

인천국제공항 4단계 공항내부 연결도로 공사(4-8공구)

수평재하시험보고서

2021. 06.



대한기초엔지니어링주식회사

DAEHAN FOUNDATION ENGINEERING CO., LTD

제 출 문

동부건설(주) 귀중

인천국제공항 4단계 공항내부 연결도로 공사(4-8공구)
수평재하시험보고서

상기 건의 용역을 완수하고 본 보고서로 정리하여 제출합니다. 본 건 용역을 완수하기
까지 수고하여 주신 관계자 여러분께 감사드립니다.

2021년 06월

경기도 의왕시 이미로40(포일동 653) C동 609호

 대한기초엔지니어링주식회사

대표이사 최경선

토목품질시험 기술사

토질 및 기초 기술사

전화 031)8069-8204(代) 전송 031)8069-8222



❖ 목 차 ❖

제1장. 개요

1.1 시험의 목적	1
1.2 시험의 범위	1
1.3 시험의 개요	1

제2장. 시험결과의 활용

2.1 해석방법	5
2.2 교량 A2 No.7	7

제3장. 결론

3.1 시험의 개요	10
3.2 시험 결과	10
3.3 결론 및 제언	11

제4장. 부록

1. 시험 SHEET 및 분석 GRAPH
2. 시험사진

제1장. 개요

- 1.1 시험의 목적
- 1.2 시험의 범위
- 1.3 시험의 개요



제1장. 개요

1.1 시험의 목적

인천국제공항 4단계 공항내부 연결도로 공사(4-8공구) 현장에 대한 말뚝수평재하시험을 통하여 말뚝 하중-변위량관계등 말뚝지지력 판정의 자료를 얻는 것과, 정해진 설계 수평지지력의 타당성을 확인하고, 수평허용지지력을 추정하여 시공된 말뚝의 기초로서의 적정성 판단과 상부 구조물 및 기초지반의 안정성 여부 확인에 목적을 둔다.

1.2 시험의 범위

가. 공간적 범위

- (1) 공 사 명 : 인천국제공항 4단계 공항내부 연결도로 공사(4-8공구)
- (2) 시험수량 : 1개소
- (3) 시험위치 : P.L.L.T-1 [교량 A2 No.7]

나. 시간적 범위

- (1) 현장시험 : 2021년 06월 17일
- (2) 성과분석 : 2021년 06월 18일
- (3) 보고서작성 : 2021년 06월 24일 ~ 2021년 06월 25일

1.3 시험의 개요

가. 시험조건

[표1.1] 현장의 시험조건

구분	시험위치	직경 (mm)	두께t (mm)	관입심도 (m)	종류
P.L.L.T-1	교량 A2 No.7	Φ500.0	12.00	49.50	복합말뚝





나. 시험내용

[표1.2] 현장의 시험내용

구분	시험위치	상시 수평재하 설계하중 (kN/본)	지진시 수평재하 설계하중 (kN/본)	수평재하 최대재하하중 (kN/본)	재하방법	시험날짜
P.L.L.T-1	교량 A2 No.7	79.15	161.76	166.77	1방향 재하방법	2021.06.17

다. 시험장비

본 시험에 사용된 시험장비 및 기구의 명칭 및 사양을 살펴보면 다음 표1.3 와 같다.

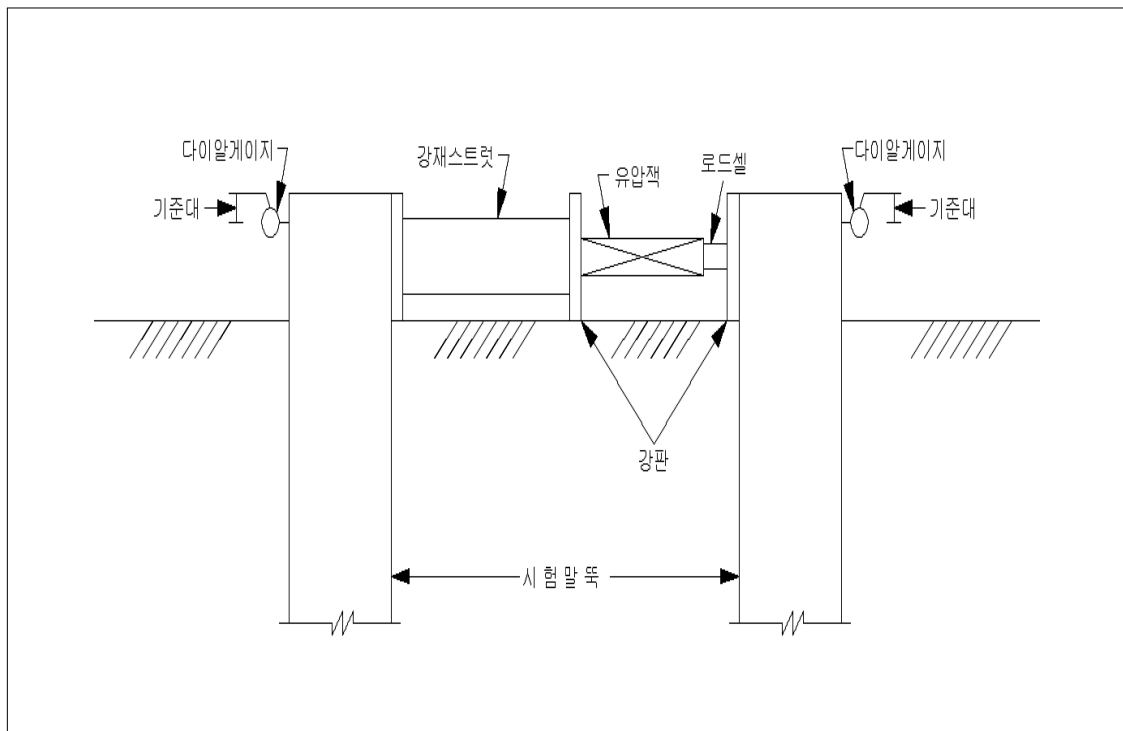
[표1.3] 사용장비 사양

공 종	장 비 명	수량	용량	특 기 사 항
수평재하시험	유압 Jack	3개	300 ton	-
	유압 Pump	1개	700 kg/cm ²	수동
	Load Cell & Read out unit	1개	500 ton	검·교정 성적서 필
	Dial Gauge	2개	50 mm	1/100 mm 감도 검·교정 성적서 필
	Magnetic Holder	2개	-	자석식
	Frame	1식	-	300×300×10,000
	Plate	1개	-	300×300×30
	Reference Beam	2개	5 m	H 형강(100×100)
	기타부수장비	1식	초시계, Data Sheet 등	-





라. 모식도



[그림1.1] 수평재하시험 장치의 예



제2장. 시험결과의 활용

2.1 해석방법

2.2 교량 A2 No.7

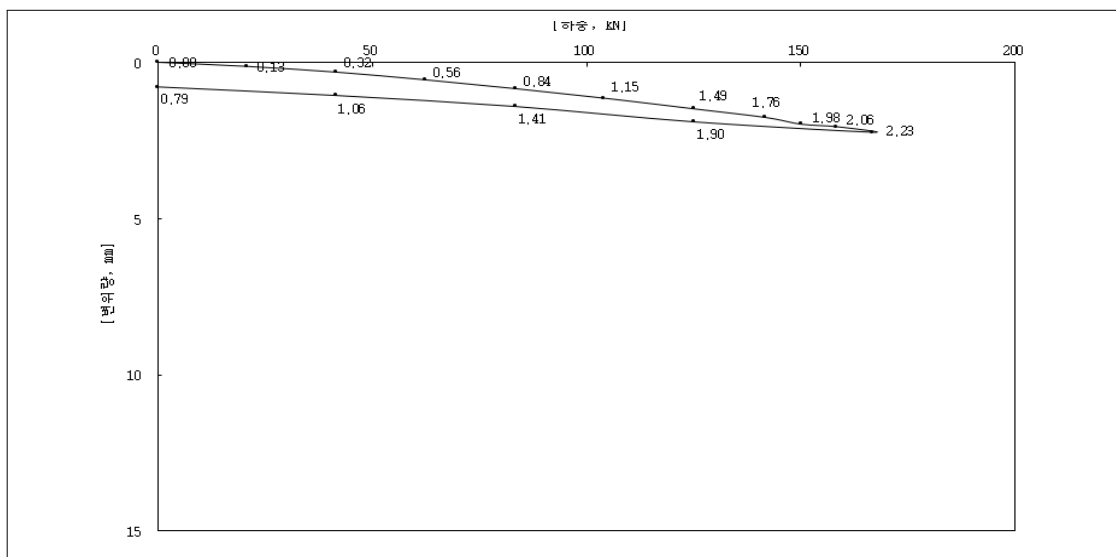


제2장. 시험결과와 활용

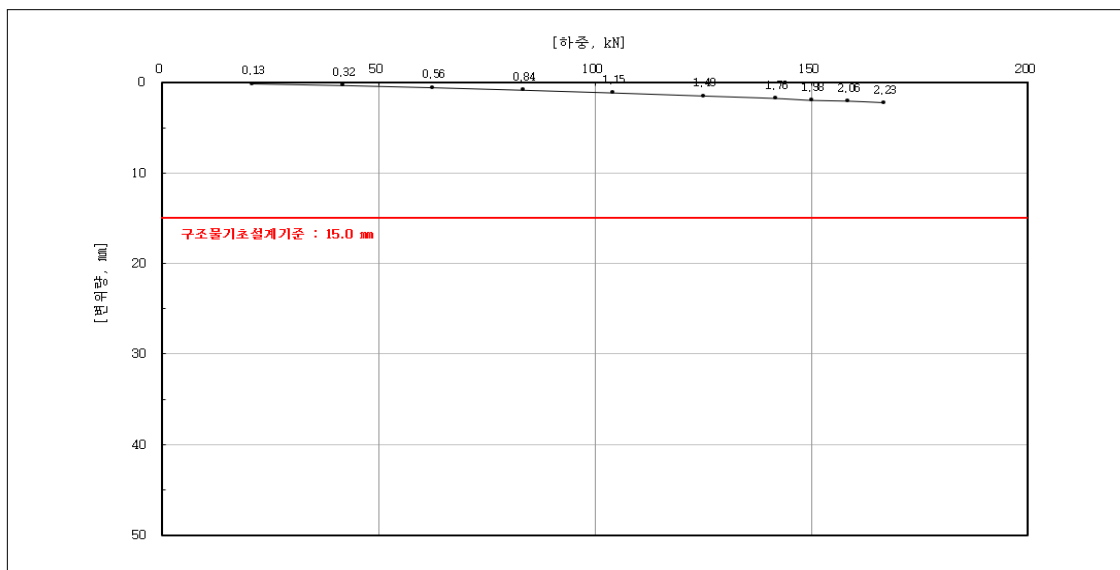
2.1 해석방법

수평재하시험은 연직재하시험의 경우와 같이 항복하중이나 극한하중을 구하는 것보다 설계하중 부근에서의 변위량과 말뚝체에 발생하는 응력도 등을 조사, 말뚝의 허용수평지지력을 산정하는 데 필요한 수평방향 지반반력계수를 구하는 것이 더 큰 목적이 된다.

가. 전체 수평변위량



나. 하중(P)과 수평변위량(S)의 관계 곡선





다. 지반반력계수

시방서의 역산 K값(林-Chang의 K값)을 구하려면, 수평하중과 말뚝머리변위를 측정하면 충분하다. 말뚝머리부가 지표면 보다 위에 있고, 말뚝머리가 자유인 경우의 변위를 산출하는 식은 다음과 같다.

$$\delta = \frac{H}{2EI\beta^3}$$

여기에서, δ : 지표면에서 x가 되는 점의 변위(cm)

H : 재하하중(kg)

E : 말뚝의 탄상계수(kg/cm²)

I : 말뚝의 단면 2차 Moment(cm⁴)

β : $\sqrt[4]{kD/4EI}$ (cm⁻¹)

D : 말뚝지름(cm)

k : 수평방향 지반 반력계수(kg/cm²)

상기 식에서 β 를 얻으면, k값은 다음 식으로 구할 수 있다.

$$k = \frac{4EI\beta^4}{D}$$

다음의 적용근거 및 기본 가정 하에 상기 식을 이용하여 계산하여 보면,

- 적용근거(도로교 표준 시방서)

수평재하시험 결과로부터 k를 구하는 방식은 도로교 표준 시방서에 제시된 방법이 가장 용이한데, 깊이에 따라 지반 반력계수의 값이 균일하다고 가정하고, 이때의 말뚝은 반무한장의 보에서 유도한 식을 구할 수 있다.

- 기본 가정

- 깊이에 따라 지반 반력계수의 값은 균일하다고 가정
- 말뚝 두부에 작용하는 Moment에 의한 영향을 무시

- 말뚝의 수평재하시험 Data의 하중-변위곡선으로 식에 의해 역산 k값, 특성치 β 및 지표면변위량 f 를 구한다.





2.2 교량 A2 No.7

수평하중 H (kg)	수평변위량 δ (mm)	β 값 (1/cm)	역산 K값 kgf/cm ²	지표면변위 f (cm)	
				Free Head	Fixed Head
2,120.0	0.13	0.0089	58.154	0.01	0.01
4,250.0	0.32	0.0084	45.168	0.03	0.02
6,370.0	0.56	0.0079	35.974	0.06	0.03
8,500.0	0.84	0.0076	30.778	0.08	0.04
10,620.0	1.15	0.0074	27.404	0.11	0.06
12,750.0	1.49	0.0072	24.723	0.15	0.07
14,450.0	1.76	0.0071	23.291	0.18	0.09
15,300.0	1.98	0.0070	21.555	0.20	0.10
16,150.0	2.06	0.0070	21.972	0.21	0.10
17,000.0	2.23	0.0069	21.098	0.22	0.11

$$\delta = \frac{H}{(2EI\beta^3)} : \text{Hinged Head condition}$$

$$\delta = \frac{H}{(4EI\beta^3)} : \text{Fixed Head condition}$$

$$\beta = \left(\frac{K_h \cdot D}{4EI} \right)^{\frac{1}{4}} : \text{말뚝재료 특성치}$$

말뚝의 탄성계수는 2,100,000kgf/cm², 2차 단면 Moment는 54797.800cm⁴ 로 적용 계산한다.

- 상기 표의 역산 Kh값을 세로축에, f를 가로축으로 한 GRAPH를 작성하고, 지표면 변위가 1.5cm일 때의 역산 Kh값을 취한다.





- 한편, 시험 말뚝의 수평허용지지력은 다음 식에 의해 구할 수 있다.

$$H_a = \frac{K_h D}{\beta} \delta_a$$

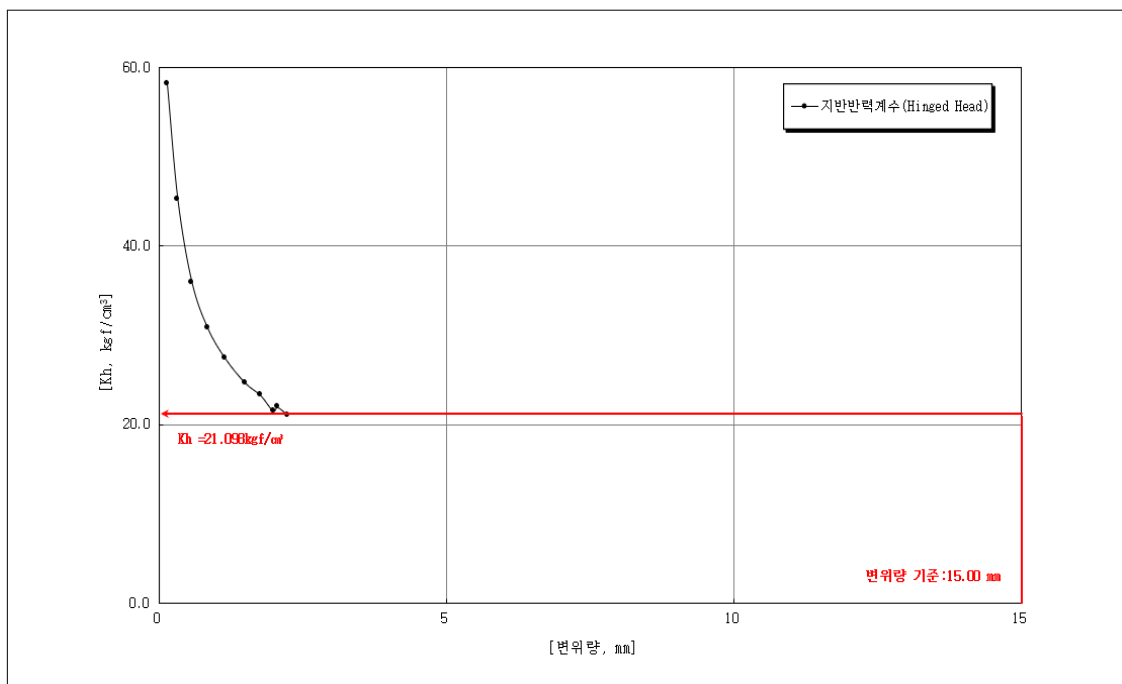
여기에서, $K_h : 21.098 \text{ kgf/cm}^3$

$D : 50.0 \text{ cm}$, $T : 1.2 \text{ cm}$

$$\beta : \sqrt[4]{\frac{K_h D}{4EI}} = 0.0069 \text{ cm}^{-1}$$

$\delta_a : 1.5 \text{ cm}$

$$\therefore H_a = 2243.54 \text{ kN/본}$$



역산 K_h GRAPH



제3장. 결론

- 3.1 시험의 개요
- 3.2 시험결과
- 3.3 결론 및 제언



제3장. 결론

3.1 시험의 개요

가. 시험조건

【표3.1】 현장의 시험조건

구분	시험위치	직경 (mm)	두께 t (mm)	관입심도 (m)	종류
P.L.L.T-1	교량 A2 No.7	Φ500.0	12.00	49.50	복합말뚝

나. 시험내용

【표3.2】 현장의 시험내용

구분	시험위치	상시 수평재하 설계하중 (kN/본)	지진시 수평재하 설계하중 (kN/본)	수평재하 최대재하하중 (kN/본)	재하방법	시험날짜
P.L.L.T-1	교량 A2 No.7	79.15	161.76	166.77	1방향 재하방법	2021.06.17

3.2 시험결과

가. 2015. 구조물기초설계기준 해설(P354) 기준치 15mm 변위시 수평허용지지력(kN/본)

* 구조물기초설계기준 해설(2015) 참조.

【표3.3】 수평허용지지력

구분	시험위치	최종변위량 (mm)	잔류변위량 (mm)	탄성변위량 (mm)	15mm 변위시 수평허용지지력 (kN/본)
P.L.L.T-1	교량 A2 No.7	2.23	0.79	1.44	-

나. 역산 Kh 값에 의한 수평허용지지력

【표3.4】 수평허용지지력

구분	시험위치	β 값 (cm ⁻¹)	역산 Kh 값 (kgf/cm ³)	역산 Kh 값에 의한 수평허용지지력 (kN/본)
P.L.L.T-1	교량 A2 No.7	0.0069	21.098	2243.54





3.3 결론 및 제언

본 현장은 동부건설(주)에서 시공중인 인천국제공항 4단계 공항내부 연결도로 공사(4-8공구) 현장에 수평재하시험을 실시한 결과 아래와 같이 검토, 분석되었다.

1) P.L.L.T-1 [교량 A2 No.7]

- 재하하중은 설계하중(상시기준)의 200%이상 재하를 원칙으로 하였으며, 최대시험하중 166.77kN/본까지 시험한 결과 최종변위량 2.23mm, 잔류변위량 0.79mm로, 2015. 구조물 기초설계기준 해설(P354) 기준치인 15.00mm 이내로 측정되었다. 따라서 변위량에 의한 수평허용지지력은 166.77kN/본으로 상시기준인 설계하중 79.15kN/본을, 지진시 기준인 설계하중 161.76kN/본을 모두 만족하는 것으로 나타났다.
- 본 현장에서 수평재하시험을 통하여 도출된 지반반력계수(Kh)는 21.098kgf/cm³로 계산되었으며, 지반반력계수(Kh) 값에 의한 수평허용지지력은 2243.54kN/본으로 상시기준인 설계하중(79.15kN/본)을 만족하는 것으로 나타났다.



부록

- 1. 시험 SHEET 및 분석 GRAPH
- 2. 시험사진



1. 시험 SHEET 및 분석 GRAPH

PILE LATERAL LOAD TEST DATA SHEET

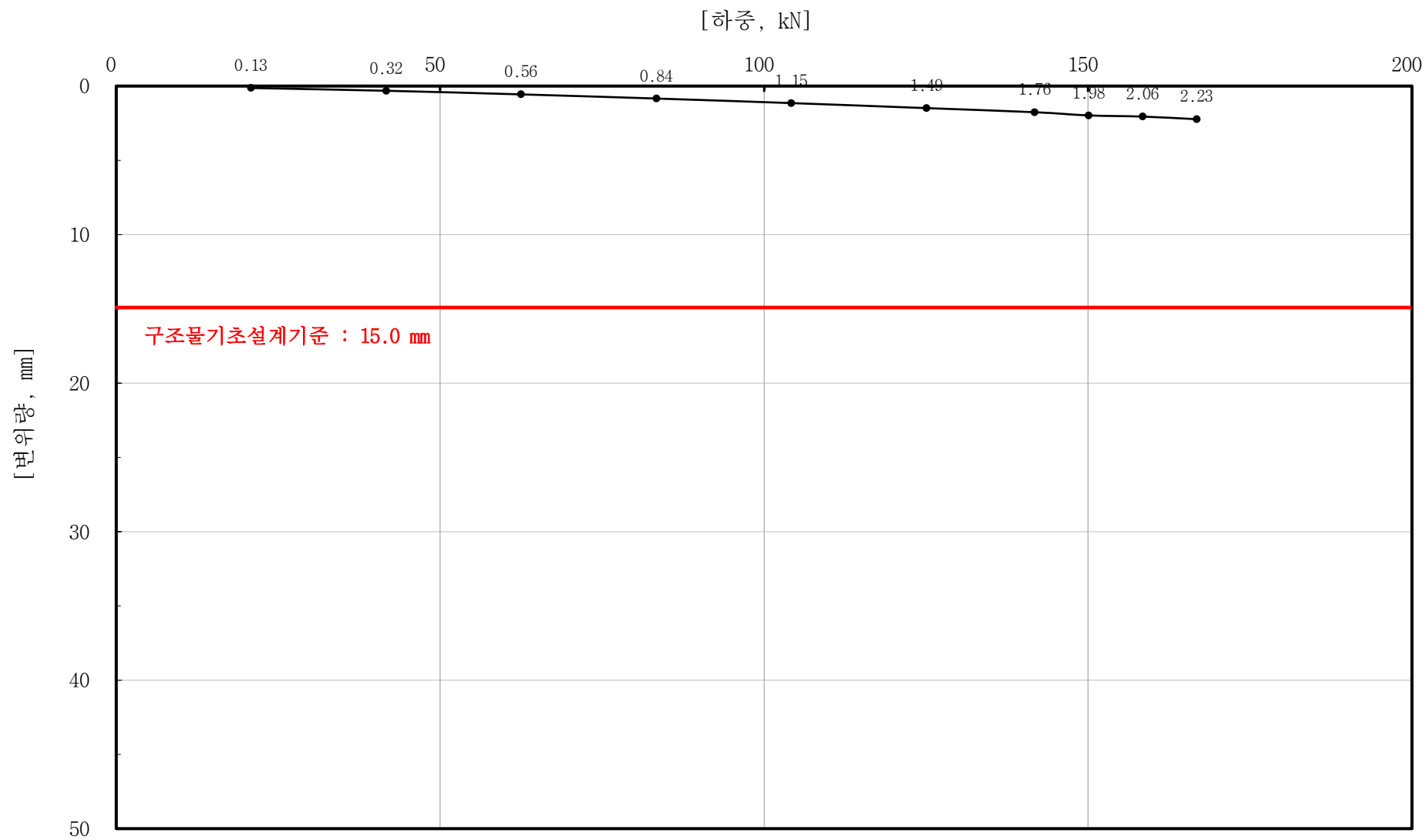
현 장 명	인천국제공항 4단계 공항내부 연결도로(4-8공구)				설계하중	79.15 kN/본		
시험일자	2021년 6월 17일				시험하중	166.77 kN/본		
시험위치	교량 A2				말뚝규격	ø 500	t=12mm	
시험번호	No.7		시공방법	S.D.A		관입깊이	49.500 m	
Cycle	Pressure (kgf/cm ²)	Load Intensity (kN)	Reading Time (MIN)	Gauge Reading(1/100mm)			Settlement (mm)	Remark
				left	right			
0		0.00	0	272	30		151.000	
1		20.80	0	281	45		163.000	12.0
			1	281	45		163.000	12.0
			2	282	46		164.000	13.0
			3	282	46		164.000	13.0
			4	282	46		164.000	13.0
			5	282	46		164.000	13.0
			10	282	46		164.000	13.0
2		41.69	0	301	62		181.500	30.5
			1	301	63		182.000	31.0
			2	301	63		182.000	31.0
			3	301	64		182.500	31.5
			4	301	64		182.500	31.5
			5	301	64		182.500	31.5
			10	301	64		182.500	31.5
3		62.49	0	319	95		207.000	56.0
			1	319	95		207.000	56.0
			2	319	95		207.000	56.0
			3	319	95		207.000	56.0
			4	319	95		207.000	56.0
			5	319	95		207.000	56.0
			10	319	95		207.000	56.0
			15	319	95		207.000	56.0
4		83.39	0	341	126		233.500	82.5
			1	341	127		234.000	83.0

Cycle	Pressure (kgf/cm ²)	Load Intensity (kN)	Reading Time (MIN)	Gauge Reading(1/100mm)			Settlement (mm)	Remark
				left	right			
			2	341	127		234.000	83.0
			3	341	127		234.000	83.0
			4	341	127		234.000	83.0
			5	341	127		234.000	83.0
			10	341	128		234.500	83.5
			15	341	129		235.000	84.0
			20	341	129		235.000	84.0
5		104.18	0	365	161		263.000	112.0
			1	365	162		263.500	112.5
			2	365	162		263.500	112.5
			3	365	162		263.500	112.5
			4	365	162		263.500	112.5
			5	365	162		263.500	112.5
			10	366	163		264.500	113.5
			15	367	164		265.500	114.5
			20	367	164		265.500	114.5
6		125.08	0	391	200		295.500	144.5
			1	391	200		295.500	144.5
			2	392	201		296.500	145.5
			3	392	201		296.500	145.5
			4	392	201		296.500	145.5
			5	392	201		296.500	145.5
			10	394	203		298.500	147.5
			15	395	204		299.500	148.5
			20	395	204		299.500	148.5
7		141.75	0	413	232		322.500	171.5
			1	413	234		323.500	172.5
			2	414	235		324.500	173.5
			3	414	236		325.000	174.0
			4	415	236		325.500	174.5
			5	415	236		325.500	174.5

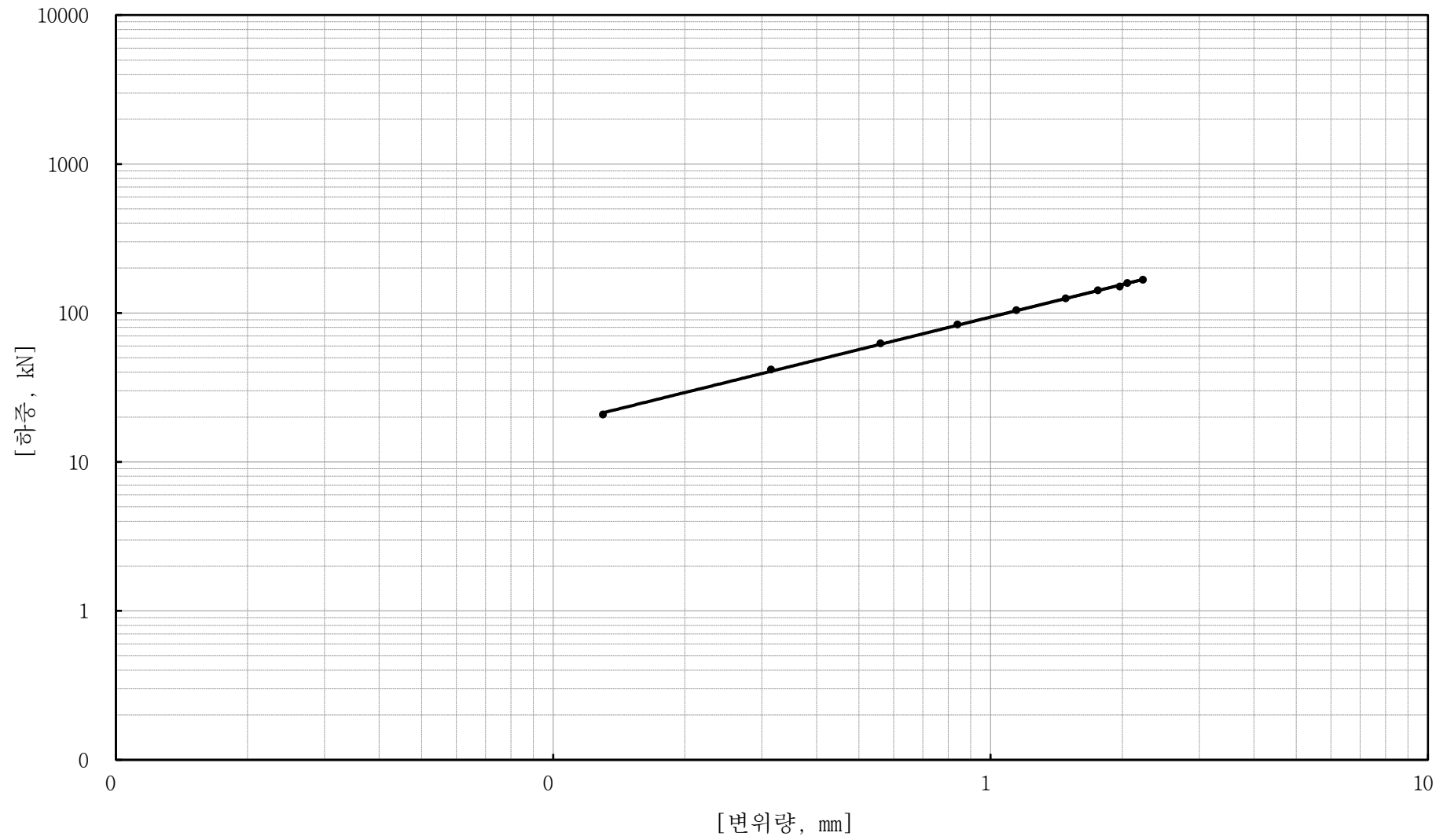
Cycle	Pressure (kgf/cm ²)	Load Intensity (kN)	Reading Time (MIN)	Gauge Reading(1/100mm)			Settlement (mm)	Remark
				left	right			
			10	415	237		326.000	175.0
			15	415	237		326.000	175.0
			20	416	238		327.000	176.0
8		150.09	0	435	262		348.500	197.5
			1	435	262		348.500	197.5
			2	435	262		348.500	197.5
			3	435	262		348.500	197.5
			4	435	262		348.500	197.5
			5	435	262		348.500	197.5
			10	435	262		348.500	197.5
			15	435	262		348.500	197.5
			20	435	262		348.500	197.5
9		158.43	0	439	268		353.500	202.5
			1	439	269		354.000	203.0
			2	439	269		354.000	203.0
			3	439	269		354.000	203.0
			4	439	269		354.000	203.0
			5	439	269		354.000	203.0
			10	440	271		355.500	204.5
			15	440	272		356.000	205.0
			20	440	273		356.500	205.5
10		166.77	0	452	289		370.500	219.5
			1	453	290		371.500	220.5
			2	453	290		371.500	220.5
			3	453	290		371.500	220.5
			4	453	291		372.000	221.0
			5	453	291		372.000	221.0
			10	453	292		372.500	221.5
			20	453	292		372.500	221.5
			30	453	294		373.500	222.5
			60	454	294		374.000	223.0

Cycle	Pressure (kgf/cm ²)	Load Intensity (kN)	Reading Time (MIN)	Gauge Reading(1/100mm)			Settlement (mm)	Remark
				left	right			
11		125.08	0	424	258		341.000	190.0
			1	424	258		341.000	190.0
			2	424	258		341.000	190.0
			3	424	258		341.000	190.0
			4	424	258		341.000	190.0
			5	424	258		341.000	190.0
			10	424	258		341.000	190.0
12		83.39	0	382	202		292.000	141.0
			1	382	202		292.000	141.0
			2	382	202		292.000	141.0
			3	382	202		292.000	141.0
			4	382	202		292.000	141.0
			5	382	202		292.000	141.0
			10	382	202		292.000	141.0
13		41.69	0	378	136		257.000	106.0
			1	378	136		257.000	106.0
			2	378	136		257.000	106.0
			3	378	136		257.000	106.0
			4	378	136		257.000	106.0
			5	378	136		257.000	106.0
			10	378	136		257.000	106.0
14		0.00	0	378	81		229.500	78.5
			1	378	81		229.500	78.5
			2	378	81		229.500	78.5
			3	378	81		229.500	78.5
			4	378	81		229.500	78.5
			5	378	81		229.500	78.5
			10	378	81		229.500	78.5

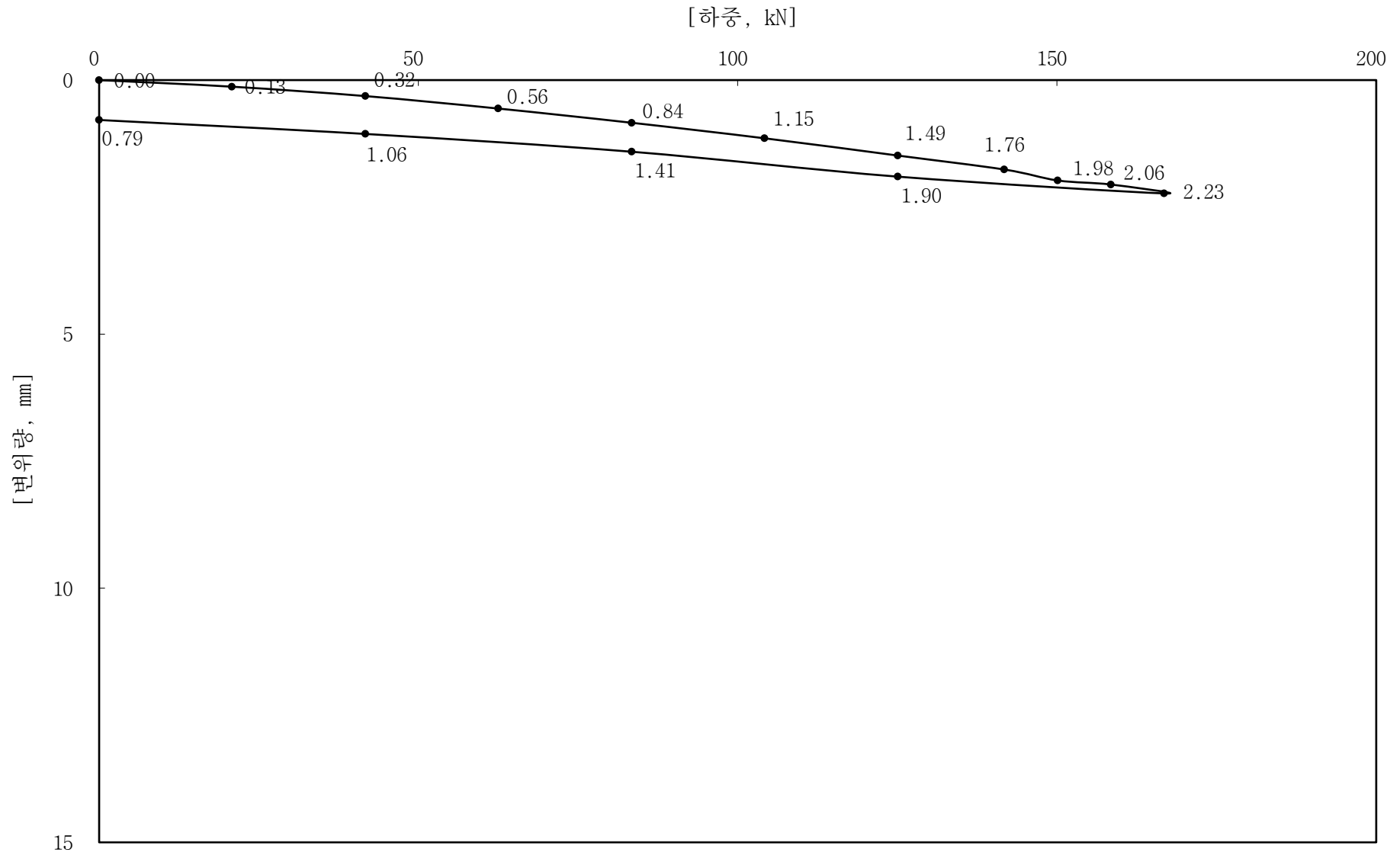
[P - S Graph]



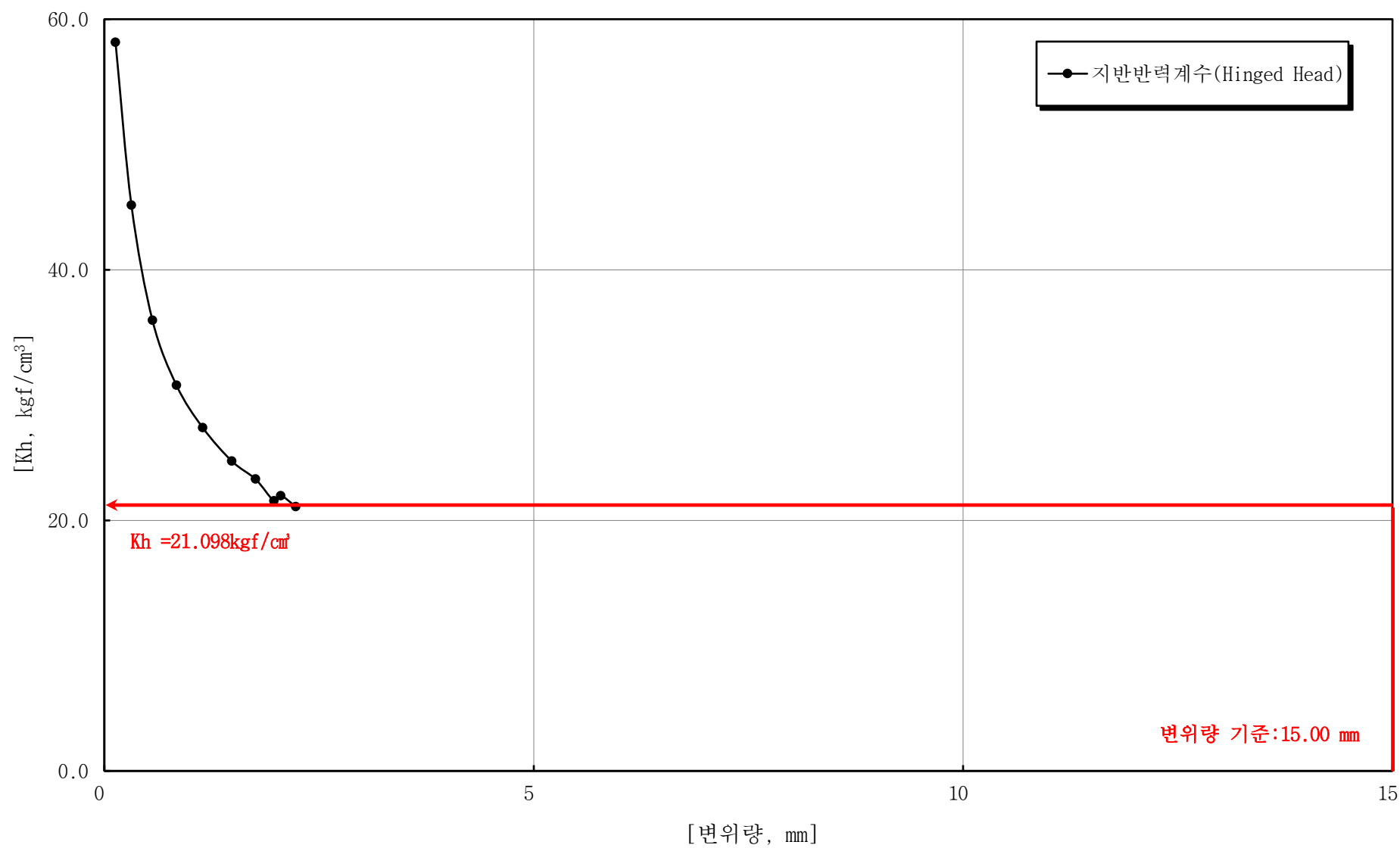
[Log P - Log S Graph]



[소성변위량 곡선표]



[Kh GRAPH]



2. 시험사진

교량 A2 No.7

2021. 06. 17

