찰되었으며, 현장 평가 시 인근 주민들이 보도블록 공사 후 보도침하에 따른 역구배에 의한 배수불량 문제 등에 불편을 제기하였으며 보다 정확한 평가를 위해 을지로 현장일대에서 3군데에 대한 다짐도 평가 및 시료채취를 실시하였다.
- 기층재에서도 모래안정층 하부에 입도조정기층재 대신 모래층만으로 다짐이 시행되어 있는 구간도 있었으며 또 다른 구간에서는 불량토가 혼합되어 보도블록 침하 및 단차에 직접적인 영향을 주고 있는 것으로 판단되었다.

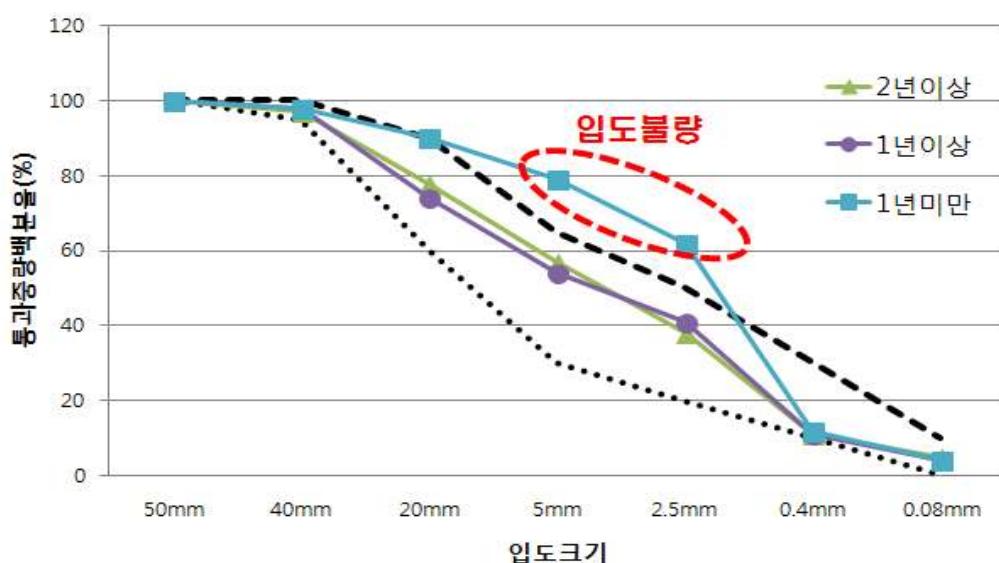
	
불량토 기층재 혼합 상태 확	입도조정기층재에 모래다짐층으로 복구

### 3.3 공용 중 현장평가 결과분석

#### 3.3.1 공용기간별 현장 기층 실내평가 결과

##### (1) 입도분포 결과분석

- 서울시 보도블록 포장에서는 보도블록에 가해지는 하중을 지지하기 위하여 기층재료로써 입도조정기층재를 적용하게끔 되어 있는 규정에 의거하여 채취된 각 현장 기층재료에 대해 입도조정기층의 품질기준 만족여부를 평가하였으며 보도블록 기층재에 대한 입도분석 결과, 준공 후 1년 미만 현장시료는 육안평가에서도 나타났듯이 입도조정기층재 입도분포 범위를 만족하지 못하는 것으로 평가되었음.
- 이러한 입도불량은 기층의 다짐도, 지지력 등에 문제를 발생시킬 수 있으며 공용 중 보도블록 하자발생에 직접적인 영향을 미칠 수 있게 되나, 공용 중 1년 이상, 2년 이상 경과된 현장 시료에 대한 물성평가 결과, 입도조정기층재의 입도범위를 만족하는 것으로 평가되었음.



<그림 3-2. 공용 중 현장에 대한 기층재 입도분포 곡선>

## (2) 기층재 품성지 결과분석

- 보도공사 기층재료에 대한 품질기준 만족여부를 평가하기 위하여 마모감량, 소성지수, 수정CBR 및 안정성에 대한 평가결과, 1년 미만의 현장 및 2년 이상 경과된 현장시료 모두에서 수정CBR 80% 이상의 기준을 만족하지 못하는 것으로 평가되었음.

**<표 3-3. 공용 중 현장에 대한 기층재 품질기준 결과 분석>**

구분	시험방법	기준	실내평가결과		
		입도조정기층	1년미만	1년이상	2년이상
마모감량(%)	KS F 2508	40이하	25.1	33.3	30
소성지수(%)	KS F 2303	4이하	NP	NP	NP
수정CBR치(%)	KS F 2320	80이상	<u>48.0</u>	99.0	<u>41</u>
안정성(%)	KS F 2507	20이하	-	-	-

### 3.3.2 공용기간별 현장다짐도 평가 결과

- 소규모 굴착복구 현장 중 가장 대표적인 보도현장에 대한 현장실태 조사 분석을 위해 굴착복구공사 준공 후 2년 경과, 1년 경과 및 1년 미만의 현장에 대해 현장 다짐밀도 평가결과, 굴착복구공사 후 1년이상 경과한 현장에서는 보도 다짐도 규정인 90%이상을 만족하는 것으로 평가되었으나 1년미만 현장은 다짐도 및 입도기준을 만족하지 못하는 것으로 평가되었음.
- 특히, 준공 후 1년 미만 현장에서는 입도범위와 수정CBR치를 벗어나는 기층재를 사용함으로서 충분한 다짐에너지를 얻지 못해 다짐도가 낮게 나오는 것으로 평가되었으며, 이러한 결과로 현재 상당구간에서 보도블록 단차 및 침하가 발생하고 있는 것으로 판단되어졌음.
- 준공 후 1년 이상 경과한 현장에서는 3곳 중 1곳에서 다짐도 90%가 미달 되었으나 전체적으로 양호한 공용상태를 나타내고 있었으며 2년이 경과

한 보문로 현장 시료는 실내 물성평가 결과, 수정CBR치가 미달되긴 하였으나 다짐도 평가결과 가장 높은 다짐도를 나타내어 수정CBR치가 다짐도에 직접적인 영향을 주지 않는 것으로 판단됨.

- 또한, 전체적인 다짐도 평가 결과의 경향을 살펴보면, 공용기간이 증대할수록 다짐도가 향상되는 결과를 나타내었는데 이는 보도블록 상부에 가해지는 하중에 의해 점진적으로 기층의 밀실도가 증가되어 다짐도 평가에 영향을 주는 것으로 분석되어, 시공 중 품질기준에 적합한 기층재를 사용하고 정밀한 다짐시공을 통해 초기 다짐도를 만족시킬 경우 시간경과와 더불어 다짐도는 증대되어 보다 안정적인 기층을 제공, 보도블록의 단차, 부등침하 등을 억제할 수 있을 것으로 기대됨.

**<표 3-4. 공용 중 현장에 대한 다짐도 평가 결과 분석>**

현장구분	현장다짐밀도(%)				비고
	No.1	No.2	No.3	평균	
2년이상	92.1	92.9	94	93.0	
1년이상	94	<u>89</u>	94.1	92.4	보도 90%이상
1년미만	92.2	<u>88</u>	<u>87.3</u>	<u>89.2</u>	차도 95%이상



**<그림 3-3. 공용기간별 현장다짐도 추이>**

### 3.4 공용 현장 조사분석에 따른 소결론

- 도심지 소규모 굴착복구공사 중 가장 대표적인 보도블록 공사 현장을 중심으로 준공 후 공용기간이 1년 미만의 최근현장, 1년 경과 현장 그리고 2년 이상 경과한 현장을 선별하여 하부 기층에 대한 현장밀도 및 기층에 품질기준 적합성 여부에 대한 평가를 실시하였다.
- 보도공사 기층재료에 대한 품질기준 만족여부를 평가하기 위하여 마모감량, 소성지수, 수정CBR 및 안정성에 대한 평가결과, 1년 미만 및 2년 이상 경과된 현장시료 모두에서 수정CBR 80% 이상의 기준을 만족하지 못하는 것으로 평가.
- 소규모 굴착복구 현장 중 가장 대표적인 보도현장에 대한 현장 다짐밀도 평가결과, 굴착복구공사 후 1년이상 경과한 현장에서는 보도 다짐도 규정인 90%이상을 만족하는 것으로 평가되었으나 1년미만 현장은 다짐도를 만족하지 못하는 것으로 평가. 특히, 준공 후 1년 미만 현장에서는 입도 범위와 수정CBR치를 벗어나는 기층재를 사용함으로서 충분한 다짐에너지 를 얻지 못해 다짐도가 낮게 나오는 것으로 평가되었으며, 이러한 결과로 현재 상당구간에서 보도블록 단차 및 침하가 발생하고 있는 것으로 판단.
- 보도포장에 대한 공용기간별 기층 다짐도 평가에 있어 1년미만 현장은 다짐도 및 입도기준을 만족하지 못하는 것으로 평가, 소규모 굴착복구공사 시공절차 및 품질관리에 대하여 개선사항이 필요한 것으로 나타났고, 품질기준에서 수정CBR 80% 이상의 기준을 3곳 중 2곳에서 충족시키지 못하여 기층재에 대한 개선 또는 기준 재검토가 요구되었으며 현재 보도 기층재료에 대해 다짐도, 입도 및 품질기준에 대한 미부합조건 현장이 발견됨에 따라 품질관리 강화 또는 개선이 요구되는 결과를 도출.

## 제4장 시험성토를 통한 최적의 다짐방안 평가

### 4.1 시험성토 시행 및 평가방안

□ 본 연구에서는 도심지 내 구간에 대한 소규모 굴착복구공사의 특성 및 품질관리 현황을 분석하여 현장 실정에 맞는 품질관리기준 제시를 위하여 기층재료, 다짐장비 및 다짐횟수에 변화를 주어 실내외 평가를 수행, 소규모 굴착복구공사에 적합한 품질관리기준을 수립하고자 시험성토 평가를 시행하였음.

- 평가일자 : 2013년 12월 03일 오전 9:00~오후 6:00
- 평가위치 : 서울시 양재동 서울추모공원 진입로 내 박스암거 성토 구간
- 평가목적 : 기층재 종류에 따른 적합성 판정, 소형 다짐장비별

#### 최소 다짐횟수 선정

- 평가방법 : 보도블록 기층재인 입도조정기층재와 도로포장 기층재인 보조 기층재에 대하여 다짐장비별 다짐횟수에 변화를 주어 적정 다짐도 만족을 위한 최소 다짐횟수 현장 평가와 기층재 품질기준 만족여부 판정을 위한 실내평가

#### 4.1.1 시험조건 및 시험항목

□ 시험성토는 표 4-1과 같이 기층재 종류 2가지, 소형다짐장비 3종, 다짐횟수 3, 5, 7, 9회 등의 변수로 각각 독립적으로 실시하였으며 다짐도 평가를 위해 각 변수별 3회씩 측정평가하였으며, 현장반입 기층재의 품질기준 만족도 여부를 평가하기 위하여 각각의 관련 기준에 의거하여 실내물성치 평가를 시행.

<표 4-1. 시험성토 시 평가방법 및 시험법>

구분	평가방법	시험법	비고
①현장시험	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ 기층재 2종류</li> <li>▷ 소형다짐장비 3종류 및 다짐장비에 따른 다짐회수</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ 모래 치환법에 의한 흙의 밀도 시험 방법(KS F 2311)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ <b>다짐도</b> : E 다짐시험의 95% 이상</li> <li>▷ <b>함수비</b> : 최적함수비의 <math>\pm 2\%</math></li> </ul>
②시료실내평가	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ 실제 사용 현장 시료 및 기층재에 대한 실내평가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ 체가률, 밀도/흡수율, 함수량, 액성한계, 소성한계, 마모감량, 실내CBR 다짐 모래당량, 0.08mm체 통과량</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ 입도조정기층재와 보조기층 기준 비교평가</li> </ul>
⑤적정다짐방안제안	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ 시험시공 실시</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ 시험결과정리</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ 결과에 의한 방안 제시</li> </ul>



<그림 4-1. 소규모 굽착복구공사 품질관리기준 마련을 위한 시험성토 절차>

#### 4.1.2 사용된 기층재

- 도심지 소규모 굴착복구공사에 적용하도록 규정된 되메우기 즉, 기층재에 대한 명확한 관련 기준이 없는 관계로 본 연구용역에서는 보도블록에 적용되고 있는 입도조정기층재와 도로 및 자전거 전용도로에 적용되고 있는 보조기층재를 사용하여 소규모 굴착복구공사 관련 기층재 사용재료 기준을 마련하기 위하여 사용성, 경제성, 시공성 등을 종합적으로 평가하고자 하였음.
- 보조기층재인 SB-2입도의 40mm 혼합골재 층은 관련 기준인 도로공사 보조 기층재료 기준 ‘1층의 두께는 20cm이하로 한다’에 의거하여 다짐두께 20cm 층다짐 시행하였으며, 보도블록 기층재인 B-2입도의 입도조정기층도 LH전문시방서 및 도로공사 전문시방서 상의 ‘다짐 후 1층의 두께가 15cm를 초과하거나 8cm 미만이 되지 않도록 하여야 한다’라는 보도공사 설계시공 매뉴얼에 의거 다짐두께 10cm로 층다짐을 시행.
- 사용된 입도조정기층재는 관련기준 B-2(25mm 혼합골재)에 해당하는 골재를 주문하여 반입하였으며 보조기층재는 관련기준 SB-2(40mm 혼합골재)의 골재를 활용하였으며, 반입된 골재의 상태를 현장에서 육안관찰한 후, 시료 채취 및 실내평가를 통해 관련 기준에 적합한 골재가 반입되었는지 평가를 시행.

**<표 4-2. 시험성토 시 반입된 기층재 종류별 경제성 분석>**

구분	입도조정기층재 B-2 (25mm 혼합골재)	보조기층재 SB-2 (40mm 혼합골재)
납품가격 (운반거리포함)	374,000원 (17 m <sup>3</sup> )	238,000원 (17 m <sup>3</sup> )
비고	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ 보도 기층재에 사용하게끔 규정</li> <li>▷ 현재 골재상에서 미생산</li> <li>▷ 현실적인 대안 마련 필요</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ 도로 보조기층재 SB-2 수준</li> <li>▷ 성토재 중 가장 널리 사용</li> <li>▷ 운반 및 반입과정에서 재료 분리 가능</li> </ul>



<그림 4-2. 시험성토 시 적용된 기층재료 상태>

#### 4.1.3 사용된 다짐장비

##### (1) 다짐장비의 개요<sup>3)</sup>

- 다짐장비는 느슨하여 공극이 많은 상태의 재료에 적당한 힘을 작용시켜서 단단하게 하는 장비이고 작용시키는 힘의 특성에 따라 전동에 의한 것, 충격에 의한 것으로 분류되며, 기계적인 특성에 따라 크게 셋으로 분류된다. 그러나, 이 분류도 엄밀한 것이 아니며 각 특성의 다짐장비도 이 것들의 복합된 기능을 가지고 있음.

3) 건설장비의 종류 및 특성-포장장비, <http://blog.daum.net/phceo/8808621>

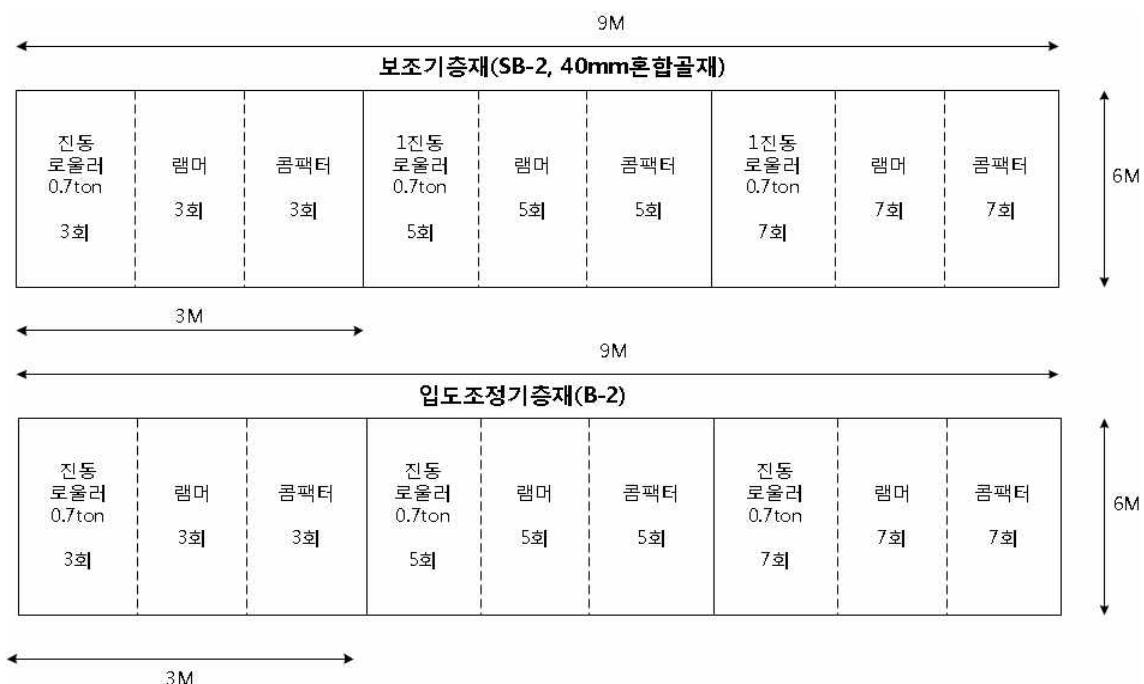
- 진동 Compactor는 평판위에 직접 기진기를 설치한 것으로 진동을 이용하여 다짐을 하는 점에서는 진동 Roller와 동일. 이것은 2축 기진기의 진동면을 집중시킴으로써 다짐과 동시에 자력으로 이동하게 하는 것과 다른 주행장치에 태워 이동을 하는 것으로 분류. 전자는 소형인 것이 많고, 후자는 비교적 대형인 것이 많음.
- 동적인 충격하중에 의해 흙을 다지는 것으로 Rammer와 Tamper가 있음. Rammer와 Tamper는 모두 기계 자체가 뛰기 때문에 기계적인 구조에는 차이가 있지만 본질적으로는 동일. 연약한 점질토의 경우에는 뛰는 반발력을 얻을 수 없기 때문에 다짐작업을 할 수 없지만 연약한 점질토가 아닌 어떠한 흙에 대해서도 사용할 수 있음.
- 램머는 Gasoline의 폭발 Energy를 이용하여 기계 전체를 도약시켰다가 낙하하는 중량으로 전압작용을 하는 기계로서 소형이고 협소한 장소에서도 작업이 가능하므로 소규모 공사, 보수공사 등에 이용.

## (2) 다짐장비 선택

- 다짐장비는 각기 그 특징이 있는데, 그것들을 시공조건과 토질조건에 따라 사용하는 방법을 결정하기가 상당히 어려움. 더욱이, 현장에서는 Specification에 따라 완성된 질의 규정, 복잡한 흙과 혼화재, 투입기계의 범위 등 조건이 뒤얽히어 문제를 한층 어렵게 하고 있음. 대규모 공사의 경우에는 현장의 일부 지역에 대하여 시험성토를 하고 적정기계와 시공법을 결정하고 있지만 일반적으로 시험성토를 하지 않는 경우가 많으며 시공조건에서 보는 기종, 토질조건에서 본 기종 선택표 등을 이용하여 적합한 기종을 선택하고 있으나, 획일적으로 상기사항에만 의존하는 것은 피해야 하고, 어디까지나 요구되는 다짐의 질, 현장조건 등에 맞는 기종을 선택하여 빠르고 싸고 목적에 맞는 좋은 다짐을 행하는 것이 필요함.

#### 4.1.4 시험성토 구간별 다짐횟수

- 본 연구용역에서 시험성토를 통한 소규모 굴착복구공사 최적 다짐장비 및 다짐횟수 평가에 사용된 장비는 진동 로울러 0.7ton(핸드가이드식), 램머 및 콤팩터장비이며 이들 장비를 사용한 다짐횟수는 3, 5, 7회로 시행 하였으며 입도조정기층재에 한하여 9회 다짐을 추가로 시행.
- 다짐횟수 1회는 작업자의 보행속도로 다짐길이 6M를 한번 통과할 경우를 1회로 설정하였으며 같은 위치를 왕복할 경우는 2회 다짐으로 간주.



**<그림 4-3. 시험성토 시 다짐장비 및 다짐횟수별 위치 선정>**

#### 4.2 진동 로울러 0.7ton(핸드가이드식) 다짐구간 특성

- 진동 로울러 0.7ton 다짐장비는 2축의 롤러로 구성되어 있으며 진동과 동시에 다짐롤러 축압에 의해 작업이 시행되며 이를 통해 성토재료를 진동하면서 장비무게로 압입하면서 다짐을 시행하는 다짐장비임.

- 진동 로울러 0.7ton(핸드가이드식)에 의한 다짐 후 다짐마무리면을 관찰한 결과, 3회 다짐만으로도 비다짐구간과 다짐에 대한 차이가 확연히 나타나는 효과를 얻을 수 있었다. 그러나, 반입골재 재료분리 시 위치별 다짐효과에 차이를 나타내어 반드시 골재만 있는 구간은 긁어내기 등을 통해 입도를 맞춘 후 다짐을 시행하여야 할 것으로 판단.
- 진동 로울러 0.7ton(핸드가이드식)장비는 다짐폭 0.65m, 다짐길이 0.55m(2축간 거리)로 1회 진동작업으로 다짐되는 면적은 약  $0.358\text{ m}^2$ 로서 시험성토에 적용된 다짐장비 중에서는 가장 넓은 다짐면적을 지니고 있음.

	
진동 로울러 0.7ton(핸드가이드식) 장비	다짐 후 원지반 침하 상태
	
진동 로울러 0.7ton(핸드가이드식) 다짐길이(L=55cm)	진동 로울러 0.7ton(핸드가이드식) 다짐 후 마무리면상태

<그림 4-4. 진동 로울러 0.7ton(핸드가이드식) 장비 특성>

### 4.3 램머 다짐구간 특성

- 램머 다짐장비는 기계 전체를 도약시켰다가 낙하하는 중량으로 전압작용을 하는 기계로서 소형이고 협소한 장소에서도 작업이 가능하므로 소규모 공사, 보수공사 등에 이용되며 연약한 점질토의 경우에는 뛰는 반발력 을 얻을 수 없기 때문에 다짐작업을 할 수 없지만 연약한 점질토가 아닌 어떠한 흙에 대해서도 사용할 수 있는 장점을 지니고 있음.
- 램머에 의한 다짐 후 다짐마무리면을 관찰한 결과, 3회 다짐만으로도 비다 짐구간과 다짐구간에 대한 차이가 확연히 나타나는 효과를 나타내었으나, 높은 다짐에너지로 지반을 타격, 단시간 내 밀도를 높일 수 있었으나 기층 재의 골재를 타격할 경우 골재가 파손되는 현상을 나타냈으며 이런 경우, 골재 파손에 따라 입도에 변화가 생겨 적정 입도분포를 가진 골재를 오히려 불량골재화 시킬 수 있는 문제점을 지니고 있는 것으로 평가.
- 특히, 램머장비는 다짐폭 0.25m, 다짐길이 0.35m로 1회 작업으로 다짐되는 면적이 약  $0.0875\text{m}^2$ 에 불과하여 일정규모 이상의 다짐 시 타격해야 할 면적증대로 작업자 피로도 증대 및 중복타격 구간 차이로 균질한 다짐효과를 얻기 곤란할 것으로 평가.



<그림 4-5. 램머 다짐에너지 전달 후 골재파쇄 및 지반침하 상태>



&lt;그림 4-6. 램머 다짐 장비 특성&gt;

#### 4.4 콤팩터 다짐구간 특성

- 콤팩터 다짐장비는 평판위에 직접 기진기를 설치한 것으로 진동을 이용하여 다짐을 하는 점에서는 진동 Roller와 유사하나 다짐판의 진동력에 의지하므로 다짐두께 증가 시 다짐에너지 전달에 한계가 있으므로 사질 토 이외에 토질에 적용할 경우 선정에 주의.

- 콤팩터에 의한 다짐 후 다짐마무리면을 관찰한 결과, 표면진동가력으로 매우 균질한 표면상태를 나타내었으나, 다짐 후 원지반 침하높이는 가장 적은 효과를 나타내었으며 골재직경이 큰 경우 다짐에너지가 제대로 전달되지 못한 것으로 평가.
- 콤팩터는 다짐폭 0.35m, 다짐길이 0.45m로 1회 작업으로 다짐되는 면적이 약  $0.157\text{ m}^2$ 정도이며 휴대성과 작업성, 이동성이 매우 우수하여 신속한 장비 상하차, 현장 진입 및 작업이 용이하며 장비운영에 필요한 숙련도가 크게 요구되지 않는 장점이 있으나 소정의 다짐도 확보를 위해서는 신중한 작업이 필요한 것으로 평가되었으며 다짐면에 대한 레벨이 가능하여 사질토, 굴착복구 최종마무리 다짐장비로는 적용가능할 것으로 판단.

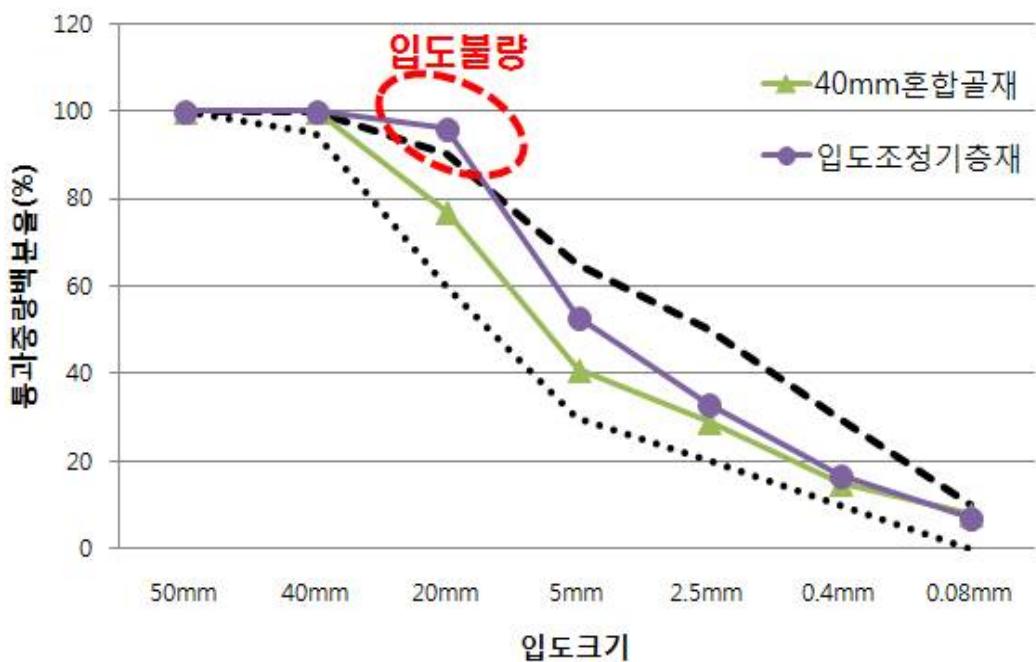


**<그림 4-7. 콤팩터 다짐장비 특성>**

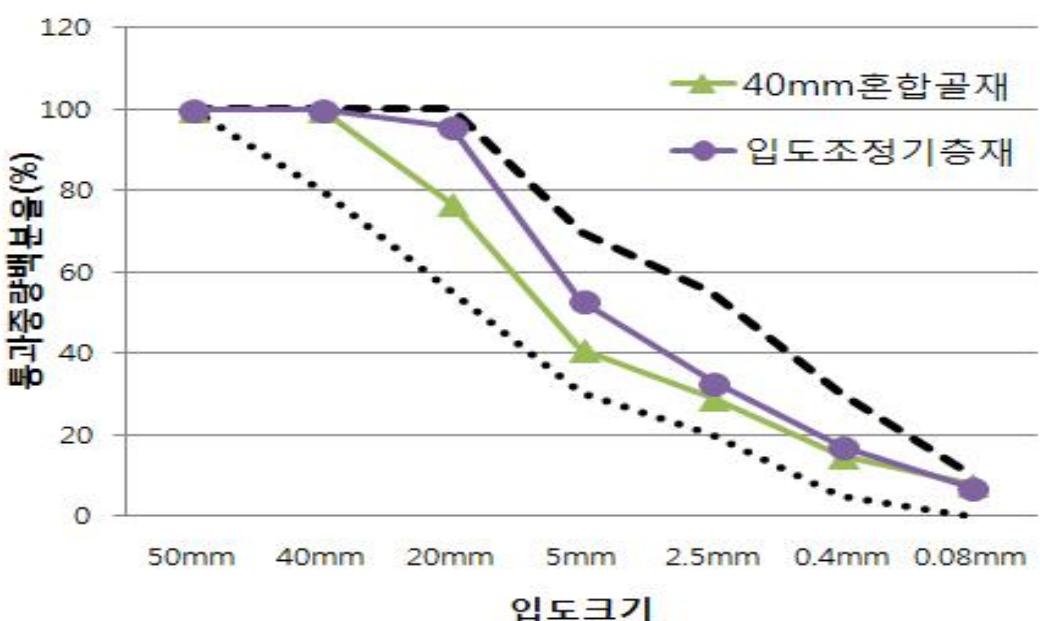
## 4.5 다짐장비, 다짐횟수 및 기층재에 따른 다짐도 평가결과

### 4.5.1 기층재 종류에 따른 입도분포 결과분석

- 소규모 굴착복구공사의 특성을 반영한 품질관리기준 제시를 위하여 다짐장비, 다짐횟수 및 기층재에 변화를 주어 시험성토를 실시, 품질관리 기준을 도출하고자 하였으며 사용된 기층재는 서울시 보도공사 설계시공 매뉴얼에 규정되어 있는 입도조정기층재와 도로공사에서 일반적으로 사용되고 있는 보조기층재에 대해 적정성 평가 시행.
- 기층재료별 입도 만족여부를 평가결과, 현재 보도블록 기층재 기준인 입도조정기층 입도기준으로 반입된 B-2 골재는 입도범위를 벗어났으나 도로공사 시 적용되는 보조기층재 SB-2 입도로 반입된 골재는 그림 4-8, 4-9와 같이 입도조정기층 기준을 만족하는 것으로 평가. 즉, 가장 광범위하게 적용되는 40mm 혼합골재는 입도조정기층 및 보조기층의 입도기준을 모두 만족하는 것으로 나타나 사용성이 좋은 것으로 나타남.
- 입도조정기층재는 보조기층재와 비교하여 입도범위가 더 엄격하여 생산업체에서 골재치수를 선별, 가공하여야 하는 부담이 있으며 이러한 과정을 걸쳐 본 시험성토 구간에 입도조정기층재로 구매하였음에도 불구하고 현장에서 채취된 시료에 대한 평가결과에서 입도를 벗어나는 결과를 나타내었음.
- 특히, 입도조정기층재는 대규모 도로공사 및 자전거 전용도로 등에서 사용치 않는 골재로써 현재 골재생산업체에서는 몇몇 업체에서만 별도 주문 생산으로 반품하고 있는 실정으로 골재 구입이 용이한 상태는 아니나, 보조기층재는 모든 골재생산업체에서 생산되고 있는 가장 일반적인 혼합골재로 골재수급 및 경제성이 우수한 골재로 평가.



<그림 4-8. 입도조정기증재 입도기준(B-2)으로 평가된 기증재 입도분포곡선>



<그림 4-9. 보조기증재 입도기준(SB-2)으로 평가된 기증재 입도분포곡선>

#### 4.5.2 기층재 종류별 물성치 결과분석

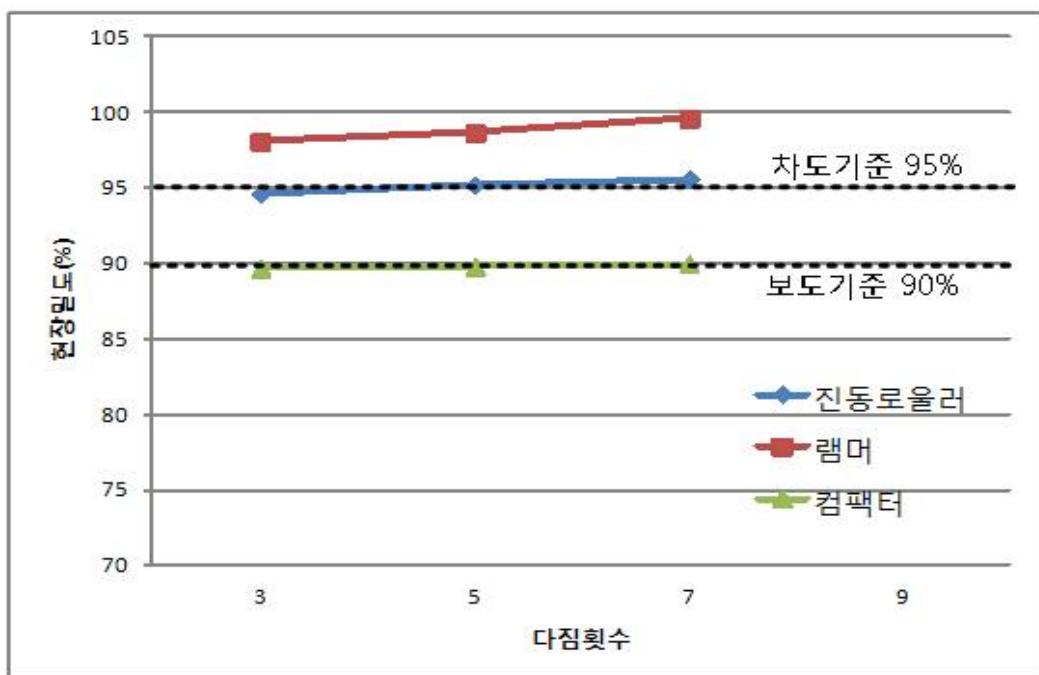
- 반입된 기층재에 대한 기본 물성치 평가 결과, SB-2로 반입된 40mm 혼합 골재와 B-2로 반입된 입도조정기층재 모두 수정CBR 80% 기준을 제외하고는 품질기준 조건을 만족.
- 그러나, 입도조정기층재는 관련 기준 중 수정CBR치 80%를 만족하지 못하는 결과를 나타내었으며, 보조기층재로 반입된 40mm 혼합골재는 보조기층재 기준 수정CBR치 30%이상은 만족하였으나 마찬가지로 입도조정기층재 품질기준 80%에는 미치지 못하는 것으로 분석.
- 이들 재료 모두 수정CBR치 80% 만족여부를 제외하고는 모든 항목에서 입도조정기층재와 보조기층재의 품질기준을 만족시키는 것으로 평가. 또한, 경제성 측면에서 입도조정기층은 22,000원/m<sup>3</sup>이나 보조기층재는 14,000원/m<sup>3</sup>으로 보다 40% 공사비 절감효과가 있으며 골재수급이 보다 용이하므로 소규모 굴착복구공사에 필요한 되메우기 기층재로 보조기층재(SB-2)를 적용하는 것이 사용성, 시공성, 경제성 등을 고려할 경우 적용 타당성이 보다 높은 것으로 판단되어졌음.

**<표 4-3. 기층재 종류별 품질기준 만족도 여부 실내평가 결과>**

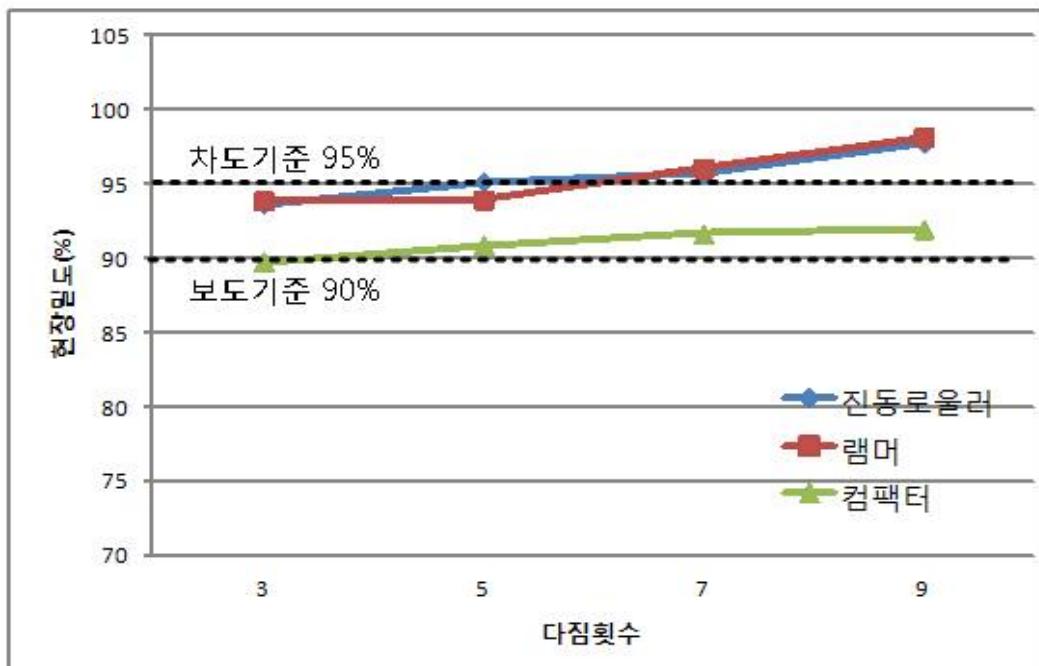
구분	시험방법	기준		실내평가결과	
		입도조정 기층재	보조 기층	40mm 혼합골재	입도조정 기층재
마모감량(%)	KS F 2508	40이하	50이하	23.5	14.6
소성지수(%)	KS F 2303	4이하	6이하	NP	NP
수정CBR치 (%)	KS F 2320	80이상	30이상	<u>57</u>	<u>52</u>
안정성(%)	KS F 2507	20이하	-	-	-
모래당량(%)	KS F 2340	-	25이상	45	68

#### 4.5.3 다짐장비별 최소 다짐횟수 평가결과

- 시험성토에 사용된 기층재 종류별 다짐장비 및 다짐횟수에 대한 다짐도 변화를 평가한 결과, 각 시방서상에 규정되어 있는 입도조정기층 및 보조기층재의 품질기준을 만족할 경우 다짐도 평가에 있어 큰 차이를 보이지 않았으며 이를 통해 소규모 굴착복구공사 시 기층재 재료 자체가 다짐도에 미치는 영향은 미소한 것으로 나타나 보도 기층재 및 도로 기층재 모두 선택이 가능할 것으로 평가.
- 다짐장비별 다짐도 평가에서는 충격식 다짐장비인 램머 다짐장비가 기층재 종류에 상관없이 3회 이상 반복 다짐 시 다짐도 90% 이상을 확보하여 가장 효과적인 다짐도를 나타냈으며 진동 로울러 0.7ton(핸드가이드식)도 기층재료에 상관없이 3회 다짐 시 보도블록 다짐도 기준인 90% 이상을 만족하여 현장적용성은 양호한 것으로 평가.
- 그러나, 표면진동가력방식인 콤팩터 진동기의 경우 기층재의 골재최대치 수가 증가할수록 다짐효과가 미미하였으며 특히 단독사용 시 보도블록 기층재 다짐도 기준인 90% 이상을 만족하기 위해서는 최소 7회 이상 연속적인 다짐작업이 필요하였으며 차도 기준 다짐도 95%를 만족하기 위해서는 9회 다짐으로도 만족하지 못하는 것으로 나타나 그 이상의 작업이 필요하였으나 이 경우 지나친 작업량의 증대로 작업시간 단축을 우선으로 하는 도심지 공사에서는 현장적용성이 떨어지는 것으로 평가.
- 이상의 기층재 종류별 다짐장비 종류에 따른 다짐도 품질기준 확보를 위한 최소 다짐횟수를 제안.
- 본 시험성토 결과자료는 동일 작업구간에 대한 3회의 현장밀도 측정치에 근거한 것으로 보다 정확한 결과분석과 제안을 위해서는 반복적인 실험과 평가를 통해 결과분석치에 대한 신뢰성을 향상시킬 필요가 있는 것으로 판단.



&lt;그림 4-10. 40mm 혼합골재 다짐장비 및 다짐횟수별 다짐도 평가결과&gt;



&lt;그림 4-11. 입도조정기층재 다짐장비 및 다짐횟수별 다짐도 평가결과&gt;

**<표 4-4. 다짐도 기준에 따른 다짐장비별 최소 다짐횟수 제안>**

시방규정	진동 로울러 0.7ton	램머	콤팩터	비고
90%이상 현장적용시	3회이상	3회이상	7회이상	입도조정기총 보조기총 모두 적용가능
95%이상 현장적용시	5회이상	3회이상	단독 사용금지	

#### 4.5.4 소형 다짐장비별 작업량 산정

- 시험성토 결과를 얻은 결과물을 활용하기 위하여 설계에 필요로 하는 일일작업량을 산정하였다. 이를 위해서 장비제원 및 작업소요시간을 측정하였으며 각 장비별 작업량 계산방법은 다짐 장비의 다짐능력에 따른 산출식에 근거하였으며 특히 다짐 면적으로 산출하고자 식 (4-1)에 의해 계산.

$$A = (W \times V \times E) / P \quad \dots \dots \dots \quad \text{식 (4-1)}$$

여기서, A : 1시간당 작업량 ( $m^3/h$ ), W : 1회의 유효다짐폭 (m)  
 V : 다짐장비의 작업속도 ( $m/h$ ), E : 작업효율, P : 다짐횟수  
 E : 성토부의 토질 조건이 좋고 작업이 용이한 경우 : E = 0.8 – 0.6

- 다짐도 90%를 만족하기 위한 각 장비별 시간당 작업량은 램머  $14.0 m^3/hr$  을, 콤팩터는  $50.4 m^3/hr$ , 진동 로울러 0.7ton(핸드가이드식)는  $163.8 m^3/hr$ 로 계산되어 진동 로울러 0.7ton(핸드가이드식) > 콤팩터 > 램머 순으로 시간당작업량이 우수한 것으로 평가.
- 다짐횟수가 가장 적은 램머는 다짐면적이 적어 시간당작업량이 가장 적게 계산되었으며 콤팩터는 작업속도는 높게 계산되었으나 다짐도를 만족하기 위한 횟수가 최소 7회 이상으로 전체적인 시간당작업량은 크지 않은 것으로 평가.

- 일반적인 8톤 진동롤러 대형장비 작업량은 약  $240\text{m}^3/\text{h}$ 로 소형 다짐장비의 시간당작업량이 대형장비에 비해 매우 작은 것을 알 수 있었으며, 다짐장비별로도 약 10배이상 차이가 나는 것으로 평가되어 공사조건에 따라 적절한 다짐장비의 선정이 작업성, 시공성, 경제성에 매우 영향을 줄 수 있다는 사실을 알 수 있었음.

**<표 4-5. 다짐장비별 시간당작업량 평가 결과>**

구분	진동 로울러 0.7ton	램머	콤팩터	단위
장비제원	다짐폭(W)	0.65	0.65	0.25
	다짐길이	0.55	0.55	0.35
	다짐면적	0.3575	0.3575	0.0875
장비성능 측정결과	작업속도	20	20	90
	작업길이	6	6	6
	단위속도	0.3	0.3	0.067
	작업속도(V)	1080	1080	240
시간당 작업량 산정	작업효율(E)	0.7	0.7	0.7
	다짐횟수(P)	5	3	3
	시간당작업량 (A=(W×V×E)/P)	98.28	163.8	14.0
	다짐도 조건	95%이상	90%이상	95%이상

#### 4.5.4 소형다짐장비별 일위대가 및 단가산출

- 표 4-6의 다짐장비별 일위대가를 살펴보면, 진동 로울러 0.7ton(핸드가이드식)는  $1,167\text{원}/\text{m}^3$ , 콤팩터는  $2,212\text{원}/\text{m}^3$ , 램머는  $4,346\text{원}/\text{m}^3$ 으로 진동 로울러 0.7ton(핸드가이드식) 장비가 경제성에 있어 가장 유리한 것으로 산정되어 있으며 시험성토 결과를 기준으로 다짐장비별 작업량 산정 결과, 일위대가 상의 경제성에 있어 진동 로울러 0.7ton(핸드가이드식) > 콤팩터 > 램머 순으로 동일하게 평가되었음.
- 소규모 굴착복구공사에서 적용가능한 소형 다짐장비별 다짐도 확보 최소 다짐횟수, 작업량, 경제성 등을 종합적으로 분석한 결과, 진동 로울러

0.7ton(핸드가이드식)가 가장 우수한 것으로 평가되었으며 콤팩터는 작업 성 자체는 양호하였으나 다짐도 확보를 위한 작업량에 있어 불리한 조건을 지니고 있었으며 이를 반영한 경제성에 있어 진동 로울러 0.7ton(핸드 가이드식)보다 높은 비용으로 재산정되었다. 램머는 다짐도 확보는 매우 우수하였으나 전체적인 작업량, 작업효율에 있어 가장 불리한 상태를 나타내었으며 경제성에 있어서도 가장 불리한 결과를 나타냄.

**<표 4-6. 시험성토 결과를 이용한 일위대가 및 단가 산출 결과>**

구분	단가	2013.08 일위대가		시험성토 결과 분석	
		작업량(m <sup>3</sup> /h)	단가산출	작업량(m <sup>3</sup> /h)	산출된 단가
진동 로울러 0.7ton	노무비	17,260	19.5	885.1	19.656
	재료비	3,942	19.5	202.2	19.656
	경비	1,563	19.5	80.2	19.656
	합계			1,167	1,158
램머	노무비	17,260	4.38	3940.6	2.8
	재료비	1,365	4.38	311.6	2.8
	경비	412	4.38	94.1	2.8
	합계	19,037		4,346	6,799
콤팩터	노무비	1,917	9	1,917.7	10.08
	재료비	2,127	9	236.3	10.08
	경비	536	9	59.5	10.08
	합계			2,213.5	1,976

#### 4.5.5 토공굴착규모에 따른 다짐장비 선정 제안

- 본 연구용역의 연구범위는 도심지 내 소음, 진동, 지중구조물 영향 및 기존의 보도 위 가설구조물 등에 의해 대형 다짐장비를 활용할 수 없는 도심지 일부 보도공사 구간, 상수도관 교체 또는 가설을 위한 굴착복구공사 및 보도폭 자체가 협소한 도심지 내 굴착공사범위이므로 이에 적합한 다짐장비 선정을 제안.
- 표 4-7은 토공사의 다짐장비에 대한 제원으로 일반적인 소규모 굴착복구공사의 굴착폭인 1.2m를 기준으로 평가할 경우 유효다짐폭별 장비의 선정 및 제안을 표 4-8과 같이 함.

**<표 4-7. 다짐장비별 규격, 유효 다짐폭 및 표준작업속도>**

장비명	규격(Ton)	유효다짐폭(m)	표준작업속도(m/h)
Macadam Roller	6 - 8	0.7	1,500 - 2,000
	8 - 12	0.8	
	12 - 15	0.9	
Tandem Roller	6 - 10	1.1	2,000
	10 - 13	1.2	
Tire Roller	1.7 - 2.7	0.7	2,500
	4 - 5	1.0	
	6 - 8	1.2	
	6 - 10	1.4	
	8 - 20	1.8	
	12 - 28	2.0	
진동 Roller	4.5	0.8	1,000
	8	1.7	

**<표 4-8. 토공굴착규모에 따른 다짐장비 선정 제안>**

굴착폭	다짐장비
1.2m이하	진동 로울러 0.7ton(핸드가이드식), 램머, 콤팩터
1.2~2m	머캐덤(12톤이하), 탬덤(13톤이하), 타이어 8톤이하), 진동롤러(8톤이하)
2m이상	머캐덤(12톤이상), 탬덤(13톤이하), 타이어 8톤이상), 진동롤러(8톤이상)

## 제5장 결론 및 건의

### 5.1 연구용역 주요 내용별 결과 도출 사항

- 다양한 종류의 국내 시방서, 설계기준 및 매뉴얼 등을 조사 분석한 결과, 소음, 진동, 지중구조물 영향 및 기존의 보도 위 가설구조물 등에 의해 대형 다짐장비를 활용할 수 없는 도심지 일부 보도공사 구간, 상수도관 교체 또는 가설을 위한 굴착복구공사 및 보도폭 자체가 협소한 도심지 내 구간에 대한 소규모 굴착복구공사 시 직접적으로 적용할 수 있는 재료 품질규정, 다짐방안 등 시공관련 기준에 대한 구체적인 언급 및 제시가 없는 것으로 조사.
- 보도공사 기층재료에 대한 품질기준 만족여부를 평가하기 위하여 마모감량, 소성지수, 수정CBR 및 안정성에 대한 평가결과, 1년 미만 및 2년 이상 경과된 현장시료 모두에서 수정CBR 80% 이상의 기준을 만족하지 못하는 것으로 평가.
- 보도포장에 대한 공용기간별 기층 다짐도 평가에 있어 굴착복구공사 후 1년이상 경과한 현장 모두에서는 보도 다짐도 규정인 90%이상을 만족하는 것으로 평가되었으며 1년미만 현장은 다짐도 및 입도기준을 만족하지 못하는 것으로 평가되어, 소규모 굴착복구공사 시공절차 및 품질관리에 대하여 개선사항이 필요한 것으로 나타났고, 특히 보도공사 기층재료 품질기준에서 수정CBR 80% 이상의 기준을 3곳 중 2곳에서 충족시키지 못하여 기층재에 대한 개선 또는 기준 재검토가 요구되었으며 현재 보도 기층재료에 대해 품질관리 강화 또는 개선이 요구되는 결과를 도출.
- 도심지 내 구간에 대한 소규모 굴착복구공사의 특성 및 품질관리 현황을 분석하여 현장 실정에 맞는 품질관리기준 제시를 위하여 기층재료, 다짐 장비 및 다짐횟수에 변화를 주어 실내외 평가를 수행, 소규모 굴착복구공사에 적합한 품질관리기준을 수립하고자 시험성토 평가 시행.

- 기층재료별 입도 만족여부 평가결과, 현재 보도블록 기층재 기준인 입도 조정기층 입도기준으로 반입된 입도조정기층재와 보조기층재의 입도 중 오히려 입도조정기층재로 반입된 B-2 골재가 입도범위를 벗어났으며 도로공사 시 적용되는 보조기층재 SB-2 입도로 반입된 골재는 입도조정기층 기준을 만족하는 것으로 평가. 즉, 가장 광범위하게 적용되는 40mm 혼합골재는 입도조정기층 및 보조기층의 입도기준을 모두 만족하는 것으로 나타나 사용성이 좋은 것으로 평가.
- 기층재 종류별 다짐장비 및 다짐횟수에 대한 다짐도 변화를 평가한 결과, 각 시방서상에 규정되어 있는 입도조정기층 및 보조기층재의 품질기준을 만족할 경우 다짐도 평가에 있어 큰 차이를 보이지 않았으며 이를 통해 소규모 굴착복구공사 시 기층재 재료 자체가 다짐도에 미치는 영향은 미소하여 보도 기층재 및 도로 기층재 모두 선택 가능할 것으로 평가.
- 램머 다짐장비는 3회 이상의 다짐만으로도 다짐도 95% 이상을 만족할 수 있을 것으로 판단되어 최소 다짐횟수를 3회 이상으로 제안. 진동 로울러 0.7ton(핸드가이드식) 다짐장비는 입도조정기층재와 보조기층재 모두 유사한 다짐도 특성을 나타내고 있으며 보도블록 기준 다짐도 90%를 만족하기 위해서는 최소 3회 이상, 차도블록 기준 다짐도 95%를 만족하기 위해서는 5회 이상의 다짐도 작업이 필요한 것으로 동일하게 평가. 콤팩터 다짐장비는 입도조정기층재, 보조기층재 모두 다짐도 90% 이상을 만족하기 위해서는 최소 7회 이상의 연속적인 작업이 요구되었으며 보도블록 기준 다짐도 95%를 만족하기 위한 다짐횟수는 본 시험성토 최대다짐횟수인 9회까지 만족하지 못하는 것으로 평가.
- 소규모 굴착복구공사에서 적용가능한 소형 다짐장비별 다짐도 확보 최소 다짐횟수, 작업량, 경제성 등을 종합적으로 분석한 결과, 진동 로울러 0.7ton(핸드가이드식)가 가장 우수한 것으로 평가되었으며 콤팩터는 작업 성 자체는 양호하였으나 다짐도 확보를 위한 작업량에 있어 불리한 조건

을 지니고 있었으며 이를 반영한 경제성에 있어 진동 로울러 0.7ton(핸드 가이드식)보다 높은 비용으로 재산정. 램머는 다짐도 확보는 매우 우수하였으나 전체적인 작업량, 작업효율에 있어 가장 불리한 상태를 나타내었으며 경제성에 있어서도 가장 불리한 결과를 나타냄.

## 5.2 연구결론에 대한 건의

- 현재 각종 공사 시방서 및 설계기준에 근거하여 소규모 굴착복구공사에 적용가능한 국내 관련 규정을 조사분석하였으나 국외 문헌에 대한 자료 분석이 다소 부족하므로 소규모 굴착복구공사 관련 국외 문헌에 대한 보다 폭넓은 조사와 분석이 있을 경우 보다 완성도 높은 품질관리 기준이 마련될 수 있을 것으로 판단.
- 현장실태 조사결과에서 준공 후 1년 미만의 현장밀도 및 입도가 기준치를 만족하지 못하는 결과를 나타내었으며, 수정CBR 80%이상 기준은 3곳 중 1곳만이 만족하는 시험결과를 나타냈으나 도심지 내 보다 다양한 소규모 굴착복구공사 현장에 대한 추가적인 조사, 평가 등이 이루어질 경우 현장조건과 다양한 원인에 의해 이루어지는 소규모 굴착복구공사의 현실성을 반영한 품질관리 기준 마련이 이루어질 수 있을 것으로 판단.
- 소규모 굴착복구공사 현장에서 사용되고 있는 소형 다짐장비에 대한 시험성토평가 결과, 보도공사 및 차도공사 적용 시 시방규정치인 현장다짐도 만족을 위한 최소 다짐횟수를 제안하였으나, 실제 소규모 굴착복구 현장에서 보다 다양한 변수로 반복적인 시험을 통해 결과를 도출할 경우 시험결과에 대한 높은 신뢰성, 반복성, 현실성 높은 시험결과 도출이 가능할 것으로 판단.
- 즉, 본 연구용역은 현장실태조사 3회, 시험성토는 제한적 공간에 대한 일회성 결과이므로 시험성과물로써 보다 완성도 높은 신뢰성을 갖는 결과

도출을 위해서는 다양한 소규모 굴착복구공사 현장에 대한 실태조사와 보다 많은 조건에서의 현장시험, 다짐장비별 성능평가, 다짐두께별 평가, 정량적 다짐속도 평가 등에 대한 추가연구가 필요한 것으로 평가.

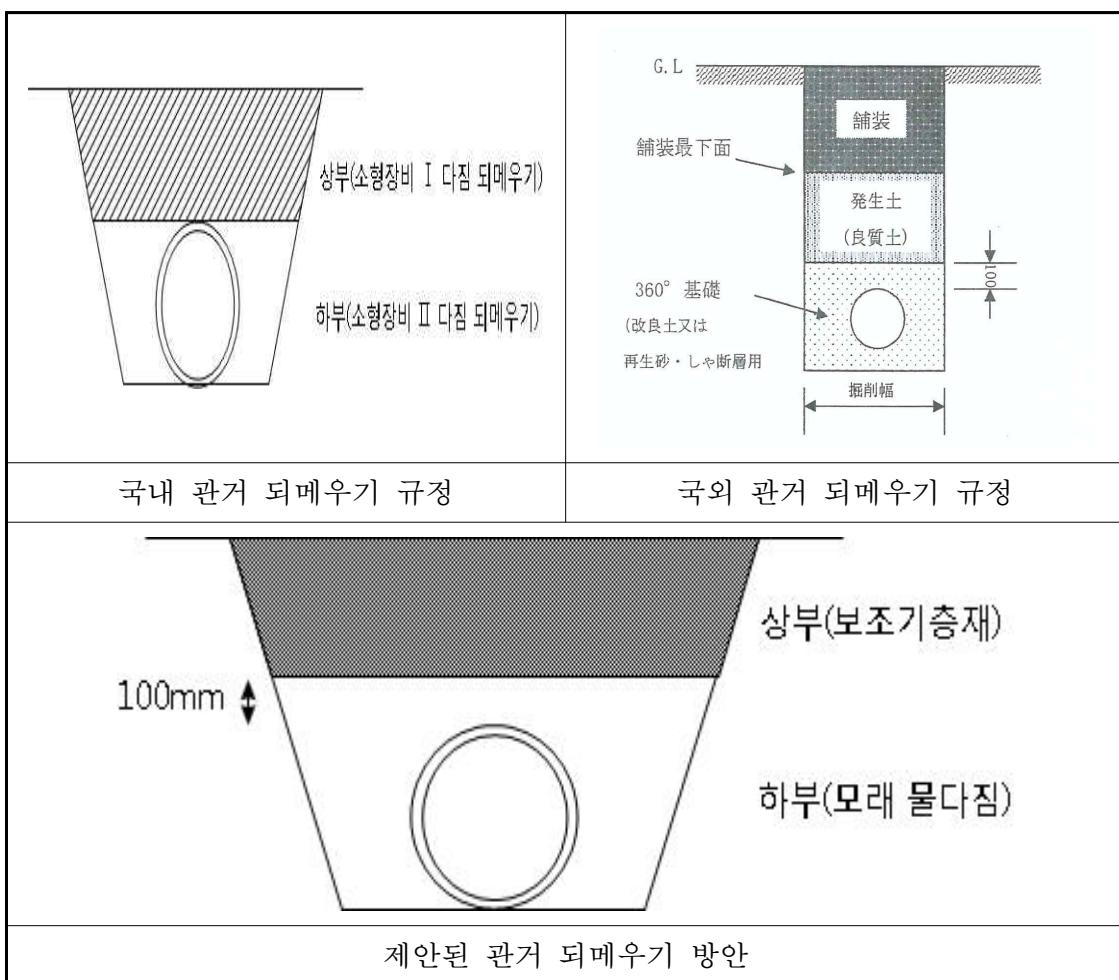
### 5.3 타 연구에의 응용

- 보도공사 설계시공 매뉴얼 상 소규모 굴착공사는 길이 10m이하, 너비 3m 이하로 규정되어 있으나, 소규모 굴착공사의 정의는 대형다짐장비가 투입되지 못하는 굴착공사 현장으로 그 범위가 정의되어야 하므로, 본 연구결과가 적용될 수 있는 소규모 굴착복구공사는 소음, 진동, 지중구조물 영향 및 기존의 보도 위 가설구조물 등에 의해 대형 다짐장비를 활용할 수 없는 도심지 일부 보도공사 구간, 상수도관 교체 또는 가설을 위한 굴착복구공사 및 보도폭 자체가 협소한 도심지 내 구간으로 규정.
- 이러한 연구결과의 적용범위를 가질 경우, 굴착너비 1.2m이하의 소규모 굴착복구공사 현장에 대하여 되메우기용 기층재는 SB-2의 보조기층재를 사용하고 소형다짐장비는 진동 로울러 0.7ton(핸드가이드식) 다짐장비를 사용, 다짐도 90%이상 조건에서는 3회이상, 다짐도 95%이상에서는 5회 이상의 다짐횟수로 작업할 경우 관련기준을 만족할 수 있는 결과를 얻어 공사 전 공정관리 및 공사 중 시공관리, 품질관리에 보다 효과적인 계획, 시행, 감독 및 조치가 가능할 것으로 판단.
- 본 연구용역 결과는 기층재 종류별, 소형 다짐장비에 의한 적정 다짐횟수에 대한 실증적 검증자료로 이를 기초로 다양한 현장조건에서 변형적 적용 및 응용이 가능한 기초 자료 제공에 큰 의미가 있다할 수 있으며 이를 보다 구체적으로 고려한 소규모 굴착복구공사 품질기준(안)을 제시하였으나 다양한 조건과 현장실측 자료 등에 대한 추가연구결과를 포함하여 완성도를 높일 경우, 소규모 굴착복구공사에서의 공정관리, 시공관리

및 품질관리 등의 문제점을 획기적으로 개선할 수 있을 것으로 기대.

- 또한, 본 연구용역을 기초로 국내외 규정을 참조하여 관거 공사 시 되메우기에 대한 규정을 다음과 같이 제안함.
- ① 관거 되메우기 시 하부기층재는 관거의 안정성을 위하여 모래기층을 사용하며 이때 다짐은 충분한 물다짐을 시행.
  - ② 물다짐에 따른 하부 기층재 다짐 높이는 관거 최상단에서 100mm 높이까지 시행.
  - ③ 이후 포장단면 하면까지의 상부는 보조기층재를 사용하여 관거에 손상을 주지 않도록 다짐을 시행.

**<표 5-1. 관거 되메우기 국내외 규정 및 제안>**



#### 5.4 연구결과의 활용방안 및 기대효과

- 도심지 소규모 굴착공사에 적합한 품질기준 제시로 현장관리자 및 시공 관계자 모두 철저한 품질관리를 통한 책임시공 실현
- 공사규모, 공사특성을 반영한 현실적 품질기준 제시로 공사관계자 시공관리 용이
- 시간적, 공간적 제약을 고려한 품질기준 마련으로 품질관리 용이
- 시공기준 확립으로 부등침하, 상부 포장체 및 하부 구조물 손상 저감
- 하자발생 최소화를 통한 예산 절감
- 보차도 등 도심지 관련 소규모 굴착복구 공사 전반에 대한 품질관리 기법 제안