

# 소형 다짐 장비를 이용한 최소 폭 굴착노면의 다짐기준 연구

## A Study on Compaction Criterion of Minimum Width Excavation by Using Hand Plate Compactor

서주원\* · 유영규\*\* · 최준성\*\*\* · 김수일\*\*\*\*

Seo, Joo Won · You, Young Gyu · Choi, Jun Seong · Kim, Soo Il

### 1. 서 론

서울특별시 관내 도로상에서는 연평균 10만 여건의 각종 관로의 매설을 위한 도로의 굴착 및 복구공사가 시행되고 있으나, 이 때 복구된 포장면의 침하, 균열 등의 하자가 발생하여 포장도로의 내구력 저하 및 서비스 지수를 떨어뜨리고 있는 현실이다. 또한 시내 곳곳의 2차선 이하의 도로나 각종 이면도로 등 롤러 등의 대형장비가 진입할 수 없는 1m 미만의 최소 폭 굴착노면에서 각종 관로매설공사가 견실하게 시행되도록 하기 위해서는 이들 시공특성 등을 고려한 적정 시방기준이 있어야 하나, 이와 관련한 표준화되고 정형화된 체계적인 시방기준(자재·장비 및 작업방법)이 없어 이에 대한 기준마련이 시급한 실정이므로 본 연구를 통해 정량화된 다짐기준을 제시하고자 한다.

### 2. 실내시험시료의 입도분포시험

국내 굴착 및 복구현장에서 많이 사용되고 있는 모래의 되메우기 효과를 분석하여 다짐시방을 제시하고자 굴착 및 복구현장을 모사화한 실내 토조시험을 실시하였다. 실내 토조시험에 앞서 실내 토조시험에서 사용된 재료인 노상 되메우기용 모래의 입도분석을 실시하기 위하여 실내 체분석시험을 실시하였다. 서로 다른 3개의 위치에서 각각 5kg을 채취하여 실내 입도분석시험을 총 5회 실시한 뒤 합산한 값을 기준으로 입도분포곡선을 산정하였고, 모래입도기준인 국내 잔골재 입도분포 시방기준과 비교를 실시하였다. 실험결과로부터 그림 1과 같이 실내 토조시험용 모래의 입도분포곡선을 도출하였다.

본 실내시험에 사용된 모래는 부순 모래로 그림 1에 나타내었다. 그림 1을 살펴보면 잔골재의 시방기준(도로포장공학, 2004) 내에 있음을 알 수 있으며 전체적으로 양호한 입도분포를 가지고 있음을 알 수 있었다.

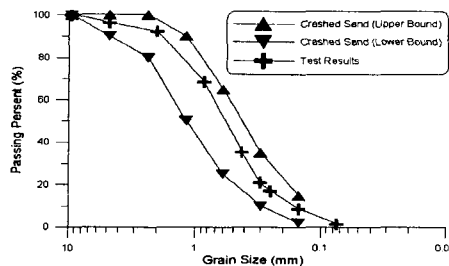


그림 1. 실내 토조시험의 모래입도분포와 국내 잔골재 입도기준의 비교

- \* 정희원, 연세대학교 토목공학과 · 박사과정 · 02-312-5101 (E-mail : pooh@yonsei.ac.kr)
- \*\* 정희원, 연세대학교 토목공학과 · 석사과정 · 02-312-5101 (E-mail : yyg@yonsei.ac.kr)
- \*\*\* 정희원, 인덕대학 건설환경설계학과 교수 · 공학박사 · 02-950-7565 (E-mail : soilpave@induk.ac.kr)
- \*\*\*\* 정희원, 연세대학교 사회환경시스템공학부 교수 · 공학박사 · 02-2123-2800 (E-mail : geotech@yonsei.ac.kr)

### 3. 다짐 횡수 결정을 위한 실내 시험

다짐 횡수 결정을 하기 위해 핸드 플레이트 컴팩터와 실내 토조 및 들밀도 시험기가 사용되었다. 우선 깨끗이 정돈된 빈 토조에 적정량의 시료를 담고 국내 현장에서 대형 다짐장비가 접근할 수 없을 경우에 주로 실시하는 밟기 등의 인력다짐 후 들밀도 시험을 실시하였다. 또한 시료를 모두 비운 뒤 다시 시료를 채운 실내 토조에 1ton 타격력의 핸드 플레이트 컴팩터를 동원하여 다짐을 실시한 후 들밀도 시험을 실시하여 인력다짐과 장비다짐의 다짐정도를 비교하였다.

#### 3.1 실내 토조시험에 사용된 다짐장비 및 토조 구축

실내 토조시험에 사용된 다짐장비는 토조의 크기와 높이, 실내조건 등을 고려하여 좁은 공간에서도 다짐이 가능한 핸드 플레이트 컴팩터와 길이 2m, 폭 1m의 총 높이 1.2m의 실내 토조를 사용하였다. 또한, 실내 모형실험을 위하여 실내 토조내에 높이가 1m 정도가 되도록 노상 되메우기용 모래를 채워 준비하였다.

#### 3.2 인력다짐과 다짐장비를 이용한 다짐

토조 내의 되메우기용 모래의 다짐을 위하여 전체두께 1m 가량을 한꺼번에 포설한 후 국내 현장에서 좁은 굴착 폭으로 인하여 대형 다짐장비가 접근할 수 없을 경우에 주로 실시하는 밟기 등의 인력다짐을 실시한 후 인력다짐에 의한 다짐도를 측정하기 위하여 들밀도 시험을 실시하였다. 인력다짐을 실시한 경우와 다짐장비를 이용하여 다짐을 실시한 경우를 비교하고자 같은 방법으로 소형 다짐장비인 핸드 플레이트 컴팩터를 이용하여 그림 2와 같이 다짐을 실시하였다. 다짐을 실시한 후 현장 다짐도를 측정하기 위하여 그림 3과 같이 들밀도 시험을 실시하였다.

들밀도 시험의 경우 표면에서의 다짐도만 측정 가능하므로 전체 토조에 넣은 모래의 중량을 측정하고 다짐 후의 높이를 측정하면 전체 중량과 부피를 계산하여 전체 평균밀도를 측정할 수 있다. 본 연구에서는 현재 복구 현장의 되메우기 방법인 인력 밟기에 의한 다짐정도의 효과를 분석하고자 호트러진 상태의 높이와 인력다짐 후의 높이와 핸드 컴팩터를 이용하여 다졌을 때의 최종 흙의 높이를 측정하여 토조 내 모래시료의 평균단위중량을 표 1과 그림 4와 같이 나타내었다. 그림 4를 살펴보면 인력다짐만으로는 원하는 다짐정도를 획득할 수 없음을 알 수 있었으며 최대밀도의 95% 다짐도를 얻기 위해서는 반드시 다짐 장비를 이용하여야 함을 알 수 있었다.

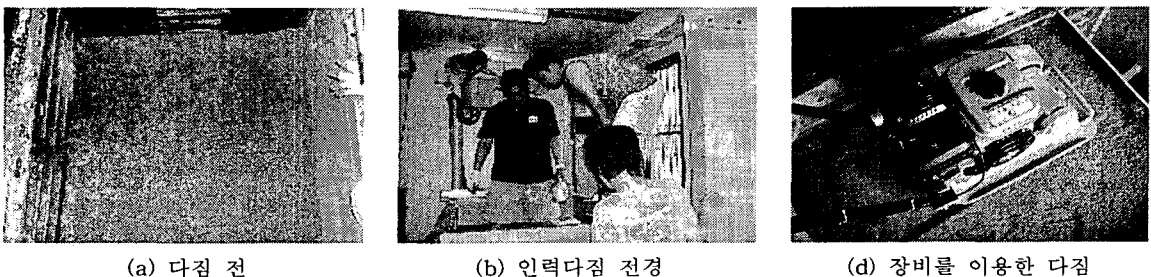
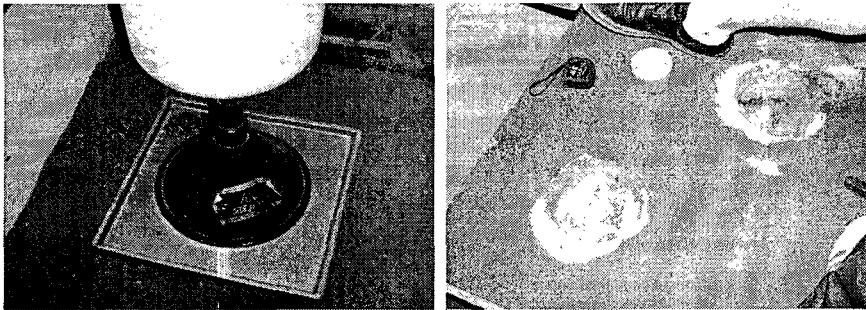


그림 2. 실내 토조를 이용한 다짐시험 전경



(a) 들밀도 시험

(b) 다른 위치에서의 들밀도 시험

그림 3. 들밀도시험

표 1. 토조 내 모래시료의 평균단위중량 및 평균다짐도

	흐트러진 상태	인력다짐 후	20회 다짐 후 (Compactor)
평균단위중량	1.304	1.422	1.506
평균다짐도	82.56%	89.98%	95.34%

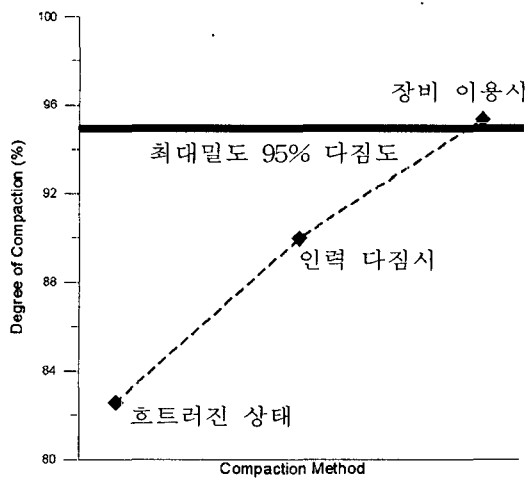


그림 4. 다짐 방법에 따른 평균 다짐도

현재 서울시의 굴착 및 복구현장의 경우 당일굴착 당일복구를 위하여 대략 1m 내외의 두께를 하나의 층으로 놓고 물다짐 혹은 인력다짐을 실시하므로, 본 연구에서는 우선 1m 두께의 되배우기용 모래재료를 하나의 층으로 놓은 후 한번에 다짐을 실시하여 다짐효과 비교를 실시하였으며, 실험 결과는 표 2 및 그림 5에 나타내었다



표 2. 들밀도 시험결과 및 표면다짐도

	인력다짐시	다짐장비를 이용한 다짐					
		3회	6회	8회	10회	15회	20회
단위중량 (t/m <sup>3</sup> )	1.452	1.428	1.485	1.400	1.514	1.531	1.536
다짐도 (%)	91.9	90.4	94.0	95.0	95.8	96.9	97.2

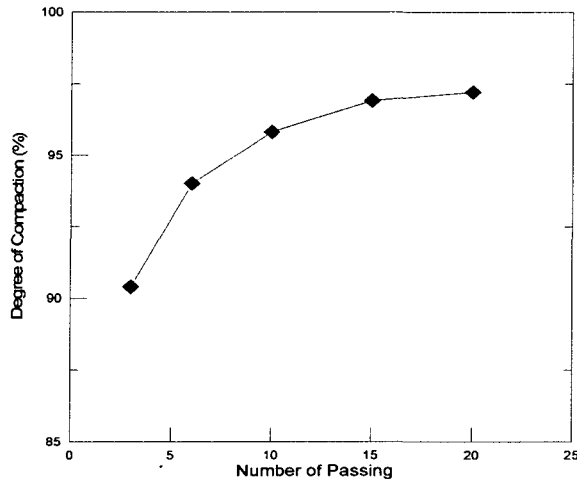


그림 5. 다짐횟수에 따른 표면 다짐도

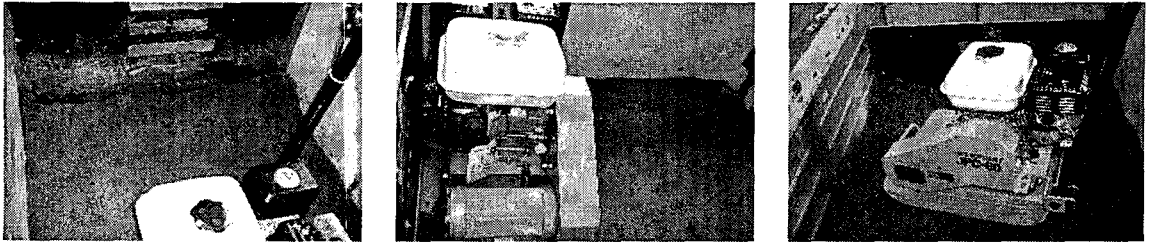
그림 5에서 보이는 바와 같이 다짐두께가 99cm일 경우(노상 되메우기용 모래채움을 한번에 하는 경우에 해당) 컴팩터 8회 다짐시 표면다짐도 95%, 20회 다짐시 표면다짐도 97% 이상을 획득하였으며, 15회부터는 다짐횟수에 따른 표면다짐도 증가가 미비함을 알 수 있다.

본 실험결과 서울시 굴착 및 복구 현장에서, 노상의 되메우기용 재료를 모래로 사용하고, 전체 1m 가량을 하나의 층으로 하여, 핸드 플레이트 컴팩터로 다짐을 실시할 경우 8회 다짐으로 최대밀도 95%의 표면 다짐도를 얻을 수 있었다. 그러나 본 실내시험을 통하여 얻은 다짐도는 평균 다짐도 및 표면 다짐도 이므로, 중간 이후부분에서의 다짐에너지 전달부족으로 인한 다짐도 저하가 예상된다. 따라서 층 전체에서 95% 이상의 다짐도를 얻기 위한 한 층 다짐두께의 최대값을 산정하는 과정이 필요하다고 판단된다.

#### 4. 다짐 층 두께를 결정하기 위한 실내시험

굴착 및 복구현장에서 다짐장비를 이용한 다짐을 실시할 경우 다짐장비의 에너지는 깊이가 깊어짐에 따라 소실된다. 그로 인하여 다짐효과 역시 감소하게 되므로 3장에 나타낸 바와 같이 1m 가량의 되메우기용 모래를 플레이트 컴팩터를 이용하여 8회 다짐을 실시하였을 경우 표면 다짐도는 95%를 만족시켰으나 내부 다짐도에 대한 검토가 필요하다.

본 실험에서는 플레이트 컴팩터 다짐시 결정된 8회 다짐의 경우 층다짐으로 뒷채움을 실시할 때, 최적의 층다짐 두께를 결정하고자 그림 6의 방법으로 실내시험을 실시하였다.



(a) 20cm 에서의 층다짐

(b) 40cm 에서의 층다짐

(c) 50cm 에서의 층다짐

그림 6. 최적다짐두께 결정을 위한 다짐시험

다짐완료 후 한 층의 다짐두께를 20cm, 40cm, 50cm로 증가시켜 다짐횟수를 8회로 고정하여 실시한 후 각 상단과 하단에서 들밀도 시험을 실시하여 표면 다짐도 뿐만 아니라 내부의 다짐도 변화를 측정하였다. 실험결과를 표 3 및 그림 7에 나타내었으며, 그림 7을 살펴보면 다짐층 두께가 증가함에 따라 상단부 및 하단부의 다짐도가 감소함을 알 수 있었다. 상단부의 경우는 다짐층 두께 증가에 따른 다짐도감소가 미비하였지만 하단부의 경우는 40cm를 전후하여 급격히 다짐도가 감소함을 알 수 있었으며, 본 실험결과 노상 되메우기용 재료로 입도분포가 양호한 양질의 모래를 사용하더라도 다짐완료 후 한 층의 두께가 40cm 이상이 될 경우 다짐층 내부의 다짐도가 소요 다짐도에 미치지 못함을 알 수 있었다.

표 3. 층 다짐시의 들밀도 시험결과

깊이 (cm)	위치	퍼넬홀 (1회차)	들어간 표준사 (1회차)	퍼넬홀 (2회차)	들어간 표준사 (2회차)	표준사 단위 중량	시료 단위 중량 (1회차)	시료 단위 중량 (2회차)	단위중량 2회 평균	다짐도 (%)
20	상단	5.32	5.29	5.29	5.26	1.518	1.527	1.527	1.527	96.62
	하단	4.88	4.85	5.11	5.077	1.518	1.527	1.528	1.528	96.69
30	상단	5.17	5.14	5.43	5.4	1.518	1.527	1.526	1.527	96.62
	하단	5.03	5.04	4.98	4.98	1.518	1.515	1.518	1.517	95.98
40	상단	5.84	5.82	5.75	5.73	1.518	1.523	1.523	1.523	96.41
	하단	5.27	5.32	5.16	5.21	1.518	1.504	1.503	1.504	95.16
50	상단	5.71	5.72	5.88	5.89	1.518	1.515	1.515	1.515	95.91
	하단	5.29	5.52	5.04	5.29	1.518	1.455	1.446	1.451	91.80

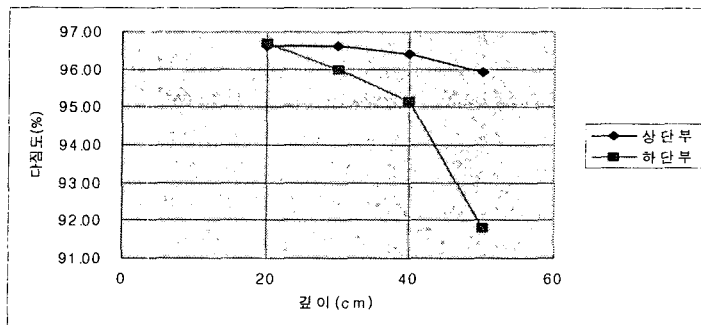


그림 7. 층 다짐시 깊이별 다짐도



층 다짐 두께 결정시험을 행한 결과 그림 7에 명시된 것과 같이 컴팩터 다짐 8회 다짐시 다짐층 두께를 40cm 이하인 경우가 다짐기준을 만족하는 것으로 판단되며, 이를 토대로 서울시 굴착복구현장에서 모래를 이용한 되메우기의 경우 최대 다짐두께를 40cm로 제시하고자 한다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 입도분석 및 들밀도 시험 등을 수행한 결과를 토대로 최소폭 굴착노면에 대하여 국내에 명시되어있지 않은 정량화된 다짐기준을 제시하였다. 노상 되메우기용 재료를 모래로 사용할 경우 최대밀도 95%의 다짐도를 얻기 위한 다짐장비 및 다짐횟수를 제시하였으며, 모래를 사용할 경우 다짐완료 후 한 층의 다짐두께는 최대 40cm 이며, 플레이트 컴팩터를 이용하여 다짐을 실시할 경우 최소 다짐횟수는 8회를 제시하였다. 본 연구를 통한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 실내 다짐시험결과 서울시 굴착 및 복구 현장에서, 노상의 되메우기용 재료를 모래로 사용하고, 전체 1m 가량을 하나의 층으로 하여, 핸드 플레이트 컴팩터로 다짐을 실시할 경우 8회 다짐으로 최대밀도 95%의 표면 다짐도를 얻을 수 있었다.
2. 다짐완료 후 한 층의 다짐두께를 20cm, 40cm, 50cm로 증가시켜 다짐횟수를 8회로 고정하여 실내 다짐시험을 실시한 후 각 상단과 하단에서 들밀도 시험을 실시한 결과 상단부의 경우는 다짐층 두께 증가에 따른 다짐도감소가 미비하였지만 하단부의 경우는 40cm를 전후하여 급격히 다짐도가 감소함을 알 수 있었으며, 다짐완료 후 한 층의 두께가 40cm 이상이 될 경우 다짐층 내부의 다짐도가 소요 다짐도에 미치지 못함을 알 수 있었다.

## 참고문헌

1. 남영국 (2004), "도로포장공학"
2. Office of Program Administration Federal Highway Administration (2003), "UTILITY RELOCATION AND ACCOMMODATION ON FEDERAL-AID HIGHWAY PROJECTS"
3. Stephen, Q. S. and Katherine, A. L. (1999), "IMPACT OF UTILITY TRENCHING AND APPURTENANCES ON PAVEMENT PERFORMANCE IN OTTAWA-CARLETON"