암성토시 현장다짐특성과 다짐관리 방법의 적용성 평가

In-situ Compaction Characteristics and Applicability Estimation of Compaction Method in Rock Fill

임성윤^{*,†}

Lim, Seong-Yoon

ABSTRACT

New technology and construction methods in civil engineering area have been noticeably improved associated with the industrial development. However, thicknesses of a lift is strictly specified for subgrade and roadbed embankment as 20 cm and 30 cm in the specification of Korea Highway. Since there has been a problem to get enough amount of soils to be used for compaction, the rocks have been replaced for those. However, there is no guideline for the quality control of rock while changing compaction efficiency of equipment and physical properties of rock while changing compaction method such as thicknesses of a lift, number of compaction and etc. The main objective of this research is to establish the specification for the rock compaction method of embankment which including thickness of lift and quality control method in Korea Expressway.

Keywords: Rockfill; Dynamic test; Capping; PBT; Compaction

1. 서 론

고속도로 건설에서 노체와 노상의 일반 토사 다짐 성토두께는 고속도로 건설의 출발과 함께 현재까지 30 cm와 20 cm로 일률적으로 규정되어 있다. 그리고, 토사의 구득이 어려워짐에 따라 현장에서 발생하는 암을 이용한 암성토가 시행되어 왔다.

현재 고속도로의 노체 및 노상을 건설하는 경우, 사용재료는 현장에서 발생하는 토사를 이용하거나 혹은 터널 등에서 나오는 암 버력 등을 이용한 암성토시공의 2가지 방법으로 시행되고 있다. 토사를 이용한 성토는 노체와 노상에 있어 성토재료 사용되고 있다. 노체에 사용되는 토사는 1층의 성토 다짐두께를 30 cm, 최대 입경을 300 mm 이하로 규정하고 있으며, 노상에 사용되는 토사는 1층의 성토 다짐두께를 20 cm, 최대입경을 100 mm 이하로 규정하고 있다 (KPRP, 2002).

현장 발생암을 이용한 암성토는 노체부분에 있어 최대입경을 600 mm 이하, 1층의 성토 다짐두께를 60 cm 이하로 규정하고 있다 (ASSHTO, 1986, 1992, FHWA, 2000). 또한, 노체부분에 암성토 시공시 암성토 상부에 일반 토사를 사용한 토사캡핑과 무

캡핑의 2가지 형태로 구분하고 있지만, 아직까지 캡핑의 재료, 다짐, 밀도에 대한 별도의 규정은 미비한 상태이다. 노상부분에 대한 암성토에 대한 규정은 1층 다짐 성토두께 및 최대입경 등 품질관리에 대한 규정들이 아직 미비한 상태로 남아있다. 또한, 암의 최대직경이 60 cm로 규정되어 있고, 암질에 따라 30 cm까지 사용하도록 규정되어 있지만, 일반토사와는 달리 입도에 대한 기준이 미비한 실정이며, 입도 측정시 106 mm까지만 분류되어 있어 암성토시 사용되는 재료의 입경을 분류할 수 없다 (Lee, 1997).

암성토는 노체 완성면 하부 60 cm까지 제한적으로 사용하도록 규정하고 있지만, 시공중이거나 계획중인 고속도로 건설 공사에서는 토사와 암의 불균형적인 성토, 사토 현상이 발생하거나, 발생할 여지가 있어 현장 발생암의 노상 확대시공에 대해 검토할 필요성도 증대되고 있다 (Su, 1989). 암의 경우, 입경의 크기로 인해 평판재하시험만을 실시하고 있다. 그러나, 암성토의 특성상 다짐에 의한 밀도의 증가 등을 기대할 수 없는 상황에서 암재료의 역학적 특성이 전혀 반영되지 않는 평판재하시험만을 실시하는 것은 시험치의 편차만을 증가시킬 뿐이다 (Filz and Duncan, 1992).

암성토의 경우, 교통하중에 의한 진동, 침투수 등에 의하여 세립자가 암버력 사이의 간극으로 이동하여 침하발생 우려가 있어 암버력 성토시 매층마다 양질의 토사로 캡핑을 하도록 규정하고 있다 (Duncan, 1990). 하지만, 암성토 상부에 캡핑을 할 경우, 양질의 토사 부족으로 인한 성토재료 구득이 어려운 현상이 발생하고 있다.

* 연구원, 충북대학교 지역건설공학과

† Corresponding author Tel.: +82-261-2572

Fax: +82-271-5922

E-mail: soilab73@chungbuk.ac.kr

2013년 11월 27일 투고

2014년 1월 24일 심사완료

2014년 2월 6일 게재확정

따라서 본 연구에서는 암성토 시공 후 상부 무캡핑시 세립분의 간극채움을 확인하여, 침하와 지지력이 성토체의 역할로서 가능한가를 검토하였다. 다짐시 발생하는 동적 토압에 의한 성토재료의 다짐특성을 고찰하고, 다짐에 의한 토질의 역학적 변화를 관찰하기 위해서 다짐횟수별로 들밀도, 현장지지력 시험을 실시하여, 다짐두께 및 다짐횟수에 의한 영향을 분석하였다. 또한, 암성토 다짐의 품질관리방법중 현장지지력시험과 비교하여 새로운 다짐관리방법을 적용하기 위하여 중추낙하법을 이용한 다짐관리방법(LWDT)과 지반강성을 이용한 다짐관리방법(geogauge)의 적용성을 평가하였다.

II. 재료 및 방법

1. 현장시험

암성토의 경우, 소요 지지력을 얻기 위해서는 원지반 암의 역학적 특성과 더불어 사용장비의 종류 및 효율에 대한 영향을 고려해야 한다. 따라서, 본 현장시험 목적을 달성하기 위해서는 원지반조건을 고려하여 적절한 토공지역을 선정하여야 하며, 암성토가 고속도로 건설사업이 시행되는 곳에 대부분 시행되고 있으며

Table 1 Location and list of test on the field

	Thickness of embankment	List of measurement
Z-1 (C*)	60 cm	· Density and capacity
Z-1 (NC*)		
Z-2	60 cm	· Pressure of compaction · Density and capacity · Dynamic test
Z-3	30 cm	· Density and capacity
Z-4	30 cm	· Density and capacity
Z-5 (C*)	30 cm	· Pressure of compaction · Density and capacity · Dynamic test
Z-5 (NC*)		
Z-6		· Density and capacity
Z-7	60 cm	· Pressure of compaction · Density and capacity · Permeability of field · Dynamic test
Z-8 (C*)	30 cm	· Density and capacity · Permeability of field
Z-8 (NC*)		
Z-9	60 cm	· Density and capacity · Dynamic test
Z-10	60 cm	· Pressure of compaction · Density and capacity · Dynamic test

C*: Capping, NC*: No capping

로 대표성을 가지는 지역을 선정하여야 한다. 또한, 사용되는 장비 조합들과 현장공사진행 일정을 고려하여 현장시험지역을 선정하였다.

현장시험부지를 확보한 다음, 계측센서를 매설하고, 일정 두께로 성토한 후 다짐장비를 주행시킨다. 다짐중에 장비의 진동하중에 의해 토체에 가해지는 동적 수직토압을 실시간으로 측정하였다. 다짐도는 현장지지력시험(평판재하시험)을 이용하였으며, 추가적으로 LWDT와 Geogauge에 의한 방법도 이용하였다.

고속도로 건설 현장 10개 zone에서 현장시험을 실시하였다. 다짐에 의한 토질의 역학적 변화를 관찰하기 위해서 다짐횟수별로 들밀도, 현장지지력 시험을 실시하여, 다짐두께 및 다짐횟수에 의한 영향을 분석하였으며, Table 1은 현장시험을 실시한 지역과 적용한 시험 내용을 나타낸 것이다.

2. 실험기구

가. 지반강성을 이용한 다짐 관리방법 (Geogauge)

지오게이지는 지반표면에서 직접적으로 변형에 대한 저항정도인 지반강성을 구하는 장치를 말한다. 측정은 지반의 포아송비를 가정하고 기지의 접촉면적에 대하여 변형에 대한 저항 값인 지반의 탄성계수를 직접적으로 구할 수 있다. 함수량의 측정과 병행을 하면 건조밀도를 산정할 수 있다. 정밀설계와 건설의 향상을 위하여 건설평가에 있어 구조적 강성과 재료의 탄성계수를 사용하는 것이 FHWA 및 AASHTO를 중심으로 세계적으로 바람직한 것으로 받아들여지고 있다. 그 일환으로 AASHTO 2002 포장설계지침에 있어서는 설계시에 탄성계수의 사용을 강력하게 추천하고 있다. 현재 사용중인 방법으로는 측정에 오랜 시간이 걸리며 방법이

Fig. 1 Geogauge

Fig. 2 Internal consist of geogauge

복잡하다는 단점이 있으나, 지오게이지의 경우는 간단하고 쉬운 측정을 제공하기 위하여 만들어진 장비이다. 지오게이지는 25 cm의 원형으로 높이 28 cm, 중량 10 kg으로 Fig. 2와 Fig. 3에 나타내었다.

측정은 사질이나 자갈질에 사용 가능하며 링 형태의 접지부가 60 % 이상 접촉시에 실시하며 100에서 196 Hz 사이의 25개 주파수에서 힘과 변형을 측정하고 평균값을 표시하여 준다. 총 측정시간은 약 1분 15초 내외 소요되며 500개의 측정자료를 기록할 수 있다.

나. 중추낙하법을 이용한 다짐 관리방법 (LWDT)

중추를 이용하여 중추가 지반에 충돌할 때 발생한 중추의 진동 특성으로부터 지반의 다짐도를 평가하는 방법이다.

이 방법은 종래의 방법에 비해 신속하고 간편하고, 개발비용이 비교적 저렴하다는 장점이 있으나, 적용토질에 한계가 있으며, 추의 종류에 따라 적용 깊이에 차이가 있다는 단점이 있다. 사용시험기의 이름은 Light Drop-Weight Tester ZFG2000로 도로공사중 노반, 노상, 입상기층의 재하시험을 동적변형계수 (E_{vd} , MN/m^2)를 구함으로써 신속한 조사를 수행할 수 있는 장점이 있다. 재하시험으로 구한 변형계수를 이용하여 골재, 재활용재료, 뒷채움재료, 생석회 다짐재료로 이루어진 노상, 노반, 입상기층의 지지력 계수로 이용할 수 있다.

View of the device

- (1) grip
- (2) top fix and release mechanism
- (3) guide rod
- (4) round grip
- (5) 10 or 15 kg - falling weight
- (6) lock pin
- (7) set of steel springs
- (8) anti tipping fixture
- (9) load centre ball
- (10) carry grip
- (11) loading plate
- (12) socket for the connection to the electronic device
- (13) adapter plate

Fig. 3 LWDT

다. 계측 장비

1) 토압계

본 현장시험에 사용되는 모든 토압계는 다짐시에 발생하는 토압을 가능한 정확하게 측정할 수 있도록 반력판 및 부품을 특수 설계, 제작하여 상기 사항을 보완하였다. 토압계는 전기저항방식으로 수압판 (□형, 20 cm×20 cm, t=1.0 cm)에 가해지는 압력을 직접적으로 스트레인 게이지에 전달할 수 있는 구조이고, 주위 지반과 강성의 차이에서 오는 응력집중을 방지하기 위해 수압판의 주위를 5 cm 이상 갈라를 연장하였다. 또한, 토압계의 하부는 두께 1.0 cm의 반력판을 사용하여, 작용하는 응력에 대해 토압계를 지지하고, 응력을 하부에 전달할 수 있게 하였다.

계측기는 매설 설계심도보다 5 cm 깊게 굴착하였다. 지반을 편평하게 다지고, 모래 등을 포설하여 고른 다음, 계측기 수압판의 상단이 설계심도가 되도록 계측기를 조정하였다. 또한, 수준기 등을 사용하여 계측기를 수평으로 설치하였다. 계측기 설치후 레벨 측량을 실시하여 심도를 확인하고 초기치를 측정하였다. 계측기 설치후, 계측기 상부에 굵은 자갈 등을 제거하고 고운 모래, 흙 등을 사용하여 도포한 다음, 암성토재료의 포설을 실시하여 다짐작업 및 계측을 실시하였다.

2) Data logger

동적 계측시 사용하는 Data logger의 사양은 다음과 같다. 모델명은 EDX-1500으로 동적 계측이 가능하며, 측정할 수 있는 채널의 개수가 32CH으로, 1CH당 계측빈도가 최고 10,000 Hz 이상으로 본 현장시험계측의 목적에 필요한 채널수와 측정범위를 충분히 만족시킨다. 또한, 초기치 설정 및 다짐완료후의 토압측정 등의 정적 토압 계측시에는, 핸드스트레이너 등을 사용하여 측정하였으며, 동적 및 장기계측에 필요한 동적측정장치 (EMR-1000A)를 이용하였다.

3) 계측센서 수량

계측센서의 설치수량은 Table 2에 나타내었으며, 대형 진동다짐장비의 운행시 발생하는 충격하중에 의해 지반의 전달되는 응력을 심도별로 연속적으로 측정하기는 어렵기 때문에, 암성토시 전 원지반에 계측센서를 매설하여 측정하였으며, 1개소당 2개의 계측센서를 매설하였다.

라. 계측 방법

1) 동적토압

기본적으로 동적 수직토압을 측정하는 동적 계측을 실시하였다. 대형 진동다짐장비의 중심이 계측센서가 매설된 지점들의 축선과 일치시켜 주행시키면서, 발생하는 진동하중을 측정하였다. 진동롤러를 주행시 강진동으로 하고 규정된 속도 6 Km/hr 이하로 완속 주행시키면서 측정하였다.

2) 다짐도

다짐이 완료된 직후, 현장 들밀도시험 및 현장 지지력시험을 실

시하였다. 이와 병행하여 지반강성 측정장비를 이용하여 다짐이 시행된 후, 지반강성을 측정하였다. 장비를 이용하여 측정할 부분을 편평하게 고르고, 측정할 장소를 락카 등을 이용하여 표선작업을 시행하고, 기본적으로 다짐시행 1개소에 1회 실시하였다.

3) 계측기 설치 및 측정 개요도

암성토시 동적토압 측정을 위한 계측기 설치단면도는 Fig. 4(a)와 같으며 측면도는 Fig. 4(b)와 같다.

마. 현장밀도 시험방법

다짐 후 현장에서 최대 지름 입자가 50 mm 이하 흙의 단위중량을 모래 치환법으로 측정하였지만, 암성토의 최대입경을 고려하여 물 치환법을 시행하였으며 Fig. 5와 같다.

물 치환법은 치환공의 체적을 시트 내에 주입한 물의 체적으로

Fig. 4 Dynamic pressure measurement

Fig. 5 Water replacement method

Table 2 Number of instrument

	Depth (60 cm)	Depth (30 cm)
Dynamic vertical pressure meter	· Z-2 : 3EA · Z-5 : 6EA · Z-7 : 3EA · Z-10 : 3EA	· Z-7 : 3EA · Z-10 : 3EA

치환하여 계측하고, 굴착한 조립재료의 질량의 비로부터 현장밀도를 산정하는 방법이다. 치환공의 체적은 비닐, 고무풍선 등을 써서 치환공에 물을 채우고 들어간 수량에서 구한다. 특히 사력 재료에 대하여, 큰 직경의 공을 굴착하는 경우에 적용한다. 이 방법은 모래치환법에 비하여, 일반적으로 체적의 측정치는 변동폭이 크고, 결과는 작게 나타나게 된다.

III. 결과 및 고찰

1. 평판재하시험 결과

암성토의 경우 품질관리기준으로 평판재하시험만으로 실시하고 있다. 평판재하시험은 하부구조의 지지력 평가를 위하여 널리 사용되고 있는 시험기법으로 다른 현장시험 기법에 비하여 하중과 변위를 측정함으로써 역학적인 특성치 결정의 가능성이 높은 시험방법으로 인식되어 왔다.

평판재하시험결과 성토두께 30 cm인 경우 대부분 $K_{30} = 2 \text{ MPa}$ 이상의 지지력계수를 보여주었으며, z-4과 z-5 캡평균간에서는 기준값 이하를 나타내고 있다. 이는 암과 토사가 혼합된 지역으

Fig. 6 Result of plate loading test (Thickness = 30 cm)

Fig. 7 Result of plate loading test (Thickness = 60 cm)

로 토사로 인하여 암버력 인터록킹에 의한 지지력 감소를 유발시켜 기준보다 낮게 측정된 것으로 판단된다. 성토고 60 cm인 경우 z-9 지역에서는 급속 성토로 인한 다짐 불충분으로 지지력이 낮게 평가된 것으로 판단된다.

암성토 지반에서 행하여진 평판재하시험결과 지지력계수 값이 평균 3 MPa 이상으로 높은 값을 보이고 있어, 상부 포장 및 교통하중에 의한 강성을 충분히 갖고 있는 것으로 판단된다.

2. 현장밀도시험 결과

현장에서 전압된 재료의 다짐도를 측정하는 방법 중 암과 같은 조립재의 상대밀도를 측정하는 방법으로 물 치환법을 사용하고 있다. 현재 대부분의 경우, 댐공사에서 실시되고 있으며, 암성토의 확대 시공으로 인한 시험법의 보완과 개선이 필요하고, 다짐도를 효율적으로 판단하기 위하여 실시하였다.

현장시험을 통한 현장밀도 시험결과와 성토두께 30 cm와 60 cm의 상대밀도 측정값이 단위중량 $19.6 \text{ KN/m}^3 \sim 24.5 \text{ KN/m}^3$

Fig. 8 Density of field (Thickness = 30 cm)

Fig. 9 Density of field (Thickness = 60 cm)

사이에 분포하는 것으로 측정되었다. 일반적으로 연암 또는 풍화암의 단위중량을 $22.6 \text{ KN/m}^3 \sim 31.4 \text{ KN/m}^3$ 까지 정해져 있으므로 측정된 값은 큰 오차를 보이지 않고 있는 것으로 판단된다. 또한, 시험시 입자의 크기가 상대적으로 크기 때문에 체적 측정시 상대적인 오차를 가져올 수 있으므로, 주의 하여야 할 것으로 판단된다.

현장밀도 시험결과, 성토두께 60 cm에서는 평균 23.3 KN/m^3 , 성토두께 30 cm에서는 21.8 KN/m^3 의 밀도값을 보였다. 암의 단위중량을 25.5 KN/m^3 이라고 가정할 경우 성토두께 60 cm에서는 92 % 이상의 다짐도 보였고 성토두께 30 cm에서는 86 %의 다짐도를 나타내었다. 따라서, 성토두께 30 cm보다 60 cm에서 강성을 보일 것으로 판단된다.

3. 체가름시험 결과

체가름 시험의 경우 현장 다짐상태의 양호 여부와 암입자 간극 채움을 파악 및 입도분포 상태 등을 알아보기 위하여 실시하였다. 현재까지의 체가름 시험의 기준은 106 mm까지 시험하였지만, 암성토의 최대치수가 600 mm로 규정되어 있어 KS F 2302가 정하는 입도시험법을 적용할 수 없어 별도의 임의 규정으로 600 mm, 300 mm, 150 mm를 정하여 실시하였다.

시험결과 입도분포곡선을 정량적으로 나타낼 수 있는 균등계수 ($4 \text{ 또는 } 6 < C_u$)와 곡률계수 ($1 < C_g < 3$)의 경우 Table 3과 4에 나타난 것과 같이 양호한 분포를 이루고 있는 것으로 측정되었다.

4. LWDT와 Geogauge의 적용성 검증

현장에서 성토다짐의 품질관리 방법중 평판재하시험과 비교하여 새로운 다짐도 판정 방법을 적용하기 위하여 LWDT와 Geogauge의 두 가지 장비를 적용성을 검증하였다. 종래의 RI 시공관리방법이나 모래치환법은 측정범위가 30 cm 이하이므로 본 현장시험 목적과 같은 다짐층을 증가시키는 경우는 보다 깊은 층의 다짐도를 평가하는 것이 필요하다.

Table 3 C_u and C_g (Thickness = 30 cm)

	Z-2	Z-3	Z-4	Z-5	Z-6	Z-7	Z-8	Z-9	Z-10
C_u	14.4	17.8	275.7	59.9	162.6	38.5	9.7	13.9	7.9
C_g	1.3	2.0	9.4	3.4	5.0	2.1	2.3	2.2	1.4

Table 4 C_u and C_g (Thickness = 60 cm)

	Z-1	Z-2	Z-7	Z-9	Z-10
C_u	47.19	16.76	9.7	24.6	9.4
C_g	1.33	1.40	1.9	1.4	1.7

Fig. 10 Distribution of particle size (Thickness = 30 cm)

Fig. 11 Distribution of particle size (Thickness = 60 cm)

LWDT에 의한 탄성계수 측정 결과는 Fig. 12와 같이 현장시험 지별로 차이를 보이고 있었지만, 평균적으로 45 MN/m^2 의 값을 나타내고 있었다. Fig. 12에서 30 cm와 60 cm는 성토두께를 나타낸 것이다. 또한, 평판재하시험 결과를 동적변형계수와 상관관계를 분석한 결과 $E_{Dgm} = 8.8209 K_{30} + 22.3941$ 의 관계가 있을 것으로 나타났으며 결정계수가 0.770 정도로 평가되어 상관성이 있는 것으로 분석되었다. 따라서, 암성토 다짐구간에 대한 다짐관리시 중추낙하법을 이용한 방법을 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

지오게이지는 지반표면에서 직접적으로 변형에 대한 저항정도인 지반강성을 구하는 장치로 계측하였다. Fig 14는 지오게이지 측정결과 강성도와 탄성계수와의 관계를 나타낸 것으로 전체 시험결과에서 지반의 강성도와 Young Modulus의 상관관계가 높은 것으로 나타났다.

Fig. 15는 평판재하시험결과 지지력 계수 K_{30} 과 지오게이지에 의한 Young Modulus의 상관관계를 도시한 것으로 $E_{geo} = 11.229 K_{30} + 71.9570$ 의 관계를 보이는 것으로 평가되어 품질관리방법으로 어느 정도 적용성이 있을 것으로 판단된다.

Fig. 12 Dynamic recovery elasticity modulus according to test field

Fig. 15 Relationship between K_{30} and dynamic deformation modulus of geogauge

Fig. 13 Relationship between K_{30} and dynamic deformation modulus of LWDT

Fig. 16 Relationship of dynamic deformation modulus between Geogauge and LWDT

Fig. 14 Relationship between stiffness of geogauge and Young modulus

Fig. 16은 LWDT에 의한 동적변형계수 지오게이지에 의한 Young Modulus의 관계를 도식한 것으로 $E_{geo} = 0.9171E_{dyn} + 56.8028$ 의 관계를 타나내고 있으며, 결정계수는 0.601로 평가되었다.

5. 동적토압계측

대형 진동다짐장비를 사용하여 노체, 노상 등의 공종을 시행하는 경우, 토질의 종류, 다짐 장비의 제원에 따라, 다짐압이 미치는 범위와 심도는 달라질 것이므로 적절한 다짐두께를 산정하기 위해 진동하중에 의해 토체에 전달되는 응력과 다짐전후의 토압변화를 측정하였다.

기본적으로 다짐장비에 의해 발생하는 동적 수직토압을 측정하였다. 현장시험 다짐시, 대형 진동다짐장비의 중심이 계측센서가

매설된 지점들의 축선과 일치시켜 진동륜을 선행 주행시키면서, 발생하는 진동 다짐압을 측정한다. 진동롤러의 주행시 진동레벨은 강진동으로 하고 규정된 속도 6 km/hr 이하로 완속 주행시키면서 3회 및 5회 왕복 측정을 하였다.

본 논문은 3년 동안의 연구결과로 동적토압은 3차년도에 연구한 지역인 z-2, z-5, z-7에 대하여 수행하였다.

가. z-2 지역

동적토압은 30 cm 1단 및 2단 성토 후 다짐장비에 의해 3회 왕복 주행하여 계측하였다. Fig. 17~20은 1단 (30 cm) 성토 후 동적토압을 계측한 결과이며, Fig. 20~22은 2단 (60 cm) 성토 후 동적토압을 계측한 결과이다. 또한, Fig. 23과 24는 노상 시공 완료 후 Roller와 만재한 Dump (30 Ton)에 의한 동적토압을 계측하였다.

Fig. 17 Dynamic pressure after embankment 30 cm (Roller)

Fig. 18 Dynamic pressure after embankment 30 cm (Compactor)

Fig. 19 Dynamic pressure after embankment 30cm (Dump 30 Ton)

Fig. 20 Dynamic pressure after embankment 60 cm (Roller)

Fig. 21 Dynamic pressure after embankment 60 cm (Compactor)

Fig. 22 Dynamic pressure after embankment 60 cm (Dump 30 Ton)

Fig. 23 Dynamic pressure after subgrade complete 60 cm (Roller)

Fig. 24 Dynamic pressure after subgrade complete 60 cm (Dump 30 Ton)

Table 5 Comparison according to embankment and compaction equipment

Thickness of embankment		30 cm					
Compaction equipment		Roller		Compactor		Dump 30ton	
Site		4K + 360	4K + 370	4K + 360	4K + 370	4K + 360	4K + 370
Number of round trip	1	244.02	274.4	274.4	299.88	147	123.48
	2	294.98	298.9	246.96	299.88	176.4	141.12
	3	305.76	297.92	293.02	300.86	177.38	143.08
Thickness of embankment		60 cm					
Compaction equipment		Roller		Compactor		Dump 30ton	
Site		4K + 360	4K + 370	4K + 360	4K + 370	4K + 360	4K + 370
Number of round trip	1	91.14	159.74	71.54	74.48	48.02	72.52
	2	97.02	178.36	71.54	134.26	53.9	73.5
	3	119.56	190.12	77.42	112.7	55.86	74.48

Table 5에서 성토두께에 따른 다짐장비의 최대토압을 비교한 결과, 성토고가 30 cm에서 발생하는 토압이 60 cm성토 후 최대 63.8 %에서 최소 24.8 %의 응력이 감소되는 것으로 나타났다. 암성토 시공시 성토고 증가시 암 입자간의 인터록킹에 의해 하부로 전달되는 응력이 성토고 30 cm 증가시 평균적으로 약 50 %의 감소를 나타내는 것으로 사료된다. 또한, 성토두께와 무관하게 다짐장비에 의한 다짐압의 변화는 2회 왕복주행 이후 크게 증가하지 않는 것으로 측정되었다.

나. z-5 지역

동적토압 계측은 1단 (30 cm) 성토 후 다짐장비에 의해 5회 왕복 주행하여 계측하였다. 계측 후 단계별로 10 cm, 20 cm, 30 cm의 높이로 양질의 토사로 캡핑을 실시하여 동적토압 계측을 실시하였다. Fig. 25와 Fig. 26은 1단 (30 cm) 성토 후 무캡핑 상태와 캡핑 상태에서 동적토압을 계측한 결과이며, Fig. 27은 무캡핑과 캡핑시 다짐장비에 의한 최대 동적토압을 비교한 결과를 나타낸 것이다.

암성토 후 캡핑 유무에 따른 다짐장비의 최대토압을 비교한 결과 캡핑을 실시한 경우 다짐압이 무캡핑보다 적게 나타났다. 특히, 토사캡핑의 두께가 20 cm에서 가장 큰 다짐압이 감소되었으며, 30 cm와 10 cm의 순서로 다짐압이 감소되는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 캡핑과 무캡핑시 다짐장비에 의한 다짐압의 변화는 3회의 왕복 주행이후 큰 증감을 보이지 않고 일정한 다짐압의 값으로 수렴할 것으로 판단된다.

Fig. 25 Dynamic pressure after embankment 30 cm (Roller)

Fig. 26 Dynamic pressure after capping (Roller)

Fig. 27 Comparison to maximum dynamic pressure of No capping and capping

Fig. 28 Maximum dynamic pressure (Thickness 30 cm and Thickness 60 cm)

다. z-7 지역

동적토압은 1단 및 2단 성토 후 다짐장비에 의해 5회 왕복 주 행하여 계측하였다.

Fig. 28에서 성토두께에 따른 다짐장비의 최대토압을 비교한 결과, 성토고가 30 cm에서 발생하는 토압이 60 cm 성토 후 최대 37.5 %에서 최소 18.9 %의 응력이 감소되는 것으로 나타났다. 암 성토 시공시 성토고 증가시 암 입자간의 인터록킹에 의해 하부로 전달되는 응력이 성토고 30 cm 증가시 평균적으로 약 28.3 %의 감소를 나타냈다. 또한, 성토두께와 무관하게 다짐장비에 의한 다 짐압의 변화는 2회 왕복주행 이후 크게 증감하지 않는 것으로 나 타났다.

IV. 결 론

본 연구에서는 암성토두께, 토사캡핑 유무, 여러 품질관리시험 방법을 적용한 현장시험을 통하여 암성토 현장 다짐시 적정 방안 을 제시하고자 하였으며, 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 암성토 다짐도 평가를 위한 평판재하시험 결과 지지력계수 가 평균 2.9 MPa 이상 으로 높은 값을 보이고 있어 상부포장 및 교통하중에 의한 충분한 강성을 갖고 있는 것으로 판단된다.
2. 현장밀도 시험결과 편차를 크게 나타내는 1개 지역을 제외 하면 성토고 30 cm에서 평균 21.87 KN/m³, 성토고 60 cm에서 는 평균 23.34 KN/m³으로 상부 하중에 대한 충분한 강성을 갖는 것으로 나타났다.
3. 성토다짐의 품질관리 방법을 개선하기 위한 다짐관리방법의 적용성 검증결과와 현재 적용하고 있는 평판재하시험과의 상관관 계가 있는 것으로 나타나 암성토 품질관리 방법으로 적용성이 있 는 것으로 판단된다.

4. 동적다짐의 측정결과 성토두께 30 cm에서는 60 cm보다 약 40 % 이상 크게 동적다짐압에 발생하는 것으로 나타나 암성토 두께가 증가할수록 암벽력의 인티록킹에 의해 상부응력이 암성토 하부로 골고루 분산되는 것으로 사료된다.

5. 현장시험 결과 암성토시 간극사이로 세립토가 충분히 채워지기 때문에 침하발생 등의 우려를 방지하기 위해 매층마다 실시하는 토사캐핑은 필요에 따라 완성면을 기준으로 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다. 또한, 성토두께 60 cm와 30 cm에서 세립분의 유실이 적고, 세립분이 다량 함유되어 있어 노체 완성면까지 시공이 가능할 것으로 판단된다.

REFERENCES

1. AASHTO, 1986. AASHTO Guide for Design of Pavement Structure, AASHTO, Washington, D.C. 1986.
2. AASHTO, 1992. Resilient Modulus of Unbounded Granular Base/Subbase Materials and Subgrade Soils-SHRP Protocol P-46 AASHTO, T-294-92I, AASHTO, Washington D.C..
3. Duncan, J. M., G. W. Clough, and R. M. Ebeling, 1990. Behavior and design of gravity earth retaining structures, *Proceedings of the Conference on Design and Performance of Earth Retaining Structures*, ASCE Geotechnical Special Publication No. 25, New York, 251-277.
4. Filz, G. M., and J. M. Duncan, 1992. An experimental and analytical study of earth loads on rigid retaining walls, *Geotechnical Engineering Division*, Department of Civil Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia.
5. Lee, K. H., 1997. Development of alternative MR *Testing Methods for Subgrade and Sub-base Materials*, Korea expressway corporation(in Korean).
6. Ministry of Construction and Transportation, 2002. Korea pavement research program, KPRP-G-02 (in Korean),
7. Ministry of Construction and Transportation, 2000. Road design manual. FHWA.
8. Su, W., 1989. Static strength evaluation of cohesionless soil with oversize particles, *Ph.D Dissertation, Washington State University*.