

제 1 장 수중조사

- 1.1 개요
- 1.2 수중조사 위치 및 방법
- 1.3 수중조사 결과
- 1.4 하상면 조사
- 1.5 결과 분석

제1장 수중조사

1.1 개요

수중점검은 수중부 시설물에 대하여 물리적·기능적 결함 등을 조사하여 발생한 손상에 대하여 적절한 보수·보강 계획의 수립과 향후 효율적인 유지관리를 위한 자료의 제공에 그 목적이 있으며, 이를 위하여 경험과 토목지식이 풍부한 잠수사를 투입 수중촬영을 실시하였다.

1.1.1 투입장비

<표 1.1> 투입장비

구분	장 비 명	MODEL 및 규격	용 도	비 고
잠수장비	건식 잠수복	SCUBA PRO	잠수자의 체온유지	
	SCUBA SET	SCUBA PRO	호흡조절기 및 게이지	
	컴 퓨 레 샤	BAUER	공기 충전	
촬영장비	비디오 하우징	AMPHIBICO	비디오 카메라 방수팩	
	3CCD 디지털 카메라	SONY (DSR-PD150)	비디오 카메라	
접근장비	보트	WOOSUNG	현장이동 및 접근	
	엔진	YAMAHA	현장이동 및 접근	
측정장비	수심측정기	SM-5	초음파수심측정	
수중초음파장비	사이드스캔소나	S-150	한국(DSME)	

1.1.2 수중점검 방법

- 스쿠바 잠수점검(본 과업적용)

점검자가 호흡장비를 갖추고 잠수하여 점검하는 방법으로 수심이 깊어 질수록 수중 체류시간이 짧아지기 때문에 일정 깊이 이상에서 오래도록 점검하기 어렵지만 점검자가 수중을 자유로이 이동하면서 점검할 수 있는 큰 장점이 있어 수중조사 점검 및 진단 용역에서 주로 사용된다. 스쿠버 잠수점검은 반드시 자격을 갖춘 자에 의해 이루어져야 한다.

- 표면공급식 잠수점검

깊은 수심에서 오랜 시간 작업하기 위한 점검방법으로 공기압축기를 이용하여 생명선을 통해 잠수부에게 무제한의 공기를 공급해주며 점검하는 방법이다. 이 잠수방법의 가장의 큰 장점은 오랜 시간 깊은 물속에서 작업할 수 있다는 것이며 수중의 환경에 별다른 제약을 받지 않고 작업할 수 있다는 점이다.

1.1.3 수중점검시 주의사항

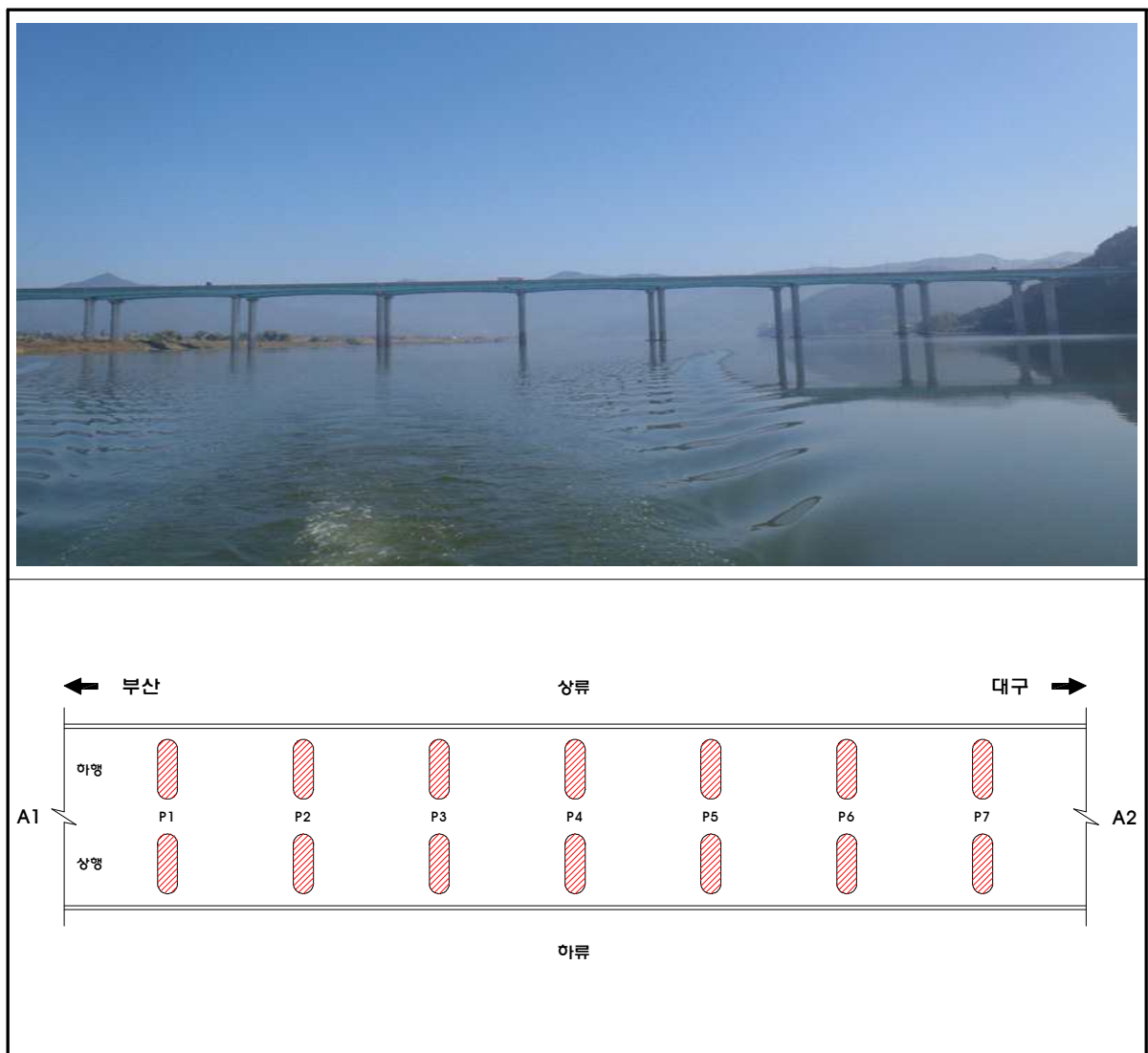
- 수중점검에서 점검자의 안전을 최우선으로 하여야 하나, 수중부를 점검해야하는 점검자 또는 잠수부의 점검환경은 매우 열악하다. 때로는 어두운 곳, 차가운 곳에서 작업해야 하는 것은 물론이고 압력-감압과 관련된 갖가지 질병에 노출된 채로 작업해야 한다. 잠수부는 지각능력과 감각이 둔해지는 수중에서 작업하는 동안 외부의 생명유지 도구에 전적으로 의존할 수밖에 없으므로 수중작업을 효과적으로 수행하기 위해서 잠수부는 환경에 잘 적응해야 하며 점검 전에 반드시 장비의 사용법을 숙지하고 접근할 방법을 신중히 선택해야한다

1.2 수중조사 위치 및 방법

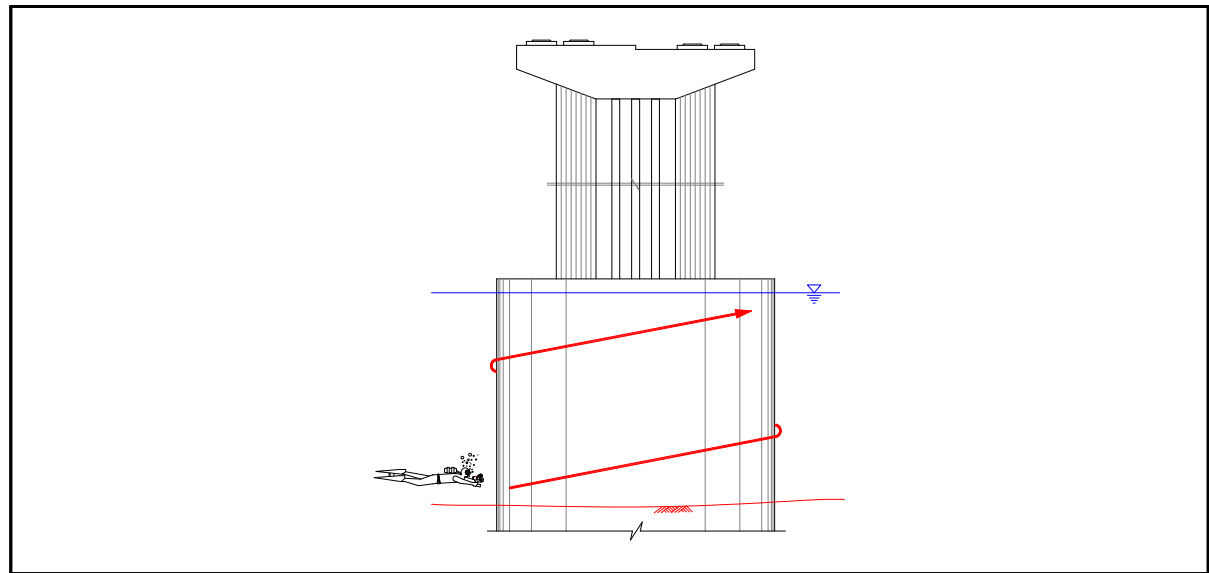
1.2.2 수중조사 방법

낙동대교 하부구조 중 수중에 잠겨있는 상행 및 하행 P1~P7에 대하여 수중영상촬영 및 외관조사를 실시하였다. 교각 상류측을 기준으로 0° (상류), 90° (A1), 180° (하류), 270° (A2)으로 구분하고, 현재수면에서 하상바닥까지 수직왕복 및 반시계 방향으로 교각을 이동하는 방법으로 교각 표면의 외관상태를 점검하였다.

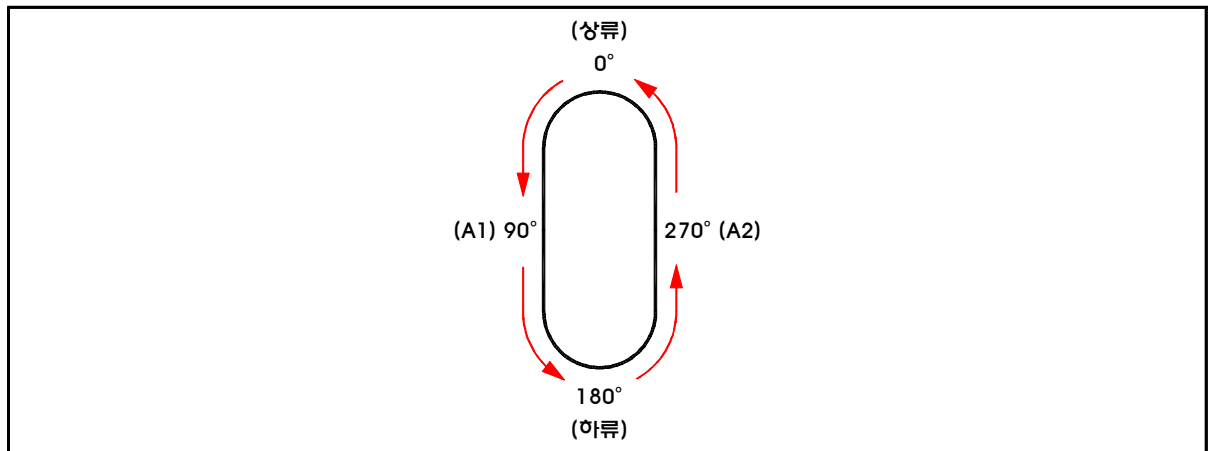
수중조사 방법은 잠수사(1명), 보조잠수사(1명), 고무보트(1명), 육상지원 4인 1조로 위치를 이동하며 수중조사를 실시하였다.



<그림 1.1> 수중조사 위치도 및 전경



<그림 1.2> 수중조사 방법



<그림 1.3> 수중조사 방향

1.2.3 현장조사

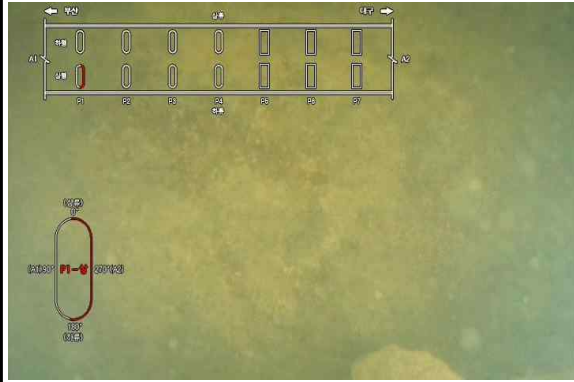


<사진 1.1> 수중조사 현황

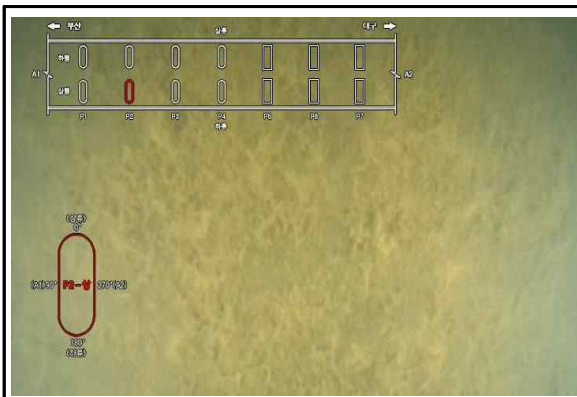
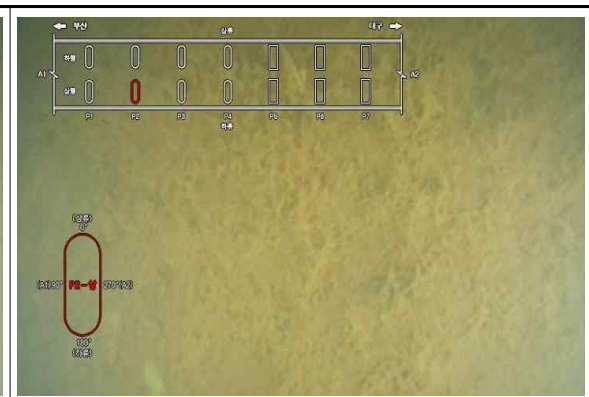
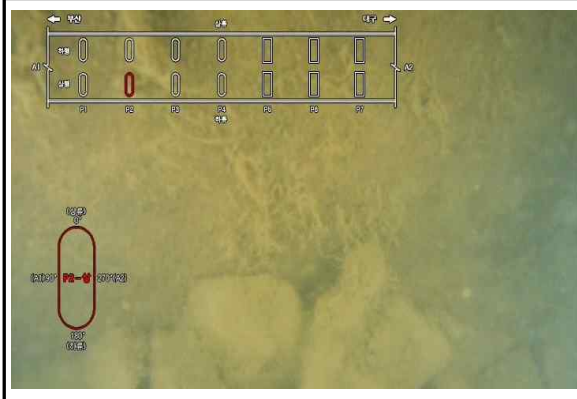
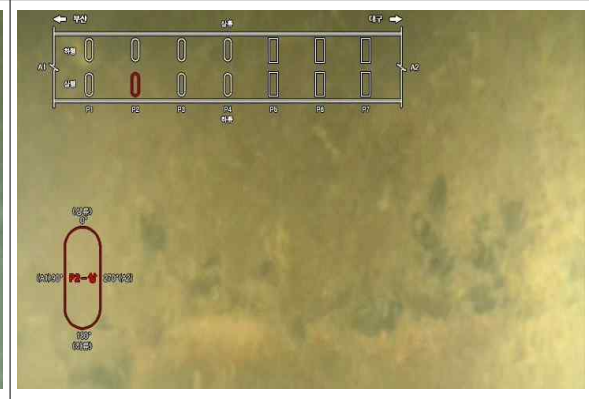
1.3 수중조사 결과

1.3.1 상행

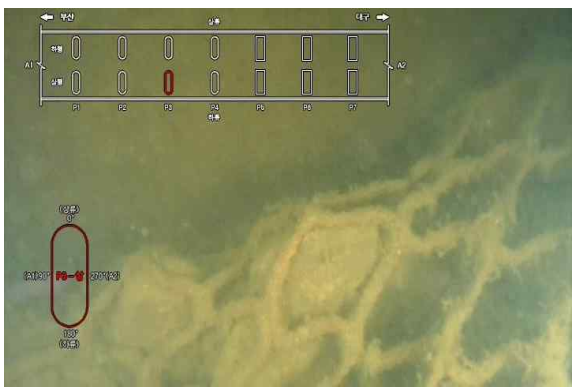
(1) P1(상행)

			
P1(상행) 180°, 표면상태 양호		P1(상행) 200°, 하상상태 양호	
			
P1(상행) 250°, 표면상태 양호		P1(상행) 330°, 표면상태 양호	
외 관 조 사 결 과	■ 수중부 표면상태 : P1(상행) 0°~180°구간은 수심이 낮아 수중조사가 불가능한 상태였으며 180°~360°구간에 대한 수중조사 결과 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었다. ■ 하상상태 : 하상상태 조사결과 세굴방지 돌망태는 시공되지 않은 상태이며 침하 및 세굴현상이 없는 양호한 상태인 것으로 조사되었다.		
원인 및 대책	■ 상태양호		

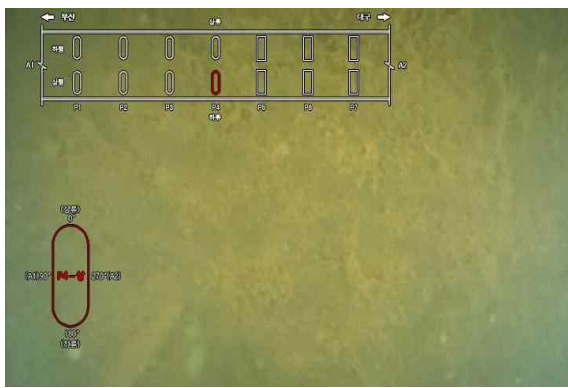
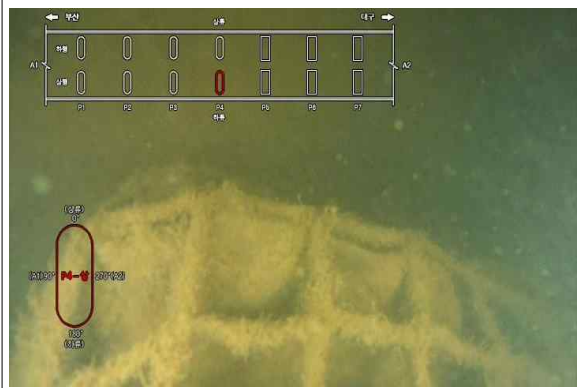
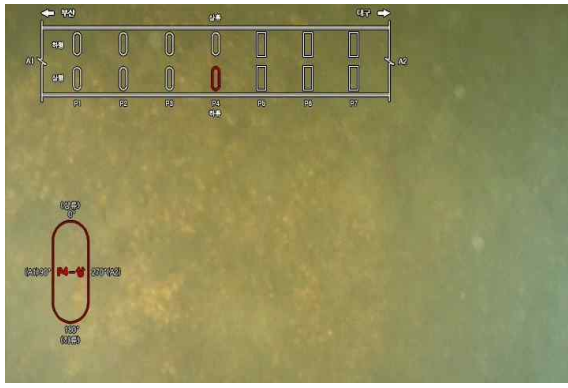
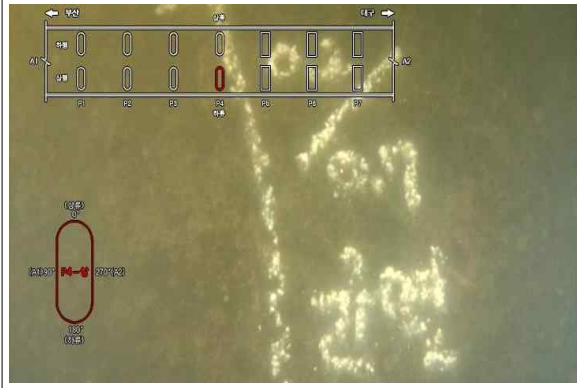
(2) P2(상행)

			
P2(상행) 0°, 표면상태 양호		P2(상행) 30°, 표면상태 양호	
			
P2(상행) 250°, 하상상태 양호		P2(상행) 330°, 표면상태 양호	
외 관 조 사 결 과	■ 수중부 표면상태 : P2(상행) 수중조사결과 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었다. ■ 하상상태 : 하상상태 조사결과 세굴방지 돌망태는 시공되지 않은 상태이며 침하 및 세굴현상이 없는 양호한 상태인 것으로 조사되었다.		
원인 및 대책	■ 상태 양호		

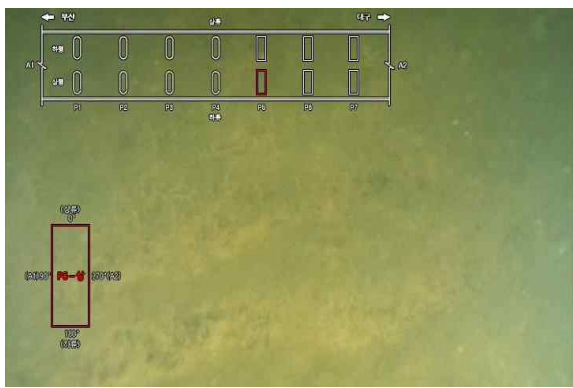
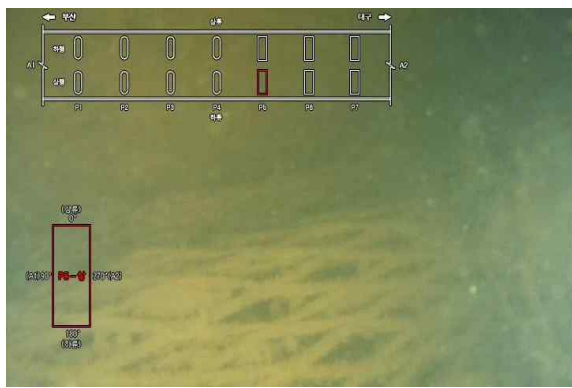
(3) P3(상행)

	
P3(상행) 20°, 표면상태 양호	
	
P3(상행) 140°, 세굴방지 보호공 상태양호	
	
P3(상행) 200°, 표면상태 양호	
	
P3(상행) 230°, 균열	
외 관 조 사 결 과	■ 수중부 표면상태 : P3(상행) 수중조사결과 대체적으로 양호한 상태로 조사되었으나 230°에서 균열이 조사되었다. ■ 하상상태 : 하상상태 조사결과 세굴방지를 위한 돌망태가 시공되어 있는 것으로 확인되었으며 침하 및 세굴현상이 없는 양호한 상태인 것으로 조사되었다.
원인 및 대책	■ 균열은 시공초기 건조수축에 의한 균열로 사료되며 균열 폭이 크지 않아 현재 구조물의 안전성에는 지장이 없는 상태로 사료되나 향후 내구성 확보차원에서 보수를 실시하면 될 것으로 판단된다.

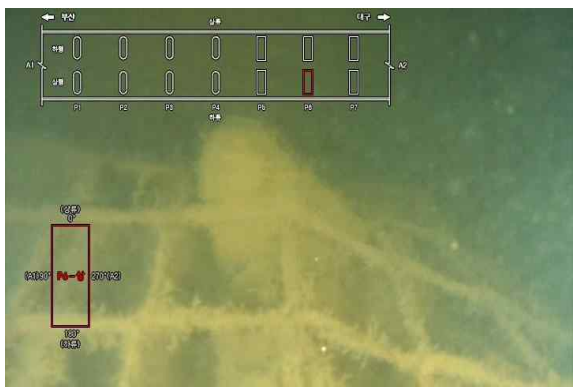
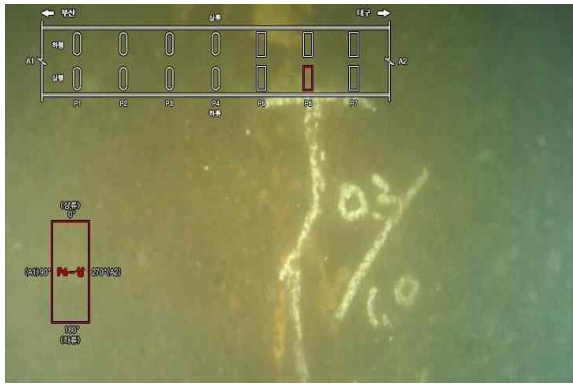
(4) P4(상행)

	
P4(상행) 30°, 표면상태 양호	
	
P4(상행) 70°, 세굴방지 보호공 상태양호	
	
P4(상행) 190°, 표면상태 양호	
	
P4(상행) 230°, 균열	
외관조사결과	■ 수중부 표면상태 : P4(상행) 수중조사결과 대체적으로 양호한 상태로 조사되었으나 230°에서 균열이 조사되었다. ■ 하상상태 : 하상상태 조사결과 세굴방지를 위한 돌망태가 시공되어 있는 것으로 확인되었으며 침하 및 세굴현상이 없는 양호한 상태인 것으로 조사되었다.
원인 및 대책	■ 균열은 시공초기 건조수축에 의한 균열로 사료되며 균열 폭이 크지 않아 현재 구조물의 안전성에는 지장이 없는 상태로 사료되나 향후 내구성 확보차원에서 보수를 실시하면 될 것으로 판단된다.

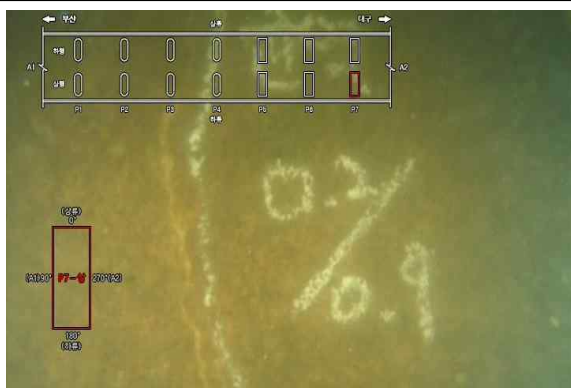
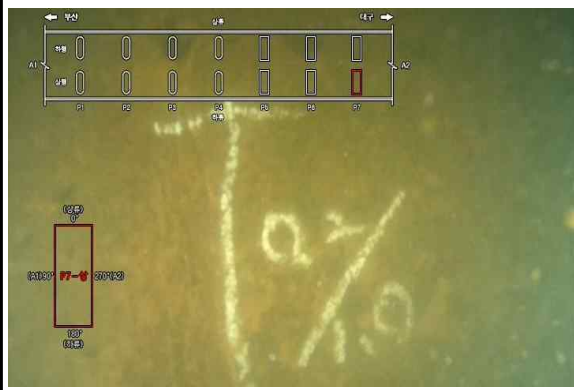
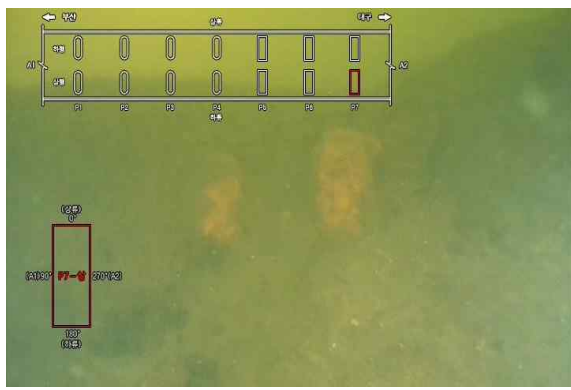
(5) P5(상행)

		
P5(상행) 0°면, 표면상태 양호		P5(상행) 50°면, 세굴방지 보호공 상태양호
		
P5(상행) 270°면, 표면상태 양호		P5(상행) 340°면, 표면상태 양호
외 관 조 사 결 과	■ 수중부 표면상태 : P5(상행) 수중조사결과 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었다. ■ 하상상태 : 하상상태 조사결과 세굴방지를 위한 돌망태가 시공되어 있는 상태이며 침하 및 세굴현상이 없는 양호한 상태인 것으로 조사되었다.	
원인 및 대책	■ 상태양호	

(6) P6(상행)

	
P6(상행) 0°면, 세굴방지 보호공 상태양호	
	
P6(상행) 90°면, 표면상태 양호	
	
P6(상행) 180°면, 균열	
	
P6(상행) 270°면, 표면상태 양호	
외 관 조 사 결 과	■ 수중부 표면상태 : P6(상행) 수중조사결과 대체적으로 양호한 상태로 조사되었으나 180°면에서 균열이 조사되었다. ■ 하상상태 : 하상상태 조사결과 세굴방지를 위한 돌망태가 시공되어 있는 상태이며 침하 및 세굴현상이 없는 양호한 상태인 것으로 조사되었다.
원인 및 대책	■ 균열은 시공초기 건조수축에 의한 균열로 사료되며 균열 폭이 크지 않아 현재 구조물의 안전성에는 지장이 없는 상태로 사료되나 향후 내구성 확보차원에서 보수를 실시하면 될 것으로 판단된다.

(7) P7(상행)

			
P7(상행) 0°면, 하상상태 양호		P7(상행) 90°면, 균열	
			
P7(상행) 90°면, 균열		P7(상행) 270°면, 파손	
외 관 조 사 결 과	■ 수중부 표면상태 : P7(상행) 수중조사결과 90°면에서 균열이 2개소 270°면에서 파손이 1개소 조사되었다. ■ 하상상태 : 하상상태 조사결과 세굴방지를 위한 돌망태는 시공되지 않은 상태였으며 침하 및 세굴현상이 없는 양호한 상태인 것으로 조사되었다.		
	■ 균열은 시공초기 건조수축에 의한 균열로 사료되며 균열 폭이 크지 않아 현재 구조물의 안전성에는 지장이 없는 상태로 사료되나 향후 내구성 확보차원에서 보수를 실시하면 될 것으로 판단된다. ■ 파손은 외부충격에 의한 것으로 판단되며 구조물의 내구성 확보차원에서 보수가 필요한 상태이다.		

1.3.2 하행

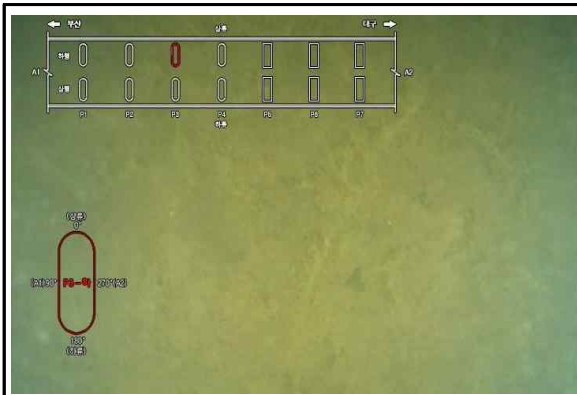
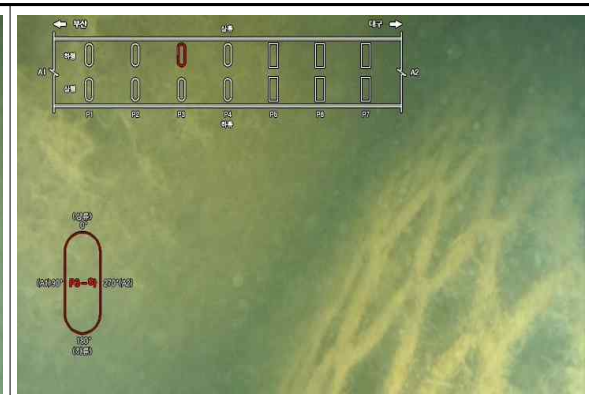
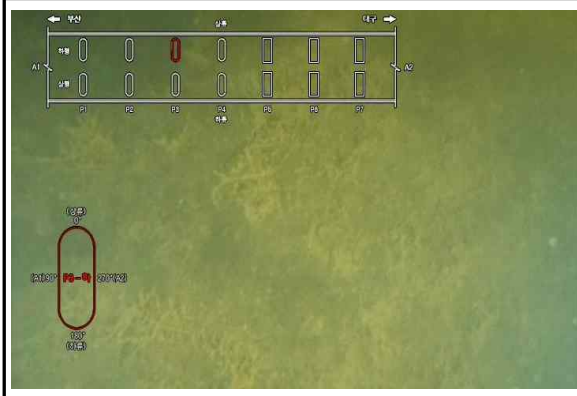
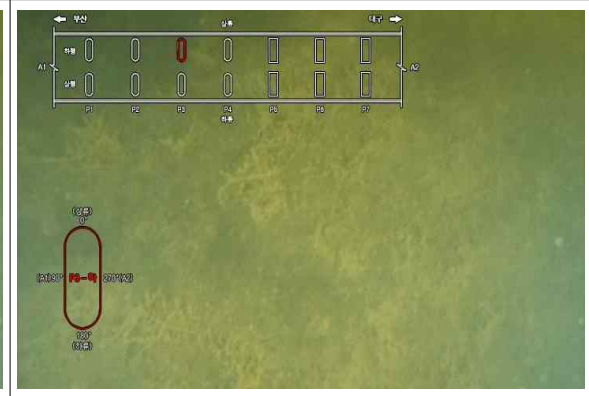
(1) P1(하행)

			
P1(하행) 180°, 표면상태 양호		P1(하행) 220°, 하상상태 양호	
			
P1(하행) 240°, 표면상태 양호		P1(하행) 270°, 균열	
외관조사결과	■ 수중부 표면상태 : P1(하행) 0°~180°구간은 수심이 낮아 수중조사가 불가능한 상태이며, 180°~360° 구간수중조사결과 270°에 균열이 발생한 것으로 조사되었다. ■ 하상상태 : 하상상태 조사결과 세굴방지를 위한 돌망태는 시공되지 않은 상태였으며 침하 및 세굴현상이 없는 양호한 상태인 것으로 조사되었다.		
	■ 균열은 시공초기 건조수축에 의한 균열로 사료되며 균열 폭이 크지 않아 현재 구조물의 안전성에는 지장이 없는 상태로 사료되나 향후 내구성 확보차원에서 보수를 실시하면 될 것으로 판단된다.		
원인 및 대책			

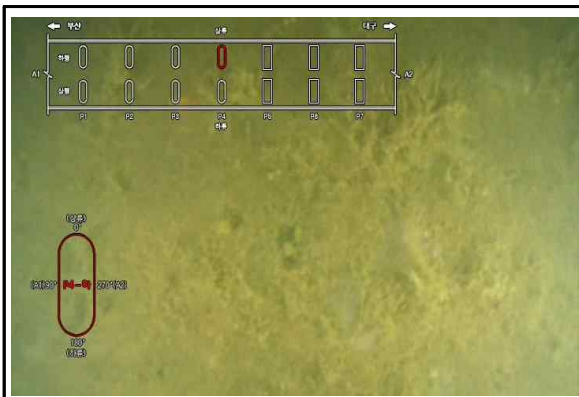
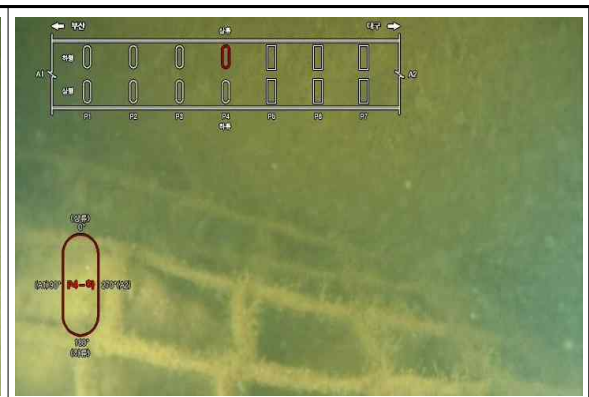
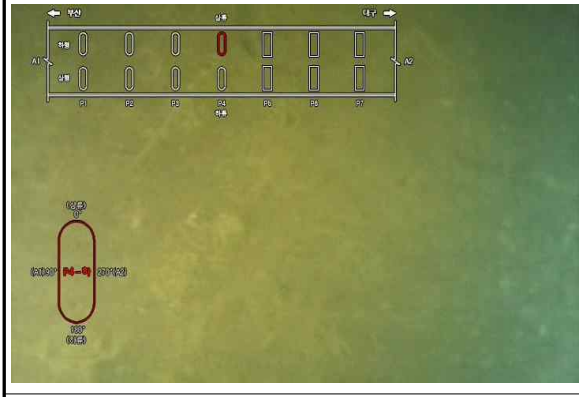
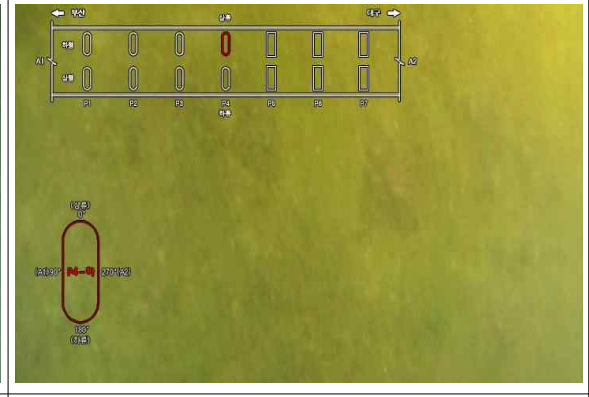
(2) P2(하행)

P2(하행) 30°, 표면상태 양호	P2(하행) 120°, 하상상태 양호
P2(하행) 190°, 표면상태 양호	P2(하행) 250°, 표면상태 양호
외관조사 결과	■ 수중부 표면상태 : P2(하행) 수중조사 결과 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었다. ■ 하상상태 : 하상상태 조사결과 세굴방지를 위한 돌망태가 시공되어 있는 상태이며 침하 및 세굴현상이 없는 양호한 상태인 것으로 조사되었다.
원인 및 대책	■ 상태양호

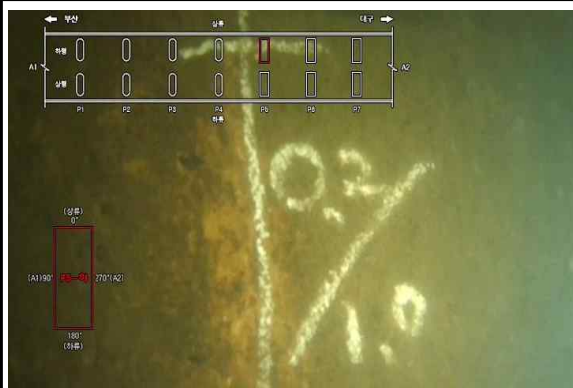
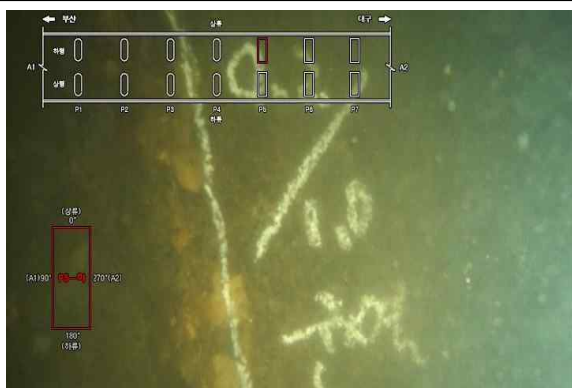
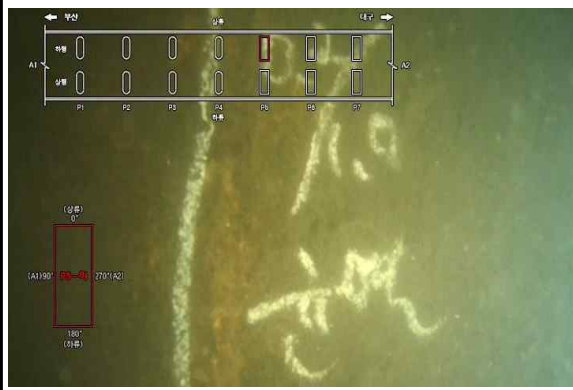
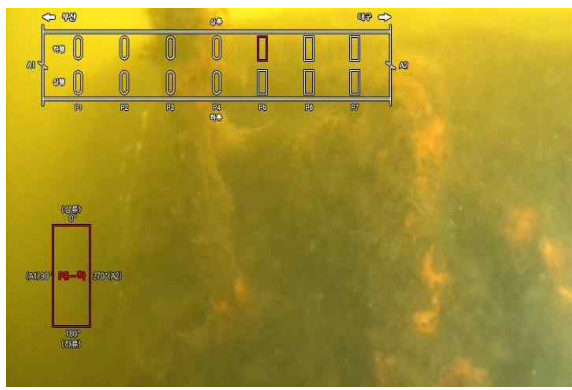
(3) P3(하행)

			
P3(하행) 80°, 표면상태 양호		P3(하행) 150°, 세굴방지 보호공 상태양호	
			
P3(하행) 250°, 표면상태 양호		P3(하행) 300°, 표면상태 양호	
외 관 조 사 결 과	■ 수중부 표면상태 : P3(하행) 수중조사결과 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었다. ■ 하상상태 : 하상상태 조사결과 세굴방지를 위한 돌망태가 시공되어 있는 상태이며 침하 및 세굴현상이 없는 양호한 상태인 것으로 조사되었다.		
원인 및 대책	■ 상태양호		

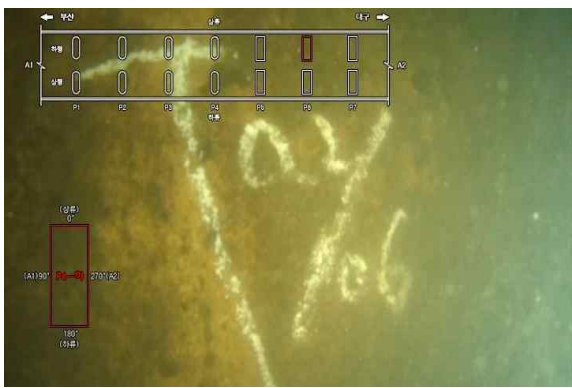
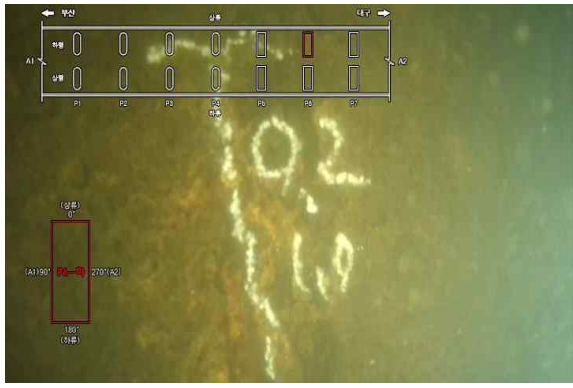
(4) P4(하행)

			
P4(하행) 50°, 표면상태 양호		P4(하행) 130°, 세굴방지 보호공 상태양호	
			
P4(하행) 200°, 표면상태 양호		P4(하행) 320°, 표면상태 양호	
외 관 조 사 결 과	■ 수중부 표면상태 : P4(하행) 수중조사 결과 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었다. ■ 하상상태 : 하상상태 조사결과 세굴방지를 위한 돌망태가 시공되어 있는 상태이며 침하 및 세굴현상이 없는 양호한 상태인 것으로 조사되었다.		
원인 및 대책	■ 상태 양호		

(5) P5(하행)

			
P5(하행) 90°면, 균열		P5(하행) 90°면, 균열	
			
P5(하행) 90°면, 균열		P5(하행) 270°면, 철근노출	
외 관 조 사 결 과	■ 수중부 표면상태 : P5(하행) 수중조사결과 90°면에서 균열이 3개소가 발생하였으며, 270°면에서 철근노출이 1개소 조사되었다. ■ 하상상태 : 하상상태 조사결과 세굴방지를 위한 돌망태가 시공되어 있는 상태이며 침하 및 세굴현상이 없는 양호한 상태인 것으로 조사되었다.		
원인 및 대책	■ 균열은 시공초기 건조수축에 의한 균열로 사료되며 균열 폭이 크지 않아 현재 구조물의 안전성에는 지장이 없는 상태로 사료되나 향후 내구성 확보차원에서 보수를 실시하면 될 것으로 판단된다. ■ 철근노출은 공용 중 외부충격에 의한 파손 발생부 손상으로 관찰되며, 방치시 철근부식으로 인한 주변부 박락 등 추가손상 발생의 우려가 있으므로 적정 보수가 필요한 상태이다.		

(6) P6(하행)

	
P6(하행) 0°면, 세굴방지 보호공 상태양호	
	
P6(하행) 0°면, 균열	
	
P6(하행) 90°면, 균열	
	
P6(하행) 180°면, 표면상태 양호	
외 관 조 사 결 과	■ 수중부 표면상태 : P6(하행) 수중조사결과 0°면 및 90°면에서 균열이 조사되었다. ■ 하상상태 : 하상상태 조사결과 세굴방지를 위한 돌망태가 시공되어 있는 상태이며 침하 및 세굴현상이 없는 양호한 상태인 것으로 조사되었다.
원인 및 대책	■ 균열은 시공초기 건조수축에 의한 균열로 사료되며 균열 폭이 크지 않아 현재 구조물의 안전성에는 지장이 없는 상태로 사료되나 향후 내구성 확보차원에서 보수를 실시하면 될 것으로 판단된다.

(7) P7(하행)

	
P7(하행) 0°면, 하상상태 양호	
	
P7(하행) 90°면, 균열	
	
P7(하행) 180°면, 하상상태 양호	
	
P7(하행) 270°면, 하상상태 양호	
외 관 조 사 결 과	■ 수중부 표면상태 : P7(하행) 수중조사결과 대체적으로 양호한 상태로 조사되었으나 90°면에서 균열이 조사되었다. ■ 하상상태 : 하상상태 조사결과 세굴방지를 위한 돌망태는 시공되어 있지 않은 상태였으며 침하 및 세굴현상이 없는 양호한 상태인 것으로 조사되었다.
원인 및 대책	■ 균열은 시공초기 건조수축에 의한 균열로 사료되며 균열 폭이 크지 않아 현재 구조물의 안전성에는 지장이 없는 상태로 사료되나 향후 내구성 확보차원에서 보수를 실시하면 될 것으로 판단된다.

1.3.3 수증부 손상물량

수증부 손상물량은 다음과 같다

<표 1.2> 손상물량(상행)

위 치	손상종류	단위	규모	비고
P1(상행)	상태양호	-	-	
P2(상행)	상태양호	-	-	
P3(상행)	균열	m	1.1	
P4(상행)	균열	m	0.7	
P5(상행)	상태양호	-	-	
P6(상행)	균열	m	1.0	
P7(상행)	균열	m	1.9	
	파손	m ²	0.28	

<표 1.3> 손상물량(하행)

위 치	손상종류	단위	규모	비고
P1(하행)	균열(수상부)	m	0.3	
	균열(수증부)	m	1.0	
P2(하행)	상태양호	-	-	
P3(하행)	상태양호	-	-	
P4(하행)	상태양호	-	-	
P5(하행)	균열	m	3.0	
	철근노출	m ²	0.24	
P6(하행)	균열	m	1.6	
P7(하행)	균열	m	1.5	

1.4 하상면 조사

1.4.1 개 요

하천을 횡단하는 교량 건설시 교각을 설치하게 되면 교각 주위내 흐름장(Flow Field)에 상당한 변화가 일어나서 교각 주위에 있던 재료들이 움직이게 되는 이른바 국부세굴이 발생하게 된다.

이와 같은 경우를 실험을 통하여 최대세굴심도나 평형세굴심도를 구할 수 있는 수십여개의 공식들이 나와 있지만 이를 실제 하천에 적용하여 보면 동일한 현장조건일 경우에도 계산된 세굴심도의 차이가 몇 십 퍼센트에서 몇 배에 이르는 등 차이가 크게 나타나고 있다. 이러한 문제점을 인식하고 미국에서는 1993년 HEC 18이라는 매뉴얼을 통하여 현장에 비교적 잘 적용되는 공식을 제안하고 있으며 실제 일어날 수 있는 여러 현상에 대하여도 자세히 설명하고 있다.

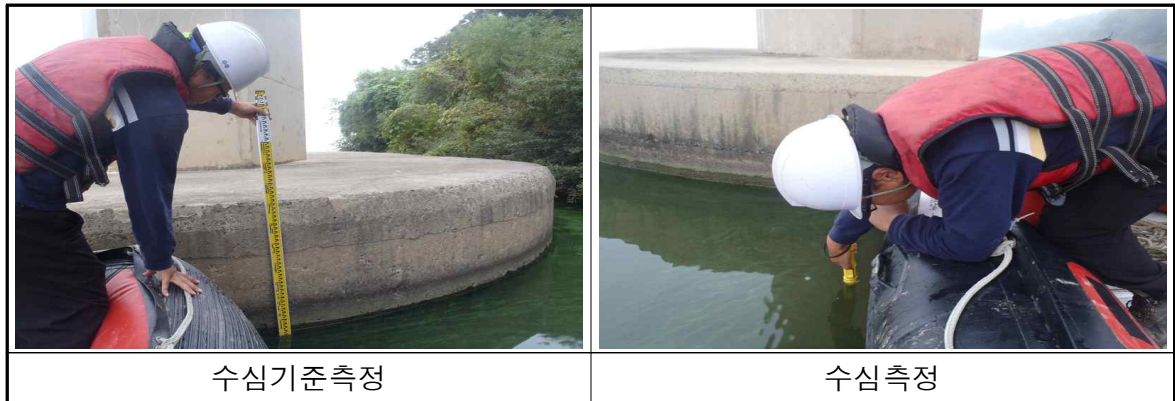
그러나, 이와 같은 것을 아무런 검증 없이 우리의 교량에 적용한다는 것은 또 다른 문제를 야기시킬 수 있다. 왜냐하면 위에서 검토한 바와 같이 이와 같은 공식들이 우리가 적용하고자 하는 주변유역의 특성이 일치하는 모형실험을 통하여 만들어진 것이라기 보다는 그렇지 못한 경우가 대부분이기 때문이다.

따라서, 우리가 어느 한 특정지역의 국부세굴심도를 측정하고자 하면 이와 같은 기존 공식뿐만 아니라 공식이 유도된 조건을 검토하고 가능하면 실험 또는 현장 측정을 통하여 검증하는 등 몇 단계 검증 절차를 거쳐서 최종적인 결정을 내리는 것이 바람직하다.

따라서, 이와 같은 피해를 최소화하기 위하여는 세굴현상 및 심천측량(Sounding)을 실시하여 하상의 상태를 정확히 예측하는 것이 필요한 동시에 이를 방지 할 수 있는 대책을 강구하여야 할 것이다.

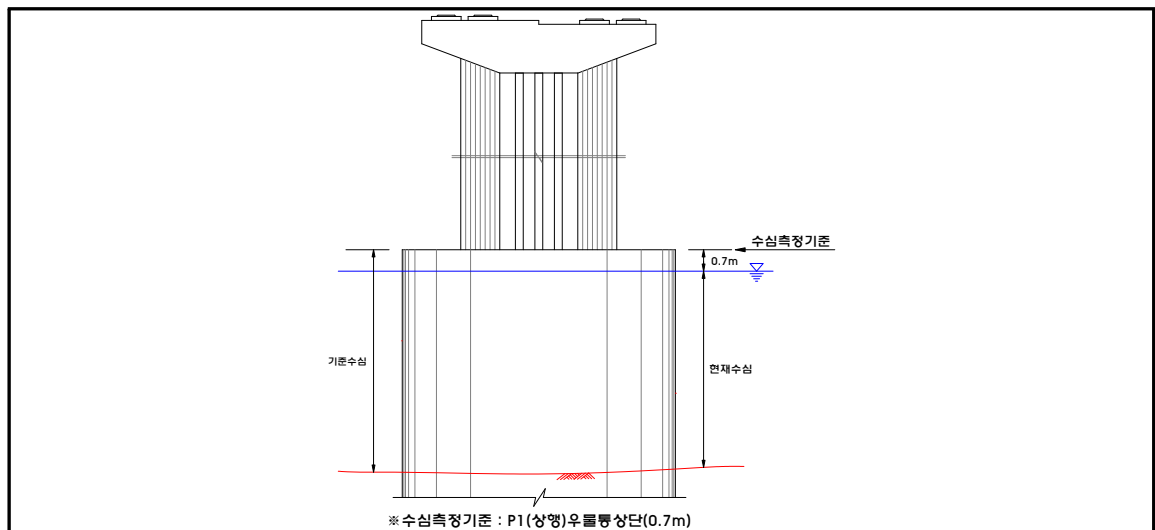
하상면 지형조사는 향후 연차별 비교 및 지속적인 유지관리를 위하여 P1(상행) 우물통상단을 기준으로 각 교각 당 16지점(표면지점, 1m지점, 3m지점, 5m지점)에서 하상 수심측정을 실시하였다.

1.4.2 수심기준측정 및 수심측정현황

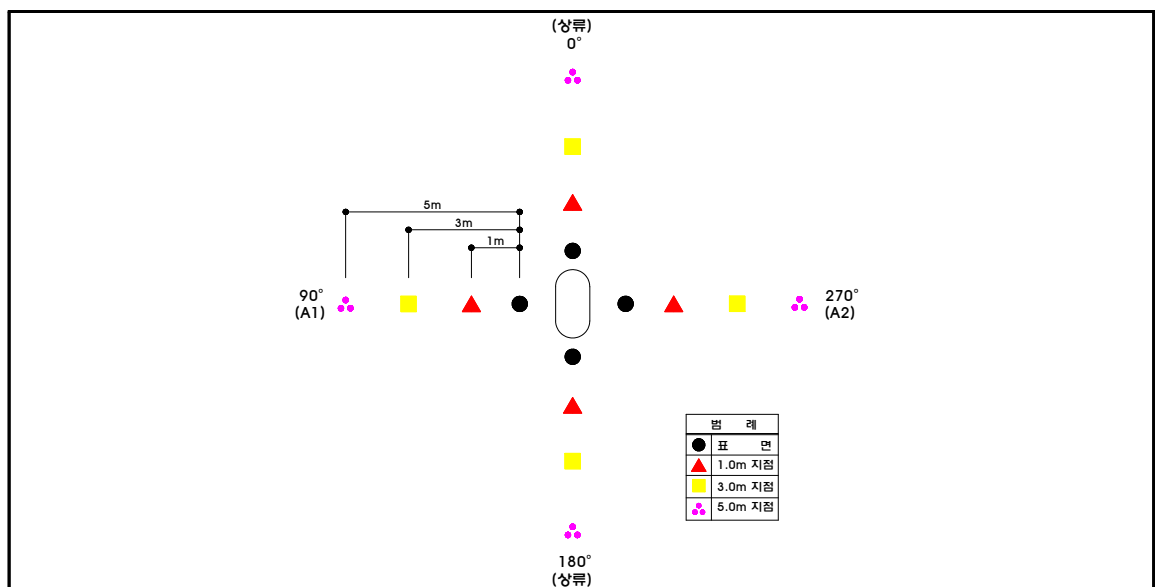


<사진 1.2> 수심기준측정 및 수심측정

1.4.3 하상면 수심측정 개요도



<그림 1.4> 수심측정기준 개요도



<그림 1.5> 하상면 수심측정 개요도

제 1 장 수증조사

1.4.4 수심측정결과

<표 1.4> 수심표(상행)

※ 수심측정기준 : P1(상행) 우물통상단(0.7m)

현재수심
(기준수심)

교각	0°				90°				180°				270°			
	표면	1m	3m	5m	표면	1m	3m	5m	표면	1m	3m	5m	표면	1m	3m	5m
P1 (상행)	0.6 (1.3)	0.8 (1.5)	0.5 (1.2)	1.0 (1.7)	0.5 (1.2)	0.5 (1.2)	- (-)	- (-)	0.3 (1.0)	0.5 (1.2)	1.0 (1.7)	1.0 (1.7)	0.9 (1.6)	1.0 (1.7)	1.2 (1.9)	1.0 (1.7)
P2 (상행)	10.9 (11.6)	10.6 (11.3)	10.7 (11.4)	10.3 (11.0)	11.4 (12.1)	11.4 (12.1)	11.6 (12.3)	11.4 (12.1)	10.0 (10.7)	10.0 (10.7)	10.0 (10.7)	9.9 (10.6)	11.4 (12.1)	11.3 (12.0)	11.3 (12.0)	11.5 (12.2)
P3 (상행)	4.5 (5.2)	4.7 (5.4)	5.1 (5.8)	5.2 (5.9)	4.4 (5.1)	4.3 (5.0)	4.5 (5.2)	5.4 (6.1)	4.1 (4.8)	3.8 (4.5)	3.8 (4.5)	4.0 (4.7)	6.3 (7.0)	6.2 (6.9)	6.3 (7.0)	6.1 (6.8)
P4 (상행)	1.6 (2.3)	1.7 (2.4)	1.7 (2.4)	1.7 (2.4)	4.1 (4.8)	3.9 (4.6)	4.1 (4.8)	4.7 (5.4)	4.9 (5.6)	2.4 (3.1)	2.5 (3.2)	2.5 (3.2)	2.0 (2.7)	2.1 (2.8)	2.3 (3.0)	2.8 (3.5)
P5 (상행)	5.9 (6.6)	5.8 (6.5)	5.5 (6.2)	5.7 (6.4)	4.5 (5.2)	4.1 (4.8)	4.9 (5.6)	5.2 (5.9)	4.0 (4.7)	5.1 (5.8)	5.3 (6.0)	5.1 (5.8)	4.0 (4.7)	4.1 (4.8)	5.2 (5.9)	6.1 (6.8)
P6 (상행)	3.8 (4.5)	6.2 (6.9)	5.9 (6.6)	6.3 (7.0)	5.6 (6.3)	5.6 (6.3)	6.3 (7.0)	6.9 (7.6)	3.8 (4.5)	4.7 (5.4)	5.0 (5.7)	5.2 (5.9)	3.8 (4.5)	5.8 (6.5)	5.8 (6.5)	6.1 (6.8)
P7 (상행)	5.1 (5.8)	4.8 (5.5)	5.0 (5.7)	5.2 (5.9)	5.5 (6.2)	5.9 (6.6)	6.1 (6.8)	6.3 (7.0)	2.1 (2.8)	2.5 (3.2)	2.3 (3.0)	2.7 (3.4)	3.4 (4.1)	2.7 (3.4)	2.6 (3.3)	2.7 (3.4)

<표 1.5> 수심표(하행)

※ 수심측정기준 : P1(상행) 우물통상단(0.7m)

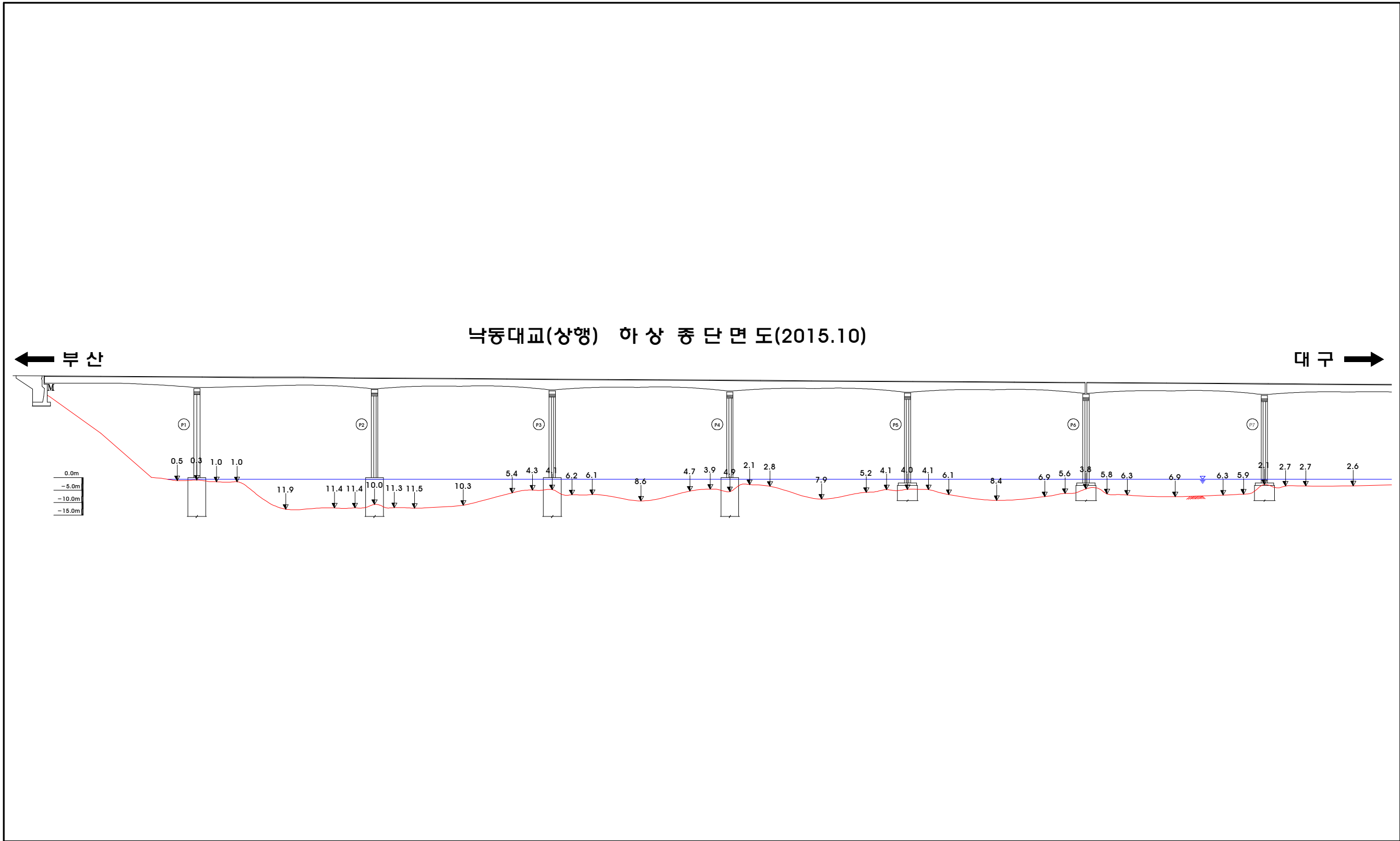
현재수심
(기준수심)

교각	0°				90°				180°				270°			
	표면	1m	3m	5m	표면	1m	3m	5m	표면	1m	3m	5m	표면	1m	3m	5m
P1 (하행)	0.9 (1.6)	1.1 (1.8)	0.9 (1.6)	0.9 (1.6)	0.4 (1.1)	0.4 (1.1)	- (-)	- (-)	0.4 (1.1)	0.7 (1.4)	0.8 (1.5)	0.8 (1.5)	0.9 (1.6)	1.0 (1.7)	1.2 (1.9)	1.3 (2.0)
P2 (하행)	6.4 (7.1)	6.6 (7.3)	6.7 (7.4)	7.0 (7.7)	8.8 (9.5)	8.4 (9.1)	8.3 (9.0)	8.6 (9.3)	8.3 (9.0)	8.3 (9.0)	8.4 (9.1)	8.4 (9.1)	8.1 (8.8)	8.4 (9.1)	8.4 (9.1)	8.4 (9.1)
P3 (하행)	5.2 (5.9)	5.0 (5.7)	5.0 (5.7)	5.3 (6.0)	4.6 (5.3)	4.9 (5.6)	4.8 (5.5)	5.1 (5.8)	4.7 (5.4)	4.6 (5.3)	4.3 (5.0)	4.1 (4.8)	6.1 (6.8)	6.1 (6.8)	6.1 (6.8)	6.3 (7.0)
P4 (하행)	4.3 (5.0)	4.2 (4.9)	4.2 (4.9)	4.5 (5.2)	5.2 (5.9)	5.1 (5.8)	4.8 (5.5)	5.5 (6.2)	3.7 (4.4)	3.8 (4.5)	3.8 (4.5)	3.2 (3.9)	4.8 (5.5)	4.8 (5.5)	5.1 (5.8)	5.1 (5.8)
P5 (하행)	5.1 (5.8)	5.2 (5.9)	5.3 (6.0)	5.5 (6.2)	3.9 (4.6)	5.0 (5.7)	5.5 (6.2)	5.7 (6.4)	3.3 (4.0)	4.1 (4.8)	4.5 (5.2)	4.7 (5.4)	3.8 (4.5)	3.9 (4.6)	4.9 (5.6)	5.5 (6.2)
P6 (하행)	4.5 (5.2)	5.5 (6.2)	5.8 (6.5)	5.5 (6.2)	4.4 (5.1)	5.1 (5.8)	5.6 (6.3)	6.2 (6.9)	3.6 (4.3)	4.3 (5.0)	5.1 (5.8)	5.5 (6.2)	4.4 (5.1)	4.2 (4.9)	4.9 (5.6)	5.3 (6.0)
P7 (하행)	4.9 (5.6)	4.4 (5.1)	4.5 (5.2)	4.7 (5.4)	4.0 (4.7)	4.0 (4.7)	4.9 (5.6)	5.5 (6.2)	2.5 (3.2)	3.3 (4.0)	3.4 (4.1)	3.7 (4.4)	4.0 (4.7)	3.7 (4.4)	3.0 (3.7)	2.9 (3.6)

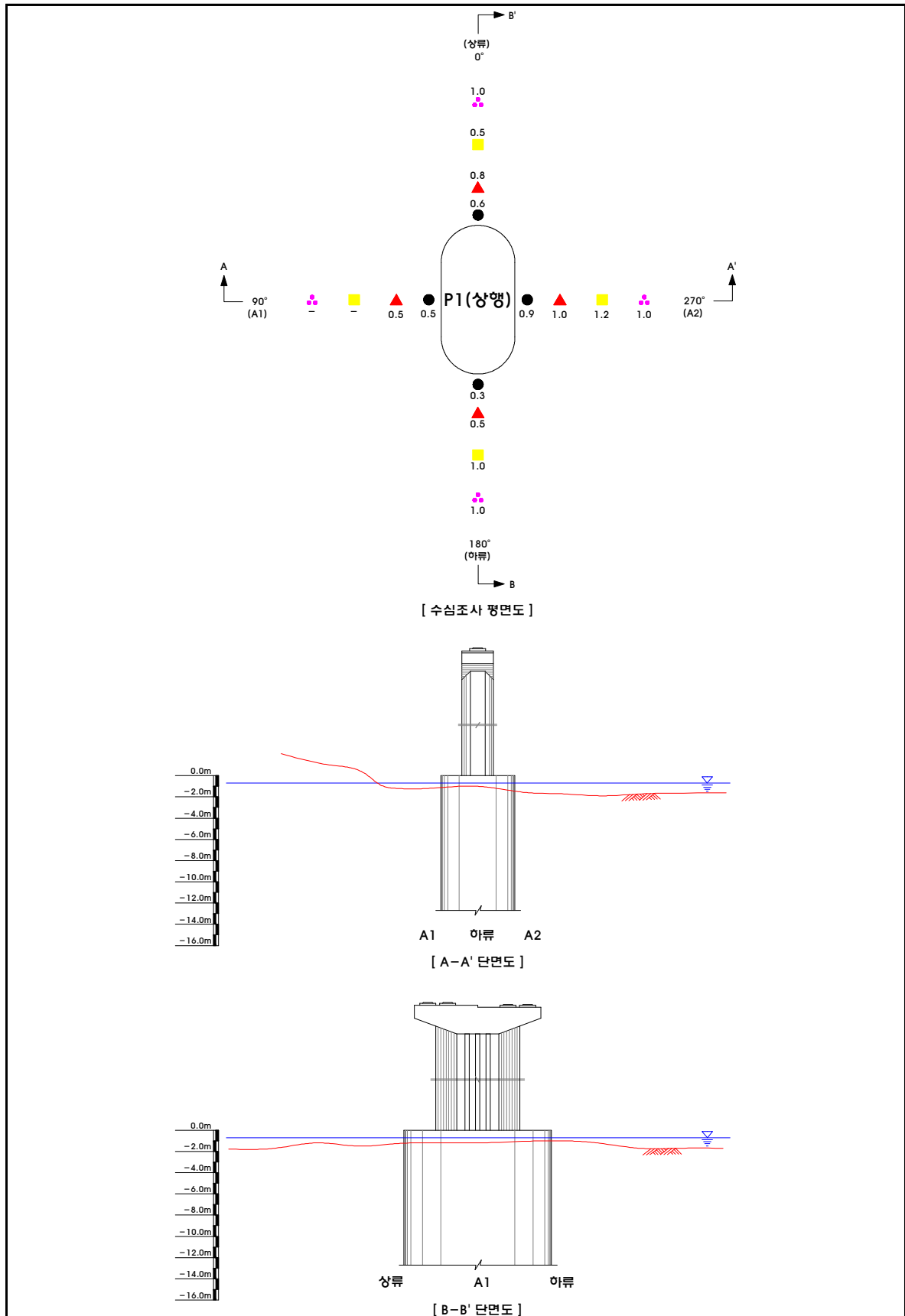
낙동대교 상·하행 수심측정 결과 상행은 0.3~11.6m 측정되었으며 하행은 0.3~8.8m로 측정되었으며 상·하행 P2주변에서 수심변화가 보이거나 이는 하상저하 현상은 아닌 것으로 사료되며 교각 주변 세굴 및 하상저하는 발생하지 않은 것으로 판단된다.

1.4.3 수심측정도

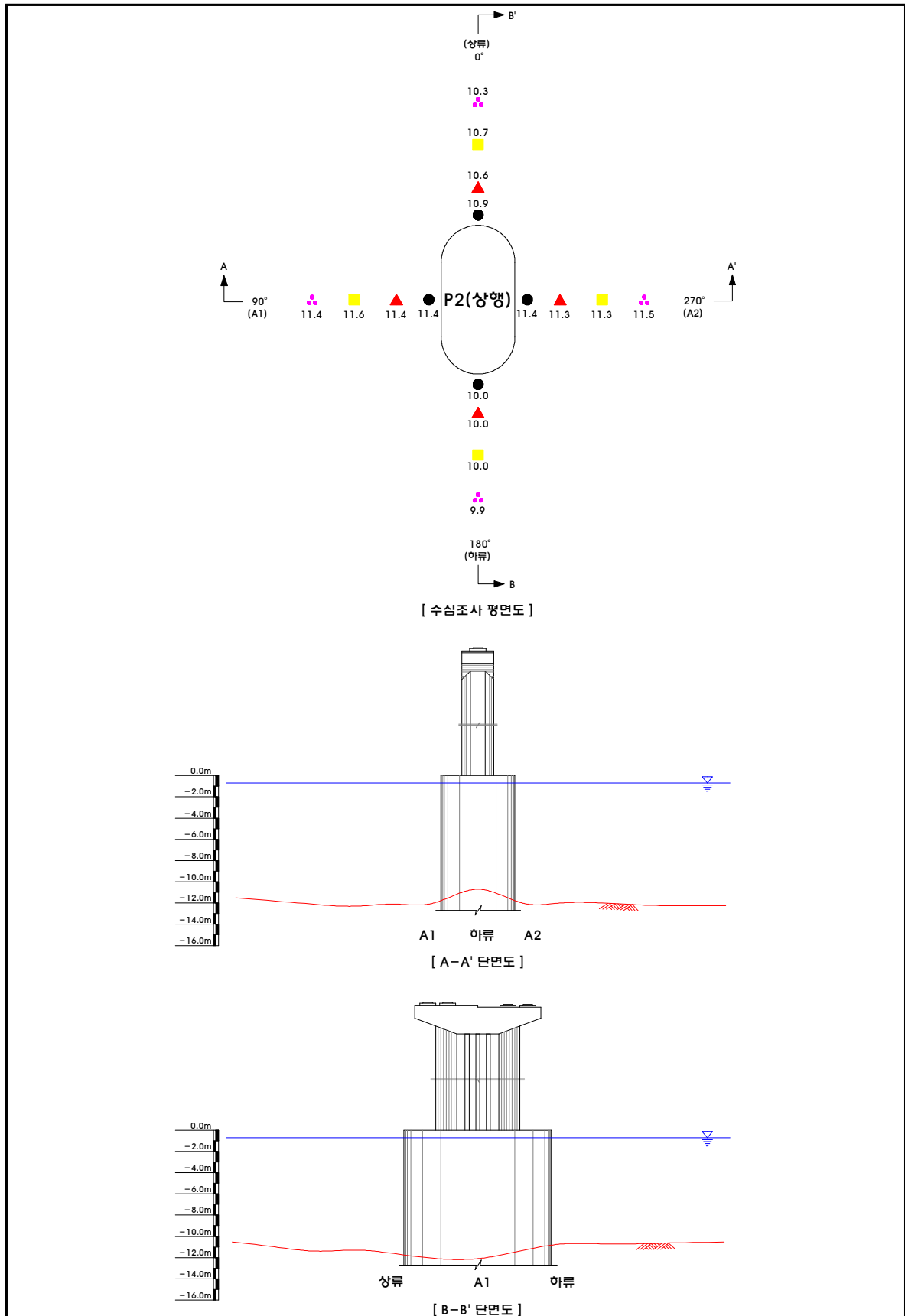
(1) 종단면도(상행)



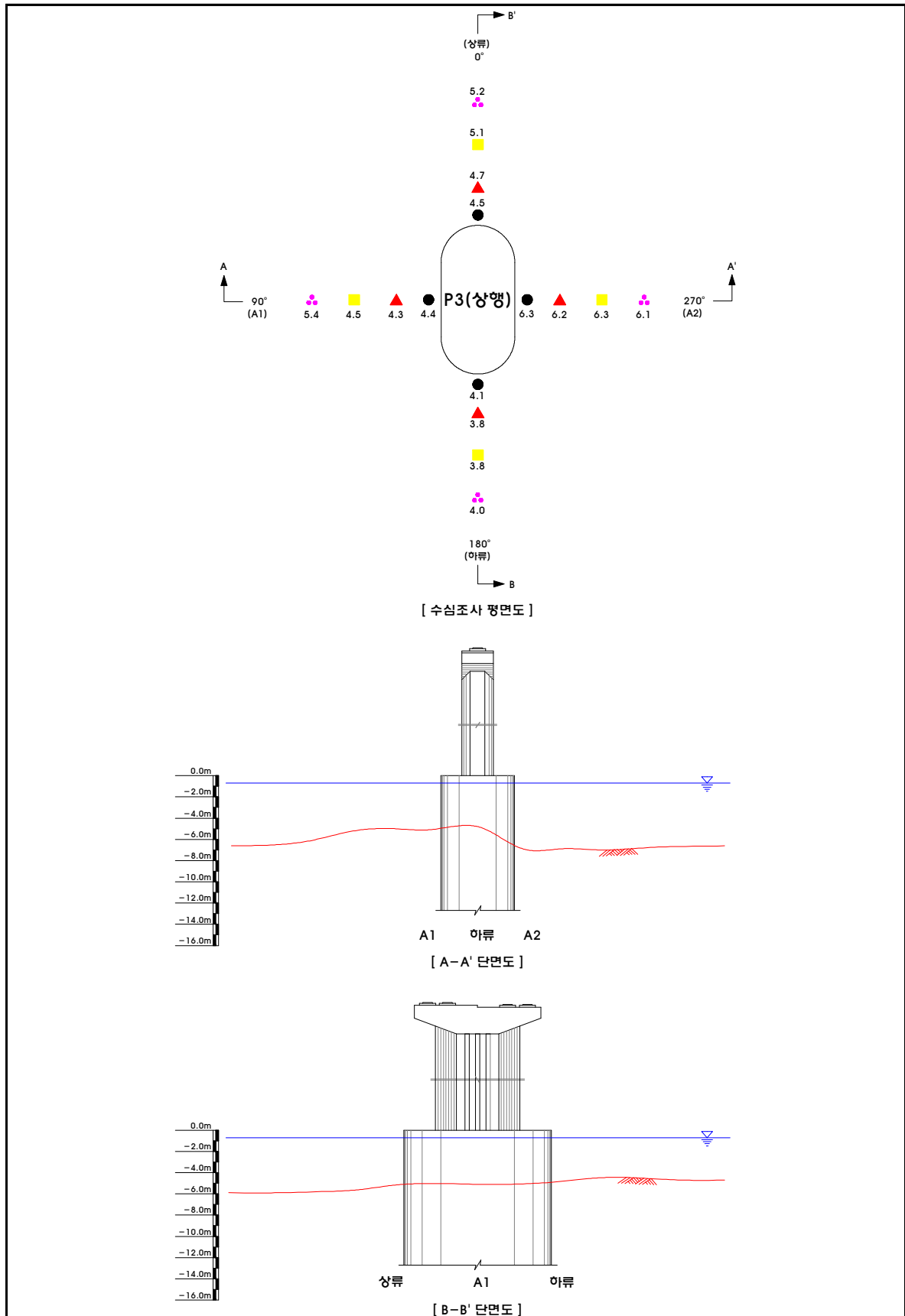
(2) P1(상행) 측정결과



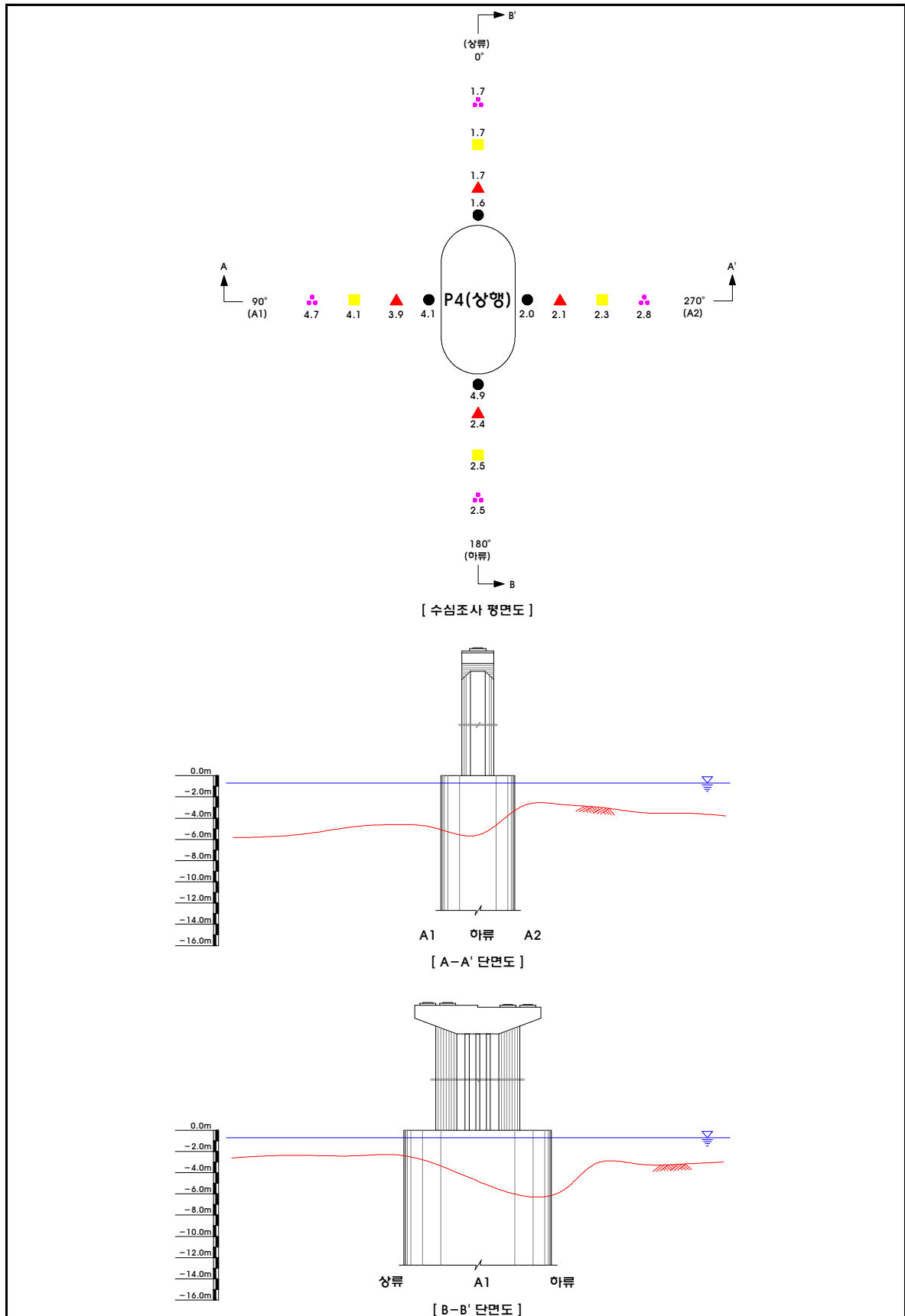
(3) P2(상행) 측정결과



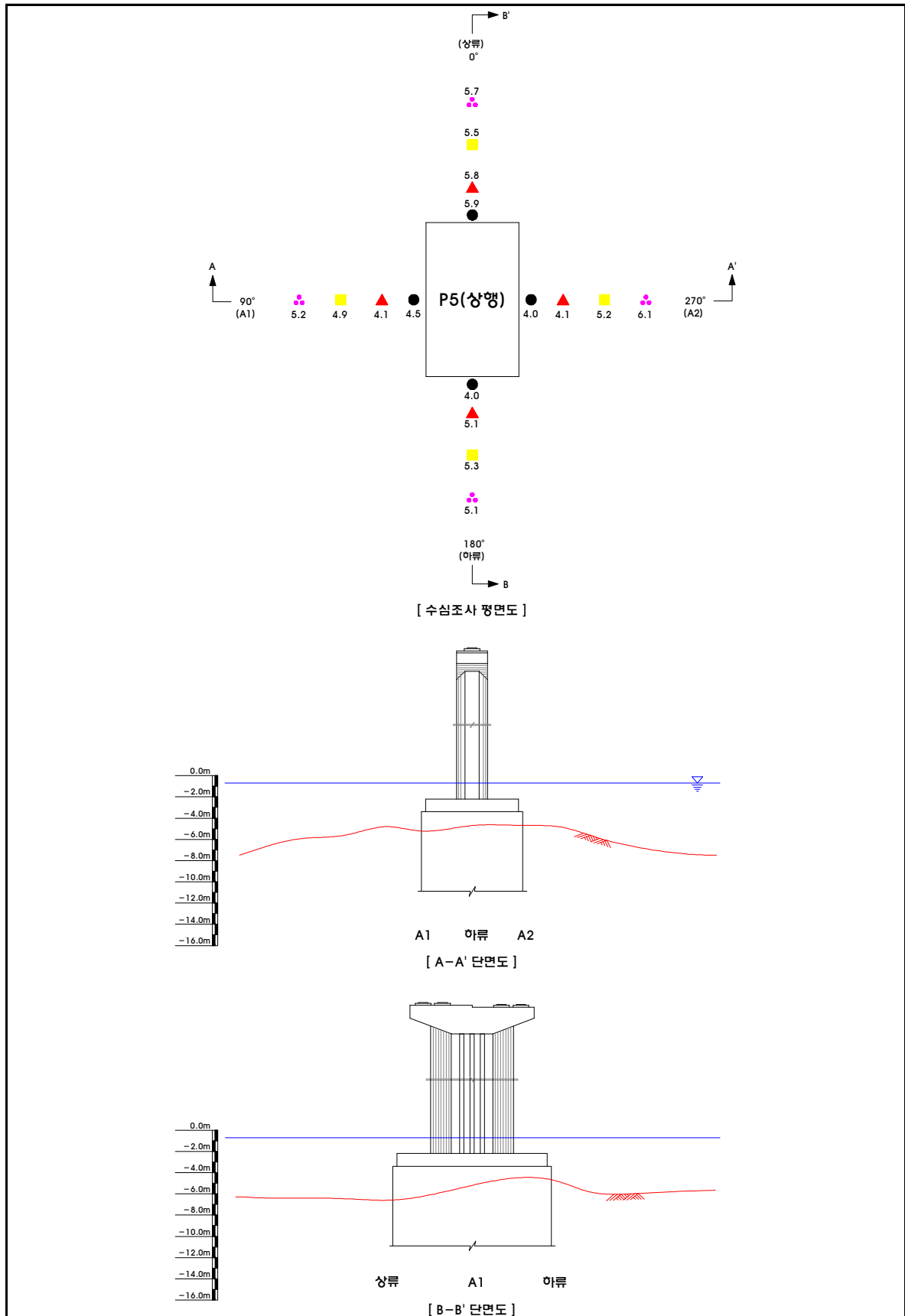
(4) P3(상행) 측정결과



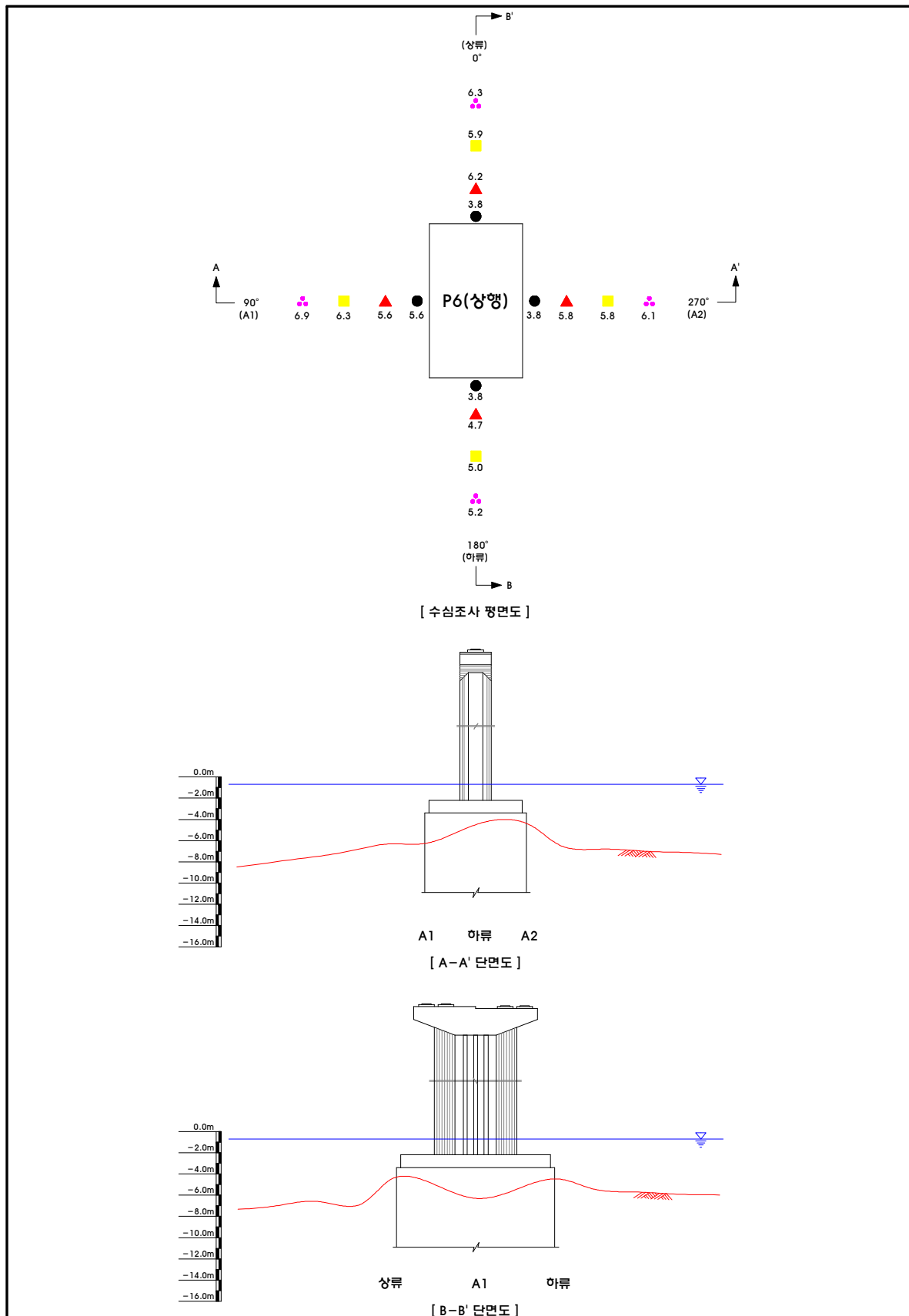
(5) P4(상행) 측정결과



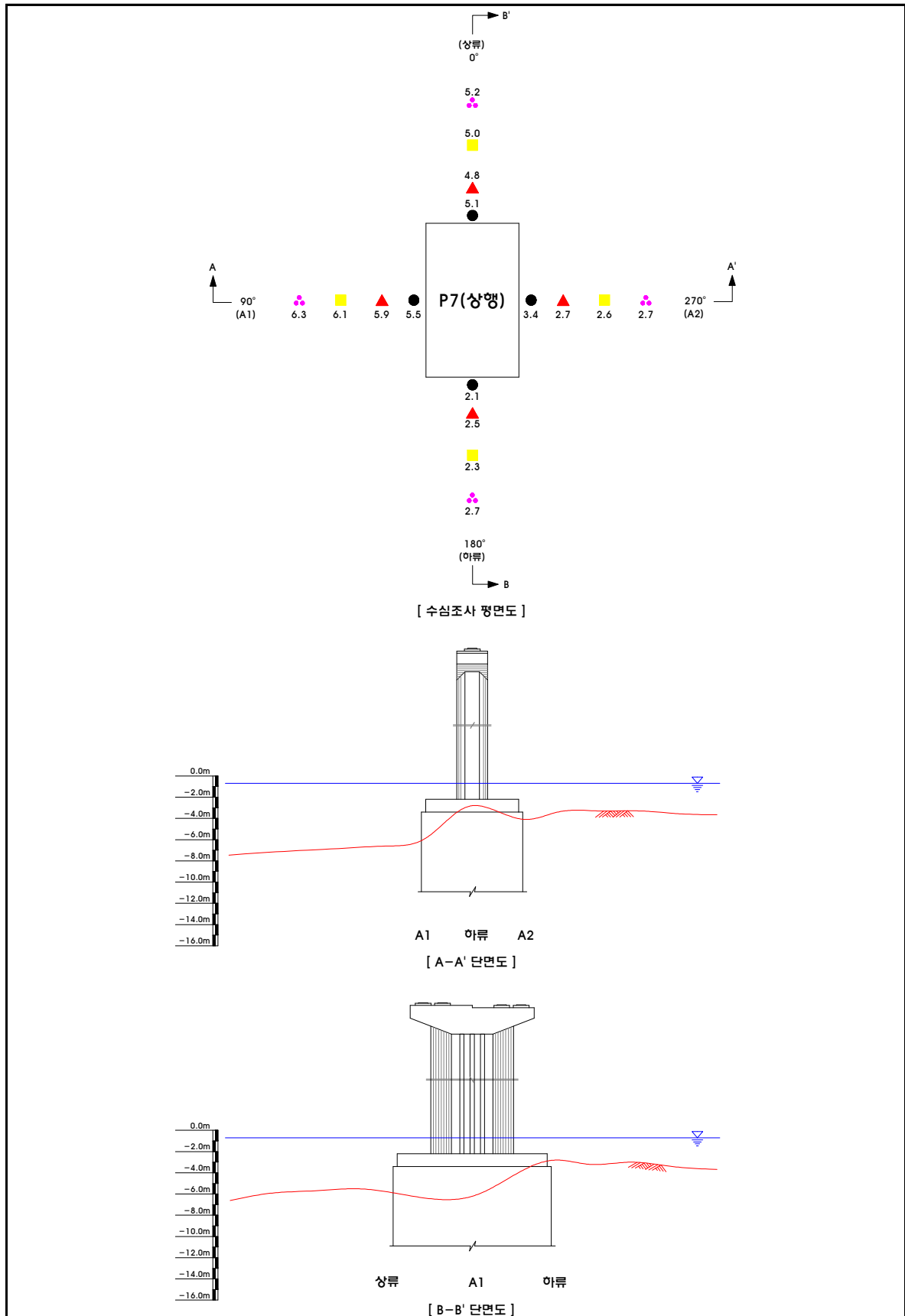
(6) P5(상행) 측정결과



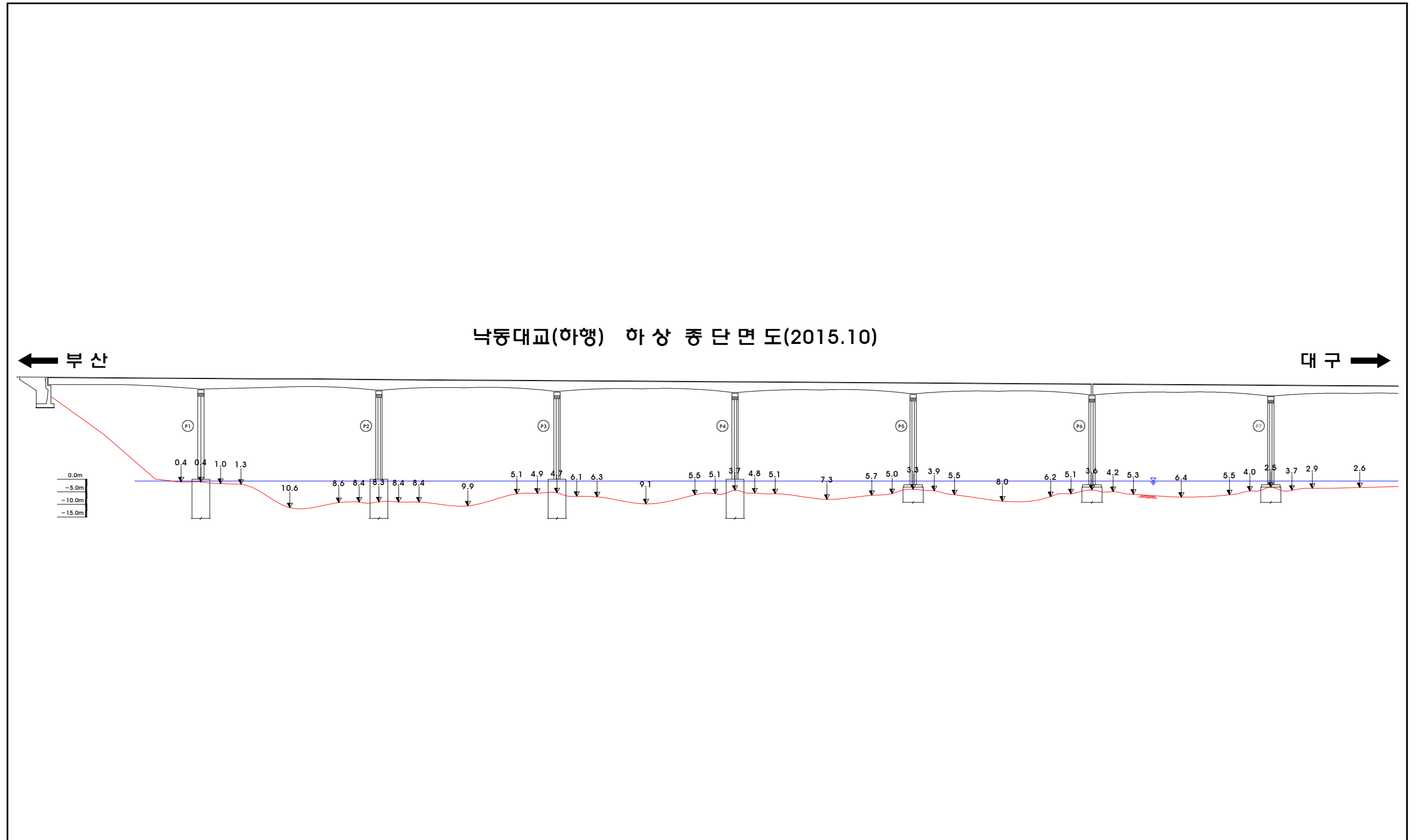
(7) P6(상행) 측정결과



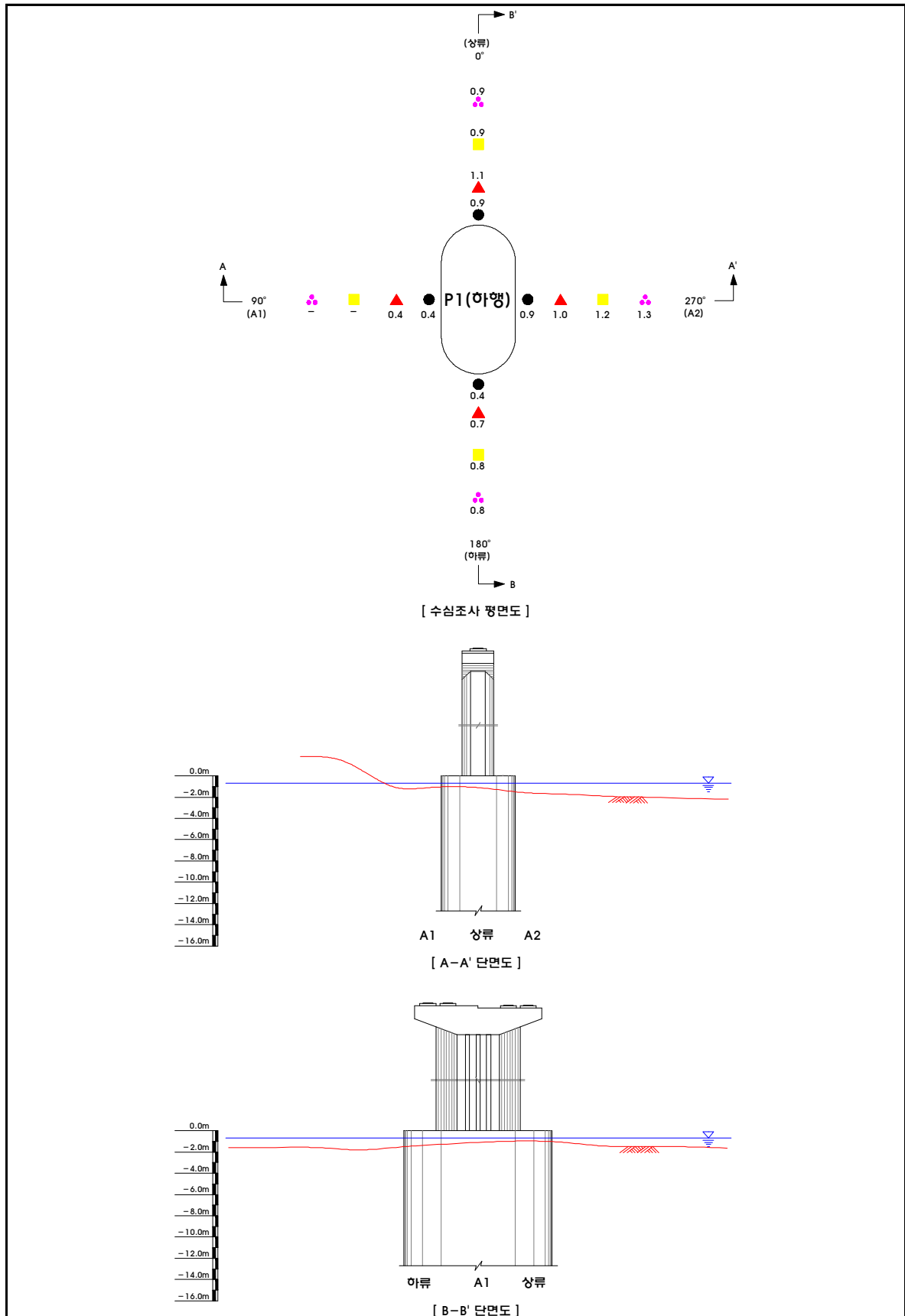
(8) P7(상행) 측정결과



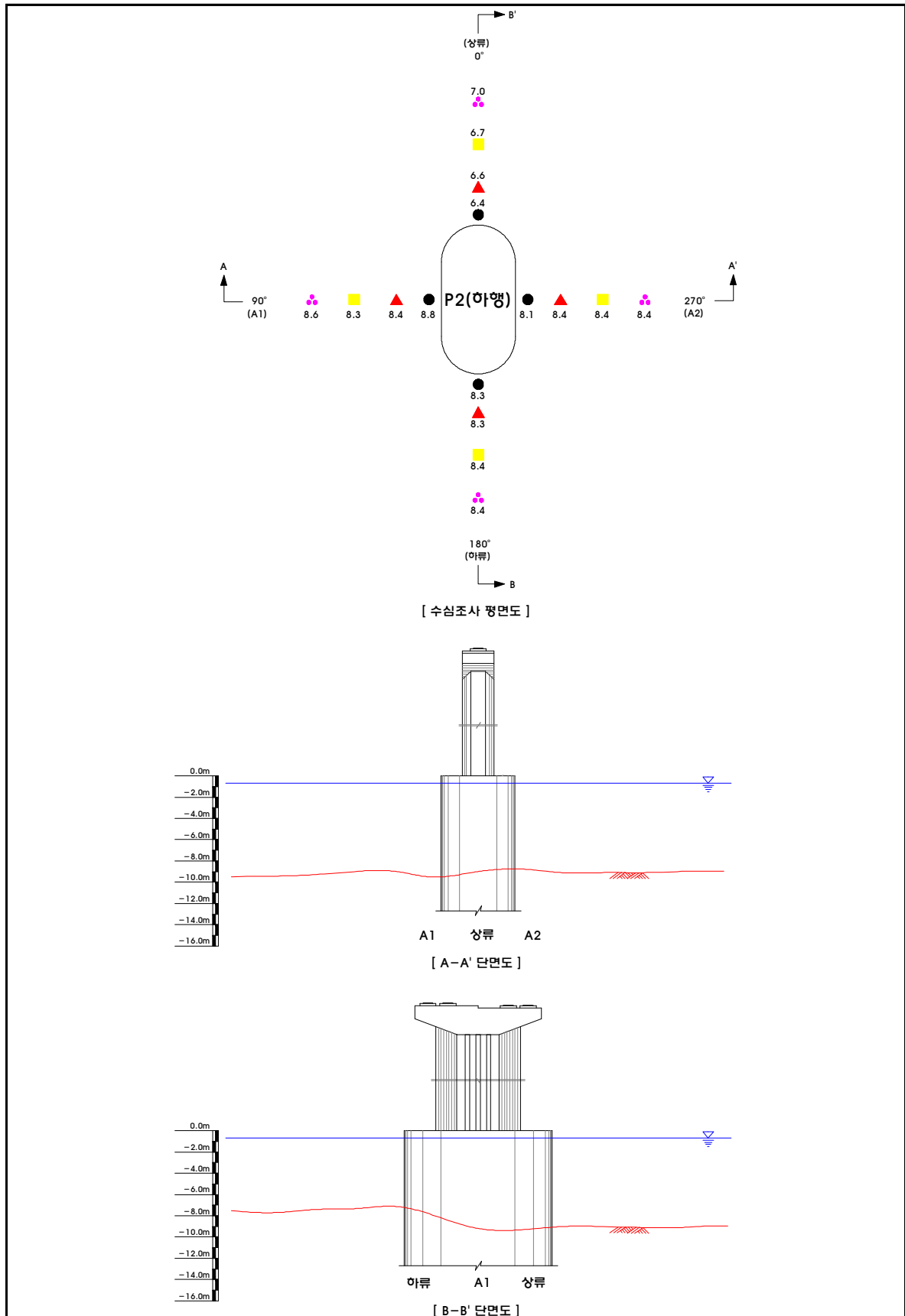
(9) 종단면도(하행)



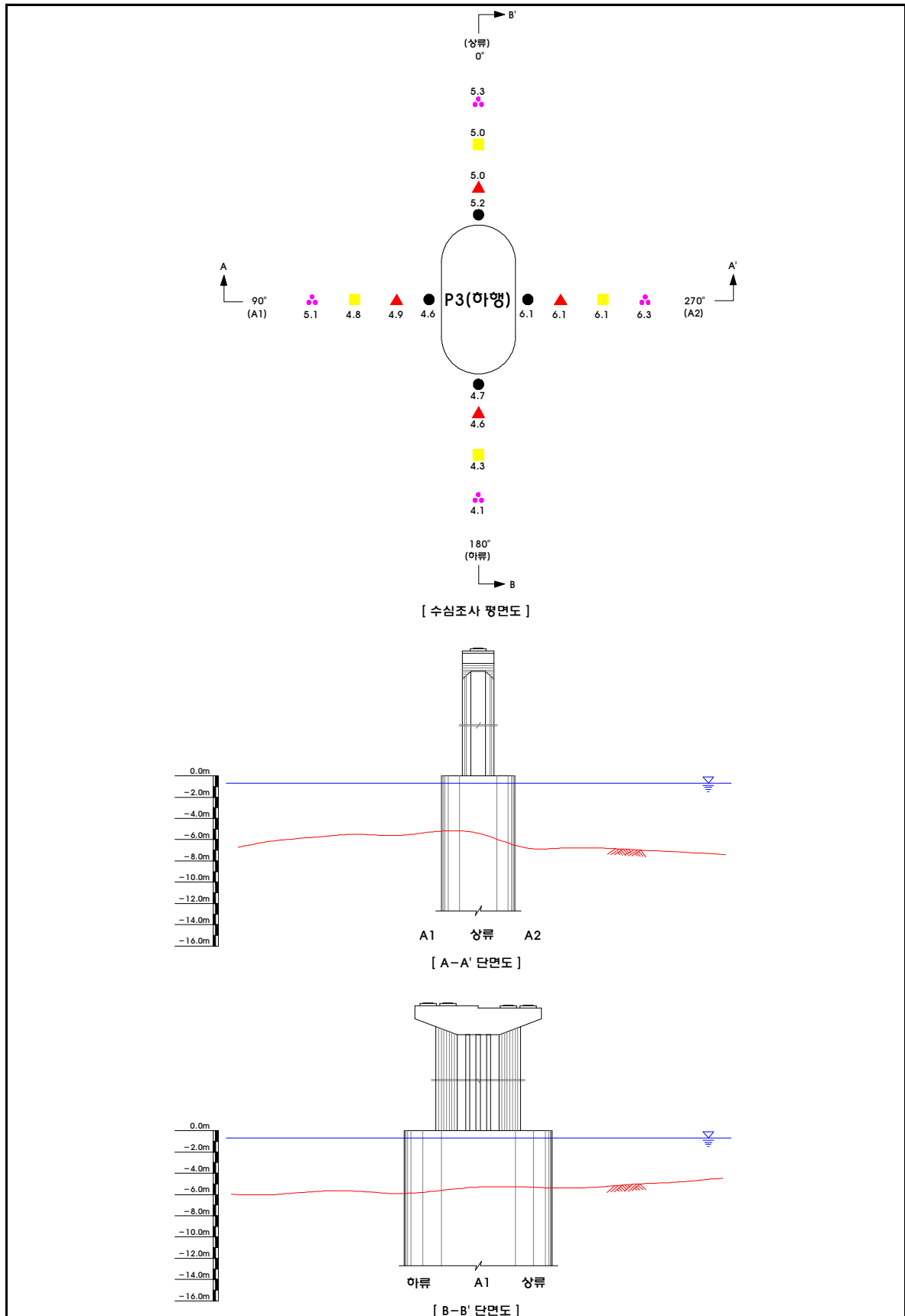
(10) P1(하행) 측정결과



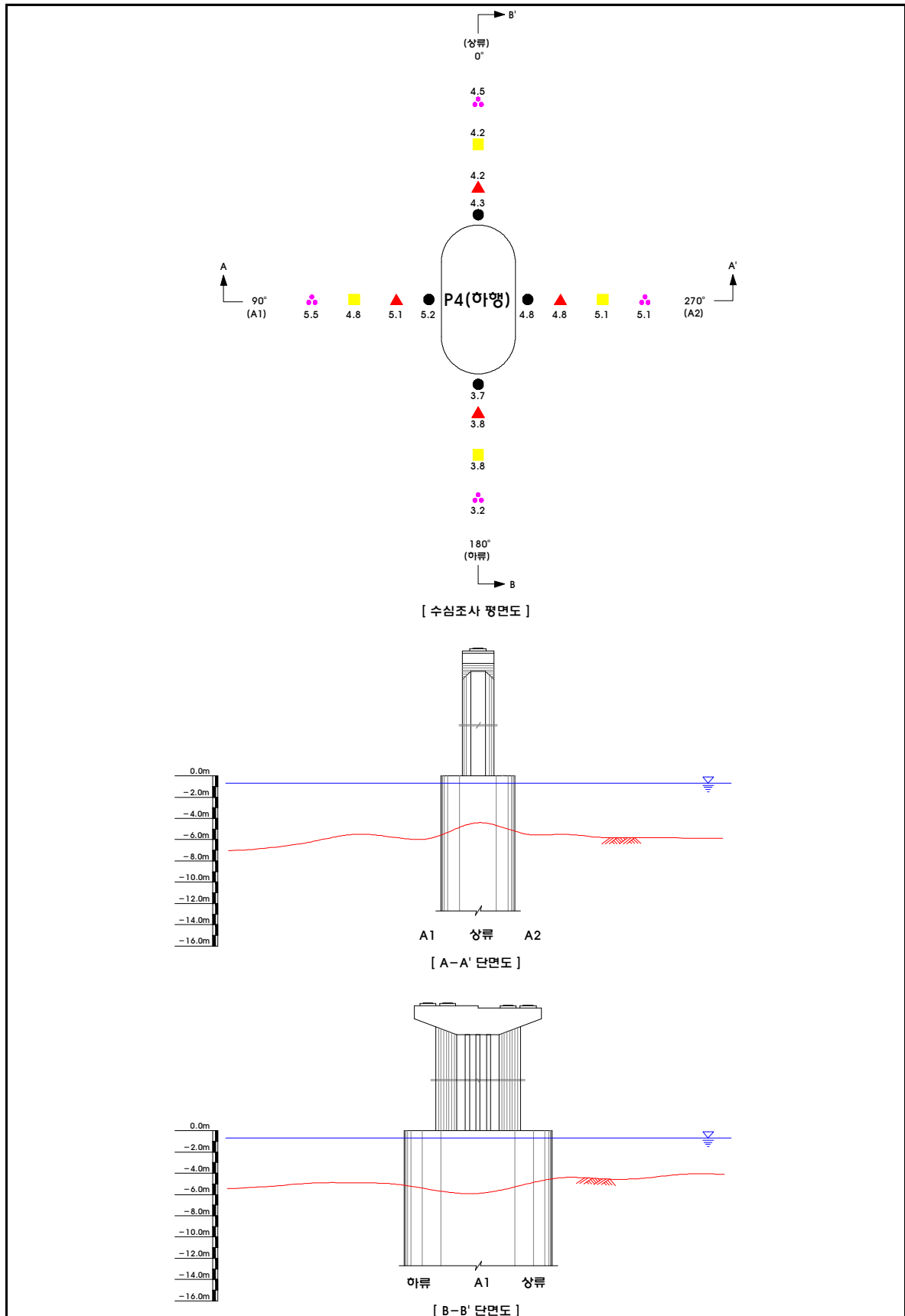
(11) P2(하행) 측정결과



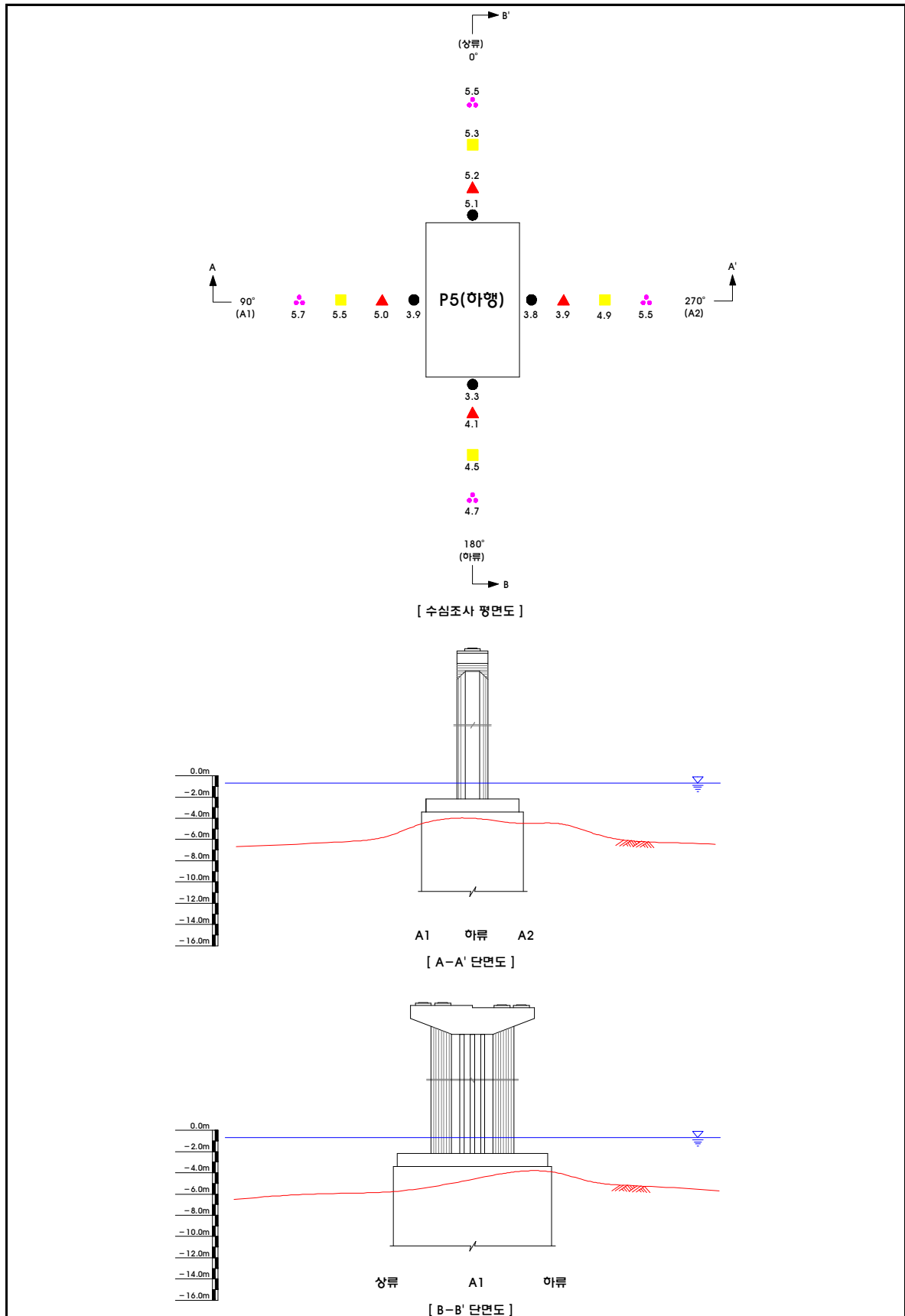
(12) P3(하행) 측정결과



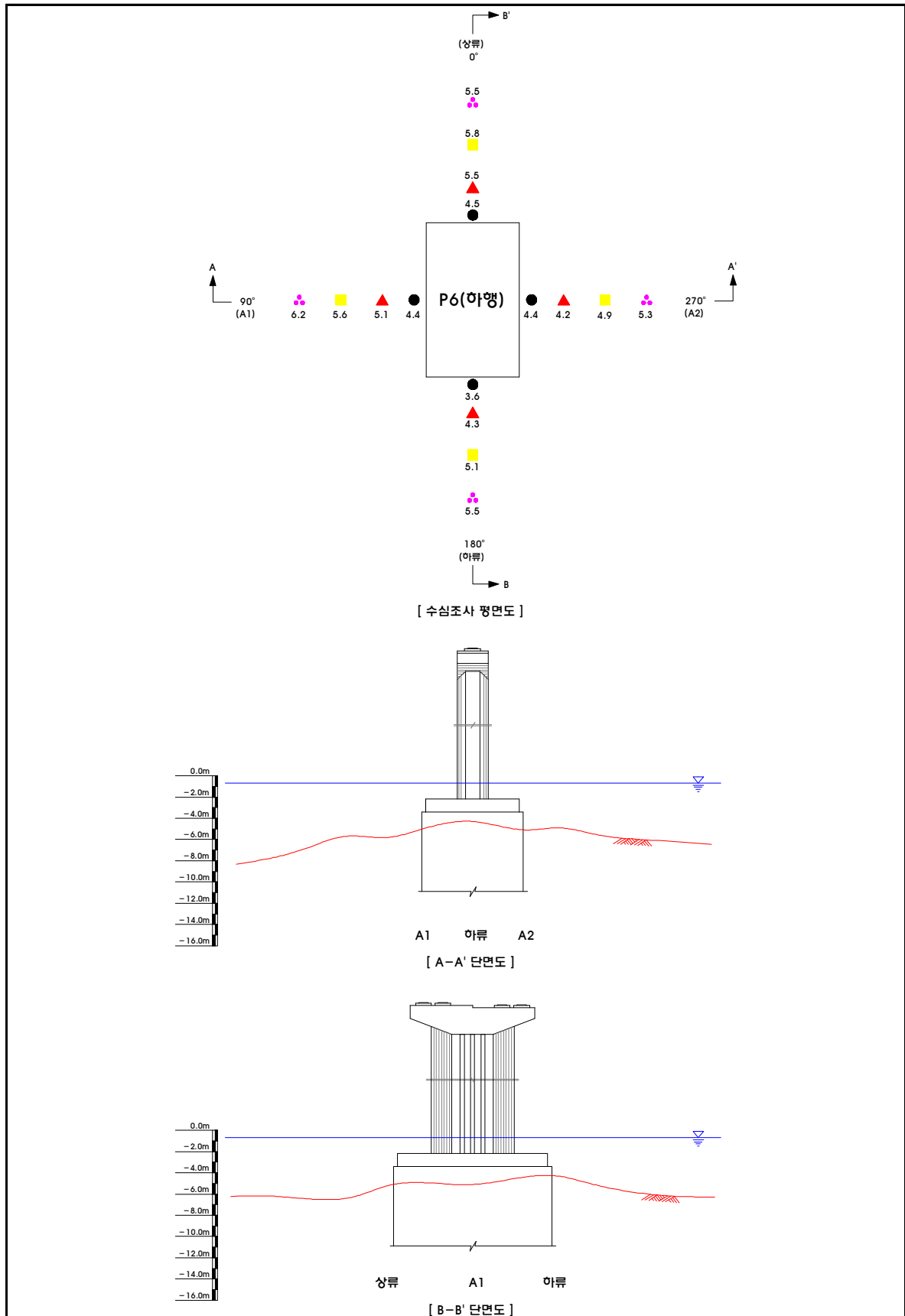
(13) P4(하행) 측정결과



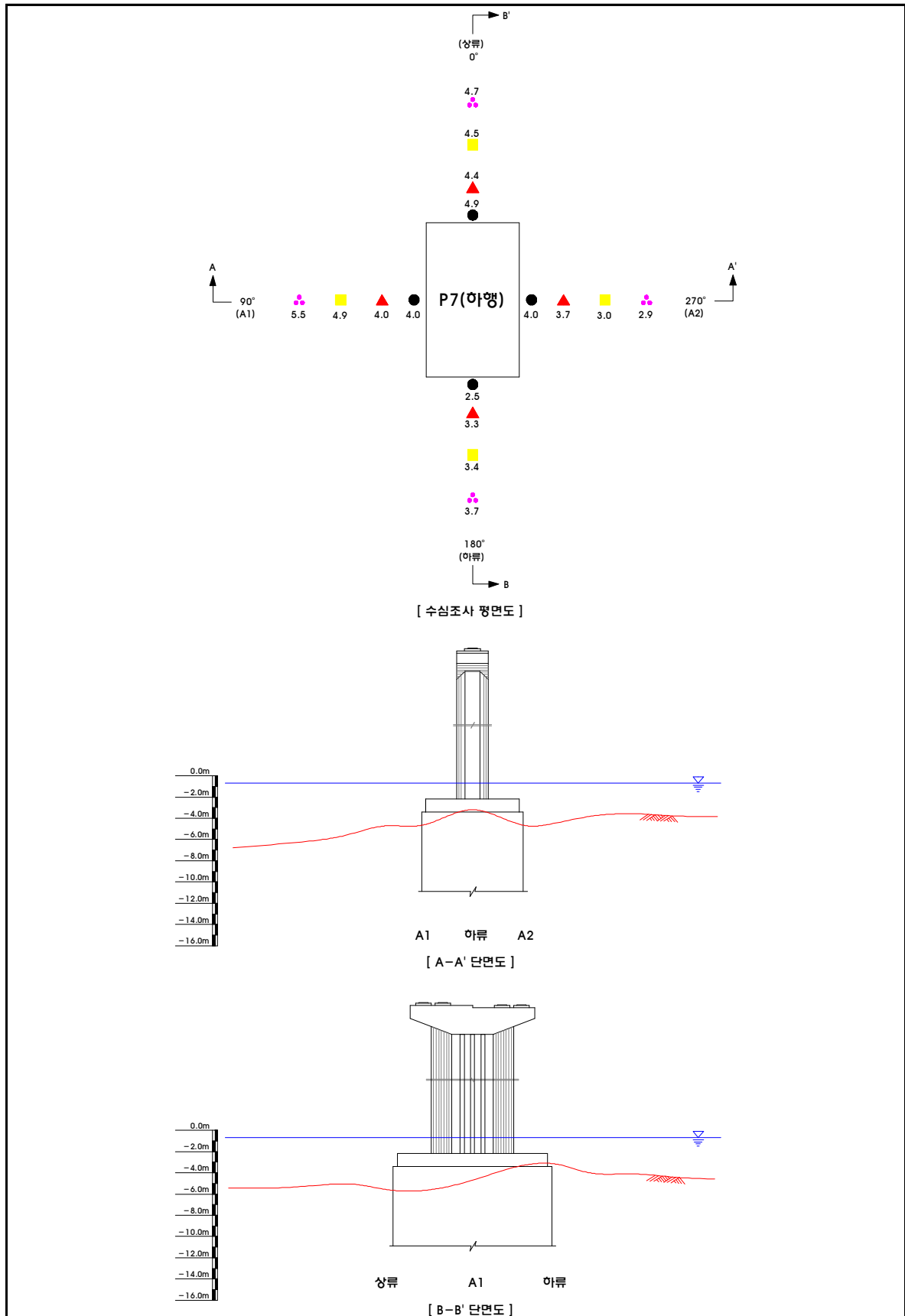
(14) P5(하행) 측정결과



(15) P6(하행) 측정결과



(16) P7(하행) 측정결과



1.5 결과분석

(1) 상행

낙동대교 상행 P1~P7 수중조사 결과 P3, P4, P6 및 P7에서 균열이 발생한 것으로 조사되었으며 P7에서 파손이 조사되었다. 발생한 균열은 건조수축에 의한 균열로 사료되며 균열 폭이 크지 않아 현재 구조물의 안전성에는 지장이 없는 상태로 사료되나 향후 내구성 확보차원에서 보수를 실시하면 될 것으로 판단되며 파손은 외부충격에 의한 것으로 구조물의 내구성 확보차원에서 보수가 필요한 상태이다.

하상상태 조사결과 P1, P2 및 P7은 세굴방지를 위한 돌망태는 시공되지 않은 상태이며 P3~P6은 세굴방지 돌망태가 시공되어 있는 것으로 확인되었고 모든 구간에서 침하 및 세굴현상이 없는 양호한 상태를 유지하는 것으로 조사되었다.

(2) 하행

낙동대교 하행 P1~P7 수중조사 결과 P1, P5, P6 및 P7에서 균열이 조사되었으며 P5에서 철근노출이 조사되었다. 발생한 균열은 건조수축에 의한 균열로 사료되며 균열 폭이 크지 않아 현재 구조물의 안전성에는 지장이 없는 상태로 사료되나 향후 내구성 확보차원에서 보수를 실시하면 될 것으로 판단되며 철근노출은 공용 중 외부충격에 의한 것으로 내구성 확보 차원에서 보수가 필요한 상태이다. 하상상태 조사결과 P1, P2 및 P7은 세굴방지를 위한 돌망태는 시공되지 않은 상태이며 P3~P6은 세굴방지 돌망태가 시공되어 있는 것으로 확인되었고 모든 구간에서 침하 및 세굴현상이 없는 양호한 상태를 유지하는 것으로 조사되었다.

제2장 사이트스캔소나 조사

2.1 개요

2.2 조사방법

2.3 조사결과

2.4 결과분석

제2장 사이드스캔소나 조사

2.1 개요

2.1.1. 수중초음파 조사

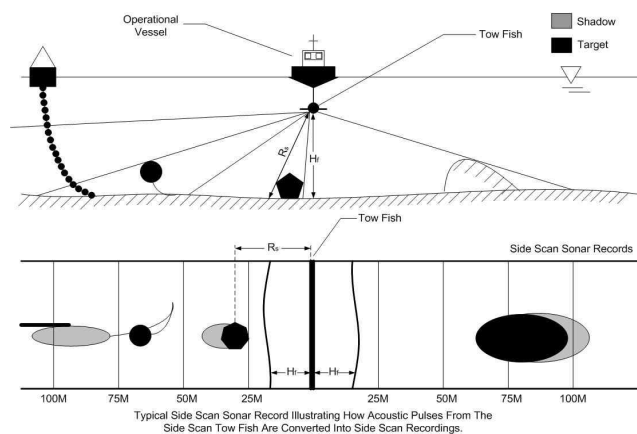
(1) 조사목적

사이드스캔소나(S-150 : 1250KHz) 장비를 이용하여 하상세굴 상태 및 주변 하상의 현 상태를 DATA로 기록하는데 목적이 있다.

(2) Sonar 개념

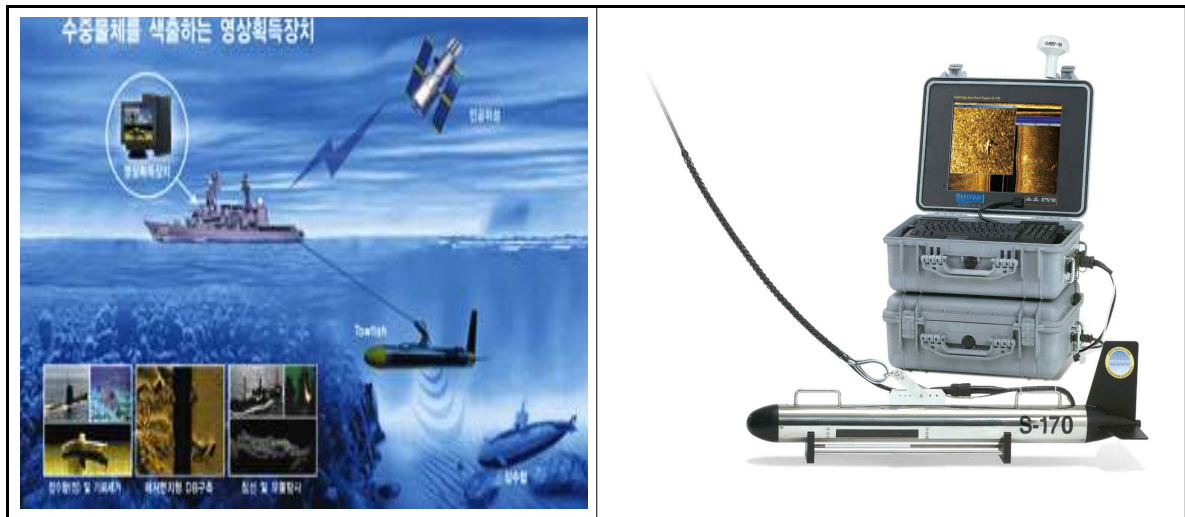
양방향 수중 초음파 촬영기(Side Scan Sonar System)는 수중에서 견인되는 구조물(Underwater Vehicle- Towfish)의 좌우측에 각각 1개의 초음파 송수신 초음파센서(Transducer Array)를 장착하여 이를 견인하면서 실시간으로 <그림 2.1>와 같이 하상면의 상태를 관측, 분석하는 장치이다.

사이드 스캔 소나 시스템(Side Scan Sonar System)은 100% 디지털(Digital)화시킨 제품으로 높은 해상도(High Resolution)와 강력한 확장성(Admirable Expansion ability)을 자랑한다. 수중에서 예인(Towing)되며 양쪽의 트랜스듀서(Transducers)로 음파를 방사(Radiation) 및 습득을 하는 Towfish가 음파의 방사(Radiation)를 명령하고 습득한 신호를 영상화하여 모니터상에 2차원 영상과 함께 각종 정보를 제공한다. Towfish는 예인 케이블(Towing Cable-Portable Reel 포함)과 마지막 어느 선박에서도 System의 운용이 용이하도록 가능케 해주는 배터리 박스(Battery Box)로 구성되어 있다.



<그림 2.1> Side Scan Sonar의 측정(예)

Side Scan Sonar는 토우피쉬(Towfish)라는 어뢰모양의 개체의 양 측면에 트랜스듀서(Tranducer)에서 방사되는 음파로서 영상을 취득하는 장치이다. 토우피쉬에는 고도센서(Altimeter), 수심센서(Depth Sencer), Motion Sencer가 부착되어 있으며 토우피쉬에서 감지되는 자료는 취득된 영상과 외부에서 취득된 GPS 자료와 함께 컴퓨터내의 프로그램에 의하여 저장되고 분석된다.



<그림 2.2> 수중초음파장비를 이용한 조사

(3) 수중초음파 장비를 이용한 수중조사의 특징

1) 수중조사에 양방향 음파탐지기가 관심사로 등장하는 이유 중의 하나는 오염 또는 주변의 기후 및 토양의 여건으로 인하여 인력(잠수사)에 의한 조사가 불가능할 정도의 시야확보가 어려운 지역과 해상 및 호수 등의 깊은 수심에서의 인력으로의 조사에 한계가 있고 이에 대한 효율성 및 경제적인 측면이 대두되기 때문이다.

2) 수중조사에서 초음파장비의 이용은 광범위한 지역 및 오염된 지역과 시야를 확보할 수 없는 지역에서 빠른 시간 내에 대략적인 손상을 파악하는데 효과적이라 할 수 있다.

3) 음파에 의한 촬영의 해상도 역시 현재 일반적으로 보급되어 있는 Side Scan Sonar는 400kHz이며 점차 1250kHz 기종으로 옮겨가고 있어 영상에 있어 해상도가 많이 좋아진 상태이다.

(4) 수행장비

1) 주제어 컴퓨터(Sonar Control System)

음파의 송수신 주기와 주사거리 조절, 전달거리에 따른 시간이득보정, 후방산란 음압신호의 디지털 샘플링, 후방산란 음압신호 기록 등의 역할을 수행

2) 수중 예인체(Tow fish)

ㄱ. 송수파기를 외부 충격으로부터 보호한다.

ㄴ. 수중에서 예인체의 움직임 정보나 하강깊이, 음속등을 계측하여 후처리 과정에서 빔의 위치를 계산할 때 이용되는 각종 계기를 부착하여 사용한다.

3) 송수파기(Transducer)

ㄱ. 수중예인체 양 측면에 부착한다.

ㄴ. 주제어 컴퓨터의 송수신 발생 신호에 따라 선박의 진행방향으로는 0.5° 정도의 빔 폭과 측면으로 약 55° 정도의 넓은 빔을 형성하여 음파를 발산하고, 해저면으로부터 후방 산란되거나 반사되어 되돌아오는 음파를 시간순으로 주제어 컴퓨터로 전송한다.

ㄷ. 송수신 주기를 조절하여 한 번에 50m에서 1km까지 주사폭을 제어한다.

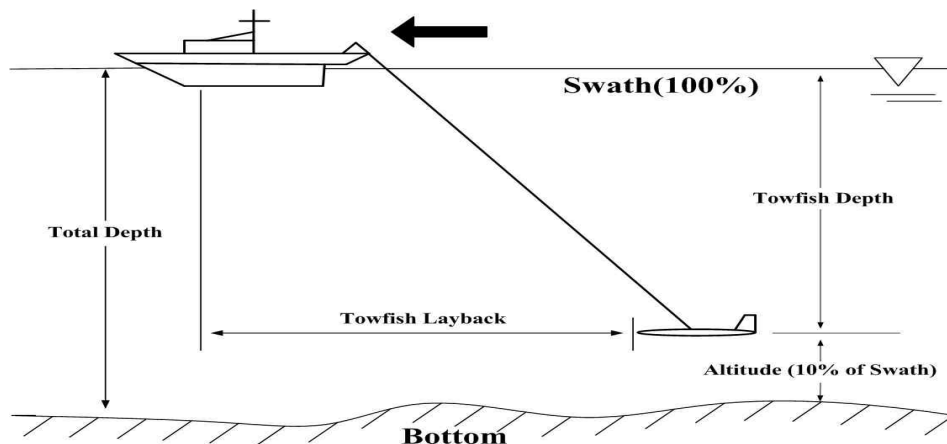
(5) 트랜스듀서 (Transducer Array - Beam Angle, Beam Width)

S-150P/DT의 Side Scan Sonar는 Towfish의 양쪽에 장착이 되어 있는 1,250kHz(Dual Frequency Side Scan Sonar일 경우400/1,250kHz)의 Transducer에 의해 운용이 된다. 이 Transducer(정확히 말해서 Transducer Array)는 내부에 일렬의 Ceramic으로 구성이 되어 있으며, 이 세라믹의 진동에 의하여 음파를 방사 및 획득한다. Towfish의 양쪽에 장착이 되어 있는 각 Transducer는 수평 빔 폭 0.3° , 수직 빔 폭 40° 의 방사각으로 빔이 방사되며, 각도는 수평축에서 25° 아래를 쳐다보고 있다.

(6) 촬영 폭 (Swath)

작업 구역의 선정 후, 작업 구역의 수심을 찾고자 하는 목표물에 따라서 촬영 폭은 가변적으로 선택을 할 수 있다. 정해진 모니터(15" TFT LCD Monitor)는 어떠한 촬영 폭을 선택하느냐에 따라서 해저 지형 및 목표물의 보이는 크기가 다르게 나타난다. 예를 들어서 촬영 폭을 45m로 놓고 해저 촬영을 하였을 경우, 바닥의 정보는 모니터 상에 보다 크게 나타날 것이며, 촬영 폭을 300m로 놓고 촬영을 하였을 경우, 바닥의 정보는 보다 작은 모양으로 나타날 것이다. 주의해야 할 점은 수심에 따라서 토우피시를 하강시키는 정도이다. 사이드 스캔 소나를 운용함에 있어서 세계적으로 통용되는 Towing Technique에 따르면 촬영하고자 하는 폭의 10%에 해당하는 고도까지 토우피시를 하강시켜야 보다 명확한 바닥정보를 볼 수 있다고 권유하는데, 이는 수심이 100m이상 되는 지역에서 통용되는 테크닉이며 국내 주변의 대륙붕 지역 및 100m이하 되는 지역에서는 수심의 30% 이상만 토우피시를 하강시켜도 촬영하는데 무리가 없다.

이는 장비 촬영 폭의 이론사항으로 본 과업에서는 참고하여 현장특성에 맞는 운영자의 기술력을 적용한다.



<그림 2.3> Side Scan Sonar의 측정 모식도

(7) Pulse Length

하나의 펄스가 한 지점을 통과하는데 걸리는 시간. 즉, 극히 짧은 시간만 흐르는 충격 전류와 비슷하다. 펄스 폭이 작으면 주파수가 높고($T=1/f$) 신호 대 잡음비(Signal to Noise Ratio)가 좋으며, 낮은 수심을 측정, 바닥의 안정적인 상태(Stone, Sand, Sandy Soil) 및 짧은 거리를 촬영하는데 유리하다. 하지만 전력 소비량은 높으며, 반대로 펄스 폭이 크면 주파수가 낮고 신호 대 잡음비가 나쁘지만, 깊은 수심을 측정 바닥의 불안정한 상태(Mud) 및 먼 거리를 촬영하는데 유리하며 전력 소비량은 낮다. 수중 초음파 촬영기의 조절 가능한 펄스 폭은 $15\mu s \sim 100\mu s$ 이다.

(8) Across-Track Resolution and Along-Track Resolution

1) Across-Track Resolution

토우피시가 예인되는 항로에서 90° 직각 방향에 놓여있는 물체가 토우피시로부터 얼마만큼 가까이에 있는지에 따라서 목표물을 분간할 수 있는 능력을 말한다. 가령 Across-Track Resolution이 10cm라면 화면에 측정되는 두 개 이상의 목표물간의 거리는 10cm이상 떨어져 있어야 분간이 가능하다. Across-Track Resolution이 10cm인 장비로 촬영 시 두 개의 물체가 10cm이하로 떨어져 있을 경우에는 토우피시는 이 두 개의 물체를 하나로 인식을 하게 된다. 이는 펄스의 강도와도 관련이 있다.

2) Along-Track Resolution

예인 방향에서의 해상도는 다음의 세 개의 요소-Horizontal Beam Width(or Pulse Length: 약 0.3°), 빔 퍼짐 현상 및 예인되는 속력(S-150의 최대 예인 속도 8knots)에 상당한 영향을 받는다. 위의 세 가지 요소는 짧은 폭의 촬영 스케일과 고주파수(400kHz 이상)에서는 큰 문제가 되지 않는다. 그러나 운용자가 넓은 폭의 촬영 스케일과 저주파수(400kHz 이하)일 경우에는 지대한 영향을 미친다.

0.3° 의 폭으로 방사된 소나는 토우피시에서 멀어질수록 그 폭이 넓어지고 구면 확산 현상이 나타나며, 운용 속도가 빨라질수록 각 Pulse간의 폭이 넓어진다. 다시 말해서, 운용 중에 해저 바닥에서 발견한 물체가 실제로는 두개 이지만, 화면상에서는 하나로 보일 수 있다.

3) Pulse Length에 의한 해상도

만약에 두 개의 물체가 빔의 폭보다 작은 거리로 떨어져 있다면 조사하는 동안 그 물체는 계속 지나쳐 가거나 하나의 물체로 보일 것이다. 하지만 예인되는 토우피시에 가까운 거리에 놓여있는 물체는 빔의 폭이 매우 좁기 때문에 물체의 해상도(Across-Track Resolution)는 훨씬 좋아질 것이다.

※ 계산 방법

거리(각 Pulse 간의 폭) = 시간($15\mu s \sim 100\mu s$ (수중 초음파 촬영기의 Pulse Length) × 속력($1500m/s$ (수중에서의 음파의 속도)) / 2

$$\chi = \{(15\mu s \sim 100\mu s) \times 1500m/s\} / 2 = \{2.25cm \sim 15cm\} / 2$$

4) 빔 퍼짐에 의한 해상도

수중 초음파 촬영기의 Horizontal Beam Angle이 0.3° 이다. 이 각도는 거리에 따라서 퍼짐 현상이 두드러지는데, 이러한 빔의 퍼짐 현상은 수심에 따른 촬영 폭 결정과 해상도에도 영향을 줄 수 있다.

부채꼴의 호의 길이 = $2\pi r \times (\theta / 360^\circ)$ 이다. 다음과 같은 계산으로 빔이 0.3° 에 의한 퍼짐 거리를 계산 할 수 있는데 빔의 퍼짐 거리(부채꼴 호의 길이)는

$$l = 2 \times 3.14 \times 10m \times (0.3^\circ / 360^\circ) = 5cm,$$

$$l = 2 \times 3.14 \times 50m \times (0.3^\circ / 360^\circ) = 25cm,$$

$$l = 2 \times 3.14 \times 75m \times (0.3^\circ / 360^\circ) = 40cm,$$

$$l = 2 \times 3.14 \times 150m \times (0.3^\circ / 360^\circ) = 78cm \text{ 이다.}$$

5) 운용 속도에 의한 해상도

이와 더불어서 운용되는 속도에 따라서도 물체를 판별할 수 있는 해상도도 차이가 있다. 넓은 거리를 촬영할 때 운용자는 대상의 정확한 촬영 자료를 얻기 위해서 천천히(권장 운용 속도 내에서) 운용해야 한다.

(9) 경사 거리 보정 (Slant Range Correction)

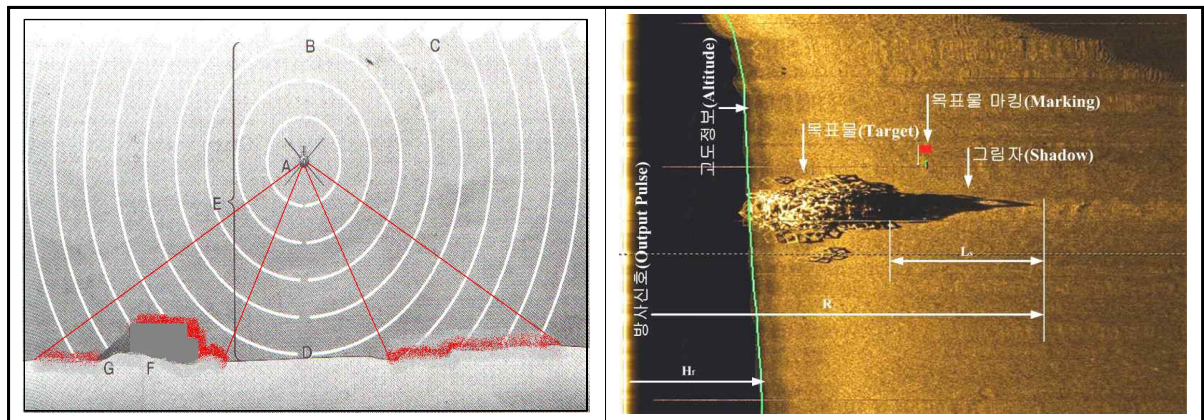
사이드 스캔 소나에 의해서 계산되어 모니터 상에 나타나는 거리는 소나가 도착한 지점으로부터 음원까지의 경사거리를 말한다. 이러한 거리 계산에 의한 모니터로 출력되는 경사거리는 본질적으로 두 가지의 주요한 일그러짐 현상을 가지고 있다. 즉, 물체는 예인되는 방향에 직각 방향으로 압축되어 나타난다. 예인 방향에 대한 물체까지의 경사거리의 차이와 물체의 탐사되는 외형의 크기는 항상 물체의 실제 넓이보다 작게 나타난다. 경사거리와 수평거리는 거리에 반비례하게 일어나는데 토우피시에 대해 비교적 가까운 거리에 있는 물체는 훨씬 압축되어 모니터에 출력되며, 경사거리가 매우 먼 거리는 물체에 대한 수평거리에 훨씬 더 근접해지고 물체의 압축현상은 근접한 목표물보다 훨씬 작게 나타날 것이다.

(10) Altitude

토우피시의 고도는 물속에서 토우피시가 위치한 곳을 일컫는다. 세계적으로 통용되는 Towing Technique에 따르면 최상의 소나 영상을 취득하기 위해서는 촬영 폭의 10%에 해당하는 깊이에 토우피시가 위치해야 한다. 이 10%률은 완벽한 초음파 반사각, 최대 거리 운용, 후방산란의 입력을 증가시켜서 영상의 질을 높이고 바닥의 정보를 더욱 많이 볼 수 있게 해준다. 예를 들면 촬영 폭이 100m라면 토우피시는 바닥으로부터 10m의 고도를 유지해야 한다. S-150의 경우, 하단에 고도센서가 내장되어 있어서 고도를 바로 알 수 있다.

(11) 수중 초음파를 통한 수중 영상 취득 방법

견인식 수중 초음파 촬영기(Towed Side Scan Sonar: SSS)는 수중에서 견인되는 유선형 구조물(Towfish)의 좌·우에 각각 1개의 초음파 송수신 초음파센서(Transducer Array)를 설치하여 이를 견인하면서 실시간으로 수중의 물체를 식별하는 장치이다. 이 장비(SSS)는 Towfish로부터 적절한 주파수의 초음파를 수중으로 방사한 다음 수중의 물체 또는 바닥으로부터 반향되는 초음파 신호를 수신하여 신호처리를 거쳐 영상을 얻는 장치이다. 이와 같은 수중에서의 초음파 스캐닝은 대기중에서와 같이 전파통신이 불가능한 수중환경에서, 탁도가 심하거나 조명이 없어 시각적 관측이 어려운 상황에서 선명한 수중영상을 <그림 2.4>와 같이 얻을 수 있는 방법이라 할 수 있다.



<그림 2.4> SSS의 초음파 스캐닝 모식도

[A :견인체, B :견인체의 잠긴 깊이, C :해수면의 파도, D :바닥까지의 고도, E :전체 수심 ($E=B+D$), F :대상물체(선박, 폐기물, 구조물 등), G :대상물체의 그림자]

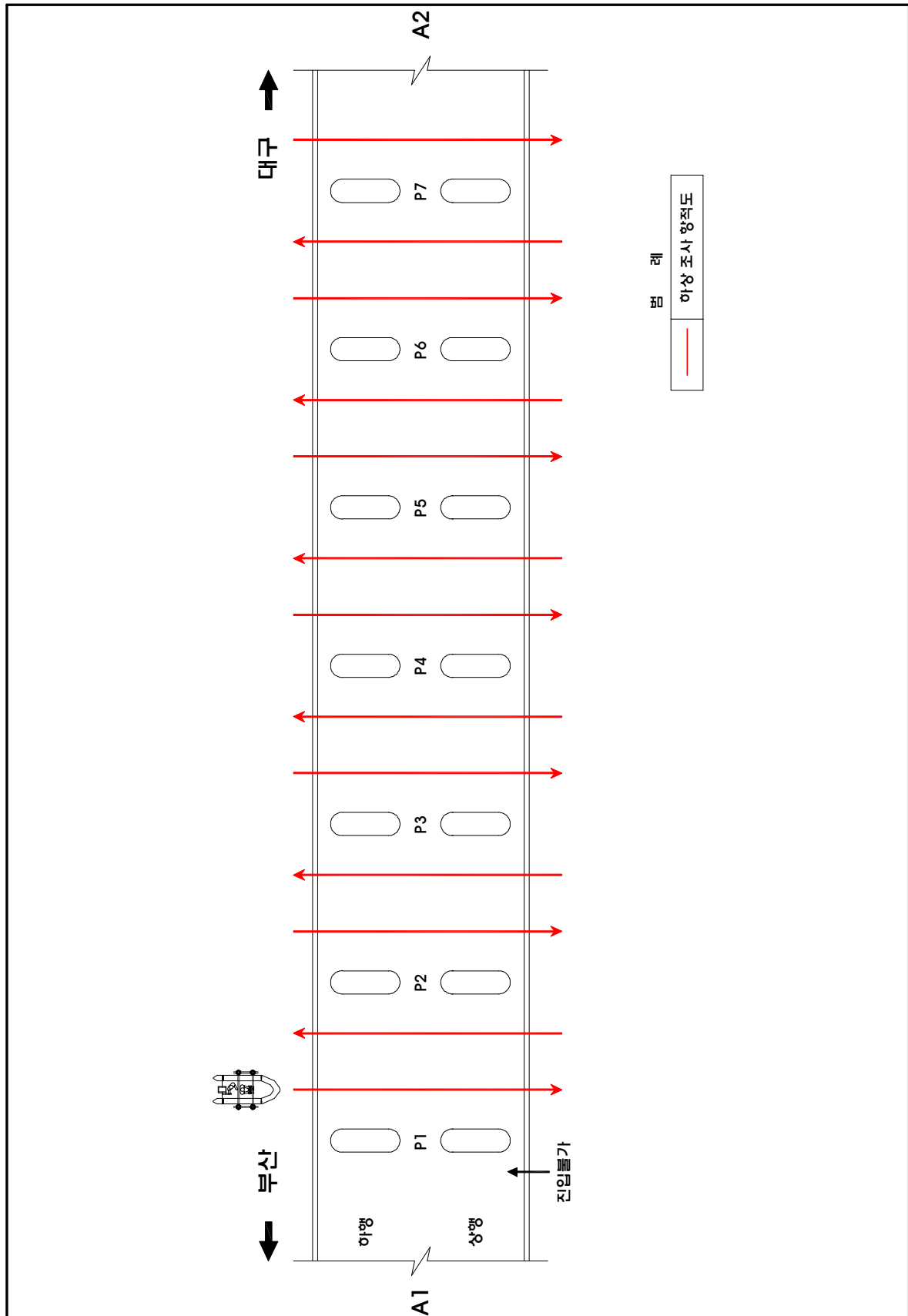
2.2 조사방법

낙동대교 수중부 하상상태를 조사하기 위해 토우피쉬를 0° 로 고정하여 데이터를 획득하였으며 항적 현황도는 <그림 2.5>에 표현하였다.

2.2.1 소나거치 및 데이터 수집



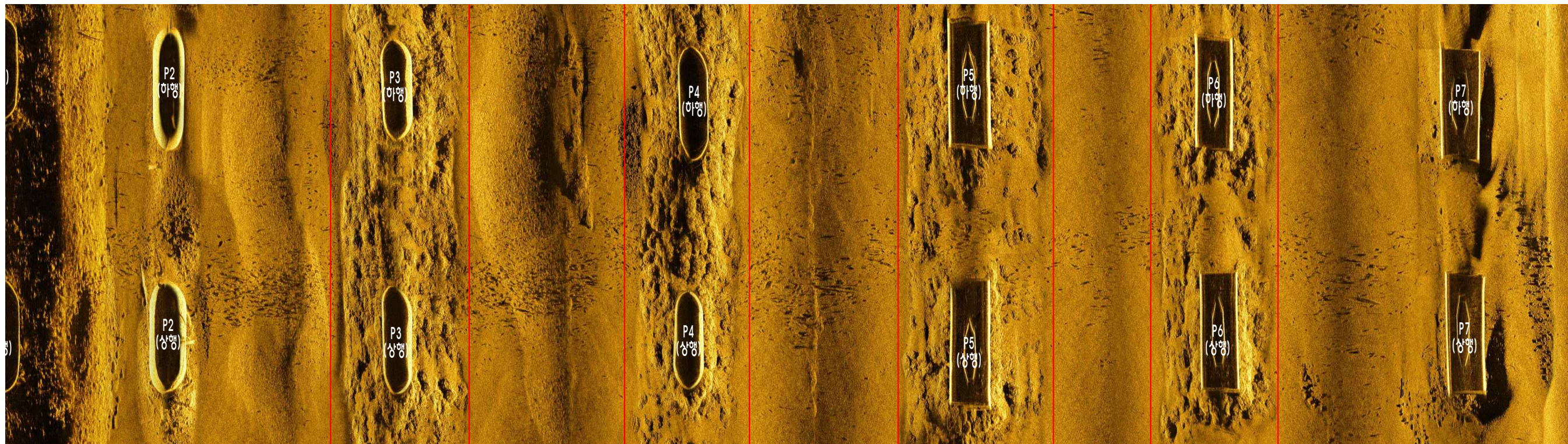
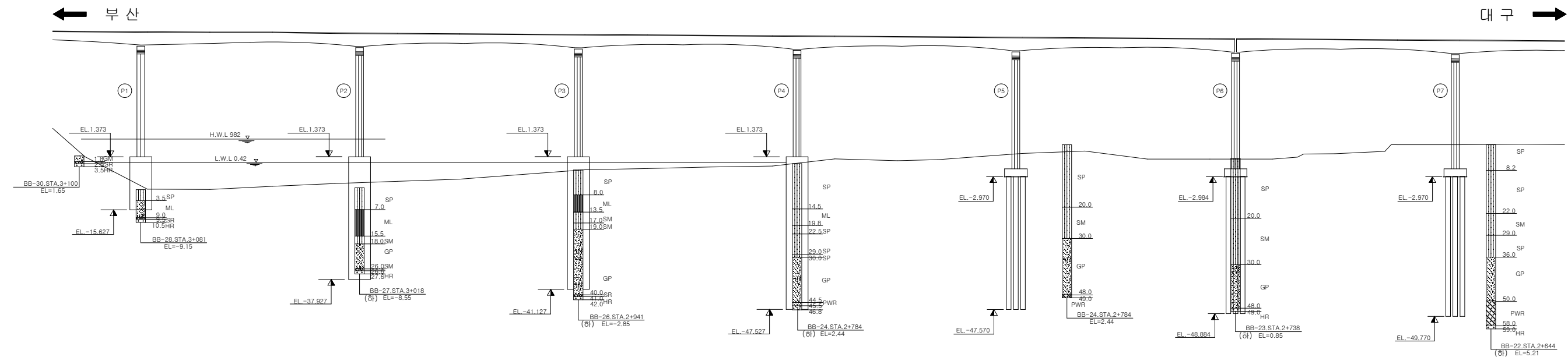
<사진 2.1> 소나거치 및 데이터 수집



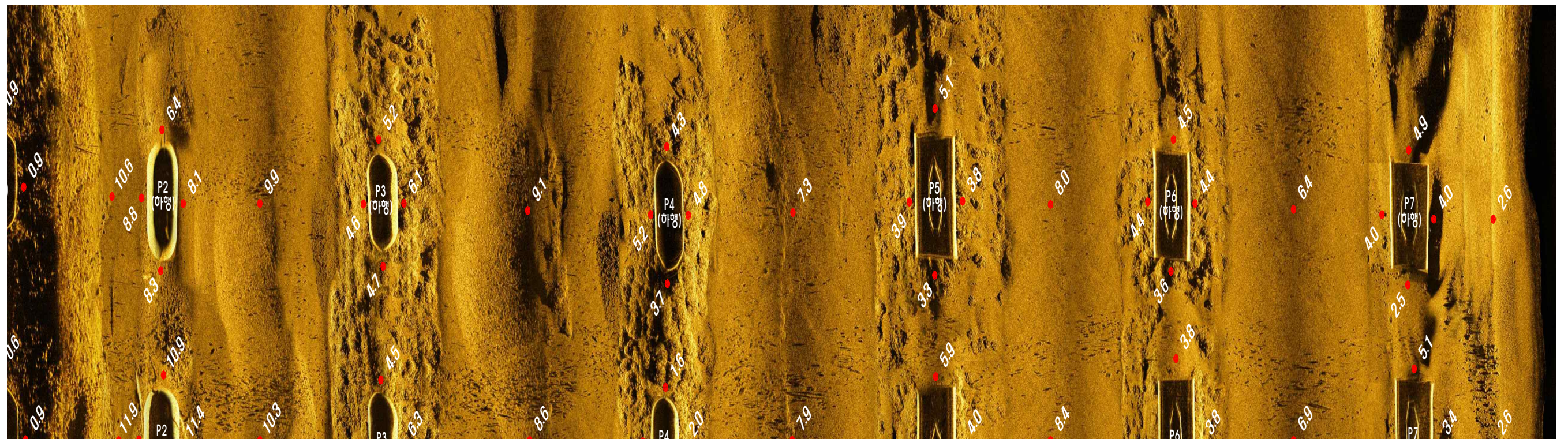
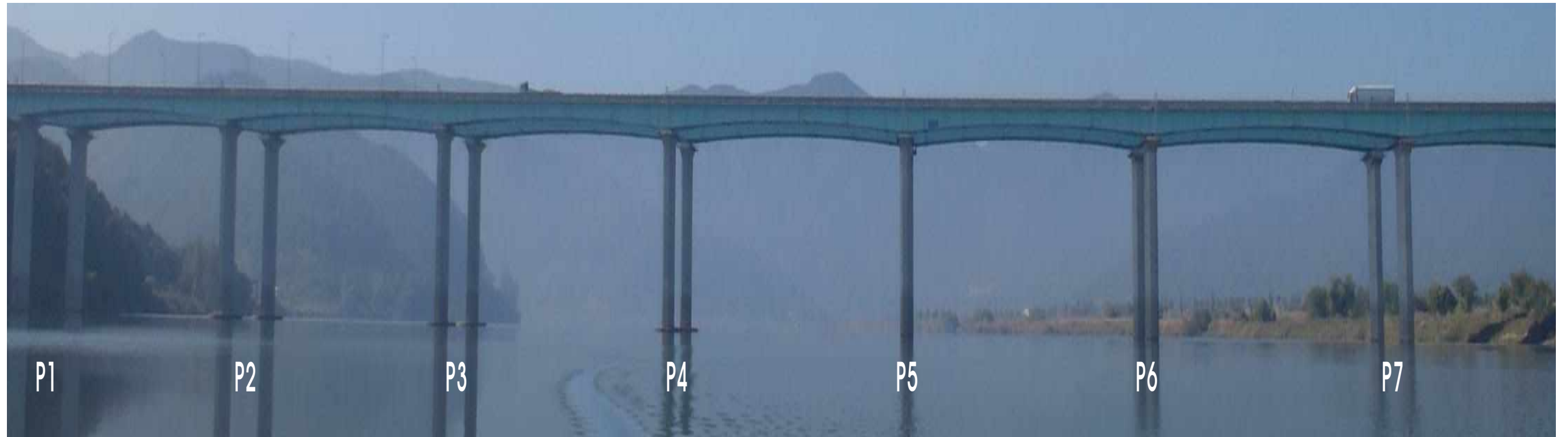
<그림 2.5> 항적도

2.3 조사결과

2.3.1 하상 조사결과



2.3.2 수심분포도



2.4 결과 분석

초음파 영상 촬영은 상·하행 P1 0° 구간은 수심이 낮은 상태로 장비 진입이 불가능한 상태로 진입이 가능한 P1 180° 구간부터 측정을 실시하였다.

조사결과 하상은 대체로 세굴등 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었으며, 상행 및 하행 P3~P6 교각 주변에 돌망태가 시공된 것으로 조사되었고 유실등의 손상이 없는 양호한 상태조 조사되었다.