

복개 터널구조물의 현장 시공에 따른 계측 분석 사례

Field Measurements with the Construction of Cut and Cover Tunnel

박시현¹⁾, Si-Hyun Park, 이석원¹⁾, Seok-Won Lee, 이규필²⁾, Gyu-Phil Lee, 배규진³⁾, Gyu-Jin Bae, 전오성⁴⁾, Oh-Sung Jeon, 이종성⁵⁾, Jong-Sung Lee

¹⁾ 한국건설기술연구원 토목연구부 선임연구원, Senior Researcher, Civil Engineering Div., KICT

²⁾ 한국건설기술연구원 토목연구부 연구원, Researcher, Civil Engineering Div., KICT

³⁾ 한국건설기술연구원 토목연구부 연구위원, Senior Research Fellow, Civil Engineering Div., KICT

⁴⁾ 대림산업주식회사 기술연구소 소장, Vice President, Technology Research Institute, Daelim Indu. Co.

⁵⁾ 대림산업주식회사 기술연구소 부장, Manager, Technology Research Institute, Daelim Industrial Co.

SYNOPSIS : Field measurements were carried out in this study to investigate the behavior of cut and cover tunnel such as the distribution and the magnitude of the earth pressure during back fill process of the ground material. Three kinds of measuring instruments, such as the earth pressure load cell, the concrete strain gauge and the reinforcing bar meter of embedded type in concrete structure were installed and measured. Earth pressure load cells, installed after construction of the tunnel lining, measure the outside forces acting on the tunnel lining with radial directions. Three load cells were installed at the crown, the right and the left shoulder of the tunnel, respectively. Three sets of reinforcing bar meter were installed in the double reinforcements of the tunnel lining and their locations were the same with the position of the earth pressure load cells. Concrete strain gauge was installed only one site of the upper compressive part at the tunnel crown. Based on the measuring results in the field, the deformation and the earth pressure acting on the tunnel lining were investigated with the back fill process of the ground material. Considerations on the validity of the measuring results were paid. For the analysis of measurements, after dividing back fill process into three steps, various factors which affect on the behavior of tunnel lining were investigated at each step.

Key words : Cut and Cover tunnel, Field measurement, Earth pressure, Tunnel lining

1. 서론

본 연구에서는 복개 터널구조물의 라이닝 타설후 되메움 성토와 더불어 현장 계측을 실시하였다(佐藤 and 岩崎, 1981 ; Demetrious 등, 2000 ; Karl and Cathy, 1999). 현장 계측을 실시함에 앞서 현장 단면에 대한 개략적인 수치해석을 수행하였으며 수치해석 결과를 참조하여 계측기의 선정 및 설치 위치를 정하였다(유건선, 1997 ; 한국지반공학회, 1999). 현장 계측은 세 종류의 계측기를 사용하였으며, 각각 토압계 세 곳, 철근 응력계 여섯 곳 그리고 콘크리트 응력계 한 곳을 선정하였다. 토압계는 라이닝의 원주 방향을 따라 매설하며 터널 라이닝의 콘크리트가 타설된 후 터널 상부 단면에 반경 방향으로의 토압을 측정하였다. 설치 위치는 천단부와 터널 횡단면의 중심축을 기준으로 좌·우측 어깨부 45도 지점에 설치하였다. 철근 응력계는 라이닝에 배근된 복철근에 한 셋트씩 세 곳에 설치하였으며 설치 위치는 토압

계의 설치 위치와 동일하게 하였다. 한편, 콘크리트 응력계는 천단부 상단 압축측 단면의 한 곳에만 설치하였다.

현장 계측 결과를 이용하여 되메움 성토 과정에 발생하는 라이닝의 변형과 라이닝 외부 작용 토압의 거동 특성을 살펴보았다(홍성완, 1986). 또한 계측 결과의 타당성에 대한 검증을 실시하였으며 이를 위해 되메움 성토 과정을 세 단계로 구분하여 각 단계에 있어서 터널 라이닝에 미치는 각종 요인들을 분석하였다.

2. 시공 현장 및 계측기 설치

2.1 시공 현장

현재 국내에서 시공중에 있는 복개 터널구조물의 시공상황을 조사하였다. 그 결과 터널 입출구부, 계곡 및 저 토피구에서 뿐만이 아니라, 사면의 붕괴 위험성 및 취약 지반대로 인해 설계 변경에 의해 복개 터널을 시공하는 사례도 함께 발견되었다. 본 연구에서는 경부 고속철도 건설구간의 복개 터널시공현장을 선정하였으며 선정된 구간의 터널 총 연장은 2,020m에 달한다. 그 중에서 1,530m는 NATM 공법에 의하여 터널을 구축하고 나머지 490m 구간은 개착식 공법에 의한 복개 터널구조물을 구축하게 된다. 복개 터널구조물을 구축하는 490m의 구간내 일부분에서는 천단부 토피고가 터널폭(약 12m) 이상의 구간이 존재하였기 때문에 이 구간에서는 설계 당시 NATM 공법에 의해 터널을 구축하기로 예정하였다. 그러나 시공 단계에서 조사된 지반 지질상황이 풍화정도가 심한 풍화토층으로 이루어져 있음으로 인해 실 시공에 있어서는 설계 변경을 실시하여 490m 전구간에 걸쳐 복개 터널공법을 적용하였다. 본 연구에서 현장 계측을 실시한 단면은 바로 이러한 설계 변경이 이루어진 구간내에 존재하며, 특히 그 중에서도 굴착 규모 및 임시 굴착 사면의 규모가 가장 크고 되메움에 의한 지표면의 형상이 좌·우 비대칭을 이루는 곳을 선정하였다. 그림 1은 계측기 매설 위치에서의 터널 횡단면도를 나타낸 것이다.

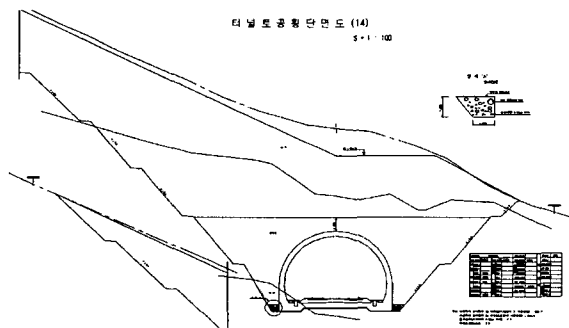


그림 1. 계측기 매설 지점의 횡단면도

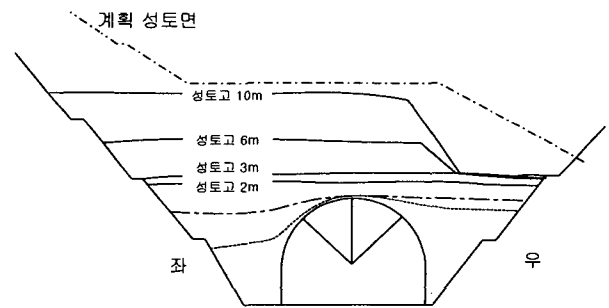


그림 2. 현장의 되메움 상황도

2.2 되메움 작업 공정

라이닝 콘크리트는 터널 종방향으로 10m를 한 Span으로 구분하여 콘크리트를 타설하게 된다. 라이닝 콘크리트의 타설은 복개터널의 출구부에서 NATM 종점부를 향하여 진행하였다. 터널 라이닝의 콘크리트 타설이 점차적으로 진행되면서 되메움 성토 작업도 역시 동일한 진행 방향으로 실시되었다. 되메움 성토 작업은 복개터널의 출구부에서부터 실시하며 천단부에서의 성토고 2 ~ 3m까지와 5 ~ 6m까지로 구분하여 실시하였다. 먼저 천단부 성토고 2 ~ 3m까지는 현재 되메움 작업을 실시할 span의 전 단계 span 상부에 성토된 되메움재를 천단부 성토고 5 ~ 6m만 남기고 그 이상 부분에 대해서 불도져와 백호우를 이용하여 앞부분으로 밀어가면서 되메움을 실시하였다. 그 후 천단부 성토고 2 ~ 3m 이상에 대해서는 덤프 트럭에 의해 운반된 성토재를 직접적으로 재하하였다. 라이닝 콘크리트의 양생 후 계측기가 매설된 지점에 되메움 성토 작업이 개시된 시점은 2001년 12월 7일경이며 이하에서 서술하게 될 계

측 결과는 2001년 12월 5일을 기준으로 정리하였다.

그림 2는 현장의 되메움 작업을 지켜보면서 계측기 매설지점의 되메움 상황을 순차적으로 나타낸 것이다. 그림에 표시되어 있는 되메움 상황은 라이닝 천단부에 이르기 전과 천단부까지 되메움 되었을 때, 그리고 천단부에서의 성토고가 각각 2m, 3m, 6m, 10m일 때를 나타내고 있다. 계측기를 매설한 단면에서의 되메움 성토고는 천단부에서 13m로 예정되어 있으며, 되메움 공정은 2002년 중반(약 4월경)에 완료될 예정이다. 본 연구에서는 천단부 성토고 10m 때까지의 계측 결과만을 분석한 것이다. 터널 라이닝의 우측부에서는 천단부 성토고 약 3m지점에서 단을 두고 되메움을 실시하였는데 이는 현장의 작업여건을 반영한 것으로서 성토재의 운반 통로로 사용되었다. 라이닝 우측편을 통하여 운반되어온 되메움 성토재는 일단 라이닝 천단부 부근에 적재하게 되고 불도저는 이를 다시 전 되메움 구간에 걸쳐 펼쳐가면서 되메움 작업을 수행하였다. 한편, 백호우는 주로 터널 라이닝의 우측편에서 되메움 성토재를 정리하면서 운반 통로를 계속적으로 정비하는 역할을 수행하였다.

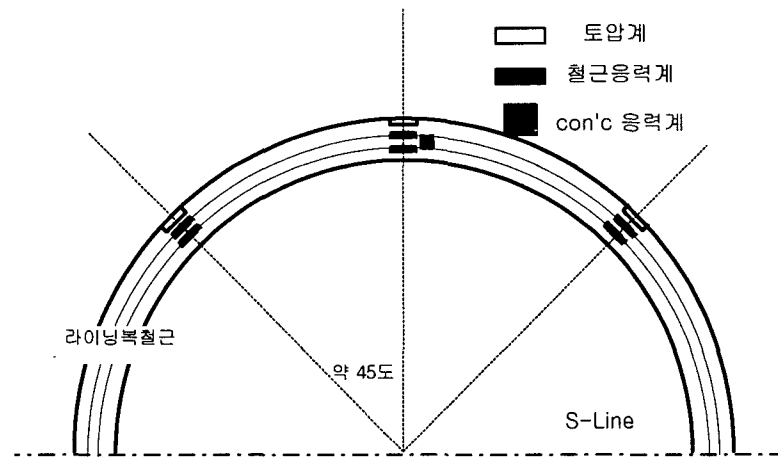


그림 3. 계측기 매설 위치

2.3 계측기 설치

현장 계측은 세가지 종류의 계측기를 사용하였으며 각각 토압계 세 곳, 철근 응력계 여섯 곳 그리고 콘크리트 응력계 한 곳을 선정하였다. 토압계는 라이닝의 원주방향을 따라 매설하며 터널 라이닝의 콘크리트가 타설된 후 터널 상부 단면에 반경 방향으로의 토압을 측정하게 된다. 설치 위치는 천단부와 터널 횡단면의 중심축을 기준으로 좌·우측 45도 지점에 설치하기로 한다. 철근 응력계는 라이닝에 배근된 복철근에 한 셋트씩 세 곳에 설치하며 설치 위치는 토압계의 설치 위치와 동일하게 하였다. 한편, 콘크리트 응력계는 천단부의 한 곳에만 설치하였다. 그림 3은 본 연구에서 사용한 각종 계측기의 매설 위치를 나타낸 것이다. 콘크리트 응력계 및 철근 응력계는 라이닝 콘크리트가 타설되기 전인 라이닝의 복철근이 조립된 상태에서 설치하였으며, 라이닝 토압계는 라이닝 콘크리트가 타설되고 라이닝의 강제거푸집을 해체한 후에 설치하였다. 철근 응력계와 콘크리트 응력계의 설치 시기는 2001년 10월 21일이며 토압계는 2001년 11월 12일에 설치하였다.

3. 계측 결과

3.1 라이닝 토압계

그림 4는 되메움을 실시하면서 경과 시간별 라이닝 토압계의 변화를 나타낸 것이다. 그림에는 라이닝 천단부에서 되메움 성토고 2m, 3m, 6m, 10m의 시점을 각각 표시하였다. 라이닝 토압계의 계측값은 세 곳에 설치한 토압계의 증가량이 서로 다를 수 있다. 천단부의 되메움 성토고가 약 3m 지점에 이르기까지는 서로 다른 세 곳의 계측값이 거의 유사하게 증가하고 있으며 그 이후부터 증가량에 큰 차이를 보이고 있다. 라이닝 작용 토압은 라이닝 우측부에 설치한 토압계가 가장 크고 그 다음으로 천단부 토압계, 좌측부 토압계로 나타났다.

라이닝 천단부 토압계는 천단부 토피고 약 3m 이후부터 일정하게 증가하다가 성토고 약 6m 이후에서 감소하여 일정한 값으로 수렴하는 현상을 보이고 있다. 그 후 다시 점차적으로 증가하다가 천단부 성토고 약 10m 부근에서 다시 일정한 값으로 수렴되었으며 이때의 작용 토압은 1.94 kg/cm^2 로 나타났다.

터널 라이닝 우측부 토압계는 천단부 토피고 약 3m 이후부터 급격하게 증가하다가 성토고 약 6m 이후에서 일시적으로 감소하는 현상을 보이고 있다. 그 후 다시 일정한 속도로 증가하기 시작하여 천단부 성토고 약 10m 부근에서 일정한 값으로 수렴하였다. 이때 라이닝 우측부 토압계의 작용 토압은 3.67 kg/cm^2 로 나타났다.

한편, 터널 라이닝 좌측부 토압계는 천단부 토피고가 3m에서 약 6m에 이르기까지 거의 증가하지 않고 일정한 값을 보이고 있다. 그리고 천단부 성토고 6m 지점에서 일시적으로 감소하는 현상을 보이고 있는데 이러한 현상은 라이닝 천단부 및 우측부 토압계의 거동과 동일한 경향임을 알 수 있다. 좌측부 토압계는 천단부 토피고 6m 이후에서 그 거동이 천단부 및 우측부 토압계의 거동과 유사하기는 하나 계측값의 변화 폭은 훨씬 적은 것을 알 수 있으며 또한 천단부 토피고 10m 이후에서는 점차적으로 증가하는 경향을 보였다. 천단부 성토고 약 10m 부근에서 계측된 좌측부 작용 토압은 1.30 kg/cm^2 로 나타났다.

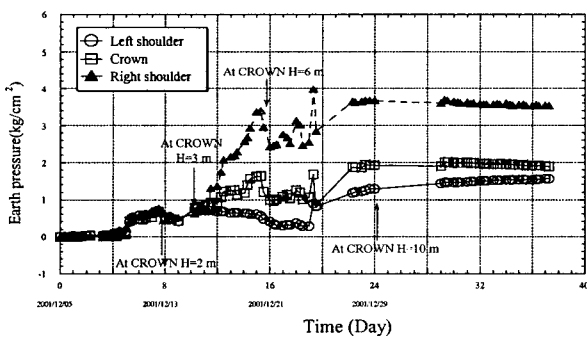


그림 4. 라이닝 토압계의 경시 변화

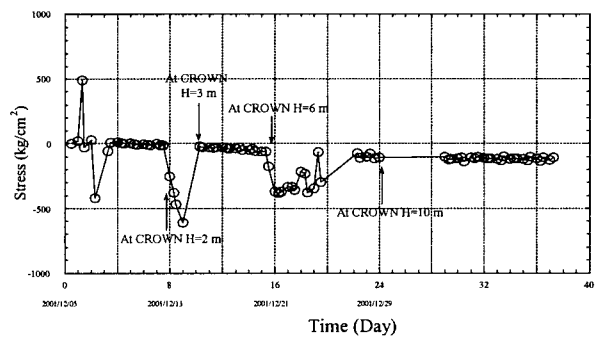


그림 5. 콘크리트 응력계의 경시 변화

3.2 콘크리트 응력계

그림 5는 되메움을 실시하면서 경과 시간별 콘크리트 응력계의 계측값을 나타낸 것이다. 종축에서 부(-)의 값은 콘크리트 응력계가 압축력을 받는 상태임을 의미하며, 콘크리트 응력계의 계측값은 되메움 성토고가 높아지면서 압축력을 받는 것으로 나타났다. 한편, 천단부 되메움 성토고 2m에서 3m 사이, 그리고 6m 이후 지점에서 계측값의 큰 변화가 발생하였다. 천단부 성토고 약 10m 부근에서 계측한 콘크리트 응력은 압축력 103 kg/cm^2 로 나타났다.

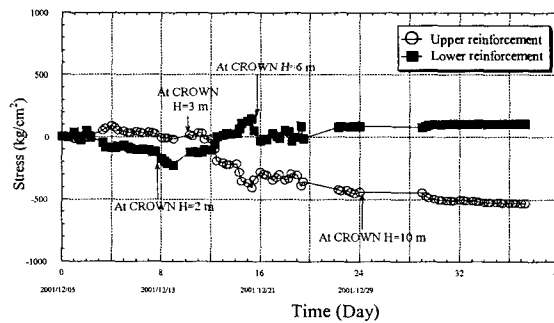
3.3 철근 응력계

그림 6은 되메움을 실시하면서 라이닝 좌측 어깨부, 천단부 및 우측 어깨부에 설치한 철근 응력계의 경과 시간별 계측값을 나타낸 것이며 종축에서 부(-)의 값은 철근 응력계가 인장력을 받는 상태임을 의미한다.

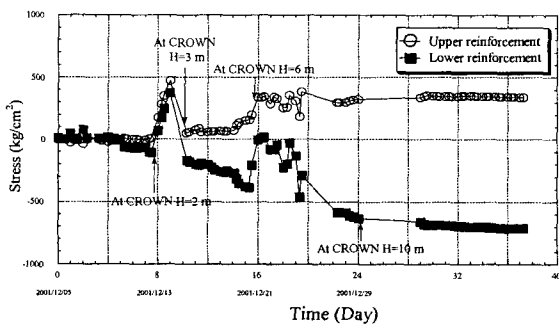
먼저, 라이닝 좌측부에 설치한 철근 응력계를 살펴보면, 되메움이 실시되는 2001년 12월 7일경에는 라이닝 상부 및 하부 철근계의 작용 응력이 거의 0 kg/cm^2 에 가까운 것을 알 수 있다. 그 후 되메움 공정이 점차적으로 실시되면서 라이닝의 하부에 배근된 철근 응력계는 부(-)의 값으로 인장 응력이 발생하고 있는 것을 알 수 있다. 그리고 라이닝의 상부에 배근된 철근 응력계는 점차적으로 정(+)의 값으로 변화되어 압축 응력이 발생하는 것을 보여주고 있다. 한편, 천단부 성토고 약 10m 부근에서 상부 철근 응력계는 -439 kg/cm^2 , 하부 철근 응력계는 87 kg/cm^2 로 각각 나타났다.

라이닝 천단부에 설치한 철근 응력계를 살펴보면, 되메움을 실시하면서 전반적으로 상부 철근 응력계는 압축력(정의 값)을 그리고 하부 철근 응력계는 인장력(부의 값)을 받고 있는 것을 알 수 있다. 한편, 천단부 성토고 약 10m 부근에서 상부 철근 응력계는 324 kg/cm^2 , 하부 철근 응력계는 -633 kg/cm^2 로 각각 나타났다.

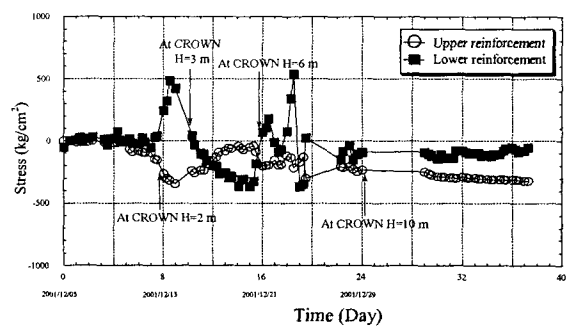
라이닝 우측부에 설치한 철근 응력계를 살펴보면, 라이닝 하부 철근 응력계 계측값이 전반적으로 큰 폭의 변화가 발생하고 있음을 알 수 있다. 라이닝 상부에 배근된 철근 응력계는 되메움 공정 중 인장 응력이 지속적으로 발생하고 있는데 반하여, 하부에 배근된 철근 응력계는 천단부 성토고가 6m 이후에 이르기까지 압축 응력과 인장 응력을 번갈아 가면서 변화하고 있는 것을 알 수 있다. 천단부 성토고 약 10m 부근에서 상부 철근 응력계는 -236 kg/cm^2 , 하부 철근 응력계는 -91 kg/cm^2 로 각각 나타났다. 한편, 되메움 성토가 높아지면서 하부 철근 응력계의 계측값은 0 kg/cm^2 에 점차적으로 수렴하고 있는 것을 알 수 있다.



(a) 라이닝 좌측부



(b) 라이닝 천단부



(c) 라이닝 우측부

그림 6. 철근 응력계의 경시 변화

4. 복개 터널라이닝의 변형

현장 계측 결과에 대한 분석을 실시하기 위하여 계측 데이터를 세 부분으로 나누어서 평가하도록 하였다. 즉, 현장의 되메움 작업의 지침과 공정을 고려하여 천단부 되메움 성토고가 약 3m지점까지를 초기 성토단계, 천단부 성토고 3 ~ 6m 지점까지를 중간 성토단계, 그리고 천단부 성토고 6m 이후를 마무리 성토단계로 구분하였다.

4.1 초기 성토단계

초기 성토 단계는 천단부 성토고가 3m 지점에 이르기 전인 2001년 12월 15일까지를 의미하며 계측 기준일로부터 약 10일에 이른 시점에서 발생한 철근 응력계의 계측값을 기준으로 라이닝의 변형을 유추해 보면 그림 7과 같이 생각할 수 있다. 즉, 그림에서와 같이 라이닝의 천단부에서는 터널 내부로의 변형이 발생하여 상부 철근에서는 압축력이, 하부 철근에서는 인장력이 작용하는 것을 알 수 있다. 한편 라이닝 좌측부에서는 하부 철근이 인장응력을 그리고 우측부에서는 상부 철근이 인장응력을 받고 있는 것으로 계측되었으나 압축응력은 뚜렷하게 계측되지 않은 것으로 보아 어깨부에서의 라이닝의 변형은 크지 않은 것으로 짐작할 수 있다. 이는 되메움 성토가 아직은 초기 단계이기 때문에 천단부의 낮은 성토고로 인한 연직하중이 측벽부의 되메움 지반에 의한 구속력과 상대적인 차이가 크지 않은 것에 기인하는 것으로 판단된다.

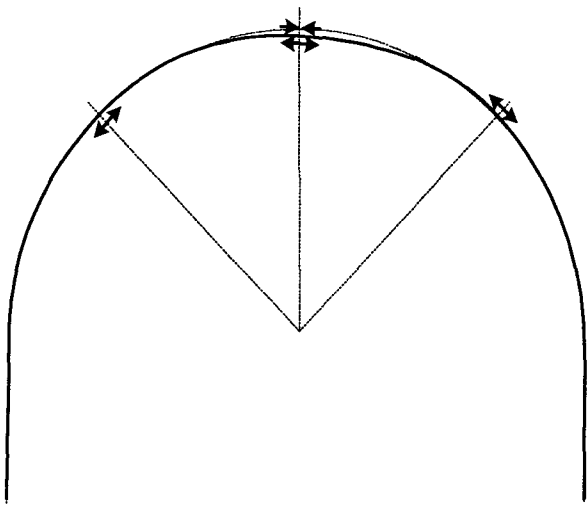


그림 7. 초기 성토단계에서의 라이닝 변형

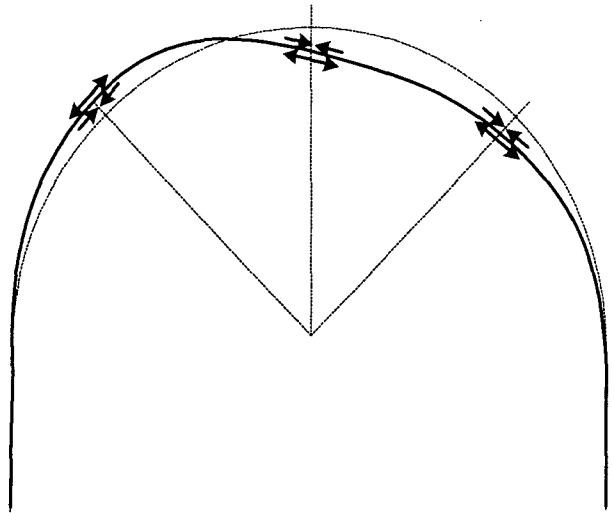


그림 8. 중간 성토단계에서의 라이닝 변형

4.2 중간 성토단계

중간 성토 단계는 천단부 성토고가 3m 지점에서부터 약 6m지점에 이르기까지를 의미하며 계측 기준일로부터 10일에서 15일까지의 시점이다. 천단부의 성토고가 3m지점을 넘어서는 중간 성토단계부터는 현장의 되메움 성토재의 다짐도가 달라진다. 그 이유로는, 초기 성토단계에서의 불도저에 의해 기존의 성토된 부분을 앞으로 밀어가면서 되메움을 실시하였으나, 중간 성토단계에서는 덤프에 의한 직접적인 적재 및 운반 통로로 활용하였기 때문이다. 철근 응력계의 계측 결과를 토대로 라이닝의 변형을 유추한 것이 그림 8에 나타나 있다.

그림에서 알수 있듯이 라이닝의 우측부에서는 터널 내부로의 변형이 발생하고 있으며, 라이닝 좌측부에서는 터널 외부로의 변형이 발생하고 있음을 알수 있다. 라이닝의 좌·우측부에서의 이러한 상반된

변형 양상은 라이닝 좌·우측부에서의 되메움 지반의 다짐 정도 및 성토 운반을 위한 덤프 트럭의 운반 통로에 의한 영향으로 생각되어 진다.

4.3 마무리 성토단계

마무리 성토 단계는 천단부 성토고가 6m 이후를 의미하며 계측 기준일로부터 15일인 2001년 12월 20일 이후 시점이다. 이 구간에서의 되메움 상황은 앞에서 언급하였듯이 성토고 6m를 초과하는 성토량에 대해서는 되메움 진행의 앞부분(NATM 종점부)으로 이동시키기 위하여 불도저를 사용하면서 지표면 고르기 작업을 실시하였다. 따라서 2001년 12월 20일 이후 마무리 성토단계의 초기 부분에서는 천단부 성토고가 지속적으로 높아진 것이 아니라 성토고가 반복적으로 높아지기도 하고 낮아지기도 하였던 구간임을 추측할 수 있다. 이러한 계측 결과를 토대로 라이닝의 변형을 유추한 것이 그림 9에 나타나 있다.

그림에서 알수 있듯이 라이닝의 천단부에서는 터널 내부로의 변형이 발생하고 있으며, 라이닝 좌·우측부에서는 터널 외부로의 변형이 발생하고 있는 것으로 유추할 수 있다. 라이닝 어깨부에서 좌측부의 변형이 우측부의 변형보다 더 크게 표시한 것은 계측 데이터를 참고로 하여 상부 및 하부 철근 응력계의 계측값의 차이를 표현한 것이다. 즉, 라이닝 우측부의 상부 철근 및 하부 철근의 응력값의 차이가 좌측부의 계측값에 비해 더 작으며 이는 곧 라이닝 우측 어깨부 주변의 되메움 지반의 구속에 의한 효과가 좌측 어깨부보다 더 큰 것을 반영한 것이다.

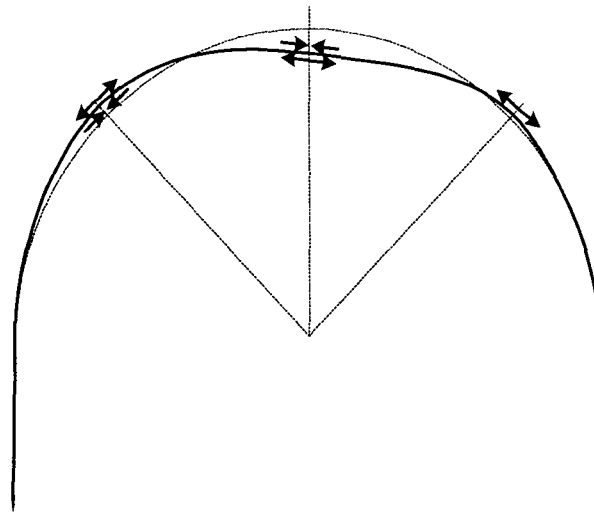


그림 9. 마무리 성토단계에서의 라이닝 변형

5. 결론

본 연구에서는 복개 터널구조물의 시공 현장에 대하여 일정 단면을 선정하여 현장 계측을 실시하였다. 되메움 성토고가 높아짐에 따라 터널 라이닝에 발생하는 철근 응력계 및 콘크리트 응력계의 변화 양상을 계측하였으며 또한 라이닝 외벽에 작용하는 토압을 측정하였다. 현장 계측을 통한 복개 터널 구조물의 역학적 거동 분석 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 매설된 계측기는 되메움 성토고가 높아짐에 따라 그 변형이 점차 증가하고 있으며 되메움 상황과 비교하였을 때 전반적으로 계측 값은 양호한 결과인 것으로 추정되었다. 터널 횡방향의 동일한 단면

에 매설된 세 종류의 계측기는 되메움 작업시 현장의 작업 여건에 크게 영향을 받는 것으로 나타났다. 이는 각각의 계측기로부터 얻어진 계측값을 살펴본 결과, 계측 시점이 동일한 지점에서 각각의 계측값의 변화가 상호 연관되어 나타난 것으로 쉽게 알 수 있었다.

- (2) 되메움 성토 과정에 발생하는 라이닝의 변형 특성에 대해서는 천단부 되메움 성토고를 기준으로 다음과 같은 세단계로 구분하여 평가하였다. 즉, 천단부 성토고가 3m에 이르기 전까지를 초기 성토단계, 천단부 성토고 3 ~ 6m 까지를 중간 성토단계, 그리고 천단부 성토고 6 ~ 10m 까지를 마무리 성토단계로 구분하였다.
- (3) 초기 성토 단계에서의 라이닝의 변형을 추정하기 위하여 철근 응력계의 계측 결과를 살펴보았으며, 그 결과 라이닝 천단부는 터널 내부로의 변형이 발생하고 있으며 라이닝 좌·우측 어깨부에서의 변화는 뚜렷하지 않는 것으로 나타났다. 한편 초기 성토단계에서 계측된 라이닝 작용 토압의 계측 결과로부터도 유사한 라이닝 거동을 유추할 수 있었다.
- (4) 중간 성토 단계에서의 라이닝의 변형을 추정하기 위하여 철근 응력계의 계측 결과를 살펴보았으며, 그 결과 라이닝 천단부는 터널 내부로의 변형이 발생하고 있으며 라이닝 좌측 어깨부에서는 터널 외부로의 변형, 그리고 라이닝 우측 어깨부에서는 터널 내부로의 변형이 각각 발생하고 있는 것으로 나타났다. 한편 중간 성토단계에서 계측된 라이닝 작용 토압의 계측 결과로부터도 유사한 라이닝 거동을 유추할 수 있었다.
- (5) 마무리 성토 단계에서의 라이닝의 변형을 추정하기 위하여 철근 응력계의 계측 결과를 살펴보았으며, 그 결과 라이닝 천단부는 터널 내부로의 변형이 발생하고 있으며 라이닝 좌·우측 어깨부에서는 터널 외부로의 변형이 발생하고 있다. 라이닝 좌·우측 어깨부의 변형을 서로 비교한 결과 좌측부의 변형이 우측보다 다소 큰 것으로 나타났다. 이러한 계측과도 역시 라이닝 작용 토압의 계측 결과로부터 유사한 결론을 유추할 수 있었다.

감사의 글

본 연구의 수행에 적극적인 협조를 하여준 대림산업주식회사, LG건설 및 이제이텍에 깊은 감사드립니다.

참고문헌

1. 유건선 (1997), “실험 및 수치해석에 의한 복개 터널 주위의 지압 및 터널 복공의 역학적 거동에 관한 연구”, 서울대학교 박사학위논문.
2. 한국지반공학회 (1999), “복개식 개착터널 구조 안정 연구 보고서”.
3. 홍성완 (1986), “사질토내의 국부 침하에 따른 지반 변위의 무라야마 산정식에 대한 연구”, 대한토질 공학회지, V. 2-2, pp. 47-58.
4. 佐藤 肇平, 岩崎 洋一郎 (1981), “高盛土下の剛性カルバートに作用する鉛直土壓の輕減工法について, 土と基礎”, V. 12, pp. 3-7.
5. Demetrious C. K., Peter F., Ching L. W., Daniel M., and Richard K. (2000), “Deformations during Cut-and-Cover Construction of MUNI Metro Turnback Project”, ASCE, J. Geotech. and Geoenv. Eng., V. 126-4, pp. 344-359.
6. Karl H. L., Carl H., and Cathy B. A., (1999), “An arch-shaped culvert built by the inflatable form”, Proc. of 13rd national conference, ASCE, pp. 243-254.