



### 저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2011년 2월

석사학위논문

스파이럴 볼트 변형률계를 이용한  
지반구조물 거동 분석

조선대학교 대학원

에너지자원공학과

정 승 회

스파이럴 볼트 변형률계를 이용한  
지반구조물 거동 분석

Analysis of Geostructure Behavior Using Spiral Bolt  
Strain Gauge

2011년 2월 25일

조선대학교 대학원

에너지자원공학과

정 승 회

# 스파이럴 볼트 변형률계를 이용한 지반구조물 거동 분석

지도교수 강 성 승

이 논문을 공학 석사학위신청 논문으로 제출함

2010년 10월

조선대학교 대학원

에너지자원공학과

정 승 회

# 정승회의 석사학위논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 고진석 ㉠

위원 조선대학교 교수 강추원 ㉠

위원 조선대학교 교수 강성승 ㉠

2010년 11월

조선대학교 대학원

# - 목 차 -

List of tables .....	i
List of figures .....	ii
Abstract .....	iii
1. 서론 .....	1
2. 이론적 배경 .....	3
2.1 스파이럴 볼트 .....	3
2.2 축 방향 및 휨 성분 변형률 계산 .....	5
2.3 스파이럴 볼트 변형률계 제작 과정 .....	6
3. 실내 시험 .....	8
3.1 시험 방법 .....	8
3.2 실내시험 결과 .....	10
4. 스파이럴 볼트 변형률계의 적용 .....	18
4.1 연약지반 기초 .....	18
4.1.1 연약지반 기초 거동 측정 .....	18
4.1.2 측정 결과 .....	20
4.2 암반사면 .....	24
4.2.1 암반사면 거동 측정 .....	24
4.2.2 측정결과 .....	27
4.3 옹벽사면 .....	30
4.3.1 옹벽사면 거동 측정 .....	30
4.3.2 측정결과 .....	34
5. 토의 .....	42
6. 결론 .....	44
참고문헌 .....	46

## List of tables

Table 3.1 Results of laboratory bending test on the T-direction .....	12
Table 3.2 Results of laboratory bending test on the C-direction .....	15
Table 4.1 Results of each strain measured at retaining wall .....	38

## List of figures

Figure 2.1 View of spiral bolt .....	3
Figure 2.2 Shape of spiral bolt and cross-section .....	4
Figure 2.3 Schematic diagram for measurement of ground behavior by vertical and lateral loads using spiral bolt strain gauge .....	5
Figure 2.4 Spiral bolt strain gauge. (a) Twisting plat bar, (b) spiral bolt strain gauge, (c) shape and (d) section of spiral bolt .....	6
Figure 2.5 Spiral bolt making process. (a) Surface molding, (b) strain gauge attach, (c) using paint coating, (d) complete product .....	7
Figure 3.1 Location of strain gauges adhered on spiral bolt strain gauge .....	8
Figure 3.2 Photograph of Laboratory shear test .....	9
Figure 3.3 Displacement change of spiral bolt strain gauge by lateral load .....	10
Figure 3.4 Strain changes by bending test of spiral bolt strain gauge. (a) Extension strains and (b) compression strains according to position of each rosette gauge. ....	11
Figure 4.1 Photograph of spiral bolt stain gauge installed on soft ground foundation .....	18
Figure 4.2 Schematic diagram for measurement of soft ground foundation behavior .....	19
Figure 4.3 Strain change according to elapsed time. (a) Strain change of retaining wall side A and road side B, (b) strain change of compression component, (c) strain change of bending component .....	20
Figure 4.4 Estimation of soft ground foundation behavior .....	23
Figure 4.5 Photograph of spiral bolt stain gauge installed on rock slope of limestone mine .....	24
Figure 4.6 Schematic diagram for measurement of rock slope behavior .....	25
Figure 4.7 Location of strain gauges adhered on spiral bolt strain gauge .....	25
Figure 4.8 Blasting location for excavation of limestone mine and installed spiral	



bolt strain gauge .....	26
Figure 4.9 Strain change according to elapsed time. (a) Strain change of sides A and B, (b) strain change of compression component, (c) strain change of Bending component .....	27
Figure 4.10 Estimation of rock slope behavior .....	29
Figure 4.11 Photograph of construction site .....	30
Figure 4.12 Location of spiral bolt strain gauge installed into retaining wall (Site 1, Site 2, Site 3) .....	31
Figure 4.13 Schematic diagram of cross-section for measuring behavior of retaining wall .....	32
Figure 4.14 Location of strain gauges adhered on spiral bolt strain gaug .....	33
Figure 4.15 Photograph of spiral bolt stain gauge installed on Site B .....	33
Figure 4.16 Strain change according to elapsed time. (a) Strain change of G1, (b) strain change of G2, (c) strain change of G3, (d)strain change of G1-1, (e) strain change of G2-1, (f) strain change of G3-1 .....	34
Figure 4.17 Strain change according to elapsed time .....	40
Figure 4.18 Estimation of retaining wall behavior(Site 1) .....	41
Figure 5.1 Schematic diagram for measuring behavior of dam body using spiral bolt strain gauge .....	43

# Abstract

## Analysis of Geostucture Behavior Using Spiral Bolt Strain Gauge

By Jeong, Seung Hoe

Adv. Prof. : Kang, Seong-Seung, Ph.D,

Dept. of Energy and Resource Engineering

Graduate School of Chosun University

This study is to consider applicability of spiral bolt strain gauge as an instrument measuring behavior of soft ground foundation, rock slope and retaining wall. When the instrument was installed on the ground, it can be useful to identity the state of ground behavior because it has the characteristics of flexibility, as well as to apply the ground reinforcement because it has higher pull-out resistance to the ground.

From the measurement of behavior with respect to soft ground foundation, the strain shows a stable state in the beginning, then was observed significant change in the upper and the middle of spiral bolt strain gauge after 400 days. This is analyzed that ground loosening, which is due to occurred frequent earthquake of magnitude 1~2 with increased rainfall, lead to the instability of the ground.

From the measurement of behavior with respect to rock slope, the strain shows a stable state with very little change in a period of 0~50 days and the biggest strain at 4.2m (P6) in a period of 50~100 days, then other places except P6 was maintained at a stable state in a period of 100~160 days. The reason is analyzed because that blasting for excavated limestone surrounding was affected to the largest at P6.

From the measurement of behavior with respect to retaining wall, the strains

at Site 2 generally show a stable state during measuring period. On the other hand, the strains in case of Site 1 show a unstable state in a period of 20~40 days and 75~78 days, then maintain a stable state. The reason is considered that the concrete structure was pulled down during these periods. However, based on the size of strain change by behavior of the soft ground foundation, rock slope and retaining wall, it is considered that the present condition are not effected on stability of these geostructures.

In conclusion, the proposed spiral bolt strain gauge can be useful to measure behavior of soft ground foundation, rock slope and retaining wall, and also to be measured behavior geostructures, as well as reinforcement of them.

# 1. 서론

연약지반기초 및 절취 암반사면의 굴착 또는 안정성에 관한 지반공학 문제에서는 구성하고 있는 재료에 대한 물리적 및 역학적 특성은 변형거동 및 붕괴의 예측에 중요한 입력 자료가 된다. 원위치 지반에 대한 변형 거동은 표면의 직접적인 계측으로부터 파악할 수 있지만 대상 지반의 전체적인 거동을 측정하기 위해서는 매설형 변위계나 변형률 게이지를 이용한 측정법이 유익한 방법으로 고려되고 있다. 예를 들면, 크로스암식 침하계를 이용한 성토 내 연직변위 측정법, 레벨을 이용한 지표면의 연직변위 측정법, 시추공 내에 공벽 앵커나 위치 표식자를 매설하는 방법, 관측 시추공에 변형률 게이지를 부착시켜 지반의 변위를 측정하는 방법 등 다양한 관측 방법들이 그 예로 제안되어 사용되고 있다(황정규, 2003).

새로운 형태의 지보재인 스파이럴 볼트란 판상의 강재에 양단면을 고정시킨 후 축회전시켜 만든 나선형 형태의 지보재로서(Hirata et al., 2003, 2005), 주로 외국의 경우 연약지반의 보강이나 각종 시설물의 독립기초용으로 사용되고 있다.

스파이럴 볼트와 관련한 연구로서 Hirata et al(2003)는 스파이럴 구조체의 그라운드 앵커(Ground anchor)에의 적용에 관한 기초적 검토를 수행하였다. Hirata et al(2003, 2005)과 Haraguchi et al(2006)은 스파이럴 구조체의 그라운드 앵커에의 적용에 관한 성능 시험과 스파이럴 구조체의 그라운드 앵커에의 적용시험을 실시하였다. 또한 Haraguchi et al(2006)은 지반 보강 공법에의 스파이럴바(Spiral bar)의 적용성에 관한 검토를 하였으며, Hirata et al(2003, 2005)은 스파이럴 앵커(Spiral anchor)에 의한 시추공 내의 팽창압의 분포와 인발시험에 의한 스파이럴 볼트(Spiral bolt)와 지반과의 상호작용에 의한 스파이럴 볼트의 축방향 저항력 산정에 대한 연구, 강성승 외(2005)는 새로운 지보재로 개발된 스파이럴바의 축방향 저항력 산정법에 대한 연구를 수행하였고, 강성승 외(2006)는 인장시험에 의한 스파이럴 볼트의 파괴거동에 관한 연구를 수행하였다. 조영동 외(2009)는 록 볼트 및 스파이럴 볼트의 지보특성에 관한 연구, 강성승 외(2010)는 스파이럴 볼트 변형률계를 이용한 연약지반기초 및 암반사면 거동 계측에 대한 연구를 수행하였다.

우리나라는 산업 발전과 함께 도심지 개발로 인한 사면 및 옹벽 구조물이 기하급수적으로 증가 하고 있는 추세이다. 아울러 주변 도로 건설에 따른 도로사면 및 도로 옹벽구조물이 증가 하고 있다. 이에 따른 지반구조물의 증가와 함께 구조물의

붕괴사고 또한 증가하고 있다. 따라서 지반 구조물의 안정성을 위한 구조물의 거동 파악이 중요한 문제이다.

본 연구에서는 기존의 지반 거동 계측기와는 다른 형태의 스파이럴 볼트 변형률계를 제안하고 연약지반 및 암반사면의 거동계측에 적용 가능한지를 살펴보고자 한다. 기존 연구결과에 의하면 스파이럴 볼트 변형률계는 높은 인발 저항특성을 가지고 있어 지반 보강용으로 이용될 수 있으며 구조적 유연성을 가지고 있어 지반의 거동 측정에 유용하다고 보고되고 있다(강성승 외, 2005). 따라서 스파이럴 볼트 변형률계를 이용하면 대상 지반의 보강과 지반의 거동 측정이 함께 이루어지는 효과가 있다.

본 연구를 수행하기 위하여, 첫째 스파이럴 볼트 변형률계의 휨과 압축 특성을 검토하기 위한 실내시험을 실시하였다. 둘째, 스파이럴 볼트 변형률계를 현장의 지반구조물에 직접 적용하여 일정기간 동안 지반의 거동 상태를 측정하고 그 결과를 분석하였다. 셋째, 지반구조물의 거동 양상을 모델화하여 그 안정성을 평가한다. 마지막으로 이들 결과를 바탕으로 스파이럴 볼트 변형률계가 지반구조물의 거동 계측 도구로서 적절하게 이용될 수 있는지의 가능성을 검토 하고자 본 연구를 수행하였다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 스파이럴 볼트

스파이럴 볼트는 최근에 개발된 새로운 형태의 지보재로서, 판상의 강재에 양 단면을 고정시킨 후 축회전 시켜 만든 나선형 형태의 지보재이다. 금속재료인 연강이나 고강도 강재를 사용하여 쉽게 가공할 수 있고 길이( $l$ ), 폭( $d$ ), 두께( $t$ ) 등에 따라 여러 크기로 가공할 수 있다. Figure 2.1은 스파이럴 볼트의 모습을 나타낸다.

스파이럴 볼트의 가공 특성상 동판의 축방향에 압축력이 작용하므로 축중심 부근의 두께가 두꺼워지는 반면, 축중심에서 가장 멀리 떨어진 양쪽 가장자리 부분에서는 인장력의 작용으로 인하여 두께가 얇아지는 경향이 있다(Hirata et al., 2003, 2005). 그러므로 동일한 단면 내에 함께 작용하는 압축력과 인장력을 완화시키기 위하여 축방향에 일정한 인장력을 가하면서 비틀림 가공을 수행해야 한다.

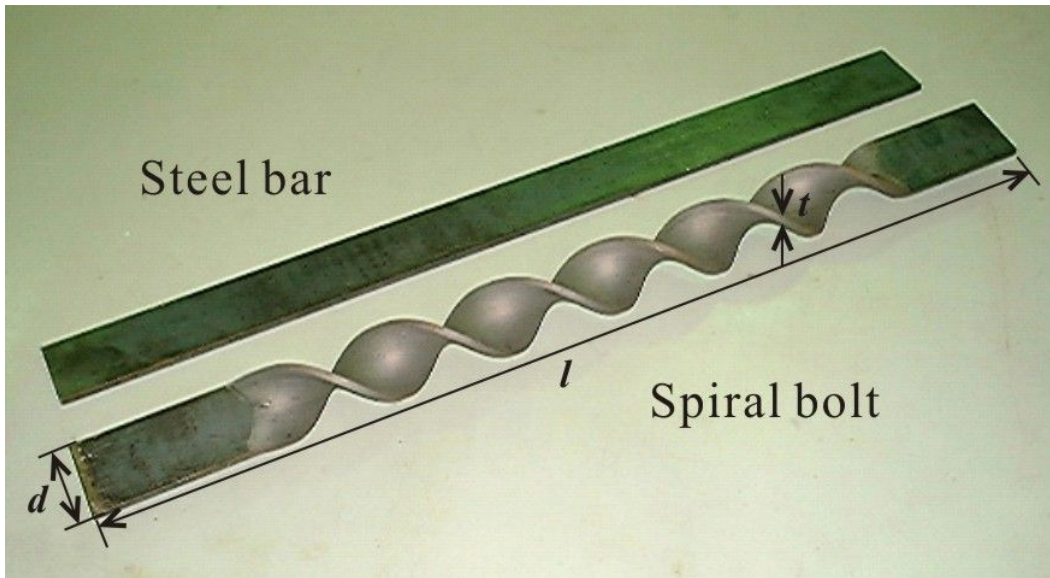


Figure 2.1 View of spiral bolt.

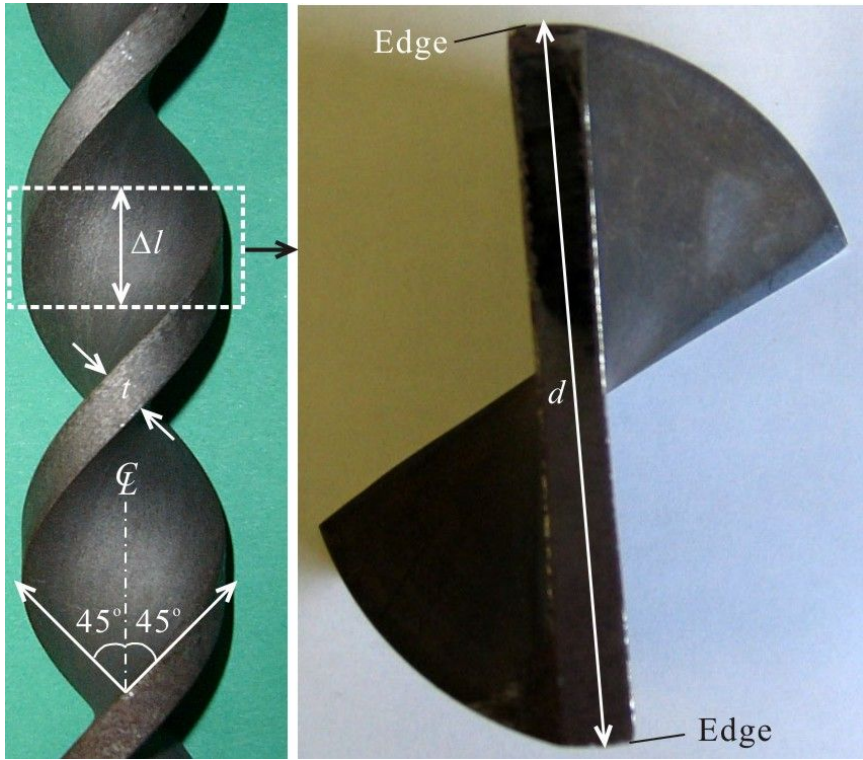


Figure 2.2 Shape of spiral bolt and cross-section.

Figure 2.2는 스파이럴 볼트의 일부분과 이를 확대시켜 나타낸 것이며, 지보재 설치시 효과적으로 작용하는 스파이럴(Spiral)의 이론적 이상각 형성을 위하여 평철에 비틀림을 가하였을 때 축방향과 양쪽 가장자리 부분의 각은 약 45°의 관계를 이룬다(강성승 외, 2005). 또한, 스파이럴 볼트는 단면적 차이가 부착력이나 마찰력에 크게 영향을 미치지 않지만, 회전할 때 발생하는 축방향 저항력을 갖는 것이 특징이다. 연약지반의 경우 천공작업을 하지 않고 스파이럴 볼트를 직접 회전시키면서 지반 내에 곧바로 설치할 수 있기 때문에 주위 지반을 교란시키지 않고 지반과 일체화 시킬 수 있다. 암반과 같은 견고한 지반의 경우 천공작업을 한 후에 스파이럴 볼트를 그라우트와 함께 설치하는데, 고화된 그라우트가 주위 지반과 어느 정도 비슷한 강도를 갖는다면 회전시켜 설치하는 상태와 같은 결과를 기대할 수 있다. 스파이럴 볼트는 외국의 경우 주로 연약지반 보강이나 각종 시설물의 독립기초 대응으로 사용되어지고 있다.

## 2.2 축방향 및 휨 성분 변형률 계산

스파이럴 볼트 변형률계에 대한 압축과 휨 성분을 측정하기 위한 모식도를 나타내면 Figure 2.3과 같다. 축 방향으로 하중이 작용한 경우 스파이럴 볼트 양면에 부착된 변형률 게이지는 동일한 압축 거동을 보이기 때문에 압축 성분은 식 (1)로 계산할 수 있다(Dally and Riley, 1991). 반면, 휨 방향 하중에 의해 휨이 발생한 경우 변형률 게이지는 압축과 인장 거동을 함께 보이기 때문에 휨 성분은 식 (2)로 표현할 수 있다.

$$\epsilon_{compression} = \frac{\epsilon_A + \epsilon_B}{2} \quad (1)$$

$$\epsilon_{bending} = \frac{\epsilon_A - \epsilon_B}{2} \quad (2)$$

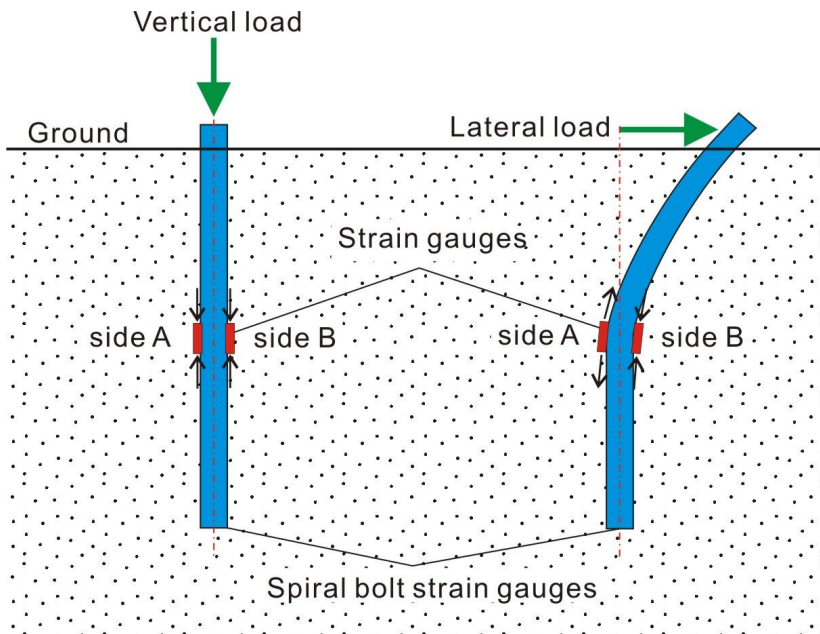


Figure 2.3 Schematic diagram for measurement of ground behavior by vertical and lateral loads using spiral bolt strain gauge.



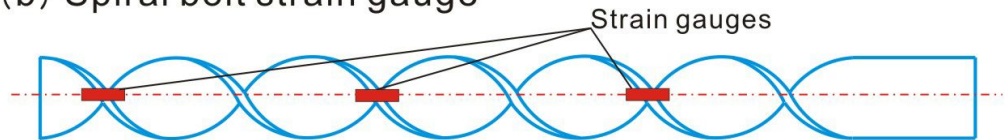
## 2.3 스파이럴 볼트 변형률계 제작 과정

Figure 2.4와 같이 스파이럴 볼트는 장축방향으로 비틀림을 가하여 만든 형상으로서 축력을 작용시킬 때 축 중심으로 균등하게 압축된다. 스파이럴 볼트 각 단면은 일정하게 팽창되지만 축 중심으로부터 멀어질수록 두꺼워진다(Hirata et al., 2005). 따라서 단면 이차 모멘트의 최대와 최소의 비는  $0.82(w/t)^2$ 이 된다(Beer and Johnston, 1992). Figure 2.4 (b)와 같이 휨은 단면 이차 모멘트가 최소가 되는 곳에서 발생하므로 이곳에 변형률 게이지를 부착하면 휨 성분을 효율적으로 측정하는 것이 가능하다.

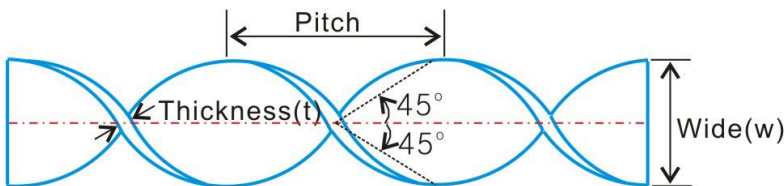
(a) Twisting flat steel bar



(b) Spiral bolt strain gauge



(c) Shape



(d) Section

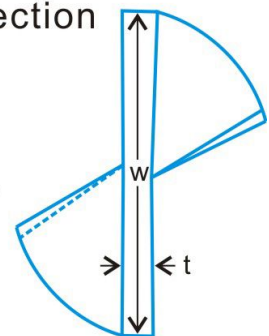
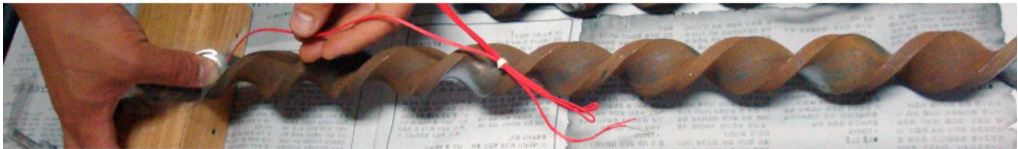


Figure 2.4 Spiral bolt strain gauge. (a) Twisting plat bar, (b) spiral bolt strain gauge, (c) shape and (d) section of spiral bolt.

(a) Surface molding



(b) Strain gauge attach



(c) Using paint coating



(d) Complete product



Figure 2.5 Spiral bolt making process. (a) Surface molding, (b) strain gauge attach, (c) using paint coating, (d) complete product.

Figure 2.5는 스파이럴 볼트 변형률계의 제작 과정을 나타낸다. 첫 번째로 스파이럴 볼트 표면의 녹을 제거한 후 아세톤으로 먼지를 제거 한다. 다음으로 스파이럴 볼트 표면에 변형률 게이지를 부착한 후 1차적으로 테이프를 부착시켜 게이지를 보호한다. 마지막으로 페인트 피복 후 건조시키는 과정으로 제작된다. 연약지반의 경우 스파이럴 볼트 변형률계는 시추공 천공 없이 자체 회전력 만으로 설치가 가능하므로 설치 과정에서 지반과의 마찰로 인한 변형률 게이지 손상 방지를 위하여 페인트를 여러번 덧칠을 하여 건조 시키는 과정을 거친다.

### 3. 실내 시험

#### 3.1 시험방법

실내 시험을 수행하기 위한 스파이럴 볼트 변형률계는 길이 1300mm, 폭 25mm, 두께, 10mm를 사용하였다. 변형률 계지는 고정 면으로부터 스파이럴 볼트 양쪽 표면에 100mm(T1, C1), 350mm(T2, C2), 600mm(T3, C3)의 위치마다 총 6개를 부착 하였다(Figure 3.1).

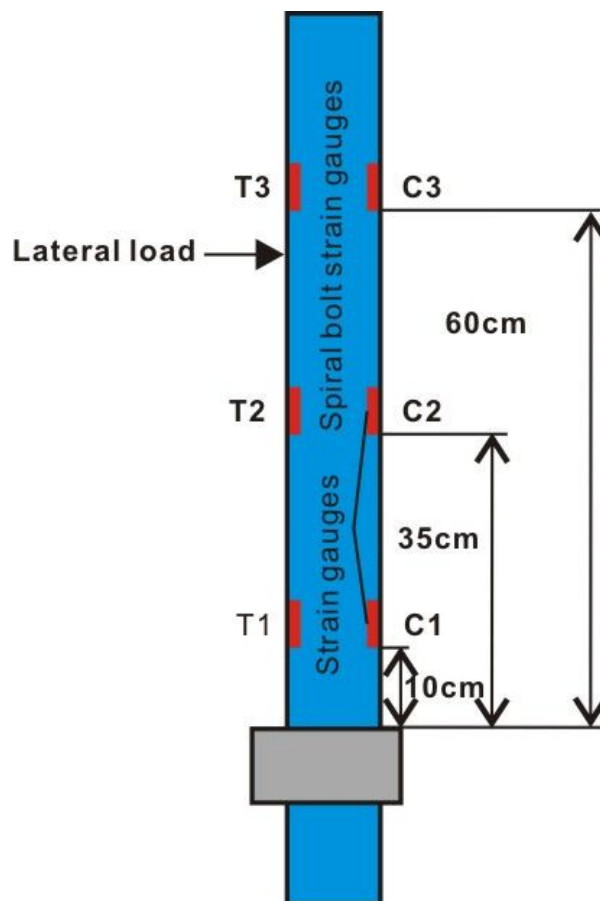


Figure 3.1 Location of strain gauges adhered on spiral bolt strain gauge.

Figure 3.2에서 보는 바와 같이, 스파이럴 볼트 변형률 계를 고정 시킨 후 하중은 Hydraulic cylinder에 Hydraulic hand pump로 압력을 가하였으며, 변위는 변위변환기(Displacement transducer), 압력은 Hydraulic hand pump에 연결된 압력변환기(Pressure transducer)를 이용하여 측정되었다. 이들은 각각 일본 Kyowa사의 U-CAM60A 데이터로거(Data Logger)에 의해 실시간으로 측정된다. 즉, 데이터로거에 연결된 각 변환기를 컴퓨터를 통하여 실시간으로 모니터링을 함으로써 하중과 변위의 상태를 파악하고 측정된 데이터를 저장한 후 그 결과를 분석하였다.

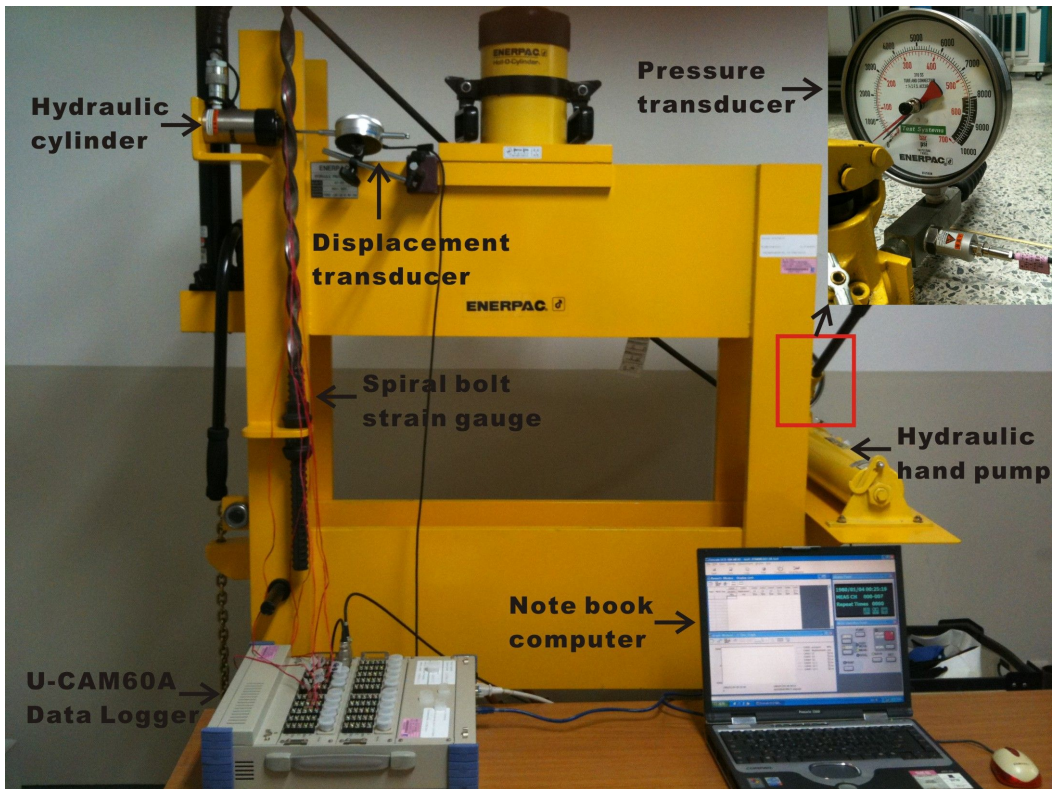


Figure 3.2 Photograph of laboratory shear test.

### 3.2 실내시험 결과

Figure 3.3은 압력에 따른 변위의 변화를 나타낸 그래프이며, 횡방향 하중과 변위의 관계로부터 최소자승법에 의한 회귀분석을 실시하였다. 그 결과 그림에서 보는 바와 같이 측정된 데이터는 99.6%의 높은 신뢰도를 보이며 변위는 하중이 증가할수록 커지는 경향을 보인다.

Figure 3.4는 스파이럴 볼트 변형률계에 횡방향 하중을 가하였을 때 하중에 따른 게이지별 변형률 변화를 나타낸다. 그래프의 변화를 살펴보면 두 그래프는 대칭임을 확인 할 수 있다. 이는 실린더 방향의 변형률게이지(T1, 2, 3)는 인장응력(Figure 3.4(a))을, 반대편 게이지(C1, 2, 3)는 압축응력(Figure 3.4(b))을 받기 때문에 서로 반대되는 양상을 보이는 것이다. 시험을 통해 얻어진 데이터는 Table 3.1로 정리 하였다. 이와 같은 결과를 토대로 현장 적용 가능성을 검토 하였다.

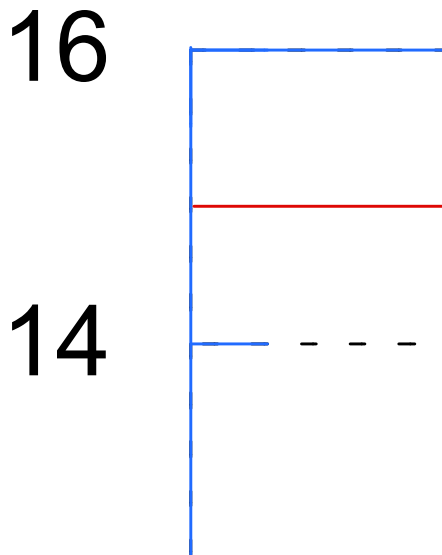


Figure 3.3 Displacement change of spiral bolt strain gauge by lateral load.

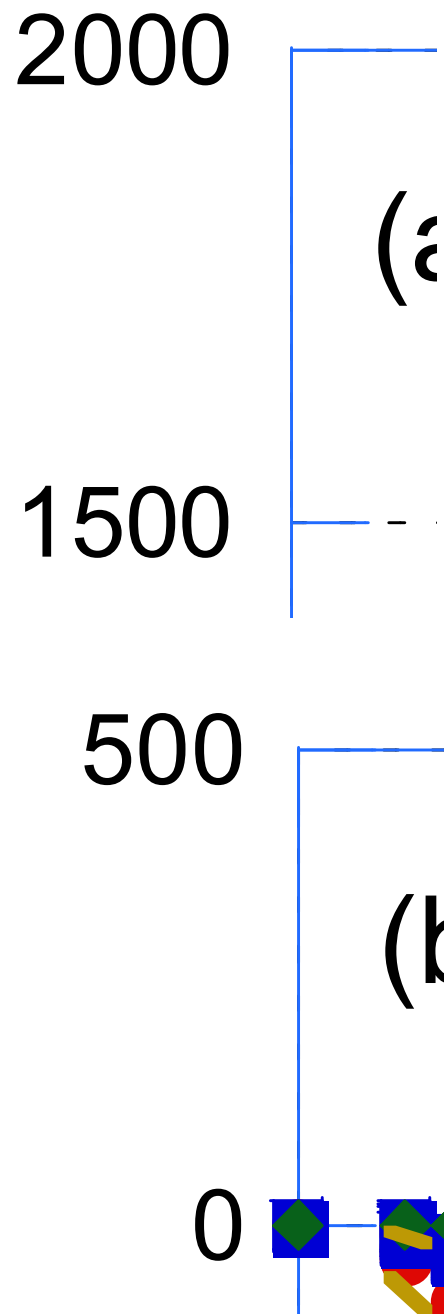


Figure 3.4 Strain changes by bending test of spiral bolt strain gauge.  
 (a) Extension strains and (b) compression strains according to position  
 of each rosette gauge.

Table 3.1 Results laboratory bending test on the T-direction

Test 1	CH000	CH001	CH002	CH003	CH004
CH Name	pressure	displacement	T1	T2	T3
No	MPa	mm	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$
1	0	0	0	-1	-3
2	0.025	0.011	1	-2	-2
3	0.025	0.077	7	3	-1
4	0.025	0.197	23	10	-2
5	0.025	0.208	23	9	-2
6	0.025	0.295	34	14	0
7	0.025	0.306	35	16	-1
8	0.037	0.404	47	20	-1
9	0.037	0.437	50	21	-1
10	0.062	0.634	75	32	-2
11	0.037	0.689	81	35	-1
12	0.037	0.754	89	38	-1
13	0.05	0.787	93	40	-2
14	0.037	0.82	98	42	-3
15	0.05	0.863	102	44	-1
16	0.05	1.18	139	60	-2
17	0.062	1.235	146	64	-2
18	0.05	1.312	154	68	-2
19	0.05	1.355	161	70	-3
20	0.062	1.41	164	74	0
21	0.075	2.263	270	118	-2
22	0.075	2.339	278	124	-1
23	0.1	2.481	298	132	-1
24	0.087	2.656	316	140	-1
25	0.1	2.907	345	153	-1
26	0.1	2.984	354	158	-1
27	0.087	3.017	357	158	-1
28	0.1	3.06	361	162	-2
29	0.1	3.104	368	163	-1
30	0.1	3.148	372	166	-2
31	0.087	3.17	376	167	-1
32	0.1	3.192	377	168	-2
33	0.1	3.213	380	168	-3
34	0.112	3.454	409	182	-1
35	0.112	3.465	409	182	-1
36	0.1	3.465	408	182	-3
37	0.112	3.476	410	182	-3

Table 3.1 Continued

CH	CH000	CH001	CH002	CH003	CH004
CH Name	pressure	displacement	T1	T2	T3
No	MPa	mm	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$
38	0.1	3.487	412	183	-2
39	0.1	3.498	411	182	-2
40	0.1	3.498	414	183	-3
41	0.125	3.891	461	204	-2
42	0.125	3.989	472	209	-2
43	0.125	4.066	480	214	-3
44	0.137	4.164	492	218	-2
45	0.137	4.274	504	224	-2
46	0.137	4.831	570	253	-2
47	0.15	4.875	575	258	-2
48	0.15	4.929	581	259	-3
49	0.15	4.973	585	260	-3
50	0.15	4.995	588	262	-3
51	0.137	5.017	591	264	-3
52	0.15	5.05	595	264	-3
53	0.15	5.082	597	267	-3
54	0.15	5.137	605	269	-3
55	0.15	5.181	611	272	-3
56	0.162	5.257	618	276	-3
57	0.175	6.46	759	339	-2
58	0.212	6.602	778	349	-3
59	0.212	6.809	802	360	-3
60	0.212	7.006	826	371	-3
61	0.2	7.148	840	375	-2
62	0.225	7.214	851	380	-3
63	0.2	7.268	854	382	-3
64	0.2	7.258	853	381	-3
65	0.187	7.279	854	379	-4
66	0.187	7.268	854	382	-3
67	0.25	7.421	874	391	-2
68	0.225	8.482	997	446	-2
69	0.237	9.028	1061	475	-2
70	0.237	9.039	1060	475	-3
71	0.25	9.116	1071	481	-2
72	0.262	9.181	1078	484	-2
73	0.262	9.236	1083	486	-2
74	0.25	9.29	1089	488	-3



Table 3.1 Continued

CH	CH000	CH001	CH002	CH003	CH004
CH Name	pressure	displacement	T1	T2	T3
No	MPa	mm	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$
75	0.262	9.673	1135	509	-3
76	0.287	10.569	1237	557	-2
77	0.3	10.679	1251	563	-3
78	0.325	11.903	1392	627	-3
79	0.337	11.957	1398	628	-3
80	0.35	12.788	1493	672	-3
81	0.362	12.854	1499	674	-4
82	0.35	12.897	1506	677	-4
83	0.362	12.974	1513	682	-1
84	0.362	13.007	1518	684	-3
85	0.375	13.061	1526	687	-4
86	0.387	13.641	1592	717	-3
87	0.375	13.728	1600	720	-3
88	0.375	13.794	1608	724	-4
89	0.387	13.979	1630	734	-4
90	0.375	14.023	1633	736	-3
91	0.387	14.122	1645	741	-3
92	0.4	14.198	1655	745	-2
93	0.437	14.941	1740	785	-3
94	0.425	15.127	1761	794	-3
95	0.425	15.269	1778	801	-2
96	0.412	15.357	1787	806	-3

Table 3.2 Results laboratory bending test on the C-direction

Test 1	CH000	CH001	CH005	CH006	CH007
CH Name	pressure	displacement	C1	C2	C3
No	MPa	mm	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$
1	0	0	-3	-3	-2
2	0.025	0.011	-4	-3	-1
3	0.025	0.077	-10	-6	-2
4	0.025	0.197	-24	-9	-2
5	0.025	0.208	-23	-9	0
6	0.025	0.295	-32	-13	-1
7	0.025	0.306	-36	-14	-1
8	0.037	0.404	-48	-19	-1
9	0.037	0.437	-51	-19	0
10	0.062	0.634	-79	-29	-1
11	0.037	0.689	-82	-29	0
12	0.037	0.754	-87	-33	-1
13	0.05	0.787	-93	-35	0
14	0.037	0.82	-97	-35	0
15	0.05	0.863	-101	-39	-1
16	0.05	1.18	-143	-53	-1
17	0.062	1.235	-149	-55	-2
18	0.05	1.312	-156	-59	-2
19	0.05	1.355	-164	-60	-2
20	0.062	1.41	-169	-63	0
21	0.075	2.263	-272	-100	-2
22	0.075	2.339	-282	-103	-1
23	0.1	2.481	-306	-111	-1
24	0.087	2.656	-320	-117	-1
25	0.1	2.907	-349	-128	-1
26	0.1	2.984	-359	-129	-1
27	0.087	3.017	-361	-131	-2
28	0.1	3.06	-365	-133	-1
29	0.1	3.104	-372	-134	-2
30	0.1	3.148	-376	-137	-1
31	0.087	3.17	-380	-137	-2
32	0.1	3.192	-380	-137	-1
33	0.1	3.213	-384	-139	-1
34	0.112	3.454	-413	-149	-2
35	0.112	3.465	-413	-150	-2
36	0.1	3.465	-414	-149	-1
37	0.112	3.476	-416	-150	-3

Table 3.2 Continued

CH	CH000	CH001	CH005	CH006	CH007
CH Name	pressure	displacement	C1	C2	C3
No	MPa	mm	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$
38	0.1	3.487	-416	-150	-2
39	0.1	3.498	-417	-150	-2
40	0.1	3.498	-419	-150	-2
41	0.125	3.891	-465	-169	-2
42	0.125	3.989	-478	-173	-1
43	0.125	4.066	-486	-175	-2
44	0.137	4.164	-499	-180	-2
45	0.137	4.274	-511	-185	-2
46	0.137	4.831	-577	-208	-2
47	0.15	4.875	-582	-210	-2
48	0.15	4.929	-588	-213	-3
49	0.15	4.973	-595	-215	-3
50	0.15	4.995	-597	-216	-1
51	0.137	5.017	-599	-217	-3
52	0.15	5.05	-603	-218	-3
53	0.15	5.082	-605	-220	-3
54	0.15	5.137	-612	-223	-3
55	0.15	5.181	-619	-225	-3
56	0.162	5.257	-628	-228	-2
57	0.175	6.46	-768	-277	-4
58	0.212	6.602	-790	-287	-4
59	0.212	6.809	-811	-296	-4
60	0.212	7.006	-837	-303	-4
61	0.2	7.148	-849	-309	-3
62	0.225	7.214	-860	-312	-4
63	0.2	7.268	-862	-313	-4
64	0.2	7.258	-861	-315	-6
65	0.187	7.279	-863	-314	-4
66	0.187	7.268	-863	-313	-3
67	0.25	7.421	-884	-323	-5
68	0.225	8.482	-1005	-366	-3
69	0.237	9.028	-1066	-388	-4
70	0.237	9.039	-1068	-389	-3
71	0.25	9.116	-1078	-393	-5
72	0.262	9.181	-1086	-394	-4
73	0.262	9.236	-1091	-397	-4
74	0.25	9.29	-1095	-399	-3

Table 3.2 Continued

CH	CH000	CH001	CH005	CH006	CH007
CH Name	pressure	displacement	C1	C2	C3
No	MPa	mm	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$
75	0.262	9.673	-1142	-415	-5
76	0.287	10.569	-1242	-452	-5
77	0.3	10.679	-1257	-459	-5
78	0.325	11.903	-1398	-511	-6
79	0.337	11.957	-1404	-513	-5
80	0.35	12.788	-1498	-547	-6
81	0.362	12.854	-1503	-552	-7
82	0.35	12.897	-1509	-553	-7
83	0.362	12.974	-1518	-555	-6
84	0.362	13.007	-1522	-557	-6
85	0.375	13.061	-1529	-560	-7
86	0.387	13.641	-1597	-584	-6
87	0.375	13.728	-1605	-587	-7
88	0.375	13.794	-1611	-589	-7
89	0.387	13.979	-1633	-598	-7
90	0.375	14.023	-1638	-599	-6
91	0.387	14.122	-1648	-606	-7
92	0.4	14.198	-1660	-608	-6
93	0.437	14.941	-1746	-640	-7
94	0.425	15.127	-1763	-647	-6
95	0.425	15.269	-1780	-654	-8
96	0.412	15.357	-1787	-655	-6

## 4. 스파이럴 볼트 변형률계의 적용

### 4.1 연약지반 기초

#### 4.1.1 연약지반 기초 거동 측정

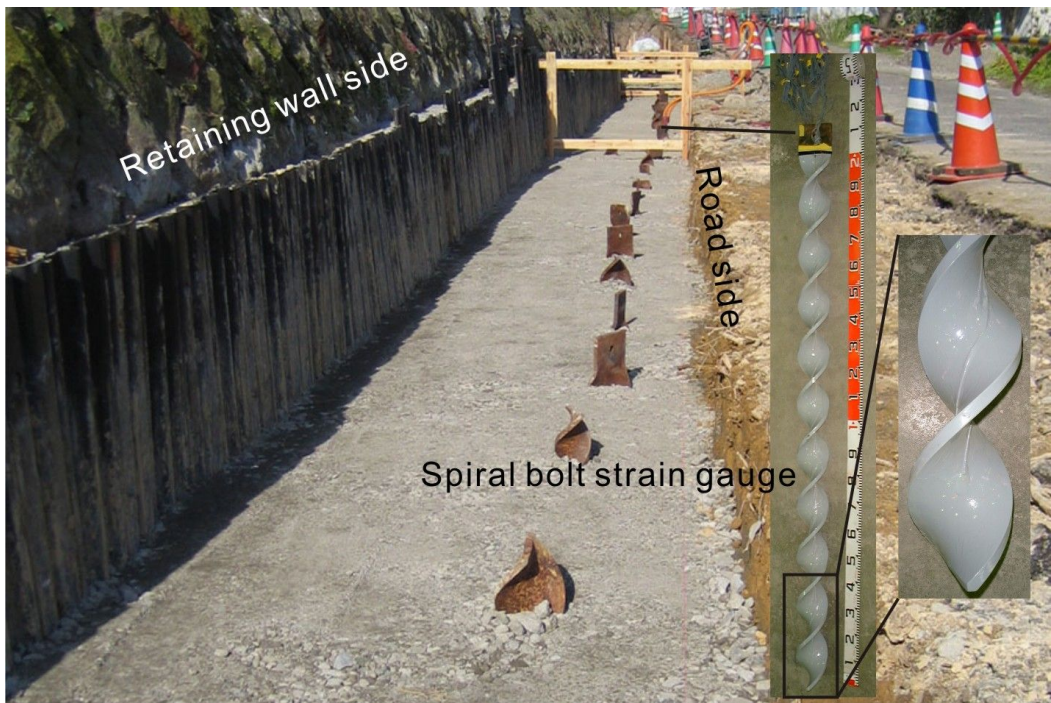


Figure 4.1 Photograph of spiral bolt stain gauge installed on soft ground foundation.

콘크리트 옹벽이 설치된 연약지반기초의 지지력을 보완하면서 기초의 변형거동을 측정할 수 있는 스파이럴 볼트 변형률계를 설치하였다(Figure 4.1). 이 연약지반기초는 모래가 혼합된 점토질 지반으로서 N값 3에 해당된다. 측정 대상 지반이 연약지반기초이기 때문에 스파이럴 볼트 변형률계는 연약지반에 시추공을 천공하지 않고 자체 회전력만으로 설치가 가능하였다. 이러한 경우 스파이럴 볼트 표면에 부착된 변형률 게이지는 설치 과정에서 회전에 의한 지반과의 마찰 때문에 변형률

게이지가 손상될 가능성이 있으므로 스파이럴 볼트 변형률계에 페인트를 덧칠해 변형률 게이지를 보호하도록 하였다. 연약지반기초에 설치된 스파이럴 볼트 변형률계의 크기는 길이 2000mm, 폭 150mm, 두께 16mm로서 스파이럴 볼트 양쪽 표면에 187.5mm마다 총 20개의 변형률 게이지를 부착시켰다. 연약지반기초 거동을 측정하기 위한 전체적인 모식도를 나타내면 Figure 4.2와 같다.

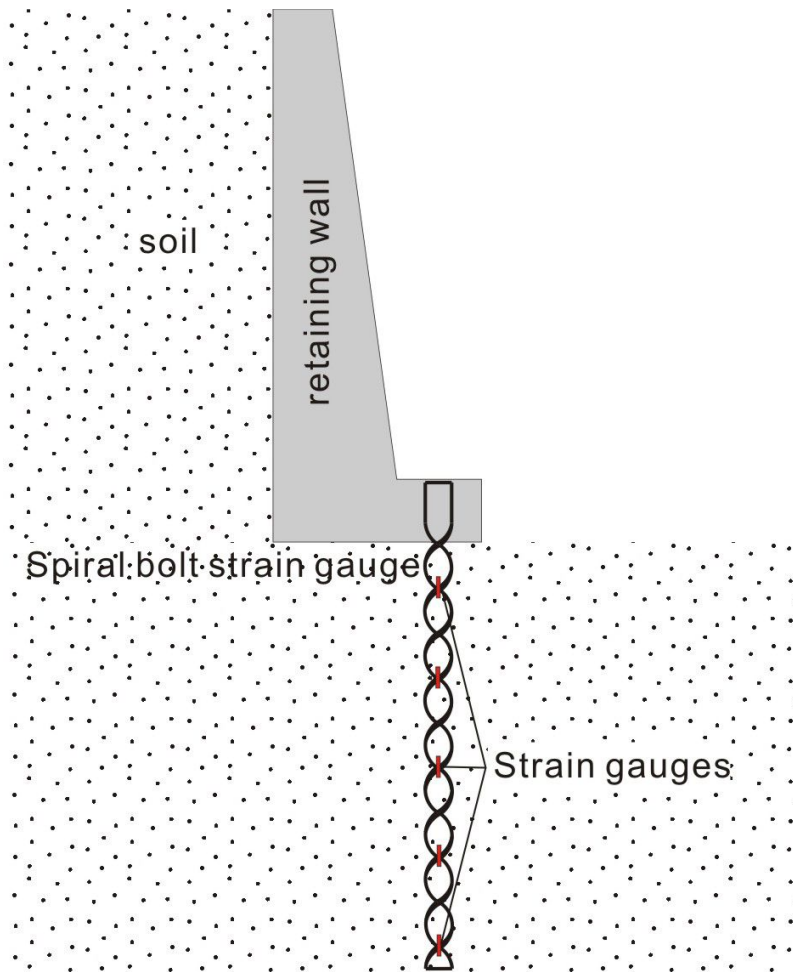


Figure 4.2 Schematic diagram for measurement of soft ground foundation behavior.

## 4.1.2 측정 결과

연약지반기초에 대한 스파이럴 볼트 변형률계의 변형률 측정은 580일간 1~3개월 간격으로 수행되었다. 변형률 게이지 A는 옹벽측 방향, B는 도로측 방향을 각각 나타낸다. Figure 4.3은 시간에 따른 깊이별 변형률 측정 결과를 보여준다.

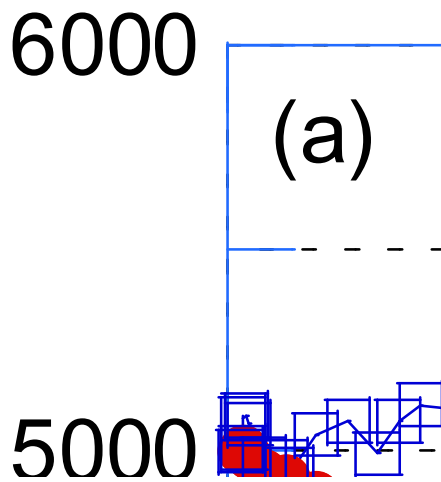


Figure 4.3 Strain change according to elapsed time. (a) Strain change of retaining wall side A and road side B, (b) strain change of compression component, (c) strain change of bending component.

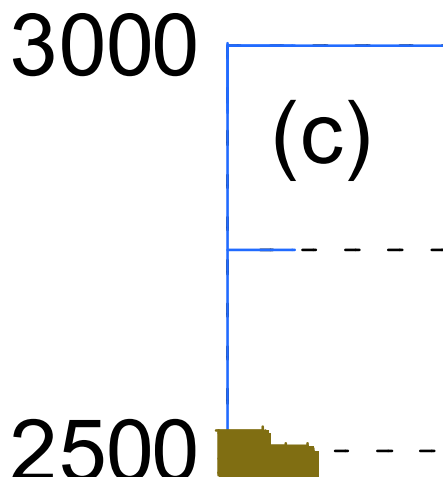
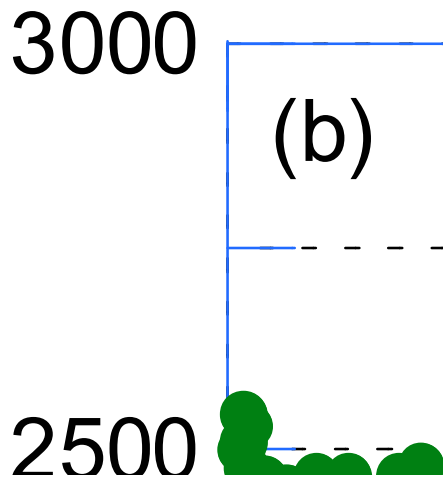


Figure 4.3 Continued.



그림 내 숫자는 스파이럴 볼트 변형률계의 선단부분에서 앞부분까지 부착된 변형률 게이지의 번호를 나타낸다. Figure 4.3(a)는 옹벽측 변형률( $\epsilon_A$ )과 도로측 변형률( $\epsilon_B$ ) 측정 결과, Figures 4.3(b)와 (c)는 축 방향 성분( $(\epsilon_A + \epsilon_B)/2$ )과 휨 방향 성분( $(\epsilon_A - \epsilon_B)/2$ )을 각각 나누어서 나타낸 것이다.

측정 결과를 살펴보면 변형률 계측 시작일로부터 시작하여 30일 까지 불안정한 경향을 보이다가 이후에는 안정한 상태를 보여주고 있다. 여기서 초기에 불안정한 계측 값을 나타내는 이유는 스파이럴 볼트 변형률계의 설치와 동일한 시일에 주변에서 콘크리트 타설 공사가 진행되었던 것이 원인으로 판단된다. 어느 정도 안정을 되찾은 이후에는 3개월 단위로 계측을 실시하였다.

측정 초반(0~200일) 이후 특별한 변화가 관찰 되지 않다가 변형률 측정 개시 후 400일이 경과한 시점에서 0~40cm 깊이의 윗부분과 100~140cm의 중간부분에서 불안정한 상태를 보여 지반에 변화가 있었음을 암시한다. 이렇게 변화가 일어난 원인을 살펴보면 이 시기에 강수량이 많았으며, 이로 인해 지반이 다소 이완되었기 때문인 것으로 판단된다. 또한 이 시기에 진도 1~2의 지진이 자주 발생하여 지반을 불안정하게 한 것도 하나의 요인으로 분석된다.

하지만, 이 연약지반 기초위에 세워진 콘크리트 옹벽구조물에 의한 변형률은 최대  $200 \times 10^{-6}$  정도로서 옹벽구조물에 영향을 미칠만한 크기는 아닌 것으로 판단됨으로 옹벽구조물은 안정한 상태를 유지할 것으로 사료 된다. 이러한 결과를 고려하여 지반거동에 의한 스파이럴 볼트 변형률계의 변화양상을 추정하여 도식적으로 나타내면 Figure 4.4와 같다.

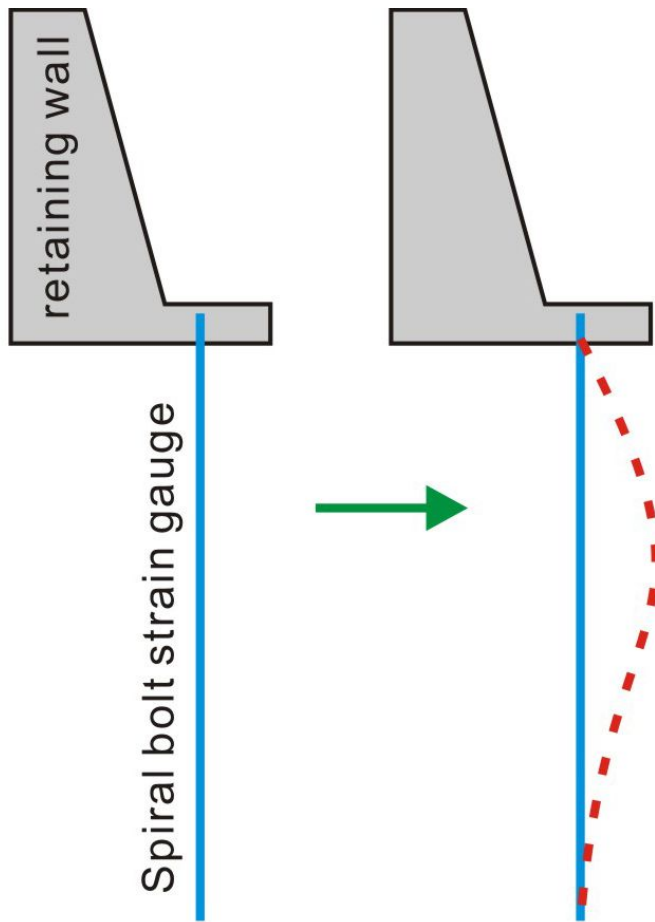


Figure 4.4 Estimation of soft ground foundation behavior.

## 4.2 암반사면

### 4.2.1 암반사면 거동 측정

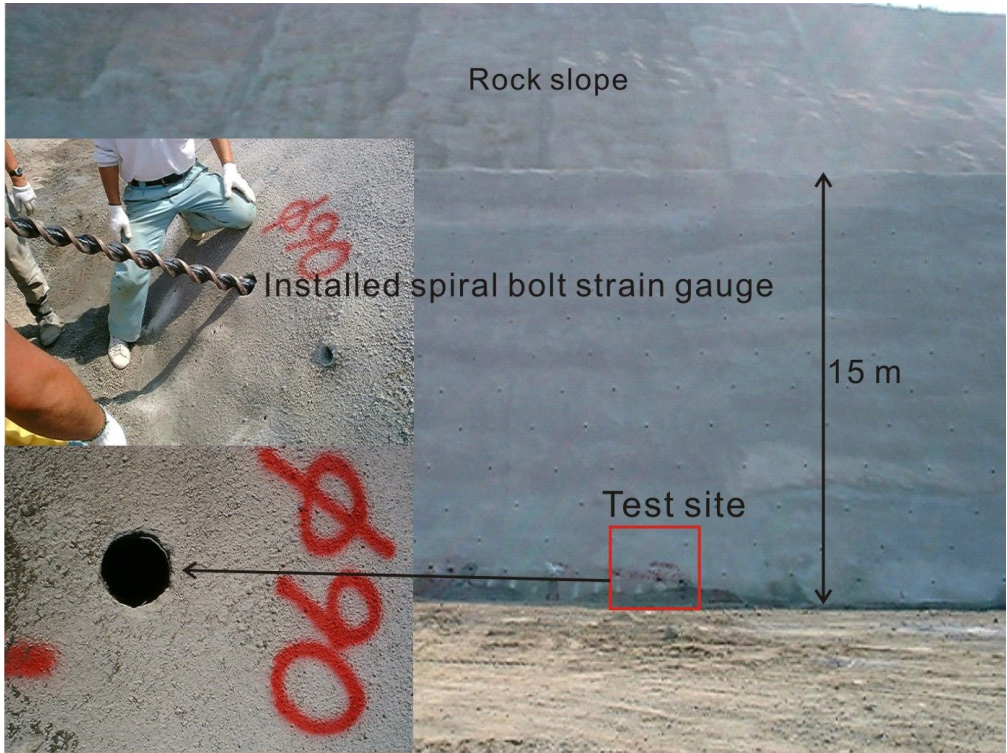


Figure 4.5 Photograph of spiral bolt strain gauge installed on rock slope of limestone mine.

점관암으로 구성된 암반사면 내에 스파이럴 볼트 변형률계를 설치하여 암반사면의 거동을 측정하였다(Figure 4.5). 이 암반사면의 크기는 1단의 높이가 15m로서 총 2단으로 이루어져 있으며, 사면의 경사각은  $50^{\circ}$ 의 급경사를 이루며, 스파이럴 볼트 변형률계는 암반사면에 대해 수평면으로부터  $30^{\circ}$ 로 설치하였다(Figure 4.6). 여기에 사용된 스파이럴 볼트 변형률계의 크기는 길이 5500mm, 폭 150mm, 두께 19mm이다. 변형률 계이지는 암반사면 표면으로부터 스파이럴볼트 양쪽 표면에 600mm(P1), 1200mm(P2), 1800mm(P3), 2400mm(P4), 3300mm(P5), 4200mm(P6), 5200mm(P7) 위치마다 총 14개를 부착하였다(Figure 4.7).

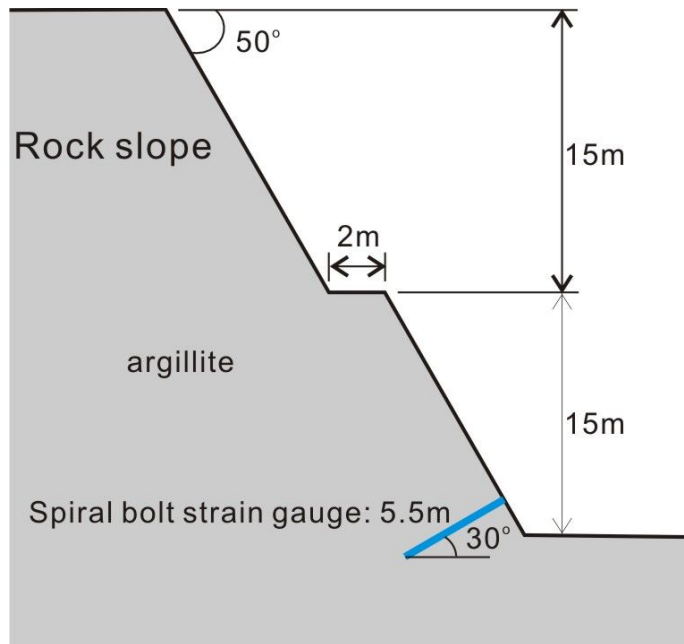


Figure 4.6 Schematic diagram for measurement of rock slope behavior.

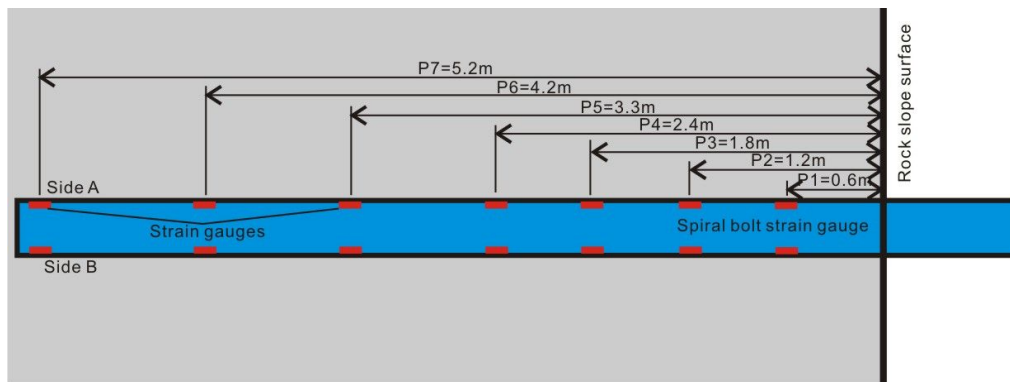


Figure 4.7 Location of strain gauges adhered on spiral bolt strain gauge.

암반사면 내에 스파이럴 볼트 변형률계를 설치하기 위하여 시추공을 굴착하고 스파이럴 볼트 변형률계를 삽입한 후 시멘트 모르타르를 주입시켜 고정시켰다. 이 암반사면으로부터 150m 떨어진 곳에 석회석 광산이 위치하고 있으며 발파에 의한 채굴작업이 이루어지고 있다(Figure 4.8).

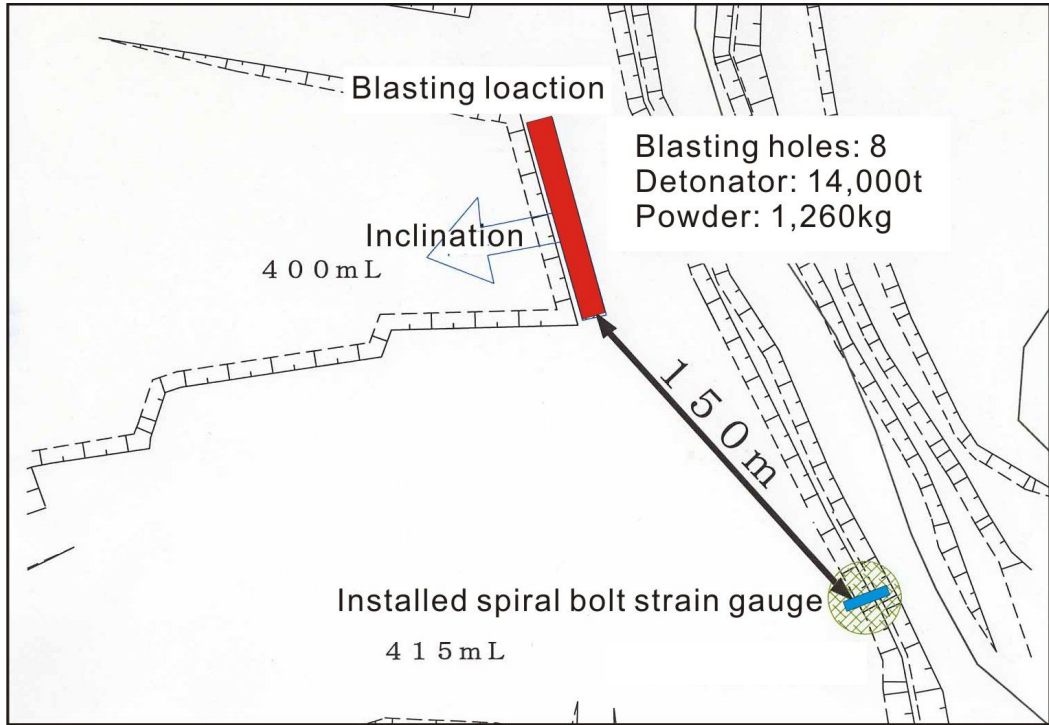


Figure 4.8 Blasting location for excavation of limestone mine and installed spiral bolt strain gauge.

## 4.2.2 측정 결과

Figure 4.9는 스파이럴 볼트 변형률계를 설치한 후 160일 동안 계측된 깊이별 시간에 따른 변형률을 보여주고 있다. 변형률은 암반사면 표면(P1)으로부터 3.3m(P5)까지 일정하게  $200 \times 10^{-6}$  전후의 신장상태를 나타내 암반사면 표면이 앞으로 밀려나는 경향을 보인다. 반면, 4.2m(P6) 위치에서 큰 변화가 나타나 5.2m(P7) 위치에서는 압축상태를 보였다.

Figure 4.9(b) 와 (c)는 축 방향 성분과 휨 성분으로 나누어 나타낸 것이다. 휨 성분을 살펴보면, P6 위치 이외는 큰 변화가 관찰되지 않아 다른 부분에서는 스파이럴 볼트 변형률계에 휨 현상이 발생할 가능성은 없는 것으로 판단된다.

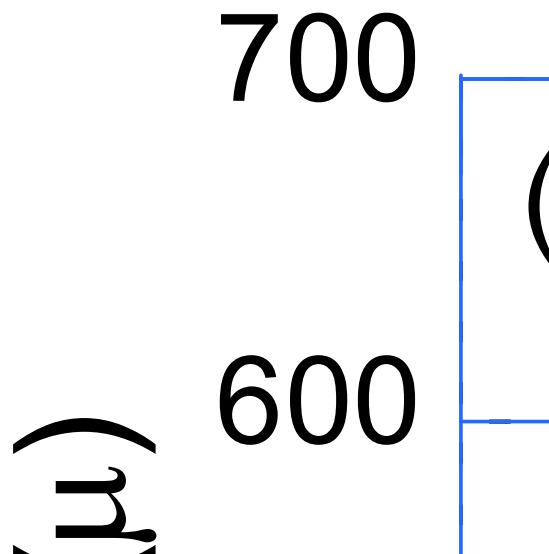


Figure 4.9 Strain change according to elapsed time. (a) Strain change of sides A and B, (b) strain change of compression component, (c) strain change of bending component.

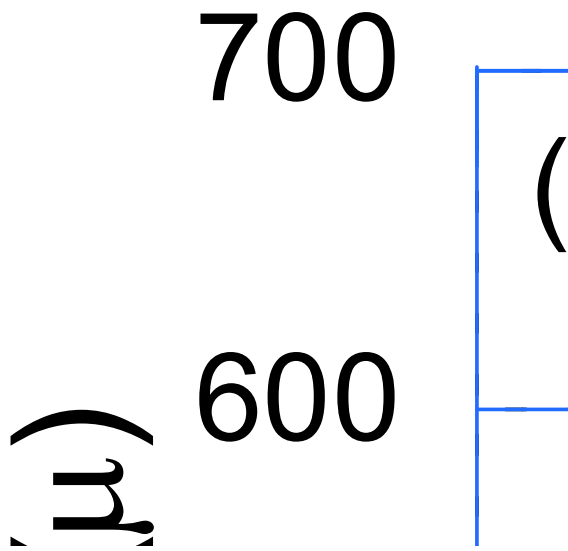
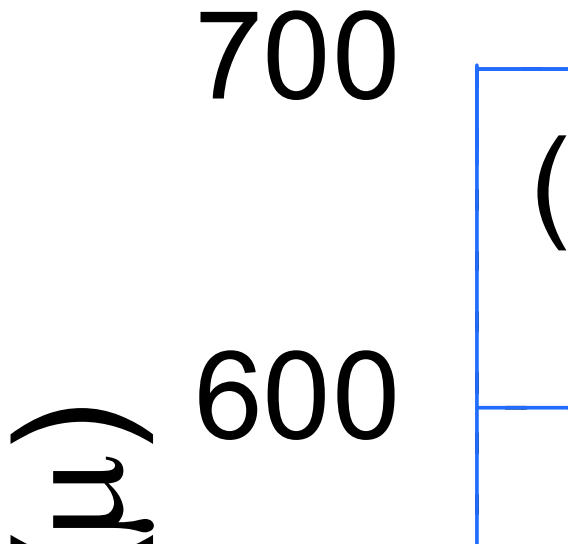


Figure 4.9 Continued.

P6 위치에서의 변형률 변화 상태를 자세히 살펴보면, 휨 변형률은 변형률 측정 초기부터 50일까지는 급격히 증가하다, 50일부터 100일까지 급격히 감소하고, 그 이후에는 거의 일정함을 나타냈다. 160일간의 변형률 측정결과를 변형률 변화 상태에 따라 기간 I: 0~50일, 기간 II: 50~100일, 그리고 기간 III: 100~160일 등으로 나누어 살펴보면 다음과 같다.

기간 I인 0~50일 사이에는 사면이 전체적으로 위로 밀려지는 신장 상태를 보이는데, 이는 측정 사면과 150m 떨어진 곳에 위치한 석회석 광산의 채굴발파 작업에 의한 영향으로 판단된다. 하지만, 5m이상의 심도에서는 거의 변화가 없는 안정한 상태에 있음을 알 수 있다.

기간 II에 해당하는 50~100일 사이의 경우, P6 위치에서 변형률의 변화가 크게 나타나는 것을 볼 수 있는데, 이러한 이유는 굴착 영역이 측정 사면에 근접하기 때문으로 그 부근에서 스파이럴 볼트 변형률계에 휨을 발생시켰던 것으로 사료된다. 특히, 굴착에 의한 영향이 P6 위치에 가장 크게 미쳤던 것으로 판단된다.

마지막으로 100~160일 사이의 변형률 변화 상태를 살펴보면, P6 위치를 제외한 다른 곳의 변형률은 안정한 상태를 유지하는 것으로 나타났다. 이것은 화약발파로 인한 굴착의 영향이 P6 위치에 계속 미치고 있으며, 그 이외의 곳에서는 미약함을 의미한다. 이 암반사면 거동의 변형률 변화 크기를 고려해 보면 현 상태가 사면 붕괴를 일으킬만한 상황은 아닌 것으로 판단된다. 이상의 변형률의 변화 상태 결과로부터 암반사면 거동에 의한 스파이럴 볼트 변형률계의 변형형태를 추정하여 도식적으로 나타내면 Figure 4.10과 같다.

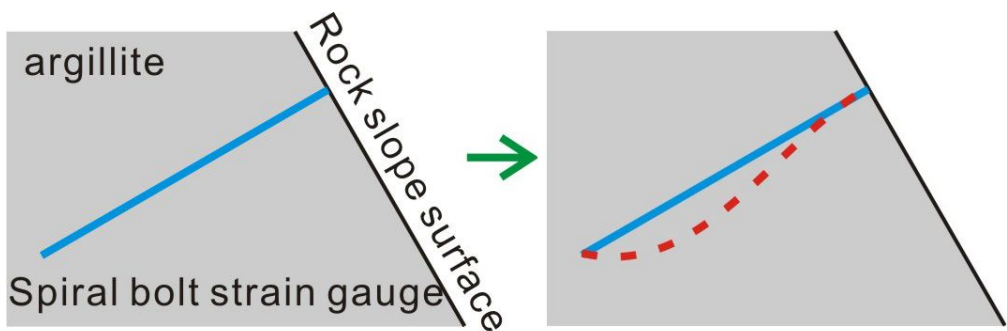


Figure 4.10 Estimation of rock slope behavior.



## 4.3 응벽사면

### 4.3.1 응벽사면 거동 측정

○○대학교 제2기숙사 신축공사현장의 기숙사 건물 증축에 따른 지반의 변화를 관찰하기 위해 응벽사면에 스파이럴 볼트 변형률계를 설치하였다. 측정을 위한 스파이럴 볼트 변형률계를 설치할 당시, 공사 진행상황은 기숙사 건물 1층 콘크리트 타설과 2층 바닥 철근 공사 및 거푸집 설치가 진행 중이었다(Figure 4.11).



Figure 4.11 Photograph of construction site.

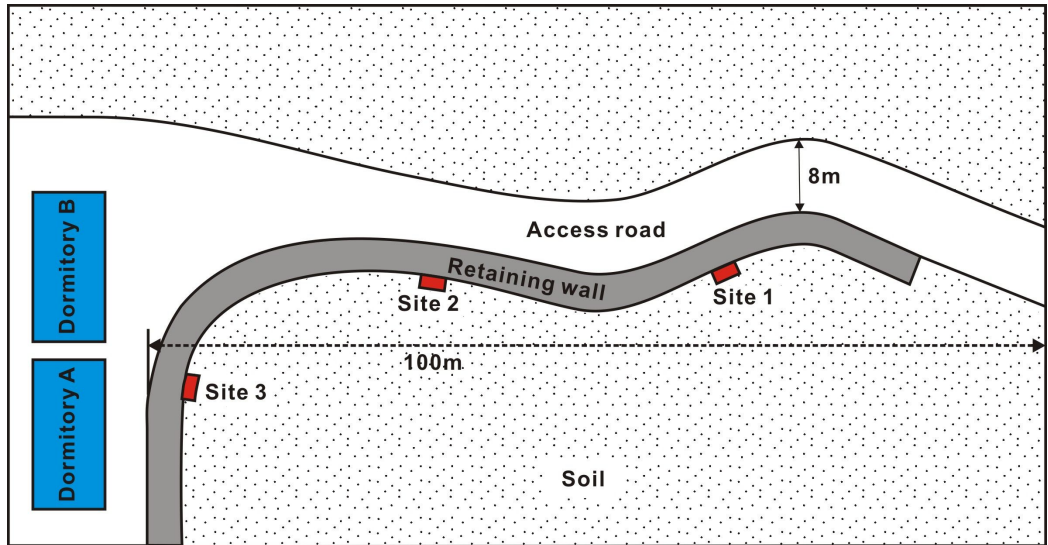


Figure 4.12 Location of spiral bolt strain gauge installed into retaining wall(Site 1, Site 2, Site 3).

스파이럴 볼트 변형률계는 옹벽의 시점인 기숙사 진입로 입구(Site 1), 옹벽 중간 부분(Site 2), 기숙사 건물 아래(Site 3)까지 총 3곳에 설치하였다. 옹벽의 길이는 진입로에서부터 기숙사 건물 아래까지 100m이며 진입로의 폭은 8m이다(Figure 4.12). 이 옹벽 사면의 크기는 1단의 높이가 4.7m, 2단의 높이가 3.0m로서 총 2단으로 이루어져 있으며, 1단과 2단 사이의 거리는 1.2m이다. 옹벽의 경사각은  $90^{\circ}$ 이며, 스파이럴 볼트 변형률계는 옹벽에 대해 평행하도록 지표면으로부터 수직으로 설치하였다(Figure 4.13). 여기에 사용된 스파이럴 볼트 변형률계의 크기는 길이 930mm, 폭 30mm, 두께 10mm로 Site 1, Site 2, Site 3모두 동일한 크기의 스파이럴 볼트 변형률계를 사용하였다. 변형률 계이지는 지표면으로부터 스파이럴 볼트 한쪽 표면에 300mm(G1, G2, G3), 800mm(G1-1, G2-1, G3-1)의 위치마다 각각 1개씩 부착하였으며, 변형률 계이지의 부착 면이 옹벽을 향하도록 설치하였다(Figure 4.14). Figure 4.15는 Site 2에 스파이럴 볼트 변형률계를 설치하는 모습이다. Figure 4.15에서 보이는바와 같이 스파이럴 볼트 변형률계는 대상 지반이 연약지반이기 때문에 자체 회전력만으로 설치가 가능하였다.

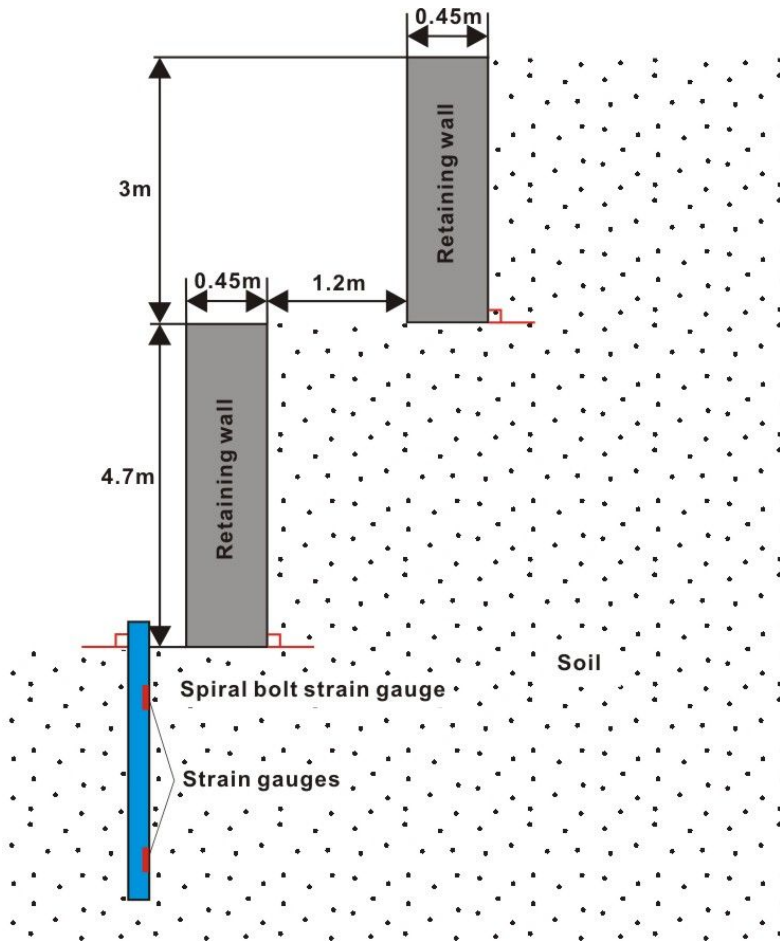


Figure 4.13 Schematic diagram of cross-section for measuring behavior of retaining wall.

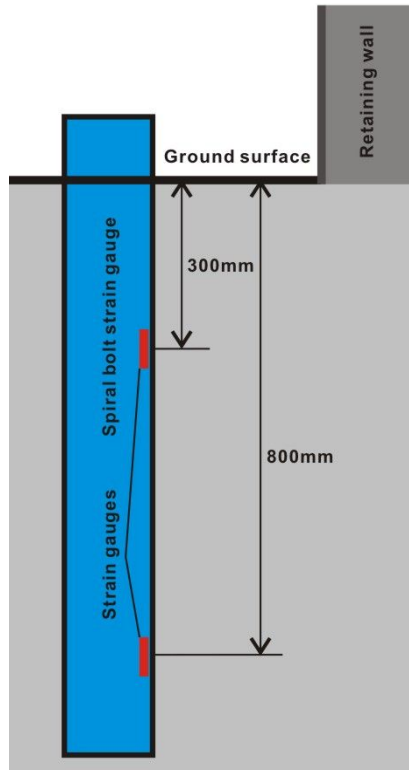


Figure 4.14 Location of strain gauges adhered on spiral bolt strain gauge.



Figure 4.15 Photograph of spiral bolt stain gauge installed on Site B.

### 4.3.2 측정 결과

옹벽사면에 대한 스파이럴 볼트 변형률계의 측정은 약 90일(2009년 7월 8일 ~ 2009년 10월 1일) 동안 1~6일 간격으로 수행 되었다. Figure 4.16은 각 위치마다 설치된 스파이럴 볼트 변형률계의 게이지별 변형률 변화를 나타낸다. Figure 4.16 (e)와, (f)는 기숙사 건물 밑에 위치한 옹벽사면(Site 3)에 설치한 스파이럴 볼트 변형률계(G3, G3-1)의 변형률 변화 양상을 나타내며, 이곳은 성토 작업 및 건물 외벽 공사와 낙석 등 Site 3주변의 공사 진행과정에 있어서 사고 위험이 있을 수 있다는 시공사측 판단으로 측정이 불가피 하였다. Table 4.1은 측정 기간 동안 기록한 변형률과 공사 진행 상황, 날씨 등을 기록한 것이다.

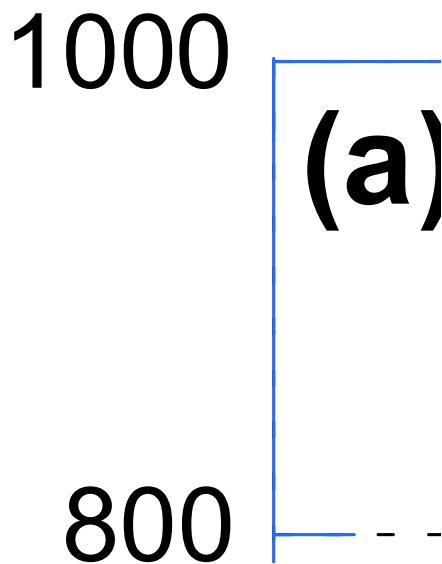


Figure 4.16 Strain change according to elapsed time. (a) Strain change of G1, (b) strain change of G1-1, (c) strain change of G2, (d) strain change of G2-1, (e) strain change of G3, (f) strain change of G3-1.

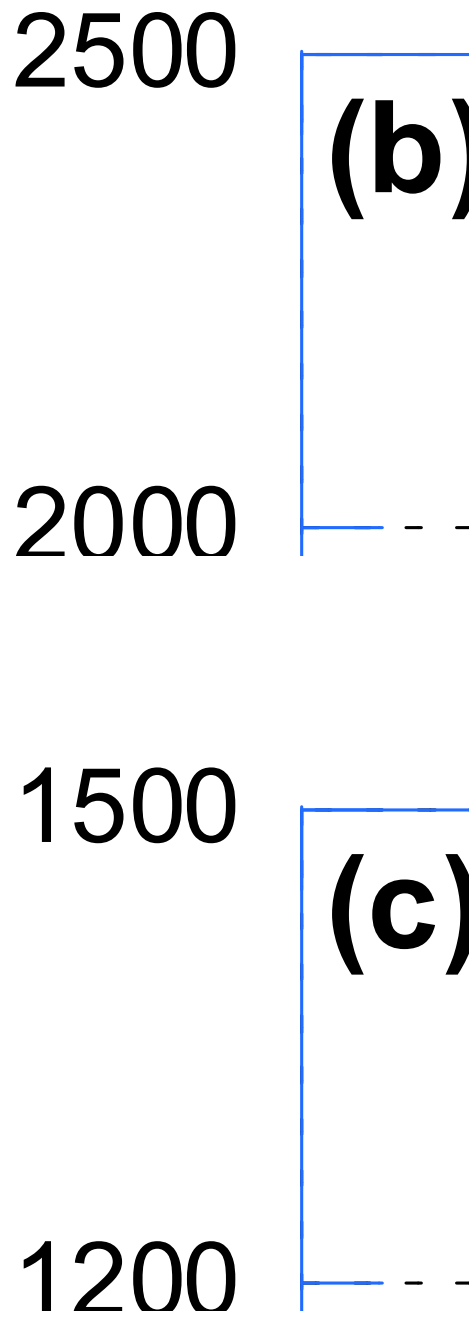


Figure 4.16 Continued.

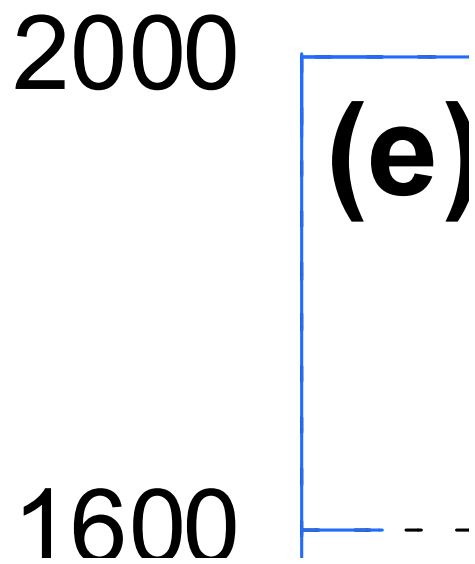
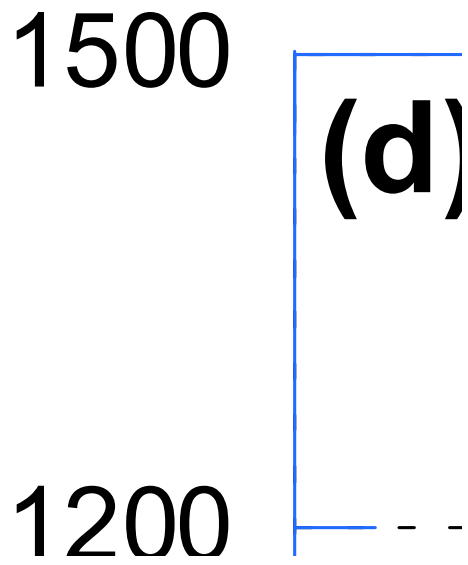


Figure 4.16 Continued.

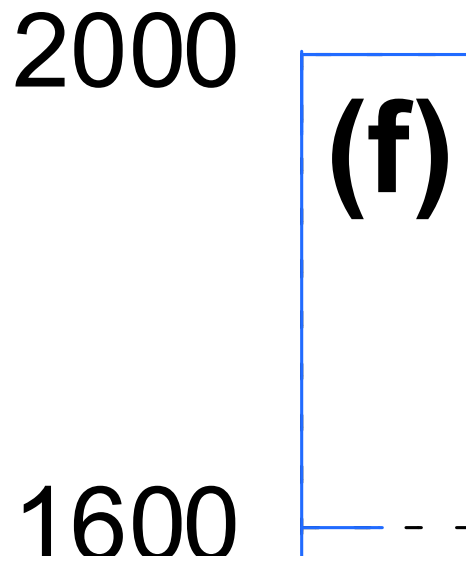


Figure 4.16 Continued.



Table 4.1 Results of each strain measured at retaining wall

factor Gage No. Date	측정값 (ε)						비고 (날씨, 차량통행, 공정상황 등 기타요인)
	G1	G1-1	G2	G2-1	G3	G3-1	
2009.07.08	500	500	1000	1000	1500	1500	G3부근 타워크레인 설치, 지상1층 콘크리트타설, 2층 철근 및 거푸집 작업, 비온 후 갬, 차량통행적음,
2009.07.09	462	476	969	977	1447	1255	G3부근 타워크레인 설치, 지상1층 콘크리트타설, 2층 철근 및 거푸집 작업.
2009.07.10	470	470	983	979	1445	1417	G3부근 타워크레인 설치, 지상1층 콘크리트타설, 2층 철근 및 거푸집작업.
2009.07.12	452	462	955	965	1403	1405	G3부근 타워크레인 설치, 지상1층 콘크리트타설, 2층 철근작업 및 거푸집 작업, 비 내림 강우량(11mm).
2009.07.13	480	436	892	895	1394	1395	G3부근 타워크레인 설치, 계속된 강우로 공사작업 멈춤,
2009.07.14	478	517	974	977	1415	1430	G3부근 타워크레인 설치, 지상1층 콘크리트타설, 2층 철근 작업, G1-2부근 지게차 왕복 작업.
2009.07.15	451	525	963	986	1460	1380	G3부근 타워크레인 설치, 지상1층 콘크리트타설, 2층 철근 작업, 오전 흐리고 오후 맑음.
2009.07.16	438	525	842	940	1426	1349	G3부근 타워크레인 설치, 지상1층 콘크리트타설, 2층 철근 작업, 이동식 크레인 철수, 비온 후 갬.
2009.07.17	435	492	892	963	1439	1371	G3부근 타워크레인 설치, 지상1층 콘크리트타설, 2층 철근 및 거푸집 작업, 증장비 이동중가.
2009.07.18	475	562	950	977	1329	1310	G3부근 타워크레인 설치, 지상1층 콘크리트타설, 2층 철근 및 거푸집 작업, G3 부근 작업 보조봉 제거.
2009.07.20	490	632	968	988	1465	1370	G3부근 타워크레인 설치, 지상1층 콘크리트타설, 2층 철근 및 거푸집 작업, G3 부근 작업 보조봉 제거.
2009.07.22	487	588	1096	977	1504	1344	G3부근 타워크레인 설치, 지상2층 콘크리트 타설, 증장비 이동 갬, 비온후 갬, Site1(G1-1)부근 구조물 해체작업.
2009.07.23	424	689	838	636	1191	1300	G3부근 타워크레인 설치, 지상1,2층 콘크리트 타설, G1부근 공사차량 왕복 갬, Site1(G1-1)부근 구조물 해체작업.
2009.07.24	297	628	868	818	1171	1158	공사 휴무.
2009.07.27	464	832	984	1096	-	-	G3부근 타워크레인 설치, 지상1층 거푸집 제거, 2층 콘크리트 타설, 비온 후 갬, Site1(G1-1)부근 구조물 해체작업. G3 부근측정 불가.
2009.07.29	439	896	930	965	-	-	G3부근 타워크레인 설치, 지상2층 기둥 콘크리트 타설, 비온 후 갬, Site1(G1-1)부근 구조물 해체작업.
2009.07.30	453	851	954	1044	-	-	G3부근 타워크레인 설치, 지상1층 단열재 설치, 비온 후 갬, Site1(G1-1)부근 구조물 해체작업.
2009.08.01	637	1064	955	1010	-	-	G3부근 타워크레인 설치, 지상2층 거푸집 설치, 비온 후 갬, Site1(G1-1)부근 구조물 해체작업.
2009.08.03	589	1113	949	1024	-	-	G3부근 타워크레인 설치, 지상2층 거푸집 설치, 흐린 후 맑음, Site1(G1-1)부근 구조물 해체작업.
2009.08.04	579	1151	953	943	-	-	G3부근 타워크레인 설치, 지상2층 거푸집 설치, 맑음, Site1(G1-1)부근 구조물 해체작업.
2009.08.05	424	1213	935	957	-	-	G3부근 타워크레인 설치, 맑음 오후 한때 구름. G1부근 구조물 해체작업.
2009.08.06	444	1302	947	955	-	-	G3부근 타워크레인 설치, 지상2층 콘크리트 타설 일부, 한때 비, Site1(G1-1)부근 구조물 해체작업.
2009.08.08	418	1438	939	939	-	-	G3부근 타워크레인 설치, 지상2층 콘크리트 타설 일부, 한때 비,G1부근 구조물 해체 작업.
2009.08.09	441	1467	923	932	-	-	G3부근 타워크레인 설치, 지상2층 콘크리트 타설 일부, 맑음, 구조물 해체 작업.
2009.08.10	377	1513	889	903	-	-	G3부근 타워크레인 설치, G2부근 포크레인 작업, site1(G1-1)부근 구조물 해체작업.

Table 4.1 Continued

factor Gage No. Date	측정값 (ε)						비고 (날씨, 차량통행, 공정상황 등 기타요인)
	G1	G1-1	G2	G2-1	G3	G3-1	
2009.08.13	292	1767	893	888	-	-	G3부근 타워크레인 설치, 지상2층 구조물 설치, 맑음, Site1(G1-1)부근 구조물 해체작업 종료.
2009.08.14	377	1838	865	929	-	-	G3부근 타워크레인 설치, 지상2층 콘크리트 타설 일부, G2부근 중장비 이동.
2009.08.15	309	1826	879	943	-	-	G3부근 타워크레인 설치, 지상3층 바닥 철근 작업, 집중호우.
2009.08.17	391	1766	893	923	-	-	G3부근 타워크레인 설치, 지상3층 바닥 철근 작업, G2부근 중장비 이동.
2009.08.18	393	1765	896	880	-	-	G3부근 타워크레인 설치, G2부근 중장비 이동, 날씨 호리고 한 때 비.
2009.08.20	438	1775	764	914	-	-	G3부근 타워크레인 설치, 지상4층 바닥 철근작업, 날씨 맑음.
2009.08.21	432	1783	777	930	-	-	G3부근 타워크레인 설치, 지상3층 콘크리트 타설 일부, G2부근 중장비 이동.
2009.08.22	435	1697	504	878	-	-	G3부근 타워크레인 설치, 지상3층 콘크리트 타설 일부, 날씨 맑음.
2009.08.23	342	1739	516	857	-	-	G3부근 타워크레인 설치, 지상3층 콘크리트 타설 일부, 날씨 맑음.
2009.08.25	241	1709	697	822	-	-	G3부근 타워크레인 설치, 지상3층 콘크리트 타설 일부, 날씨 맑음.
2009.08.26	225	1689	681	621	-	-	G3부근 타워크레인 설치, 단열재 설치, 날씨 맑음.
2009.08.29	209	1691	611	730	-	-	G3부근 타워크레인 설치, 지상3층 콘크리트 타설, 날씨 맑음.
2009.09.02	260	1603	425	552	-	-	G3부근 타워크레인 설치, 지상3층 콘크리트 타설, 거푸집 해체, 날씨 맑음.
2009.09.04	372	1808	502	764	-	-	G3부근 타워크레인 설치, 지상3층 거푸집 설치, 하수관매설 공사, 날씨 맑음.
2009.09.05	369	1817	460	355	-	-	G3부근 타워크레인 설치, 지상3층 거푸집 설치, 하수관 매설 공사, 날씨 맑음.
2009.09.09	267	1723	712	490	-	-	G3부근 타워크레인 설치, G2부근 지상3층 거푸집 설치, 하수관 매설 공사, 날씨 맑음.
2009.09.16	293	1709	627	616	-	-	G3부근 타워크레인 설치, G2부근 지상3층 거푸집 설치, 하수관 매설 공사, 날씨 맑음.
2009.09.17	295	1679	684	613	-	-	G3부근 타워크레인 설치, G2부근 지상3층 거푸집 설치, 중장비 이동, 날씨 맑음.
2009.09.20	323	1663	719	325	-	-	G3부근 타워크레인 설치, G2부근 지상3층 거푸집 설치, 중장비 이동, 강수 20mm.
2009.09.22	444	2220	917	867	-	-	지상4층 거푸집 설치 및 일부분 콘크리트 타설, 전날 강수.
2009.09.23	439	2203	887	899	-	-	G3부근 타워크레인 설치, G2부근 지상3층 거푸집 설치, 날씨 맑음.
2009.09.24	447	2204	860	871	-	-	G3부근 타워크레인 설치, G2부근 지상1층에서 2층 연결 시멘트작업, 날씨 맑음.
2009.09.28	425	2243	887	890	-	-	G3부근 타워크레인 설치, G2부근 지상1층에서 2층 연결 시멘트작업, 날씨 맑음.
2009.09.29	393	2272	893	884	-	-	G3부근 타워크레인 설치, G2부근 건물 오른 쪽 사면 작업, 날씨 맑음.
2009.10.01	433	2271	874	879	-	-	G3부근 타워크레인 설치, G2부근 건물 오른 쪽 사면 작업, 날씨 맑음.

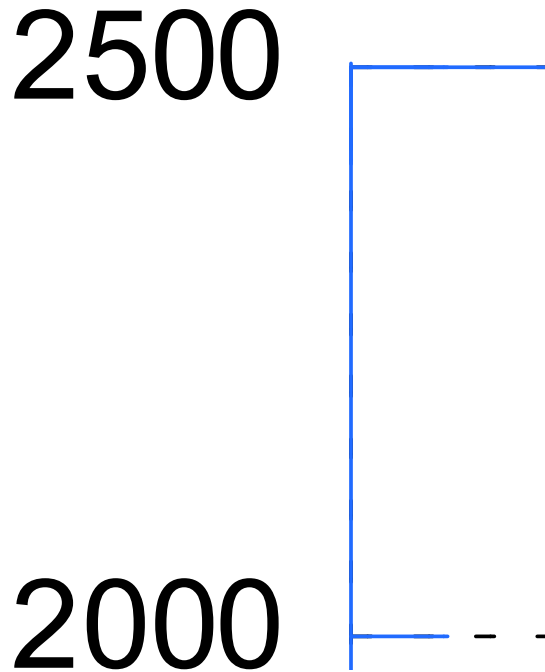


Figure 4.17 Strain change according to elapsed time.

옹벽사면 각 지점에서 측정된 변형률 변화 상태를 모두 표현하면 Figure 4.17과 같다. 변형률 상태는 Figure 4.17에서 보이는바와 같이 Site 2와 Site 3에서는 각 지점별로 거의 일정하게 나타난 반면, Site 1의 경우 아래 부분(G1-1)에서 변화가 있었음을 알 수 있다.

변형률의 변화를 살펴보면 측정 초반(0~30일)에는 잦은 강수와 증장비의 이동으로 인하여 약간 불안정한 상태가 나타나지만 시간이 경과 하면서 점차 안정되었다. 그러나 다른 위치와 달리 Site 1(G1-1) 위치에서는 측정 14일이 경과한 시점부터 약 20일 동안 급격한 변형률 변화의 양상이 나타난다. 이것은 Site1 부근에 있던 콘크리트 구조물 해체 작업이 2주(2009년 7월 22일~8월 13)동안 이루어 졌으며, 해체 작업 종료 후 장마철 집중 호우로 인한 토사 유출의 영향이 직접적으로 G1-1에 미친 것으로 판단된다.

측정 중반(30~60일) 하수관 매설 공사의 영향으로 변형률 변화가 다소 관찰 되었으나 변형률 변화 크기를 고려했을 때 옹벽의 안정성에 크게 영향을 미칠 정도는 아니었다고 판단된다. 옹벽 사면은 측정 77일이 경과한 시점부터 더 이상의 큰 변화는 관찰 되지 않았으며 점차 안정한 상태를 유지할 것으로 사료된다. 가장 큰 변화를 보였던 Site1의 변형률 변화 상태로부터 옹벽사면 거동에 의한 스파이럴 볼트 변형률계의 변형형태를 추정하여 도식적으로 나타내면 Figure 4.18과 같다.

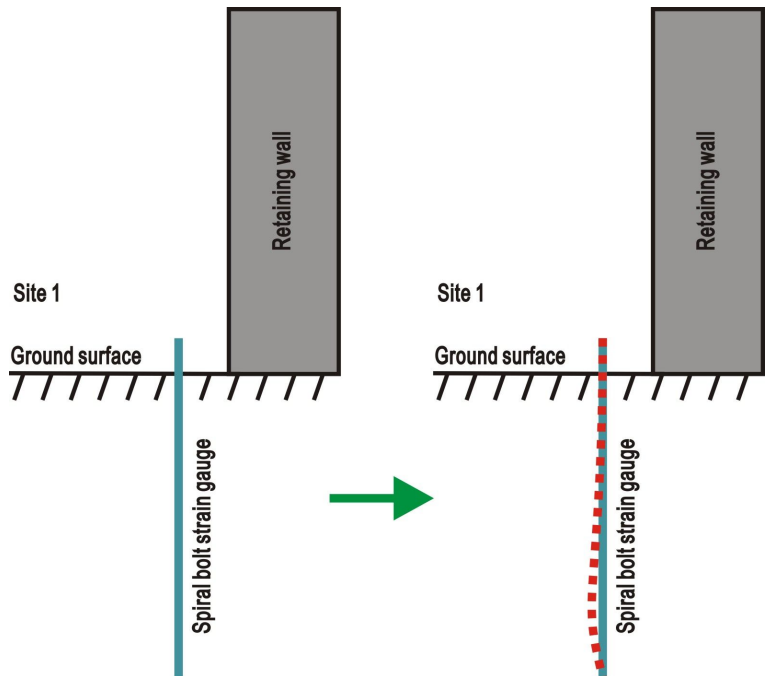


Figure 4.18 Estimation of retaining wall behavior(Site 1).

## 5. 토의

본 연구는 스파이럴 볼트 변형률계를 이용한 지반구조물의 거동 분석에 관한 연구로서, 연약지반기초와 암반사면, 옹벽사면의 거동을 측정 하고 그결과를 분석하였다. 본 연구 결과를 토대로 하면 스파이럴 볼트 변형률계는 댐이나 농업용 저수지, 하구 둑, 교량의 교각과 교대, 연약지반의 도로 침하 등에도 적용이 가능 할 것으로 판단된다.

예를 들어, 현재 댐의 안전관리를 목적으로 하는 계측은 일반적으로 필 댐의 경우 침투수, 침하, 토압 등이 있고 콘크리트 댐에서는 누수, 양압력, 휨 등이 있다. (안상로, 1998). 댐은 국가의 중요한 산업 시설물중 하나로 댐이 파괴된다면, 막대한 인명피해와 재산손실을 초래한다. 실제로 댐이 붕괴되어 하류지역에 막대한 피해를 주었던 사례로 이태리 Gleno댐(1923년, 600명 사망), 미국의 St Francis댐(1928년, 450명 사망), 프랑스의 Malpasset댐(1959년, 421명 사망)등이 있다(안상로, 1988). 이처럼 댐의 유지 및 안전 관리는 굉장히 중요하다고 볼 수 있으며, 최근 들어 댐 거동 분석에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다(오병현 외, 2000; 정우성, 2001; 이승호, 2007).

댐의 안정성 검토를 위한 거동분석 방법은 현재까지 주로 제체 내에 매설되어진 계측기의 측정 자료를 분석하는 방법으로 행해지고 있다. 이 방법은 제체의 거동상태를 직접적으로 분석할 수 있는 확실한 방법이나 제체의 모든 지점에 각 계기의 매설이 불가능하므로 대표지점의 측정값으로 전체를 추정할 수밖에 없는 제약이 따르며 최대 수위증가시나 수위의 급상승, 급강하, 또는 향후 예상되는 최저 수위시에 대한 거동을 알 수 없다는 제한성을 가진다. 또한 계측 장비의 가격이 비싸고 시공비용 또한 만만치 않다.

따라서 스파이럴 볼트 변형률계를 이용할 경우 제체의 지지력을 보완하면서 제체의 변형거동을 측정 할 수 있으므로 안전 및 유지관리 측면에서 보다 효율적인 댐 거동 분석이 가능 할 것으로 사료된다. Figure 5.1은 스파이럴 볼트 변형률계를 이용한 댐 거동 분석을 추정한 모식도 이다. Figure 5.1에서 보이는 바와 같이 다양한 위치에 설치가 가능하며, 댐의 거동 양상에 따른 변형률 변화를 살펴봄으로써 계측이 가능 할 것으로 사료된다.

향후 스파이럴 볼트 변형률계를 이용한 지반 및 암반 구조물 거동계측에 대한

다양한 연구와 함께, 이들에 대한 적용성 검토가 함께 이루어져야 할 것으로 사료된다. 또한 스파이럴 볼트 변형률계를 이용한 지반 구조물 거동 분석 연구를 수행할 경우 대상 지반에 대한 지질조사를 실시하고 대상지반과 구조물에 대한 수치해석이 수행되어야 할 것으로 사료된다. 이는 대상지반과 구조물의 구조적 특성을 적절히 파악할 수 있으며, 그 결과를 토대로 스파이럴 볼트 변형률계의 설치 위치와 방향 및 스파이럴 볼트의 길이( $l$ ), 두께( $t$ ), 폭( $d$ )등을 결정하는데 중요한 역할을 할 것으로 판단된다.

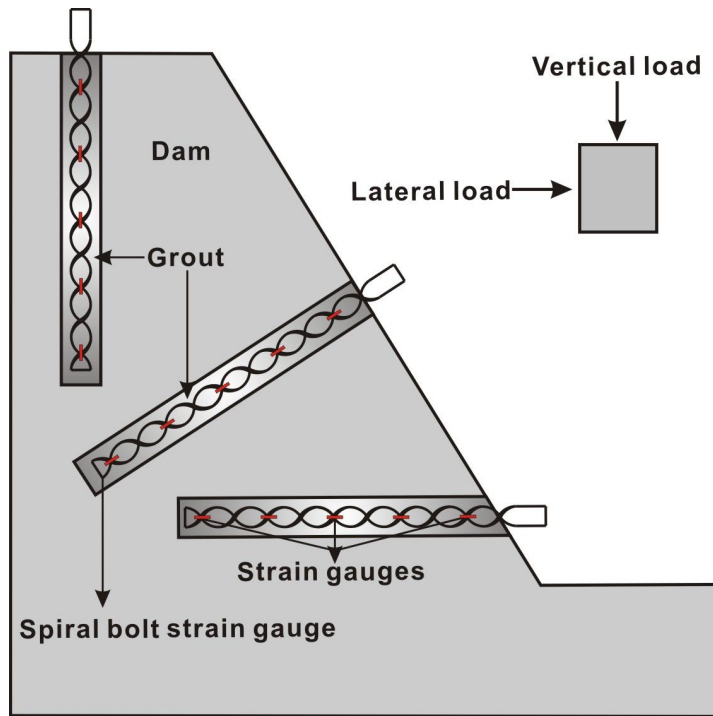


Figure 5.1 Schematic diagram for measuring behavior of dam body using spiral bolt strain gauge.

## 6. 결론

본 연구는 스파이럴 볼트 변형률계를 이용한 지반 구조물 거동 분석에 관한 연구로서, 기존 계측기와는 다른 새로운 형태의 스파이럴 볼트 변형률계를 제안하고 현장적용 가능성을 검토하기 위한 실내시험을 실시하였다. 실내시험 결과를 토대로 스파이럴 볼트 변형률계를 이용하여 연약지반기초 및 암반사면, 옹벽 사면 거동을 측정 하였다. 그 결과를 종합하여 정리하면 다음과 같다.

1. 연약지반기초에 대한 거동 상태를 계측한 결과, 변형률 측정 초기에는 안정한 상태를 보이다가 400일이 경과한 시점에서 스파이럴 볼트 변형률계의 윗부분과 중간부분에서 큰 변화가 관찰되었다. 이것은 이 시기에 강수량 증가에 의한 지반 이완과 함께 빈번하게 발생한 진도 1.0~2.0의 지진동에 의한 영향이 지반의 불안정을 초래시킨 요인으로 분석된다. 하지만, 이 연약지반기초위의 콘크리트 옹벽구조물에 의한 변형률 변화의 크기 고려하면 옹벽구조물의 안정성에 영향을 미칠만한 상태는 아닌 것으로 판단된다.
2. 암반사면에 대한 거동 상태 계측 결과, 0~50일 기간에서는 거의 변화가 없는 안정한 상태였으나, 50~100일 기간 다른 위치와 달리 P6(4.2m) 위치에서 가장 큰 변형률 상태를 보였으며, 이것은 굴착 영역이 측정 사면에 근접하기 때문으로 그 부근에서 스파이럴 볼트 변형률계에 휨을 발생시켰던 것으로 사료된다. 특히, P6 위치에 굴착의 영향이 가장 크게 미쳤던 것으로 판단된다. 100~160일 기간에는 P6 위치를 제외한 다른 곳의 변형률은 안정한 상태를 유지하였다. 이것은 화약발파로 인한 굴착의 영향이 P6 위치에 계속 미치고 있으며, 그 이외의 곳에서는 미약함을 의미한다. 암반사면 거동 측정기간 동안 변형률 변화 크기를 고려해 보면, 사면 붕괴를 일으킬만한 상황은 아닌 것으로 판단된다.
3. 옹벽 사면 거동 측정 결과, 측정 초기(0~30일) 잦은 강수와 중장비(타워크레인, 덤프트럭, 굴삭기) 이동으로 불안정한 상태를 보이며 지반의 변화가 있었음을 암시 한다. 다른 위치와 달리 Site 1(G1-1)에서 측정 14일이 경과한 시점부터 급격한 변형률 변화를 나타낸다. 이것은 그시기에 G1-1부근 콘크리트 구조물 해체

작업이 2주 동안 이루어 졌으며, 해체작업 종료 후 강수로 인한 토사 유출의 영향이 직접적으로 G1-1에 미친 것으로 판단된다. 측정 중반(30~60일) 하수관 매설 공사에 따른 지반의 변화가 다소 관찰 되었으나 변형률 변화 크기를 고려한 결과 옹벽의 안정성에 크게 영향을 미칠 정도는 아니었다고 판단되었다. 측정 77일이 경과한 시점부터 다시 안정한 상태를 유지 하였고 더 이상의 큰 변화는 관찰 되지 않았으며 점차 안정한 상태를 유지할 것으로 사료된다.

4. 결론적으로 새롭게 제안 된 스파이럴 볼트 변형률계는 지반 구조물의 거동을 분석 하는데 유용하게 이용될 수 있을 것으로 사료된다.



## 참고문헌

- 강성승, 히라타 아츠오, 오바라 유조 (2005) 새로운 지보재로 개발된 스파이럴바의 축방향 저항력 산정법, 대한토목학회논문집, 25, pp. 387-394.
- 강성승, 오바라유조, 박영석 (2006) 인장시험에 의한 스파이럴 볼트의 파괴거동, 2006 대한토목학회 정기학술대회, pp. 195-198.
- 강성승, 히라타 아츠오, 정승희, 이우람, 제동광, 김대현 (2010) 스파이럴 볼트 변형률계를 이용한 연약지반기초 및 암반사면 거동 예측, 터널과 지하공간, 제20권, 2호, pp. 105-111.
- 권현호, 남광수, 2007, 광해방지 공학, 동화기술, pp.187-204.
- 안상로, 1998, 댐 유지관리 및 예측, 대한토목학회지, vol.46 No.11, pp. 35-42.
- 오병헌, 이종욱, 정우성, 2000, 콘크리트 표면차수벽식 석괴댐의 거동분석, 대한토목학회논문집(II), pp. 361-394.
- 이승호, 2007, 댐 거동 분석에서의 Strain Gauge를 이용한 단일 계측에 관한 연구, 한국지반환경공학회 논문집, Vol.8 No.1, pp. 5-11.
- 정우성, 김완영, 2001, 댐 형식별 합리적인 계측항목의 선정, 대한토목학회 논문집, pp. 1-4.
- 조영동, 송명규, 이청신, 강추원, 고진석, 강성승, 2009, 록 볼트 및 스파이럴 볼트의 지보특성, 터널과지하공간, vol.19 No.3, pp. 181-189.
- 황정규, 2003, 건설기술자를 위한 지반공학의 기초이론, 구미서관, pp. 445-478.
- Beer, F. P. and E.R. Johnston, Jr., 1992, Mechanics of materials, McGraw-Hill, pp. 530-569.
- Dally, J. W. and W. F. Riley, 1991, Experimental stress analysis, 3rd ed, McGraw-Hill.
- Haraguchi, N., Kokaji, S., Hirata, K., Kang, S.S., Hirata, A. (2006) Application of spiral bar as ground support, Proceedings of the 23rd West Japan Symposium on Rock Engineering, December 47-5, 2004, Yamaguchi University, Japan, pp. 91-98.
- Hirata, A., Kokaji, S., Kang, S.S., Goto, T. (2003) Dilation stress on borehole induced by a spiral anchor, Proceedings of the 3rd International Symposium

on Rock Stress, Rotterdam, pp. 499-505

Hirata, A., Kokaji, S., Kang, S.S., Goto, G, (2005) Study on the estimation of the axial resistance of spiral bar based on interaction with ground, journal of the Mining and Materials Processing Institute of Japan, MMIJ, Vol. 121, pp : 370-377.

Kokaji, S., S. S. Kang and A. Hirata, 2005, Interaction between spiral bar and crushed rock in borehole, 2005 East Asia Joint Symposium on Rock Engineering, Fukuoka, Japan, August 9-10, 2005, 127-131.

## 감사의 글

대학원에 입학한지 어느덧 2년이 되었습니다. 그동안 저에게 많은 도움을 주신 분들께 짧은 글로나마 감사의 말씀을 드립니다.

먼저 제가 세상을 살아가는 이유인 사랑하는 가족 아버지, 어머니, 할머니, 큰누나, 작은누나, 하늘에 계신 외할머니, 외할아버지, 원기삼촌, 엄마 김혜숙 집사님, 아빠 박병한 권사님 너무 사랑하고 감사드립니다. 스승과 제자라는 관념을 떠나 친형같이 대해주시고 “이렇게 해라”가 아닌 “왜, 어떻게” 해야 하는지를 알려주신 지도교수 강성승 교수님께 진심으로 감사드립니다. 그리고 지금까지 저에게 많은 지도 편달을 해주신 고진석 교수님 감사 드립니다. 할 수 있다는 자신감을 심어주신 강추원 교수님, 언제나 환한 웃음을 지어주신 박영석 교수님, 항상 열성적이신 한오형 교수님, 배움은 끝이 없음을 보여주신 박천영 교수님, 지금은 은퇴하신 양해승, 서동우 교수님께도 감사의 말씀을 드립니다. 연구 수행에 있어서 아낌없는 조언을 해주신 일본 Sojo University의 Atsuo Hirata 교수와 일본 Kumamoto University의 Yuzo Obara 교수께도 진심으로 감사드립니다.

자원공학과를 다니며 많은 인연들을 맺었습니다. 모든 분들을 열거할 순 없지만 자원공학과와 모든 선·후배님들 정말 감사드립니다. 우선 제 대학생활에서 절 대 빼놓을 수 없는 한다스 동기 명준오, 장바다, 박홍주, 이우람, 안동욱, 김주형, 김진숙, 문한나, 안보미, 윤정아, 김설희. 그대들이 있었기에 예전을 추억할 수 있습니다. 후배의 아픔과 슬픔 기쁨을 함께해주신 위준수 선배님, 김성환 선배님, 안홍찬 선배님, 조용태 선배님, 최세화 후배님, 나선유 후배님, 김부형 후배님 감사드립니다. 만형 강현호 선배님, 장호민 선배님, 류복현 선배님, 김홍표 선배님, 김동조 선배님, 김종인 선배님, 박현식 선배님, 사업가의 길을 보여주신 조영동 선배님, 강지성 선배님 께도 깊은 감사 드립니다. 대학원을 함께 시작한 윤학중 선배님, 동기 김장원, 김우경, 신승한 후배님, 송하림 후배님, 홍일점 김승은 후배님들도 감사드립니다.

개발공학 / 지하공간 실험실의 제동광 후배님, 이찬우 후배님, 박영호 후배님, 박남주 후배님, 윤지성 후배님, 박지혜 후배님들께도 정말 감사 드립니다. 친구 김대왕, 박광호, 정찬영 언제 어디서 만나도 아무렇지 않을 너희들이 있기에 든든하다. 친 형제 같은 성주형, 훈이형, 형주형, 경기, 미누나, 자영누나, 학이, 아름이, 유리,

항상 건강하고 행복하기를 바랍니다. 마지막으로 이제 곧 결혼할 선웅, 헤미야 결혼 축하한다. 제우, 아영 커플도 얼른 결혼하길 바란다. 탁성이, 계룡이, 우람이, 현진이, 정희 모두 고맙고 사랑한다는 말 전하고 싶습니다.

## 저작물 이용 허용서

학과	에너지 자원공학과	학번	20097281	과정	석사
성명	한글 : 정 승 회    한문 : 鄭 丞 會    영문 : jeong seung hoe				
주소	광주광역시 서구 유촌동 벚들주공아파트 212동 1805호				
연락처	E-MAIL : sarlove2@naver.com				
논문제목	한글 : 스파이럴 볼트 변형률계를 이용한 지반구조물 거동 분석 영어 : Analysis of Geostucture Behavior Using Spiral Bolt Strain Gauge				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다                    음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집·형식상의 변경을 허락함.  
다만, 저작물의 내용변경은 금지함.
3. 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 또는 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
6. 조선대학교는 저작물의 이용허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음
7. 소속대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송·출력을 허락함.

동의여부 : 동의(  )    반대(  )

2011 년 2 월    일

저작자: 정 승 회    (인)

**조선대학교 총장 귀하**