

격자지보와 슛크리트 계측에 대한 현장실험 연구

김학준^{1*} · 진수환¹ · 박시현²

¹대전대학교 지반설계정보공학과, ²한국시설안전기술공단 지하시설실

Field Measurements for the Lattice Girder and the Shotcrete Lining

Kim, Hak Joon^{*1}, Jin, Soo Hwan¹, and Park, Si-Hyun²

¹Dept. of Geotechnical Design Engineering, Daejeon University

²Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation

최근 국내 터널현장에서는 기존 H형 강지보의 단점을 보완한 격자지보의 사용이 증가하고 있다. 격자지보는 슛크리트와 일체구조를 형성하며 지반을 지지한다. 따라서 지반하중을 산정하기 위해서는 격자지보 계측이 필요하다. 그러나 국내 터널 현장에서 격자지보 계측은 거의 수행되지 않고 있으며 적절한 계측 방법에 대한 이론도 확립 되지 못한 상태이다. 슛크리트 계측에서는 무응력 상태에서 지반하중과 관계없이 슛크리트에서 발생하는 변형률에 대한 고려가 필요하지만 이에 대한 보정은 거의 이루어지지 않고 있다. 본 연구에서는 터널 현장에서의 격자지보와 무응력 슛크리트 계측 결과를 분석하여 주지보 계측의 신뢰성을 향상시킬 수 있는 방안을 제시하였다.

주요어 : 격자지보 계측, 슛크리트 계측, 무응력 슛크리트

The use of lattice girder is increased at the tunnel site in Korea because of the several advantages over the traditional H-steel rib. The lattice girder supports the ground with shotcretes, forming a combined support system. Therefore, stress measurements at the lattice girder are necessary to calculate the ground loads. However, field measurements at the lattice girder are rarely performed at the tunnel site. The proper way of stress measurements for the lattice girder is not fully established in Korea. The correction of stress measurements at the shotcretes is often disregarded even though the measured stresses include non-stress related strains. Results of the stress measurements obtained from the lattice girder and non-stress shotcretes are used to improve the credibility of the stress measurements at the primary lining.

Key words : field measurements, lattice girder, non-stress shotcretes

서 론

터널공사에 사용되는 지보재에 대한 설치시기의 적정성, 안정성, 경제성 등을 평가하기 위해서는 지보재 계측이 필수적이다. 최근에는 슛크리트 타설시 배면공극의 발생과 중량의 무거움 등의 단점을 가지고 있던 기존 H형 강지보의 단점을 보완한 격자지보(Lattice Girder)의 사용이 증가하고 있다. 격자지보는 단면의 특성상 슛크리트와 일체구조를 갖고 있다. 그러나 터널 현장에서 슛크리트에 대한 계측은 이루어지고 있으나 격자지보에 대

한 계측은 거의 수행되지 않고 있으며 적절한 계측 방법에 대한 이론도 확립 되지 못한 상태이다.

격자지보 계측은 모든 터널현장에서 수행될 필요는 없으나 지반하중을 산정하거나 격자지보의 주지보로서의 효율성을 평가하기 위해서 필요하다. 본 연구에서는 터널 현장에서의 격자지보와 슛크리트 계측 결과를 활용하여 기존 격자지보 및 슛크리트 계측의 문제점을 파악하고 주지보 계측의 신뢰성을 향상시킬 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

*Corresponding author: hakkim@dju.ac.kr

무응력 슛크리트 응력 측정

개요

스�크리트 응력 측정은 주로 슛크리트에 응력계를 설치하는 방법이 가장 널리 수행되고 있다. 그러나 슛크리트 응력 측정에서는 슛크리트 타설 후 슛크리트의 건조 수축 및 온도변화에 의하여 지반하중과 관계없이 발생하는 변형률을 포함한다는 문제점을 가지고 있다.

외부하중에 의한 순수 변형률(ϵ_s)은 총변형률에서 건조수축 변형률(ϵ_{sh})과 온도변화 변형률(ϵ_t)을 제외한 값이다. 여기서, 건조수축 변형률(ϵ_{sh})과 온도변화 변형률(ϵ_t)은 무응력 변형률계로 측정하며, 우중태(2006)에 의하면 콘크리트 라이닝의 경우에는 양생과정인 7일 이내에서 약 10 kgf/cm^2 의 응력이 발생한다. 박동순 등(2003)의 국내 OO담 도수로터널에서의 연구결과에 의하면 콘크리트 라이닝의 건조·수축 및 온도변화에 따라 발생된 변형률은 약 $+50 \mu\epsilon$ 이었으며 이는 약 11 kg/cm^2 의 응력에 해당되므로 무시할 수 없다. 그러나 국내 터널 현장에서의 슛크리트 계측의 경우 무응력 슛크리트를 이용한 슛크리트 계측의 보정은 거의 이루어지지 않고 있는 실정이다. 본 연구에서는 두 개의 터널 현장에서 무응력상태의 슛크리트 응력측정 시험을 수행하여 현재 터널현장에서 사용되고 있는 슛크리트에서 지반하중과 관계없이 발생하는 변형률을 측정하였고 개선방향을 제시하였다.

장호원 OO 터널 현장

무응력 상태에서 슛크리트의 건조 및 수화열에 의한 응력의 크기를 측정하기 위해 장호원의 OO 터널현장에서 무응력 슛크리트에 대한 실험을 수행하였다. 3개의 슛크리트 응력계를 2개의 몰드(가로 $15 \text{ cm} \times$ 세로 $50 \text{ cm} \times$ 높이 15 cm) 및 1개의 플라스틱 통에 Fig. 1과 같이 설치하였으며 슛크리트 변형률 측정은 수렴이 완료된 시점을 확인하기 위하여 약 1주일에 걸쳐 수행되었다. 측정에 사용된 슛크리트 응력계는 국내 OO사에서 제작

된 진동현식으로 온도 및 접선방향과 반경방향의 응력을 동시에 측정할 수 있다. 본 연구에서는 몰드 위쪽의 개방된 방향(반경 방향)과 몰드 길이방향(접선 방향)의 변형률을 동시에 측정하였다.

계측 당시의 터널내부 온도는 약 21°C 이며 발생된 수화열은 몰드의 경우 슛크리트 타설 후 10시간 10분 경과 후에 최고온도인 25.5°C 에 도달하였다. 플라스틱 통의 경우 슛크리트 타설 후 8시간 30분 경과 후 28.9°C 의 최고온도를 기록하였다. 플라스틱 통의 수화열이 몰드에 비해 더 높은 것은 플라스틱 통의 경우 부피에 비해 표면적이 작기 때문인 것으로 판단된다.

두 개의 몰드와 플라스틱 통에서 측정된 슛크리트 응력은 Table 1 및 Fig. 2와 같다. 몰드 1에서의 응력은 예상과 달리 12.70 kg/cm^2 의 상당히 큰 인장응력 값을 보였으며 다른 계측 결과와 상당히 큰 차이를 보여 계측의 신뢰성이 의문시 된다. 몰드 1의 응력 측정결과를 제외한 다른 지점에서 측정된 응력은 약 3 kg/cm^2 정도의 압축응력을 보인다. 몰드에서 발생된 응력이 플라스틱 통에 비해 적은 이유는 수화열 발생이 작고 몰드 통의 부피가 작아서 수축에 의한 압력 증가가 제한되어

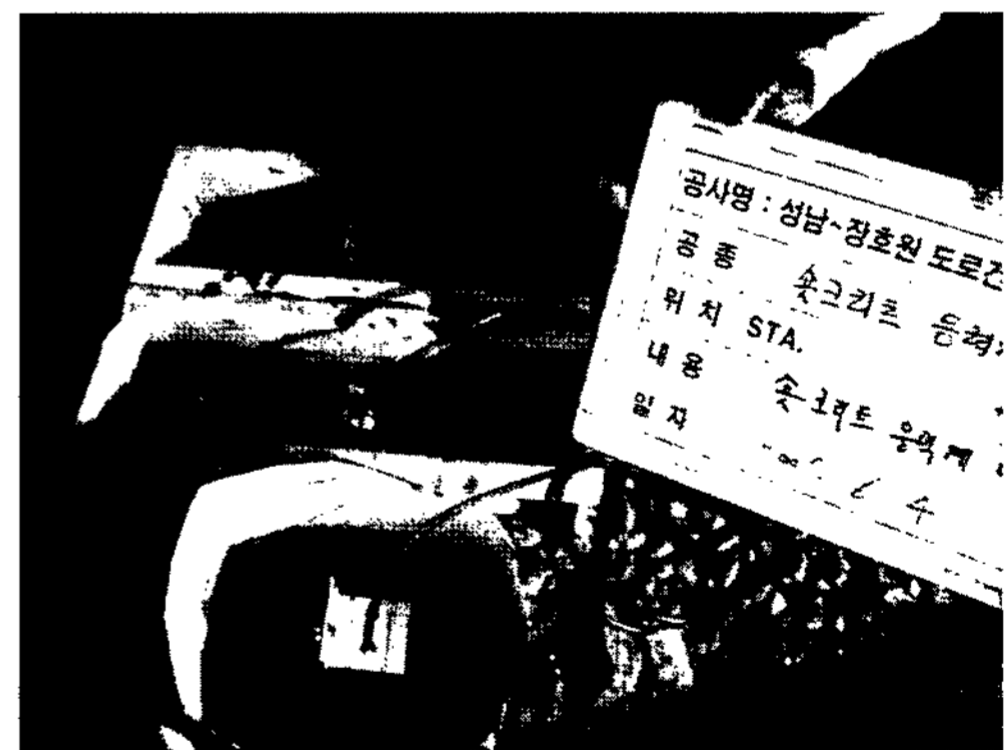


Fig. 1. Stress measurements at the shotcrete contained in the molds and a plastic basket.

Table 1. Maximum and final stresses for the non-stressed shotcrete at the tunnel site in Janghowon (- sign; compressive stress).

	Radial Stress (kg/cm^2)		Tangential Stress (kg/cm^2)	
	Max. Stress	Final Stress	Max. Stress	Final Stress
Mold 1	12.70	7.23	0.75 -1.50	-0.62
Mold 2	0.27 -3.42	-2.84	1.67 -5.51	-3.50
Plastic Container	3.41 -2.61	-1.74	-5.23	-4.15

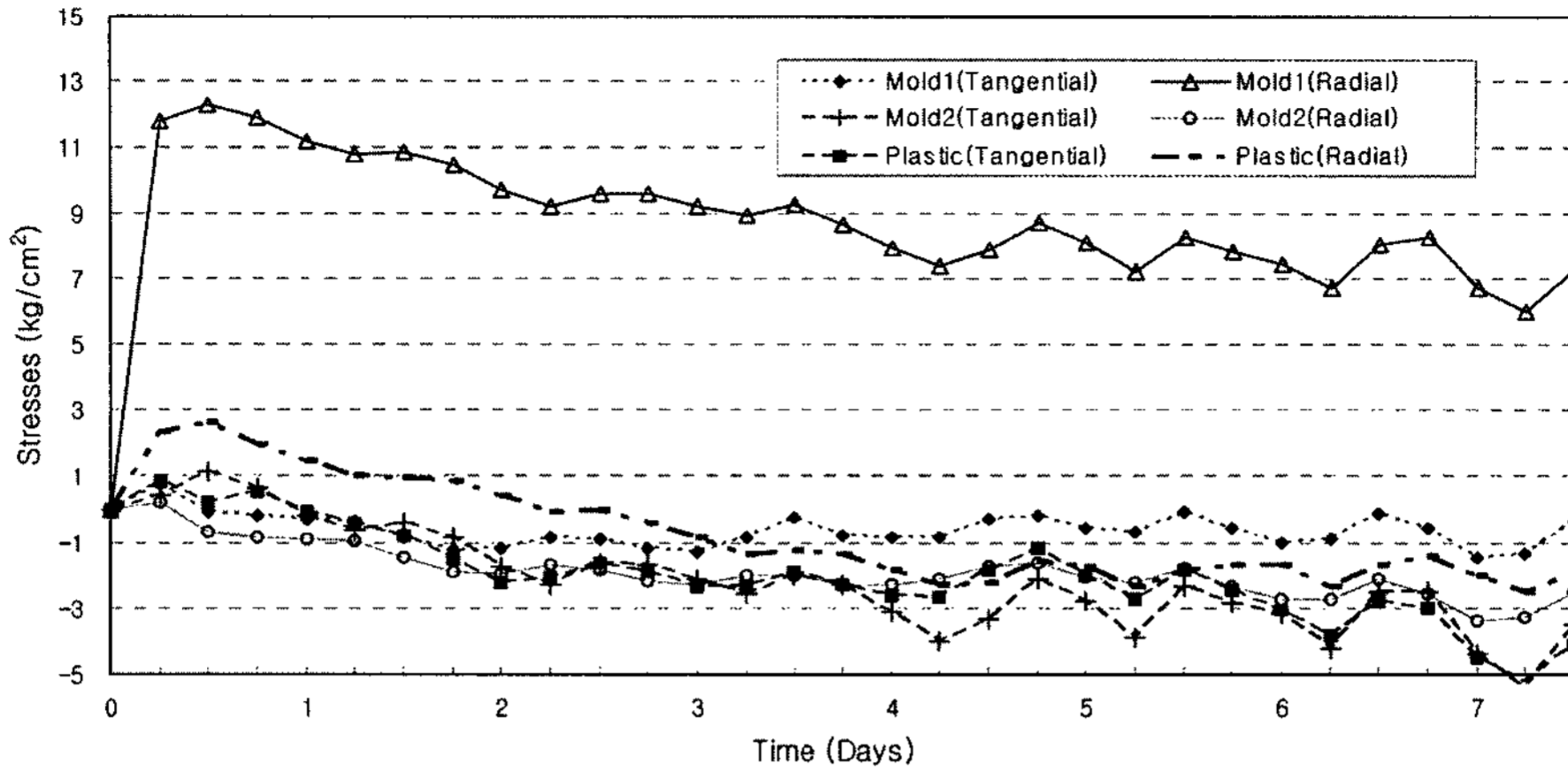


Fig. 2. Measured stresses for the non-stressed shotcrete at the tunnel site in Janghowon (- sign; compressive stress).

있었기 때문에 판단된다. 이러한 사실은 몰드의 접선 방향(몰드의 긴 방향) 압축응력이 반경방향보다 더 큰 것에서도 확인할 수 있다.

추부면 OO 터널 현장

게이지의 신뢰성을 검토하고 몰드 크기의 제한으로 인한 실험오차를 줄이기 위하여 추부면 OO 터널현장에서 장호원 OO 터널현장과 동일한 실험을 수행하였다. 16 cm의 현장 슛크리트 두께를 고려하여 가로, 세로, 높이가 각각 40 cm, 60 cm, 16 cm인 목재 슛크리트 몰드 3개를 실험에 사용하였다. 또한 장호원 터널 실험에서 사용된 것과 같은 형태인 Fig. 3(a)와 같은 슛크리트 응력계(Shotcrete gauge)의 정밀도를 검증하기 위하여 기존의 슛크리트 응력계측에 널리 사용되고 있는 라이닝 응력계(Strain gauge)를 슛크리트 응력계와 함께 설치하였다. 즉, Fig. 3(b)와 같이 양 방향 응력을 동시에 측정하는 슛크리트 응력계 1개와 두 방향으로 직교하게 놓인 라이닝 응력계 2개를 각 목재 몰드에 함께 설치하였다.

실험에 사용된 슛크리트 응력계는 OO사의 진동현식 게이지로 REG-2.0모델이며 라이닝 응력계는 동일 제조

사의 REG-5.5모델을 사용하였다. 슛크리트의 수화열을 측정하기 위하여 ICES사가 제조한 TMA201모델의 자동온도 측정시스템을 Fig. 3의 (c)와 같이 설치하였다. Fig. 3(d)는 슛크리트 타설 후 계측이 진행되고 있는 상태를 보여주고 있다.

무응력 상태에서 슛크리트에 작용하는 응력은 Fig. 4 및 Table 2와 같으며 목재 몰드의 높이와 길이 방향을 각각 반경방향과 접선방향으로 정하였다. 계측결과에 의하면 같은 몰드에서도 슛크리트 응력계와 라이닝 응력계의 측정값이 차이를 보이고 있다. 일반적으로 하중이 작용할 경우에는 게이지의 강성에 기인한 응력집중으로 인하여 슛크리트 응력계에 더 큰 하중이 작용할 것으로 예상된다. 그러나 몰드 1의 반경방향과 몰드 3의 반경 및 접선방향은, 라이닝 응력계가 슛크리트 응력계에 비해서 더 큰 응력이 계측되었다. 이러한 현상은 슛크리트 응력계가 박스로 덮여 있으므로 수화열 및 건조 수축에 의한 영향을 적게 받았기 때문으로 판단된다.

무응력 슛크리트에서 발생된 최대 압축 응력값은 11.99 kg/cm²이었고 평균값은 3 kg/cm²~8 kg/cm²의 범위를 보이고 있다. 슛크리트 응력계의 경우 3개의 몰드 모

Table 2. Summary of the stress measurements for the non-stressed shotcretes at the tunnel site in Chubu-Myun (- sign; compressive stress).

	Radial stress (kg/cm ²)				Tangential stress (kg/cm ²)			
	Shotcrete gauge		Strain gauge		Shotcrete gauge		Strain gauge	
	Max.	Final	Max.	Final	Max.	Final	Max.	Final
Mold 1	-3.85	-3.85	-10.49	-8.31	-4.38	-4.23	3.80	2.93
Mold 2	-3.73	-3.71	5.89	4.86	-4.61	-4.59	2.14	-1.01
Mold 3	-4.11	-3.81	-11.99	-11.88	-4.88	-4.88	-7.46	-7.35

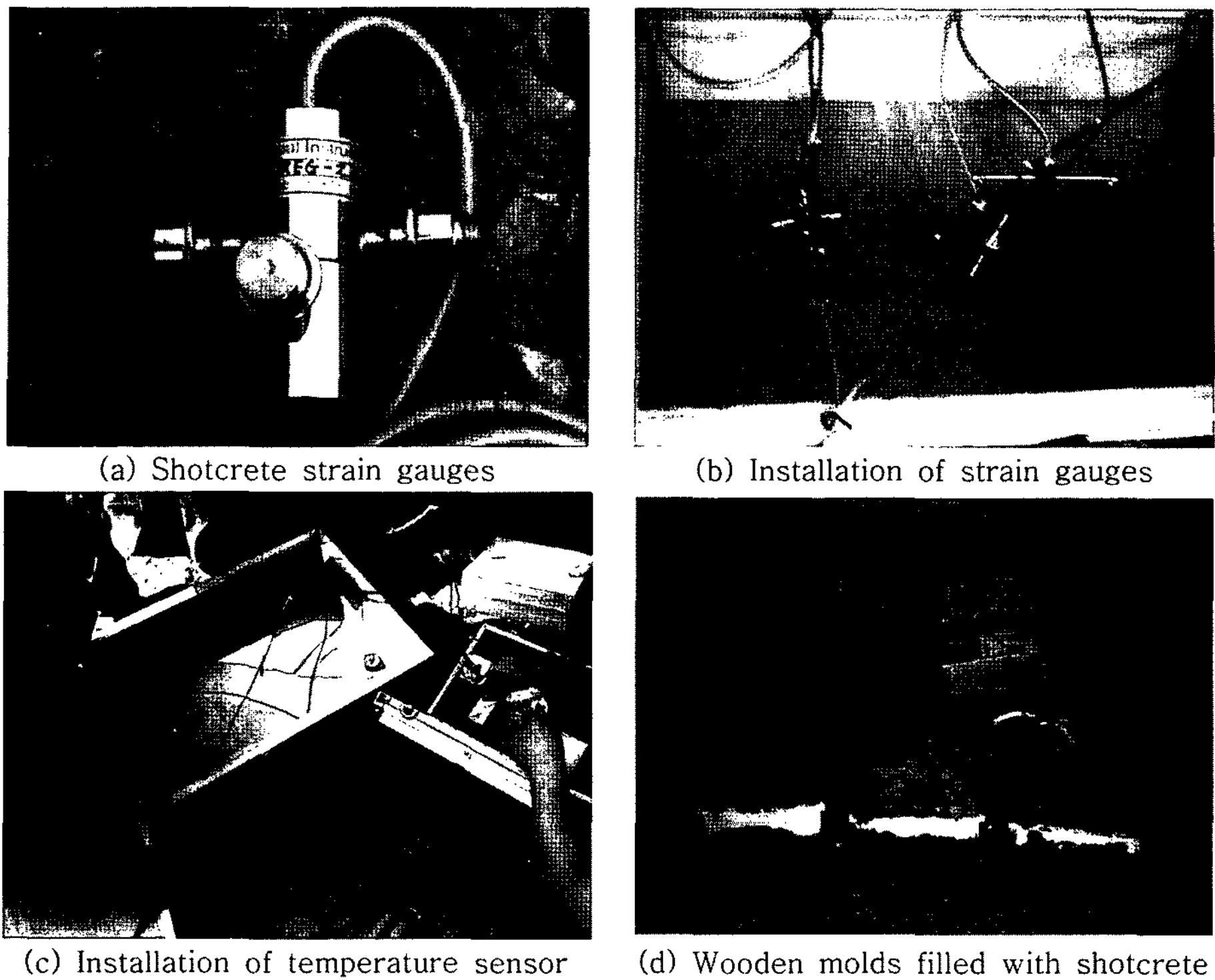


Fig. 3. Procedure of the stress measurements for the non-stressed shotcretes at the tunnel site in Chubu-Myun.

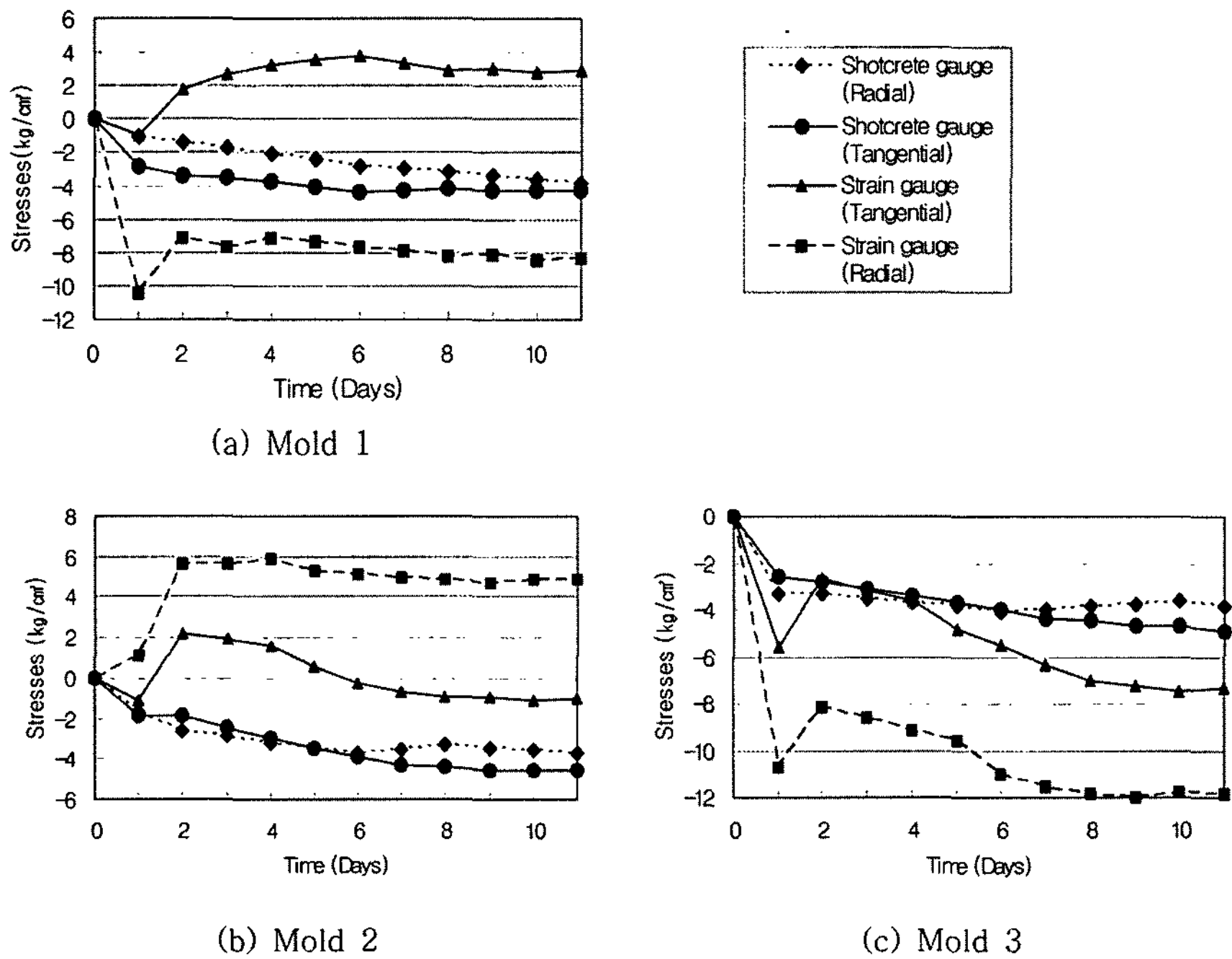


Fig. 4. Results of the stress measurements for the non-stressed shotcretes at the tunnel site in Chubu-Myun (compressive stress).

두에서 접선방향 응력이 반경방향 응력에 비하여 더 큰 값이 계측되었으며 이는 장호원 터널에서의 계측 결과와 일치한다. 그러나 라이닝 응력계의 경우에는 오히려 반경방향이 접선방향에 비하여 더 큰 응력이 측정되었다.

몰드 1의 접선방향과 몰드 2의 반경방향은 슛크리트 응력계에서는 압축응력, 라이닝 응력계는 인장응력이 계측되었다. 한국콘크리트학회(2005)에 의하면 콘크리트 표면부와 내부의 건조수축 및 열응력의 크기가 달라서 변형률의 차이가 발생되며 이로 인하여 콘크리트에 인장응력이 발생할 수 있는 것으로 알려져 있다. 그러나 국내 터널 현장의 슛크리트 응력측정에 널리 사용되고 있는 슛크리트 응력계와 라이닝 응력계가 같은 슛크리트 몰드 내부의 인접한 지점에서 서로 다른 값을 보이는 이유에 대해서는 게이지의 신뢰성을 포함한 추가적인 검토가 필요할 것으로 판단된다.

스�크리트에서 자동화 시스템에 의하여 측정된 수화열은 Fig. 5와 같다. 측정된 수화열은 3개의 몰드에서 거의 유사한 결과를 보이고 있다. 몰드 1에서 발생한 수화열은 슛크리트 타설 후 12시간 30분 경과 후 31.6°C의 최고온도를 기록하였다. 몰드 2에서 발생한 수화열의 최고온도는 슛크리트 타설 후 11시간 50분 경과 후의 32.9°C이며, 몰드 3에서는 슛크리트 타설 후 12시간 10분 경과 후의 31.6°C이다. 장호원 터널에서 발생한 수화열은 슛크리트 타설 후 10시간 10분 경과 후의 25.5°C와 슛크리트 타설 후 8시간 30분 경과 후의 28.9°C이므로 추부 터널에서의 수화열이 더 높게 발생하였고 발생시간은 약 2-3시간의 차이가 있다. 이러한 차이는 추부 터널에서는 더욱 정밀한 온도 센서를 사용한 점과 슛크리트 배합비가 다른 것에 기인할 수 있겠지만 추부 터널에서 부피가 더 큰 몰드를 사용한 것이 주된 이유로 판단된다. 일반적으로 부피가 더 큰 몰드의 경우 부피에 비해 표면적이 작으므로 수화열이 더 높게 발생하고 발생한 수화열이 식는데 더 오랜 시간이 걸리는 것으로 알려져 있다.

무응력 슛크리트에서 측정된 응력은 사용된 게이지 및 측정 방향에 따라서 편차를 보였으나 평균값은 3 kg/cm²~8 kg/cm²의 범위를 보이고 있다. 이와 같이 비교적 큰 응력이 지반응력과 상관없이 슛크리트에서 발생하므로 터널현장에서 슛크리트 응력측정 결과를 활용하여 지반하중을 산정하기 위해서는 이에 대한 보정이 반드시 필요하다. 특히 슛크리트 배합비, 터널 내부의 온도나 습도, 사용하는 계측기의 종류 등에 따라서 보정값이 차이가 날 수 있으므로 각 터널 현장별로 보정값을 산정해

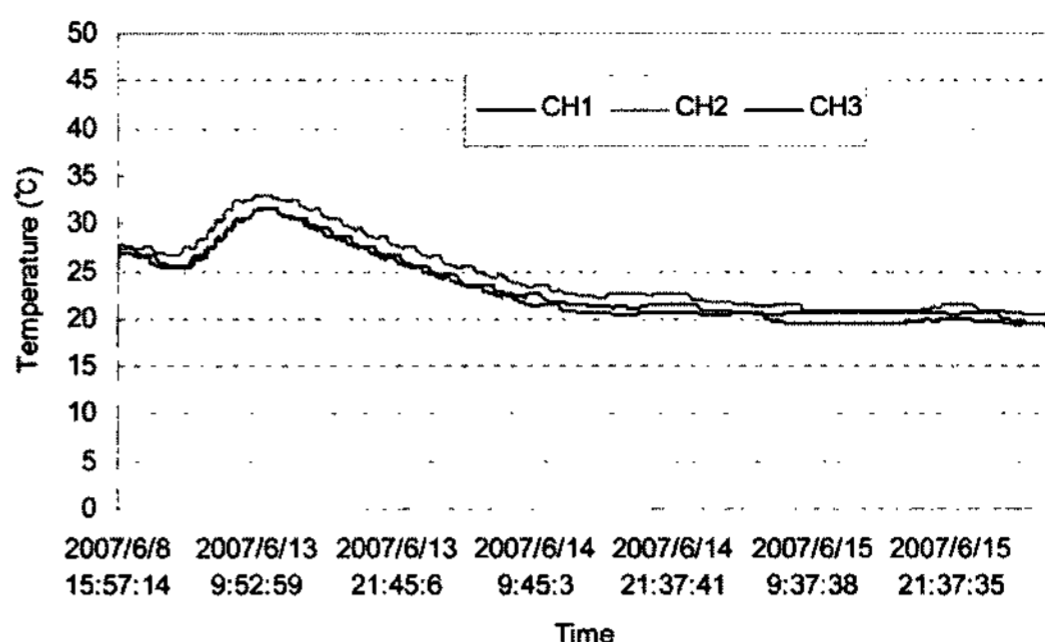


Fig. 5. Measured temperatures during the cure of the non-stressed shotcretes at the tunnel site in Chubu-Myun.

야 한다. 또한 보정시 몰드의 크기에 따라 측정되는 응력값이 다를 수 있으므로 최대한 현장에 타설되는 슛크리트의 두께와 동일한 높이를 갖는 몰드를 사용해야 더 정확한 값을 얻을 수 있다. 향후 계측기의 신뢰성, 슛크리트 몰드의 크기(특히 길이 방향) 및 게이지 설치 위치(표면 및 내부) 등을 포함한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

격자지보 계측

터널 개요

격자지보 계측이 수행된 현장은 Fig. 6의 추부면 OO 터널로서 옥천계 흑운모 편암으로 구성되어 있다. 터널은 편도 2차의 병렬 터널로 직경 11.83 m, 높이 7.79 m 이고 계측지점 병렬터널의 중심과 중심 사이의 거리는 35 m이다. 터널은 NATM공법으로 굴착되었으며 상하반 분할 굴착공법이 적용되었다. 굴착은 좌측 터널 상반 굴착, 좌측 터널 하반 굴착, 우측 터널 상반 굴착, 우측



Fig. 6. View of the OO tunnel in Chubu-Myun.

Table 3. RMR of the rock masses at the instrumented section.

Parameter	Condition	Ratings	
Uniaxial compressive strength (MPa)	65	7	
R.Q.D. (%)	50%	10	
Spacing of discontinuities (m)	<60 mm	5	
Condition of discontinuities	Discontinuity length (m)	>20 m	0
	Separation (mm)	0.1-1 mm	4
	Roughness	slickenside	0
	Infilling	silicate (5 mm)	4
	Weathering	highly weathered	1
Groundwater	Dripping	4	
Rating Adjustment	Strike parallel to tunnel axis (Dip 34°)	-5	
Total Rating		30	

터널 하반 굴착의 순서로 진행되었다. 터널의 주지보재는 1.5 m 간격의 격자지보(Type-50x30x20)와 16 cm 두께의 슛크리트로 구성되었다.

Fig. 6 병렬터널의 좌측 터널 종점부의 지반상태가 불량한 구간(설계시 TYPE 5)을 선정하여 격자지보 계측을 수행하였다. 터널 계측지점 근처의 막장에서는 4개의 절리군이 관찰되며 RMR에 의한 암반분류는 Table 3과 같다.

격자지보 계측 개요

격자지보에 작용하는 축력을 측정하기 위하여 양 측벽부와 천단부에 진동현식 변형률 게이지를 설치하였다. 휨응력을 제외한 축력을 측정하기 위하여 하나의 봉에 지면부(Outside), 갱내부(Inside), 측면부(Neutral axis)에 3개씩의 게이지를 설치하였다. 두 개의 격자지보(지보재 1, 지보재 2)에 게이지를 설치하였으므로 계측에 사용된 게이지는 총 54개(3강봉×3지점×3게이지×2지보재)이다. 지보재 1(L1)과 지보재 2(L2)는 막장이 정지된 상태에서 연속적으로 설치되었으며 설치시 막장과 지보재 2 사이의 거리는 1 m이었으며, 막장과 지보재 1 사이의 거리는 2.5 m이었다. 지보재 1과 2가 설치된 상태에서 계측시작 2일 경과 후 약 2 m 굴착이 진행된 상태에서 터널이 관통되었다. 따라서 지보재 2에서 터널 출구까지의 거리는 약 3 m이다.

게이지의 설치방법은 먼저 그라인더를 이용해 강봉의 부착 부분을 편평하게 깎은 후 Fig. 7과 같이 스틸 에폭시를 이용하여 부착하였다. 게이지 부착 후 게이지 위에 보호 캡을 씌웠고 절연테이프와 고무테이프를 이용하여 게이지를 보호하였다.

격자지보가 설치되고 슛크리트를 타설한 후 분진이 가라앉은 직후를 초기값으로 선정하였고 1회일의 빈도로

계측을 수행하였다. 격자지보에서 측정된 응력은 약 10일 경과 후 수렴되었으며 12일 경과 후 계측을 중단하였다.

격자지보 계측 결과 및 논의

격자지보에서 계측 결과는 Table 4 및 Fig. 8과 같다. Table 4는 격자지보에서 계측된 최종응력, 최대응력, 및 강봉의 휨 방향을 나타내고 있다. Table 4에서 No. 1 강봉은 상부 강봉(주강봉), No. 2 및 No. 3는 하부 강봉(부강봉)에 해당되며 No. 2가 No. 3에 비해 막장 쪽에 가까이 위치하고 있다. 설치된 54개의 게이지 중에서 No. 1에 부착된 게이지 6개, No. 2의 게이지 3개 등 총 9개의 게이지가 작동하지 않았다. 지면과 가장 근접해있는 No. 1 게이지의 불량률이 가장 높으며 불량 발생 이유는 격자지보 설치나 슛크리트 타설 시의 강한 충격, 케이블 단선, 게이지 불량 등에 기인하는 것으로 판단되나 게이지 불량에 대한 정확한 원인 파악 및 게이지 불량률을 줄이는 방안에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

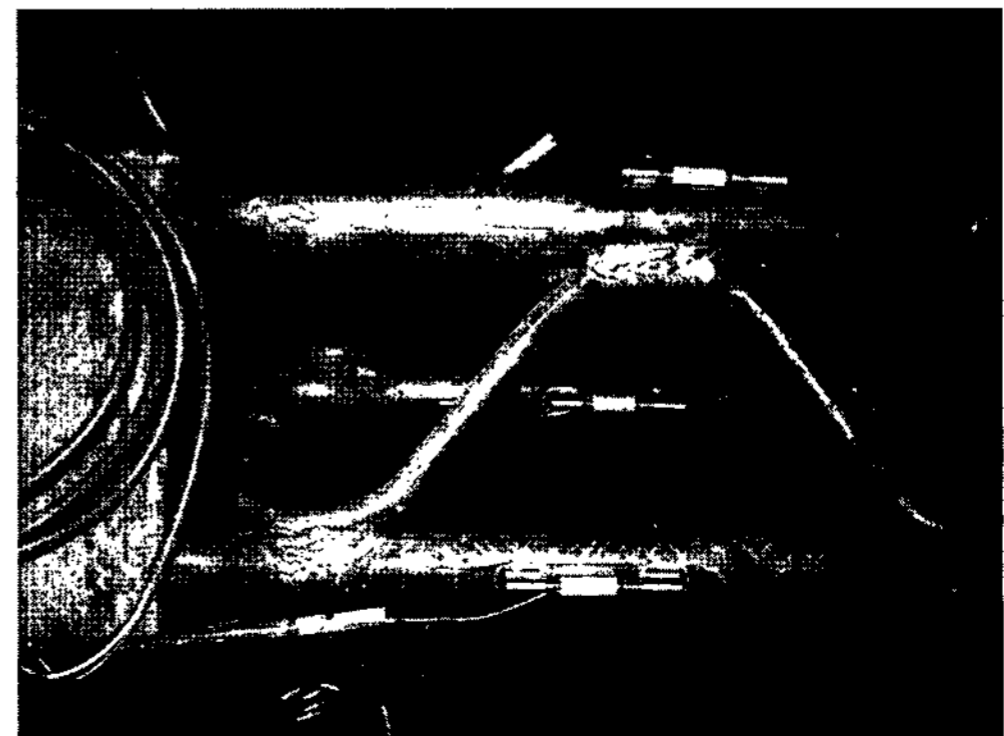


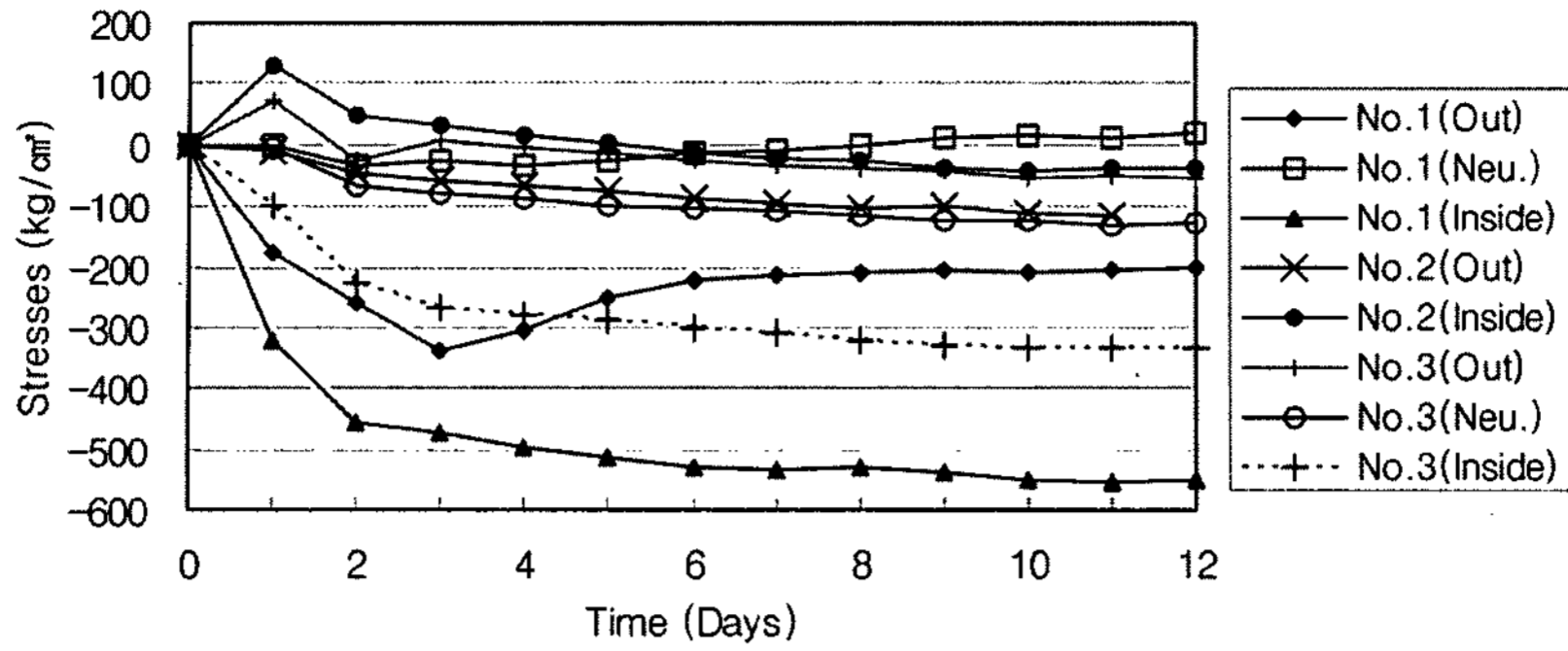
Fig. 7. Strain gauges installed at the lattice girder.

Table 4. Summary of the stress measurements at the lattice girders.

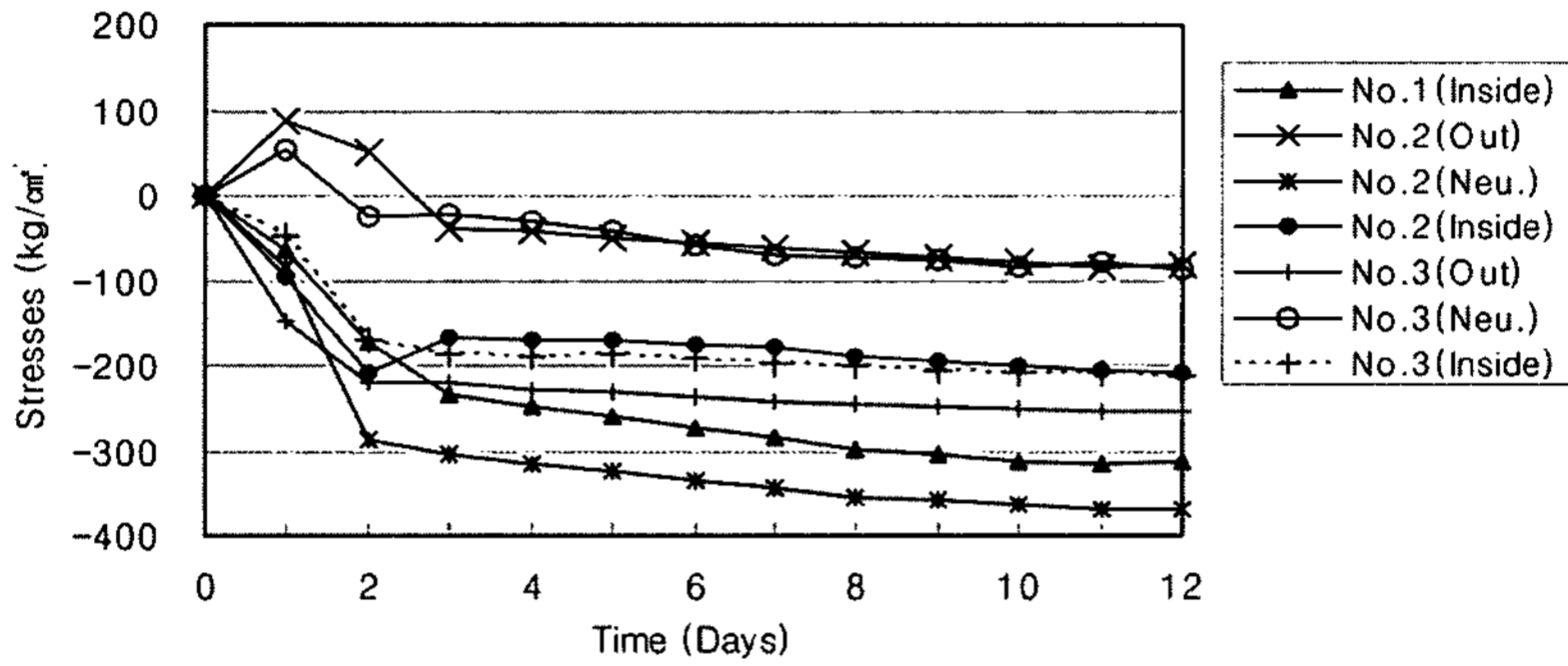
Location	Steel bar No.	Location in a steel bar	Stresses, final(maximum)		Bending direction	
			L1(kg/cm ²)	L2(kg/cm ²)	L1	L2
Crown	No.1	Outside	-203.9(-339.2)	-(-)	Inward	-
		Neutral	18.3(-35.1)	-(-)		
		Inside	-549.7(-554.3)	-312.5(-314.1)		
	No.2	Outside	-112.4(-115.0)	-80.8(86.0)	Outward	Inward
		Neutral	-(-)	-369.6(-369.6)		
		Inside	-36.1(129.4)	-207.3(-207.7)		
	No.3	Outside	-54.6(73.1)	-252.3(-253.5)	Inward	Outward
		Neutral	-127.6(-131.9)	-86.5(-86.5)		
		Inside	-333.2(-335.2)	-211.9(-211.9)		
Springline (Right)	No.1	Outside	-53.4(85.2)	-(-)	-	Outward
		Neutral	-191.5(-193.0)	-30.4(-61.2)		
		Inside	-(-)	-19.7(20.9)		
	No.2	Outside	-120.9(-121.5)	4.1(-20.5)	Outward	Inward
		Neutral	-201.2(-201.2)	-44.5(74.3)		
		Inside	67.4(147.3)	-98.2(-114.1)		
	No.3	Outside	-86.6(-92.5)	-19.0(31.7)	Inward	Normal
		Neutral	-81.9(-81.9)	-72.5(-72.5)		
		Inside	-219.8(-222.4)	-20.5(-20.5)		
Springline (Left)	No.1	Outside	-(-)	6.0(-15.0)	Outward	Inward
		Neutral	-12.0(53.5)	-(-)		
		Inside	53.2(59.3)	-167.9(-167.9)		
	No.2	Outside	-374.1(-377.9)	-(-)	Outward	-
		Neutral	-95.5(-95.7)	-122.9(-122.9)		
		Inside	-303.9(-303.9)	-(-)		
	No.3	Outside	-409.5(-416.1)	-46.2(-69.3)	Outward	Normal
		Neutral	37.5(67.9)	-328.0(-330.8)		
		Inside	19.6(93.9)	-44.4(-44.4)		

콘크리트 라이닝이나 H형 지보재에서의 계층 경험으로부터 격자지보의 각 강봉의 지면부와 갱내부에서 계층된 응력의 평균값이 강봉의 중립축(neutral axis)에 해당되는 측면부에서 측정된 응력값과 유사할 것으로 예상하였다. 그러나 콘크리트 라이닝이나 H형 지보재에서의 계층 결과와는 달리 지보재 1의 천단부 No. 3를 제외하고는 대부분의 경우, 강봉 측면부의 응력값은 지면부 및 갱내부의 계층 결과와 연관되지 않은 값을 보이고 있다. Fig. 9는 격자지보재 2의 좌측 측벽부와 천단부에 위치한 No. 3 부강봉의 계층 결과를 보이고 있다. Fig. 9(a)에 의하면, 측벽부 강봉의 지면부와 갱내부에서 측정된 최종 응력값은 각각 46.2 kg/cm² 과 44.4 kg/cm² 으로 거의 유사한 값을 보이므로 터널 중심 방향으로 강봉의 휨이 거의 발생하지 않았다. 그러나 강봉의 중립축 위치에서 측정된 압축응력은 328.0 kg/cm² 으로 터널

종방향으로 상당히 큰 휨 응력이 발생되었음을 보여주고 있다. Fig. 9(b)에서도 천단부에 위치한 부강봉의 지면부와 갱내부의 최종 압축응력은 각각 252.3 kg/cm² 와 211.9 kg/cm² 로 약 20.2 kg/cm² 의 휨응력이 발생되었으나 강봉의 중립축 위치에서 측정된 압축응력은 86.5 kg/cm² 으로 터널 종방향으로 상당히 큰 휨이 발생되었다. 그러나 좌측 측벽부에서 발생된 터널 종방향 휨은 중립축 게이지가 설치된 방향으로 휨이 발생하여 압축응력이 증가하였고 천단부 강봉은 게이지가 설치된 지점과 반대방향으로 휨이 발생하여, 터널 종방향으로 휨이 발생하지 않았을 경우에 비하여, 압축응력이 감소하였다. 따라서 일부 국내 터널현장에서 격자지보의 응력을 측정하기 위해서 관행적으로 강봉의 중립축에 해당되는 지점에 한 개의 게이지를 부착하는 것은 매우 큰 측정오차를 야기할 수 있다. 또한 격자지보의 거동 양상



(a) Crown of the lattice girder 1



(b) Crown of the lattice girder 2

Fig. 8. Example of stress measurements at the lattice girder.

은 콘크리트, 숏크리트, 혹은 H 형 강지보와는 달리 터널 종방향으로도 변형이 발생하는 복잡한 메커니즘을 보이므로 격자지보의 적절한 계측 방법 및 거동 양상에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

Ward(1978)는 Kielder 실험 터널에서 철재라이닝에 대한 계측을 수행하여 막장에서 가깝게 설치된 라이닝에 더 큰 하중이 측정됨을 보였다. 이러한 결과는 라이닝 설치 위치가 막장에서 가까울수록 지반변위가 적으므로 더 큰 하중이 작용한 것으로 해석될 수 있다. 그러나 본 계측 현장에서는 천단부 No. 2 강봉의 갱내부와 No. 3 강봉의 지면부, 왼쪽 측벽부 No. 2 강봉의 측면부에서만 지보재 1의 응력값이 지보재 2보다 작게 측정되었고 천단부 No. 1 강봉의 갱내부 등 다른 여러 지점에서는 지보재 1의 응력값이 지보재 2보다 크게 측정되었다. 결론적으로 본 현장에서는 지보재 설치시의 막장과의 거리에 따른 지보재 하중 변화의 경향은 보이지 않는다. 이것은 지반하중이 지보재 설치시의 막장과의 거리뿐만 아니라 암반상태 등 많은 다른 인자들에 의하여 영향을 받기 때문인 것으로 판단된다.

현장에서 사용된 격자지보의 경우 총 단면적은 13.351 cm^2 이며 주강봉의 단면적은 7.069 cm^2 이고 부강봉의 단면적은 3.141 cm^2 이다. 따라서 이론상 주강봉과 부강봉의 축력비율은 2.25 : 1이다. 연구 현장의 격자지보 강봉에 작용하는 축력의 측정 결과에 의하면 주강봉이 부강봉에 비해서 이론상의 축력보다 더 큰 하중을 지지하고 있다. 예를 들면, 지보재 1의 천단부 No. 1 주강봉(응력 376.8 kg/cm^2)과 No. 3 부강봉(응력 193.9 kg/cm^2)의 축력은 각각 2663 kg 과 609 kg 이고 축력비율은 4.4이며 이론상의 축력비율을 약 1.9배 초과한다. 같은 지점의 No. 2 부강봉에 작용하는 축력이 233 kg 이므로 주강봉과의 축력비율은 11.4이며, 따라서 지보재 1의 천단부에는 총 $3,505 \text{ kg}$ 의 축력이 작용하고 있다. 지보재 2의 좌측 측벽부의 주강봉과 No. 3 부강봉의 축력 비율은 4.0이다. No. 2와 No. 3 축력비율은 이론상으로는 1 : 1이지만 0.2~2.4의 다양한 값을 보이며 평균은 이론값에 가까운 1.06이다. 이와 같이 격자지보 응력이 다양한 값을 보이는 이유로는 암반 상태의 불균질성, 격자지보의 다양한 변형 메커니즘, 주강봉과 부강봉의 지반과

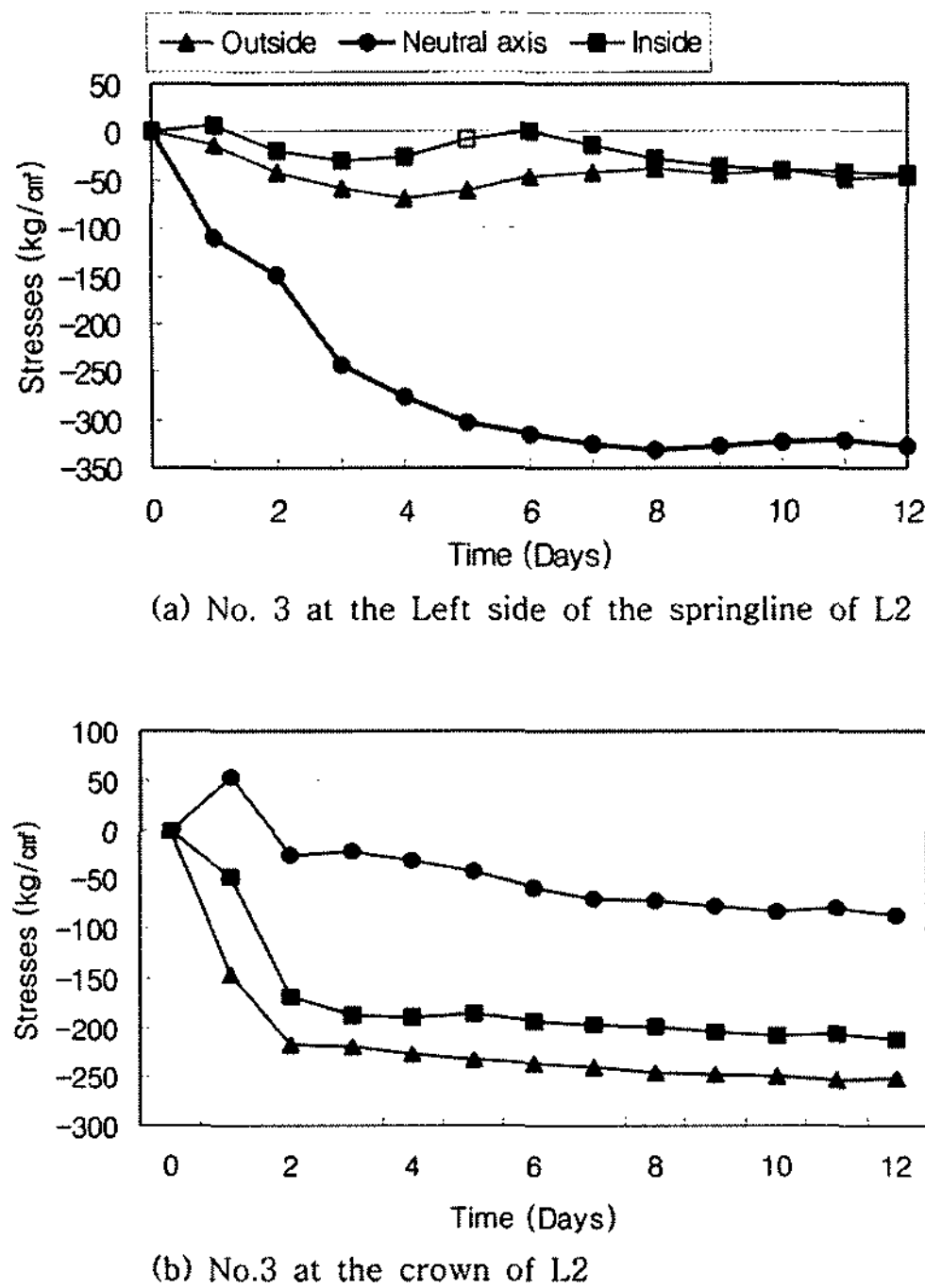


Fig. 9. Stress measurements at the bars of No. 3 in L2.

의 이격거리 차이, 강봉 연결부재의 영향, 슛크리트와 강봉 부착상태의 불균질성, 게이지의 측정오차, 연결부재 및 강봉의 면적 제한으로 인한 계측 지점 선정의 어려움, 터널 우측부 병렬터널의 영향 등에 의한 것으로 판단된다.

결론

본 연구에서는 두 개의 터널 현장에서 무응력 슛크리트 응력을 측정하여 그 결과를 분석하였다. 또한 터널 현장에서의 격자지보 계측 결과를 활용하여 격자지보의 변형 특성 및 기존 격자지보 계측의 문제점을 파악하였고 격자지보 계측의 신뢰성을 향상시킬 수 있는 방안을 제시하였다. 무응력 슛크리트 응력 측정과 격자지보 계측으로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 무응력 슛크리트에서 발생된 최대 압축 응력값은 11.99 kg/cm^2 이었고 평균값은 $3 \text{ kg/cm}^2 \sim 8 \text{ kg/cm}^2$ 의 범위를 보인다. 비교적 큰 응력이 지반응력과 상관없이 슛크리트에서 발생되므로 터널현장에서 슛크리트 응력 측정 결과를 활용하여 지반하중을 산정하기 위해서는 이에 대한 보정이 반드시 필요하다.
2. 슛크리트 배합비, 터널 내부의 온도나 습도, 사용하는 계측기의 종류 등에 따라서 보정값이 차이가 날 수

있으므로 각 터널 현장별로 보정값을 산정해야 한다. 또한 보정시 몰드의 크기에 따라 측정되는 응력값이 다를 수 있으므로 최대한 현장에 타설되는 슛크리트의 두께와 동일한 높이를 갖는 몰드를 사용해야 더 정확한 값을 얻을 수 있다.

3. 격자지보의 응력측정 결과에 의하면, 격자지보의 강봉은 콘크리트 라이닝이나 H형 강지보와 달리 터널 종방향으로 상당히 큰 휨이 발생된다. 따라서 일부 국내 터널현장에서 격자지보의 응력을 측정하기 위해서 관행적으로 강봉의 중립축에 해당되는 지점에 한 개의 게이지를 부착하는 것은 매우 큰 측정오차를 야기할 수 있다.

4. 본 현장에서는 격자지보 설치시의 막장과의 거리에 따른 지보재 하중 변화의 경향은 보이지 않았다. 이것은 지반하중이 지보재 설치시의 막장과의 거리뿐만 아니라 암반상태 등 많은 다른 인자들에 의하여 영향을 받기 때문인 것으로 판단된다.

5. 격자지보의 주강봉은 부강봉에 비하여 이론상의 축력비율인 2.25보다 더 큰 하중을 지지하고 있다. 즉 주강봉은 한 개의 부강봉에 비하여 약 4배 정도의 하중을 더 지지하고 있으며 11배의 하중을 지지하는 경우도 계측되었다. 두 개의 부강봉간의 축력비율은 평균값은 1.06으로 이론상의 축력비율인 1과 유사하지만 0.2~2.4의 다양한 값을 보인다.

6. 격자지보는 다양한 변형 메커니즘, 주강봉과 부강봉의 지반과의 이격거리 차이, 강봉 연결부재의 영향, 슛크리트와 강봉 부착상태의 불균질성, 연결부재 및 강봉의 면적 제한으로 인한 계측 지점 선정의 어려움 등으로 인하여 계측 및 계측 결과의 해석이 용이하지 않으므로 효과적인 격자지보 계측을 위한 연구가 더 진행되어야 할 것으로 판단된다.

사사

본 연구는 2007년 건설교통부가 출현하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 건설핵심연구개발사업인 "IT 및 신소재를 활용한 급속 안정화 터널시공기술개발(과제번호: C105A1020001-07A050200230)" 연구사업의 일환으로 수행되었으며 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

박동순, 김학준, 김완영, 2003, 배면 및 압밀그라우팅에 의한 터널 라이닝 하중 연구, 대한지질공학회 논문집, 제13권 제4호, pp. 445-456.

우종태, 2006, 터널계측의 이론과 실무, 구미서관, 730p.
 한국콘크리트학회, 2005, 최신 콘크리트공학, 기문당, 843p.
 Ward, W. H., 1978, Ground supports for tunnels in weak
 rocks. Geotechnique, Vol. 28, No. 2, pp. 133-171.

2008년 3월 2일 원고접수, 2008년 3월 15일 게재승인

김학준

대전대학교 공과대학 지반설계정보공학과
 300-716 대전시 동구 용운동 96-3
 Tel: 042-280-2574
 E-mail: hakkim@dju.ac.kr

진수환

대전대학교 공과대학 지반설계정보공학과
 300-716 대전시 동구 용운동 96-3
 Tel: 010-3917-1031
 E-mail: 00jinsuhwan@hanmail.net

박시현

한국시설안전기술공단
 경기도 고양시 일산구 대화동 2311
 Tel: 031-910-4085
 E-mail: parksh@kistec.or.kr