

제 출 문

지식경제부장관 귀하

본 보고서를 “조력발전용 고효율 수문형상 설계기술” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2008. 7. 26.

사업주관기관명 : 한국해양연구원

수행책임자 : 이 달 수

연 구 원 : 이광수, 오영민

연 구 원 : 박우선, 권오순

연 구 원 : 한상훈, 이진학

연 구 원 : 장세철, 오상호, 김창일

참여기업체 : (주)헤인이엔씨

연 구 원 : 안익장, 김덕구

연 구 원 : 엄현민, 안석진

에너지·자원기술개발사업 최종보고서 초록

대체에너지 청정에너지 자원기술 에너지절약

연구관리번호	2001-E-NM01-P-01	과제구분	(프로젝트형, 중·대형, 중점, 세부, 일반과제)				
과제명	국 문	조력발전용 고효율 수문형상 설계기술					
	영 문	Design Methodologies for High Efficient Sluice Geometry of Tidal Power Plants					
사업주관기관	한국해양연구원	수행책임자	소속	연안개발연구본부	전화번호	031-400-6336	
			성명	이달수	fax	031-408-5823	
	e-mail	dslee@kordi.re.kr					
참여기업	(주)헤인이앤씨	위탁기관					
사업기간	2005년 12월 30일 ~ 2008년 3월 29일(27개월)						
사업비	구분	1차년(2005년)	2차년(2006)	3차년()	4차년()	5차년()	계
	정부출연	260,000천원	290,000천원	천원	천원	천원	550,000천원
	민간부담	90,000천원	100,000천원	천원	천원	천원	190,000천원
	현금	35,000천원	39,000천원	천원	천원	천원	74,000천원
	현물	55,000천원	61,000천원	천원	천원	천원	116,000천원
계	350,000천원	390,000천원	천원	천원	천원	740,000천원	
보고서 내용의 KEY WORDS (한글/영문)	한글	조력발전, 수문형상, 유량계수, 수리모형실험, 수치모형실험					
	영어	Tidal Power Generation, Sluice Geometry, Discharge Coefficient, Hydraulic Model Test, Numerical Model Test					
연구결과요약 분석 (연구결과 중심으로 개조식 700자 이내)	<p>(1) 수문형상 설계 파라미터의 변화에 따른 통수성능의 차이를 정밀하게 평가할 수 있도록 고정밀 수리모형실험 장치를 고안·제작</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 관측수로 내 흐름이 최대한 안정화되도록 유량공급시설 및 개수로 시스템 등 실험장치 구성 ■ 유량 및 수위 계측 과정에서 개입되는 계측 오차를 최소화하는 계측장비를 선정하고 정밀실험방법 결정 <p>(2) 수문형상에 따른 통수성능 평가 및 유량계수 산정</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 조위 및 수두차에 따른 통수성능 비교를 수행. 사석마운드 유무 등에 대한 통수성능을 비교한 결과 기존 컬버트형 수문과 벤츄리형 수문의 중간형태가 가장 효과적인 수문형상임을 밝힘 ■ 고효율 수문형상의 경우 유량계수가 2.3~2.6이며, 사석마운드가 없는 경우에는 2.5를, 사석마운드가 있는 경우에는 2.3을 사용. 2.3을 사용하더라도 기존 컬버트형 수문과 벤츄리형 수문의 알려진 유량계수인 1.3과 1.8에 비하여 각각 77%, 28% 성능이 개선된 것임. 또한 벤츄리형 수문보다 통수단면적이 커 통과유량의 증가율은 28%보다 커지게 됨을 밝힘 <p>(3) 국내 조력발전 입지에 대한 적용 및 경제성 분석</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 가로림 조력발전소에 개발된 기술을 적용하여, 구조적 안전성 및 설계·시공성, 경제성을 분석함 ■ 고효율 수문은 구조적 안전성 및 설계·시공성 측면에서 문제가 없으며, 경제성의 경우 필요 수문의 개수를 기존 14기에서 10기로 감소시킴에 따라 182억원(2007년도 단가 적용)의 건설비용을 절감시킬 수 있음을 밝힘 ■ 또한 최근 많이 적용되는 가물막이 공법을 가로림 조력발전소에 적용하는 경우 가물막이 길이가 200m 단축됨에 따라 추가적으로 100억 정도 절감되어 2007년 2월 기준으로 총 280억 이상이 절감되는 것으로 분석됨 						

요 약 문

I. 제 목 : 조력발전용 고효율 수문형상 설계기술

II. 기술개발목적 및 중요성

조력발전소의 발전량은 1) 외해수위와 발전소 운전에 따른 조지 수위변화에 따라 결정되는 가용수두, 2) 조지면적, 3) 수문용량, 4) 발전기용량, 5) 발전방식을 이용하여 예측할 수 있으며, 이들 중 1)번과 2)번 자료는 현장조사에 의하여 얻을 수 있고, 4)번 자료는 주로 발전기 제작업체에서 제공하며, 5)번 항은 알고리즘 상에서 충분히 고려할 수 있다. 그러나 2)번 수문용량은 주로 수리모형실험이나 기존 자료를 인용하여 사용하게 되는데, 수리모형실험의 경우 정밀한 수리모형실험이 어려워 기존의 보수적인 자료를 사용하고 있다. 현재 국내 조력발전소의 발전량 예측 시, 대표적인 수문형상인 켈버트형 수문과 벤츄리형 수문에 대하여 유량계수를 각각 1.3과 1.8을 적용하고 있으며, 이들 값에 대한 적용 신뢰성이 낮아 필요한 수문개수가 증가하고, 따라서 필요 이상의 수문이 설치되는 결과를 가져오고 있다.

이러한 상황을 극복하고 향후 조력발전소 건설 시 건설비용 절감에 기여하기 위해서는 수문의 통수성능을 정확하게 평가하고, 이를 바탕으로 고효율 수문형상 설계기술을 확립하는 것이 매우 중요하다. 아울러 이러한 기술개발목적을 달성하기 위해서는 통수성능을 정밀하게 분석할 수 있는 수리모형실험 및 수치모형실험 방법의 개발이 필요하며, 또한 수문형상의 설계 파라미터의 변화에 따른 통과유량의 증감을 정밀하게 조사·분석하고, 이러한 과정을 통하여 수심 및 조위 등 입지조건에 적합한 최적의 고효율 수문형상을 개발할 수 있다고 할 수 있다.

III. 기술개발내용 및 범위

1차년도 연구목표는 조력발전용 고효율 수문형상을 설계하기 위한 기초 기술을 정립하는 것으로서 (1) 고효율 수문형상 도출을 위한 정밀 수치실험 기법 정립, (2) 수문형상에 따른 통수성능 분석을 위한 정밀 수리모형 실험장치 고안 및 제작, (3) 흐름-구조물-지반 상호작용을 고려한 수문구조물 구조특성 분석 기법 수립을 세부연구목표로 하였으며, 이에 따른 주요 연구내용 및 범위는 다음과 같다.

(1) 정밀 수치실험 기법 정립

- 자유수면효과(Free Surface Effect)를 고려할 수 있는 Flow3D에 의한 수치실험 기법 정립
- 경계조건, 난류모델 등에 따른 수치모형 실험결과의 분석
- 기본 수문형상에 대한 통수성능 분석 및 수리모형실험결과와 비교, 모델 보완

(2) 정밀 수리모형실험 실험장치 고안 및 제작

- 수리모형실험 장치의 설계 및 제작
- 수리모형실험 장치의 설치 및 수조 보정(Calibration)
- 예비실험 수행을 통해서 수리모형실험 장치의 성능평가 및 문제점 도출
- 최적 수문형상 도출을 위한 수리모형실험 장치 재설계 및 제작*
- 본 실험 수행을 통한 수리모형실험 장치의 재설치, 수조 보정, 성능평가 및 시설보완*
- 최적 수문형상 도출을 위한 수리모형실험 장치 제작 및 설치 완료*

(*는 1차년도에 제작한 장치의 개선을 위하여 2차년도에 추가로 수행한 연구내용임)

(3) 수문구조물 구조특성 분석 기법 수립

- 흐름-구조물-지반 상호작용을 고려한 구조물의 지진안전성 분석 기법 수립

2차년도 연구목표는 1차년도에 정립된 기초 기술을 바탕으로 고효율 수문형상을 개발하기 위한 연구를 수행하였으며, 세부적인 연구목표는 (1) 고효율 수문형상 도출 및 유량계수 개발, (2) 조력발전 후보지에 대한 적용 및 경제성 검토와 같다. 이들 세부연구목표에 따른 주요 연구내용 및 범위는 다음과 같다.

(1) 고효율 수문형상 도출 및 유량계수 개발

- 다음과 같이 여러 수문형상 설계 파라미터에 따른 통수성능의 영향을 분석하기 위한 수치 및 단면 수리모형실험 수행.
 - 최소단면 폭 변화의 영향
 - 사석마운드 설치에 따른 영향
 - 최소단면 바닥 높이 변화의 영향
 - 수문구조물 상부벽 경사 변화의 영향
 - 수문구조물 전면부의 곡률반경 변화의 영향
 - 수문구조물 전체 길이 변화의 영향

- 수리모형실험 및 수치모형실험 결과를 토대로 최적 수문형상 도출

- 벤츄리형 수문의 장점과 컬버트형 수문의 장점을 살린 고효율 수문형상 개발*

(* : 사업계획서상에는 벤츄리형 수문에 대한 고효율 수문형상을 도출하는 것으로 되어 있으나, 연구수행 과정에서 컬버트형 수문의 통수성능 또한 우수함을 밝히게 되었으며, 이로 인하여 3개월 연구기간을 연장하여, 벤츄리형과 컬버트형 수문의 장점을 취한 고효율 수문형상을 개발하게 됨)

(2) 조력발전 후보지에 대한 적용 및 경제성 평가

- 조력발전 후보지(가로림만)에 대한 적용 및 구조설계
- 구조적 안전성 및 설계·시공성 평가
- 흐름-구조물-지반 상호작용을 고려한 지진안전성 평가
- 93년도 가로림 조력발전 예비타당성 조사 시 설계된 수문 단면과 고효율 수문을 채택한 경우의 경제성 비교

IV. 기술개발결과 및 활용에 대한 건의

조력발전용 고효율 수문형상 설계기술은 우선적으로 상용 조력발전소 건설에 활용할 수 있으며, 아울러 이 기술이 실제 수문 구조물 설계 시 적용될 수 있도록 부처 및 발주기관에서 권장하는 것이 필요하리라 판단된다.

또한 조력발전소 수문설계기술은 여타 초대형 해양구조물 설계기술 분야에 활용이 가능하며, 특히 향후 임해발전소 온배수, 하수처리장, 소규모 하천 등의 흐름을 이용한 소규모 발전 시 발전량을 증가시키기 위하여 활용이 가능하다. 또한 국내 기업체가 저낙차 수차, 수문 개발의 노하우를 축적함으로써 중공업분야에 있어서의 시너지 효과가 창출될 수 있도록 활용할 수 있을 것이다.

V. 기대효과

이 기술은 향후 상용 조력발전소 건설 시에 필요한 기초자료로 활용될 수 있으며, 이는 간접적으로 조력발전소 건설의 경제성을 개선시켜 조력발전의 개발타당성을 검증하는데 매우 중요한 자료가 될 수 있다. 또한 이와 같은 과정을 통하여 건설된 조력발전은 경제성을 확보하고 있는 무공해 청정에너지를 국가에 공급함으로써 외화절감과 함께 국가의 장기적인 에너지 수급에 있어 일익을 담당할 수 있을 것으로 기대할 수 있다.

또한 무공해 해양에너지인 조력 발전을 보다 적극적으로 개발하게 되어 연안환경 개선효과와 아울러 기후변화협약에 적극 대처하게 되며, 결과적으로 환경보존이 새로운 패러다임으로 대두될 21세기에 국가위상을 제고함은 물론, 해양과학기술 및 해양에너지 개발에 관한 대국민 홍보효과를 기대할 수 있다.

목 차

제출문	i
초 록	ii
요약문	iii
제1장 연구개발과제의 개요	1
제1절 연구개발의 목적	1
제2절 연구개발의 필요성	4
1. 기술적 측면에서의 필요성	4
2. 경제적 측면	5
제2장 국내외 기술개발 현황	7
제1절 국내 기술개발 현황	7
1. 조력발전 관련	7
2. 수문구조 관련	9
제2절 국외 기술개발 현황	17
1. 조력발전 관련	17
2. 수문구조 관련	19
제3절 국내외 기술 조사 결과	21
제3장 연구개발수행 내용 및 결과	22
제1절 개요	22
제2절 수치모형실험	25
1. 개요	25
2. 사용모형(FLOW3D®)의 이론적 배경	26
3. 수치모형실험에 의한 수문구조물 유동해석에의 적용방법	30
제3절 수리모형실험의 장치구성 및 방법	38
1. 수리모형실험 시설 및 장비	38
2. 수문구조물 모형제작 및 설치	48

제4절 수치 및 수리모형실험 수행 및 결과	54
1. 설계변수 도출 및 실험 단면 결정	54
2. 수치 및 수리모형실험 결과의 비교 및 검토	61
3. 고효율 수문형상 도출 및 유량특성	95
제5절 조력발전 후보지에 대한 적용	99
1. 가로림 조력발전소의 개요	99
2. 설계, 시공 및 경제성 평가	104
3. 흐름-구조물-지반 상호작용을 고려한 구조안전성 검토	117
제6절 소결	137
제4장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	140
제1절 연구개발목표의 달성도	140
제2절 관련분야에의 기여도	142
제5장 연구개발결과의 활용계획	143
제6장 참고문헌	144
부록 A 수문구조물 단면도	145
부록 B 수리모형실험 결과	163
부록 C 수치모형실험 결과	229

그 립 목 차

<그림 1-1-1-1> 가로림만의 형상 및 검토 중인 방조제 위치	2
<그림 1-1-1-2> 단조지 단류식 조력발전의 형태	2
<그림 1-1-1-3> 낙조식 조력발전의 운영 사이클	3
<그림 2-1-1-1> 우리나라 조력·조류발전 주요 후보지	8
<그림 2-1-1-2> 시화조력발전소 조감도	8
<그림 2-1-2-1> 대상수문구조물: 시화호 수문	14
<그림 2-1-2-2> 실험수조 및 계측기기 설치도	15
<그림 2-1-2-3> 순환펌프 속도변화에 따른 흐름변화	15
<그림 2-1-2-4> 유량변화에 따른 유량계수의 변화	16
<그림 2-2-2-1> 프랑스 Rance 조력발전소 수문구조	19
<그림 2-2-2-2> 캐나다 Fundy 조력발전소 수문구조	19
<그림 2-2-2-3> 영국 조력발전소 수문구조	20
<그림 3-2-2-1> FAVOR Method 모식도	29
<그림 3-2-3-1> 수문구조물 모형	30
<그림 3-2-3-2> 계산영역 모델 경계	31
<그림 3-2-3-3> 검증실험 모형단면 (Model scale)	32
<그림 3-2-3-4> 수면변위 출력위치	33
<그림 3-2-3-5> 수위 시계열	34
<그림 3-2-3-6> 유량 시계열	34
<그림 3-2-3-7> 유속분포	35
<그림 3-2-3-8> 유속벡터도	35
<그림 3-2-3-9> 횡단 유속분포도	36
<그림 3-2-3-10> 평면 유속벡터도	36
<그림 3-3-1-1> 평면수조실에 설치된 개수로 시스템의 전경	38
<그림 3-3-1-2> 개수로시스템의 평면도 및 측면도	39
<그림 3-3-1-3> 최초 제작(좌) 및 개량(우) 웨어수조의 평면도	40
<그림 3-3-1-4> 최초 제작(좌) 및 개량(우) 정류수조의 평면도	40
<그림 3-3-1-5> 웨어수조 내 사각격자 모양의 정류판	40
<그림 3-3-1-6> 관측수로 후면 수위조절장치 및 감속기어	41
<그림 3-3-1-7> 자동제어밸브 및 터치스크린 조작 화면	41
<그림 3-3-1-8> 웨어수조 내 수위 계측을 위해 설치된 파고계 두 개	42
<그림 3-3-1-9> 유량계 및 웨어공식으로 추정된 유량 비교	43
<그림 3-3-1-10> 파고계를 대차에 고정시킨 모습	44
<그림 3-3-1-11> 수압식 수위계	45

<그림 3-3-1-12> 파고계 및 수압식 수위계를 같은 위치에 설치한 모습	45
<그림 3-3-1-13> 파고계 및 수압식 수위계의 계측 결과	46
<그림 3-3-2-1> 수문모형을 개수로에 설치한 모습	48
<그림 3-3-2-2> 수문구조물 미설치 시 개수로 내 전수두 변화량	51
<그림 3-3-2-3> 유량에 따른 개수로 내 마찰에 의한 전수두경사	52
<그림 3-3-2-4> 수문구조물 상·하류측에 배치된 파고계 여섯 개	53
<그림 3-4-1-1> 수문 형상과 관련된 설계변수	54
<그림 3-4-1-2> W60H21L40M00 수문구조물 모형의 단면도	57
<그림 3-4-1-3> W70H21L14M00 및 W70H21L14M00-S 수문구조물 모형의 단면도	58
<그림 3-4-1-4> W70H21L14M00 및 W70H21L16M00-L 수문구조물 모형의 단면도	58
<그림 3-4-2-1> 외해측과 조지측의 수두차 확률분포 (가로림 조력발전소 타당성조사사업) ..	61
<그림 3-4-2-2> 기존 수문구조물의 대표적 형상: (a) 벤츨리형 수문, (b) 킬버트형 수문	63
<그림 3-4-2-3> W60H21L40M00 및 W80H04L91M00 모형의 통수성능 비교	64
<그림 3-4-2-4> W60H21L40M00 및 W70H21L40M00 모형의 통수성능 비교	66
<그림 3-4-2-5> W70H21L40M00 및 W80H21L40M00 모형의 통수성능 비교	67
<그림 3-4-2-6> W60H04L40M00 및 W70H04L40M00 모형의 통수성능 비교	68
<그림 3-4-2-7> W70H04L40M00 및 W80H04L91M00 모형의 통수성능 비교	69
<그림 3-4-2-8> 사석마운드 위에 설치된 수문구조물 모형의 모습	70
<그림 3-4-2-9> W60H21L40M00 및 W60H21L40M50 모형의 통수성능 비교	71
<그림 3-4-2-10> W80H21L40M00 및 W80H21L40M50 모형의 통수성능 비교	72
<그림 3-4-2-11> W60H04L40M00 및 W60H04L40M50 모형의 통수성능 비교	73
<그림 3-4-2-12> W80H04L91M00 및 W80H04L91M50 모형의 통수성능 비교	74
<그림 3-4-2-13> W60H04L40M50 및 W60H04L40M67 모형의 통수성능 비교	76
<그림 3-4-2-14> W80H04L91M50 및 W80H04L91M67 모형의 통수성능 비교	77
<그림 3-4-2-15> W70H21L40M00 및 W70H21L14M00 모형의 통수성능 비교	79
<그림 3-4-2-16> W70H21L40M50 및 W70H21L14M50 모형의 통수성능 비교	80
<그림 3-4-2-17> W70H04L40M00 및 W70H21L14M00 모형의 통수성능 비교	82
<그림 3-4-2-18> W70H21L14M00 및 W70H29L14M00 모형의 통수성능 비교	83
<그림 3-4-2-19> W70H29L14M00 및 W70H38L14M00 모형의 통수성능 비교	84
<그림 3-4-2-20> W80H04L91M00 및 W80H21L14M00 모형의 통수성능 비교	85
<그림 3-4-2-21> W80H21L14M00 및 W80H29L14M00 모형의 통수성능 비교	86
<그림 3-4-2-22> W80H29L14M00 및 W80H38L14M00 모형의 통수성능 비교	87
<그림 3-4-2-23> W70H21L14M00 및 W70H21L14M00-S 모형의 통수성능 비교	89
<그림 3-4-2-24> W70H29L14M00 및 W70H29L14M00-R 모형의 통수성능 비교	90
<그림 3-4-2-25> W80H04L91M00 및 W80H04L91M00-R 모형의 통수성능 비교	91
<그림 3-4-2-26> W70H21L14M00 및 W70H21L16M00-L 모형의 통수성능 비교	93
<그림 3-4-2-27> W80H21L14M00 및 W80H21L16M00-L 모형의 통수성능 비교	94
<그림 3-4-3-1> 고효율 수문형상 도출을 위한 수문모형의 통과유량 비교 (사석마운드	

설치하지 않은 경우)	96
<그림 3-4-3-2> 고효율 수문형상 도출을 위한 수문모형의 통과유량 비교 (사석마운드 설치한 경우)	97
<그림 3-4-3-3> W80H21L14M00 및 W80H21L14M50 모형의 단면도	98
<그림 3-4-3-4> W80H21L14M00 및 W80H21L14M50 모형의 유량특성	98
<그림 3-5-1-1> 가로림만 조력발전 위치도	99
<그림 3-5-1-2> 가로림만 수심 및 지층단면도	100
<그림 3-5-1-3> 가로림만 배치 계획평면도	101
<그림 3-5-1-4> 문비 위치도	102
<그림 3-5-2-1> 수문 구조물 표준단면도(금회 설계)	105
<그림 3-5-2-2> 수문 구조물 평면도(EL.(-)10.0m, 금회 설계)	105
<그림 3-5-2-3> 수문 구조물 평면도(EL.(+)2.0m, 금회 설계)	106
<그림 3-5-2-4> 수문 구조물 표준단면도(1993년 타당성조사시 설계)	106
<그림 3-5-2-5> 수문 구조물 평면도(EL.(-)10.0m, 1993년 타당성조사시 설계)	107
<그림 3-5-2-6> 수문 구조물 평면도(EL.(+)2.0m, 1993년 타당성조사시 설계)	107
<그림 3-5-2-7> 시공 순서도	112
<그림 3-5-3-1> 표준 설계응답스펙트럼	121
<그림 3-5-3-2> Hachinohe 지진의 지진기록 및 응답스펙트럼	123
<그림 3-5-3-3> Ofunato 지진의 지진기록 및 응답스펙트럼	124
<그림 3-5-3-4> 수정된 Hachinohe 지진의 지진기록 및 응답스펙트럼	124
<그림 3-5-3-5> 수정된 Ofunato 지진의 지진기록 및 응답스펙트럼	125
<그림 3-5-3-6> 인공지진의 지진기록 및 응답스펙트럼	126
<그림 3-5-3-7> Westergaard식에 의한 부가질량 분포도	130
<그림 3-5-3-8> 수정된 Hachinohe 지진파	132
<그림 3-5-3-9> 수정된 Ofunato 지진파	132
<그림 3-5-3-10> 인공지진	132
<그림 3-5-3-11> 1981년 보고서에 제시된 수문구조에 대한 유한요소 모델	133
<그림 3-5-3-12> 통수성능을 개선한 수문구조에 대한 유한요소 모델	133
<그림 3-5-3-13> 수정된 Hachinohe 지진시	134
<그림 3-5-3-14> 수정된 Ofunato 지진시	134
<그림 3-5-3-15> 인공지진시	134
<그림 3-5-3-16> 수정된 Hachinohe 지진시	135
<그림 3-5-3-17> 수정된 Ofunato 지진시	135
<그림 3-5-3-18> 인공지진시	135

표 목 차

<표 2-1-2-1> 각 사의 설계방법 비교	9
<표 2-1-2-2> 수문구조물 구조 해석시 사용 프로그램	11
<표 2-1-2-3> 수문제원 비교표	12
<표 2-1-2-4> 수문단면 비교표	12
<표 2-1-2-5> 유량변화에 따른 유량계수의 변화	16
<표 2-2-1-1> 운영 중인 조력발전소 현황	17
<표 2-2-1-2> 향후 조력 발전소 건설이 유망한 장소	18
<표 3-2-1-1> 실험 방법	25
<표 3-2-3-1> 검증실험 입력조건	32
<표 3-2-3-2> 검증실험 결과비교	33
<표 3-2-3-3> 실험 단면	37
<표 3-2-3-4> 수치모형 실험안	37
<표 3-4-1-1> 수치모형실험 조건	60
<표 3-4-2-1> 외해측과 조지측의 수두차에 따른 누적확률분포 (가로림 조력발전소 타당성조사사업)	62
<표 3-5-2-1> 수문 문비의 제원	104
<표 3-5-2-2> 수문 구조물의 주요제원	104
<표 3-5-2-3> 설계조건	108
<표 3-5-2-4> 하중조건	108
<표 3-5-2-5> 수문구조물 본체의 하중집계	109
<표 3-5-2-6> 사용하중조합	110
<표 3-5-2-7> 적용하중	110
<표 3-5-2-8> 안정성 검토결과	111
<표 3-5-2-9> 부력 검토결과	111
<표 3-5-2-10> 총 사업비 집계표	113
<표 3-5-2-11> 건설공사비의 연차별 투자계획	114
<표 3-5-2-12> 편익별 순현재가(NPV) 계산표	115
<표 3-5-2-13> 편익에 따른 B/C ratio 변화 비교	116
<표 3-5-2-14> 편익에 따른 내부수익율(IRR) 변화 비교	116
<표 3-5-3-1> 지진구역의 구분	119
<표 3-5-3-2> 지진 구역 계수 (재현주기 500년에 해당)	119
<표 3-5-3-3> 위험도 계수	119
<표 3-5-3-4> 지반의 분류	120
<표 3-5-3-5> 지진계수 C_a	121

<표 3-5-3-6> 지진계수 C_v	122
<표 3-5-3-7> 계기지진의 제원	123
<표 3-5-3-8> 인공지진의 특성	125
<표 3-5-3-9> 가로림 조력발전소 수문구조물의 지진해석을 위한 기초자료	131
<표 3-5-3-10> 횡압축응력 최대값	136

제1장 연구개발과제의 개요

제1절 연구개발의 목적

해수 간만(干滿)의 차이를 이용하여 전기에너지를 생산하는 조력(潮力)발전은 하구나 만을 방조제로 막고 방조제에 갇힌 물과 밀물 혹은 썰물 때의 수위차를 이용하여 터빈을 돌리고, 이로부터 전기를 얻는 해양에너지의 한 발전 형태이다. 물의 낙차를 이용하는 측면에서는 수력발전의 원리와 유사하며, 조력발전을 상용화하기 위해서는 간만의 차이가 큰 적지를 개발하는 것이 필요하며, 우리나라의 서해안은 예로부터 조력발전의 적지로 알려져 있다.

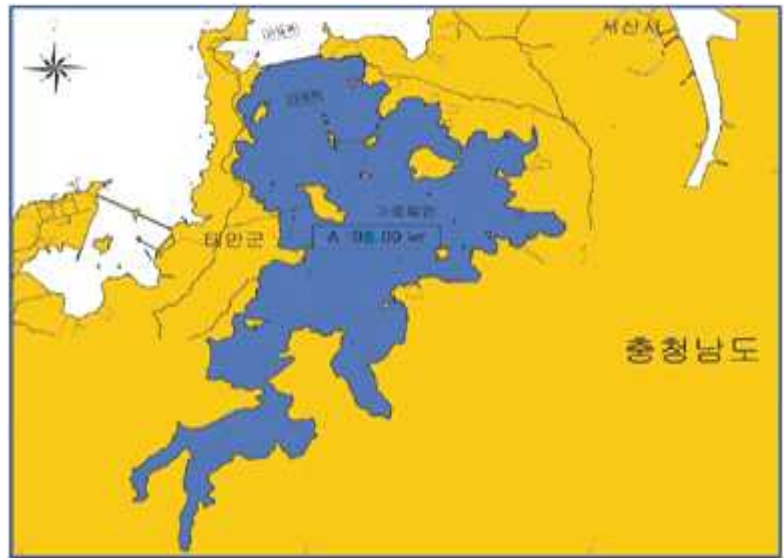
1978년 실시된 “서해안 조력 부존자원조사”를 통하여 서해안 중부 일대에 선정된 입지 10개 지점에 대하여 약 650만 kW의 조력부존자원량을 확인한 바 있으나, 이후 많은 입지가 간척사업 등으로 인하여 사라졌으며 현재 대표적인 입지로는 72만 kW의 부존량을 가진 인천만, 24만 kW의 시화호, 48만 kW의 가로림만, 60만 kW의 천수만 등을 예로 들 수 있다. 현재 시화호의 경우는 경제성과 별도로 수질개선효과 등을 목표로 이미 조력발전소 건설이 진행되고 있다. 따라서 현재 남아있는 조력발전 가능 입지에 대한 정밀한 경제성 분석을 통하여 체계적인 조력발전 개발이 필요하며, 이러한 조력발전 개발의 효율성을 높이기 위하여 국제 유가의 변동, 이산화탄소배출 규제 등의 외적인 요인에 의한 개발 동력 외에 조력발전 자체의 경제성을 높이기 위한 공학적인 부분에서의 연구개발이 필요한 시점이다.

조력발전의 경제성, 즉 효율성을 높이기 위해서는 여러 가지 요소가 필요하지만 그 중에서 해수가 유입되고, 출입되는 수문의 형상은 수두차를 최대한 에너지로 전환하는데 매우 중요하다. 이는 주어진 자연환경의 조건에서 짧은 시간에 최대한 많은 해수를 통과시킬 수 있는 수문의 성능은 주로 수문의 형상에 의하여 결정되기 때문이다.

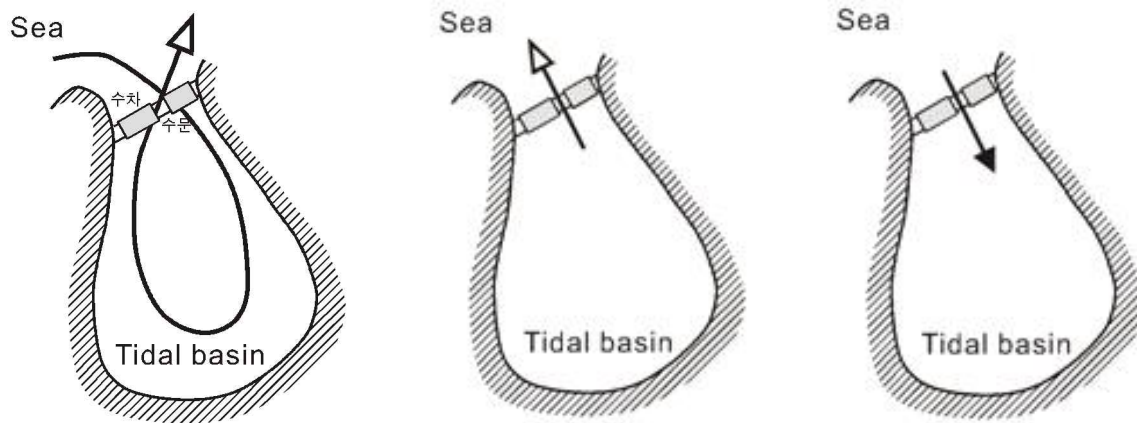
다음의 그림은 시화조력 외에 우리나라에서 조력발전이 가장 유력하게 거론되고 있는 충청남도의 가로림만에 대한 조력발전 구상도이다. 가로림만은 그림에서와 같이 만의 입구 왼쪽 즉 서측의 내리에서 동측의 벌말을 잇는 약 2km 구간을 방조제로 막음으로써 넓은 조지 면적을 확보할 수 있고, 조수간만의 차이가 6.7m로 총 48만 kW의 부존발전량을 보유하고 있다.

조력발전의 발전형식은 하나의 조지를 이용하면서 낙조 시 혹은 창조 시에 수차를 개방하여 발전하는 단조지 단류식 발전과 낙조와 창조를 모두 이용하는 단조지 복류식 발전, 그리고 조력발전 대상지점이 지형상 2개의 조지 형성이 가능한 경우 2개의 조지를 개발하여 조지 간의 수위차를 이용하는 복조지 연결식, 그리고 2개의 단조지 단류식을 독립적으로 운영하여 생산되는 전력을 단순히 연결하기만 하는 복조지 분리식 등 4개의 발전형태가 있다. 다음의 그림은 단조지 단류식 조력발전의 형태를 보여주고 있는 것이며, 현재 우리나라에서 건설 중인 시화조력발전소를 비롯하여 현재 유력하게 검토되고 있는 가로림만, 인천만, 천수만 등의 조력발전 입지의 경우에도 단조지 단류식 조력발전의 형태를 검토하고 있다. 단조지 단

류식 조력발전은 창조 시 수차를 개방하여 발전하는 창조식과 시화조력발전소와 같이 낙조 시 수차를 개방하여 발전하는 낙조식 조력발전이 있다.



<그림 1-1-1-1> 가로림만의 형상 및 검토 중인 방조제 위치



(a) 수차 및 수문의 배치

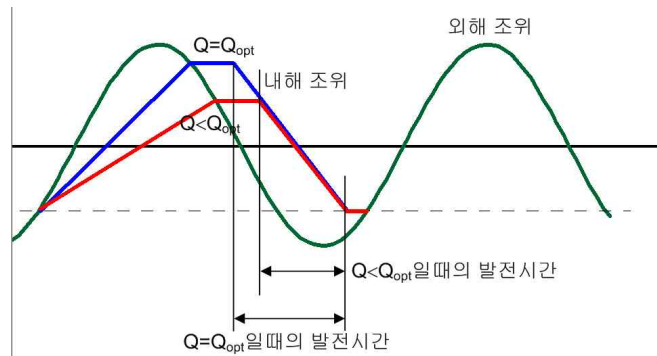
(b) 낙조식 발전

(c) 창조식 발전

<그림 1-1-1-2> 단조지 단류식 조력발전의 형태

다음의 그림은 낙조식 조력발전의 운영 사이클을 도식적으로 보여준 것이다. 외해조위가 일정한 주기로 증가-감소하고 있으며, 외해 조위가 내해 조위보다 높아지는 시점에서 수문을 개방하여 외해의 해수를 유입시키며, 내해 조위와 외해 조위의 수위차가 발전 가능한 시점에 수차를 개방하여 발전을 하는 운영 사이클을 보여주고 있다. 이때 수문의 성능이 우수하여 단위시간에 많은 해수를 내부로 유입시킬 수 있다면 내해 조위가 빨리 상승할 수 있으며, 따

라서 발전 가능한 시간도 그림에서와 같이 더 많이 확보할 수 있게 되어 1기의 수문에 의한 발전효과를 극대화시킬 수 있게 된다. 이와 같이 수문의 통수성능은 조력발전의 효율성 제고에 큰 역할을 하며, 따라서 이러한 수문의 통수성능을 개선하고, 이를 정량적으로 신뢰성있게 평가하는 것은 매우 중요한 과제라 할 수 있다.



<그림 1-1-1-3> 낙조식 조력발전의 운영 사이클

전술한 바와 같이 조력발전의 형태가 단류식, 복류식 등 여러 형태이기 때문에 이에 따른 수문의 형상도 달라야 최적의 발전효율을 기대할 수 있으며, 따라서 단류식, 복류식 등 여러 발전형태에 따른 최적의 수문형상에 관한 연구가 필요하나, 일반적으로 복류식의 경우 발전효율이 단류식에 비하여 작고, 또한 제한된 연구기간 동안 실용적인 성과를 얻기 위하여 본 연구에서는 효율이 높은 단류식 발전형식에서의 최적의 수문형상을 도출하는 것을 최종 목표로 하였으며, 이외에 다음과 같은 세부적인 연구목표를 가지고 있다.

- 수치모형실험 및 수리모형실험을 통한 수문형상에 따른 유량계수의 정량적 산정
- 벤츄리 및 컬버트를 중심으로 입지조건에 따른 최적 수문 형상 개발
- 수치모형실험에 의한 수문의 주요 설계변수 도출
- 구조안정성/시공성/경제성 분석을 통한 실용적 최적 수문형상 개발
- 조차, 수심 등 국내 여건에 적합한 최적 수문형상 개발

제2절 연구개발의 필요성

1. 기술적 측면에서의 필요성

전술한 바와 같이 우리나라 서해안은 굴곡이 심한 리아스식 해안으로 크고 작은 만이 발달해 있고 조차가 커서 세계적인 조력에너지 개발 적지로서 널리 알려져 있으며, 1930년 조선총독부 체신국에서 시행한 “인천만 조력발전 방안에 대한 조사” 이후 과거 수회에 걸쳐 개발 타당성이 검토된 바 있다. 특히 1970년대 초에는 석유과동으로 인한 대체에너지 개발 및 탈석유전원개발정책의 일환으로 1974년부터 해양연구소, 한국전력공사 등 관련기관에 의해 수차에 걸쳐 타당성 조사사업이 수행되었다. 그러나 이러한 타당성 조사를 수행하는 데 있어 조력발전과 관련된 여러 기술이 충분히 확보되지 않은 상태에서 비교적 단순한 검토를 수행하였기 때문에 충분한 경제성을 평가받는데 부족하였으며, 이러한 사유로 인하여 조력에너지 개발사업이 지연되어 오고 있는 상황이다.

예를 들어 1981년 “가로림만 조력발전 타당성 조사”를 통하여 기술적, 경제적 개발타당성이 입증되어 제5차 경제사회개발 5개년 계획 투자우선순위 조정시 조력발전은 1987년 이후 착공기로 결정되었으나, 1986년 한국전력공사에서 실시한 “가로림 조력발전 후속조사 및 우수영 조류발전 예비타당성 조사”에서는 당시 유가의 하락 추세 및 건설공사비 상승요인에 의하여 개발경제성이 미흡한 것으로 평가되어 개발이 보류된 바 있다. 그 후 1991년 중국의 조력발전 실태자료를 동력자원부가 검토한 후, 중국의 조력발전기술과 저렴한 기계설비 제작비, 그리고 수산증양식을 병행하는 다목적 개발 가능성을 확인한 후, 이러한 여건변동을 고려한 “가로림 조력개발 타당성 조사”를 다시 실시하였으며, 그 결과 단일목적으로 개발할 경우 개발경제성이 미흡($B/C=0.84$)하나, 전력생산 외에 만내 수산양식 증대효과, 관광효과, 교통효과, 매립개발효과 등 부수적인 편익을 포함하면 개발경제성이 충분하며, 따라서 조력자원의 확보 차원에서 가로림만 이외의 조력개발 가능 지점에 대한 조사도 시급히 이루어져야 할 것으로 결론을 맺은 바 있다.

따라서 국내에 많이 부존하고 있는 조력에너지를 효율적으로 실용화하기 위해서는 (1) 후보지별 정밀 조석예측모델 개발 및 후보지 특성 평가 기술, (2) 조력발전 최적화 기술: 최적 수문/수차 형상 설계 기술, (3) 조력발전 토목구조물 설계 및 시공기술 등과 같은 핵심기술의 확보가 필수적이라 할 수 있다. 즉, 조력발전 후보지에 따라 개발가능한 발전량 산정과 환경변화 평가자료 등의 기초자료 확보를 위하여 조석의 특성을 정량적으로 산출하기 위한 정밀한 예측모델 개발이 필요하며, 이 때 후보지의 수리 및 지형 특성을 감안한 최적의 조력 발전을 위해서는 수차발전기의 특성분석과 아울러 최적발전량 산출모형을 개발·적용하여야 하고, 최적의 발전효율을 확보하기 위해서는 수문의 최적 형상 도출이 특히 중요하다고 할 수 있다. 또한 조력발전소 관련 토목구조물들은 대형 해양구조물이므로 이의 설계 및 시공기술에 대한 분석도 필수적이라 할 수 있다. 이들 중 후보지별 정밀 조석예측모델 개발 및 후보지 특성 평가 등은 해양수산부(현 국토해양부)의 해양에너지 실용화 기술개발 사업에서 일

부 연구가 수행되고 있으며, 조력발전소 관련 토목구조물에 대한 설계 및 시공기술은 현재 건설 중인 시화조력발전소 건설을 계기로 많은 발전이 이루어지고 있다고 할 수 있다. 그러나 조력발전을 최적화하기 위한 최적 수문 및 수차구조물 형상 설계기술은 매우 엄밀한 수치모형실험과 수치모형실험 등을 통하여 구축될 수 있는 기술로서 외국에서도 공개된 자료는 입수하기 어려운 상황이며, 또한 연구개발을 위하여 많은 예산과 인력, 시간이 필요한 작업으로서 현재까지 충분한 기술개발이 이루어지지 못하고 있는 분야라 할 수 있다. 따라서 공학적인 측면에서 볼 때 고효율의 수문형상을 설계하는 기술이 반드시 필요하다고 할 수 있다. 한편 수차구조물의 경우 본 연구에서는 다루고 있지 않지만 수차구조물에 대한 최적형상 설계기술 역시 최적 조력발전을 위하여 개발할 필요가 있다고 할 수 있다.

2. 경제적 측면

시화호를 제외하고 현재까지 조력발전의 최적입지로 꼽힌 곳은 충남 가로림만으로서 가로림만 조력발전의 경우 1981년 타당성 조사에서는 경제성이 있는 것으로 평가되었으며, 1986년 예비타당성 조사에서는 유가 하락 및 건설비 상승요인에 의하여 오히려 경제성이 없는 것으로 평가되어 개발이 보류된 바 있으며, 1991년부터 다시 조력개발 타당성 조사를 실시하고 있는 상황이다. 이와 같이 조력발전의 개발을 위해서는 충분한 경제적 타당성이 뒷받침되어야 하는데 이러한 경제성 측면에서 조력발전이 가지는 단점으로 초기 건설비가 막대하다는 점이다. 대략 원전 1기 건설비의 절반 정도가 소모되는 것으로 알려져 있으며, 이에 비해 발전량은 훨씬 뒤떨어지기 때문에 언제나 경제성이 문제가 된다고 할 수 있다. 따라서 조력발전은 세계적으로도 실용화 사례를 찾아보기 어려우며, 현재 1966년부터 가동한 시설용량 24만 kW의 프랑스 Rance 조력발전소가 거의 유일한 성공 사례라 할 수 있다. 캐나다, 러시아, 중국 등에도 있으나 대부분 소규모 발전시설이다. 그러나 이와 같이 낮은 경제성에도 불구하고 조력발전이 다시 관심을 받고 있는 것은 이미 널리 알려진 바와 같이 대체에너지 사용의 필요성이 나날이 높아지고 있기 때문이다. 우리나라의 발전시설 용량은 4900만kW인데, 이 가운데 석탄, 석유, LNG 등 화석연료를 쓰는 비율이 64%를 차지하고 있다(2001년 기준). 그러나 기후변화협약에 따라 화석연료의 사용을 줄여나가야 하기 때문에, 태양력, 풍력, 조력 등의 대체에너지를 시급히 개발하여야 하며 이러한 의미에서 볼 때 조력발전은 다른 대체에너지에 비하여 실용화에 보다 근접해 있는 에너지원이라 할 수 있다.

1994년 지구온난화를 억제하기 위하여 채택된 바 있는 '기후변화협약'의 후속으로 1997년 채택된 '교토의정서'에서는 공동이행, 청정개발체제, 배출권거래제 등 시장원리에 입각한 새로운 온실가스 감축수단을 도입하였으며, 정부는 이러한 국제동향에 능동적으로 대처하기 위해 1998년 범정부 대책기구를 구성하고 「기후변화협약 대응 종합대책」을 수립한 바 있고, 해양수산부에서도 해양수산부문에서의 기후변화협약 및 지구온난화에 대응하기 위하여 지난 2001년 '해양수산부문 청정개발체제 도입방안 연구'를 수행하여 25.4만kW급의 시화조력발전소 건설(수자원공사 실시)시 이산화탄소 저감편익이 최소 약 1,954만 달러(약 256억원)에서

최대 약 1억 8,490만 달러(약 2,420억원)에 이를 수 있는 것으로 평가한 바 있다.

한편, 산업자원부에서 1998년 발표한 제4차 장기전력수급계획에 따르면, 1998년부터 2015년까지 기존 발전설비를 환경친화적 설비로 교체하는데 소요되는 전력부문 환경설비 투자비는 총 5조 7천억에 이를 것으로 전망하였는데, 신규 발전설비의 일부는 조력발전과 같은 무공해 에너지를 개발할 수 있는 설비가 되어야 함을 분명히 한 바 있다. 또한 제4차 장기전력수급 계획에서는 대용량 전원개발의 부담을 완화하고 부하중심지의 전력계통 안정을 위한 분산형 전원개발을 확대키로 하였으며, 따라서 연안지역 특성에 적합한 중·소규모의 해양에너지 개발 필요성이 점차 높아지고 있다. 대체에너지 혹은 신·재생에너지 개발의 활성화에 따라 조력에너지 개발에 대한 요구가 강해지고 있으며, 따라서 최적의 조력발전을 위한 고효율 최적 수문형상의 도출은 경제, 산업적으로 큰 의미를 지니며, 관련 세계시장을 주도해 유리한 입장 확보가 기대된다고 할 수 있다.

전술한 바와 같이 서해안의 조력에너지 부존량은 약 650만kW(1978년 기준)이었으나, 간척 등 각종 연안개발사업으로 인하여 그 후보지가 점차 감소 추세에 있으며, 따라서 현재 남아 있는 후보지에 대한 타당성을 정밀하게 재검토하여 조력에너지 개발 입지를 확보하는 것이 장래 신재생에너지를 적극 개발하고, 교토의정서 등 국제협약에 대응하는데 매우 필요한 것임을 알 수 있다.

이 연구를 통하여 수문형상에 따른 정확한 유량계수를 평가하고 이를 적용함으로써 부적절한 유량계수를 적용할 때 발생할 수 있는 발전용량을 위한 필요 수문의 증가 및 이로 인한 공사비 과다지출을 방지할 수 있으며, 따라서, 발전용량에 맞는 수문 설계 및 공사비 적정투입이 가능해 지고, 정확한 유량계수를 적용함으로써 발전량 예측의 신뢰성을 제고하는 부수적인 효과도 발생할 것으로 판단할 수 있다. 또한 최적 수문형상을 개발함으로써, 발전용량에 맞는 최적 수문구조물의 설계가 가능해 지고, 공기 단축, 공사비 절감, 입지·공법선정에서 탄력성을 가지게 된다.

제2장 국내외 기술개발 현황

제1절 국내 기술개발 현황

1. 조력발전 관련

우리나라 서해안은 세계적인 조력발전 입지로 1920년대부터 조력발전이 검토된 바 있다. 1930년 조선총독부 체신국에서 여러 차례에 걸쳐 조력발전을 위한 조사사업이 수행되었으며, 이후 석유과동을 거치며 1970년대부터 조력발전에 대한 활발한 조사사업과 연구개발사업이 수행되어져 왔다. 1978년 실시된 '서해안 조력 부존자원조사'를 통하여 서해안 중부 일대 입지 10개 지점에 대하여 약 650만 kW의 조력부존자원량을 확인한 바 있으며, 1981년 '가로림만 조력발전 타당성 조사'를 통하여 가로림만 조력발전의 기술적, 경제적 개발타당성이 입증된 바 있다. 그리고 1991년 동력자원부와 한국전력공사는 조력발전만을 위한 조력발전소가 아닌 다목적개발 가능성을 확인함으로써 조력발전의 경제성을 높일 수 있는 간접적 방법을 확인한 바 있으며, 한국해양연구소에서 1996년 실시한 시화호 수질개선대책의 일환으로 조력발전소 설치 방안에 대한 타당성 및 경제성을 개략 검토한 바 있다. 검토 당시 시화호 개발을 담당하고 있었던 한국수자원공사는 시화호의 하류·중류·상류를 각각 해수호·담수호·인공습지로 3분화할 계획이었으며, 해수호 부분에 대한 조력발전 타당성 검토결과 시설용량 16만 kW의 창조식 조력발전이 가능하며, 수질개선효과도 기대되었지만 $B/C=0.86$ 으로 발전경제성이 충분하지 못한 것으로 분석되었다. 그러나 시화호의 담수화 계획을 포기하고 해수호의 저수량을 당초 해수호 면적을 기준으로 약 50%를 증가시킴으로써 충분한 발전경제성(B/C =약 1.5)을 확보할 수 있음을 밝혔으며, 이후 2002년 시화조력발전건설사업 타당성 조사 및 기본계획수립을 위한 사업을 실시하였으며, 2004년 기본설계보고서가 제출되었으며, 현재 (주)대우건설에서 국내 최초의 상용조력발전소인 시화조력발전소를 건설하고 있다.

현재 국토해양부(전 해양수산부)에서는 해양에너지 실용화기술개발 사업을 통하여 조력, 조류력, 파력발전에 대한 기술을 개발하고 있으며, 조력발전과 관련하여 가로림 조력발전, 인천만 조력발전에 대한 타당성 및 경제성 분석, 환경영향 등을 종합적으로 분석하고 있다. 또한 한국해양연구원에서는 2005년부터 (주)한국서부발전의 용역으로 '가로림조력 타당성 조사(2단계)'를 수행한 바 있다.



<그림 2-1-1-1> 우리나라 조력·조류발전 주요 후보지



<그림 2-1-1-2> 시화조력발전소 조감도

2. 수문구조 관련

가. 개요

수문형상과 관련한 대표적 국내 연구사례는 시화조력발전소 건설을 계기로 수행된 수리모형실험 및 수치모형실험으로 수문형상과 관련한 구조설계, 구조해석, 수리특성 등에 관한 연구가 수행된 바 있다. 그러나 충분한 시간과 예산을 확보한 상태에서 수행되지 못하고 제한된 시간과 예산으로 연구가 수행된 관계로 신뢰성 있는 결과를 얻기에는 부족하다고 할 수 있다.

나. 시화조력발전소 수문구조물 설계 방법 비교

시화조력발전소 건설에 입찰한 3개 회사의 보고서를 통하여 수문구조물의 설계와 관련된 주요 사항을 다음의 표와 같이 정리하였다. 표에서 알 수 있듯이 수문형식은 발주기관인 한국수자원공사의 기본계획과 같이 벤츄리 형식을 채택하였으며, D사의 경우 벤츄리, 컬버트, 개수로 형식을 비교·검토한 바 있다. D사의 경우 통수능력은 벤츄리와 컬버트가 우수하고 시공성, 경제성 및 유지관리 측면에서 볼 때 컬버트 형식이 우수하다고 정리하였다. 그러나 수문구조물의 통수성능은 조력발전소의 입지 조건에 따라 어떠한 형식을 취하는가가 중요하며, 따라서 일반적으로 벤츄리, 컬버트 모두 통수성능이 우수하다고 할 수는 없을 것이다.

<표 2-1-2-1> 각 사의 설계방법 비교

구 분	D사	H사	S사
수문형식	<ul style="list-style-type: none"> • 벤츄리, 컬버트, 개수로 형식 비교 →통수능력 : 벤츄리, 컬버트 →시공성, 경제성 및 유지관리 : 컬버트 	<ul style="list-style-type: none"> • 벤츄리 	<ul style="list-style-type: none"> • 벤츄리
사례조사	<ul style="list-style-type: none"> • 랑스 발전소, 영산강, 금강, 아산방조제 	<ul style="list-style-type: none"> • 프랑스 랑스 조력발전소, 네덜란드 우스텔 쉘더, 새만금, 시화 기존수문, 낙동강 하구언, 영산강, 삼교천방조제 	<ul style="list-style-type: none"> • 운영 : 랑스(프랑스), 아나폴리스(캐나다), 키스라야구바(러시아), 장시야(중국) • 계획 : 시번(영국), 멀세이(영국) 외 11개국 57개소
구조물 단면	<ul style="list-style-type: none"> • 수로형상 : 컬버트 형식(구조가 간단하여 시공 편리) 	<ul style="list-style-type: none"> • 배수량 : 이론적 검토(유입부 형상 및 단면 급축, 선형마찰, 배수갑문) 	<ul style="list-style-type: none"> • 유입두 하단 및 언주의 형상을 곡선화(유입시 손실 최소화)

구 분	D사	H사	S사
	<ul style="list-style-type: none"> • 스톱로그 : 호수측 설치(유지보수 원활) • 흙채움 : 유지관리용 도로로 계획 • 권양기 위치 및 벽체 검토 : 해측 설치(크레인 및 스톱로그 공동사용), 벽체식으로 시공 	<ul style="list-style-type: none"> • 문틀, 유출부 단면급확 등 손실수두를 고려) 및 3차원 수치해석 • 구조물 형상 : 수로부, 유입부 및 천정부 개선 • Apron 형상 : 길이(외해측 길이에 따라 변화) 및 끝단 경사(완경사로 개선시 배수량 증가) 검토 • 옹벽형상 : 라운딩 형상 (통수능 저하방지 및 적정한 유선분포 형성) 	<ul style="list-style-type: none"> • 유지관리도로 계획 • 유출부 상면을 경사로 계획(유입공기의 잔류 현상을 억제) • 수로 상단 높이를 L.W.L까지 낮춤(오리피스 효과 최대화) • 수문 통수능력 검토 : 단면 수리모형실험을 통해 유량계수 확인(수위차가 30~120cm 증가함에 따라 1.2~2.0까지 증가) • 준설 경사면 영향 검토 : 이격거리 50m로 연장, 경사 1:3으로 완화
상부형식	<ul style="list-style-type: none"> • 슬래브(이층구조 및 연장구조 가능)와 거더교 비교 → 경제성을 고려하여 슬래브 이층구조 적용 	<ul style="list-style-type: none"> • BOX형 폐수로 + RC 라멘식 	<ul style="list-style-type: none"> • 슬라브 형식(구조 간편, 경제적)
구조계산 및 단면설계	<ul style="list-style-type: none"> • 권양기 지지부재, 상부 슬래브, 하부구조 • 3D-SHELL, 2D-FRAME • MIDAS(수문구조물의 3D 해석, 수화열 해석), SAP2000(2D 및 3D 해석), LUSAS(응력집중부의 상세해석), ANSYS(동적해석, 지반-구조물의 상호작용 해석, 소음 및 진동 영향분석), DIANA(콘크리트 비선형 균열발전 해석, 콘크리트 분산모델 사용), SIMQKE(구조물 내진해석) • 강도설계법으로 설계후 한계상태설계법으로 검증 	<ul style="list-style-type: none"> • 저판부, 수로부, 상부 • MIDAS(구조물 응력해석, 수화열, 부재단면해석), DIANA(콘크리트 균열, 수화열 및 철근 콘크리트 모델링), SAP2000(옹벽 및 기타 구조물 해석), LUSAS(신뢰성 및 응력집중부 해석), ANSYS(동적 내진 응답해석, 충돌 및 구조물내 폭파해석), SHAKE91(1차원 지반응답해석), LS-DYNA, NISA • 철근 콘크리트 구조물의 설계는 강도설계법을 적용, 강재구조물 및 가설구조물은 허용응력 설계법 적용 	<ul style="list-style-type: none"> • 저판, 수로부 벽체, 상부 벽체 기둥, 상부슬래브, 종방향 벽체, 상부벽체 Arch부 • 2차원 및 3차원 유한요소 해석 (Frame, Shell, Solid 요소 사용) • MIDAS/CIVIL(구조물 정적, 동적, 변위해석), SAP2000(단면 최적화 설계, 국부응력 검토), DIANA(콘크리트 타설 간격, 높이 등을 결정), SIMQKE(인공지진), QUAKE GEM(인공지진) • 콘크리트 부재설계는 강도설계법을 원칙, 주요 부재에 대해 한계상태설계법으로 수행하여 비교
내진설계 및	<ul style="list-style-type: none"> • 수차구조물에 대해서만 해석 	<ul style="list-style-type: none"> • 내진등급 : 1등급 • 설계진도 : 0.154g 	<ul style="list-style-type: none"> • 내진등급 : 1등급 • 설계진도:

구 분	D사	H사	S사
진동해석	• 내진등급 : 1등급		Hachinohe(0.170g), Ofunato(0.161g), 인공지진
신뢰성 설계	• Level 1(부분안전계수법), Level 2(FORM)	• RSM-based SFEM, Level 2(MVFOSM), Level 3(MCS)	• Level 1, Level 2(FOMVA)
기타 구조 해석		• 선박 및 미사일 충돌 해석 • 내부폭발 해석	

또한 구조해석을 위하여 사용된 프로그램을 다음의 표에서 정리하였다. 일반적인 구조해석을 위하여 MIDAS와 SAP2000을 사용하였으며, 지반-구조물 상호작용해석 등을 위하여 ANSYS를 비선형해석을 위해서 DIANA 등의 프로그램을 사용한 바 있다.

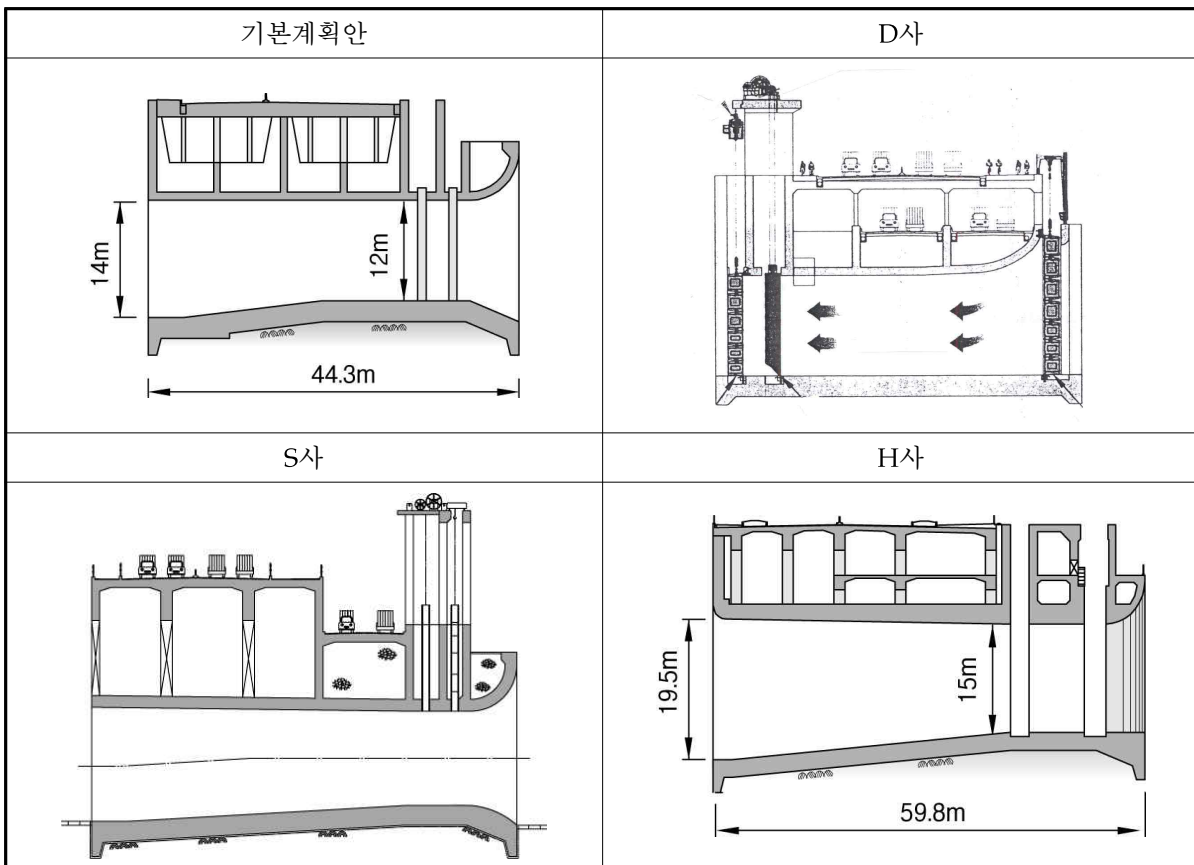
<표 2-1-2-2> 수문구조물 구조 해석시 사용 프로그램

프로그램명	설 명	D	H	S
MIDAS	• 수차, 수문, 연결구조의 3D 해석 • 수화열 해석	○	○	○
SAP2000	• 수차, 수문, 연결구조의 2D 및 3D 해석 • 6자유도의 프레임요소, Shell 및 Solid 요소 사용	○		○
ANSYS	• 구조물의 동적해석 • 지반-구조물의 상호작용해석 • 소음 및 진동의 영향분석에 사용	○	○	
DIANA	• 수차구조물의 콘크리트 비선형 해석 • 콘크리트 분산모델 사용	○		
LUSAS	• 구조물의 응력집중부의 상세해석 • 4절점 Shell요소, 8절점 Solid 사용	○		
SIMQKE	• 구조물 내진해석 시간을 위한 설계응답스펙트럼에 부합되는 인공 지진이력 작성	○		

<표 2-1-2-3> 수문제원 비교표

		기본계획	D사	S사	H사
단면형식		벤츄리형식	컬버트형식	벤츄리형식	벤츄리형식
단면개요	전체폭(m)	44.3	44.3	54.20	59.8
	높이(m)	28.5	24.0	31.0	35.0
	연장(m)	120.0	154.4	120.0	164.7
	개수	6기	8기	6기	7기
수문크기	폭(m)	12	15.3	13	12
	높이(m)	12	12	15	15
유량계수		-	-	$\Delta H < 1.0$: 1.5 $1.0 \leq \Delta H < 1.25$: 1.75 $\Delta H \geq 1.25$: 2.0	1.805
통과유량(m ³ /s)		1,866	1,098	-	1,438

<표 2-1-2-4> 수문단면 비교표



다. 수문특성실험

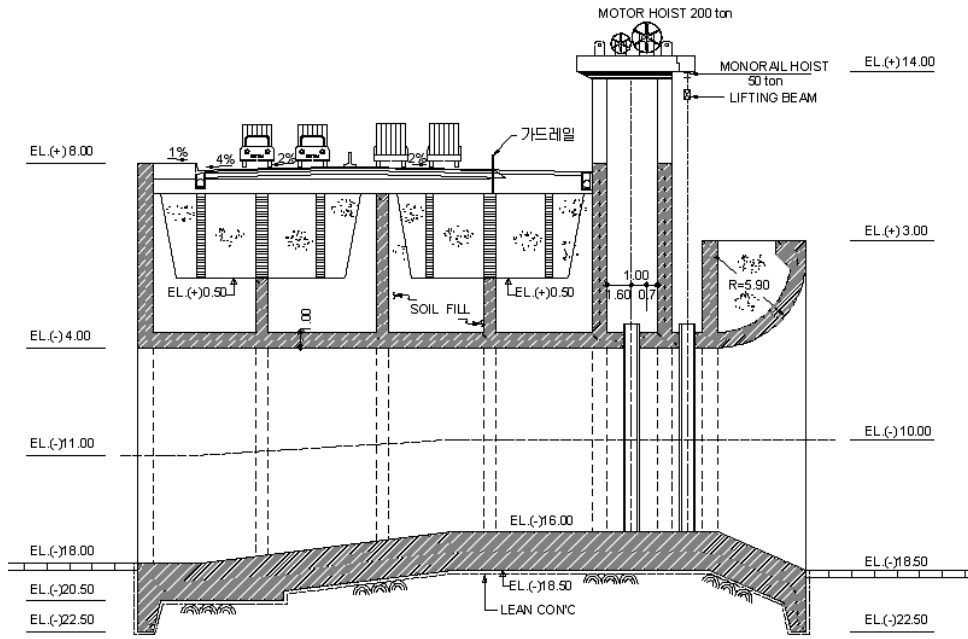
한국해양연구원에서는 한국수자원공사의 의뢰를 받아 시화조력발전소 수문구조물에 대한 수리모형실험을 수행하여 수문특성을 평가한 바 있으며, 특히 설계에서 중요한 유량계수, C_d 를 산정하였다. 이를 위하여 순환펌프가 장착된 2차원 수로에서 모형실험을 실시하였으며, 상사법칙은 중력이 지배적인 개수로의 특성을 반영하여 Froude 법칙을, 그리고 축척은 순환펌프의 용량과 수로의 제원을 고려하여 1/60으로 결정하였다 (그림 1 참조). 또한 수문특성 평가를 위하여 수위계 4개, 유속계 3개(프로펠라식 1개, 초음파식 2개), 파압계 2개를 설치(그림 2 참조)하고, 순환펌프의 속도를 조절하여 유량을 변화시키며 실험을 실시하였다(그림 3 참조).

유량계수는 다음과 같이 수문을 통과하는 유량 Q , 수문단면적 A , 수문을 경계로 유입측과 유출측의 수두차 Δh 를 이용하여 평가할 수 있다.

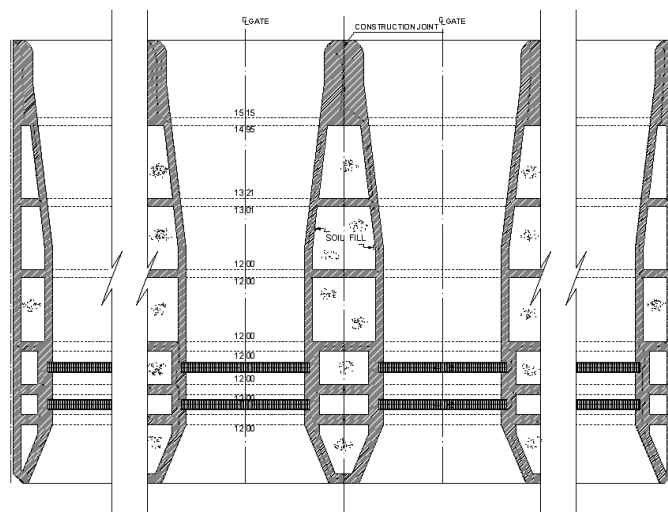
$$C_d = \frac{Q}{A\sqrt{2g\Delta h}} \quad (2.1.2.1)$$

여기서, 수문을 통과하는 유량은 수문에서의 유속을 관측하여 계산하고, 수문을 경계로 유입측과 유출측의 수두차는 다음과 같이 유입측의 수심, h_1 , 유출측의 수심, h_2 , 그리고 유입측과 유출측의 평균유속 v_1 과 v_2 를 이용하여 계산할 수 있다.

$$\Delta h = h_1 - h_2 + \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{2g} \quad (2.1.2.2)$$

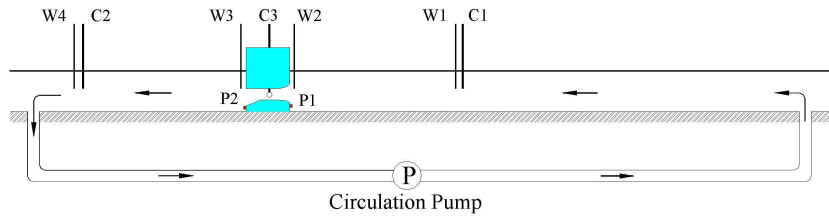


(a) 단면도



(b) 평면도

<그림 2-1-2-1> 대상수문구조물: 시화호 수문



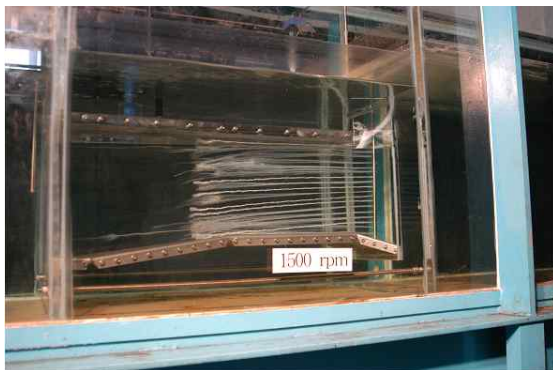
<그림 2-1-2-2> 실험수조 및 계측기기 설치도



(a) 500rpm



(b) 700rpm



(c) 1500rpm



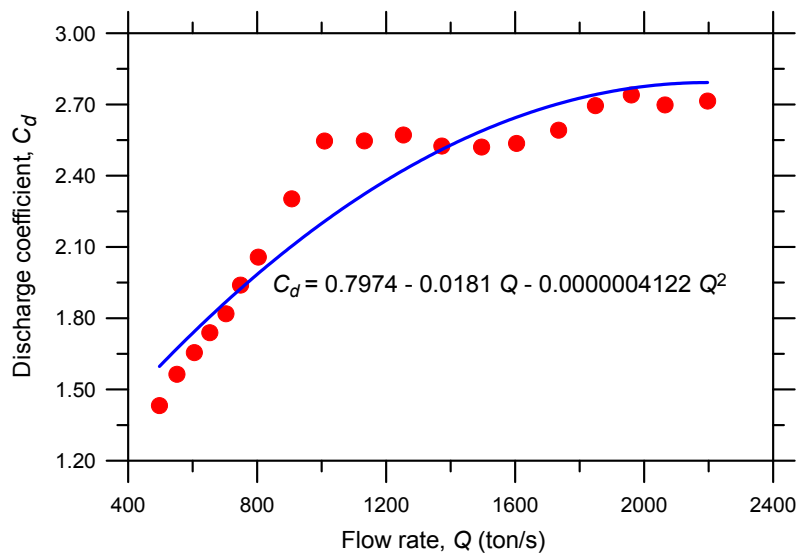
(d) 2000rpm

<그림 2-1-2-3> 순환펌프 속도변화에 따른 흐름변화

앞에 제시된 식에 근거하여 산정된 유량변화에 따라 유량계수, C_d 를 보면(표1, 그림 4), 유량이 증가할수록 유량계수가 급속도로 증가하여 일정한 값(약 2.7 정도)으로 접근함을 알 수 있다. 예를 들어 유량 1604ton/s일 때 유량계수는 약 2.54이며, 이때의 수위차는 약 1m 정도이다. 시화호의 경우 최대 수위차가 1m 정도이므로 최대 유량계수는 2.5를 사용할 수 있을 것이다.

<표 2-1-2-5> 유량변화에 따른 유량계수의 변화

유량 (ton/s) Q	유량계수 C_d	수위차 (m) $h_1 - h_2$	수두차 (m) $h_1 + \frac{v_1^2}{2g} - (h_2 + \frac{v_2^2}{2g})$
501	1.56	0.307	0.305
1132	2.54	0.495	0.486
1604	2.54	1.020	0.984
1848	2.69	1.193	1.157
2064	2.70	1.494	1.439
2196	2.71	1.671	1.610



<그림 2-1-2-4> 유량변화에 따른 유량계수의 변화

제2절 국외 기술개발 현황

1. 조력발전 관련

현재 가동 중인 조력발전소 중 대표적인 것으로는 1967년 준공된 시설용량 240MW의 프랑스 Rance 발전소와 1968년 준공된 시설용량 400kW의 러시아 Kislaya Guba 발전소, 그리고 1984년도에 준공된 시설용량 20MW의 캐나다 Annapolis 발전소, 중국의 Jiangxia 발전소 등을 들 수 있다. 이들은 대규모 조력개발을 위한 시험발전소의 성격으로 건설된 바 있으며, 이를 통하여 건설 및 가동경험을 축적하고 있다. 유럽을 중심으로 20세기 초 근대적 의미의 조력개발이 시도된 이래 발전방식, 수차발전기, 시공법 개발 등의 분야에 많은 발전이 있었으며, 발전방식의 경우 프랑스의 Gibrat가 제안한 6 Cycle mode 운전, Bulb 수차의 개발은 조력발전뿐만 아니라 저낙차 수력발전에도 큰 파급효과를 준 것으로 알려져 있다. 또한 시공법의 경우 가물막이 공법을 대체하는 케이슨 공법의 고안으로 많은 발전이 이루어졌으며, 이러한 기술개발로 인하여 조력발전은 신재생에너지 중 가장 실용성이 높은 에너지로 관심을 받고 있다.

현재 전 세계적으로 운영되고 있거나 건설이 계획 중인 조력발전소는 다음과 같다. 우선 러시아는 400kW급 시험조력발전소인 Kislaya Guba 발전소를 운영하고 있으며, 캐나다는 Fundy만 개발을 위한 시험조력발전소 성격의 20,000kW급 Annapolis 발전소를 운영하고 있으며, 중국의 경우 동해안 조력발전에 대비하여 3,200kW급 Jiangxia 발전소 등 다수의 조력발전소 운영 중이며, 현재 52만kW급 조력발전소 건설을 계획하고 있다. 한편, 영국의 경우, 100만kW급 및 860만kW급 조력발전소인 Severn 조력발전소에 대한 타당성 조사를 완료한 바 있으며, 80만kW급 Mersey 조력발전소에 대한 타당성 조사 및 기본설계 완료한 바 있다. 한편, 인도에서도 90만kW급 Kutch 조력발전소에 대한 타당성 조사가 수행된 바 있으며, 호주, 필리핀 등에서도 10MW급 및 100MW급의 조력발전소 건설에 대한 타당성 조사가 수행되고 많은 예산이 책정되고 있는 것으로 보고되고 있다.

<표 2-2-1-1> 운영 중인 조력발전소 현황

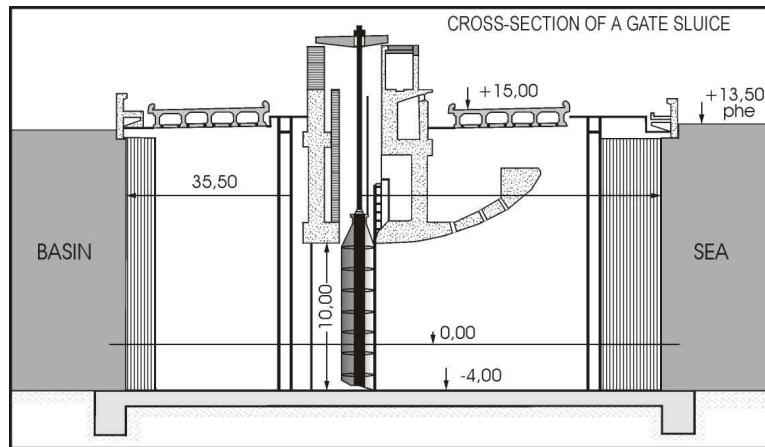
	평균조차	조지면적(km ²)	시설용량(MW)	전력생산량 (GWh/년)	준공년도 (년도)
La Rance (프랑스)	8	17	240	540	1966
Kislaya Guba (러시아)	2.4	2	0.4	-	1968
Jingxia (중국)	7.1	2	3.2	11	1980-86
Annapolis (캐나다)	6	6	17.8	30	1984

<표 2-2-1-2> 향후 조력 발전소 건설이 유망한 장소

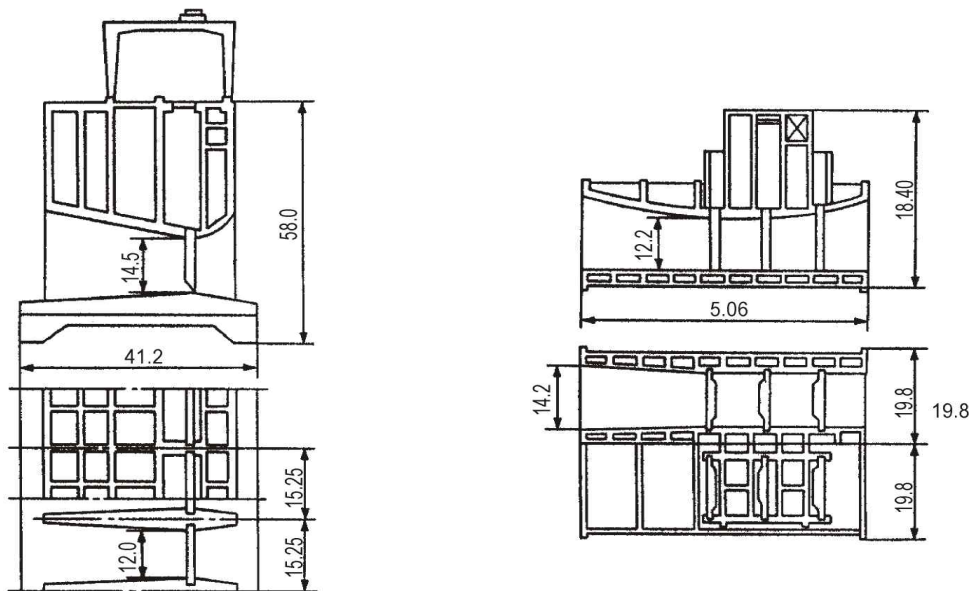
국가	지역	평균조차 (m)	조지면적 (km ²)	시설용량 (MW)	전력생산량 (TWh/연)
Argentina	San José	5.8	778	5040	9.4
	Golfo Nuevo	3.7	2376	6570	16.8
	Rio Deseado	3.6	73	180	0.45
	Santa Cruz	7.5	222	2420	6.1
	Rio Gallegos	7.5	177	1900	4.8
Australia	Secure Bay	7.0	140	1480	2.9
	Walcott Inlet	7.0	260	2800	5.4
Canada	Cobequid	12.4	240	5338	14.0
	Cumberland	10.9	90	1400	3.4
	Shepody	10.0	115	1800	4.8
India	Gulf of Kutch	5.0	170	900	1.6
	Gulf of Khambat	7.0	1970	7000	15.0
Korea (Rep.)	Garolim	4.7	100	400	0.836
	Cheonsu	4.5			1.2
Mexico	Rio Colorado	6-7			5.4
UK	Severn	7.0	520	8640	17.0
	Mersey	6.5	61	700	1.4
	Duddon	5.6	20	100	0.212
	Wyre	6.0	5.8	64	0.131
	Conwy	5.2	5.5	33	0.060
USA	Pasamaquoddy	5.5			
	Knik Arm	7.5		2900	7.4
	Turnagain Arm	7.5		6500	16.6
Russian Fed.	Mezen	6.7	2640	15000	45
	Tugur *	6.8	1080	7800	16.2
	Penzhinsk	11.4	20530	87400	190

2. 수문구조 관련

국외의 경우 수문 구조에 관한 별도의 연구사업을 수행하기 보다는 건설사업과 관련하여 사안별로 연구하여 관련 기술을 축적하고 있으며 이를 토대로 여러 가지 표준화된 자료를 제공하고 있음.



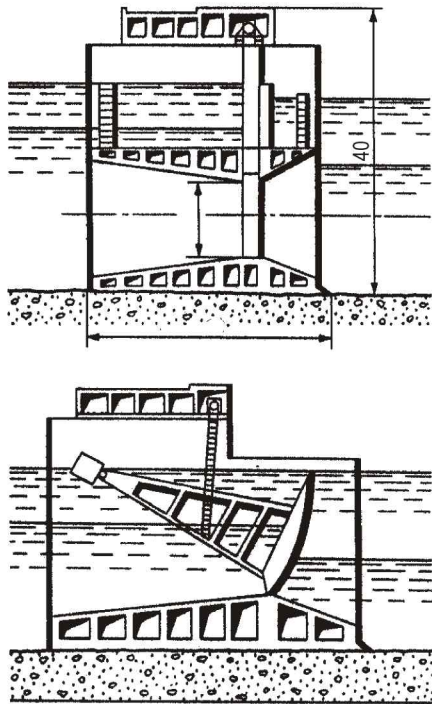
<그림 2-2-2-1> 프랑스 Rance 조력발전소 수문구조



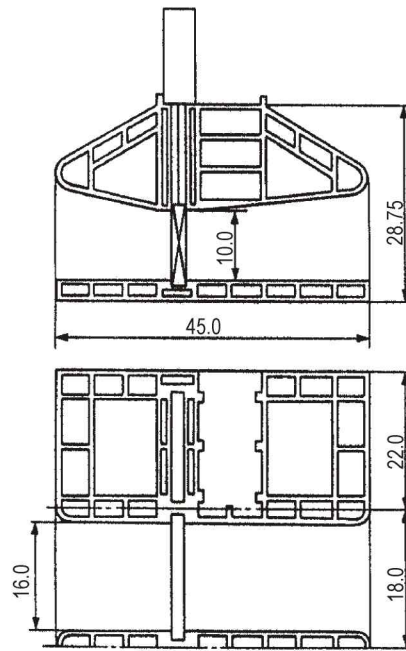
(a) 1969년

(b) 1977년

<그림 2-2-2-2> 캐나다 Fundy 조력발전소 수문구조



(a) Severn 조력발전소



(b) Mezen 조력발전소

<그림 2-2-2-3> 영국 조력발전소 수문구조

이와 같은 외국 사례를 통하여 조력발전용 수문 구조물의 특징을 살펴보면 우선 형태적으로 일반적인 하천의 수문 구조와 매우 비슷한 형식임을 알 수 있고, 발전형태에서 보면 내륙의 수력발전과 같은 수위차를 전기에너지로 변환하는 방식이지만 수력발전에 비하여 수두차가 낮기 때문에 가용한 수두차를 최대화하여 유량을 최대화할 수 있도록 수문 구조를 설계해야 하는 것을 알 수 있다. 또한 모터로 작동되는 승강기(hoist)를 이용한 연직 승강식 수문이 가장 널리 쓰이고 있으며, 단류식 및 복류식 등 발전형식에 따라 수문구조 형식 달라질 수 있음을 알 수 있다.

제3절 국내외 기술 조사 결과

현재 시험 및 상용발전소를 운영하는 조력발전 선진국이 관련 핵심기술을 보유하고는 있으나, 이는 자국의 수리 및 지형특성에 적합한 기술이며, 따라서 우리나라의 서해안에 부존된 막대한 해양에너지 자원을 효율적으로 개발하기 위해서는 후보지의 수리·지형특성을 반영한 조력발전 설계기술 실용화를 위한 핵심기술 및 일관기술 확보가 시급함을 알 수 있다. 그러나 현재까지는 경제적 타당성 조사 및 전체적인 시스템 관점에서의 연구개발이 수행되고 있어 핵심요소기술 개발은 아직까지 미흡한 상태에 있음을 알 수 있다.

시화호와 같이 환경문제가 크게 부각되어 있는 곳에서는 조력발전소 가동으로 인한 해수유동 조건을 면밀히 검토하여 수질개선효과를 극대화할 수 있도록 수차와 수문을 배치하여야 하는 등 보다 복합적인 설계기술이 요구되나 이에 대한 국내 연구가 취약한 상태이며, 이는 보다 복합적인 해석을 수행해야할 필요가 있다.

전체적으로 볼 때 국내의 조력에너지 실용화 기술은 조력발전의 선진국이라 할 수 있는 프랑스의 기술수준에 비하여 약 70% 수준으로 평가되고 있으며, 현재 조력발전에 사용되고 있는 관련기술은 특별히 조력발전용으로 개발된 것이 아니고 일반적인 수문형상을 조력발전에 적용한 것으로 이 연구를 통하여 조력발전용 수문형상 설계기술이 개발된다면 국내 조력발전의 경제성 제고에 큰 기여를 할 수 있을 것으로 기대된다.

제3장 연구개발수행 내용 및 결과

제1절 개요

조력발전소의 성능을 개선하기 위한 고효율 수문형상 설계기술 개발을 최종목표로 한 이 연구의 주요 연구내용은 다음과 같다.

- 목표:

1. 고효율 수문형상 도출을 위한 수치실험 실시, 수문 수리실험장치 구성
2. 고효율 수문형상 도출, 유량계수 개발 및 경제성 검토
3. 흐름-구조물-지반 상호작용을 고려한 수문구조물 구조특성 분석기법 수립

- 주요연구내용:

1. 최적수문형상 도출을 위한 수치실험 실시
2. 수문구조물 수리실험 장치설계 및 제작
3. 수리 및 수치실험에 의한 최적 수문형상 도출 및 유량계수 개발
4. 흐름-구조물-지반 상호작용을 고려한 수문구조물 구조특성 분석 및 평가
5. 최적 수문구조물의 설계, 시공 및 경제성 비교 검토

연구 계획 단계에서 2005. 12. 30부터 2007. 12. 29까지 총 2년 동안 수행하기로 한 이 연구는 연구 수행 과정에서 켈버트형 수문에 대한 수리모형실험을 추가로 수행하기 위하여 3개월 연구기간을 연장하였으며, 연구기간 연장에 따른 총 연구기간은 2005. 12. 30부터 2008. 3. 25.까지 총 27개월이다.

이 기간 동안 수행된 연구내용 중 가장 핵심적인 연구내용은 수리 및 수치실험에 의한 최적 수문형상 도출 및 유량계수의 정량적 평가에 관한 내용이며, 따라서 이 내용을 중심으로 보고서 3장을 구성하였다. 한편 수리적 특성을 반영하여 최적으로 선정된 수문형상의 구조적 안전성 및 경제성 등을 평가하기 위하여 현재 조력발전이 검토되고 있는 가로림만에 대하여 기본설계된 수문형상을 이 연구를 통하여 검토된 최적 수문형상으로 변경할 경우 발생가능한 구조적 안전성과 경제성 등을 평가하였다. 이 내용은 3장 5절에 정리하였다. 연구내용 및 결과를 정리한 3장의 구성은 다음과 같다.

제1절 개요

- 보고서 3장의 개요와 구성에 관하여 소개하였다.

제2절 수치모형실험의 이론적 배경 및 적용 방법

- 2절에서 수치모형실험에 관련된 이론적 배경과 수문구조물에 대한 적용 방법을 자세하게 서술하였다.

제3절 수리모형실험 장치 구성 및 보정

- 3절에서는 수리모형실험에 관련되어 수리모형 실험장치를 구성하는 것에 관한 내용과 정교한 수리모형실험을 위하여 보정하는 과정 및 결과 등을 상세하게 정리하여, 추후 유사한 실험을 수행하는 연구자 및 엔지니어들에게 도움을 주고자 하였다.

제4절 수치 및 수리모형실험 결과

- 4절에서는 수치모형실험 및 수리모형실험 결과를 정리하였으며, 몇 가지 설계변수에 따른 유량계수 및 유동 특성 등을 비교하였다. 또한 이러한 수치·수리모형실험을 통하여 최적의 수문형상을 도출한 결과를 정리하였다.

제5절 조력발전 후보지에 대한 적용

- 현재 조력발전소 건설 타당성이 검토되고 있는 가로림만에 대하여 기본설계 내용을 바탕으로 최적수문형상을 도출하고 이에 따른 구조적 안전성과 경제성을 평가하였다.

제6절 소결

- 6절에서는 이 연구를 통하여 개발된 최적수문형상과 유량계수 등에 대하여 새롭게 밝혀진 사실들을 정리하고 토의하였다.

연구개발계획서 상의 주요연구내용들이 본 보고서의 어느 절에 기술되어 있는지를 다음의 표에서 정리하였다.

	연차별 주요연구내용	기술 위치
1차년도	최적수문형상 도출을 위한 수치실험 실시 수문구조물 수리실험 장치 설계 및 제작 흐름-구조물-지반 상호작용을 고려한 수문구조물 구조특성 분석	3장 2절 1항 3장 3절 1항 3장 5절 3항
2차년도	수리실험에 의한 최적 수문형상 도출 및 유량계수 개발 수치실험에 의한 최적 수문형상 도출 및 유량계수 개발 최적 수문구조물의 구조특성 분석 최적 수문구조물의 설계, 시공 및 경제성 비교검토	3장 4절 3장 4절 3장 5절 2항 3장 5절 2항

제2절 수치모형실험

1. 개요

수치모형실험은 본 사업을 수행함에 있어 수치실험의 설계변수 도출을 위한 예비실험을 실시하고, 최적 수문형상 도출을 통해 유량계수 개발과 경제성 검토에 필요한 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

실험에 사용한 모형은 3차원 RANS(Reynolds Averaged Navier-Stokes)모형인 FLOW3D[®]를 사용하였다. FLOW3D[®]는 1968년 Los Alamos Lab에서 개발되었으며, VOF방법에 기반을 둔 범용 CFD(Computational Fluid Dynamics) 프로그램으로 자유수면, 열 전달, 3차원 수리특성 등을 상세하고 정확하게 모의할 수 있다.

실험은 둔덕의 유무, 케이슨의 바닥 높이 및 형상 변화와 측면 벽체두께에 따른 단면안 등 총 32개 단면을 설정하여 수행하였으며, 각 단면별로 5개의 유량조건과 3개의 수위조건에 대해 유량계수를 산정하였다.

수문 형상을 비교적 정확히 모의하기 위해 격자의 최소간격을 1m로 설정하였다. x방향으로는 1~4m의 가변격자를 사용하였으며, y 및 z방향은 1m 등간격자를 사용하였다. 수로 벽면에서는 마찰에 의한 에너지 손실이 발생하지 않도록 설정하였다.

<표 3-2-1-1> 실험 방법

항 목		내 용
실험 목적		<ul style="list-style-type: none"> • 수치실험에 의한 최적수문 형상도출 • 유량계수 개발 및 기타 참고자료 제공
사용 모델		<ul style="list-style-type: none"> • FLOW3D[®] (Flow Science 社 개발) - 3차원 RANS(Reynolds Averaged Navier-Stokes) 모형
격자 구성	영역	• 1200m × 28m × 60m
	간격	<ul style="list-style-type: none"> • x방향 : 1~4m 등간격자 • y방향 : 1m 등간격자 • z방향 : 1m 등간격자
	격자수	• 493 × 28 × 60 (1,454,400개)

2. 사용모형(FLOW3D®)의 이론적 배경

가. 연속방정식(Continuity Equation)

모형은 직교 좌표계를 사용하기 때문에 복잡한 구조물 또는 하상형상을 가지는 흐름을 모의하는데 단점이 있을 수 있다. 그러나 FLOW3D®는 FAVOR(Fractional Area/Volume Obstacle Representation)와 VOF(Volume Of Fluid) 방법이 사용되었기 때문에 직교 좌표계를 사용하여도 충분한 정도로 정확한 수치모의를 수행할 수 있다. 3차원 연속 방정식은 다음과 같이 구성된다(Flow Science, 1993).

$$V_F \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\rho u A_x) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho v A_y) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho w A_z) = RDIF + RSOR \quad (3.2.2.1)$$

여기서, V_F 는 유체에 접하고 있는 체적을 의미하며, ρ 는 유체의 밀도, RDIF는 난류확산항(Turbulent Diffusion Term), RSOR는 질량생성항(Mass Source Term)을 나타낸다. 속도성분 (u, v, w)는 (x, y, z)방향으로의 속도를 나타내며, A_x, A_y, A_z 는 계산 셀의 x, y, z 방향 유체가 접촉된 각각의 면적을 의미한다.

연속방정식의 우변 첫번째 항인 난류확산항은,

$$RDIF = \frac{\partial}{\partial x} \left(v_p A_x \frac{\partial \rho}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(v_p A_y \frac{\partial \rho}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_p A_z \frac{\partial \rho}{\partial z} \right) \quad (3.2.2.2)$$

여기서, $v_p = c_p \mu / \rho$ 와 같다. μ 는 운동량 확산계수 즉, 점도를 나타내며, c_p 는 상수이며 c_p 의 역수는 Turbulent Schmidt Number라 불린다. 위 식은 불균일한 밀도를 갖는 유체 내의 난류 혼합 과정에서만 필요한 항이다.

나. 운동량 방정식(Momentum Equation)

직교좌표계의 각 방향 속도성분 (u, v, w)에 대한 방정식은 추가적인 몇 개의 항을 포함한 Navier-Stokes 방정식으로 표시하면 다음과 같다.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ u A_x \frac{\partial u}{\partial x} + v A_y \frac{\partial u}{\partial y} + w A_z \frac{\partial u}{\partial z} \right\} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + G_x + f_x - b_x - \frac{RSOR}{\rho V_F} u \quad (3.2.2.3)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ u A_x \frac{\partial V}{\partial X} + v A_y \frac{\partial V}{\partial Y} + w A_z \frac{\partial V}{\partial Z} \right\} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial Y} + G_y + f_y - b_y - \frac{RSOR}{\rho V_F} V \quad (3.2.2.4)$$

$$\frac{\partial W}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ u A_x \frac{\partial W}{\partial X} + v A_y \frac{\partial W}{\partial Y} + w A_z \frac{\partial W}{\partial Z} \right\} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial Z} + G_z + f_z - b_z - \frac{RSOR}{\rho V_F} W \quad (3.2.2.5)$$

위 방정식에서 G_x, G_y, G_z 는 체적력항 (Body Acceleration)이고, f_x, f_y, f_z 는 점성력항 (Viscous Acceleration), b_x, b_y, b_z 는 구조물을 통과하면서 발생하는 손실을 표시하며 마지막 항은 계산영역내의 질량생성을 의미한다. 동점성계수(Dynamic Viscosity) μ 와 관련한 점성력항(Viscous Acceleration)은 다음과 같다.

$$\rho V_F f_x = wsx - \left\{ \frac{\partial}{\partial X} (A_x \tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial Y} (A_y \tau_{xy}) + \frac{\partial}{\partial Z} (A_z \tau_{xz}) \right\} \quad (3.2.2.6)$$

$$\rho V_F f_y = wsy - \left\{ \frac{\partial}{\partial X} (A_x \tau_{xy}) + \frac{\partial}{\partial Y} (A_y \tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial Z} (A_z \tau_{yz}) \right\} \quad (3.2.2.7)$$

$$\rho V_F f_z = wsz - \left\{ \frac{\partial}{\partial X} (A_x \tau_{xz}) + \frac{\partial}{\partial Y} (A_y \tau_{yz}) + \frac{\partial}{\partial Z} (A_z \tau_{zz}) \right\} \quad (3.2.2.8)$$

위 식에서 wsx, wsy, wsz 는 벽면에서의 전단응력(Wall Shear Stress)을 나타낸다. 만일 이 항이 소거되면 벽에서의 전단응력은 발생되지 않는다. 왜냐하면, 나머지 항이 유동면적 A_x, A_y, A_z 을 포함하고 있어서 벽면에서 유동이 없는 경우 제로가 되기 때문이다. 난류유동의 경우, 벽면 근처에는 벽법칙(Law-of-the-wall)을 적용한 속도분포를 가정한다.

다. 자유표면(Free Surface)

기체와 접하고 있는 액체 표면의 형상은 VOF함수, $F(x,y,z,t)$ 를 통해 얻을 수 있다. 이 함수는 단위체적 내에 포함되어 있는 액체의 체적을 나타내며, 아래와 같은 관계가 있다.

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left[\frac{\partial}{\partial X} (FA_x u) + \frac{\partial}{\partial Y} (FA_y v) + \frac{\partial}{\partial Z} (FA_z w) \right] = FDIF + FSOR \quad (3.2.2.9)$$

확산계수는 $V_F = C_{F\mu} / \rho$ 이고, 상수 C_F 의 역수는 Turbulent Schmidt Number라고도 불린다.

위 확산항은 서로 다른 유체간에 난류 혼합(Turbulent Mixing)이 발생하는 경우에만 필요하다.

FSOR은 연속방정식의 RSOR에 해당하며 유체의 질량생성으로 인해 변화되는 해당 유체의 시간에 따른 체적 변화율을 의미한다.

자유표면을 포함하고 있는 비압축성유체 문제의 경우 F 는 유체가 점유하고 있는 체적비율을 의미한다. 그래서, $F=1$ 이면 계산 셀 내에 유체가 채워져 있는 것이고 $F=0$ 이면 균일한 압력이 작용되고 유체가 없는 공간 즉 빈 공간을 의미한다.

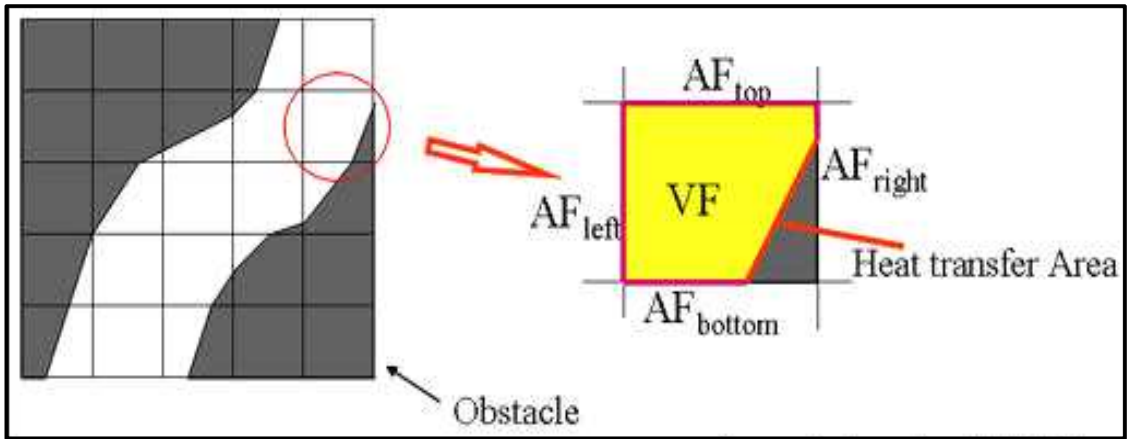
물리적으로 이 공간에는 액체로부터 증발된 증기나 기체가 채워져 있지만, 이들 가스의 밀도가 액체에 비해 무시될 수 있을 정도로 작으므로 전체 계산 영역에 걸쳐 액체 경계면 위로는 일정한 압력이 작용하고 있는 빈 공간이라고 가정한다.

라. FAVOR Method

FLOW3D[®]는 기본적으로 유한차분법이 적용된 프로그램이다. 유한차분법의 장점은 공간좌표 상의 각종 변수 계산시 효율적인 데이터 처리가 가능하여 전체 계산시간을 단축시킬 수 있다는 것이다. 하지만 유동영역과 구조물의 구분이 계단식으로 표현되어 구조물 근처에서 조밀한 격자구성이 필요하다는 단점이 있다.

이러한 단점을 보완하기 위하여 유한요소법(FEM, Finite Element Method)을 사용하거나 구조물의 표면과 일치하는 좌표계(Body Fitted Grid System)를 사용한다. 그러나 FLOW-3D는 계산 속도의 이점을 그대로 유지하면서 공간상의 구조물을 비교적 정확하게 표시할 수 있는 FAVOR(Fractional Area/Volume Obstacle Representation)기법을 적용한다. FAVOR 기법의 장점은 적은 수의 계산절점으로 Body Fitted Grid System의 정도를 유지할 수 있고 보다 복잡한 형상도 표현할 수 있다는 것이다.

그리고 유동해석의 대부분이 계산영역의 구조물형상 모델링 또는 유체영역의 모델링에 소요된다는 점에 착안하여 복잡한 형상은 별도의 전용 솔리드 모델러를 사용하여 3차원으로 모델링한 후 이를 STL Format(Stereolithography Format)이나, IDEAS Universal Format으로 변환한 후 입력파일에서 읽어 들이도록 추천하고 있다. 이렇게 입력된 형상 데이터는 좌표계의 각 방향 절점좌표와 만나는 교점을 기준으로 이루어진 다각형 또는 체적으로 표시됨으로써 구조물을 표시할 수 있다. 구조물과 유체의 구분은 해당 계산 셀이 유체와 접촉하고 있는 면적과 체적의 비율로 나타내며 "1"이면 완전 구조물, "0"인 경우 완전 유체를 나타낸다. 전술한 바와 같이 그림의 삼각형을 명확하게 표현하는 방법은 비정렬 좌표계(Unstructured Grid System)나 Body Fitted Grid System을 사용해야 되지만 직교 좌표계를 사용하더라도 한 개의 계산 셀에 면적에 관련된 3개 변수, 체적에 관련된 1개 변수로 충분히 표현이 가능하다는 것을 알 수 있다.



<그림 3-2-2-1> FAVOR Method 모식도

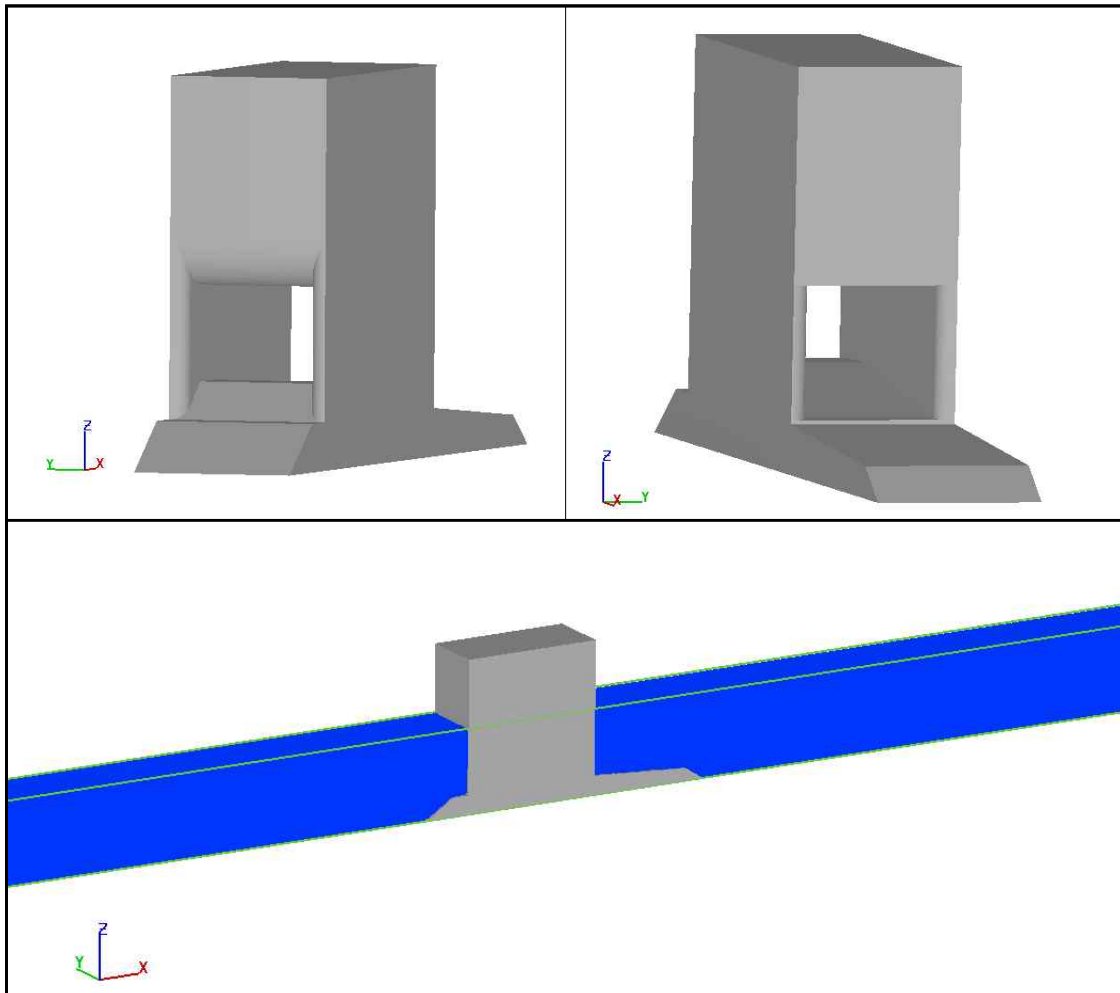
3. 수치모형실험에 의한 수문구조물 유동해석에의 적용방법

가. 격자구성

최적 수문형상 도출 및 유량계수 평가를 위한 수치모형실험은 x방향으로 1200m, y방향으로 28m, z방향으로 60m영역에 대해 수행되었다.

x방향의 격자간격은 유체의 거동이 복잡한 구조물 부근에서 구조물의 세밀한 묘사를 위해 1m격자를 사용하였고, 비교적 유체의 거동이 단순한 계산 경계 부근에서는 4m의 격자를 사용하였으며, y 및 z방향은 1m의 등간격자를 사용하였다.

총 계산격자는 x방향 493개, y방향 28개, z방향 60개로 총 828,240개로 설정하였다.



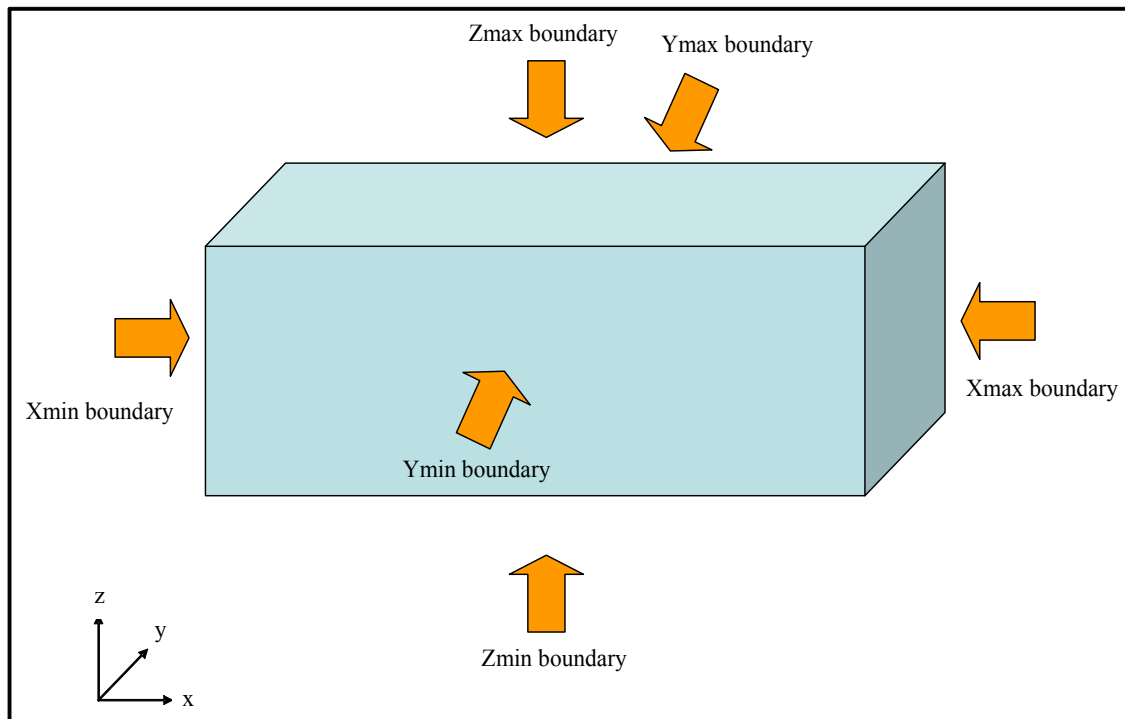
<그림 3-2-3-1> 수문구조물 모형

나. 경계조건

계방경계는 압력을 일정하게 유지시켜 수위를 고정시키는 경계조건을 사용하였으며, 실험에 사용된 수위조건은 수리실험에서 관측된 수위에 목표로 하는 유량에 대한 속도수두를 고려하여 설정하였다

측면경계조건은 직각방향으로 유체의 이동이 없는 고정경계 조건으로 설정하였다.

수로 벽면에서 마찰에 의한 에너지 손실이 발생하는 경우, 수문구조물에 의한 정확한 에너지 손실을 계산할 수 없으므로 수문구조물을 제외한 수로 벽면은 마찰에 의한 에너지 손실이 발생하지 않도록 설정하였다. 수문구조물은 경계면에서의 마찰을 고려하도록 설정하였다.



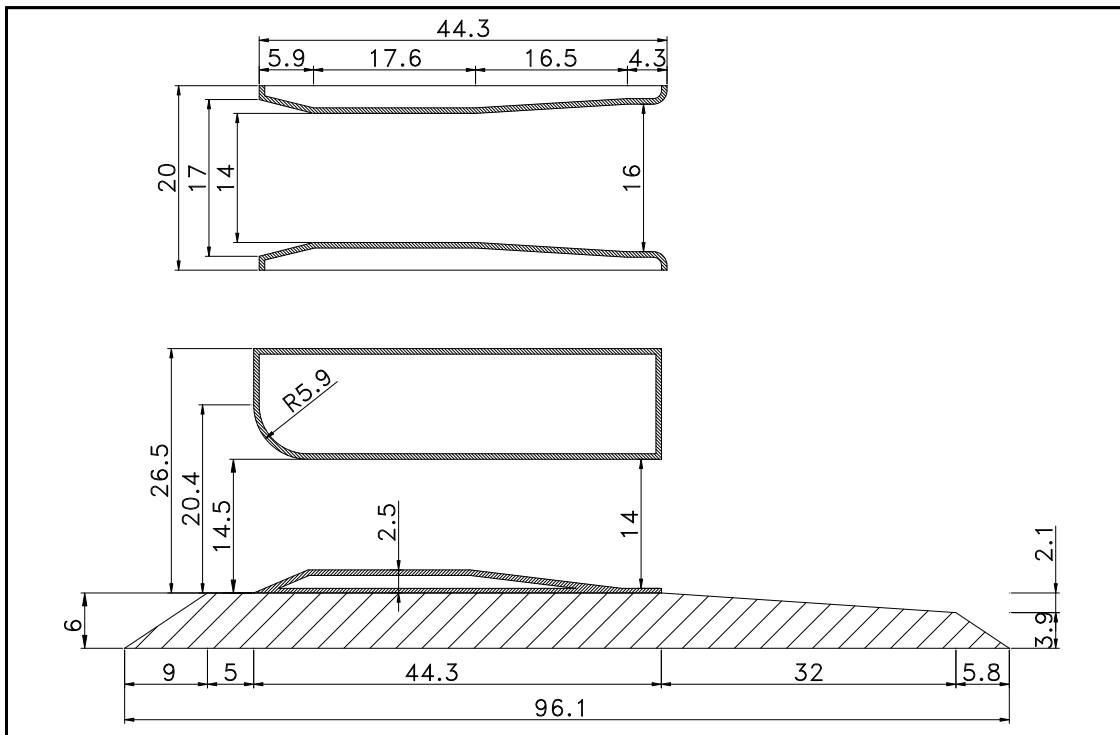
<그림 3-2-3-2> 계산영역 모델 경계

다. 사용모형의 검증

1) 입력조건 결정

수치모형실험을 수행하기에 앞서 수리모형실험결과를 이용하여 최적수문형상 도출에 사용되는 모델의 검증을 수행하였다.

수리모형실험은 1:40 축소모형으로 수행되었으나(<그림 3-2-3->) 검증 실험은 실제 scale에 대해 수행하였다. 총 32개 단면 중 벤츄리형의 단면에 대해 실험을 수행하였으며, 수리실험에서 사용된 유량 및 수위조건을 사용하였다.



<그림 3-2-3-3> 검증실험 모형단면 (Model scale)

<표 3-2-3-1> 검증실험 입력조건

단 면	수리실험결과 (Model Scale)			입력계수(Real Scale)		
	유량 (m ³ /s)	전면수위 (cm)	후면수위 (cm)	유량 (m ³ /s)	전면수위 (m)	후면수위 (m)
벤츄리형식	0.1240	0.6626	0.6476	1254.7918	26.5040	25.9040

2) 검증 결과

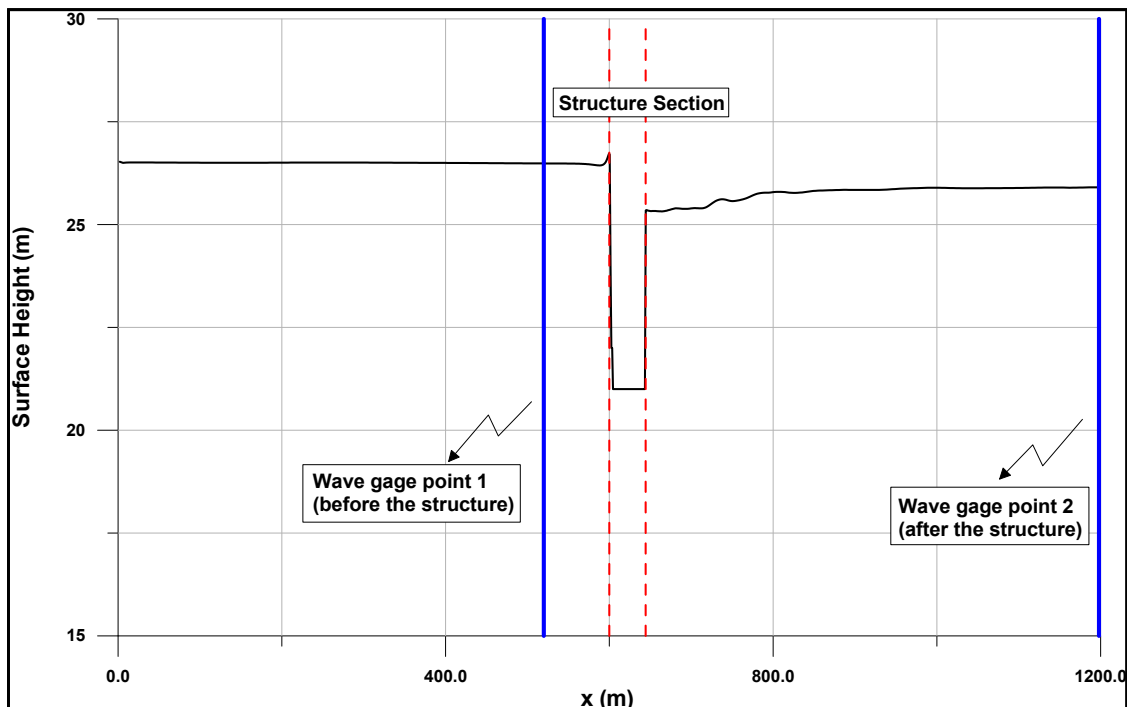
최적수문형상 도출을 위한 수치모형실험의 검증실험은 벤츄리형의 단면에 대해 수리실험결과와 수치실험결과를 비교하여 수치모형실험의 타당성을 검토하였다.

수위시계열은 2개 지점에 대해 수리실험과 비교하였고, 수문 전·후와 수문위치 등 총 3개 지점에서 통과유량을 검토하였다. <표3-2-3-2>의 수치실험결과와 유량은 수문위치에서의 유량이다.

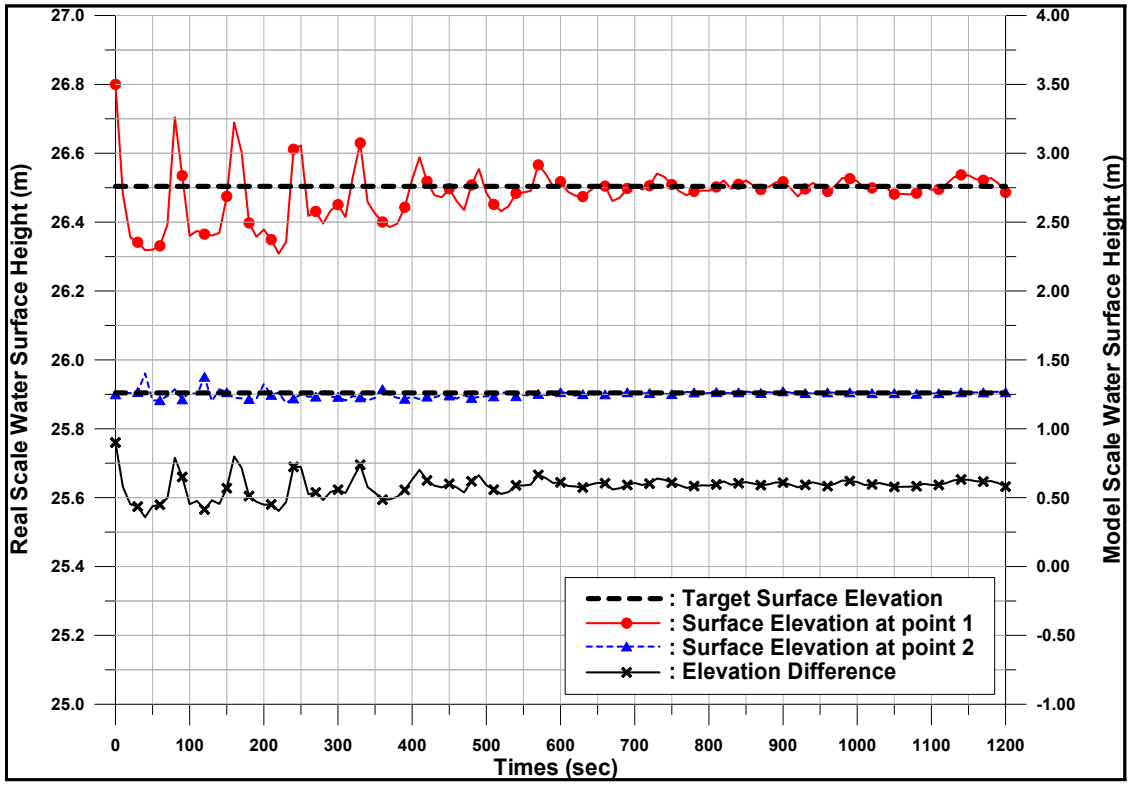
수리실험에서 사용된 유량 및 수위조건을 실제 scale의 값으로 환산하여 수치실험결과와 비교한 결과 유량, 전면수위 및 후면수위 모두 수리실험치와 수치실험치가 잘 일치하는 것으로 나타났다. 수치실험의 후면수위 결과는 구조물 후면에서 가장 높은 수위를 보이는 지점에서 출력한 결과이다.

<표 3-2-3-2> 검증실험 결과비교

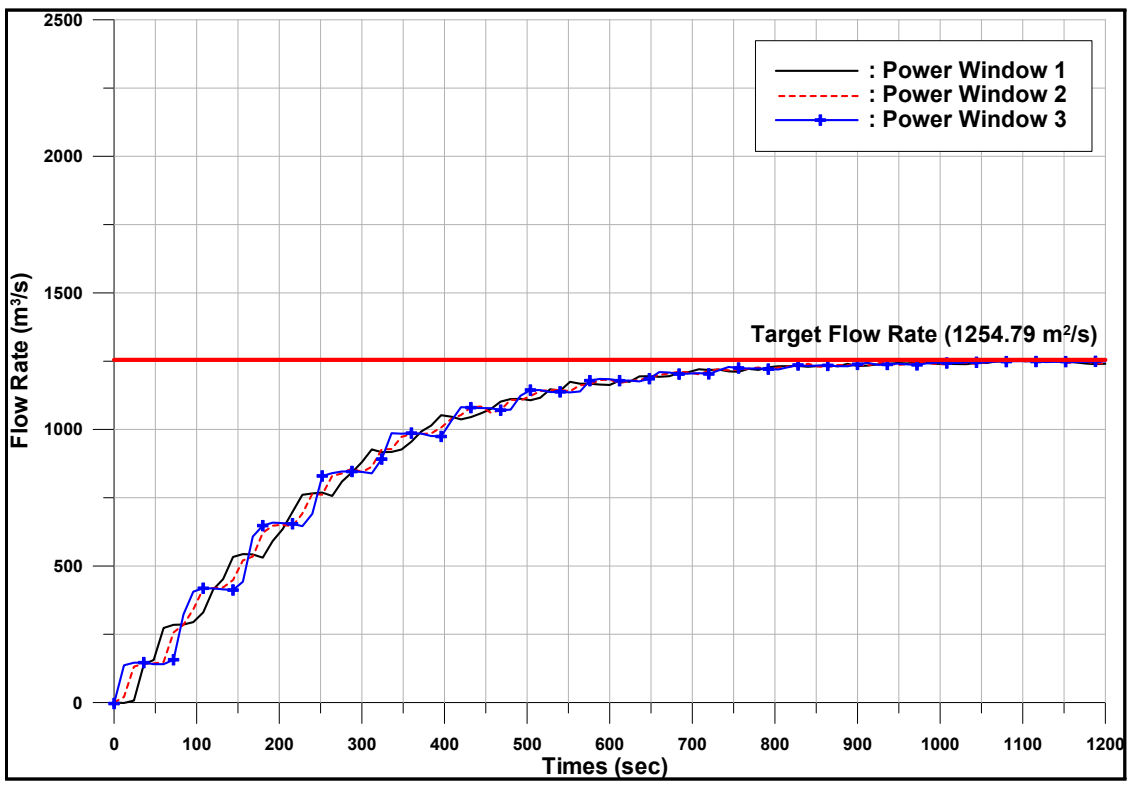
수리실험결과(Real scale)			수치실험결과(Real scale)		
유량 (m ³ /s)	전면수위 (m)	후면수위 (m)	유량 (m ³ /s)	전면수위 (m)	후면수위 (m)
1254.7918	26.5040	25.9040	1245.91	26.5056	25.9042



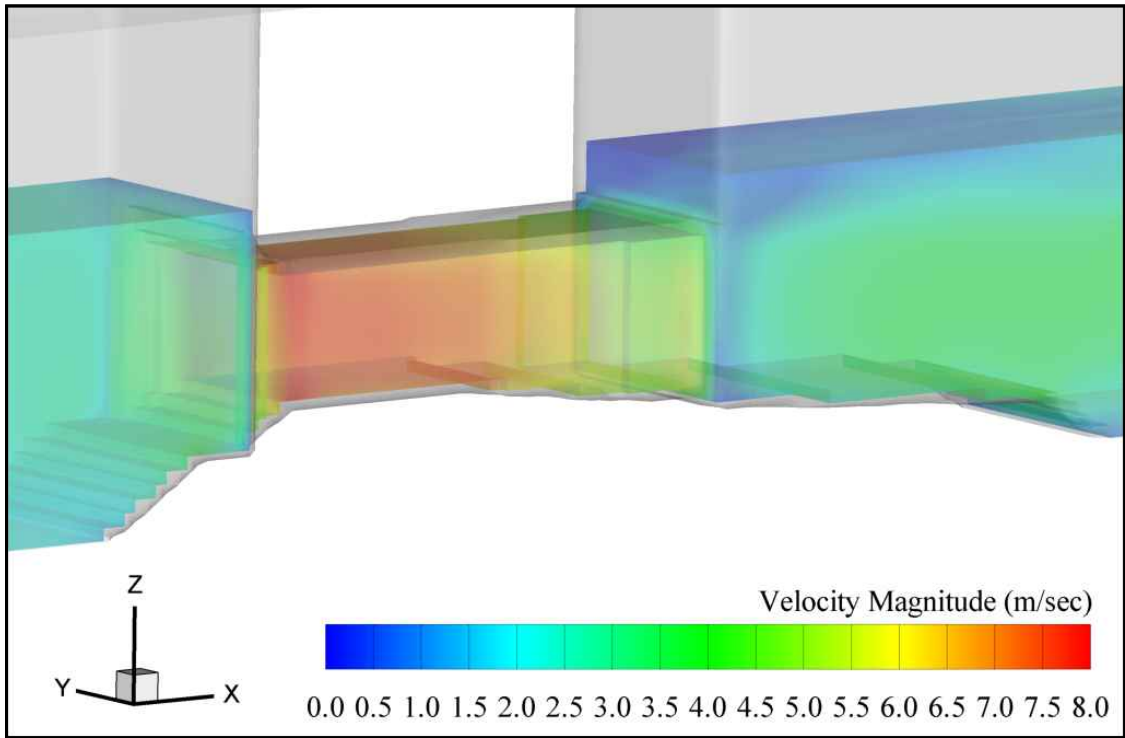
<그림 3-2-3-4> 수면변위 출력위치



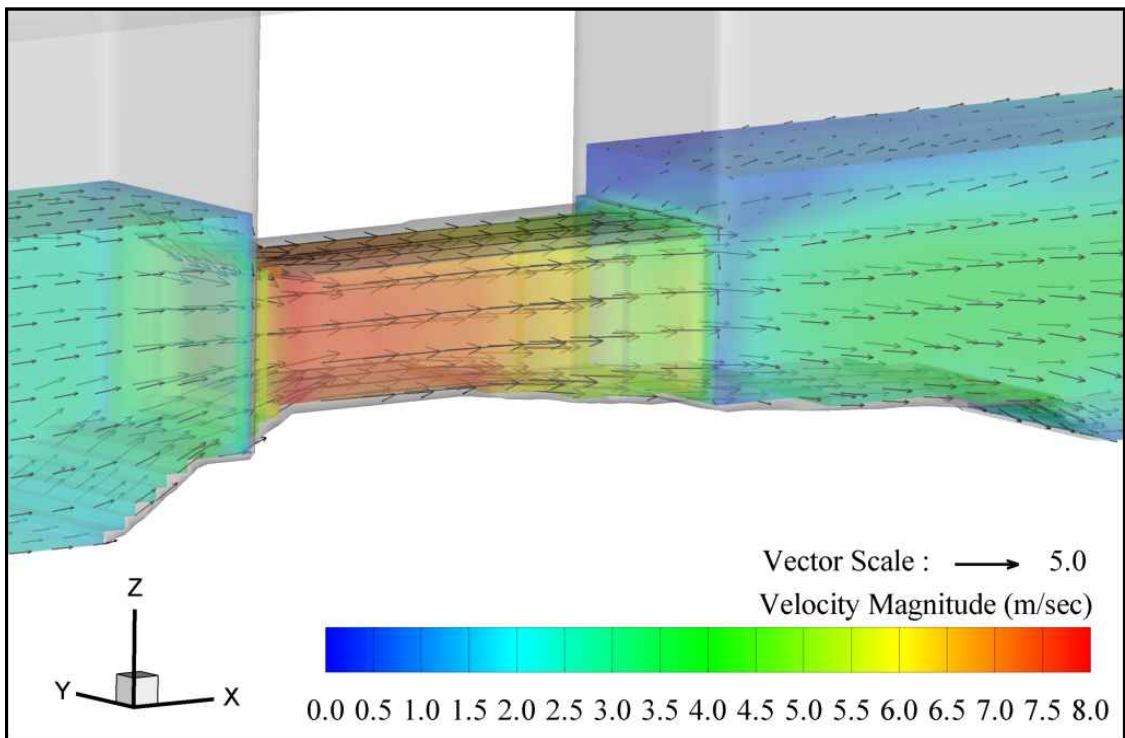
<그림 3-2-3-5> 수위 시계열



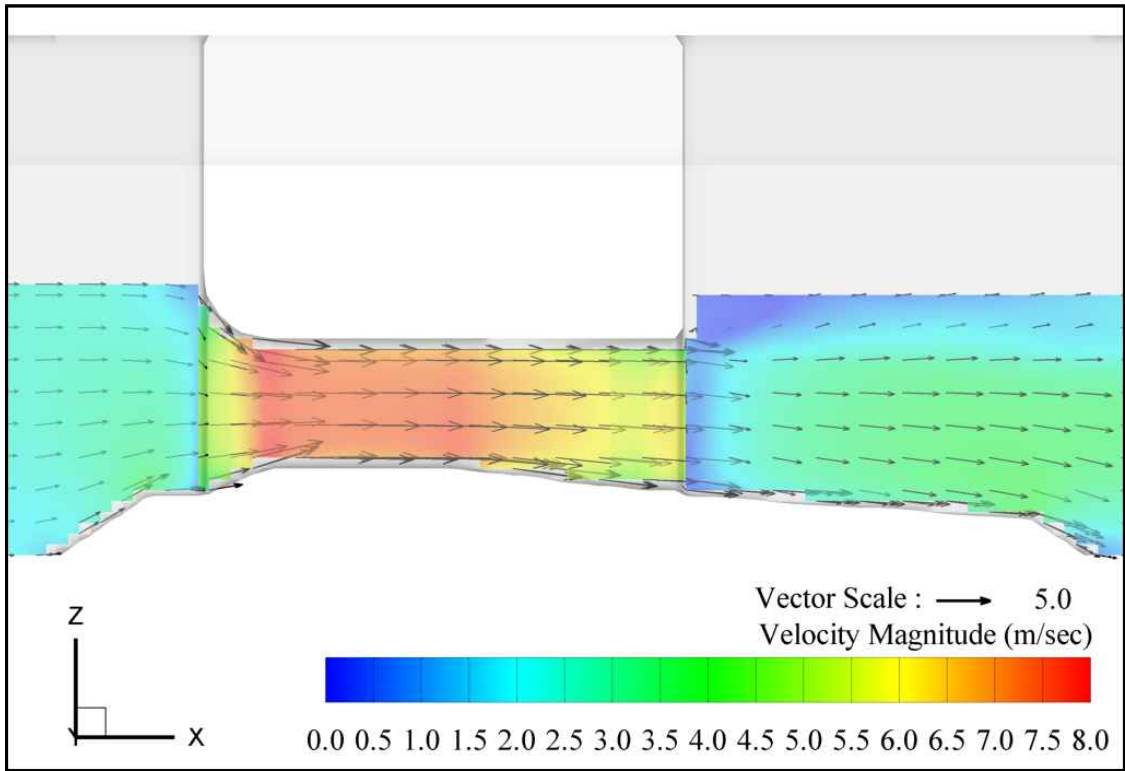
<그림 3-2-3-6> 유량 시계열



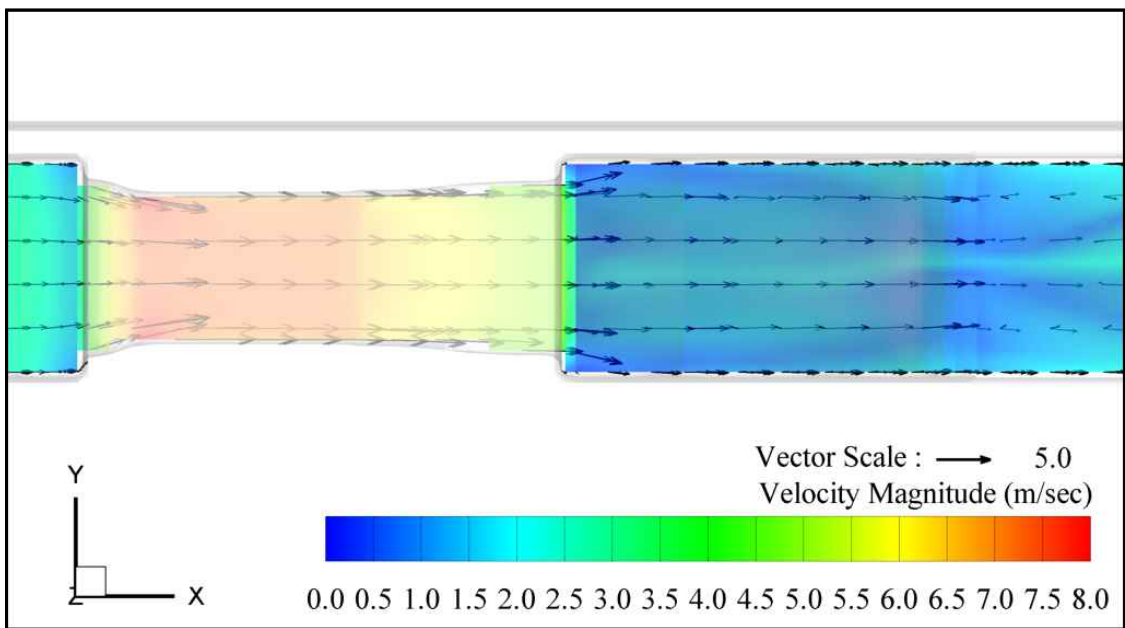
<그림 3-2-3-7> 유속분포



<그림 3-2-3-8> 유속벡터도



<그림 3-2-3-9> 횡단 유속분포도



<그림 3-2-3-10> 평면 유속벡터도

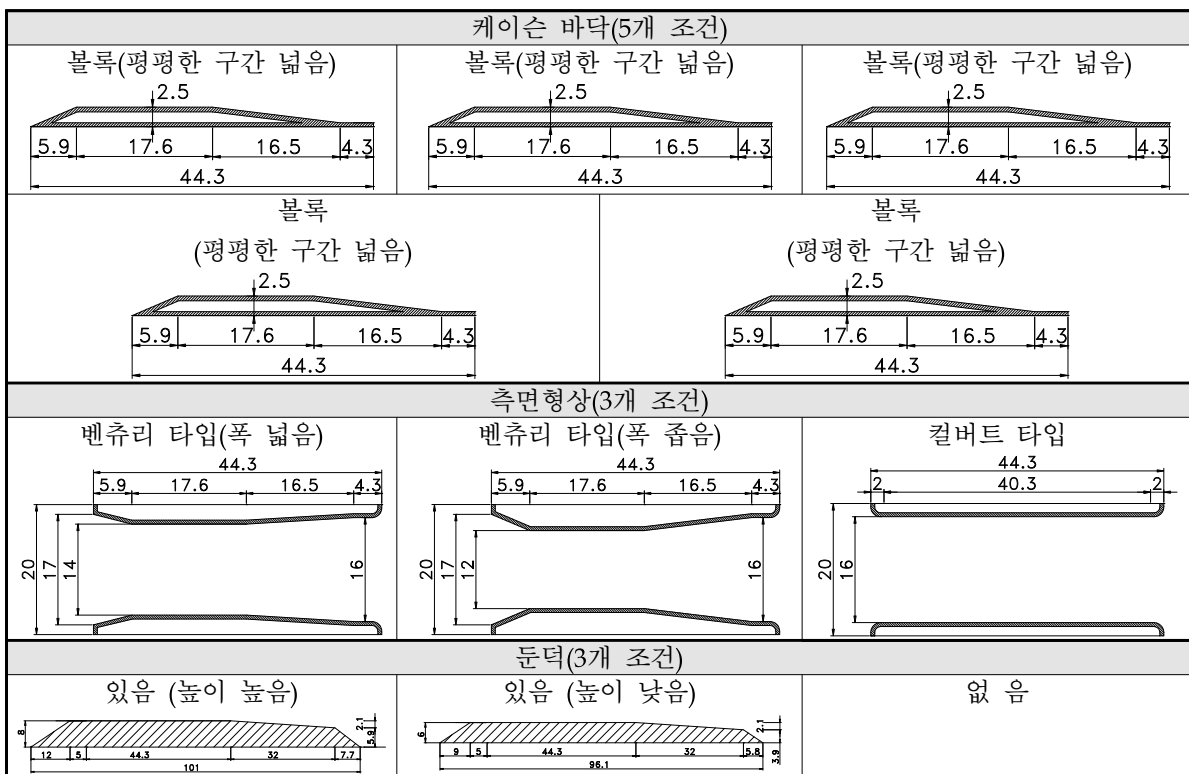
라. 실험안 설정

최적 수문형상 도출 및 유량계수 평가를 위한 수치모형실험은 둔덕이 있는 단면이 15개, 둔덕이 없는 단면이 17개로 총 32개 단면에 대해 수행되었다.

실험단면은 케이슨 바닥을 변화시킨 5개, 측면두께를 변화시킨 3개 및 둔덕의 유무에 따른 종류를 3개로 구분하였으며 각각의 조합단면안 32개를 설정하였다.

각 단면별로 수위 및 유량조건은 5개 유량, 3개 수위조건에 대해 실험을 수행하였으며, 총 480개의 실험안에 대해 실험을 수행하였다.

<표 3-2-3-3> 실험 단면



<표 3-2-3-4> 수치모형 실험안

단 면	유량조건	수위조건	합 계
총 32개 단면	약 650m ³ /s	LWL	총 480개 실험안
	약 950m ³ /s		
	약 1250m ³ /s	MWL	
	약 1550m ³ /s	HWL	
	약 1850m ³ /s		

제3절 수리모형실험의 장치구성 및 방법

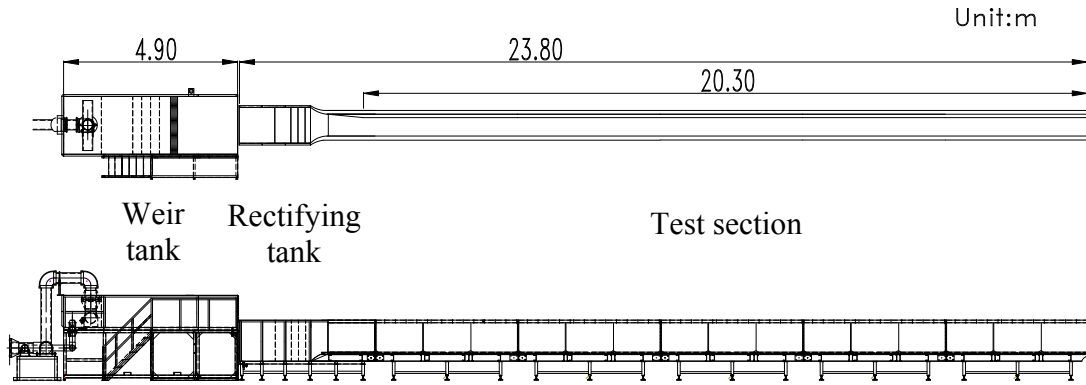
1. 수리모형실험 시설 및 장비

가. 수리모형실험 장치의 설계, 제작 및 보완

수리모형실험은 한국해양연구원 평면수조실에 설치된 개수로시스템에서 수행되었다. <그림 3-3-1-1>에 개수로시스템의 전경 사진을 제시하였고, <그림 3-3-1-2>에 그 평면도 및 측면도를 제시하였다. 이 수로의 길이는 23.8 m, 폭은 0.6 m, 높이는 0.8 m 이며, 수로의 바닥 높이는 지면으로부터 0.65 m이다. 단면수로의 상류측에는 웨어 수조를 설치하여 고수조로부터 유입된 유량을 측정하고, 목표유량이 개수로로 공급될 수 있도록 하였다. 개수로는 웨어수조로부터 공급되는 물을 정류시키기 위한 정류수조 및 관측수로 두 부분으로 구성된다. 정류수조에는 관측수로 내로 유입되는 물을 효과적으로 정류시키기 위하여 수평 및 연직 방향으로 다열의 타공판 및 플라스틱 그물을 설치하여 수면의 진동을 최소화하고 관측수로 내측으로 유입되는 흐름의 평면분포가 최대한 균일하게 유지될 수 있도록 하였다. 본 실험에서는 폭이 0.60 m인 관측수로 내에 종방향으로 연직 분할판을 설치하여 실험 구간의 수로 폭을 0.5 m로 하였다.



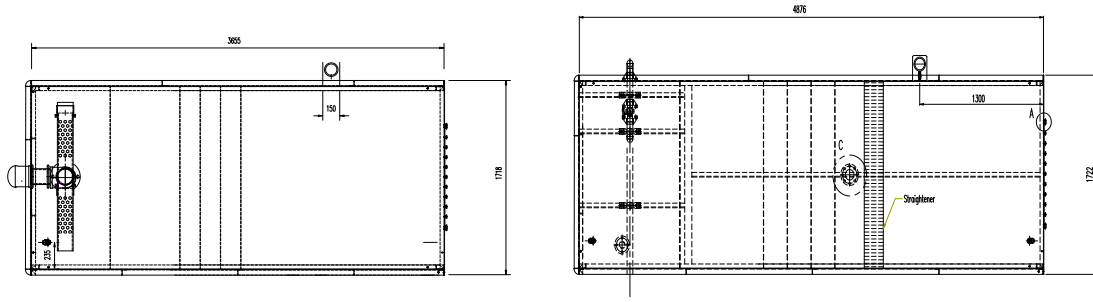
<그림 3-3-1-1> 평면수조실에 설치된 개수로시스템의 전경



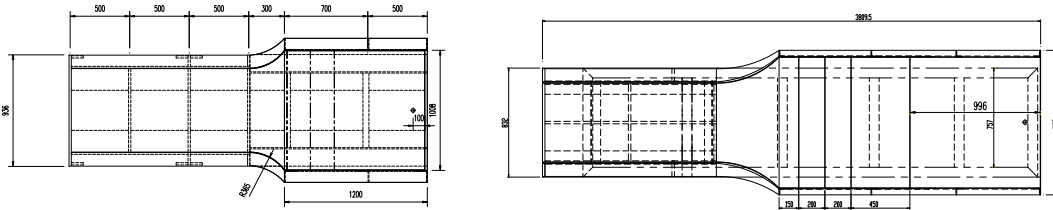
<그림 3-3-1-2> 개수로시스템의 평면도 및 측면도

실험수는 평면수조실 하부에 있는 지하 저수조로부터 급수펌프를 이용하여 고수조로 끌어올려진 후에 배관을 통하여 웨어수조로 공급된다. 웨어수조로 공급되는 물이 일정한 수두를 가지도록 하기 위해서 고수조에는 율류벽을 설치하였으며, 급수펌프로 끌어올려진 물이 고수조 내에 유입됨으로 인해서 고수조 내에 심한 수위 변동이 발생하지 않도록 유공벽 및 정류시설을 설치하여 고수조 내 수위를 안정화시켰다. 마찬가지로, 웨어수조에도 다열의 타공판 및 플라스틱 그물로 구성된 정류시설을 설치하여 수조 내 수위 진동을 최소화시켰다.

최초에 제작된 개수로시스템은 종래에 국내에서 통상적으로 사용되는 KS 규격에 준하여 제작되었음에도 불구하고, 개수로 내에 설치된 수문모형 상·하류측에서의 수위 변화가 시간 및 공간적으로 매우 심하여 통계적으로 안정된 계측값을 취득하는 데 어려움이 많았다. 이처럼 수위 변화가 심하게 나타나는 이유는 웨어수조 및 정류수조의 제작 정밀도가 수리모형실험의 목적을 달성하기에는 부족하여 수문모형에 도달하기 전까지 관측수로 내 흐름이 충분히 안정화되지 못하기 때문이었다. 이에 따라 최초 제작된 개수로 시스템을 개량하여 웨어수조 및 정류수조를 새로 제작하였다. <그림 3-3-1-3> 및 <그림 3-3-1-4>에는 최초 제작 및 개량된 후의 웨어수조 및 정류수조의 평면도를 제시하였다. 웨어수조의 길이는 33% 증가시켜 제작함으로써 웨어수조의 담수량을 증가시켜서 웨어수조 내 수위 계측지점에서의 수위 변화 폭을 크게 감소시켰고, 정류수조의 길이는 27% 증가시켜 제작함으로써 관측수로 유입부에서의 흐름을 안정화시켰다. 또한, 새로 제작된 웨어수조 및 정류수조에는 기존 KS규격에 따른 원형구멍 형식의 정류판 대신에 <그림 3-3-1-5>에 보인 것처럼 유공률이 더 큰 사각형 격자 모양의 판을 사용하여 웨어수조 및 정류수조 내에서의 수위 변화가 더욱 작게 유지되도록 하였다.



<그림 3-3-1-3> 최초 제작(좌) 및 개량(우) 웨어수조의 평면도



<그림 3-3-1-4> 최초 제작(좌) 및 개량(우) 정류수조의 평면도



<그림 3-3-1-5> 웨어수조 내 사각격자 모양의 정류판

한편, 관측수로의 최하류 끝에는 관측수로로부터 빠져나가는 유량을 제어하기 위하여 연직 방향으로 움직이는 게이트를 설치하여 수위를 조절하였다. 수위조절장치는 유량이 흐르는 상태에서 0.2~0.3mm의 정밀도로 미세하게 위치를 조정해야만 실험 중 시간이 경과하더라도 수로 내의 평균수위가 실험 정밀도 내에서 유지될 수 있기 때문에 수위조절장치에 감속기어를 부착하여 미세한 조정이 가능하도록 하였다. <그림 3-3-1-6>에 관측수로 후면에 설치된 수위조절장치 및 감속기어의 모습을 제시하였다.



<그림 3-3-1-6> 관측수로 후면 수위조절장치 및 감속기어

고수조로부터 유입되는 유량은 배관 일부분에 설치된 자동제어밸브를 통해 제어되며, 밸브 조작은 터치스크린 방식으로 이루어진다. <그림 3-3-1-7>에 자동제어밸브 및 터치스크린 조작 화면을 제시하였다. 또한, 수리모형실험 소요 시간을 단축시키고 개수로 내 흐름을 모니터링 하면서 유량 조절을 실시간으로 진행할 수 있도록 원격 PC에서 전용프로그램을 통하여 유량을 제어하는 시스템을 구축하였다. 한편, 밸브의 개도값이 낮은 경우에는 배관 내에 있는 공기가 모두 배출되는 데 시간이 많이 소요되므로, 이 시간을 단축시킴으로써 공급 유량을 조기에 안정화시키기 위하여 배관 일부분에 공기 밸브를 설치하였다.



<그림 3-3-1-7> 자동제어밸브 및 터치스크린 조작 화면

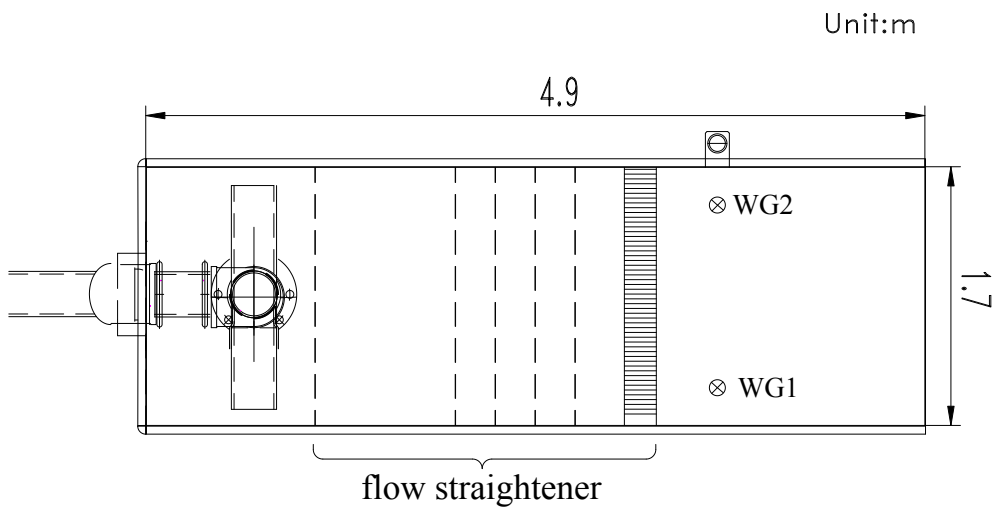
실험유량은 웨어수조의 수위를 측정하여, 다음과 같은 웨어공식으로부터 산정하였다.

$$Q = Kbh^{3/2} \quad (3.3.1.1)$$

여기서, K 는 유량계수, b 는 노치(notch)의 폭, h 는 웨어의 수위를 나타내며, 유량계수 K 의 계산식은 다음과 같이 주어진다 (한국표준협회, 2001)

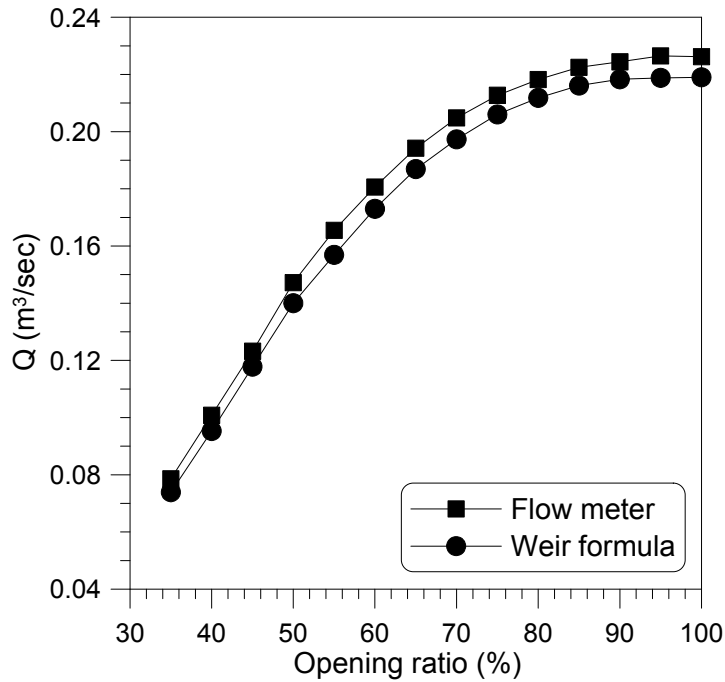
$$K = 107.1 + \frac{0.177}{h} + 14.2 \frac{h}{D} - 25.7 \sqrt{\frac{(B-b)h}{DB}} + 2.04 \sqrt{\frac{B}{D}} \quad (3.3.1.2)$$

여기에서 B 는 수조의 폭, D 는 수조 바닥면에서 노치 하단면까지의 높이를 나타낸다. 본 연구에서는 유량을 정밀하게 평가하기 위하여 <그림 3-3-1-8>에 보인 것처럼 웨어탱크 내 2개소(WG1, WG2)에서 측정한 수위 평균값을 웨어공식에 적용하여 유량을 평가하였다. 통상적으로 웨어의 수위는 웨어수조 측면에 수두관을 설치하고 수위계를 이용하여 측정하지만, 이 연구에서는 실험이 진행되는 동안 웨어수조의 수위를 지속적으로 모니터링하여 유량의 안정화 정도를 판단하고 만약 유량이 급격하게 변화할 경우에 효과적으로 대처하기 위하여 파고계를 이용하였다.



<그림 3-3-1-8> 웨어수조 내 수위 측정을 위해 설치된 파고계 두 개

한편, <그림 3-3-1-9>에 보인 것처럼 웨어공식으로부터 예측된 유량은 유량공급시설에 부착된 전자식유량계의 지시값과의 차이가 다양한 펌프 내 밸브 개도율(opening ratio)에 대하여 3% 이내였다. 이 연구에서는 유량계수 값을 보수적으로 평가하기 위하여 이 두 가지 유량값 중에서 값이 작은 웨어공식으로 평가한 유량값을 사용하였다.



<그림 3-3-1-9> 유량계 및 웨어공식으로 추정된 유량 비교

나. 수위계측 장비 선정

수위 계측 장비로는 파고계, 수압식 수위계, 초음파식 수위계등의 사용을 고려하였으나 초음파식 수위계는 수문구조물 하류측에서와 같이 수면변동이 심한 곳에서는 산란이 심하여 사용이 불가능하기 때문에 제외하고, 파고계 및 수압식 수위계의 사용을 검토하였다. <그림 3-3-1-10>은 파고계를 대차에 고정시켜 설치한 모습을 나타내며, <그림 3-3-1-11>은 수압식 수위계의 모습이다.

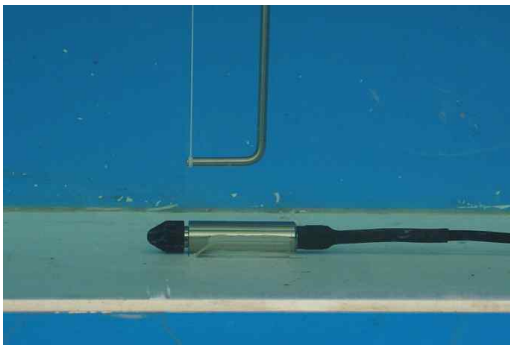


<그림 3-3-1-10> 파고계를 대차에 고정시킨 모습

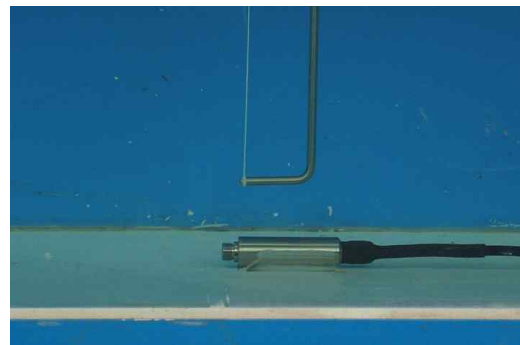
이 두 가지 수위 측정 장비의 성능을 비교하기 위하여 <그림 3-3-1-12>와 같이 개수로 내 동일한 위치에 파고계와 수압식수위계를 설치하고 실험유량 조건에 대하여 수위 측정 결과를 서로 비교하였다. 수압식 수위계는 <그림 3-3-1-12>에 보인 것처럼 압력센서가 내장되어 있는 본체의 덮개를 유지한 상태와 제거한 상태에 대하여 각각 실험을 수행하였다.



<그림 3-3-1-11> 수압식 수위계



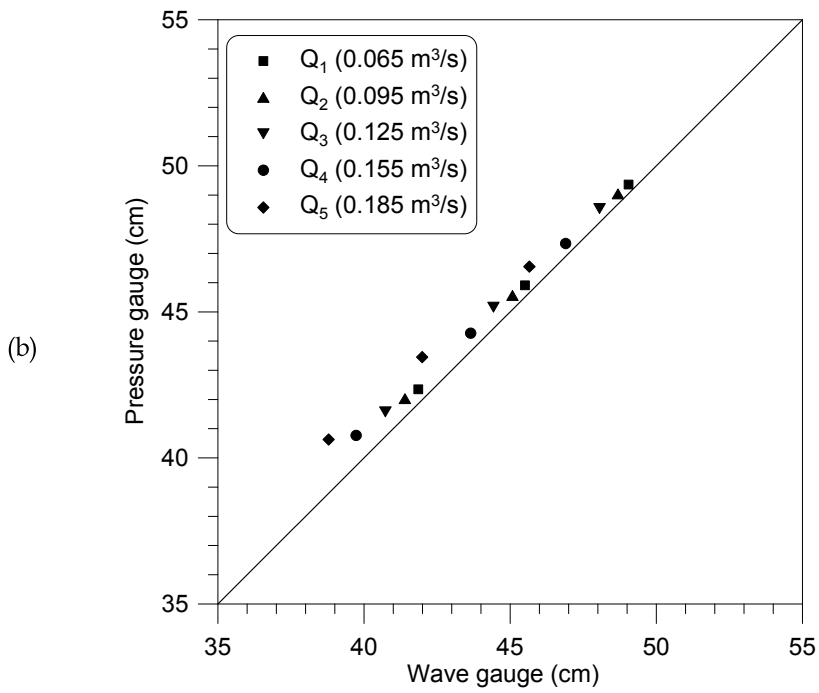
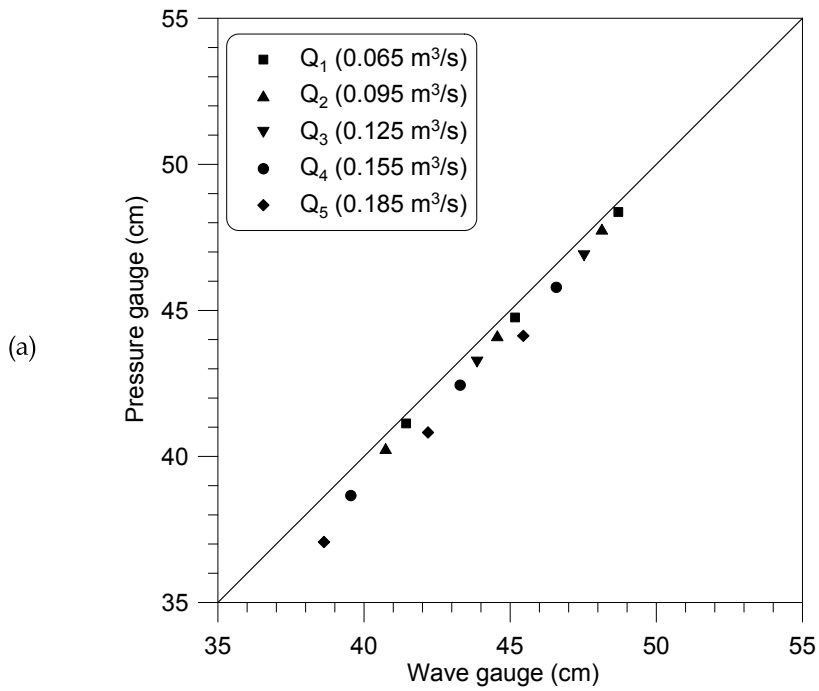
(a)



(b)

<그림 3-3-1-12> 파고계 및 수압식 수위계를 같은 위치에 설치한 모습:

(a) 수압식 수위계 덮개 유지 (b) 수압식 수위계 덮개 제거



<그림 3-3-1-13> 파고계 및 수압식 수위계의 계측 결과
 (a) 수압식 수위계 덮개 유지 (b) 수압식 수위계 덮개 제거

<그림 3-3-1-13>은 개수로 내에 W60H04L14M00 수문 모형이 설치된 경우에 수면 변동이 심한 수문구조물로부터 하류측으로 2m 떨어진 위치에서 각각 파고계 및 수압식 수위계로 10분 동안의 평균수위를 측정한 결과이다. <그림 3-3-1-13>에서 알 수 있듯이 수압식 수위계의 덮개를 유지한 경우에는 수압식수위계로 측정한 수위가 파고계의 수위보다 낮았으며, 수압식 수위계의 덮개를 제거한 경우에는 그 반대 경향이 나타났다. 이것은 수압식수위계의 경우 덮개를 제거하게 되면 압력센서가 개수로 내 흐름 유속에 직접 반응하여 덮개를 유지하였을 경우에 비해서 수위를 더 크게 평가하기 때문에 나타나는 결과로 해석할 수 있다. 이러한 경향은 유량이 크고 수위가 낮을 때, 즉 유속이 클 때 더욱 두드러지게 나타나며, 따라서 파고계와 수압식수위계의 차이가 더 크게 발생하게 된다.

이러한 점 이외에도 실시간으로 측정 시그널을 모니터링했을 경우에 파고계는 수면의 단주기적인 변화양상에 민감하게 반응하는 반면 수압식 수위계는 비교적 그러한 영향이 평활화되어 완만한 시그널을 출력하는 것이 관찰되었다. 따라서 본 연구에서와 같이 수면의 변동양상을 정밀하게 측정해야 할 필요성이 큰 실험 조건에서는 수압식 수위계보다는 파고계를 이용하여 수위를 측정하는 것이 더 바람직하다는 결론을 얻었다.

2. 수문구조물 모형제작 및 설치

가. 수문구조물 모형 제작

수문구조물 모형은 부록 A에 제시한 바와 같이 총 17개의 서로 다른 모형을 아크릴로 제작하였다. 또한 수심이 깊은 곳에 수문구조물이 설치될 경우에는 수문이 설치될 위치에 사석 마운드를 시공하고, 수문을 마운드 위에 설치하게 되므로 이러한 현장의 조건을 고려하기 위하여 PVC 재질로 마운드를 제작하였다. 부록 A에 보인 것처럼 12개의 수문 구조물 모형에 대해서는 마운드를 설치한 실험을 수행하였고, 나머지 다섯 개의 모형은 마운드를 설치한 실험을 수행하지 않았다. 기존에 시화 및 가로림 조력발전소 등에서 검토된 수문 1개에 해당하는 케이슨의 폭이 대략 20 m 정도인 점을 고려하면(한국해양연구원, 1993; 한국수자원공사, 2002), 제작된 수문구조물 모형의 폭이 50cm이므로 수문 모형은 실제 현장에 설치되는 수문 크기의 대략 1/40정도라고 할 수 있다. <그림 3-3-2-1>에는 제작된 수문구조물 모형 중에서 한 개를 개수로에 설치한 모습을 예로써 제시하였다.



<그림 3-3-2-1> 수문모형을 개수로에 설치한 모습

나. 수문구조물 설치 위치 및 수위 계측 위치 결정

개수로 흐름에서는 수로 바닥 및 양측면에서의 마찰로 인해 수로 내에 구조물이 설치되지 않은 경우에도 동수경사가 존재하여 수문 상·하류측 사이에 수위차가 발생하게 된다. 더구나 본 연구에서와 같이 개수로 중간에 수문 구조물이 설치되어 있는 경우에는 특히 수문 구조물 하류측에서 수위 변동이 매우 심하기 때문에 수위 계측 위치를 적절하게 결정하는 것은 매우 중요하다. 수위 계측 위치는 구조물의 설치 위치에 따라서 상대적으로 결정되기 때문에 수리모형실험에서는 수문구조물의 설치위치 및 수위 계측점의 위치를 종합적으로 고려해서 결정해야만 한다. 이러한 어려움 때문에 수문구조물의 설치 위치 및 수위 계측점의 위치 결정 방법에 관해서는 지금까지 국내·외 관련 연구에서는 충분하게 언급되지 못했던 것으로 보인다. 이 연구에서는 수문 구조물을 설치한 경우 아래 제시된 바와 같이 관측수로 내 수두 변화를 세밀하게 고찰하여 수문구조물 설치 위치 및 수위 계측 위치를 결정하였다.

수문구조물 전·후면(상·하류측)에서 유량(Q) 및 수두차(ΔH) 사이의 관계는 다음 식으로 표현될 수 있다 (Baker, 1991)

$$Q = C_d A_t \sqrt{2g\Delta H} \quad (3.3.2.1)$$

여기에서, C_d 는 유량계수(coefficient of discharge), A_t 는 최소단면의 단면적, g 는 중력가속도를 나타내며, ΔH 는 수문 전면(상류측)에서의 전수두(H_{UP})에서 후면(하류측)에서의 전수두(H_{DN})을 뺀 값으로서 다음과 같이 정의된다.

$$\Delta H = H_{UP} - H_{DN} = \left(h_{UP} + \frac{V_{UP}^2}{2g} \right) - \left(h_{DN} + \frac{V_{DN}^2}{2g} \right) \quad (3.3.2.2)$$

식 (3.3.2.2)에서 V_{UP} 및 V_{DN} 은 각각 수문 전·후면에서의 평균유속으로서 유량을 계측위치에서의 통수단면적으로 나눈 값이다.

한편, 식(3.3.2.1)을 유량계수에 대하여 나타내면 다음과 같이 표현된다.

$$C_d = \frac{Q}{A_t \sqrt{2g\Delta H}} \quad (3.3.2.3)$$

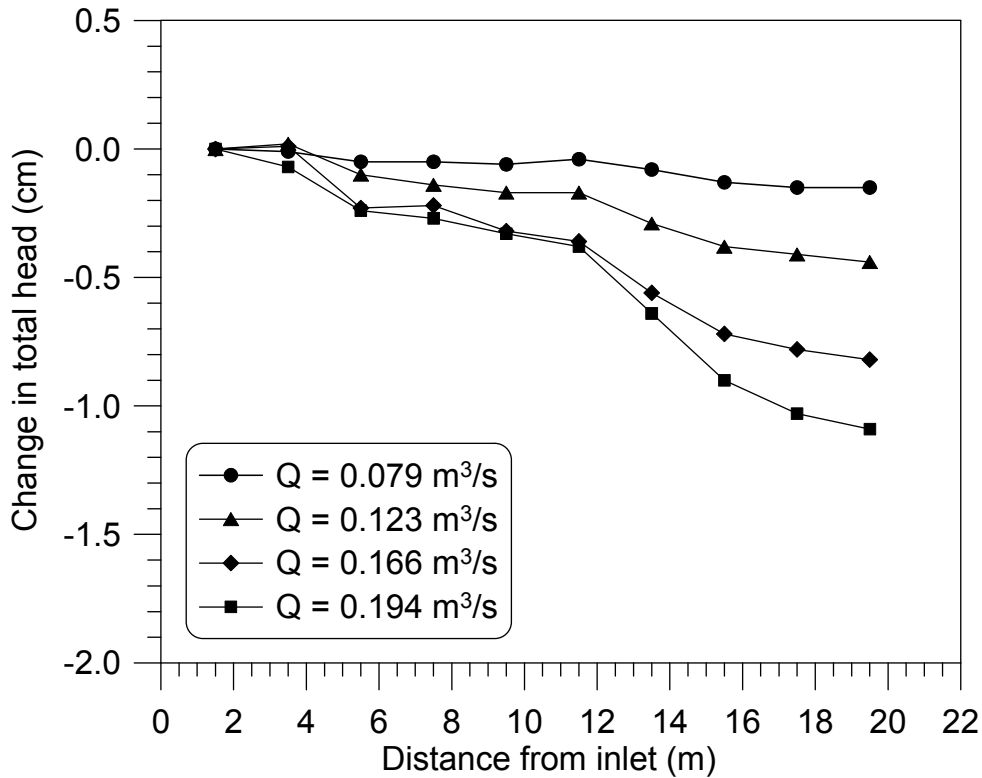
유량계수(C_d)는 수문의 통수단면 단위 면적당의 통수성능을 나타내는 지표로서 자주 사용되며, 통수단면의 크기가 동일한 경우 유량계수의 값이 클수록 수문의 통수성능이 우수함을 의미한다.

한편, 개수로 흐름에서는 수로 바닥면 및 양측면에서의 마찰 때문에 발생하는 수두 손실로 인하여, 수문이 없는 경우에도 수로의 상류와 하류측 사이에 수위차가 발생한다. 이처럼 수로 내의 마찰에 의한 수두 손실의 대부분은 실제의 조력발전소 내·외측의 수위차를 평가할 경우에는 무시될 수 있는 것으로, 본질적으로 3차원적인 수문 주변의 수리현상을 2차원 단면 모형실험으로 모의함에 따라서 발생하는 추가적인 수두 손실로 간주할 수 있다. 따라서 2차원 개수로 실험에서 수문 상·하류측에서의 수두차를 평가할 때에는 수로 내 수두 손실을 고려하여 수두차를 평가할 필요가 있다. 따라서 식(3.3.2.2)는 수로 내 마찰에 의한 수두 손실 효과를 포함하여 다음과 같이 표현된다.

$$\Delta H = \left(h_{UP} + \frac{V_{UP}^2}{2g} \right) - \left(h_{DN} + \frac{V_{DN}^2}{2g} \right) + h_f \quad (3.3.2.4)$$

여기에서 h_f 는 개수로의 마찰 손실 수두를 나타낸다.

본 수리모형실험에서는 마찰 손실 수두의 크기를 평가하기 위하여 수문이 설치되지 않은 상태에서 관측수로 최상류로부터 0.5~19.5m 사이에서 2 m 간격의 위치에서 평균수위를 측정하고 평균유속에 의한 수두를 더하여 각 측정점에서 전수두를 계산하였다. 이 때 수심은 수문 모형이 설치될 경우에 수문 상·하류측에서의 평균적인 수심을 고려하여 50 cm로 하였고, 유량은 실험 유량의 범위 내에서 네 가지 경우에 대하여 계측을 수행하였다. <그림 3-3-2-2>에는 그 계측 결과를 나타내었으며, 이로부터 수로 하류의 유출부 근처에서의 전수두가 상류 유입부 근처의 전수두에 비해서 유량에 따라서 0.15~1.06 cm 정도 감소함을 알 수 있다. 전수두에는 이미 속도수두가 포함되어 있으므로, 이 수두차는 주로 수로 바닥면 및 양측면에서의 마찰에 의해서 발생한 수로 손실수두로 볼 수 있다. <그림 3-3-2-2>에서 전수두는 관측수로 최상류측으로부터 약 11.5 m 정도까지는 비교적 완만하게 감소하다가 그 이후로부터 급격하게 감소하며 감소폭은 유량이 증가할수록 증가하는데, 이것은 개수로 흐름에서는 어느 정도 거리까지는 마찰에 의한 감속 효과와 중력에 의한 가속효과가 균형을 이루어서 수면경사가 거의 직선형으로 유지되며 그에 따라 임의 위치에서의 수위도 비교적 안정한 상태를 유지하지만, 관측수로 하류쪽에 가까워질수록 최하류측에서 유량이 자유낙하하면서 흐름이 가속화되는 효과가 커지게 되어 유속이 빨라지고 그에 따라서 수위가 급격하게 감소하게 되기 때문에 나타나는 현상이다 (Street et al., 1996).

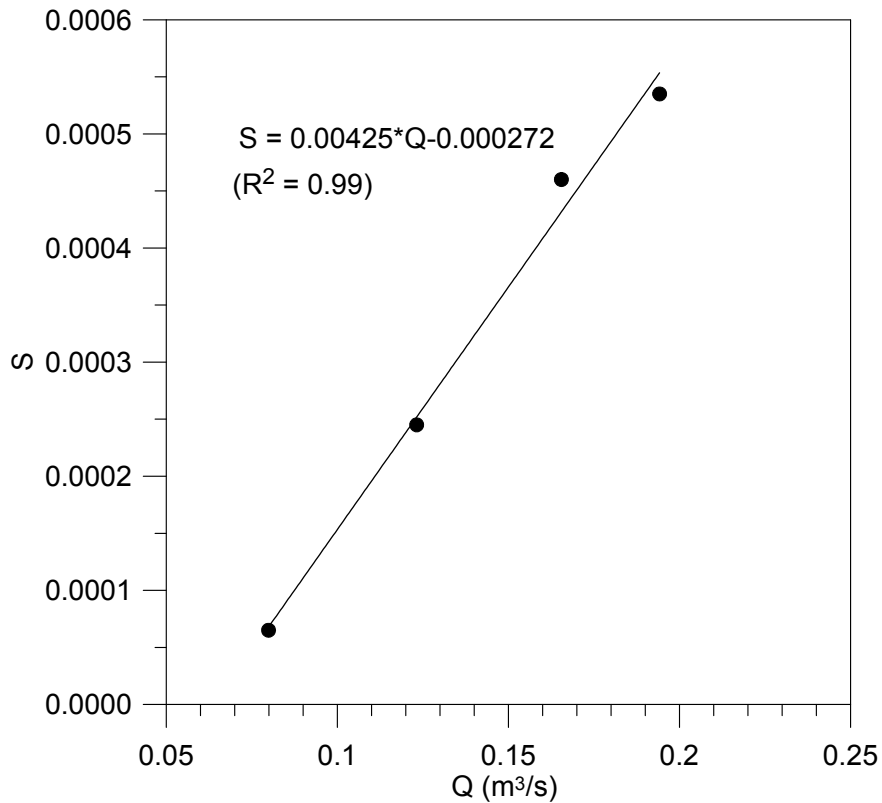


<그림 3-3-2-2> 수문구조물 미설치 시 개수로 내 전수두 변화량

이러한 개수로 흐름의 특성을 고려하여 본 연구에서는 수문의 설치위치를 관측수로 유입부로부터 10.4 m 위치로 결정하였다. 즉, 관측수로 내 수위가 비교적 안정화된 구간 내에 위치하면서 수문 상류측의 수위가 장·단기적 파동형상으로 변화하는 영향을 최소화할 수 있도록 수문 최상류측으로부터 가능한 먼 위치에 수문을 설치하였으며, 이는 결과적으로 관측수로 전체 길이의 대략 중간에 해당하는 위치가 되었다.

한편, 식 (3.3.2.4)에 제시된 마찰손실수두(h_f) 값을 평가하기 위하여 <그림 3-3-2-2>에 보인 전수두 차를 흐름이 진행한 거리로 나눈 값인 수로손실수두 경사(S)를 유량(Q)의 함수로 나타내어 <그림 3-3-2-3>에 제시하였다. 이 때 S 를 계산하는데는 계측점 전체 자료를 사용할 경우 실제보다 마찰에 의한 수로손실수두를 크게 평가함으로써 수문의 통수성능을 과대평가할 가능성이 있기 때문에 관측수로 최상류측으로부터 거리가 13.5 m인 위치까지의 계측값들만을 이용하였다. <그림 3-3-2-3>에서 알 수 있듯이 수로 손실수두 경사는 유량이 커짐에 따라서 거의 선형적으로 증가하였다. 따라서 다음과 같은 선형 회귀식을 통하여 수로 손실수두 경사를 유량의 함수로 표현할 수 있다.

$$S = 0.00425Q - 0.000272 \quad (3.3.2.5)$$



<그림 3-3-2-3> 유량에 따른 개수로 내 마찰에 의한 전수두경사

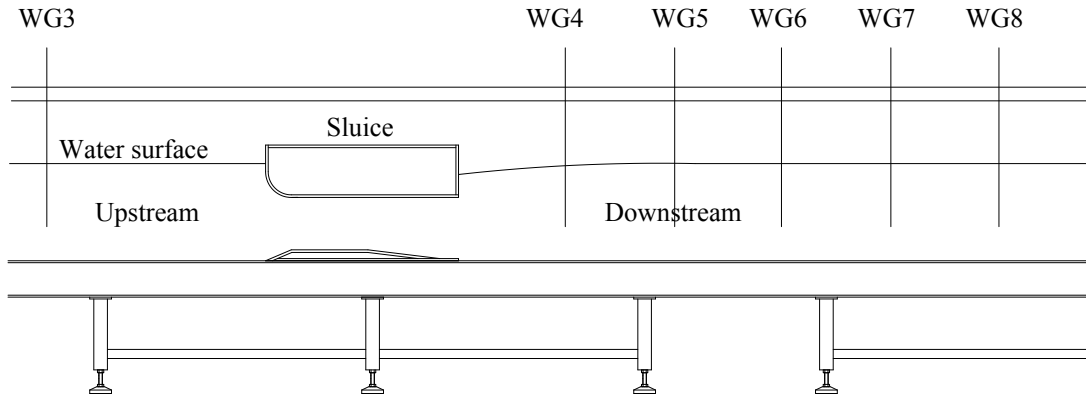
식(3.3.2.5)의 결정계수(coefficient of determination) 값은 $R^2 = 0.99$ 이다. 식 (3.3.2.5)를 이용하여 수로 내 마찰에 의한 손실 수두는 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$h_f = S \cdot (\Delta D - L) \quad (3.3.2.6)$$

여기에서 ΔD 는 수문 상·하류로 이격된 두 계측점 사이의 거리이며, L 은 수문 케이슨의 길이를 나타낸다.

한편, <그림 3-3-2-4>에 보인 것처럼 수문 구조물 상류측에서는 모형으로부터 2m 떨어진 위치에서 수위를 계측하였고, 하류측에서는 모형으로부터 1~5 m 거리에서 1m 간격으로 파고계 다섯 개를 설치하여 각 지점에서의 수위를 계측하였다. 파고계는 관측수로 상부에 설치된 레일을 따라 움직이는 대차에 고정시켜 계측을 수행하였다. 수문구조물 하류측에서 파고계 5개를 사용한 이유는 관측수로 최하류의 게이트를 통과한 유량이 자유낙하하므로 게이트 부근에서 유속이 점차 빨라지기 때문에 나타나는 수위 저하 효과로 인해서, 수문구조물 하류측에서의 수위가 하류측으로 가면서 상승하다가 다시 완만하게 하강하는 양상을 나타내기 때문이다. 따라서, 본 수리모형실험에서는 수문 구조물 하류측에서는 <그림 3-3-2-4>에 보인

것처럼 모두 다섯 지점(WG4~WG8)에서 수위를 측정하여, 그 중에서 최고 수위값을 후면수위로 선정하였다. 그러므로 식(3.3.2.6)에서 ΔD 는 수문구조물 하류측의 WG4~WG8 중에서 수위가 최고인 지점으로부터 수문구조물 상류측의 WG3 지점 사이의 거리가 된다.



<그림 3-3-2-4> 수문구조물 상·하류측에 배치된 파고계 여섯 개

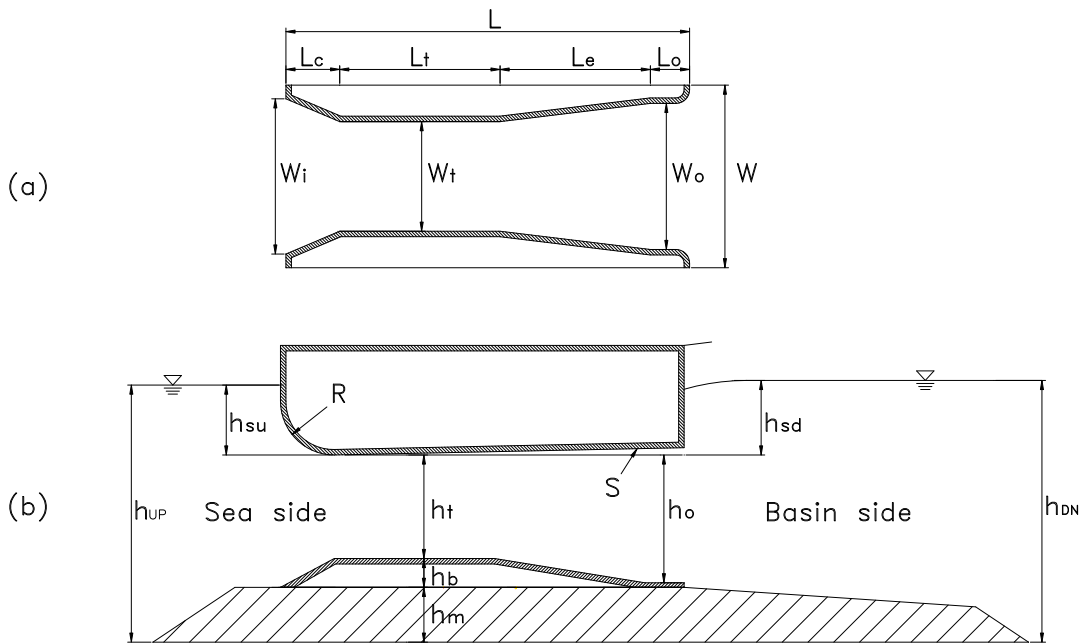
수위 측정은 2분간 25Hz의 시간 간격으로 수행하여 그 평균값을 구하고, 이러한 과정을 5회 연속적으로 반복하여 5회 측정 평균값의 평균값을 최종적인 수위로 결정함으로써 급수펌프에 의해서 공급되는 유량의 시간에 따른 편차의 영향을 가능한 한 감소시켰다. 만약 급수펌프에 의해서 공급되는 유량이 급격하게 변하는 등의 이유로 개수로 내 수위가 안정된 상태를 유지하지 못하는 경우에는 위의 방법처럼 2분간 5회 측정하는 동안에 수위의 측정 평균값이 점차적으로 상승 또는 하강하는 경향을 나타내게 되므로 이러한 경우는 그 때까지 측정된 데이터는 무시하고, 추가로 더 오랜 시간을 대기하여 마찬가지로 2분간 5회 측정을 재차 수행하여 수위 측정 평균값이 일관되게 나타나는 경우에만 최종적인 데이터를 수집하였다. 따라서 최종적으로 취득되는 데이터는 실험 조건에 적합한 것임을 확증하게 되었다.

제4절 수치 및 수리모형실험 수행 및 결과

1. 설계변수 도출 및 실험 단면 결정

가. 수문구조물의 설계변수

조력발전용 수문의 형상에 따른 수리학적 특성을 파악하기 위해서는 우선적으로 수문 형상을 구성하는 각종 설계변수들을 일목요연하게 정리하여 그 중에서 주요한 파라미터들을 변화시킨 모형들을 제작하여 수리모형실험을 수행하는 것이 바람직하다. 그런데, 수문이 3차원적인 구조물이므로 수문 형상에 관련된 설계변수는 매우 많으며, 이 중에서 국부적인 세부 형상에 관련된 설계변수는 규격화하기 어려운 경우도 있다. 따라서 이 연구에서는 <그림 3-4-1-1>에 보인 것처럼 수문의 전체적인 형상을 결정짓는 대표적인 설계변수들만을 선별하여 제시하였다.



<그림 3-4-1-1> 수문 형상과 관련된 설계변수: (a)평면도, (b)측면도

<그림 3-4-1-1>에서 W 는 수문 1개에 해당하는 수문 케이슨의 전체 폭, W_i 는 유입부(inlet) 단면의 폭, W_t 는 통수단면 또는 최소단면(throat)의 폭, W_o 는 유출부(outlet) 단면의 폭을 각각 나타낸다. 길이 방향의 파라미터로는 L 은 수문 케이슨의 전체 길이, L_c 는 수축구간(contraction)의 길이, L_t 는 최소단면(throat) 구간의 길이, L_e 는 확장구간(expansion)의 길이,

L_o 는 유출구간(outlet)의 길이를 각각 나타낸다. 한편, 연직방향의 파라미터로는 h_m 은 수문 케이슨이 놓이게 되는 사석 마운드(mound)의 높이, h_b 는 수문 최소단면의 바닥(bottom)의 높이, h_t 는 최소단면(throat)의 높이, h_o 는 유출구간(outlet)의 높이 h_{su} 및 h_{sd} 는 수문 상부구조물 외해측(sea side)과 조지측(basin side)에서의 최소단면 상부의 최저점이 수중에 잠긴(submerged) 깊이를 나타낸다. 따라서 수문 전·후면에서 수면으로부터 수평 해저면까지의 수심은 각각 $h_{UP} = h_m + h_b + h_t + h_{su}$ 및 $h_{DN} = h_m + h_b + h_t + h_{sd}$ 로 나타내어진다. 수문이 설치되는 곳의 수심이 얕은 경우에는 해저를 굴착하여 수문에서의 수심이 주변 지반보다도 낮게 될 수도 있는데 이 경우에는 h_m 의 값은 음수가 된다. 또한, R 은 수문 상부구조물 해측부의 곡률반경을 나타내고, S 는 통수단면이 최소인 구간을 지나 유출구쪽으로 가면서 단면의 상부벽의 경사를 나타낸다.

이상과 같은 방법으로 각 수문 모형의 분류기호를 수문 형상의 폭, 높이, 길이 및 사석 마운드 설치 여부와 관련된 무차원수를 이용하여 지정함으로써, 분류기호만으로 수문 모형의 형상을 직관적으로 이해하는 데 도움이 되었고, 또한 축척과 형상이 달라지는 경우에도 수리 모형실험의 결과를 유추해서 활용하는 것이 가능하게 되었다.

나. 단면 형상 및 수위 선정시의 고려사항

실험 모형의 단면 형상 및 수위 조건은 <그림 3-4-1-1>에 보인 수문의 전체적인 형상을 바탕으로 다음과 같은 사항을 고려하여 결정하였다.

- 통수단면이 최소가 되는 구간에서 연직높이(h_t)을 동일하게 함으로써 수평폭(W_t)이 동일한 경우 유출계수가 크면 통과유량이 큼을 알 수 있게 하였다.
- 외해측 수위는 조위로서 예측 가능하므로 외해측 수위(h_{su})는 각 단면에서 통수단면 상부의 최고높이를 기준으로 동일한 2개의 격차를 가지는 3개의 조건으로 설정하였다.
- 통수단면이 최소가 되는 구간에서 통수단면 수평폭(W_t) 변화의 영향을 파악하기 위하여 수평폭을 3가지로 변화시켰다.
- 통수단면이 최소가 되는 구간에서 통수단면 바닥높이(h_b) 변화의 영향을 파악하기 위하여 바닥높이를 3가지로 변화시켰다.
- 통수단면이 최소가 되는 구간에서 폭이 최소인 구간의 길이(L_t)를 2가지로 변화시켰다.
- 외해 수위가 통과유량에 미치는 영향을 파악하기 위하여 통수 유입구 상부의 곡률반경(R)을 2가지로 변화시켰다.

- 통수단면의 최소인 구간을 지나 유출구쪽으로 가면서 단면의 상부벽의 경사(S)를 수평과 상향의 2가지로 변화시켰다.
- 수문 케이슨의 길이의 영향을 파악하기 위하여 수문케이슨의 전체길이(L)를 2가지로 변화시켰다.

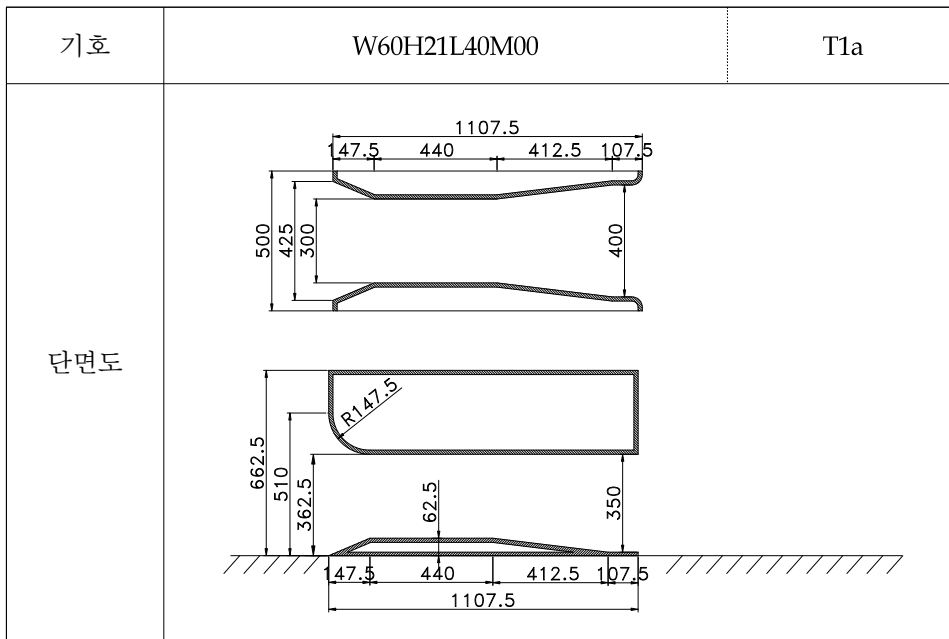
이러한 사항은 연구의 초기 단계부터 고려하였지만, 실험 대상 수문구조물 단면의 형상이 처음부터 결정된 것은 아니었다. 최초에는 단지 몇 개의 기본적인 수문구조물 모형을 제작하고 수치 및 수리모형실험을 수행하여 얻은 결과로부터 어떤 특정한 설계변수에 대하여 종합적으로 통수능이 더 우수한 형태를 찾은 후에, 그 결과를 토대로 그 다음 단계로 다른 설계변수를 변화시킨 모형을 제작하는 방식으로 순차적으로 수문구조물 단면의 형상을 변화시키면서 수치 및 수리모형실험을 수행함으로써 최적 수문구조물 형상을 도출하고자 하였다.

다. 수문 단면의 분류기호

제작된 수문 모형의 형상이 서로 비슷하기 때문에 자료 분석 및 결과 해석에 있어서 혼동을 피하고 이해를 빠르고 쉽게 하기 위해서 각 수문 모형 별로 분류기호를 사용하였다. 수문 모형의 분류기호는 수문의 폭, 길이, 높이에 관련된 형상 및 사석마운드의 설치 여부에 따라 구별이 용이하도록 크게 4가지로 분류하여 다음과 같은 방법으로 결정하였다. 한편, 실험에서 검토된 모든 수문모형의 단면도 및 분류기호는 부록 A에 일괄 정리하여 제시하였다. 부록 A에는 실험실 및 현장 조건의 단면도를 모두 제시하였지만, 이 절에서는 실험실 조건의 수문모형을 기준으로 모형의 분류기호를 설명하였다.

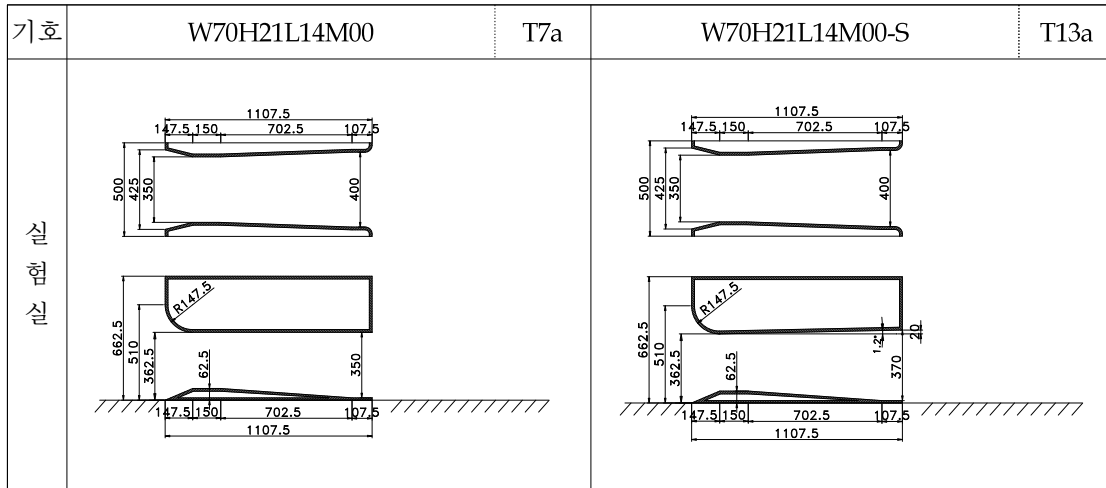
첫 번째로 수문의 폭과 관련해서는 수문구조물 전체 폭(W)에 대한 최소단면 폭(W_t)의 비의 백분율을 분류기호로 하였다. 예를 들어 <그림 3-4-1-2>에 보인 수문구조물 모형은 부록 A에 첫 번째로 제시된 모형으로서 그 분류기호는 W60H21L40M00인데, 여기에서 W60이 수문의 폭 형상과 관련된 분류기호이며, 60은 최소단면의 폭 30 cm를 수문 케이슨의 폭 50 cm로 나눈 백분율을 의미한다. 두 번째로 수문의 높이와 관련해서는 수문 케이슨의 바닥으로부터 최소단면 하단면까지의 높이(h_b)를 최소단면의 높이(h_t)로 나눈 백분율을 분류기호로 사용하였다. 즉, 예로 든 모형의 분류기호에서 H21이 수문의 높이와 관련된 분류기호이며, 21은 수문케이슨 바닥으로부터 최소단면 하단면까지의 높이 6.25 cm를 최소단면의 높이 30 cm로 나눈 백분율을 의미한다. 비슷한 방법으로 수문의 길이와 관련해서는 수문 케이슨의 최소단면 구간의 길이(L_t)를 수문 케이슨 전체 길이(L)로 나눈 백분율을 분류기호로 사용하였다. 즉, 예로 든 모형의 분류기호에서 L40이 수문 최소단면 구간의 길이와 관련된 분류기호이며, 40은 수문 케이슨 최소단면 구간의 길이 440 cm를 수문 케이슨 전체 길이 1107.5 cm로 나눈 백분율을 나타낸다. 마지막으로, 사석마운드의 설치 여부와 관련해서는 마운드의 높이(h_m)를 최소단면의 높이(h_t)로 나눈 백분율을 분류기호로 사용하였다. 즉, 예로 든 모형의 분류기호

W60H21L40M00H21에서 M00이 사석마운드 설치 여부와 관련된 분류기호이며, 이 경우 사석마운드를 설치되지 않았기 때문에 마운드의 높이가 0cm이므로 백분을 값은 00이 된다.

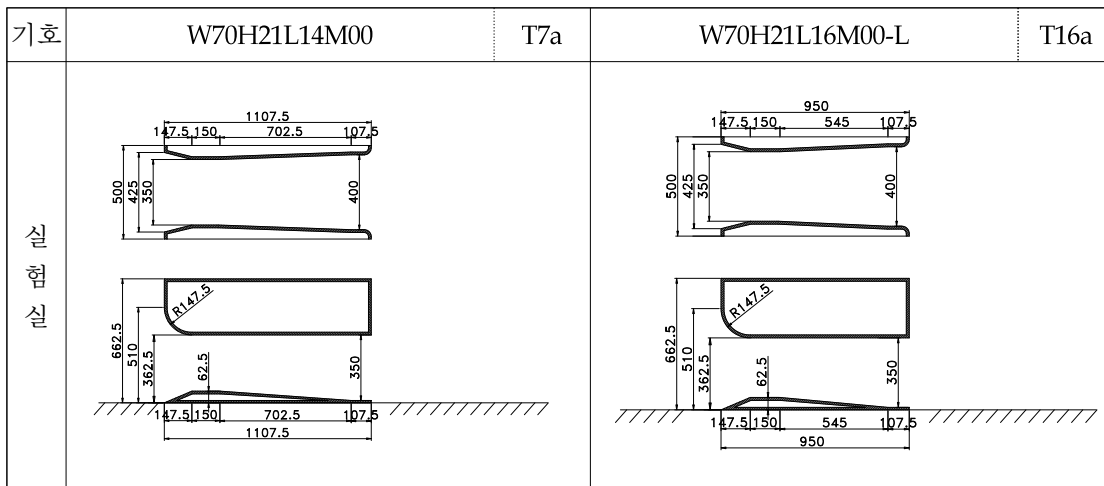


<그림 3-4-1-2> W60H21L40M00 수문구조물 모형의 단면도

한편, 부록 A에서 13~17번째 제시된 수문구조물 모형은 단면 상부벽 경사(S), 통수 유입구 상부의 곡률반경(R), 및 수문 케이슨의 전체 길이(L) 등을 변화시켰는데, 이러한 모형의 분류기호는 해당 설계변수를 변화시키지 않은 모형의 분류기호에 해당 설계변수를 나타내는 기호를 하이픈으로 연결하여 나타내었다. 즉, 부록 A에서 13번째 제시된 모형의 분류기호는 W70H21L14M00-S인데, 이 모형은 부록 A에서 일곱 번째 제시된 모형인 W70H21L14M00과 모든 형상은 동일하며 오직 단면 상부벽 경사가 약 2%정도 상향인 점만이 다르다. 마찬가지로 부록 A에서 14번째 제시된 W70H29L14M00-R 모형은 W70H29L14M00 모형과 통수 유입구 상부의 곡률반경만이 다르다. 또한, 부록 A에서 16번째 제시된 W70H21L14M00-L 모형은 W70H21L14M00과 수문 케이슨 전체 길이가 다르다. 다만 이 경우에는 수문 케이슨의 전체 길이가 짧아짐으로 인해서 수문 케이슨 후면의 경사도 다소 급해지게 되며 수문의 통수단면이 최소인 구간의 길이는 변화시키지 않았으므로 분류기호의 세 번째 항의 백분율이 달라지게 된다. <그림 3-4-1-3>~<그림 3-4-1-4>에 단면 상부벽 경사(S) 및 수문 케이슨의 전체 길이(L)가 달라지는 경우에 대한 예를 제시하였다.



<그림 3-4-1-3> W70H21L14M00 및 W70H21L14M00-S 수문구조물 모형의 단면도



<그림 3-4-1-4> W70H21L14M00 및 W70H21L16M00-L 수문구조물 모형의 단면도

한편, <그림 3-4-1-2>~<그림 3-4-1-4> 및 부록 A에는 위에서 정의한 분류기호외에 추가로 부가적인 분류기호도 사용하였는데, 이것은 앞서 제시한 분류기호가 다소 길기 때문에 분류기호가 서로 약간씩 변화하는 수문구조물 모형간의 통수성능 비교·검토에는 매우 효과적이지만 제작된 전체 모형을 일괄하기에는 다소 복잡할 수 있기 때문에 기호의 길이가 짧은 분류기호를 추가로 제시하여 이해를 돕기 위한 것이다. 예를 들어 <그림 3-4-1-2>에 제시된 W60H21L40M00 모형의 부가적인 분류기호는 T1a인데, 여기서 T는 테스트(test)를 나타내며 아라비아 숫자 1은 부록에 수문구조물 모형의 단면이 제시된 순서이며 알파벳 a는 사석마운드가 설치되지 않은 상태에서 수치 및 수리모형 실험이 수행되었음을 의미한다. 사석마운드가 설치된 경우에는 알파벳 b를 해당 분류기호로 사용하였다. 부록 A에서 네 번째~여섯 번째 제시된 모형의 경우에는 사석마운드의 높이가 서로 다른 두 가지 경우에 대하여 실험이

이루어졌는데, 이 경우에는 사석마운드의 높이가 더 높은 경우에 알파벳 c를 해당 분류기호로 사용하였다.

부록 A에 모형이 제시된 순서는 대체로 모형의 제작 순서에 따른 것이긴 하지만, 반드시 일치하는 것은 아니며, 이해를 쉽게 하기 위하여 가능한 비슷한 형상의 수문구조물들이 순차적으로 제시될 수 있도록 순서를 결정하였고, 특히 단면 상부벽 경사(S), 통수 유입구 상부의 곡률반경(R), 및 수문 케이스의 전체 길이(L) 등 하이픈으로 연결되어 나타내어지는 수문구조물 모형들은 가장 뒤쪽으로 순서를 배치하였다.

라. 수위 조건

수리모형실험은 <표 3-4-1-1>에 보인 것처럼 다섯 가지의 유량 조건에 대하여 외해측 수위 조건을 세 가지로 달리하면서 실험을 수행하였다. 따라서 각 수문 모형에 대하여 총 실험 조건은 15개가 된다.

수리모형실험에서는 고수조 급수량의 시간에 따른 미세한 변화, 웨어수조 수위의 미세한 진동, 관측수로 내에서의 수면 변동, 그리고 하류 게이트 조작에 따른 회류유량의 편차 등으로 인해서 수문 상류측(외해측)의 계측 수위가 실험 조건에 해당하는 목표 수위와 정확하게 일치하도록 할 수 없기 때문에, 최대한 목표 수위에 가깝게 되도록 시행착오를 거치면서 실험을 수행하였다. 대부분의 경우에 목표 수위와 계측 수위의 수위차는 1 mm 이내였으며, 수위차가 다소 크게 발생하는 일부 실험조건의 경우에도 수위차는 최대 2mm 이내였다.

수문 모형이 현장의 1/40 축척으로 제작되었다고 가정하였을 경우에 <표 3-4-1-1>의 유량 조건은 현장의 조건으로 환산하면, 약 650~1850 m³/s의 범위에 해당하며, 이러한 유량 범위는 대부분의 조력발전소 대상 후보지에서 한 개의 수문을 통과하여 유입되는 목표 유입량을 포함하는 것이다. 한 예로 경기도 시화호에 건설중인 시화조력발전소의 수문 1개당 유입량은 1000 m³/s 정도로 알려져 있다.

한편, 수위 조건은 <표 3-4-1-1>에 제시된 바와 같이 저수위(Low Water Level), 중간수위(Medium Water Level), 고수위(High Water Level) 사이의 간격(수위차)을 동일하게 하였으며, 저수위와 고수위 사이의 수위차는 현장 조건으로는 약 3m에 해당하도록 결정하였다. 실제 조력발전소 운영시에 수문구조물을 개방하기 시작하는 저수위 조건은 평균해수면(M.S.L.) 근처이며, 외해측의 평균만조위(H.W.O.M.T)는 우리나라 서해안의 경우 대부분 3m 내외이므로, 본 연구에서의 수위 조건은 조력발전소 운영시의 대부분의 조위 조건을 포함하는 것이다.

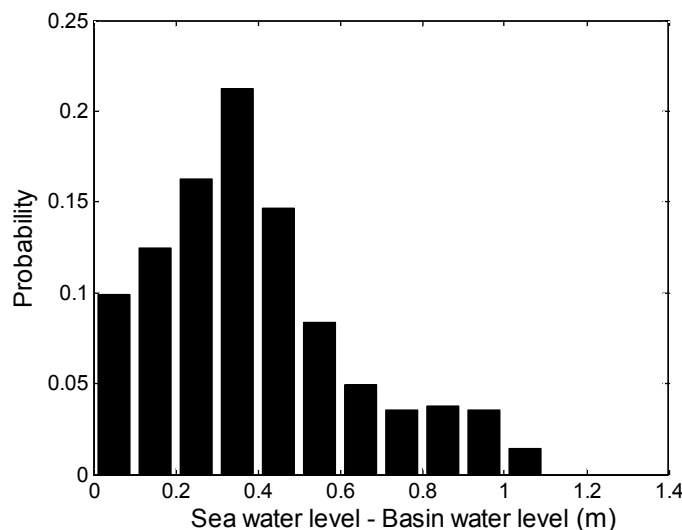
<표 3-4-1-1> 수리모형실험 조건

목표유량(Q)	수문 상류측 수위(h_{su})
0.065 m ³ /s (Q_1)	11.0 cm (Low water level)
	14.8 cm (Medium water level)
	18.5 cm (High water level)
0.095 m ³ /s (Q_2)	11.0 cm (Low water level)
	14.8 cm (Medium water level)
	18.5 cm (High water level)
0.125 m ³ /s (Q_3)	11.0 cm (Low water level)
	14.8 cm (Medium water level)
	18.5 cm (High water level)
0.155 m ³ /s (Q_4)	11.0 cm (Low water level)
	14.8 cm (Medium water level)
	18.5 cm (High water level)
0.185 m ³ /s (Q_5)	11.0 cm (Low water level)
	14.8 cm (Medium water level)
	18.5 cm (High water level)

2. 수치 및 수리모형실험 결과의 비교 및 검토

앞 절에서 설명한 바와 같이 수치모형실험은 현장 측척으로 수행되었으며, 수리모형실험은 실험실 측척으로 수행되었다. 본 절에서는 수치 및 수리모형실험 결과를 서로 비교하기 위하여 수리모형실험의 결과를 현장에 해당하는 값으로 환산하여 제시하였으며, 관련 도면 역시 현장 측척에 해당하는 것으로 제시하였다. 수리모형실험의 실험실 측척의 결과는 부록 B에 자세하게 기술하였다. 또한 수리모형실험의 결과에서 수문 상·하류측의 수두차가 3.5 mm (현장 기준: 0.14 m) 보다 작은 경우에는 그 데이터는 부록 B의 표에는 제시하였지만, 그림에서는 제시하지 않았다. 이것은 각 계측점에서 수면의 변동이 심한 수리 현상을 계측하게 됨에 따라 ± 1 mm 내외의 수위 계측 정밀도로 측정한 두 개의 값의 차이를 구한 결과에 포함된 오차는 최대 ± 2 mm까지 될 수 있는 여건을 고려하여 보수적 결론을 얻기 위함이었다. 이에 따라서 본 절에서의 수치모형실험 결과도 수두차가 0.14 m보다 작은 경우의 데이터는 그래프에 표시하지 않았다.

한편, 수문구조물의 통수성능을 비교·평가할 때에는 수두차 0.5 m 내외의 작은 수두차에서 통과유량이 많은 수문구조물의 성능이 더 우수한 것으로 판단하였다. 그 이유는 수문 운영시 외해측과 조지측의 수두차가 대부분 0.5 m 이내에서 발생하기 때문이다. <그림 3-4-2-1> 및 <표 3-4-2-1>은 가로림 조력발전소 타당성조사사업으로부터 얻은 결과로서 대부분의 수두차가 0.5 m 이내의 범위에 있으며 1 m를 넘는 경우는 극히 적음을 알 수 있다.



<그림 3-4-2-1> 외해측과 조지측의 수두차 확률분포 (가로림 조력발전소 타당성조사사업)

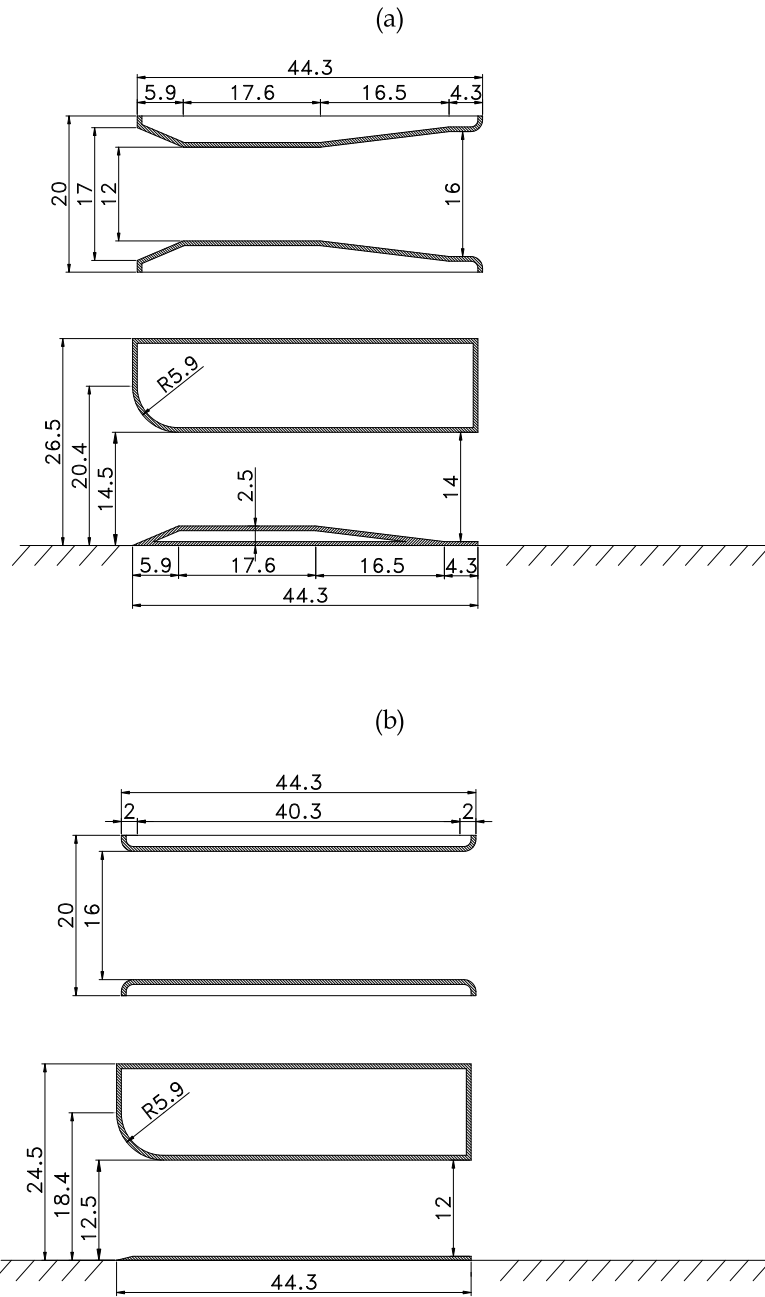
<표 3-4-2-1> 외해측과 조지측의 수두차에 따른 누적확률분포 (가로림 조력발전소 타당성조사사업)

수두차 (m)	누적확률분포
$\Delta H \leq 0.1$	0.09
$\Delta H \leq 0.2$	0.22
$\Delta H \leq 0.3$	0.39
$\Delta H \leq 0.4$	0.60
$\Delta H \leq 0.5$	0.74
$\Delta H \leq 0.6$	0.83
$\Delta H \leq 0.7$	0.88
$\Delta H \leq 0.8$	0.91
$\Delta H \leq 0.9$	0.95
$\Delta H \leq 1.0$	0.99

가. 기존 수문구조물의 대표 단면

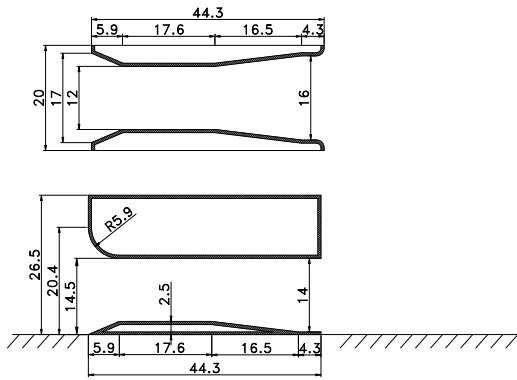
수치 및 수리모형실험을 위해서 가장 처음 제작한 수문구조물 모형은 <그림 3-4-2-2>에 제시된 두 개의 모형이었다. 이 두 가지 모형은 기존의 조력발전소 및 방조제의 배수로 등의 수문구조물 설계시에 자주 검토되었던 전형적인 수문구조물 형상을 토대로 하여 제작되었다. <그림 3-4-2-2(a)>의 모형은 통상적으로 벤츄리(Venturi)형 수문으로 불리며, 게이트 설치 위치에서의 수문구조물의 바닥면을 높이고, 측면을 좁게한 것이 특징이다. 벤츄리형 수문은 수심이 깊은 곳에 설치할 경우에 수문의 통수성능이 우수한 것으로 알려져 왔다. 한편, <그림 3-4-2-2(b)>의 모형은 통상적으로 컬버트(Culvert)형 수문으로 불리며, 수문구조물의 바닥면을 해저 지반의 높이와 같게 유지하며 측면 형상도 직선형으로 매우 단순한 구조 형식이다.

이 두 가지 수문구조물 모형의 분류기호는 각각 W60H21L40M00 및 W80H04L91M00이며 각각의 모형에 대한 수치 및 수리모형실험을 수행한 결과를 <그림 3-4-2-3>에서 비교하였다. 그림에서 ΔH 는 조지 내외의 수두차를, W는 흰색(white) 심볼을, B는 검정색(Black) 심볼을 의미한다.

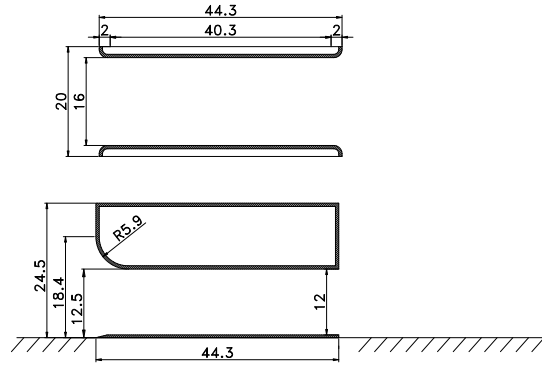


<그림 3-4-2-2> 기존 수문구조물의 대표적 형상: (a) 벤츄리형 수문, (b) 컬버트형 수문

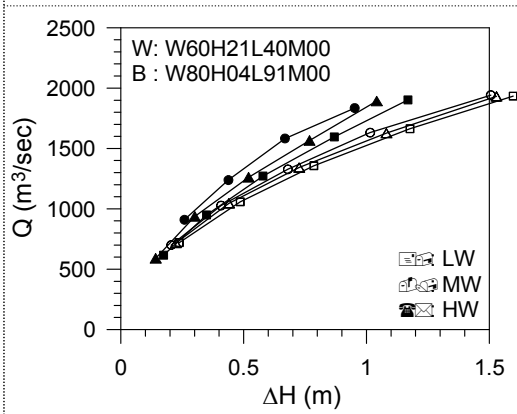
W60H21L40M00 / T1a



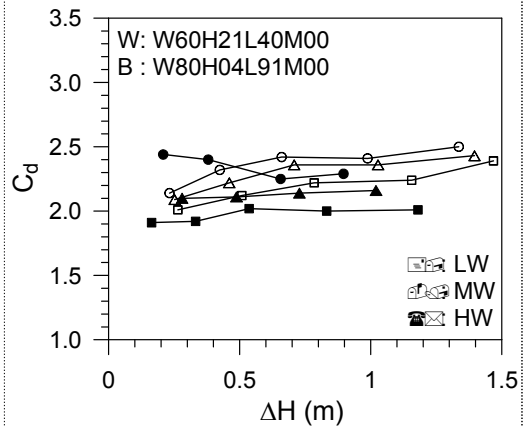
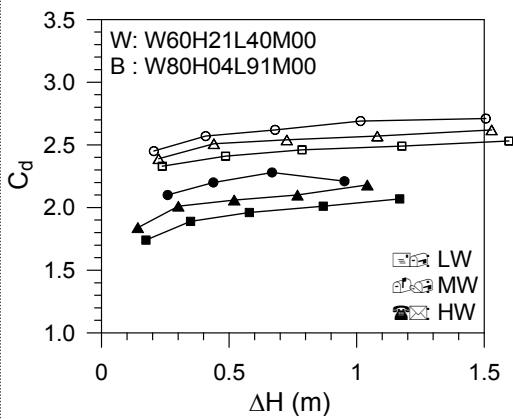
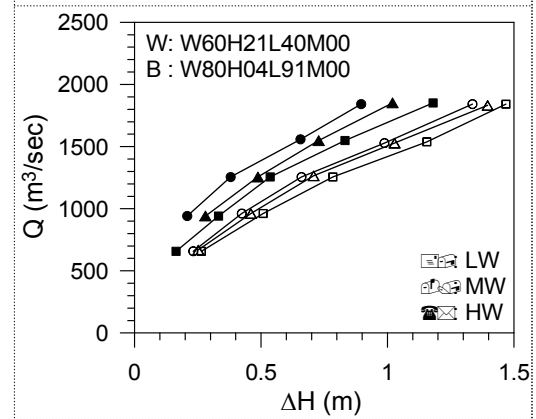
W80H04L91M00 / T6a



수치모형실험 결과



수리모형실험 결과



<그림 3-4-2-3> W60H21L40M00 및 W80H04L91M00 모형의 통수성능 비교

<그림 3-4-2-3>에서 알 수 있듯이 수치 및 수리모형실험 결과는 서로 간에 약간의 차이는 있지만 매우 유사하다. 두 수문 모형의 유량계수(C_d) 값은 W60H21L40M00 모형에서 대체로 크게 나타났지만, 반면에 수문의 통과유량(Q)은 오히려 W80H04L91M00 모형에서 더 크게 나타났다. 이것은 식 (3.3.3.1)에서 알 수 있듯이 통과유량은 유량계수 뿐만 아니라 최소단면의 단면적(A_t)에도 비례하기 때문이다. 즉, W60H21L40M00 모형은 단위면적당의 통수성능은 우수하지만 통수단면적이 작기 때문에 통과유량은 더 작아지게 되는 것이다.

나. 최소단면 폭 변화의 영향

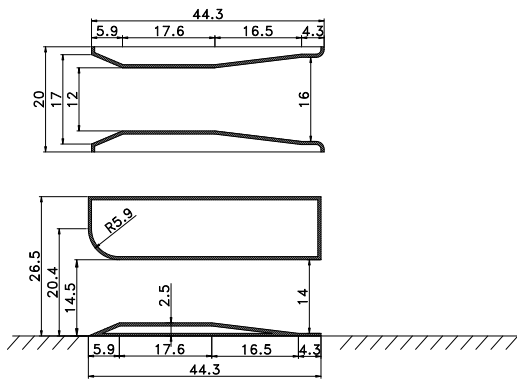
앞에서 검토한 바와 같이 수문구조물의 최소단면 폭이 통수성능에 미치는 영향이 클 것이라고 판단됨에 따라서 이미 제작된 두 가지 모형의 다른 설계변수는 그대로 유지한 채 최소단면의 폭을 조금씩 변화시킨 모형을 네 가지 추가로 제작하였다. 즉, 벤츄리형 수문구조물인 W60H21L40M00 모형에 대해서는 W70H21L40M00 및 W80H21L40M00 모형을 제작하였으며, 컬버트형 수문구조물인 W80H04L91M00 모형에 대해서는 W60H04L40M00 및 W70H04L40M00 모형을 제작하였다.

<그림 3-4-2-4>는 W60H21L40M00 및 W70H21L40M00 모형의 수치 및 수리모형실험 결과를 비교한 것으로서, 두 가지 모형 중에서 최소단면의 폭이 더 넓은 W70H21L40M00 모형의 통과유량 및 유량계수가 모두 더 큼을 알 수 있다. 한편 <그림 3-4-2-5>는 W70H21L40M00 모형과 W80H21L40M00 모형의 실험 결과를 비교한 것으로서, 이 경우에는 유량계수는 두 모형 사이에 큰 차이가 없지만, 통과유량은 W80H21L40M00 모형의 통수단면적이 더 넓기 때문에 더 크게 나타났다. 다만, W60H21L40M00 과 W70H21L40M00 에서보다는 두 모형 사이의 통과유량 차이가 더 적었다. 즉, 최소단면의 폭을 수문구조물의 폭의 60%에서 70%로 증가시킬 때에 비해서 70%에서 80%로 증가시키기에 따른 통과유량 증가율은 감소한다.

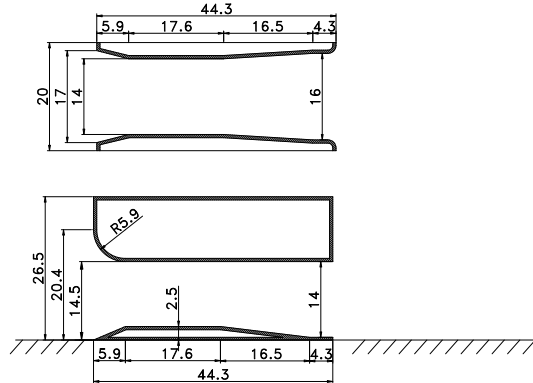
이러한 경향은 컬버트형 수문과 같이 최소단면의 바닥이 해저면과 같은 위치에 있는 경우의 모형에 대해서도 마찬가지로 나타난다. <그림 3-4-2-6>은 W60H04L40M00 및 W70H04L40M00 모형의 실험 결과를 비교한 것으로서, 이 경우에도 최소단면 폭을 증가시키므로써 통과유량이 커짐을 확인할 수 있다. 다만 유량계수는 수리모형실험에서는 최소단면 폭 증가에 따라 증가하였지만, 수치모형실험에서는 이러한 경향이 뚜렷하게 나타나지 않았다. W70H04L40M00 및 W80H04L91M00 모형의 결과를 비교한 <그림 3-4-2-7>에서도 최소단면 폭 증가에 따른 통과유량 증가의 경향이 나타났다.

<그림 3-4-2-4>~<그림 3-4-2-7>의 결과로부터 수문구조물의 최소단면 폭을 증가시키는 것이 통과유량을 증가시키는 데 매우 중요한 설계변수가 됨을 확인하였다.

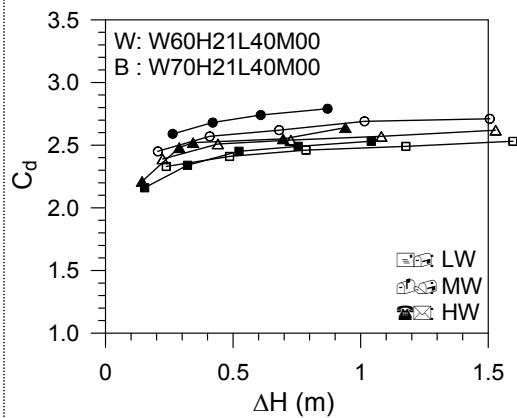
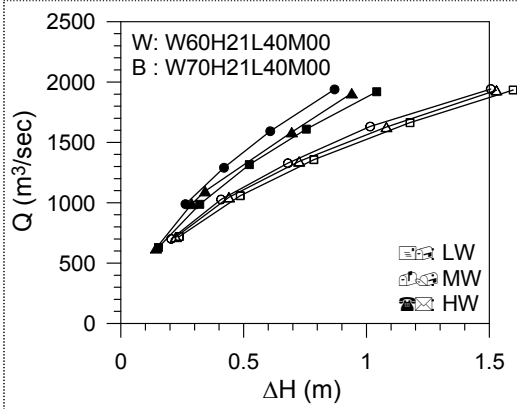
W60H21L40M00 / T1a



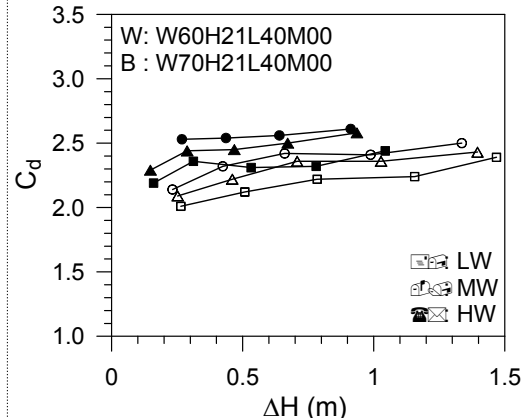
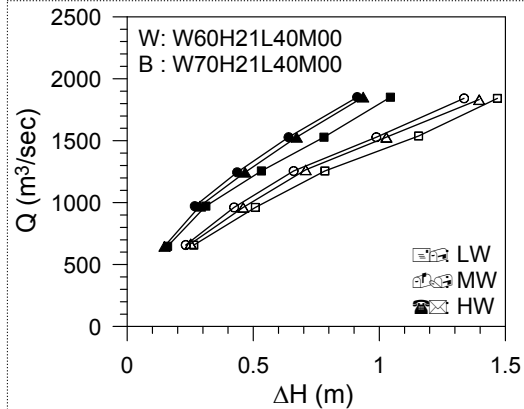
W70H21L40M00 / T2a



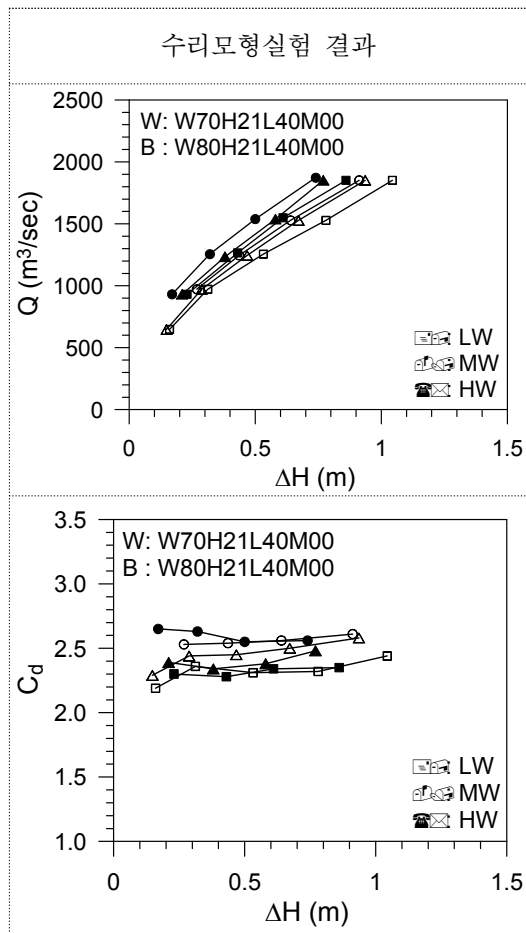
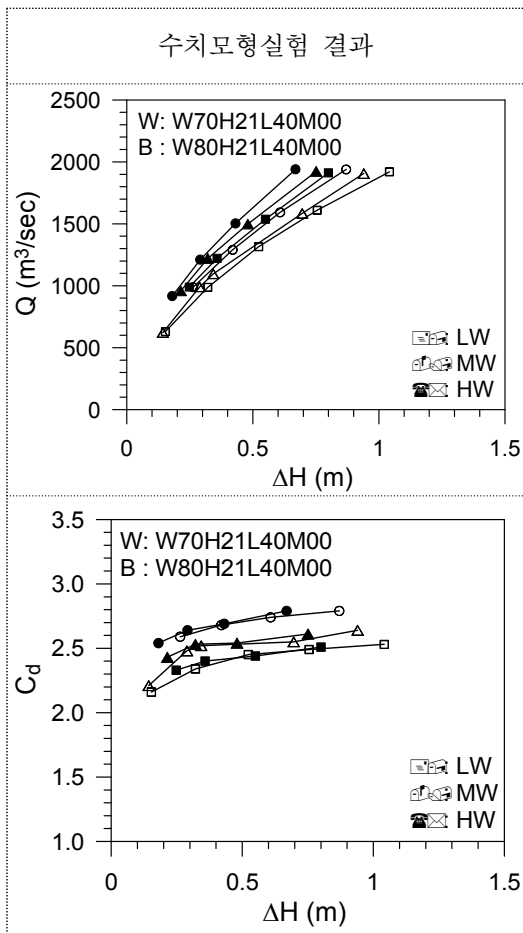
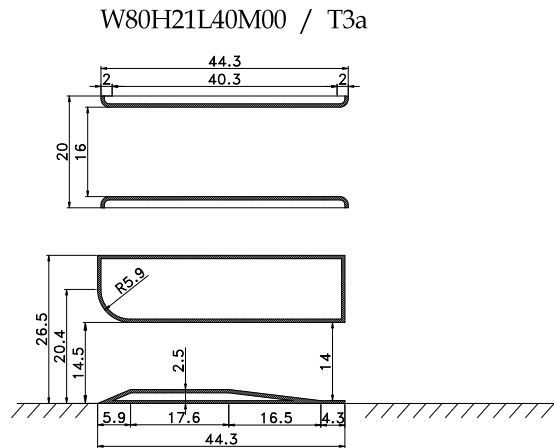
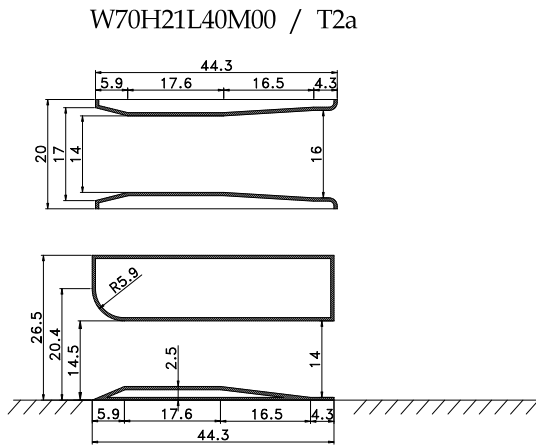
수치모형실험 결과



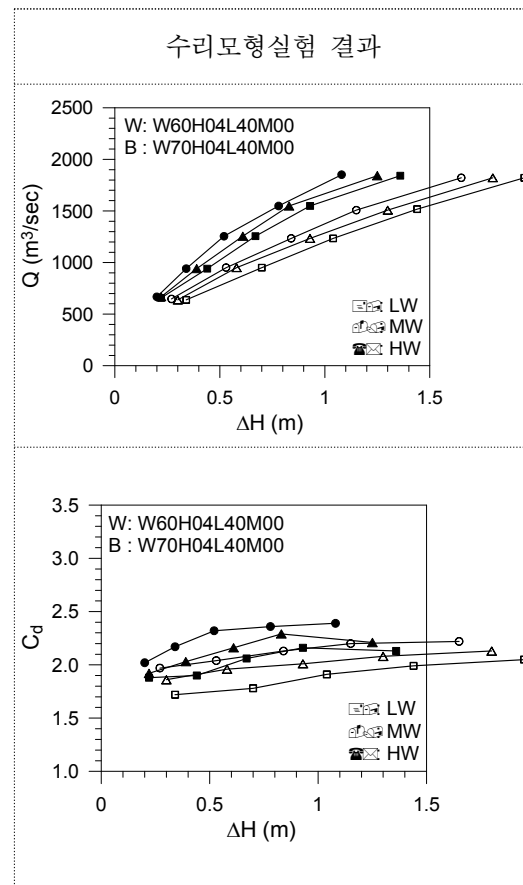
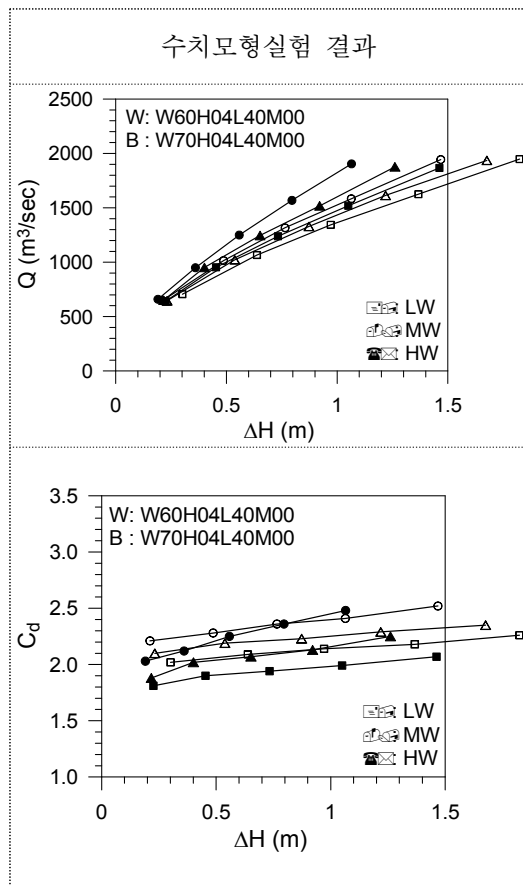
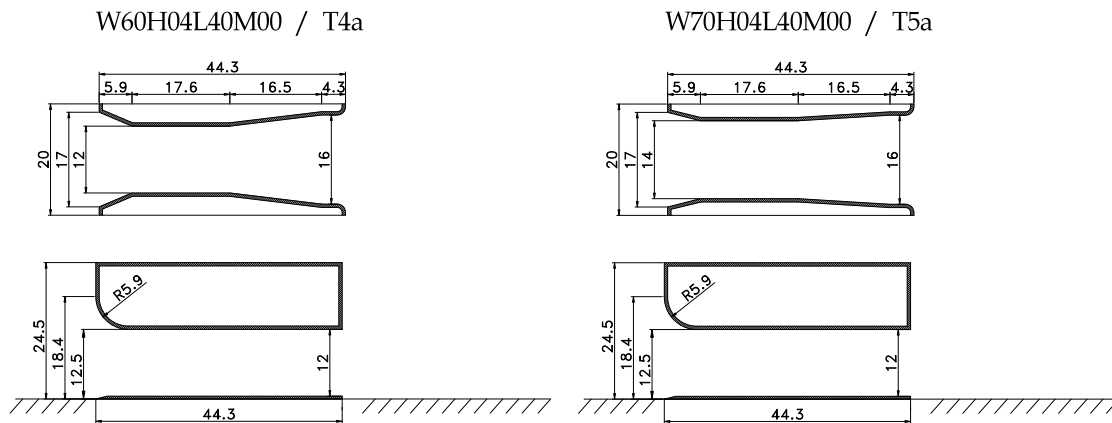
수리모형실험 결과



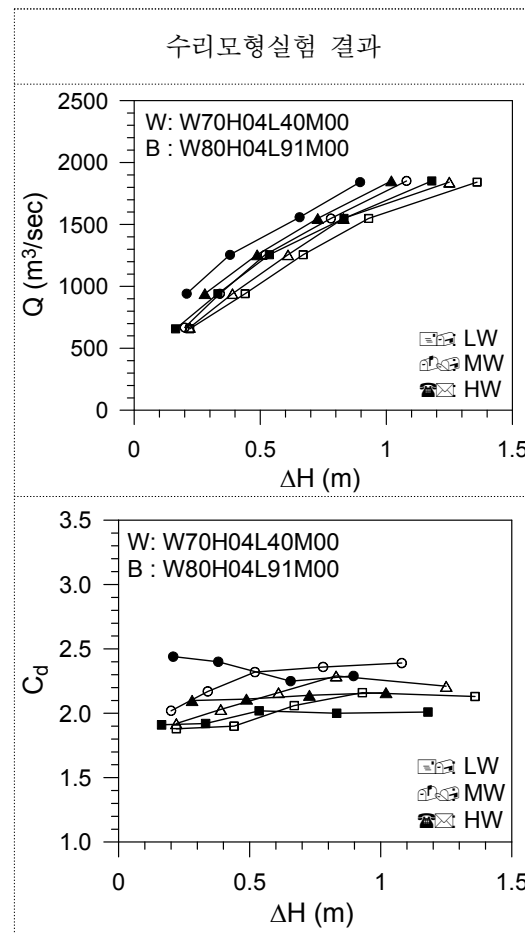
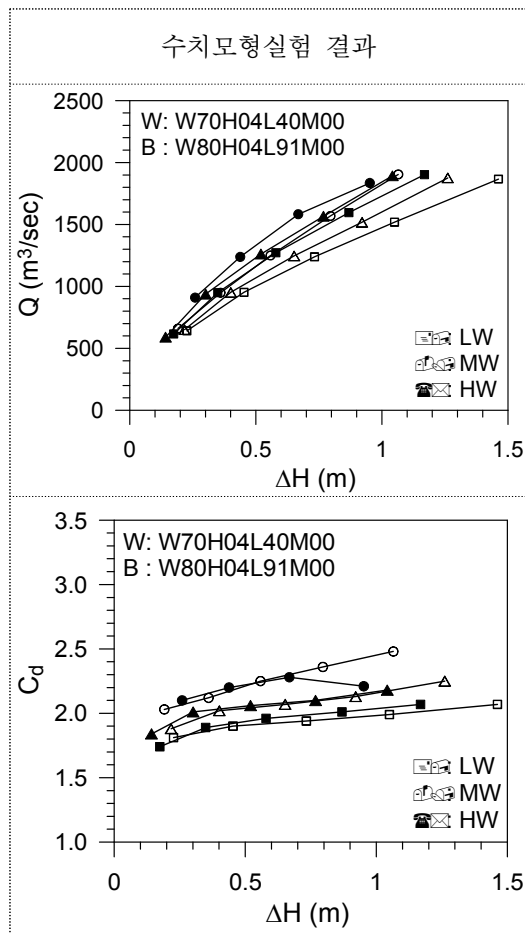
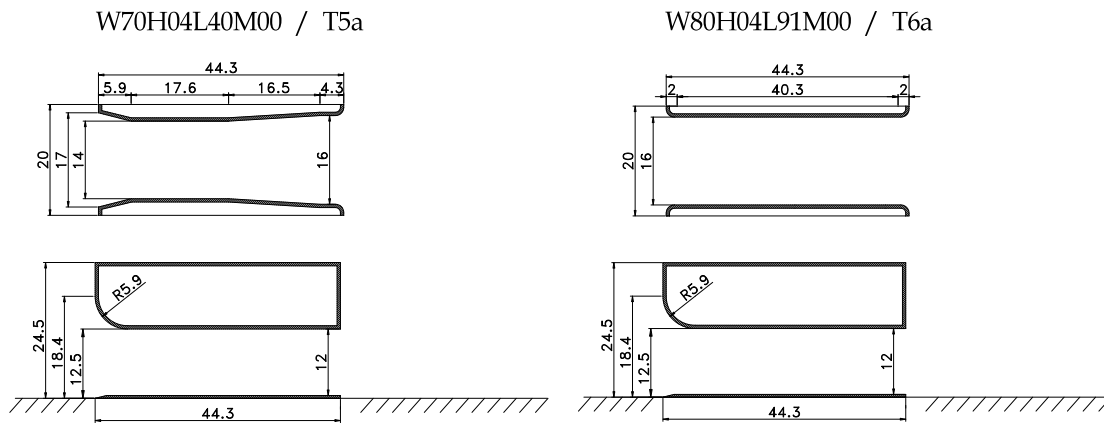
<그림 3-4-2-4> W60H21L40M00 및 W70H21L40M00 모형의 통수성능 비교



<그림 3-4-2-5> W70H21L40M00 및 W80H21L40M00 모형의 통수성능 비교



<그림 3-4-2-6> W60H04L40M00 및 W70H04L40M00 모형의 통수성능 비교



<그림 3-4-2-7> W70H04L40M00 및 W80H04L91M00 모형의 통수성능 비교

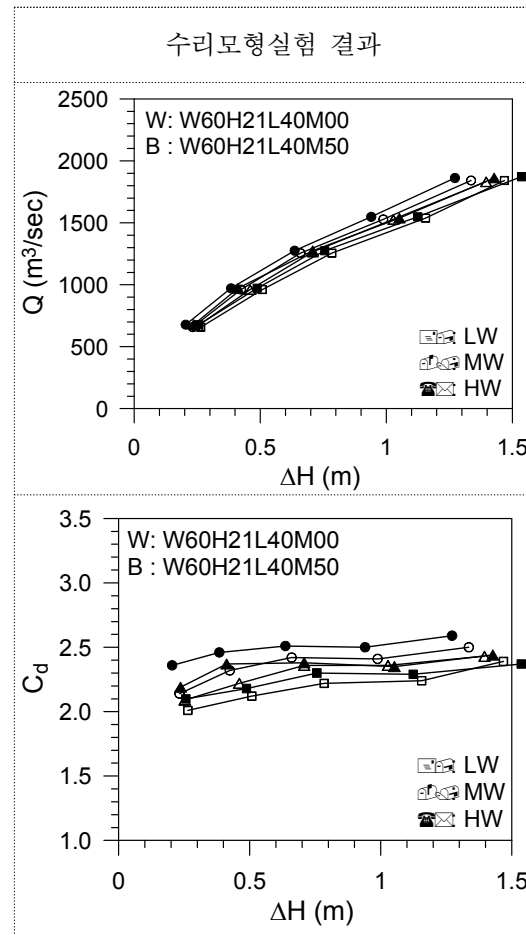
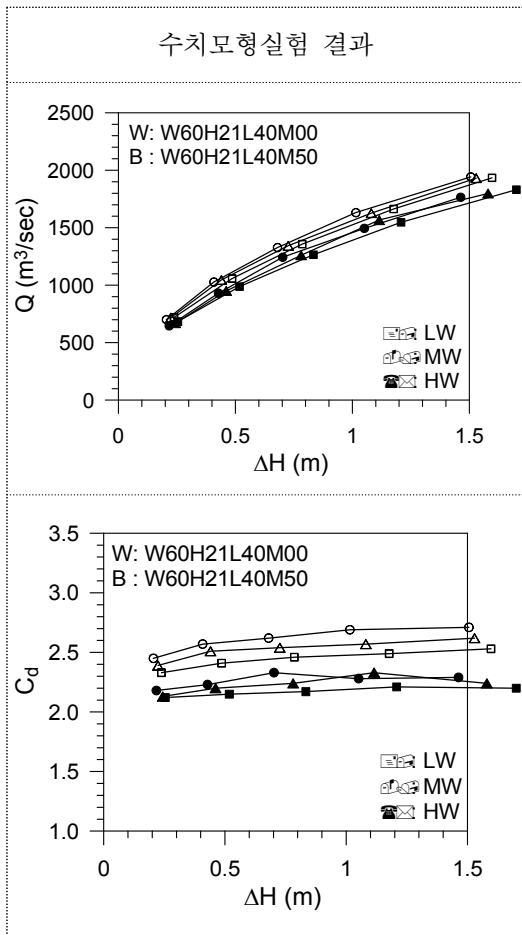
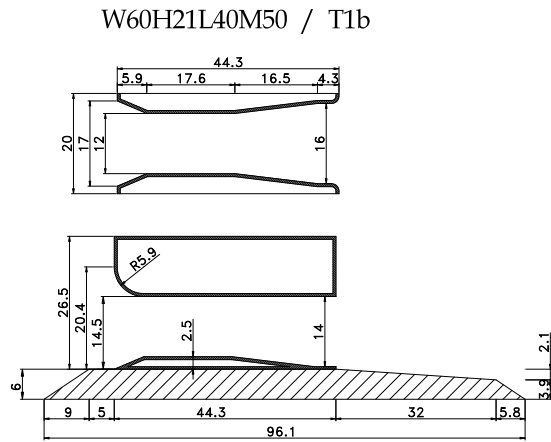
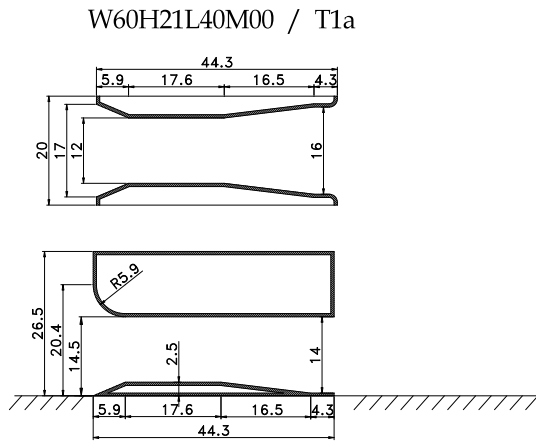
다. 사석마운드 설치에 따른 영향

한편, 수문구조물이 수심이 깊은 곳에 설치되는 경우에는 사석마운드 위에 놓이게 되므로 이에 대한 고려를 할 필요가 있다. 이 연구에서는 <그림 3-4-2-8>에 보인 것처럼 PVC 재질로 사석마운드 모형을 제작하였다.

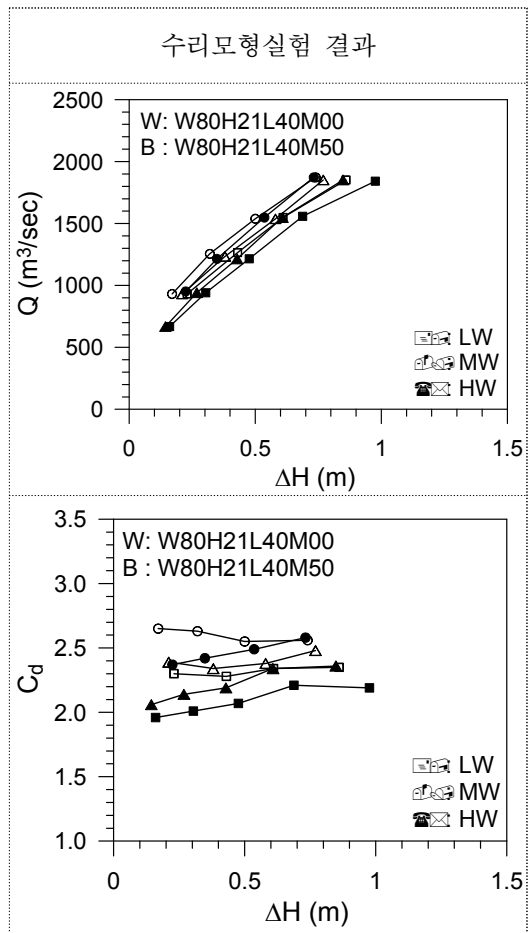
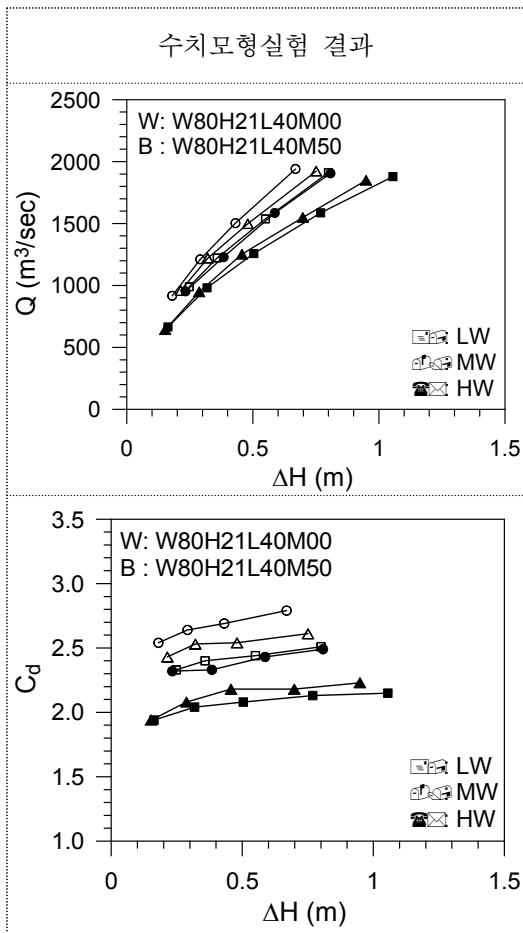
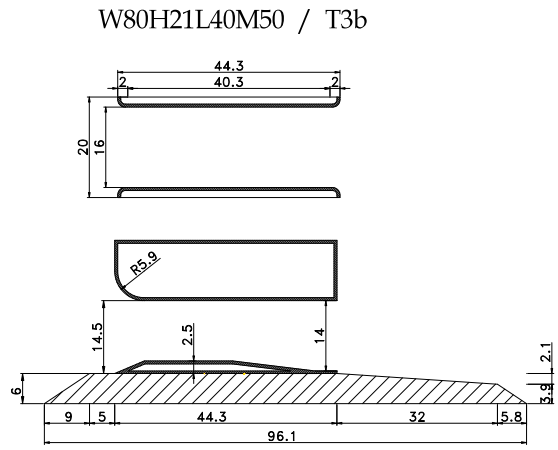
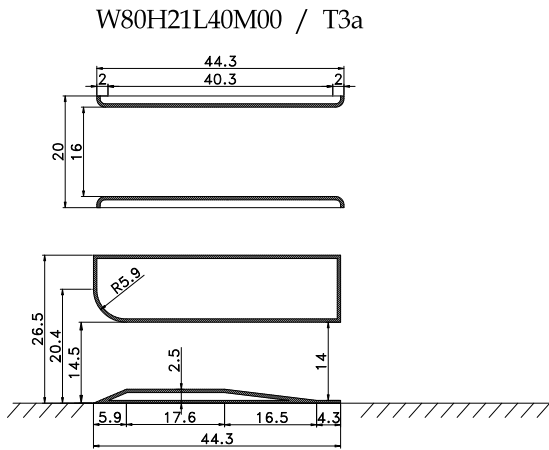


<그림 3-4-2-8> 사석마운드 위에 설치된 수문구조물 모형의 모습

<그림3-4-2-9>~<그림3-4-2-12>는 사석마운드 설치에 따른 수문구조물의 통수성능을 비교한 것이다. <그림3-4-2-9>는 W60H21L40M00 및 W60H21L40M50 모형의 실험 결과를 비교한 것으로서 수치 및 수리모형실험의 결과가 서로 상반된 경향을 나타내고 있다. 즉, 수치모형실험에서는 사석마운드를 설치하였을 경우 통과유량 및 유량계수가 감소하는 반면, 수리모형실험에서는 반대로 증가하는 경향을 보였다. 그러나, 최소단면의 폭이 넓은 W80H21L40M00 및 W80H21L40M50 모형의 경우에는 <그림3-4-2-10>에 보인 것처럼 사석마운드를 설치하였을 경우 통과유량 및 유량계수가 다소 감소하는 결과가 수치 및 수리모형실험 양쪽으로부터 얻어졌다. 한편, 수문구조물의 바닥높이가 해저면과 거의 같은 높이인 모형 중에서 최소단면의 폭이 좁은 경우(W60H04L40M00 및 W60H04L40M50)와 넓은 경우(W80H04L91M00 및 W80H04L91M50 모형)에도 <그림3-4-2-11>~<그림3-4-2-12>에 보인 것처럼 사석마운드를 설치하였을 때 수문의 통수성능이 불리해지는 결과를 얻었다.

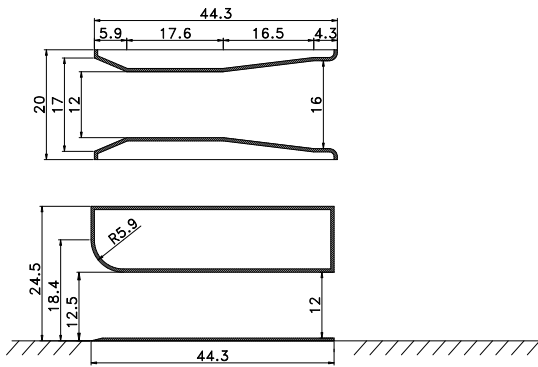


<그림 3-4-2-9> W60H21L40M00 및 W60H21L40M50 모형의 통수성능 비교

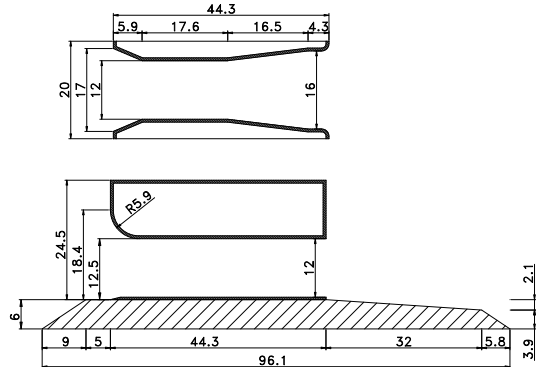


<그림 3-4-2-10> W80H21L40M00 및 W80H21L40M50 모형의 통수성능 비교

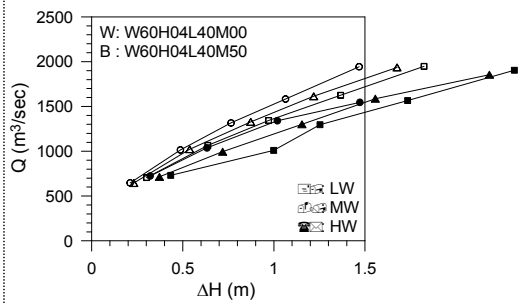
W60H04L40M00 / T4a



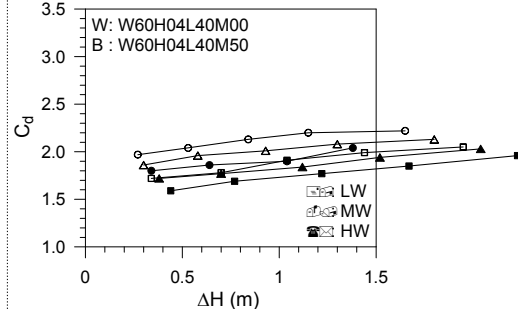
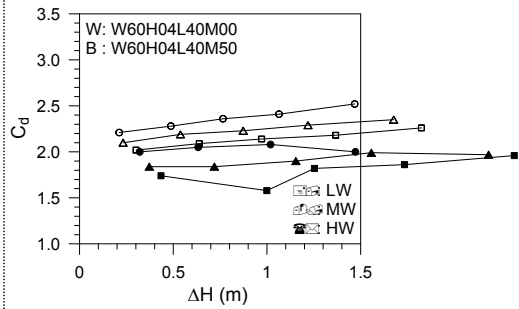
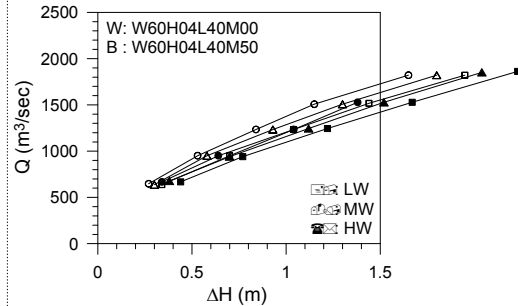
W60H04L40M50 / T4b



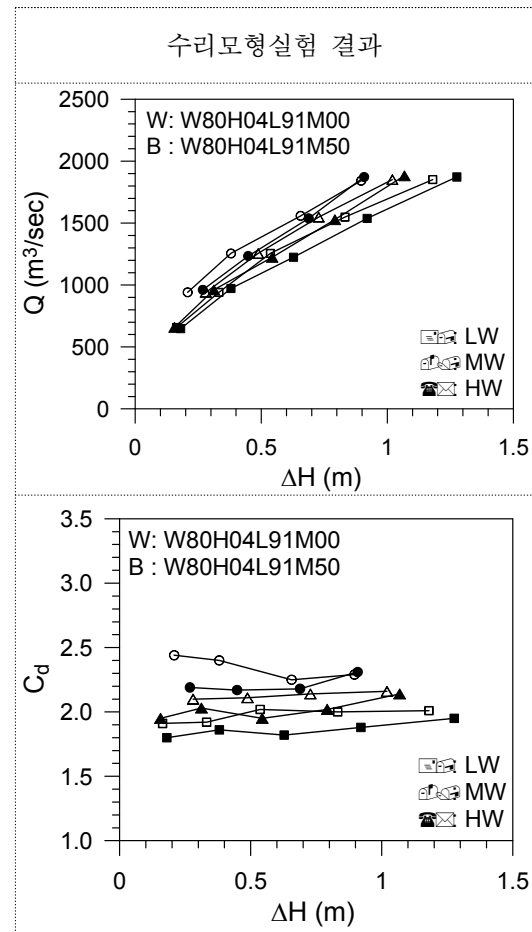
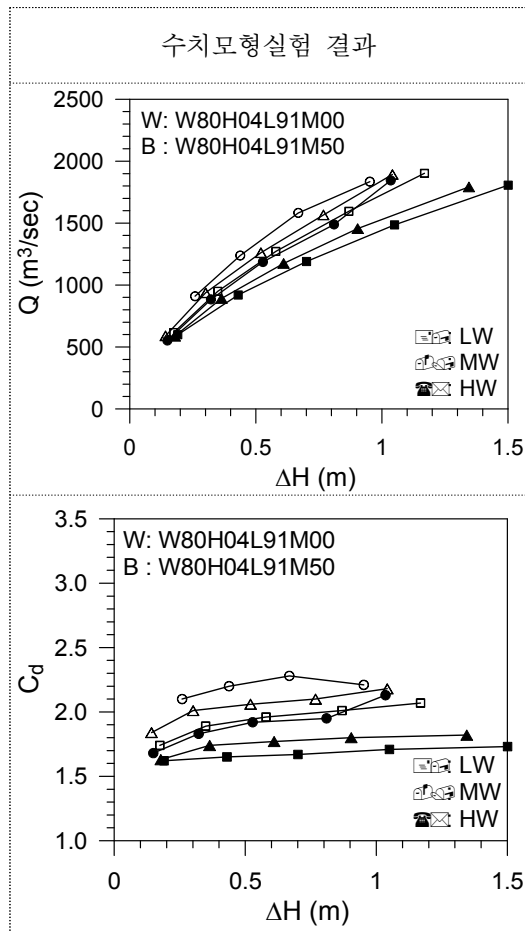
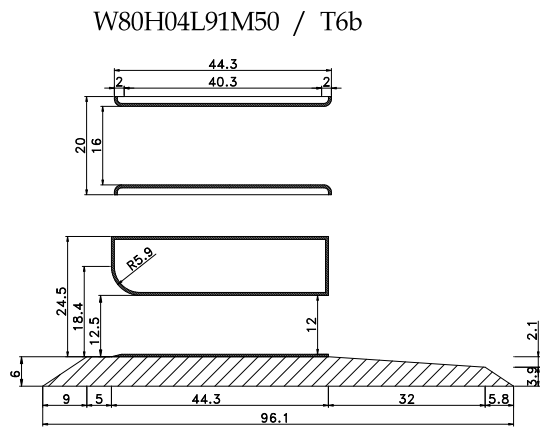
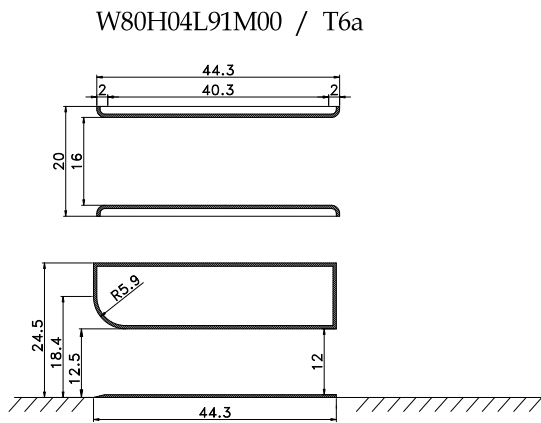
수치모형실험 결과



수리모형실험 결과



<그림 3-4-2-11> W60H04L40M00 및 W60H04L40M50 모형의 통수성능 비교



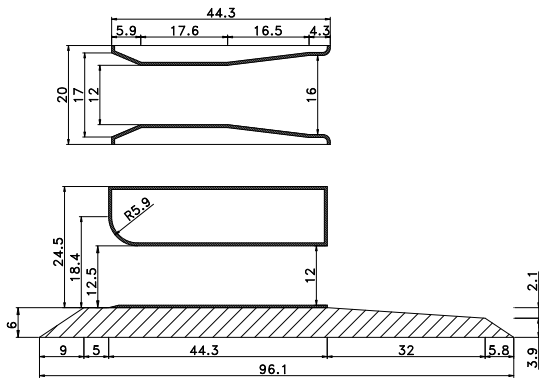
<그림 3-4-2-12> W80H04L91M00 및 W80H04L91M50 모형의 통수성능 비교

한편, <그림3-4-2-9>~<그림3-4-2-10>에서 검토한 두 가지 모형의 경우에는 수문구조물의 최소단면의 바닥면이 해저지반으로부터 블록하게 솟아올라 있는 형상인 반면, <그림3-4-2-11>~<그림3-4-2-12>의 두 가지 모형은 해저지반과 수문구조물 바닥높이와 거의 같으므로 수치 및 수리모형 실험에서의 수심이 서로 다르게 된다. 이것은 실험에서의 수위 조건이 앞에서 설명한 바와 같이 수문구조물 상부 바닥면의 최저점으로부터 일정한 높이로 결정되었기 때문에 최소단면의 바닥면이 서로 다른 모형의 경우에는 수심 조건은 서로 달라지게 되기 때문이다. 따라서 최소단면의 바닥면이 낮은 모형의 경우에는 마운드의 높이를 높게 해서 수심 조건을 동일하게 맞추는 경우에 대해서도 실험을 수행하여 그 결과를 검토해 볼 필요성이 있다. 이를 위해서 마운드의 전·후면 경사를 유지한 채로 마운드의 바닥 높이를 5cm (현장 기준: 2m) 높여서 별도로 실험을 수행하고, 그 결과를 서로 비교하였다.

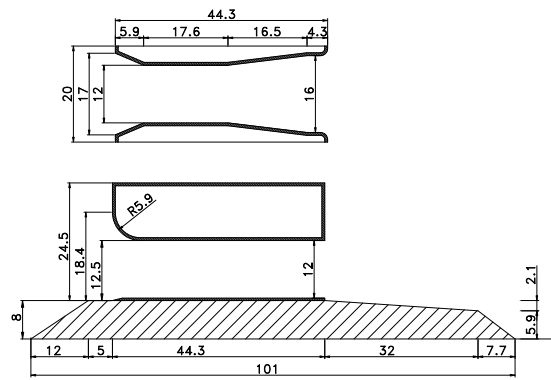
<그림3-4-2-13>~<그림3-4-2-14>는 이에 대한 실험결과를 나타낸다. 최소단면의 폭이 좁은 형태인 W60H04L40M50과 W60H04L40M67 모형 및 최소단면의 폭이 넓은 형태인 W80H04L91M50과 W80H04L91M67 모형의 실험결과로부터 마운드의 높이를 더 상향시킨 경우에 통과유량 및 유량계수가 미세하게 더 감소하는 경향이 나타남을 알 수 있었다.

이상의 결과로부터 W60H04L40M00과 W60H04L40M50 모형에 대한 수리모형실험 결과를 제외하고는 모든 경우에서 마운드 높이를 높임에 따라서 수문의 통수성능이 대체로 감소함을 알 수 있었다. 그러나 이것은 이 연구에서 검토 대상으로 삼은 마운드 형상에 국한된 결과로 해석해야 할 것이며, 일반적인 결론으로 삼기에는 바람직하지 않다. 다만 사석마운드의 설치 여부가 수문구조물의 통수성능에 분명한 영향을 미치는 설계변수임을 확인하였고, 특히 수문구조물 최소단면의 바닥면이 해저면과 동일한 컬버트형 수문 형태는 현장의 수심이 깊은 경우에는 수심조건을 맞추기 위해서 바닥면이 블록하게 솟아오른 벤츄리형 수문에 비해서 마운드를 더 높게 설치해야 하므로 공사비가 많이 들고 수문구조물을 마운드가 없는 곳에 설치하였을 경우에 비해서 통수성능 감소 효과가 더 커질 가능성이 있다고 추론할 수 있다.

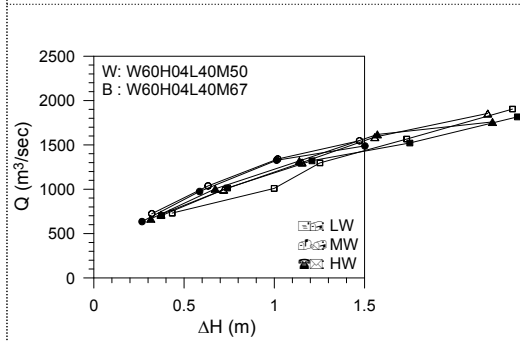
W60H04L40M50 / T4b



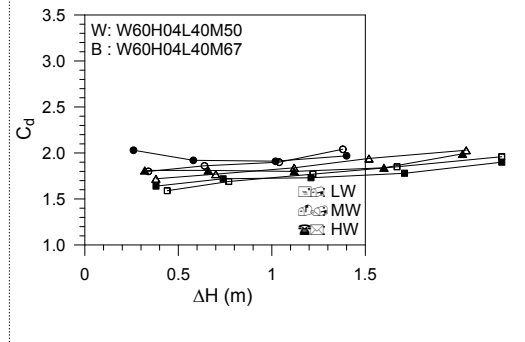
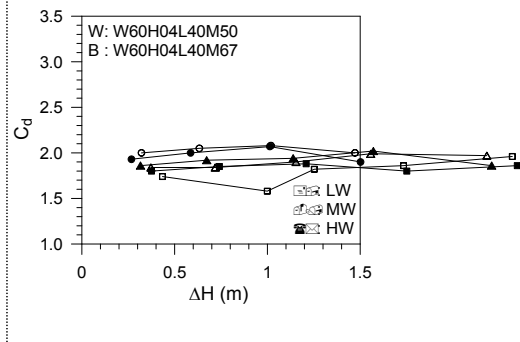
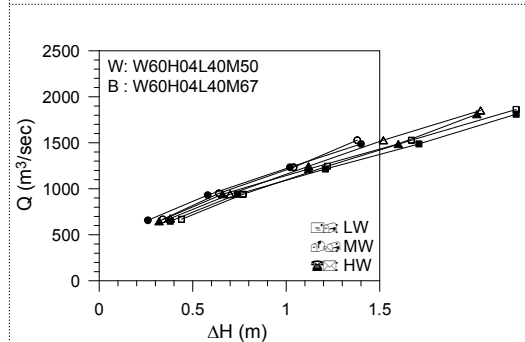
W60H04L40M67 / T4c



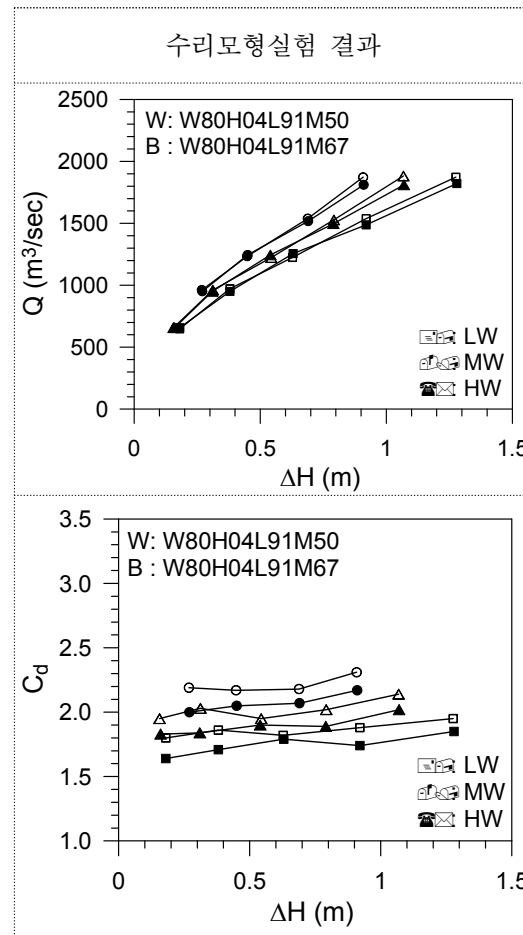
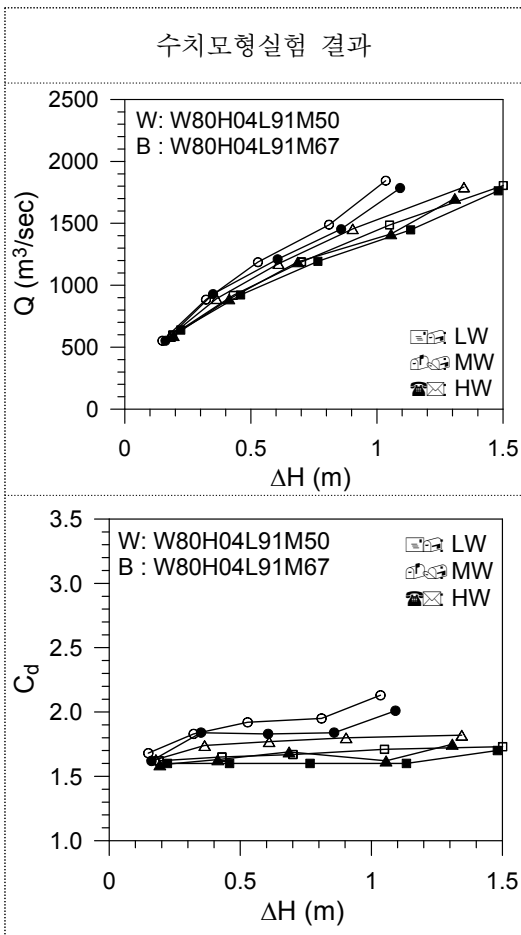
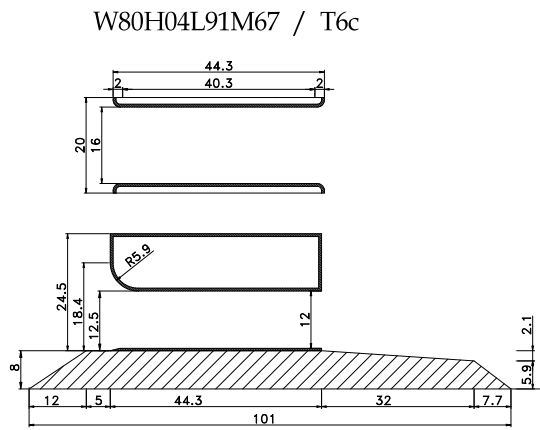
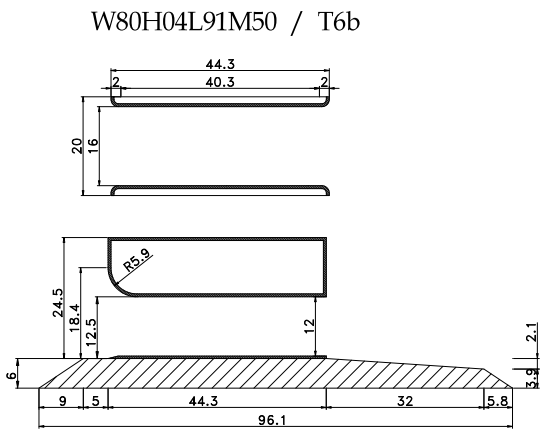
수치모형실험 결과



수리모형실험 결과



<그림 3-4-2-13> W60H04L40M50 및 W60H04L40M67 모형의 통수성능 비교



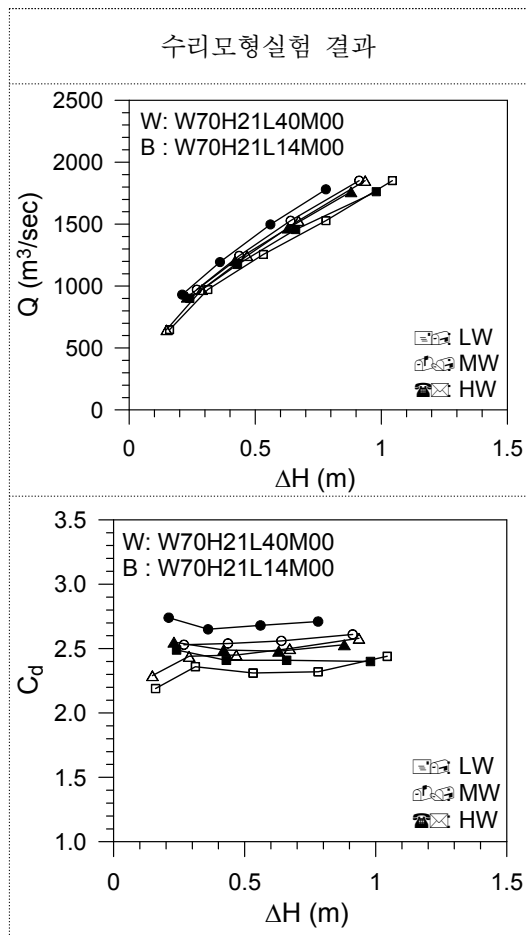
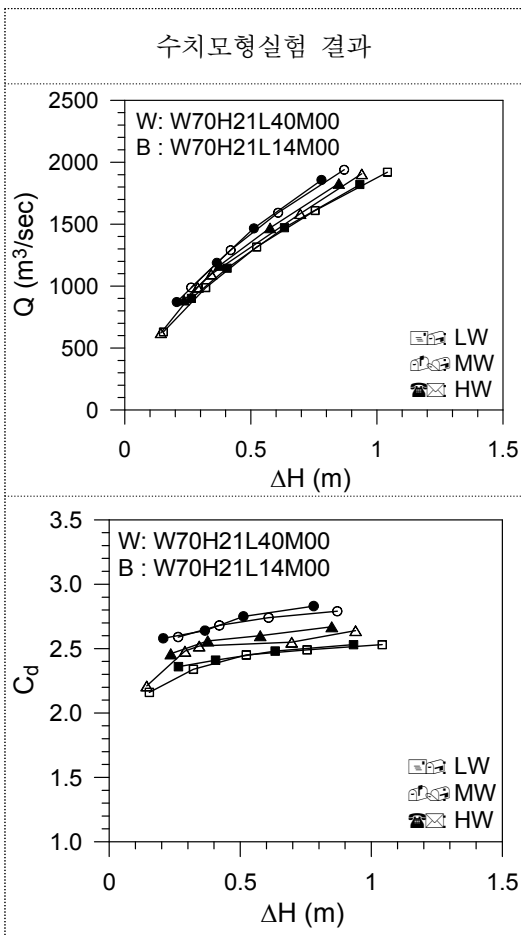
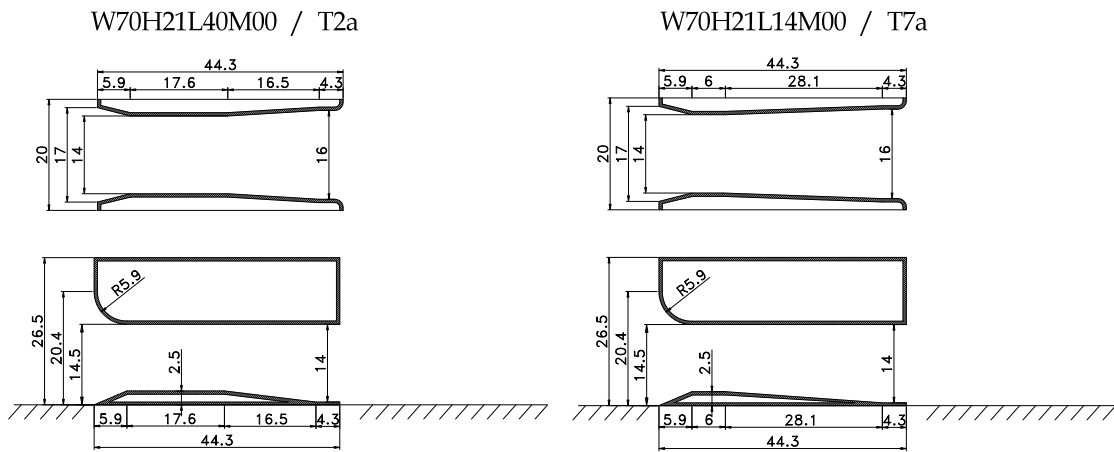
<그림 3-4-2-14> W80H04L91M50 및 W80H04L91M67 모형의 통수성능 비교

라. 최소단면 바닥 길이 변화의 영향

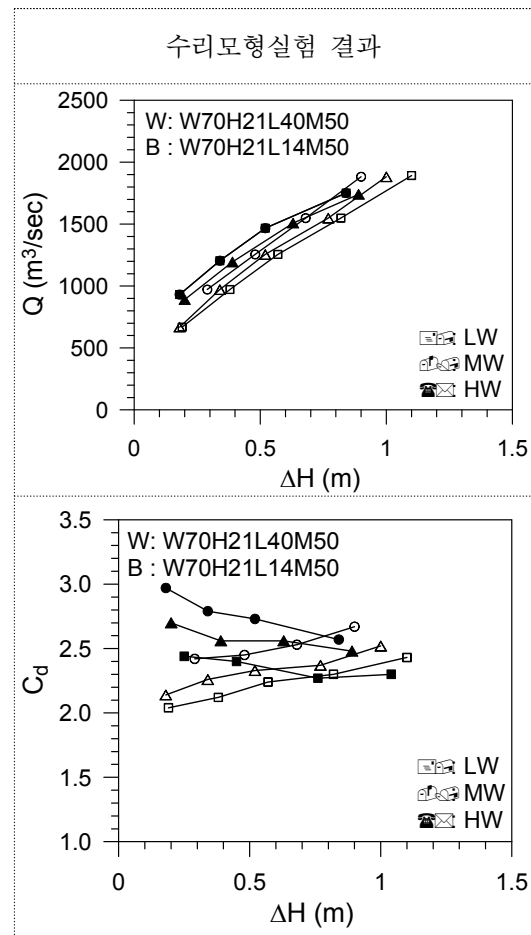
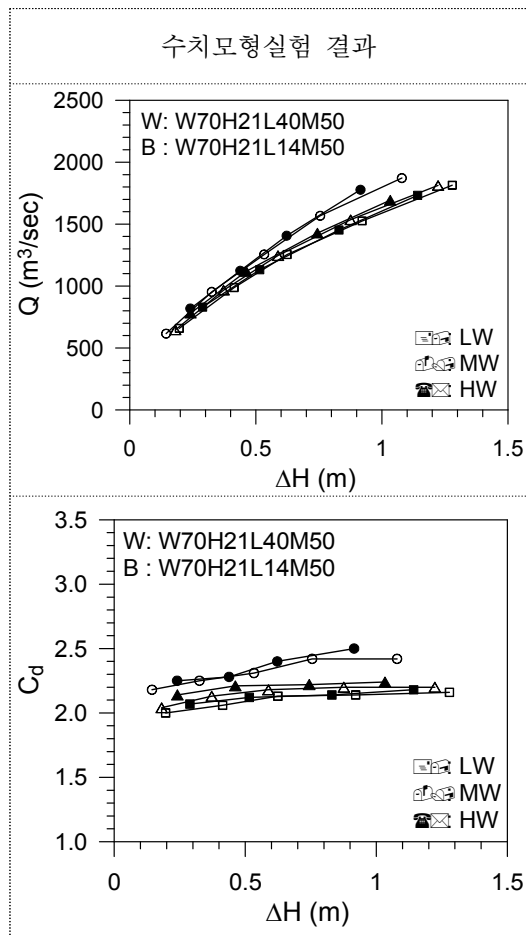
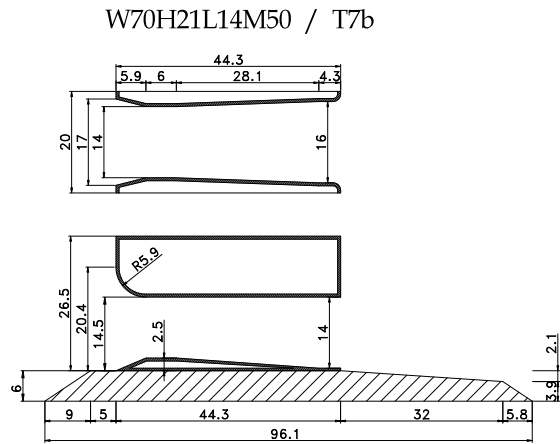
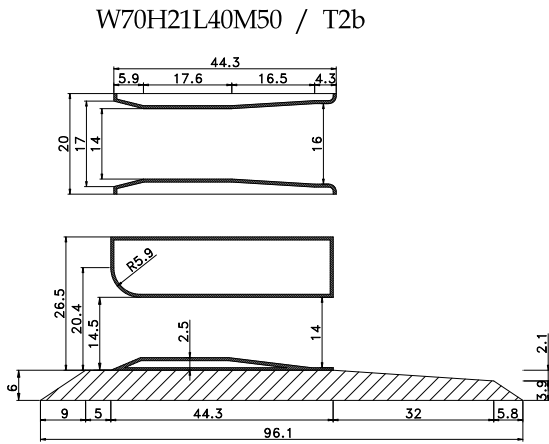
지금까지 제작된 여섯 가지 수문 모형의 경우에는 수문구조물의 최소단면 구간의 길이가 전체 수문 케이스 길이의 40%정도에 해당하였다. 현장 기준으로는 약 17.8m 정도에 해당하는 비교적 긴 구간을 최소단면의 수평구간으로 유지하기보다는 수문 개·폐를 위해 설치하는 게이트의 폭에 약간의 여유를 두고 나머지 수평 구간을 짧게 하여 통수단면적을 넓히는 것이 수문의 통수성능을 개선할 수 있을 것이라고 판단되었다.

이를 확인하기 위하여 최소단면의 수평구간 길이를 수문구조물 전체 길이의 14% 정도에 해당하는 5m로 감소시킨 모형을 제작하였다. 이 때 수문 구조물 최소단면의 폭은 앞서 검토된 수문구조물 전체 폭의 60~80% 중에서 중간값인 70%로 하였다. 따라서 제작되는 수문구조물 모형은 W70H21L40M00 모형의 최소단면 길이를 감소시킨 형상이다. 다만 수문구조물의 최소단면 이전까지의 바닥경사 및 측벽 각도는 그대로 유지하고 수평구간 이후의 바닥경사 및 측벽 각도를 완만하게 한 모형을 제작하였다.

새로 제작된 모형을 사석마운드가 설치되지 않은 경우와 설치된 경우에 대하여 각각 수치 및 수리모형실험을 수행하고, 그 실험 결과를 비교 대상인 모형의 결과와 서로 비교하였다. <그림 3-4-2-15> 및 <그림 3-4-2-16>에서 알 수 있듯이 수문구조물의 수평구간 길이를 짧게 축소시킨 모형의 통과유량 및 유량계수가 증가함을 알 수 있으며, 이러한 경향은 사석마운드의 설치 여부와 관계없이 동일하게 나타났다.



<그림 3-4-2-15> W70H21L40M00 및 W70H21L14M00 모형의 통수성능 비교



<그림 3-4-2-16> W70H21L40M50 및 W70H21L14M50 모형의 통수성능 비교

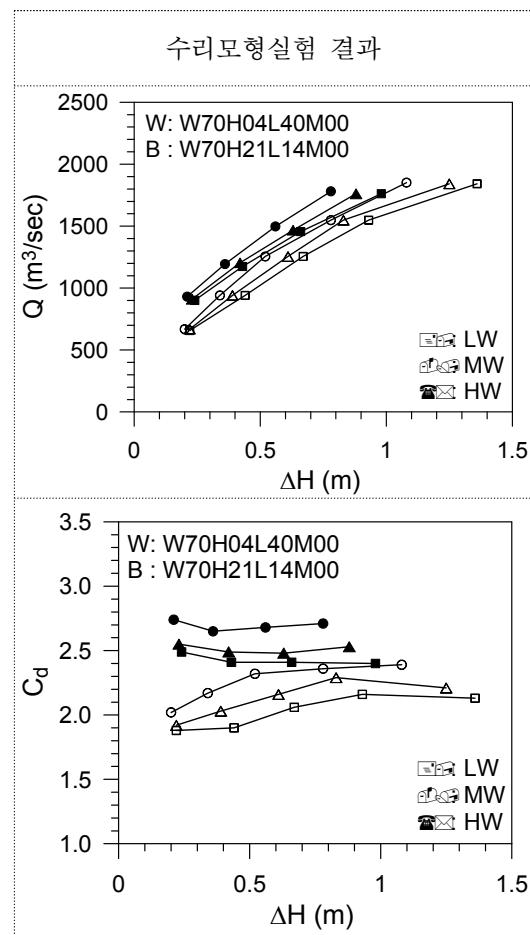
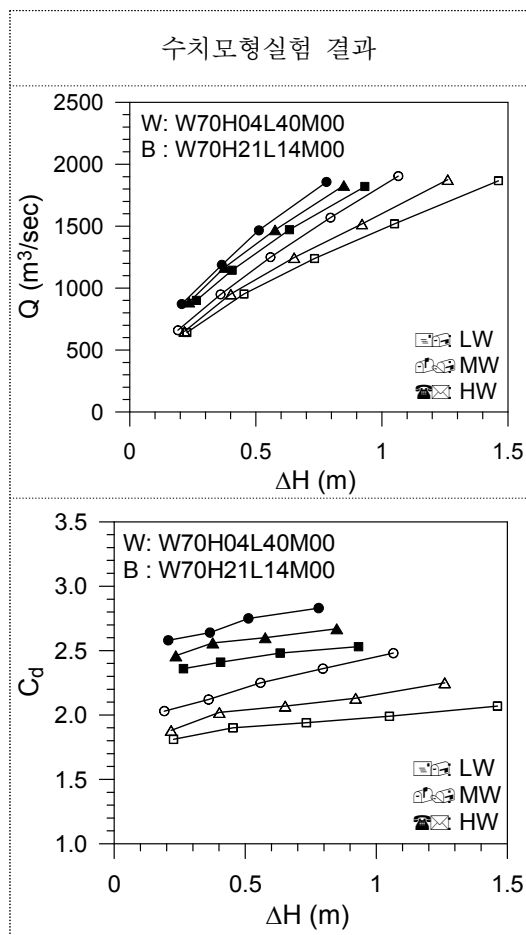
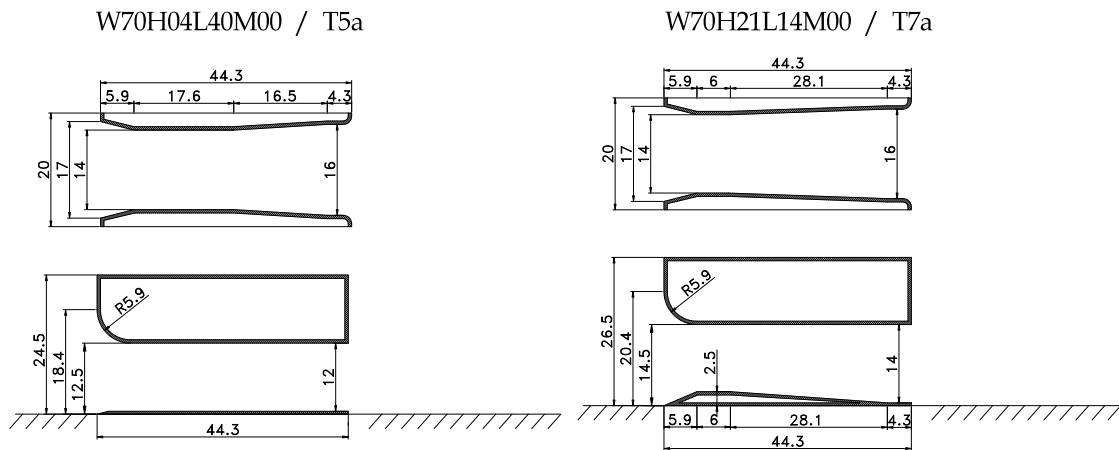
마. 최소단면 바닥 높이 변화의 영향

최초에 제작된 여섯 개의 수문구조물 모형 중에서 수문 최소단면의 폭이 같고 바닥높이만이 평평하거나 블록하게 솟아오른 서로 다른 모형들끼리의 통수성능을 비교하였을 때 (W60H21L40M00과 W60H04L40M00, W70H21L40M00과 W70H04L40M00, W80H21L40M00과 W80H91L40M00) 대체로 최소단면의 바닥높이가 높은 모형들의 통수성능이 더 좋음을 확인할 수 있었다. 최소단면 바닥높이 변화에 따른 통수성능의 차이를 보다 자세하게 검토하기 위하여 앞에서 언급된 것처럼 수문 최소단면의 바닥길이를 축소시킨 모형을 기준으로 바닥 높이의 블록한 형상을 세 가지로 변화시킨 모형을 최소단면의 폭이 전체 수문구조물 폭이 70%인 경우와 80%인 경우에 대하여 각각 제작하였다. 앞서 설명한 바와 같이 최소단면의 폭이 수문구조물 전체 폭의 60%인 경우는 통수단면적이 너무 작아서 통과유량 측면에서 불리하기 때문에 이러한 형식의 모형은 더 이상 제작을 고려하지 않았다. W70H21L14M00 모형은 앞절에서 최소단면 바닥길이 변화의 영향을 검토하기 위하여 제작하여 두었으므로 추가로 다섯 개의 모형을 새로 제작하였으며, 이 모형들의 단면도는 부록 A의 T7a~T12a에 제시되어 있다.

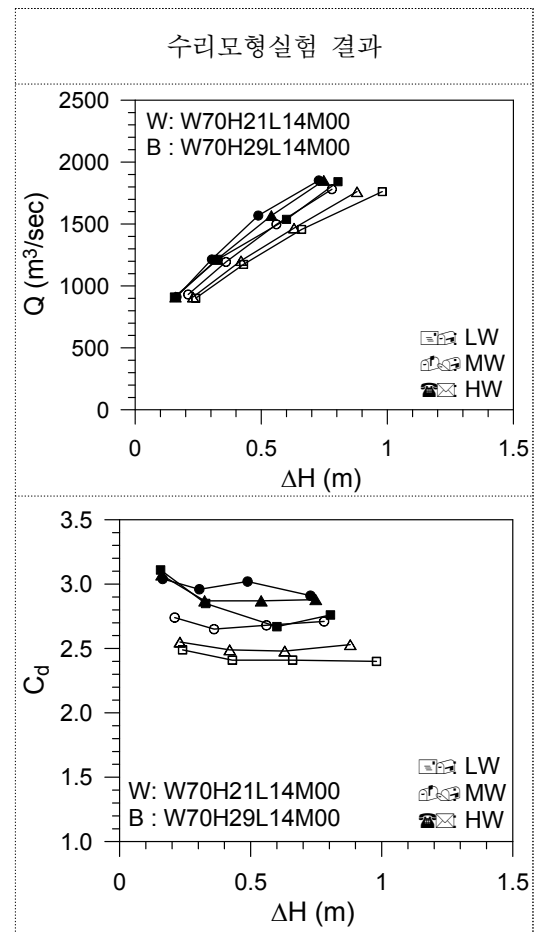
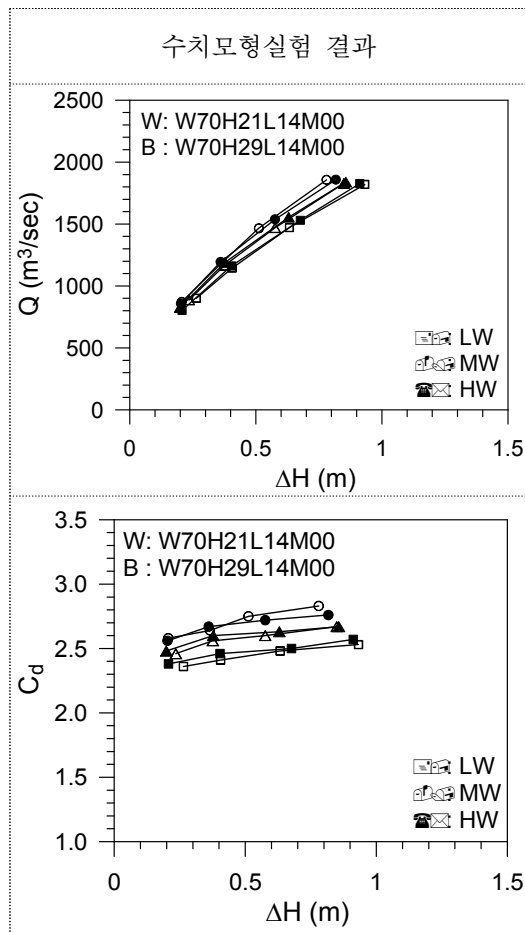
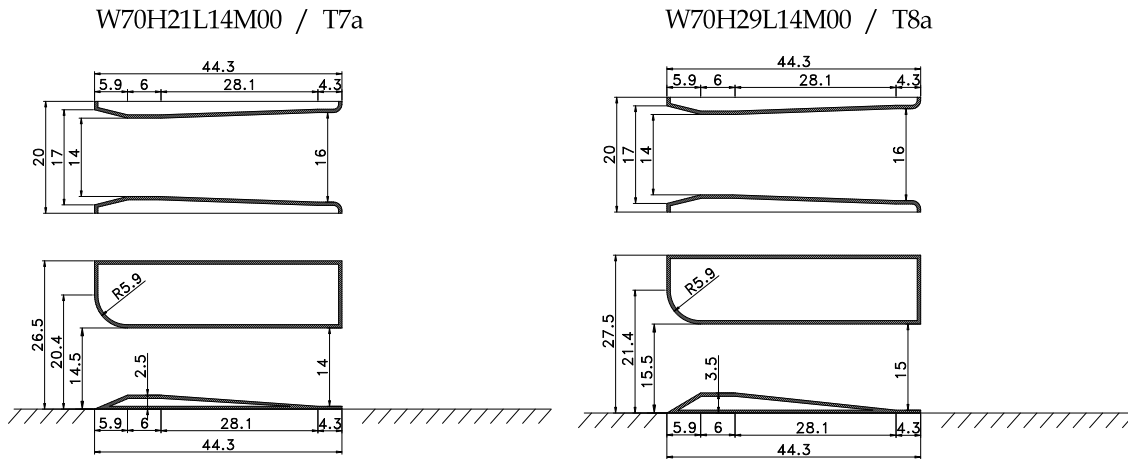
<그림 3-4-2-17>~<그림 3-4-2-19>은 최소단면의 폭이 수문구조물 폭의 70%이고 바닥 높이가 서로 다른 모형 네 가지를 차례로 비교한 것이다. <그림 3-4-2-17>에서 알 수 있듯이 바닥이 해저면과 거의 같게 평평한 모형(W70H04L40M00)보다는 약간 블록하게 위쪽으로 솟아오른 모형(W70H21L14M00)의 통과성능이 크게 개선됨을 알 수 있다. 바닥높이를 최소단면의 연직 높이의 29%로 더 증가시킬 경우에는 <그림 3-4-2-18>에서 보이는 것처럼 수리모형실험에서는 통과유량 및 유량계수가 더 증가하는 경향이 나타나지만 수치모형실험에서는 큰 차이가 나타나지 않았다. 그러나 바닥높이를 최소단면의 연직 높이의 38%로 한층 더 증가시키면 수치모형실험 결과에서도 미세하게 통과유량 및 유량계수가 증가하였으며, 수리모형실험에서도 같은 경향이 나타났다.

한편, 최소단면의 폭이 수문구조물 폭의 80%이고 바닥 높이가 서로 다른 모형 네 가지를 차례로 비교한 <그림 3-4-2-20>~<그림 3-4-2-22>에서도 바닥높이를 높임에 따라서 수문구조물의 통수성능이 향상되는 특징이 나타났으며, 바닥높이를 해저면과 평평한 상태에서 최소단면의 연직 높이의 29%로 증가시켰을 때는 통과유량 및 유량계수가 크게 증가하지만, 그 이후부터는 매우 근소하게 증가하거나 비슷한 경향도 앞선 <그림 3-4-2-17>~<그림 3-4-2-19>에서와 마찬가지로였다.

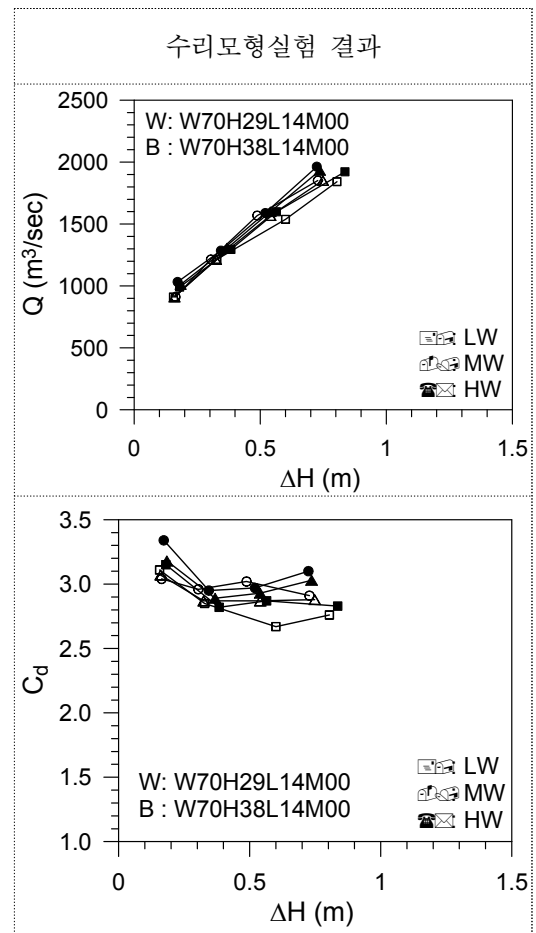
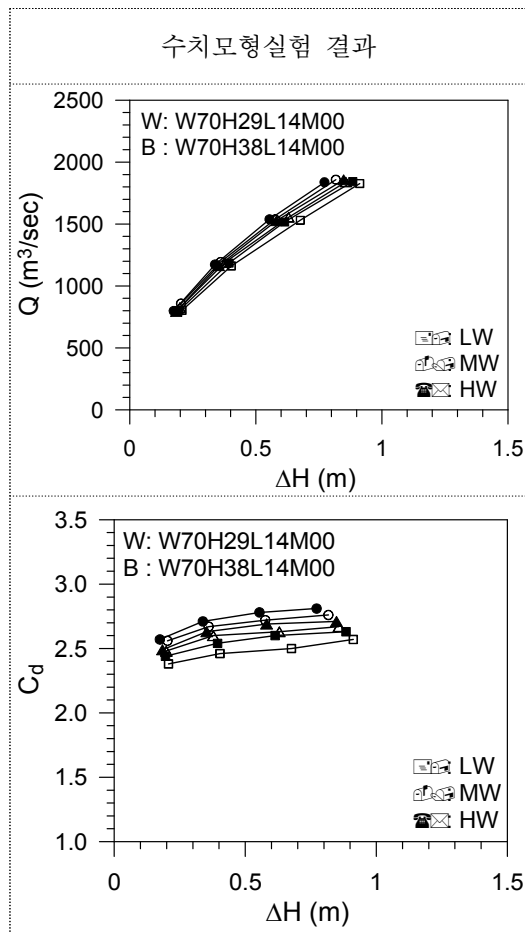
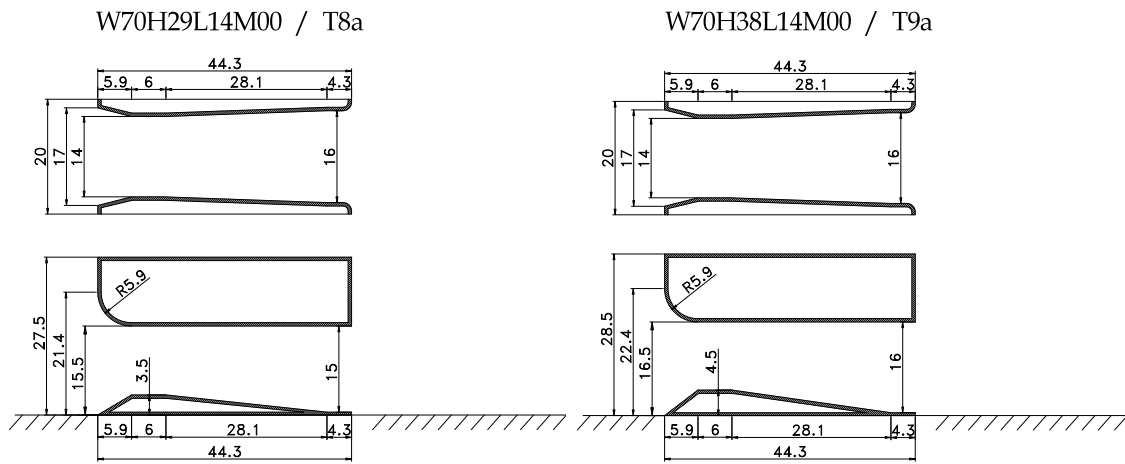
<그림 3-4-2-17>~<그림 3-4-2-22>에서 특징적으로 나타나는 경향 한 가지는 수리모형실험의 경우에는 최소단면의 바닥높이를 높임에 따라서 수두차가 작을 때의 유량계수가 급격하게 증가하여 수두차(ΔH)에 따라서 유량계수가 감소하는 경향이 나타나는 반면에, 수치모형실험에서는 이와는 반대로 최소단면의 바닥높이를 높여도 수두차(ΔH)에 따라서 유량계수가 증가하는 경향이 일관되게 나타난다. 이러한 차이가 나타나는 이유에 대해서는 조금 더 상세한 검토가 필요하다.



<그림 3-4-2-17> W70H04L40M00 및 W70H21L14M00 모형의 통수성능 비교

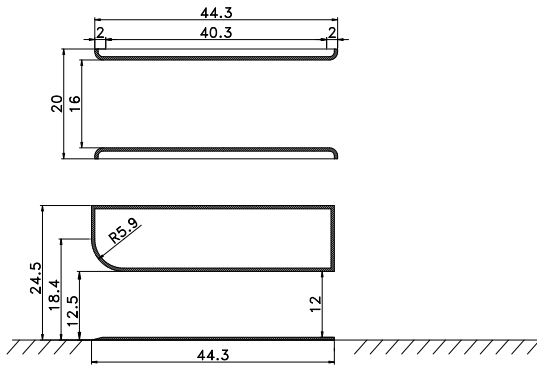


<그림 3-4-2-18> W70H21L14M00 및 W70H29L14M00 모형의 통수성능 비교

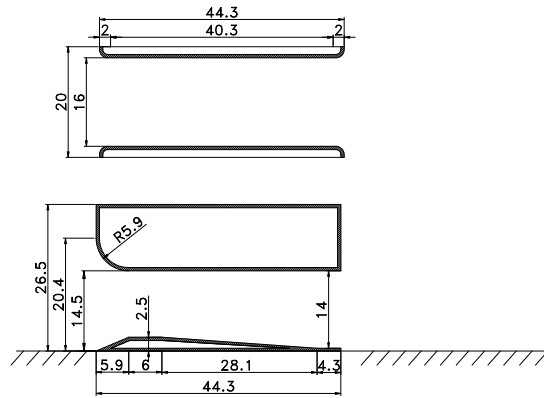


<그림 3-4-2-19> W70H29L14M00 및 W70H38L14M00 모형의 통수성능 비교

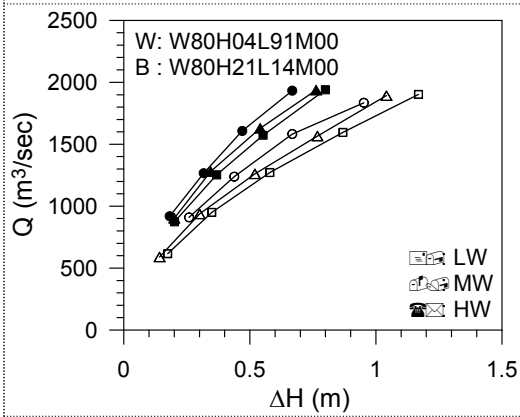
W80H04L91M00 / T6a



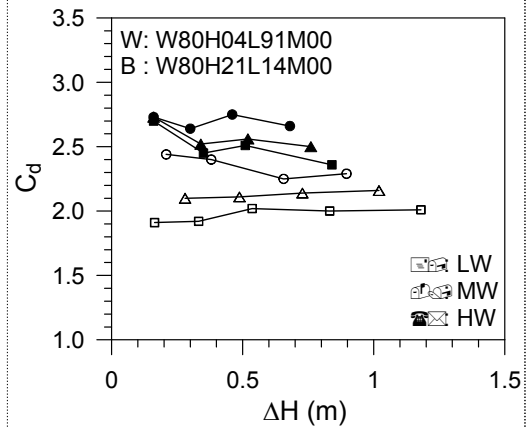
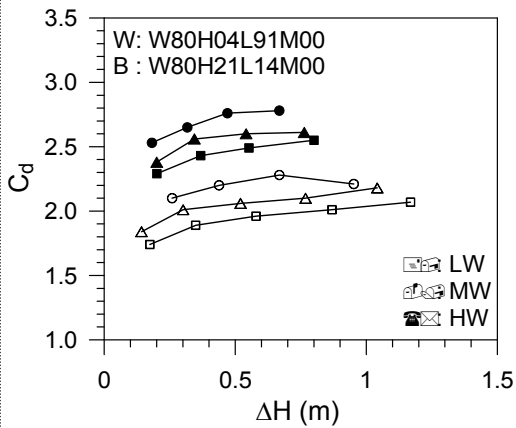
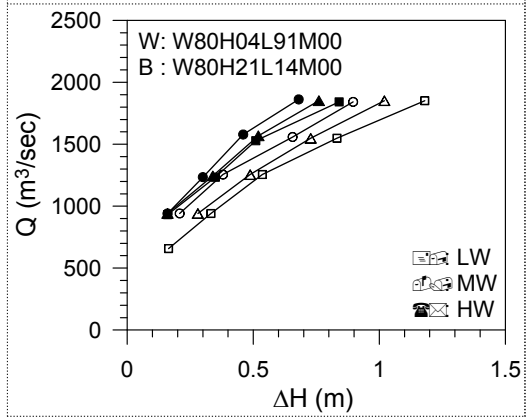
W80H21L14M00 / T10a



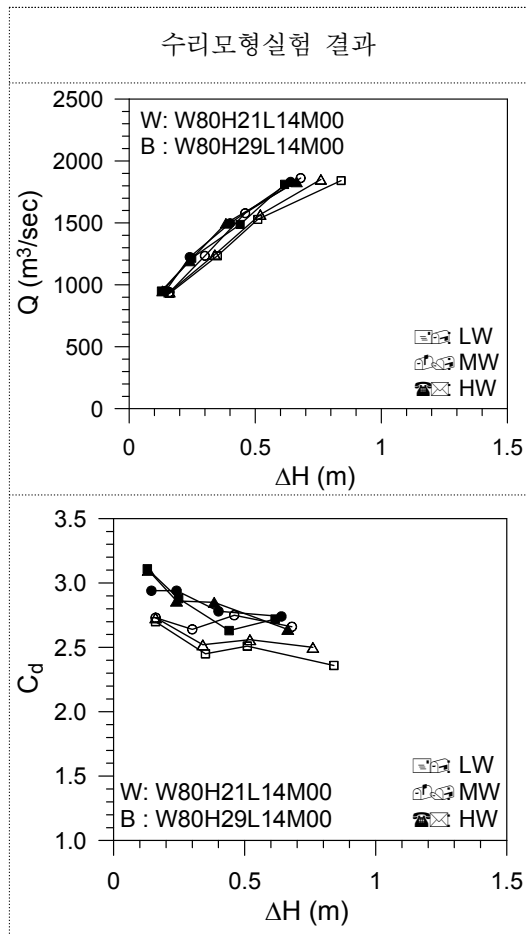
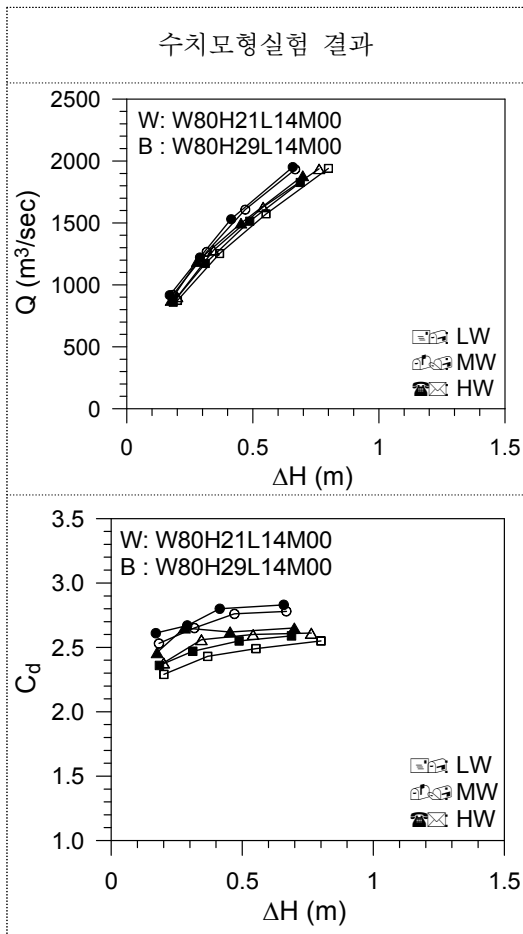
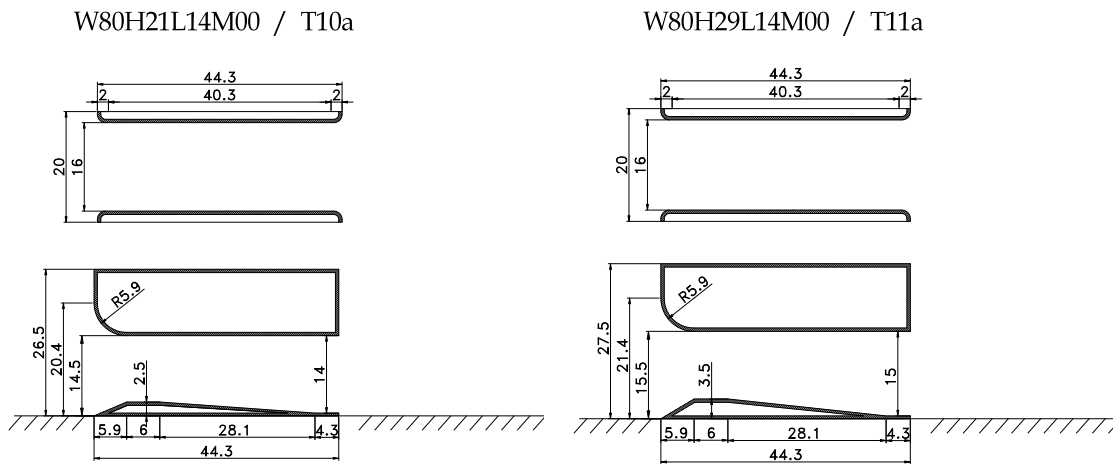
수치모형실험 결과



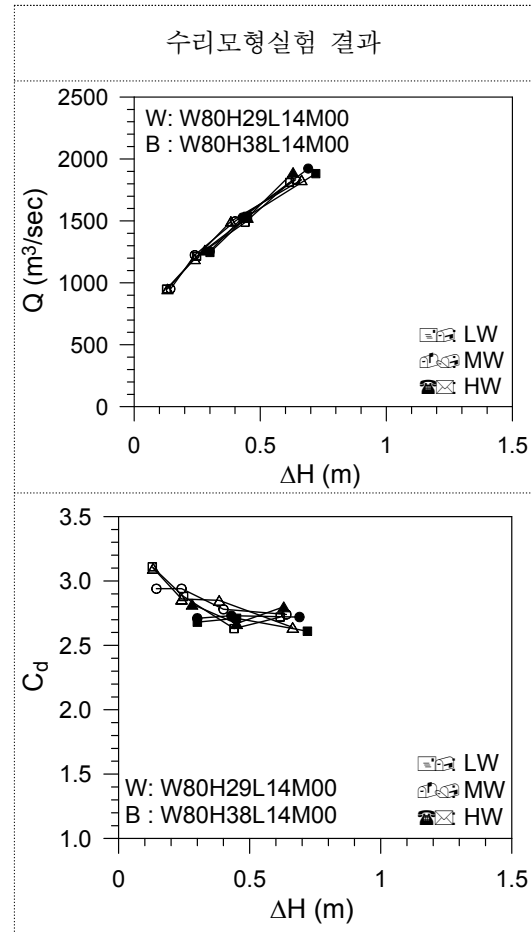
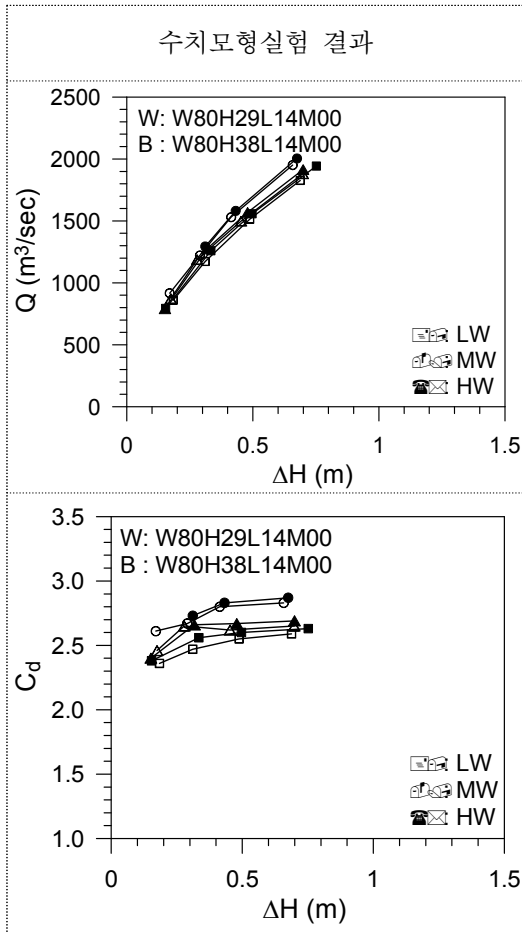
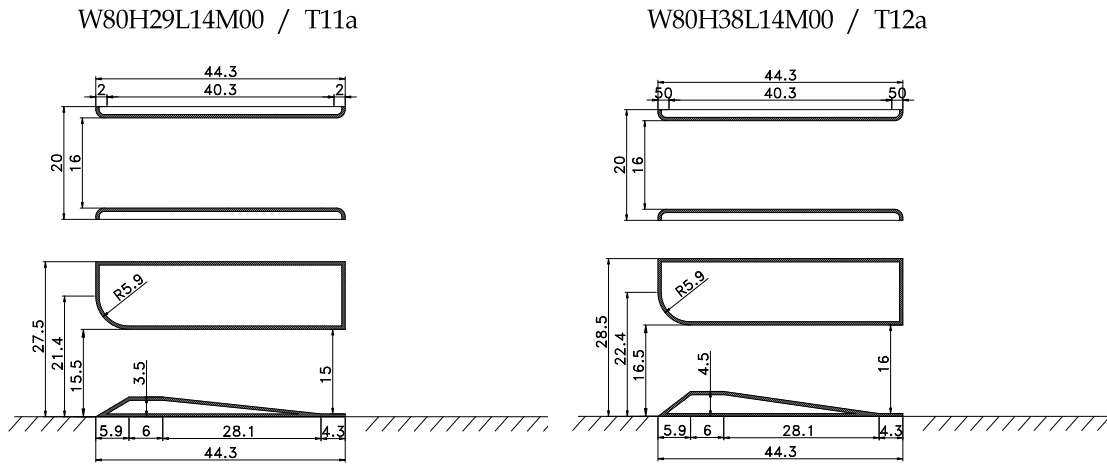
수리모형실험 결과



<그림 3-4-2-20> W80H04L91M00 및 W80H21L14M00 모형의 통수성능 비교



<그림 3-4-2-21> W80H21L14M00 및 W80H29L14M00 모형의 통수성능 비교



<그림 3-4-2-22> W80H29L14M00 및 W80H38L14M00 모형의 통수성능 비교

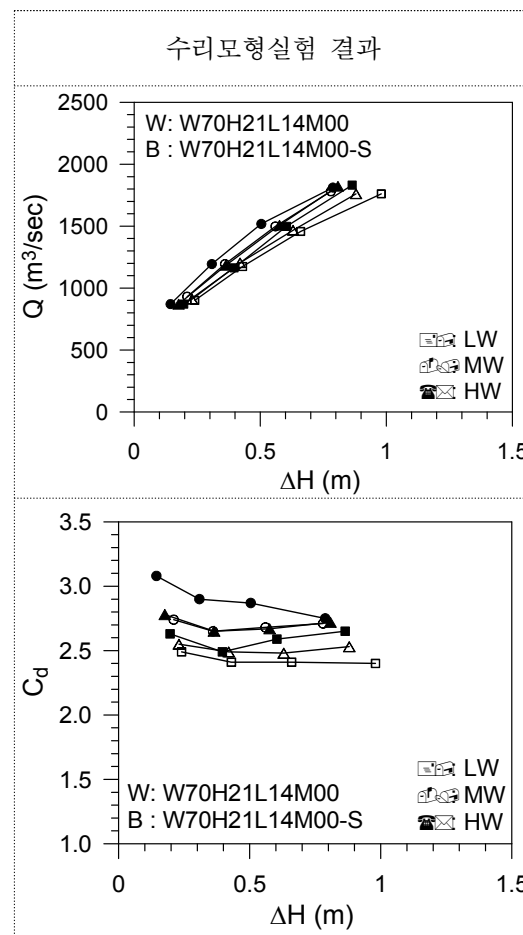
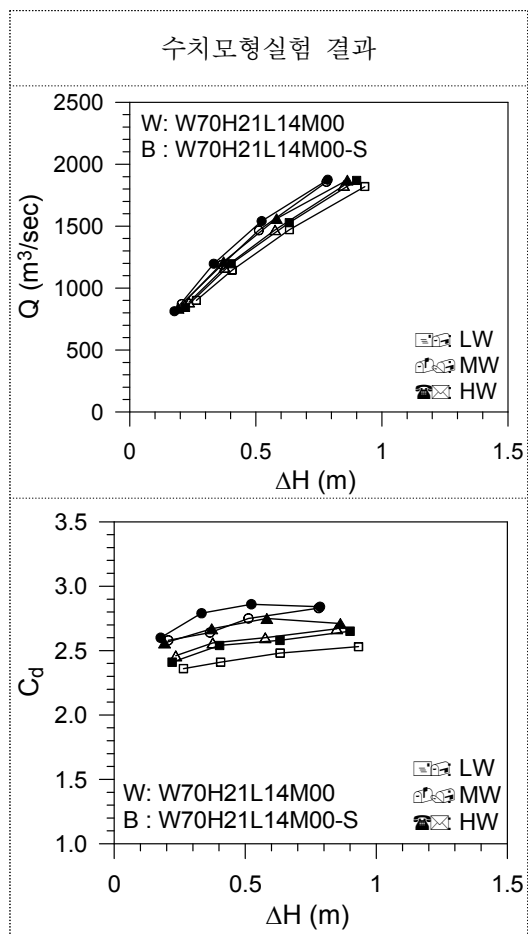
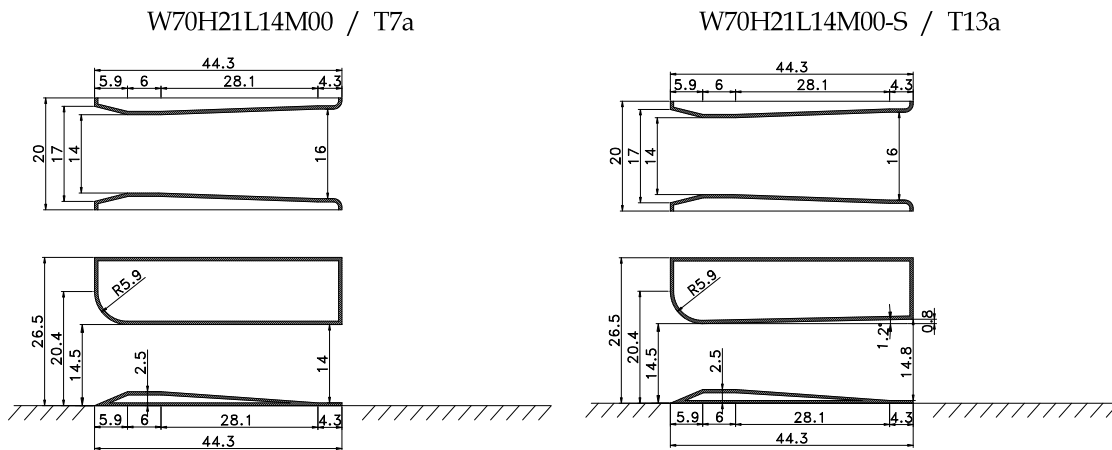
바. 수문구조물 상부벽 경사 변화의 영향

지금까지 고려한 수문구조물은 모두 상부벽의 경사가 정수면과 나란하게 수평이었다. <그림 3-4-2-23>에서는 W70H21L14M00 모형과 비교하여 상부벽의 경사가 약 1.2° 상향인 W70H21L14M00-S 모형의 통수성능을 서로 비교하였다. 수치 및 수리모형실험에서 모두 상부벽 경사를 상향으로 설정한 W70H21L14M00-S 모형의 통수성능이 다소 향상됨을 알 수 있다. 이것은 연직방향으로 수문의 통수단면적이 증가함에 따라서 수문구조물의 최소단면을 통과한 흐름이 더 원활하게 하류쪽으로 유출되기 때문으로 생각된다. 그러나 이 연구에서는 단 하나의 경사에 대해서만 실험을 수행하였으므로, 최적 경사면을 결정하기 위해서는 더 자세한 연구가 필요할 것이다.

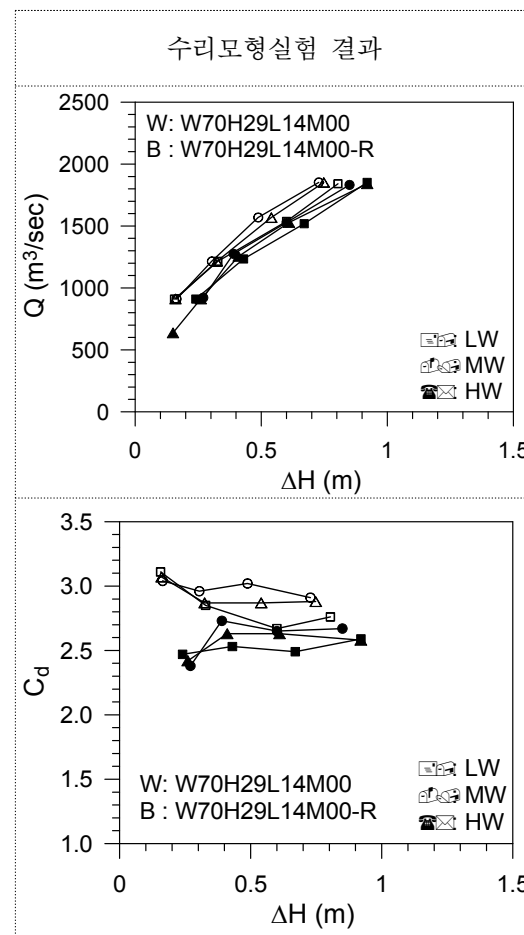
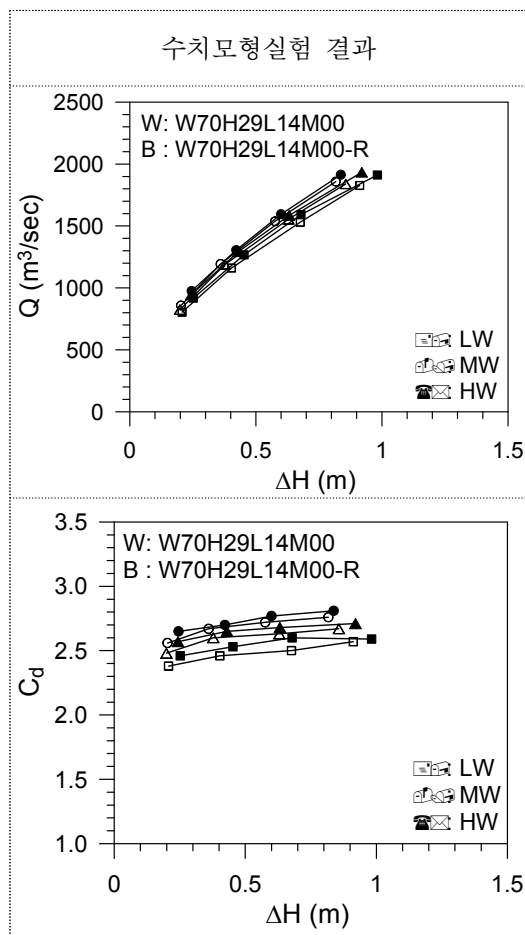
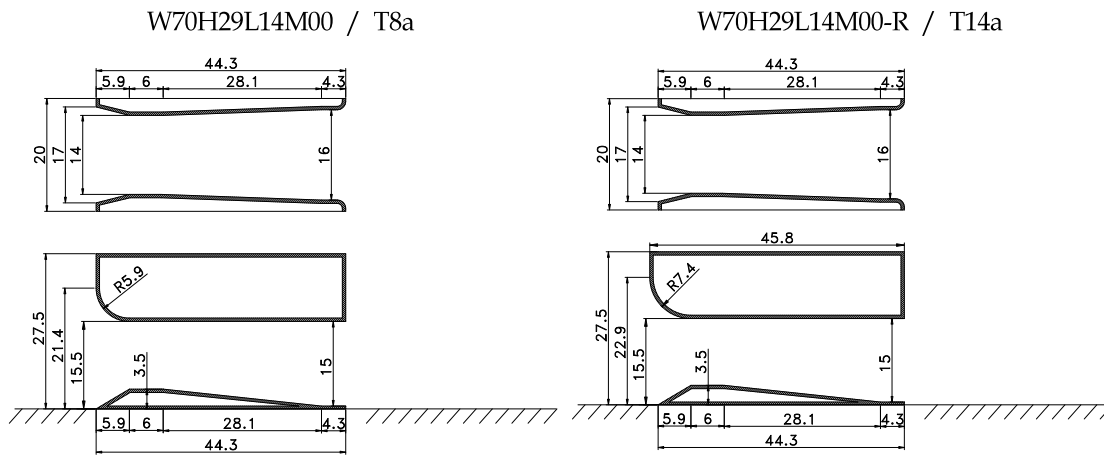
한편, 수문 상부벽에 경사를 두는 것은 위 결과에서 알 수 있듯이 수문의 통수성능을 개선할 뿐만 아니라, 현장에서의 수문의 설치 여건을 고려할 때 만약 수문 구조물의 뒤쪽이 낮게 시공되거나 혹은 시공 이후에 하부 지반의 부등침하 등으로 인해서 수문 구조물 후면이 하향 경사를 가지게 되어 통수성능을 감소시키는 것을 사전에 방지할 수 있다는 차원에서도 매우 바람직한 설계상의 고려사항이라고 판단된다.

사. 수문구조물 전면부의 곡률반경 변화의 영향

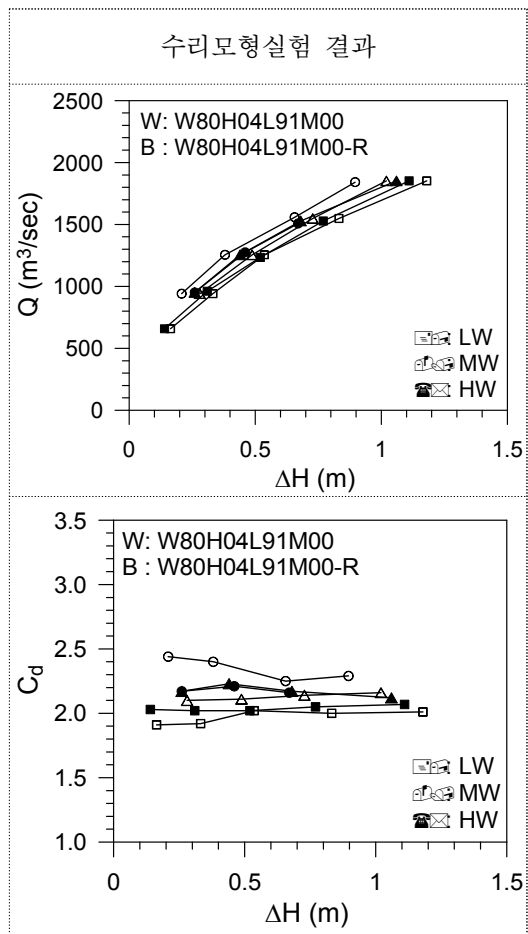
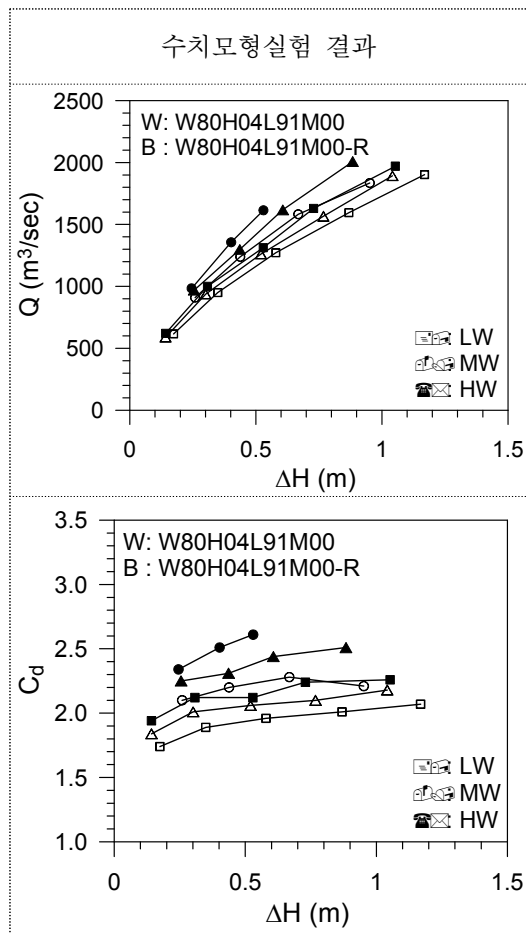
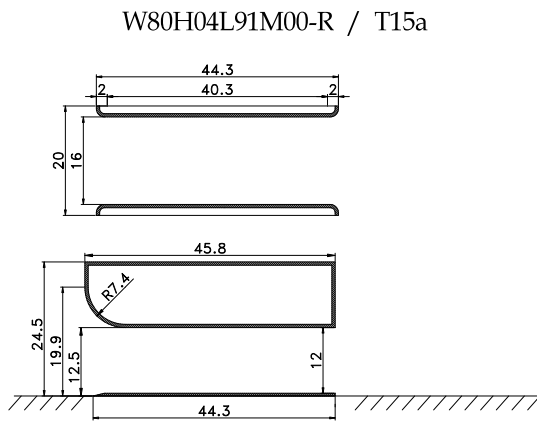
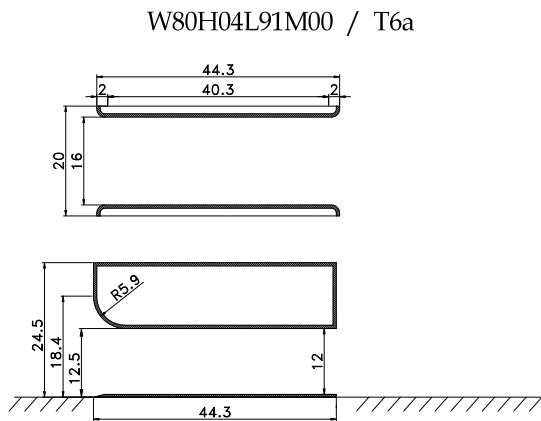
한편, <그림 3-4-2-24>~<그림 3-4-2-25>에서는 수문구조물 전면부의 곡률반경을 변화시켰을 경우의 영향을 검토하였다. 이를 위해서 W70H29L14M00 및 W80H04L91M00 두 개의 모형에 대하여 수문구조물 전면부의 곡률반경을 약 25% 증가시킨 모형인 W70H29L14M00-R 및 W80H04L91M00-R을 각각 제작하였다. 수리모형실험 결과는 이 두 가지 경우에 대하여 모두 곡률반경을 증가시킨 수문 모형의 통수성능이 오히려 감소함을 나타내었다. 실험을 수행하기 전에는 전면부의 곡률반경이 커짐으로 인해서 특히 높은 조위(High water level)에 해당하는 수위 조건에서 통수성능이 더 향상될 것으로 기대하였지만, 실제의 실험 결과는 예상과 다소 다르게 나타났다. 한편, 수치모형실험 결과는 곡률반경을 증가시킨 경우에 통수성능이 다소 증가하였다. 따라서 곡률반경을 크게 한다고 해서 수문구조물의 통수성능이 뚜렷하게 개선되지는 않으며, 보다 종합적인 결론 도출을 위해서는 다양한 실험조건에 대하여 실험을 수행할 필요가 있다.



<그림 3-4-2-23> W70H21L14M00 및 W70H21L14M00-S 모형의 통수성능 비교



<그림 3-4-2-24> W70H29L14M00 및 W70H29L14M00-R 모형의 통수성능 비교



<그림 3-4-2-25> W80H04L91M00 및 W80H04L91M00-R 모형의 통수성능 비교

아. 수문구조물 전체 길이 변화의 영향

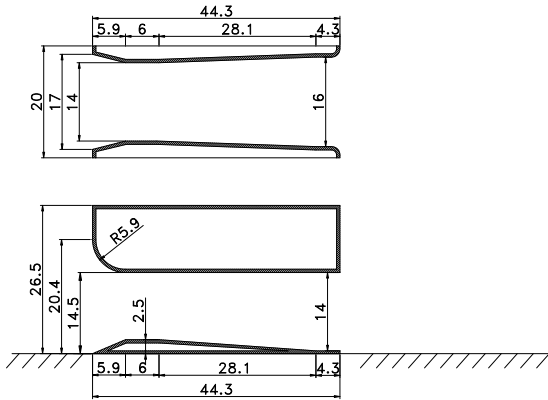
앞에서 검토 대상으로 삼은 수문구조물의 전체 길이는 현장 조건으로 44.3 m에 해당하였다. 수문구조물 전체 길이 변화에 따른 수문구조물 변화 양상을 검토하기 위해서 W70H21L14M00 및 W80H21L14M00 모형에 대하여 수문구조물의 길이를 약 15% 정도 줄여서 38m로 한 모형 W70H21L16M00-L 및 W80H21L16M00-L을 제작하였다. 이때 수문구조물의 유입부의 길이 및 경사는 그대로 유지하고 유출부의 길이를 짧게 하였다. 이에 따라서 유출부의 경사는 비교 대상인 원래 모형에 비해서 다소 급하게 되었다.

이 두가지 모형에 대한 수치 및 수리모형실험 결과를 <그림 3-4-2-26>~<그림 3-4-2-27>에 제시하였다. <그림 3-4-2-26>에서 알 수 있듯이 W70H21L16M00-L 모형의 통과유량 및 유량계수는 W70H21L14M00에 비해서 수리모형실험의 경우에는 약간 증가하였으나 수치모형실험의 경우에는 약간 감소하였다. 한편, W80H21L16M00-L 모형의 경우에는 W80H21L14M00 모형에 비해서 수치모형실험의 경우에는 통수성능이 개선된 특성을 보였으나, 수리모형실험의 경우에는 개선된 점이 나타나지 않았으며, 오히려 낮은 수위(Low water level) 조건에서는 통과유량 및 유량계수가 감소하였다.

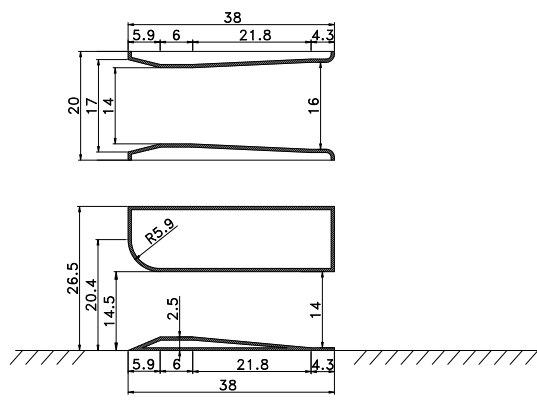
보다 종합적인 결론을 위해서는 몇 가지 다른 모형에 대해서도 유사한 실험을 수행하여 그 결과를 비교해보아야 하겠지만, 위 두 가지 결과로부터 수문구조물 전체 길이의 변화는 수문의 통수성능에 변화를 미치기는 하지만, 큰 차이를 가져오지는 않는 것으로 판단된다. 이것은 수문구조물의 유입부 측면 및 바닥 경사를 그대로 유지하였기 때문에 얻어지는 결과로 보여진다.

한편, 실제 설계시의 수문구조물의 길이는 현장 여건 및 도로의 폭 등 기타 여러 제반 사항들을 고려하여 결정되겠지만, 수문구조물의 전체 길이를 줄이게 되면 수문 케이슨의 제작비를 절감할 수 있기 때문에 경제적으로는 유리할 것으로 판단된다.

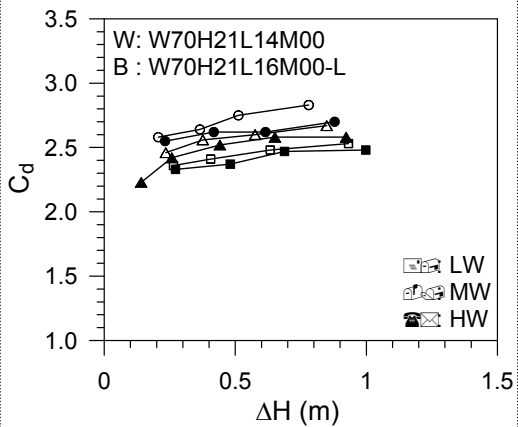
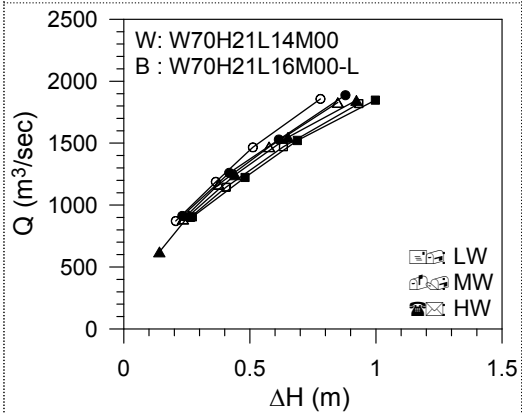
W70H21L14M00 / T7a



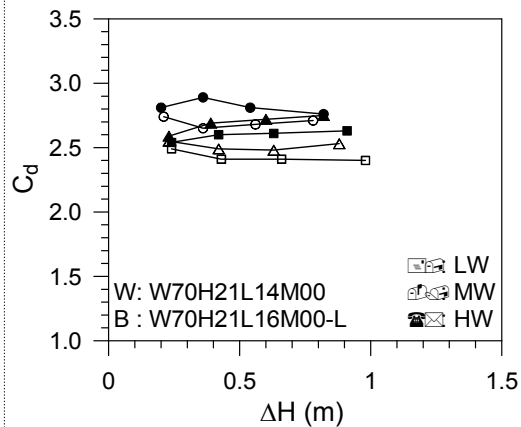
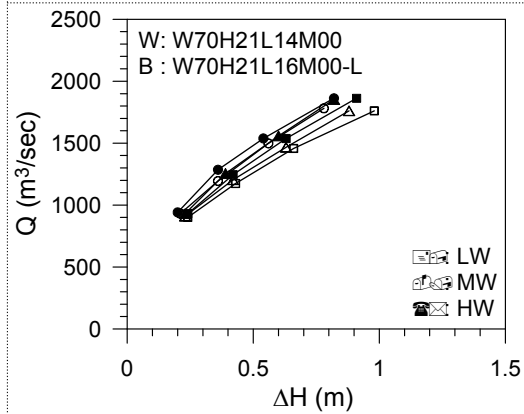
W70H21L16M00-L / T16a



수치모형실험 결과

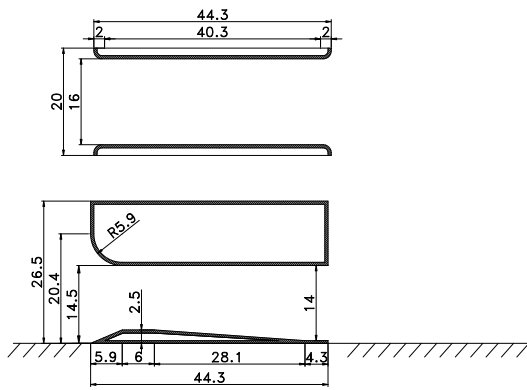


수리모형실험 결과

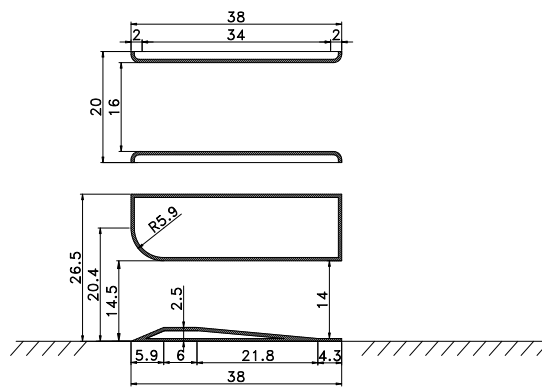


<그림 3-4-2-26> W70H21L14M00 및 W70H21L16M00-L 모형의 통수성능 비교

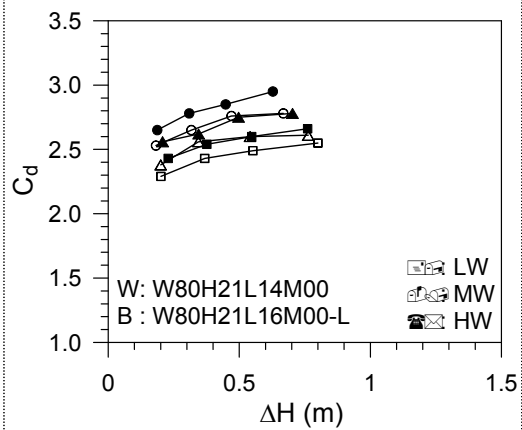
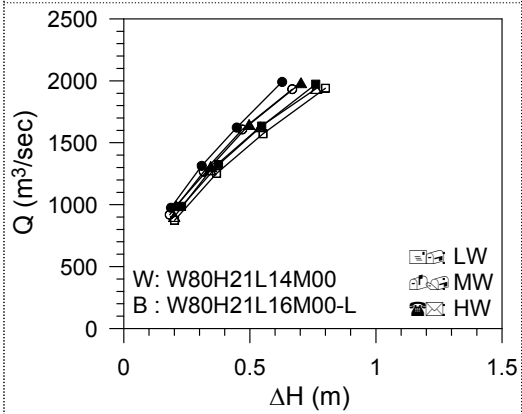
W80H21L14M00 / T10a



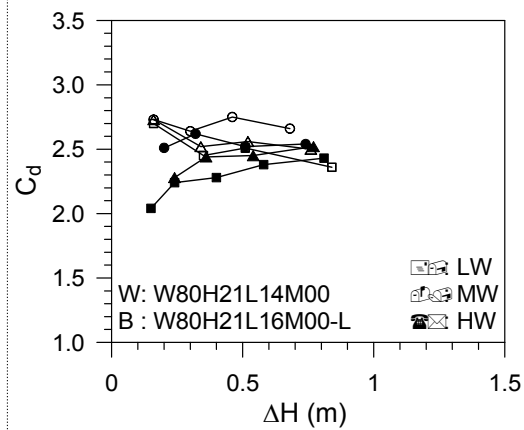
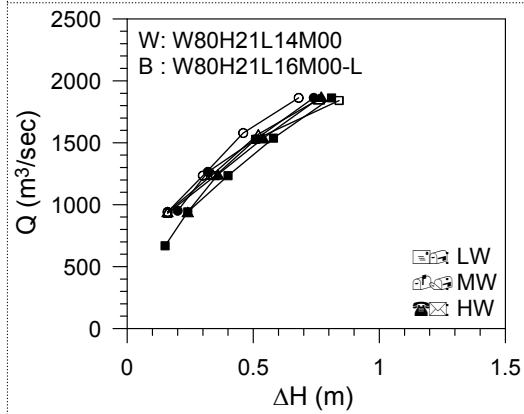
W80H21L16M00-L / T17a



수치모형실험 결과



수리모형실험 결과



<그림 3-4-2-27> W80H21L14M00 및 W80H21L16M00-L 모형의 통수성능 비교

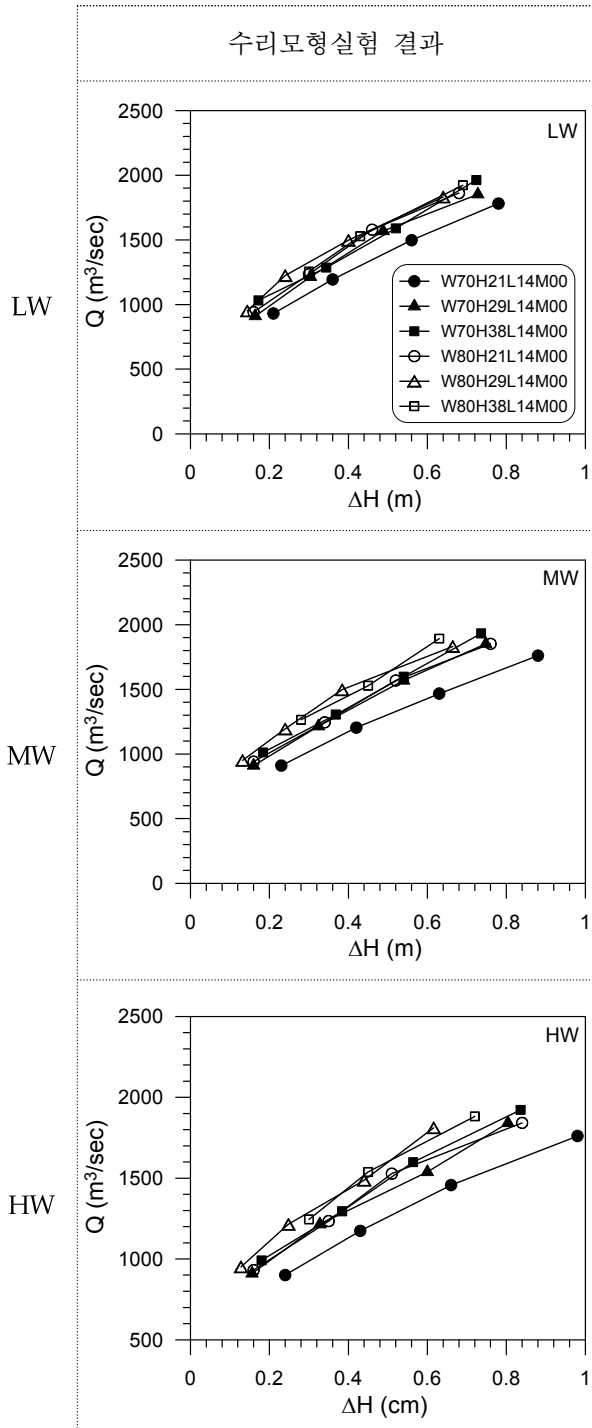
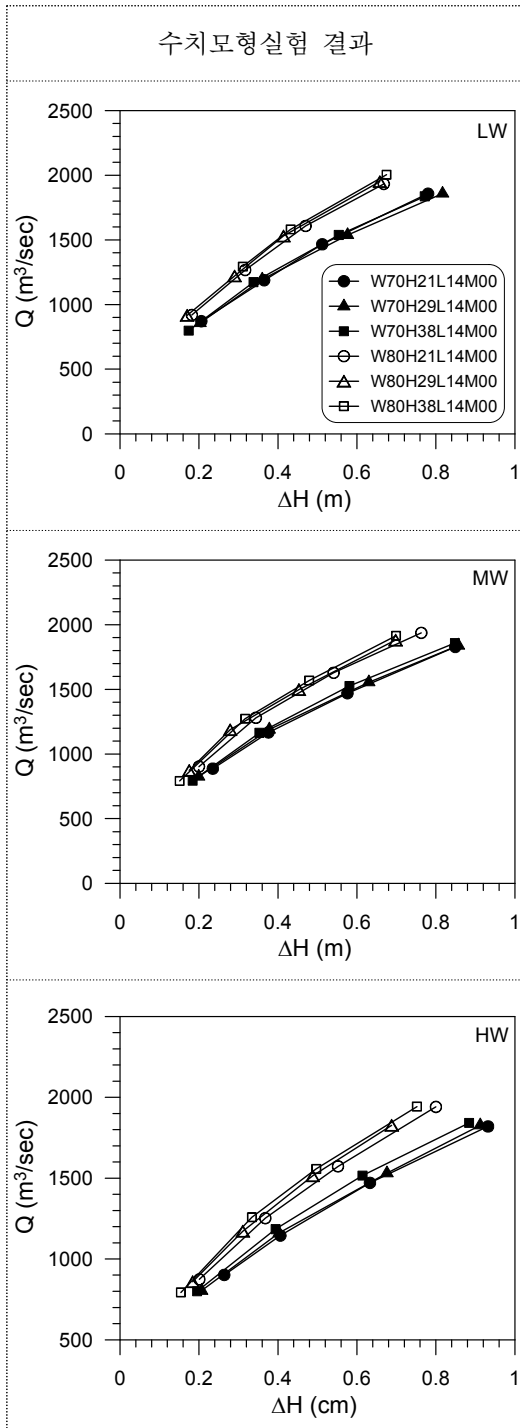
3. 고효율 수문형상 도출 및 유량특성

본 연구에서 검토 대상으로 삼은 수문형상을 토대로 통과유량이 가장 많은 수문구조물 형식을 선정하기 위하여 <그림 3-4-3-1> 및 <그림 3-4-3-2>에 보인 것처럼 최소단면의 바닥 길이를 축소하여 제작한 모형 여섯 가지에 대하여 각각 사석마운드가 설치되어 있는 경우와 없는 경우의 수두차와 유량의 관계 곡선을 도시하였다.

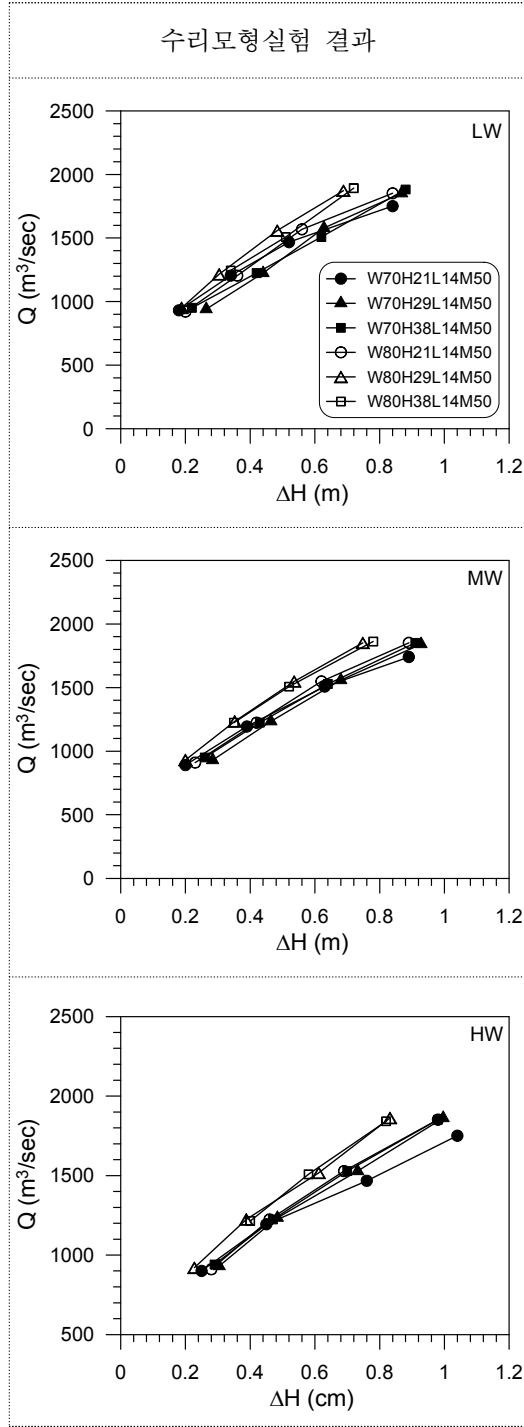
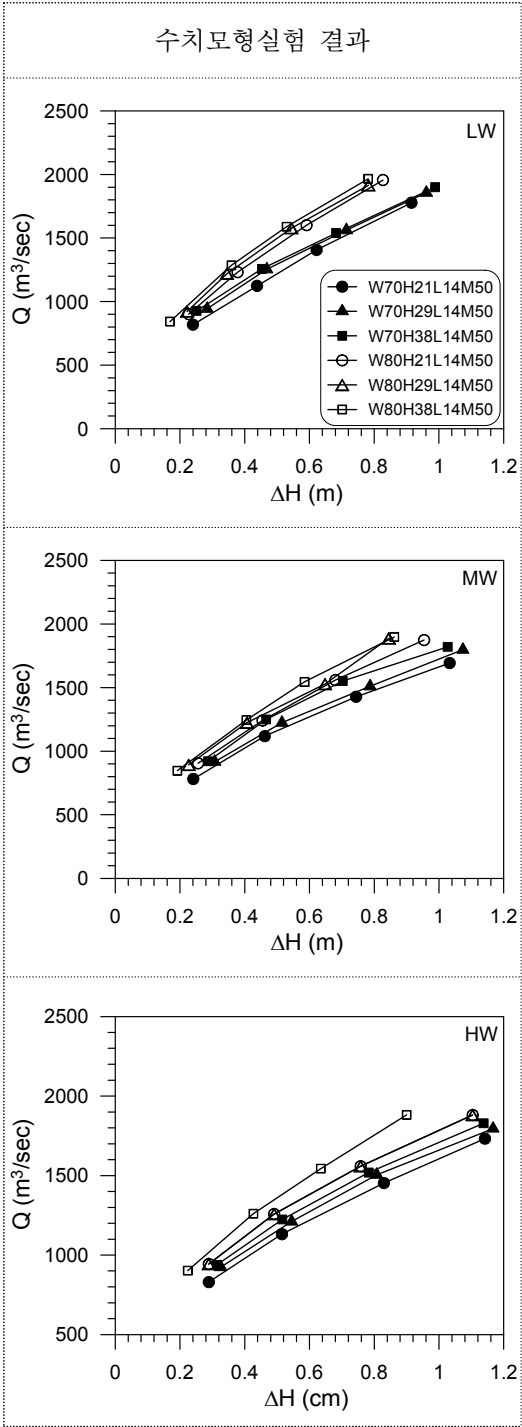
수치 및 수리모형실험의 결과 모두 수문구조물 최소단면의 폭이 전체 폭의 80%인 경우에 통과유량이 더 많았다. 그 세 가지 모형은 최소단면의 바닥 높이가 조금씩 다른데, 이 모형들 사이의 통수성능 차이는 크게 나타나지 않았다. 그러나 이 두 그림을 자세히 살펴보면, W80H21L14M00/W80H21L14M50 모형에 비해서는 W80H29L14M00/ W80H29L14M50 또는 W80H38L14M00/W80H38L14M50의 모형의 통과유량이 근소하게 더 크음을 알 수 있다. 이 두 가지 중에서는 수치모형실험에서는 W80H38L14M00/ W80H38L14M50의 결과가 약간 더 우수하며, 수리모형실험에서는 W80H29L14M00/ W80H29L14M50의 결과가 약간 더 우수한 것으로 보인다. 그러나 이 정도의 차이는 수치 및 수리모형실험에서 개입되는 오차의 범위 내에 드는 매우 미세한 것이라고 할 수 있다.

이러한 점을 고려하여 이 연구에서는 W80H29L14M00 모형을 효율이 가장 좋은 최종적인 수문 형상으로 선정하였다. <그림 3-4-3-3>에 W80H29L14M00 모형의 도면을 제시하고 <그림 3-4-3-4>에는 수두차에 대한 통과유량 및 유량계수 값의 수치 및 수리모형실험 결과를 비교하여 제시하였다. <그림 3-4-3-3>의 도면에서 알 수 있듯이 고효율의 수문형상은 기존의 벤츄리형 또는 컬버트 형 수문의 중간 형태에 가깝다. 즉, 평면적으로는 수문의 통수단면적을 넓게 하기 위하여 내측으로 좁아지지 않고 직선형 측벽으로 유입부와 유출부가 연결되며 측면적으로는 최소단면 구간의 바닥이 여터 바닥보다 높이 솟아오르게 불룩한 형태이다.

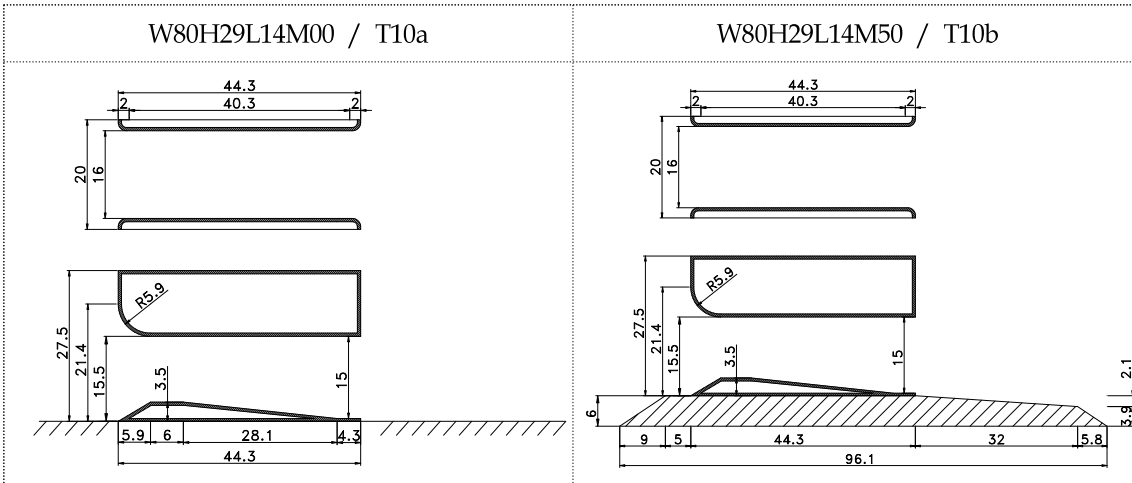
이 수문구조물의 유량계수는 $\Delta H \leq 0.5$ m 범위 내에서 사석마운드가 설치되지 않았을 경우에는 수치모형실험의 결과는 조위에 따라 2.4~2.6 사이의 값을 가지며, 수리모형실험의 결과는 2.7~2.8 사이의 값을 가진다. 한편, 사석마운드가 설치된 경우에는 수치모형실험의 결과는 2.2~2.4 사이의 값을 가지며, 수리모형실험의 결과는 2.3~2.6 사이의 값을 가진다. 이상의 결과를 근거로 하여 이 연구에서는 수문의 유량계수를 사석마운드의 유무에 따라 사석마운드가 있는 경우에는 2.3의 값을, 없는 경우에는 2.5의 값을 쓰는 것을 권장한다. 그러나 사석마운드가 있는 경우의 유량계수인 2.3도 기존에 설계사업 등에서 컬버트형 수문의 유량계수로 알려진 1.3을, 벤츄리형 수문의 유량계수로 알려진 1.8을 주로 사용하였던 것에 비교하면 각각 77% 및 28% 증가한 것이다. 특히 과거의 벤츄리형 수문과 비교할 때, 본 연구에서 제안하는 고효율 수문의 통수단면적이 더 크기 때문에 통수단면적의 증가율을 고려하면 통과유량의 증가율은 이보다 더 커지게 된다.



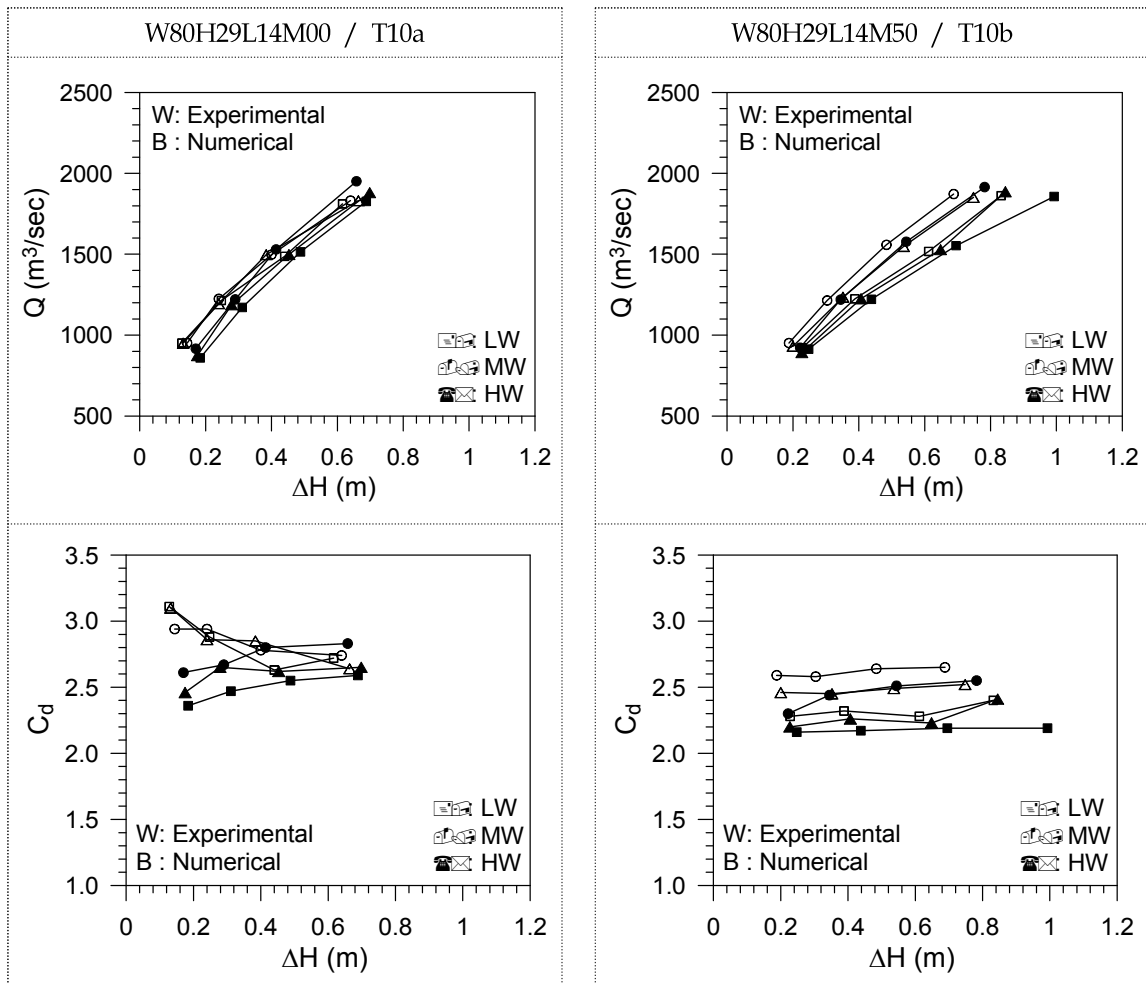
<그림 3-4-3-1> 고효율 수문형상 도출을 위한 수문모형의 통과유량 비교
(사석마운드 설치하지 않은 경우)



<그림 3-4-3-2> 고효율 수문형상 도출을 위한 수문모형의 통과유량 비교
(사석마운드 설치한 경우)



<그림 3-4-3-3> W80H29L14M00 및 W80H29L14M50 모형의 단면도

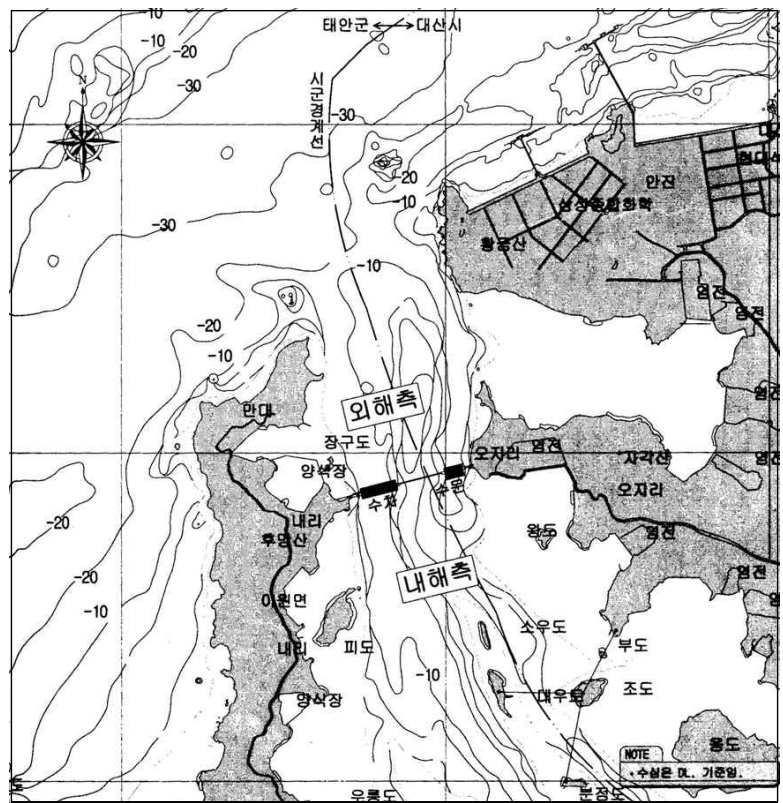


<그림 3-4-3-4> W80H29L14M00 및 W80H29L14M50 모형의 유량특성

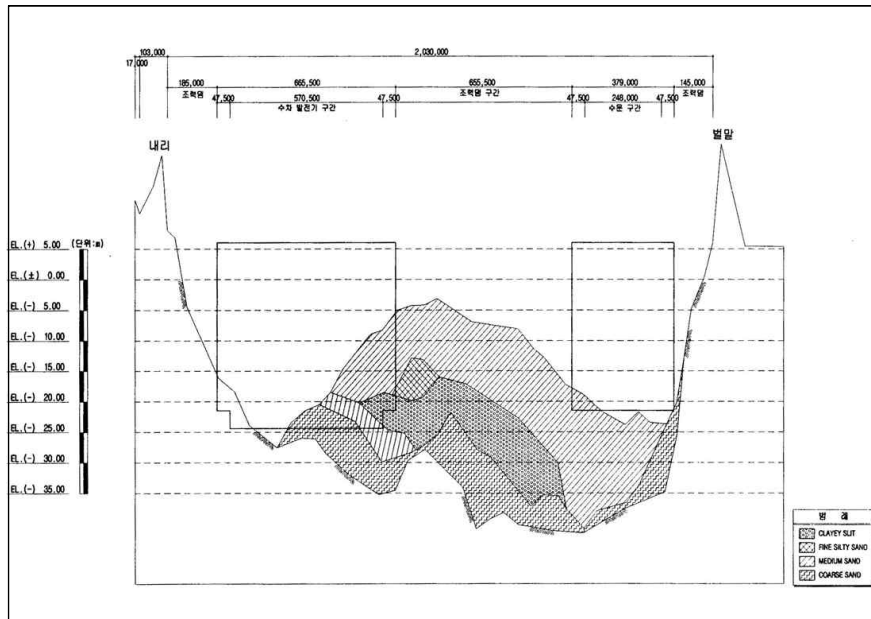
제5절 가로림 조력발전 후보지에 대한 적용

1. 가로림 조력발전소의 개요

가로림 조력발전소(안)는 1974년과 1978년 실시된 서해안에서의 부존자원에 대한 연구 결과와 1976년, 1981년, 1984-86년에 실시된 가로림 현장관측 및 분석, 그리고 1980-81년 실시된 가로림 조력발전소 타당성 조사 등을 통하여 우리나라 서해안에서 조력발전 개발 가능성이 가장 높은 후보지로 거론된 바 있는 유력 조력발전 후보지이다.



<그림 3-5-1-1> 가로림만 조력발전 위치도



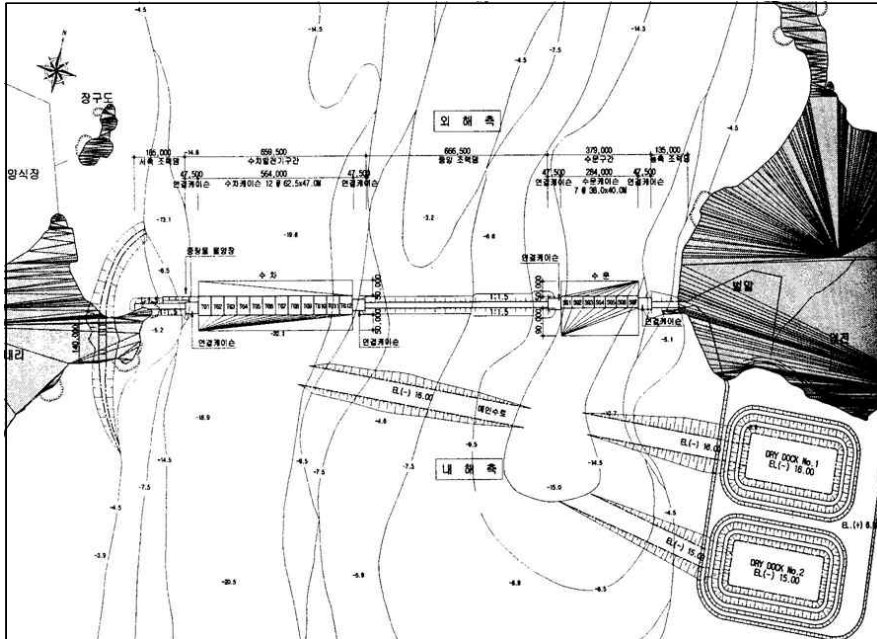
<그림 3-5-1-2> 가로림만 수심 및 지층단면도

1981년 보고서에서는 가로림 조력발전사업에 대하여 기술적, 경제적 측면에서의 타당성을 검토하여 최적시설용량으로 480MW, 공사기간 약 6년, 건설비 약 633백만 달러(1982년 기준)를 제시한 바 있으며, 당시의 내부수익률은 11.11%, 그리고 편익비용비는 1.189로 조력발전소의 건설 타당성이 있는 것으로 평가하였다. 그러나 1981년 이후 지속적으로 유가가 하락하고, 건설비용이 증가함에 따라 1986년 한국전력공사와 해양연구소가 가로림 조력발전에 대한 후속조사를 실시하였는데, 이때의 결과는 내부수익률이 5~6%로 감소하였으며, 편익비용비 역시 1 미만으로 분석되어 개발이 보류된 바 있다.

그 후 1991년 (주)홍용산업이 중국의 조력발전 실태자료를 분석하고, 동력자원부에서 이를 검토한 후, 중국에 조력발전 실태 조사단을 파견하였는데, 이 때 중국에서 개발된 조력발전 기술과 저렴한 기계설비 제작비와 함께 조력 발전을 전력 생산에만 사용하는 것이 아닌 수산 증양식과 같은 다목적 개발을 위하여 활용하는 것이 가능함을 확인함에 따라 1993년 “가로림 조력개발 타당성 조사”를 재차 수행하게 된다. 그 결과 가로림 조력발전소 (시설용량 480MW) 개발 시 (1) 단일목적으로 개발할 경우 편익비용비가 0.84로 개발경제성이 미흡하며, (2) 전력생산 외에 만해 수산양식 증대효과, 관광효과, 교통효과, 매립개발효과 등 부수적인 편익을 포함하면 개발경제성이 충분한 것으로 평가할 수 있으며, (3) 조력자원의 확보 차원에서 가로림만 이외의 조력개발 가능 후보지에 대한 조사 역시 시급히 해결해야 한다고 밝힌 바 있다.

1993년 가로림 조력개발 타당성 조사에서 조력발전소 배치계획을 보면, 조력댐 설치 구간은 가로림만 입구 부근의 서쪽 방향에 있는 내리와 동쪽 방향에 있는 별말을 잇는 구역이며, 발전소 구조물 배치의 주요 특징을 살펴보면 우선 낙조가 우세한 서측 수로에 수차발전기 구조물을 배치하고, 창조 우세인 동측 수로에는 수문 구조물을 배치하고 통선문은 서측의 내

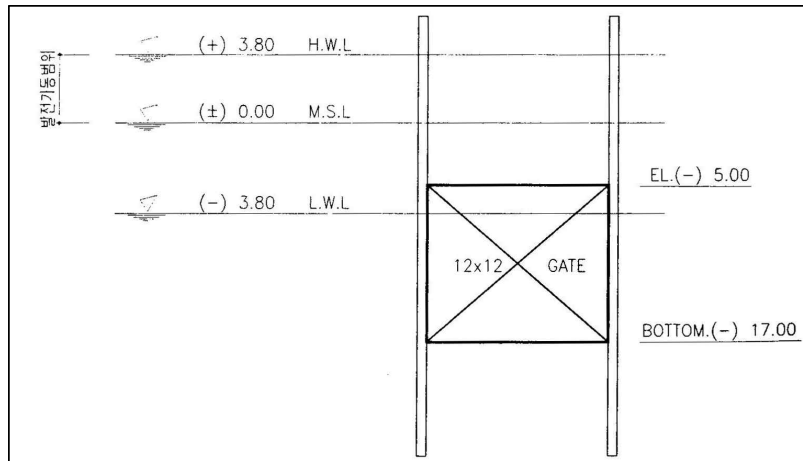
리쪽에 배치하였다. 한편 수차발전기, 수문, 통선문 등 해상에 설치되는 대형 구조물은 콘크리트 케이슨 형식을 선택한 바 있다.



<그림 3-5-1-3> 가로림만 배치 계획평면도

또한 수차발전기 및 케이슨의 규모는 20MW급 수차발전기 24대를 설치하며 총 480MW의 발전시설용량을 가지며, 케이슨은 12함을 육상에서 건조하여 설치위치까지 이동 한 후 설치하도록 하였다. 이는 최근 시화호 조력발전소에서 채택한 가물막이 공법과는 달리 육상의 Dry Dock에서 케이슨을 제작하여, 운반, 거치하는 공법이다. 한편 이 연구에서 중요하게 다루고 있는 수문 구조물은 벤츄리형을 적용하였고, 12m×12m의 수직인양식 문비를 사용하였으며, 케이슨의 제원은 B×H×L이 40.0m×27.5m×38.0m와 같다.

수문 케이슨 구조물의 기본단면과 관련하여, 문비의 위치를 살펴보면 다음과 같다. 수로의 표고는 문비의 위치에 따라 결정되는데, 문비의 위치는 발전소 가동시 조위의 변화와 관계없이 통수단면이 모두 물에 잠길 수 있도록 하여야 하고 이러한 조건에 맞게 다음 그림과 같이 문비의 위치를 결정하였다.



<그림 3-5-1-4> 문비 위치도

수문 케이슨의 기본단면을 구상하는데 있어 다음의 사항을 고려하였다.

- 수로의 단면곡선은 외해측으로 수로 상·하단에 완화곡선을 두며, 내해측은 수로 하단부로만 완화곡선을 계획
- 케이슨 수로의 양단은 Stoplog를 설치하여 수문의 설치, 검사 및 보수 시 작업이 가능하도록 계획
- 준설비용의 절감을 위하여 Dry Dock에서 케이슨 거치 위치까지의 케이슨 항로의 소요 수심이 최소가 될 수 있도록 1차 콘크리트 양을 최소로 계획
- 케이슨 거치 후 자중을 증가시키기 위하여 케이슨 벽체 및 바닥의 단면을 중공형태로 설계하여 모래로 채울 수 있도록 계획
- 서해안 해안도로와의 연계를 고려하여 케이슨 상부에 계획되는 도로폭을 4차선 이상이 되도록 케이슨 폭을 계획

한편 가로림 조력개발 타당성 조사 시 사용된 수문의 유량계수, 즉 통수성능을 살펴보면 1986년 가로림 조력발전 후속조사에서는 벤츄리형 수문구조물에 대하여 1.9를 사용한 바 있으며, 이는 1993년 타당성 조사에서도 동일하게 사용된 바 있다. 한편 1997년 한국해양연구소에서 수행한 “조력발전시스템 최적화 연구”에서는 비록 가로림 조력발전소는 아니지만 인천만, 천수만, 해주만, 웅진만 등의 후보지에 대한 조력 발전량을 예측하면서 벤츄리형 수문구조물에 대하여 영국 Severn Barrage 사업에서 적용한 값을 그대로 적용하여 1.78을 적용한 바 있다. 따라서 1980년대 이후 조력발전에 의한 발전량 예측시 사용한 유량계수의 값은 벤츄리형 수문에 대하여 대략 1.78~1.9 사이의 값을 사용하고 있으며, 이는 상당히 보수적인 값을 알 수 있다.

제3절에서 소개한 바 있는 고효율 수문형상의 경우 벤츄리형 보다 통수단면이 크면서 유량계수 역시 사석마운드 유무에 따라 각각 2.5(사석마운드 있는 경우)와 2.3(사석마운드 없는 경우)을 제시하였으므로, 목표 발전량을 달성하기 위하여 필요한 수문의 함수를 크게 줄일 수

있음을 알 수 있다. 다음 항에서는 이와 같이 이 연구를 통하여 개발된 수문 구조물을 채택 하였을 때와 1993년도의 수문 구조물을 채택하였을 경우의 경제성을 비교하였으며, 경제성 비교에 앞서 고효율 수문형상을 적용한 수문 케이슨의 구조적 안전성, 설계·시공성을 먼저 검토하였다. 그리고 마지막으로 고효율 수문형상의 경우 벽체가 얇기 때문에 지진 발생시 구조적 안전성에 문제가 발생할 수 있음을 감안하여 별도로 흐름-구조물-지반 상호작용을 고려한 지진안전성 평가를 수행하였다.

2. 설계, 시공 및 경제성 평가

가. 수문구조물 기본설계

1) 기본단면구상

1993년 가로림 조력개발 타당성 조사시 검토된 수문구조물의 제원은 총길이 280m, 높이 26.5m, 폭 39.5m이며, 수문의 크기는 폭 12m, 높이 12m, 수문 설치대수는 14기로 통수면적은 2,016m² 이다.

금회 계획된 수문 구조물은 1993년 검토된 수문을 통과하는 유량과 동일한 조건으로 하여 총 길이 180m, 높이 27.0m, 폭 41.7m의 구조물을 설치하도록 하였다. 수문의 규격은 수치 및 수리모형실험을 통해 도출된 최적 수문형상인 14m×12m로 설계하였고, 수문 설치 대수는 10기로 타당성조사시보다 4기가 감소하였다.

구조물의 기본단면을 구성하는데 있어서 전제조건은 1993년 설계와 동일하게 하였으며, 설계한 수문구조물의 제원은 <표 3-5-2-2>와 같고 평면도와 단면도는 <그림 3-5-2-1>~<그림 3-5-2-6>과 같다.

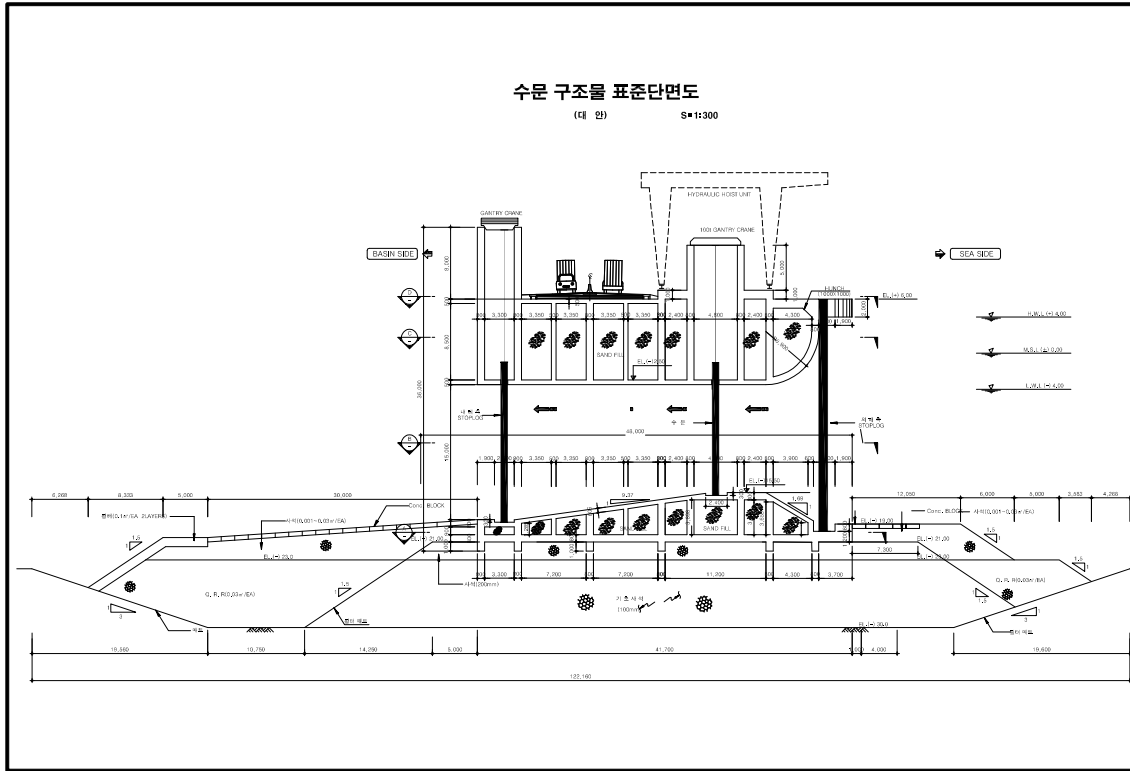
<표 3-5-2-1> 수문 문비의 제원

구 분	크 기	수 량	통수면적	비 고
1993년	12m×12m	14기	2,016m ²	
금회	14m×12m	10기	1,680m ²	

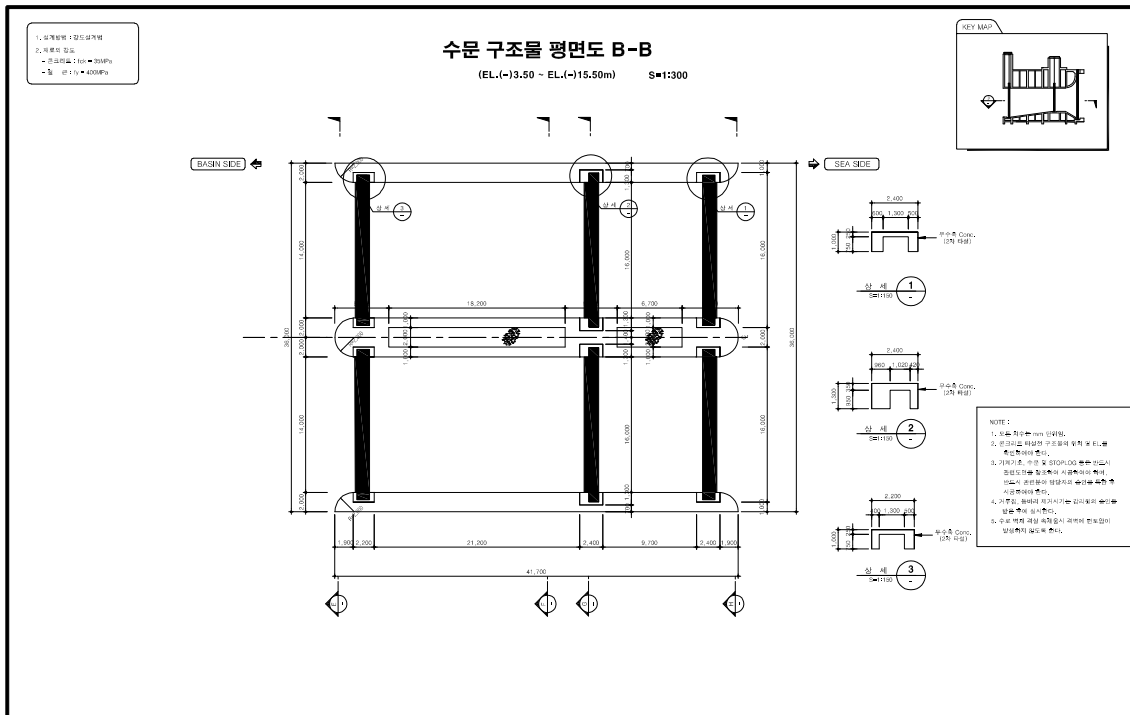
<표 3-5-2-2> 수문 구조물의 주요제원

(단위 : m)

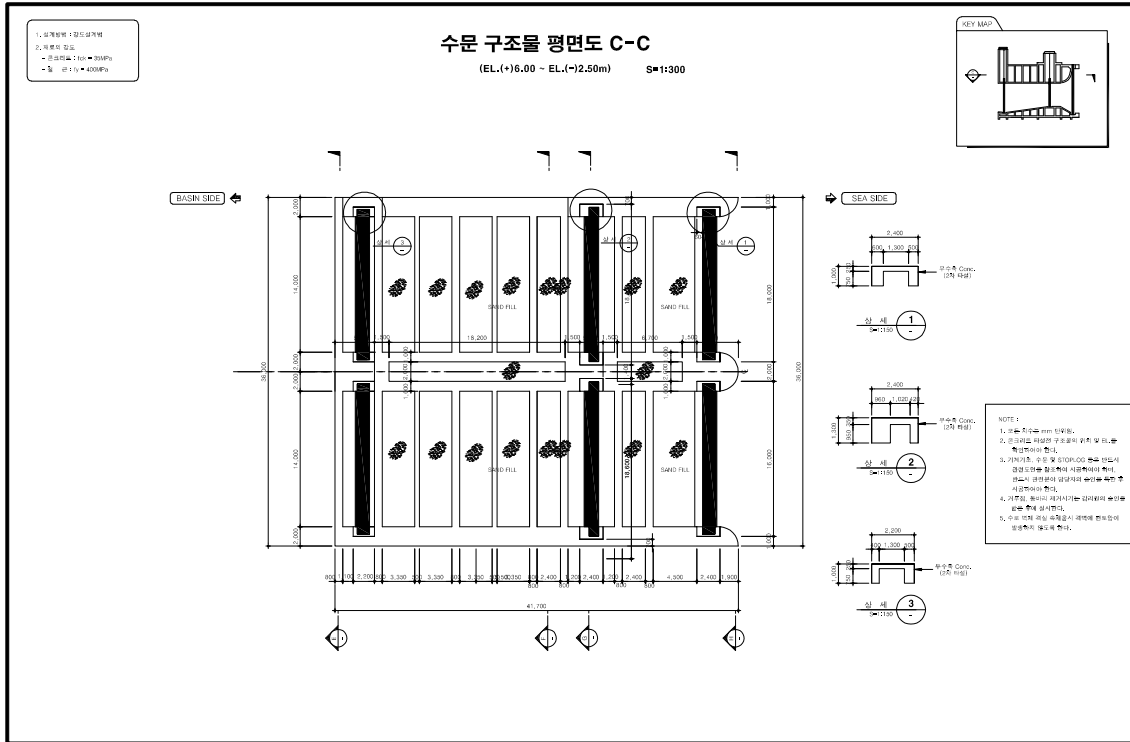
구 분		'93년 설계제원	금회 검토
폭		39.5	41.7
높 이		26.5	27.0
길 이		40.0	36.0
수 로 Inlet	Top EL	- 3.5	-3.5
	Bottom EL.	- 15.5	-15.5



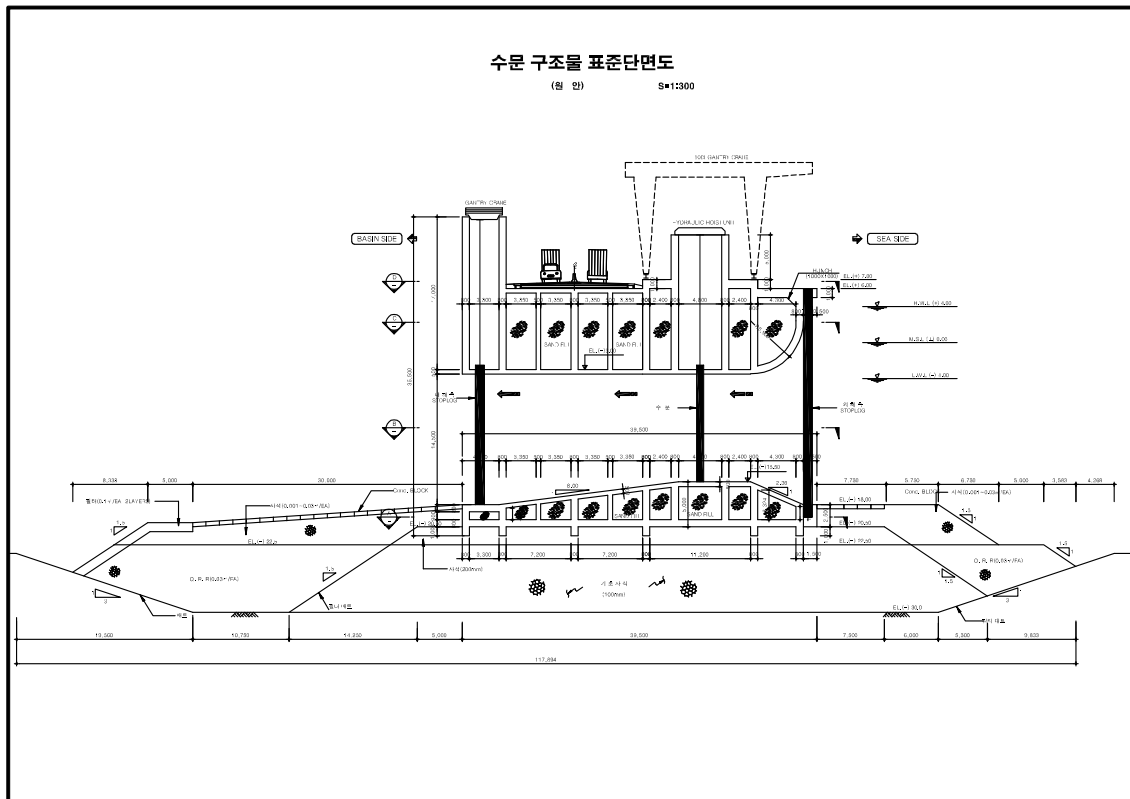
<그림 3-5-2-1> 수문 구조물 표준단면도(금회 설계)



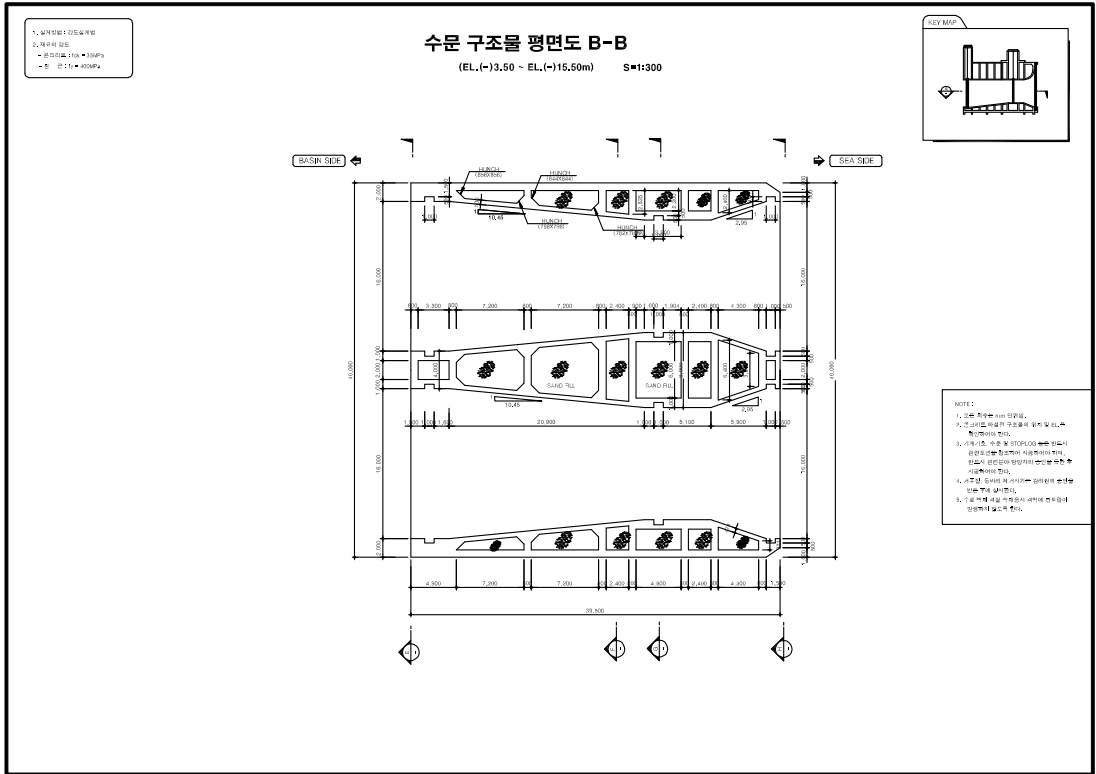
<그림 3-5-2-2> 수문 구조물 평면도(EL.(-)10.0m, 금회 설계)



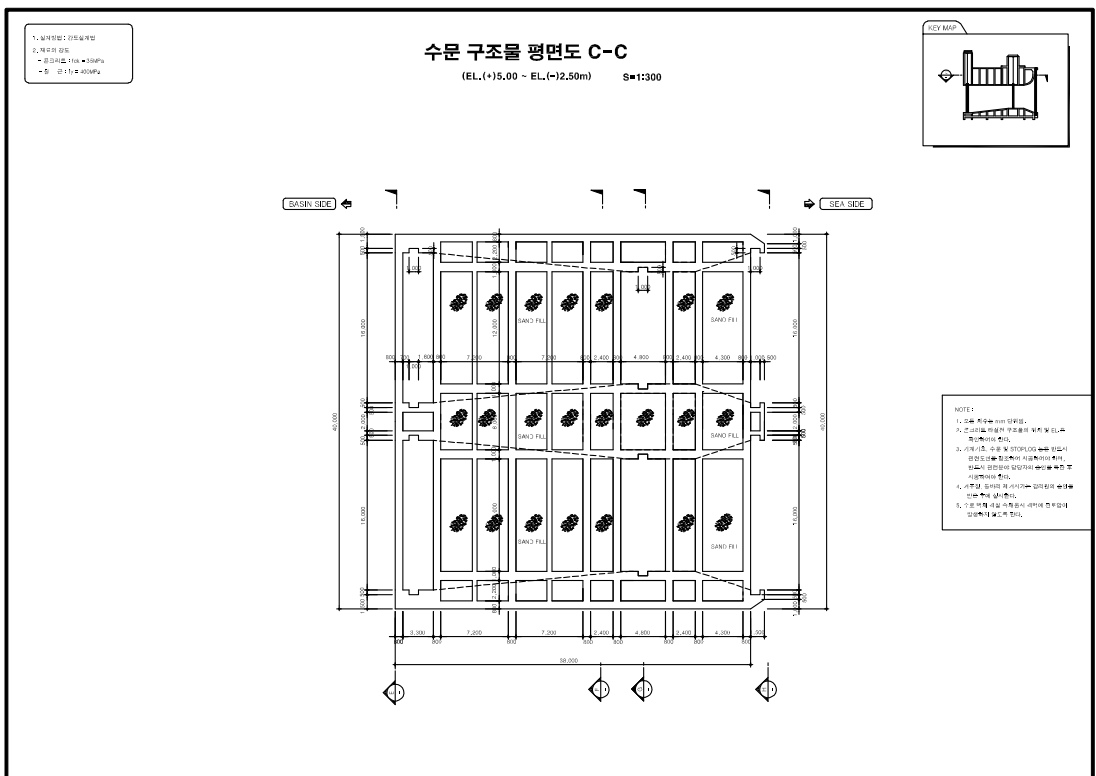
<그림 3-5-2-3> 수문 구조물 평면도(EL.(+)2.0m, 금희 설계)



<그림 3-5-2-4> 수문 구조물 표준단면도(1993년 타당성 조사시 설계)



<그림 3-5-2-5> 수문 구조물 평면도(EL.(-)10.0m, 1993년 타당성 조사시 설계)



<그림 3-5-2-6> 수문 구조물 평면도(EL.(+)2.0m, 1993년 타당성 조사시 설계)

2) 설계조건

본 설계시 검토된 설계조건은 2007년 가로림조력 기본설계시 수문구조물의 조건과 동일하게 적용하였으며, 주요 설계조건의 내용은 <표 3-5-2-3>과 같다.

재료조건의 경우 콘크리트의 강도는 35MPa 로 하였으며, 철근콘크리트의 단위중량은 수상조건의 24kN/m³로, 모래는 20kN/m³, 해수는 10kN/m³으로 적용하였다.

하중 조건으로는 자중, Gantry Crane과 Stop Log 등의 기기자중을 고정하중으로 하였으며, 이외에 활하중, 토압, 파압, 정수압(잔류수위), 조류력, 정수압(잔류수압), 지진력 및 부력 등을 포함하였다. 지진력의 경우 내진 1등급과 붕괴방지수준(CLE) 조건을 적용하여 관성력을 산정하였다(<표 3-5-2-4>).

<표 3-5-2-3> 설계조건

구 분	내 용	적 용
설계조위	가로림만 별말해상의 고극조위	EL.(+)4.349m
설계파랑	100년 빈도 유의파고	2.33m
설계 조류속	조류력 검토시	0.60m/sec
콘크리트 강도	철근 콘크리트	fck=35MPa
철 근	SD40	fy=400MPa
단위 중량	철근 콘크리트 모래(포화상태) 해수	24.0 kN/m ³ 20.0 kN/m ³ 10.3 kN/m ³

<표 3-5-2-4> 하중조건

구 분	내 용	적 용
고정하중	구조물 하중	구조물 자중 계산
	기기 하중(Stop-Log)	내해측(400 tonf) 외해측(330 tonf)
	크레인 하중(Gantry Crane)	내해측(100 tonf) 외해측(50 tonf)
활하중	상부도로부 및 유지관리용 도로부	4차선
조류력	조류속	60cm/sec
지진력	지역구분계수(1등급, 충청남도)	0.11
	위험도계수(1000년빈도, 붕괴방지수준)	1.40
	수평가속도계수	0.154

3) 수문 구조물 안정성 검토

수문구조물에 대해 활동, 전도 및 지반지지력에 대한 구조물 안정성 검토를 수행하였다.

<표 3-5-2-5> 수문구조물 본체의 하중집계

(단위 : 연직력 kN, 저항모멘트 kN·m)

구 분		정상운영시	유지관리시	비정상운영시
고정하중	자 중	연직력	294,952	294,952
		저항모멘트	5,421,824	5,421,824
	내부 속채움	연직력	185,099	185,099
		저항모멘트	4,364,767	4,364,767
	고정기기 하중	연직력	19,912	19,912
		저항모멘트	836,610	836,610
	StopLog 하중	연직력		7,940
		저항모멘트		131,130
해수 중량	연직력	178,182	93,817	
	저항모멘트	3,941,460	1,979,472	
활하중	분포 활하중	연직력	5,472	5,472
		저항모멘트	159,782	159,782
	크레인 하중	연직력		6,280
		저항모멘트		151,447
조 류 력		수평력	188	188
		전도모멘트	2,629	2,629
정 수 압		수평력	43,624	43,624
		전도모멘트	529,614	529,614
풍 하 중		수평력		1,402
		전도모멘트		36,793
파 압	파 력	수평력		15,090
		전도모멘트		264,484
	양압력	연직력		-5,728
		저항모멘트		-79,617
동수압	붕괴 방지	수평력		33,727
		전도모멘트		657,668
지진력 (붕괴 방지)	자중	수평력		50,024
		전도모멘트		704,959
	내부 속채움	수평력		28,505
		전도모멘트		534,374
	고정기기 하중	수평력		3,066
		전도모멘트		82,019
	StopLog 하중	수평력		1,223
		전도모멘트		15,554
부 력		연직력	-316,978	-316,978
		저항모멘트	-7,038,853	-7,038,853

4) 하중 조합

조합하중을 정상운영시, 유지관리시, 비정상운영시로 구분하였으며, 유지관리시 유로(2units 1block)는 1개 유로만 배수하는 것으로 하고, 비정상운영시 조건은 파압, 지진하중(붕괴방지 수준), 기기사고시의 하중을 적용하였다.

<표 3-5-2-6> 사용하중조합

구 분		D	L	CL	Q	T/Sw	W	Wa	E	B
정 상 운영시	CASE 1	1.0	1.0	-	1.0	1.0	-	-	-	1.0
	CASE 2	1.0	-	-	1.0	1.0	-	-	-	1.0
유 지 관리시	CASE 1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	-	-	-	1.0
	CASE 2	1.0	-	-	1.0	1.0	-	-	-	1.0
비정상 운영시	CASE 1	1.0	-	-	1.0	1.0	1.0	-	-	1.0
	CASE 2	1.0	-	-	1.0	1.0	-	1.0	-	1.0
	CASE 3	1.0	-	-	1.0	1.0	-	-	1.0	1.0

D : 고정하중, L : 활하중, Q : 터빈운영시 하중 (비정상시는 사고하중),
 T : 조 류 력, Sw : 정수압, W : 풍하중, Wa : 파압, E : 지진시 붕괴방지수준, B : 부력, CL : 크레인 하중

<표 3-5-2-7> 적용하중

구 분		연직력 (kN)	수평력 (kN)	저항모멘트 (kN · m)	전도모멘트 (kN · m)	비 고
정 상 운영시	CASE 1	366,639	43,812	7,685,590	532,243	
	CASE 2	361,167	43,812	7,525,808	532,243	
유 지 관리시	CASE 1	296,494	43,812	6,006,180	532,243	
	CASE 2	284,742	43,812	5,694,951	532,243	
비정상 운영시	CASE 1	370,218	45,213	7,407,108	569,035	풍하중시
	CASE 2	364,490	58,902	7,327,491	796,727	파압시
	CASE 3	370,218	159,134	7,407,108	2,511,263	지진시

5) 안정검토

<표 3-5-2-8> 안정성 검토결과

구 분		활 동	전 도	지 지 력	비 고
정 상 운영시	CASE 2	4.95 > 1.20	14.14 > 1.20	0.295 < 0.600	O.K
유 지 관리시	CASE 2	3.90 > 1.20	10.70 > 1.20	0.194 < 0.600	O.K
비정상 운영시	CASE 1	4.91 > 1.20	13.02 > 1.20	0.266 < 0.600	O.K
	CASE 2	3.71 > 1.20	9.20 > 1.20	0.246 < 0.600	O.K
	CASE 3	1.40 > 1.20	2.95 > 1.20	0.443 < 0.600	O.K

<표 3-5-2-9> 부력 검토결과

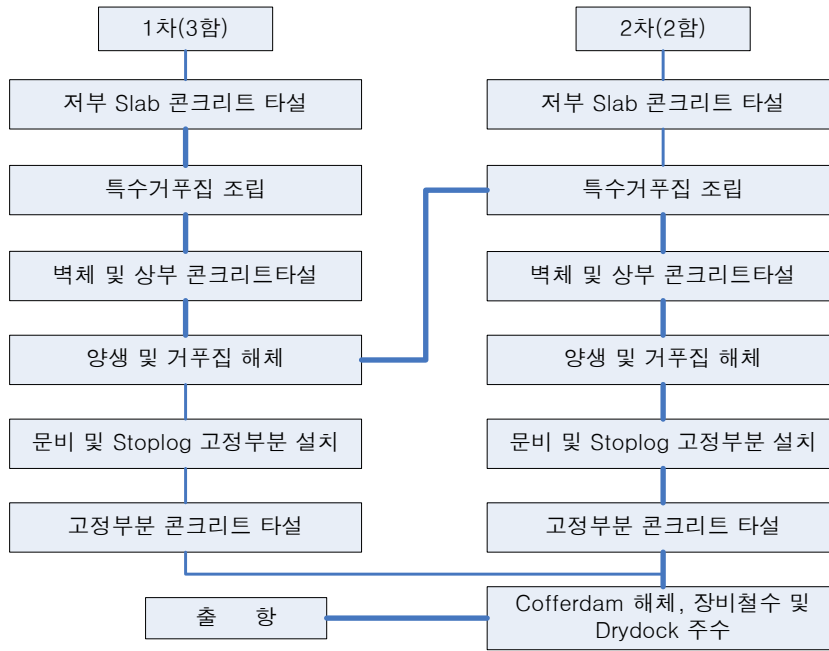
구 분	총고정하중 (kN)	부 력 (kN)	안 전 율	비 고
정상운영시	678,145	316,978	2.14 > 1.20	O.K

나. 시공계획

수문구조물의 시공방법은 1993년 가로림 조력 개발 타당성조사시 검토된 방법을 참고하였다(<그림 3-5-2-7>). 수차발전기 케이슨이 Dry Dock에서 제작되어 예인된 후 Dry Dock No. 1의 입구는 가물막이에 의해 다시 막고 수문케이슨을 제작토록 한다.

수문구조물 케이슨을 제작시 특수 거푸집을 3개조 사용하는 것으로 계획하여 3개함의 케이슨을 동시에 콘크리트 타설하는 것으로 계획하였다.

케이슨 인양 및 거치는 해상조건에서 수행하며 사용장비도 동일한 것으로 계획한다. 1함당 소요시간은 6~12시간으로 계획한다.



<그림 3-5-2-7> 시공 순서도

다. 사업비 산정

가로림 조력발전소의 사업비는 2007년 건설공사의 단가기준을 적용하여 산출하였다. 총공사비는 제경비 및 관리비, 예비비, 조사설계비 및 건설이자가 포함되었다. 또한 가로림에 적용된 1993년 타당성조사시의 수문구조물과 금회 검토된 수문구조물을 적용하는 안에 대해 산출한 총사업비를 비교하여 <표 3-5-2-10>에 제시하였다.

1993년 타당성 조사시와 금회 사업비를 비교할 때 수문구조물의 형상 및 설치 대수의 변동으로 토목공사비와 전기/기계공사비에서 차이를 나타냈다. 토목공사비중 수문구조물의 공사비는 수문 케이슨의 길이와 폭 증가로 소요되는 콘크리트의 양이 증가하여 케이슨당 제작단가는 증가하였으나, 총 케이슨의 수가 7기에서 5기로 감소하여 총 케이슨 제작비용이 감소하였다. 또한 구조물 기초공사비 및 운반거치비 등의 비용이 추가로 감소되어 약 12,146백만원의 공사비가 감소되었다.

폐합제의 경우 수문구조물의 폭원이 100m 감소함으로 인하여 중앙 및 동측폐합제의 연장이 증가하여 공사비가 약 2,461백만원이 증가하였다. 전기/기계공사비의 Sluice-Gates의 경우 수문단면의 폭이 12m에서 14m로 증가하여 수문제작 단가는 증가하였으나 총 수문개수의 감소로 약 3,192백만원이 감소하였다.

금회 검토한 수문구조물만의 순공사비 감소는 12,146백만원으로 약 27% 정도 감소하였으며, 전체 공사비는 18,028백만원의 감소로 원안에 비해 약 2% 정도 절감하는 것으로 나타났다.

따라서 조력발전소의 규모가 커져 토목공사비의 비율이 증가하게 되면 수문구조물의 비용 절감의 효과가 더 커지며, 시화 방조제나 새만금 방조제와 같이 방조제가 건설된 대상지에 조력발전소를 적용하게 되면 사업의 경제성은 더욱 증가할 것으로 사료된다.

<표 3-5-2-10> 총 사업비 집계표.

(단위 : 백만원)

구 분	금액		비 고
	원안	대안	
1. 보상비			
가. 육상 보상비	6,994	6,994	
나. 어업권 보상비	62,442	62,442	
소 계	69,436	69,436	
2. 토목공사비			
가. 가설비	12,121	12,121	
나. 발전소 구조물	103,482	103,482	
다. 수문 구조물	45,550	33,404	감소
라. 폐합제(동측, 중앙, 서측)	24,077	26,539	증가
마. 통선문	9,092	9,092	
바. Cable Duck(154kV)	1,008	1,008	
사. Dry Dock	18,030	18,030	
아. 중물양장(5000DWT급)	5,118	5,118	
소 계	218,479	208,794	
3. 전기/기계공사비			
가. Turbine-Generator	394,395	394,395	
나. Sluice-Gates	19,153	15,961	감소
다. Stop-Log(Power Plant)	4,931	4,931	
라. Stop-Log(Sluice Gate)	2,948	2,948	
마. Lock 기계설비	9,350	9,350	
바. Gantry Crane etc.	6,835	6,835	
사. Switch Gear & Transmission	51,665	51,665	
소 계	489,277	486,085	
계(1+2+3)	777,192	764,315	
4. 예비비	101,900	100,065	(1+2)*15%+(3)*12%
5. 기술행정 관리비	53,255	52,127	(1+2)*10%+(3)* 5%
6. 조사, 설계, 감리비	18,263	17,731	(2)*5% + (3)*1.5%
합 계(1+2+...+6)	950,611	934,238	
7. 건설이자	96,064	94,409	연 5% 복리이자
사업비 계	1,046,675	1,028,647	

라. 경제성 분석

수문 구조물의 변경에 따른 가로림 조력발전 사업의 경제적 타당성을 분석하였다. 비용 산정에는 건설공사비와 운전유지비 및 재투자 비용을 고려하였으며 편익의 경우 2007년 타당성 조사(2단계)에서 검토한 내용을 참고하였다.

1993년에 설계된 가로림 조력발전의 수문 구조물과 금회 검토된 구조물의 적용에 따른 타당성을 분석하기 위해 연차별 현금 흐름표를 작성한 후 7%의 할인율을 적용하여 현재가치로 변환하여 순현재가치(Net Present Value, NPV), 편익/비용비(Benefit/Cost Ratio, B/C) 및 내부수익률(Internal Rate of Return, IRR)을 구하였다.

1) 비용

조력발전소 건설에 따른 비용 산정을 위해 발전소 건설에 직접 소요되는 발전설비 및 토목공사비 등 건설비용과 발전소 유지관리비와 가로림만내 어업권, 선박 및 기타 물권에 대한 보상비 등도 고려하였다. 2007년 타당성조사의 기준과 동일하게 2007년 2월 기준 불변가격을 기준으로 산정하였다.

가) 건설공사비

건설이자를 제외한 건설공사비는 건설기간을 5년으로 단계별 공정에 맞추어 투자계획을 수립하였으며 금회 검토된 총공사비는 934,239 백만원이다. 여기에는 육상물권 및 해상어업권 보상액이 모두 포함되어있다.

<표 3-5-2-11> 건설공사비의 연차별 투자계획

(단위:백만원)

구 분	제1차년도	제2차년도	제3차년도	제4차년도	제5차년도	합 계
1993년	71,102	170,698	173,768	205,906	329,139	950,613
금회 검토	69,877	167,758	170,775	202,359	323,470	934,239

주) 건설이자는 미포함.

나) 운전유지비 및 재투자 비용

연간 운전유지비는 총공사비의 1.7%를 발전소 건설 이후 매년 소요되는 것으로 계상하였다. 또한, 전기기계설비는 2007년 조사시와 같이 건설 이후 40년차에 발전설비 공사비의 1/2을 재투자하는 것으로 계상하였다.

2) 편익

가로림 조력발전소 건설로 인한 편익으로는 대체화력(연료편익과 공급지장비 절감 편익), 환경, 교량, 관광 및 수산증식 편익 등을 들 수 있다. 이 중에서 대체화력 및 환경 편익(이산화탄소 발생 절감 포함)은 발전편익이고, 이외의 교량, 관광 및 만내 수산증식 편익 등은 간접편익으로 볼 수 있다.

대체화력편익, CO₂ 회수편익, 환경시설 연간운영편익, 수산 증산편익 및 관광편익은 공사 완료(착공 후 6년차) 후부터 매년 각각 79,950 백만원, 20,523 백만원, 1,174 백만원, 51,165 백만원 및 18,150 백만원이 발생하는 것으로 계상하였다. 또한 환경시설 투자비(8,781 백만원)는 유연탄 및 LNG 발전소 수명기간인 30년마다 새로이 교체하는 것으로 가정하여 대체화력 건설기간인 44개월에 맞추어 가동직전 4년간 그리고 가동후 27~30년차에 각각 계상하였다. 그리고 충청남도 해안도로 건설계획으로 생기는 교량설치 예산절감액(120,853 백만원)은 건설비에 비례하여 착공 후 5개 년도에 나누어 계상하였다.

<표 3-5-2-12> 편익별 순현재가(NPV) 계산표

(단위:백만원)

구 분	금 액	비 고
관 광	139,333.25	
교 량	107,042.72	
수 산	545,008.04	
CO ₂ 회수	218,610.38	
환 경	20,708.08	
에너지	851,624.99	

3) 경제성 평가 결과

본 조사에서는 대체화력편익과 환경편익을 발전편익으로 하였으며, 이외의 간접편익으로 교량편익, 관광 및 내수면개발(수산증산효과) 편익을 산정하였다. 발전편익(에너지+환경)만을 고려할 경우 편익/비용비(B/C)는 0.90이고, 이때 내부수익율(IRR)은 6.10%이다. 여기에 수산 편익을 더하면 B/C는 1.46이 되고, 내부수익률은 10.72%가 된다. 즉 내부수익률은 1993년 타당성 조사시보다 0.02 정도 증가하는 것으로 나타났다.

그러나 최근 고유가 및 CO₂ 배출 규제 등에 따라 대체화력편익이 증가추세에 있어 조력발전 등 대체에너지 개발의 필요성이 대두되고 있으며, 콘크리트 등 건설 재료비 또한 증가하고 있어, 본 연구에 의한 건설공사비 감소는 향후 경제성 제고에 크게 기여할 것으로 사료된다.

<표 3-5-2-13> 편익에 따른 B/C ratio 변화 비교

고 려 편 익	원안	대안	비 고
발전(에너지+환경)	0.88	0.90	
발전 + 수산	1.44	1.46	
발전 + 관광	1.08	1.10	
총 편 익	1.74	1.77	

<표 3-5-2-14> 편익에 따른 내부수익율(IRR) 변화 비교

고 려 편 익	원안	대안	비 고
발전(에너지+환경)	5.96	6.10	
발전 + 수산	10.53	10.72	
발전 + 관광	7.70	7.86	
총 편 익	13.62	13.89	

마. 추가적인 건설비용 절감 효과

1993년 타당성조사에서는 수차 및 수문구조물을 별도의 건설편(Dry Dock)을 미리 건설하여 육상에서 제작하는 방안을 채택하였다. 그러나 근래에는 해상공사기술의 발전에 따라 수차 및 수문구조물의 수량이 매우 많은 경우가 아니라면 해상에 가물막이를 설치하여 구조물을 현장에서 직접 제작하는 방안도 유력한 것으로 평가되고 있다. 본 연구의 결과 수문구조물의 소요수량을 감소시킬 수 있으므로 가물막이공법을 채택할 경우 가물막이 공사량이 감소되어 공사비는 추가로 절감될 수 있다. 케이슨의 전체 길이의 감소분 100m에 해당하는 가물막이 공사비의 감소분은 개략 100억원 정도로 추정된다. 따라서, 가로림 입지의 경우 수문구조물의 개량에 따른 총 공사비 절감액은 2007년 2월 기준으로 약 280억원에 이르는 것으로 추정된다.

3. 흐름-구조물-지반 상호작용을 고려한 구조안전성 검토

가. 흐름-구조물-지반 상호작용을 고려한 지진해석기법의 개요

원자력 발전소, 대규모 댐 그리고 가스터미널 등과 같이 붕괴시 엄청난 인명 및 재산 피해를 줄 수 있는 구조물들을 제외하고는 1980년대 말 까지도 국내에서는 내진설계개념을 토목 구조물 설계시 사용하지 않았다. 그러나 1978년 규모 5.0의 홍성지진이 발생되어 지진에 대한 인식이 높아지기 시작하여 「건축물의 구조기준등에 관한 규칙」, 「고속철도 설계표준시방서」, 「도로교표준시방서」에 내진설계개념을 도입하여 일반 구조물 설계시 내진설계를 실시하도록 하였다.

우리나라에서 지진에 대한 인식이 고조되기 시작한 것은 1995년 1월 17일 규모 7.2의 “Hyogoken Nanbu” 대지진이 일본 고베지역을 강타하고 난 후이다. 이후 1996년에는 “한국 지진공학회”가 창립되었고 1997년 “서울대학교 지진공학연구센터”가 과학재단이 지원하는 우수연구센터로 지정을 받아 여러 기관에 속한 학자들로 연구팀을 구성하여 연구에 박차를 가하기 시작하였다. 한편 토목 및 건축구조물에 내진설계의 필요성을 인식한 건설교통부는 한국지진공학회에 의뢰하여 1997년 상위개념의 「내진설계 기준연구(II)」를 수행하기에 이르렀다. 상위개념의 「내진설계 기준연구(II)」에는 지역별 기본가속도, 등급별 설계수준성능목표, 그리고 가장 기본적인 내진설계 및 해석 절차를 수록하고 있다. 이후 교량 및 건축 구조물 설계시 내진성능을 검토하도록 하고 있으며, 특히 중요한 시설물의 경우 지반과의 상호작용을 고려한 지진안전성을 분석하고 있다.

이 항에서는 흐름-구조물-지반 상호작용을 고려하여 가로림 조력발전소 수문 구조물에 대한 지진응답해석을 실시하였다. 설계지반운동수준은 「댐설계기준」 및 「내진설계기준연구(II)」에 의거하여 지진구역 I 구역, 재현주기 1000년의 붕괴방지 수준인 0.154g를 적용하였고 시간이력해석에 사용한 지진파의 가속도시간이력은 2개의 실지진기록(Hachinohe, Ofunato 지진기록)과 1개의 인공지진을 국내설계응답스펙트럼에 부합하도록 수정·생성하여 적용하였다. 해석시 3축방향(수평 2축, 수직 1축) 동시 재하로 지진하중조합을 고려하였고 수직방향 입력지진은 수평성분의 2/3를 사용하였다.

나. 설계지진하중의 결정

지진발생시 구조물의 거동에 영향을 미치는 지반거동의 주요 요소는 지진의 강도, 주파수 특성, 그리고 지속시간 등이다. 관측점에서 이러한 지진의 특징은 단층의 진행, 지진파의 진행경로 그리고 국부적인 지반상태에 따라 달라진다. 왜냐하면 이러한 요소들은 과거의 많은 가속도 시간이력의 비교를 통하여 지진시 구조물의 거동을 결정짓는 중요한 역할을 했음을 알 수 있기 때문이다. 진동의 강도는 일반적으로 최대가속도를 이용하여 나타낸다. 그러나 이러한 하나의 요소만으로는 구조물에 영향을 미치는 지반진동의 전체적인 에너지를 표현하

기에는 불충분하다. 이러한 이유로 RMS(root-mean-square) 가속도 또는 주기범위에서의 스펙트럼 크기를 이용하여 지진의 진동에너지를 표현하게 된다. 지반진동의 주파수 특성은 Fourier 스펙트럼 또는 좀 더 일반적인 경우 응답스펙트럼을 이용하여 특징 지을 수 있다. 강진시에 비탄성거동을 보이는 구조물의 경우 지반진동의 지속시간은 특히 중요한 요소로 작용한다. 이러한 구조물에서 비탄성거동과 손상이 발생할 가능성은 지진시 강한 진동의 진동수에 크게 의존하기 때문이다.

전술한 바와 같은 지반운동의 특징을 반영하기 위하여 설계지반운동은 다음과 같은 사항을 고려하여 결정한다

- ① 설계지반운동은 부지 정지작업이 완료된 지표면에서의 자유장 운동으로 정의한다.
- ② 국지적인 토질조건, 지질조건, 지표 및 지하 지형이 지반운동에 미치는 영향이 고려되어야 한다.
- ③ 기본적인 지진재해도는 보통암 지반을 기준으로 평가한다.
- ④ 설계지반운동은 흔들림의 세기, 주파수 내용 및 지속시간의 세 가지 측면에서 그 특성이 잘 정의되어야 한다.
- ⑤ 설계지반운동은 수평 2축 방향과, 수직방향 성분으로 정의된다.
- ⑥ 설계지반운동의 수평 2축 방향 성분은 세기와 특성이 동일하다고 가정할 수 있다.
- ⑦ 설계지반운동의 수직방향 성분의 세기는 수평방향 성분의 3분의 2로 가정할 수 있고, 주파수 내용과 지속시간은 수평방향 성분과 동일하다고 가정할 수 있다.

전술한 내용을 고려하여 설계지반운동 수준을 결정한다. 설계지반운동 수준은 기본적으로 「내진설계기준연구(II)」에서 제시하고 있는 방법을 따른다. 우선 지진재해도 해석결과에 근거하여 다음의 표에 기술된 바와 같이 우리나라의 경기도와 강원도 남쪽을 두 개의 지진구역으로 설정하고 각 구역에서의 지진구역계수를 제시한다. 지진구역계수는 지진재해도의 적용을 간편하게 하기 위하여 남한지역을 지진의 발생빈도를 기준으로 하여 크게 두 구역으로 구분하여 결정한 계수이다. 각 지진구역에서의 평균재현주기 500년 지진지반운동에 해당하는 구역계수 Z 는 구역 I에서는 0.11, 구역 II에서는 0.07 이다.

<표 3-5-3-1> 지진구역의 구분

지진구역	행정구역	
I	시	서울특별시, 인천광역시, 대전광역시, 부산광역시, 대구광역시, 울산광역시, 광주광역시
	도	경기도, 강원도 남부, 충청북도, 충청남도, 경상북도, 경상남도, 전라북도, 전라남도 북동부
II	도	강원도 북부, 전라남도 남서부, 제주도

※강원도 북부(군, 시) : 홍천, 철원, 화천, 평창, 양구, 인제, 고성, 양양, 춘천시, 속초시
 강원도 남부(군, 시) : 영월, 정선, 삼척시, 강릉시, 동해시, 원주시, 태백시
 전라남도 북부(군, 시) : 장성, 담양, 곡성, 구례, 장흥, 보성, 여천, 화순, 광양, 나주, 여천, 여수, 순천
 전라남도 남부(군, 시) : 무안, 신안, 완도, 영광, 진도, 해남, 영암, 강진, 고흥, 함평, 목포시

<표 3-5-3-2> 지진 구역 계수 (재현주기 500년에 해당)

지진구역	I	II
구역 계수, Z(g값)	0.11	0.07

지진구역계수는 구분된 각 지진구역별로 평균재현주기 500년을 기준으로 결정되었으므로 표 2.3에서 평균재현주기별 최대유효지반가속도의 비를 의미하는 위험도 계수를 표시한다. 위험도 계수를 이용함으로써 다른 재현주기에서의 설계지반운동수준을 결정할 수 있다.

<표 3-5-3-3> 위험도 계수

재현주기(년)	50 년	100 년	200 년	500 년	1000 년	2400 년
위험도 계수, I	0.4	0.57	0.73	1.00	1.40	2.0

전술한 바와 같은 기준에 의하여 설계지반운동수준은 각 지역의 지역계수와 재현주기에 따른 위험도 계수를 고려하여 결정하도록 한다. 다만 좀 더 정확한 설계지반운동수준을 원할 경우에는 발주자와 협의하여 지진재해도를 이용할 수 있다.

지진에 의한 지반운동은 지반의 특성에 따라 달라지므로 지반의 특성을 반영할 수 있도록 하기 위하여 지반을 분류하여 그에 따른 지진계수를 정의하도록 한다. 지반분류는 「내진설계기준연구(Ⅱ)」의 분류를 따르도록 한다. 국지적인 토질조건, 지질조건과 지표 및 지하 지형이 지반운동에 미치는 영향을 고려하기 위하여 원칙적으로 지반을 다음과 같이 S_A , S_B , S_C , S_D , S_E , S_F 의 6종으로 분류한다. 여기서 지반종류 S_F 는 부지의 특성 조사가 요구되는 다음 경우에 속하는 지반에 해당한다.

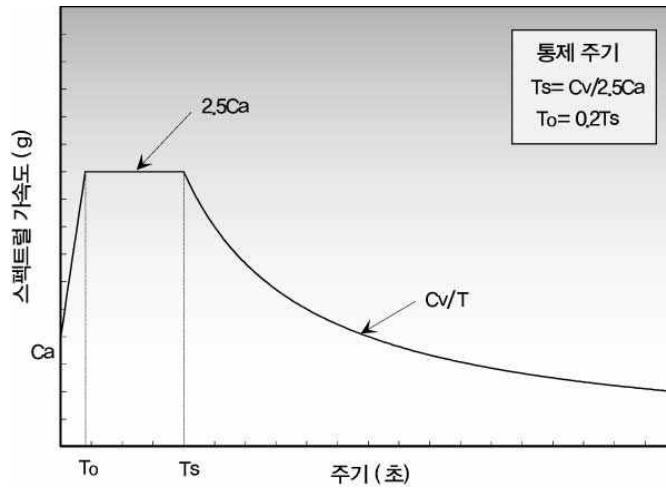
- ① 액상화가 일어날 수 있는 흙, Quick Clay 와 매우 민감한 점토, 붕괴될 정도로 결합력이 약한 붕괴성 흙과 같이 지진하중 작용시 잠재적인 파괴나 붕괴에 취약한 지반
- ② 이탄 또는 유기성이 매우 높은 점토지반 (지층의 두께, $H > 3$ m)
- ③ 매우 높은 소성을 갖은 점토지반 ($H > 7$ m 이고 $PI > 75$)
- ④ 층이 매우 두꺼우며 연약하거나 중간 정도로 단단한 점토($H > 35$ m)

<표 3-5-3-4> 지반의 분류

지반 분류	지반종류의 호칭	상부 30m 에 대한 평균 지반 특성		
		전단파 속도 (m/s)	표준관입시험 $\bar{N} (\bar{N}_{CH})$ (blow/foot)	비배수전단강도 \bar{S}_u
S_A	경암지반	1500초과	-	-
S_B	보통암지반	760에서 1500		
S_C	매우 조밀한 토사지반 또는 연암지반	360에서 760	> 50	> 100
S_D	단단한 토사지반	180에서 360	15에서 50	50에서 100
S_E	연약한 토사지반	180미만	< 15	< 50
S_F	부지 고유의 특성평가가 요구되는 지반			

지역적인 특성과 지반성질을 고려한 설계지반운동의 특성은 기본적으로 응답스펙트럼으로 표현한다. 다음 그림은 5% 감쇠비에 대한 표준설계응답스펙트럼을 표시한 것이다. 표준설계응답스펙트럼의 완전한 결정을 위해 요구되는 지진계수 C_a 와 C_v 의 값은 지반종류별, 지진구역별로 각각 주어져 있다. 필요시 구조물의 구조특성과 설계법을 고려하여 작성된 설계응답스펙트럼으로 표준설계응답스펙트럼을 대신할 수 있다. 이때 설계응답스펙트럼은 표

준설계응답스펙트럼보다 안전측이어야 한다. 단, 대안으로 제시된 설계응답스펙트럼이 주어진 표준설계응답스펙트럼보다도 더 우수하고 합리적임을 입증한다면, 표준설계응답스펙트럼보다도 비안전측인 설계응답스펙트럼을 사용할 수 있다.



<그림 3-5-3-1> 표준 설계응답스펙트럼

<표 3-5-3-5> 지진계수 C_a

지반종류	지진구역	
	I	II
S_A	0.09	0.05
S_B	0.11	0.07
S_C	0.13	0.08
S_D	0.16	0.11
S_E	0.22	0.17

<표 3-5-3-6> 지진계수 C_v

지반종류	지진구역	
	I	II
S_A	0.09	0.05
S_B	0.11	0.07
S_C	0.18	0.11
S_D	0.23	0.16
S_E	0.37	0.23

시간이력해석을 위한 가속도 시간이력은 다음 사항에 따라 결정하도록 한다. 우선 「내진 설계기준연구(II)」에서 정의하고 있는 가속도 시간이력의 기본요건은 다음과 같다.

- ① 지반가속도 또는 속도나 변위의 시간이력으로 지반운동이 표현될 수 있다.
- ② 공간적인 모형이 필요할 때 지반운동은 동시에 작용하는 3개의 가속도 성분으로 구성되어야 한다.
- ③ 부지에서 계측된 시간이력이 사용되는 것이 원칙이나, 필요시에는 대상부지에서 기대되는 시간이력과 유사하다고 판단되는 다른 지역에서 계측된 가속도 시간이력 또는 인공 가속도 시간이력이 사용될 수 있다.

인공 가속도 시간이력의 요건은 다음과 같다.

- ① 인공가속도 시간이력은 응답스펙트럼과 잘 부합되도록 생성되어야 한다.
- ② 지반운동의 장주기 성분이 구조물의 거동에 중요하게 영향을 미친다고 판단될 경우에는 지진원의 발진기구 특성과 국지적인 영향을 고려하여 시간이력을 생성하여야 한다.
- ③ 인공가속도의 지속시간은 지진의 규모와 발진기구특성 전파경로 및 부지의 국지적인 조건이 미치는 영향을 고려하여 합리적으로 결정되어야 한다.

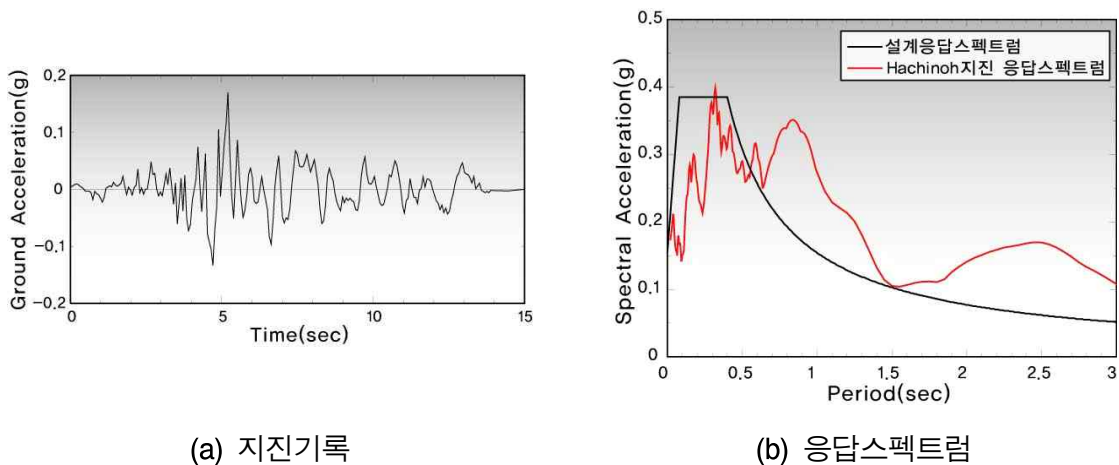
동적해석을 위한 가속도 시간이력은 내진설계를 하고자 하는 지점에서 바로 구한 지진기록을 이용하는 것이 가장 적합하다. 그러나 이러한 경우는 드물고 특히 국내의 경우는 사용할 수 있는 지진기록이 거의 없는 상태이므로 외국의 기록을 이용하여 해당 부지의 특성에 맞

게 수정하여 사용할 수밖에 없다. 이렇게 인공적으로 지진기록을 생성시키는 방법은 여러 가지가 있으나 크게 분류하여 보면 실제의 지반거동기록을 수정하는 방법, 시간영역에서 생성시키는 방법, 주파수 영역에서 생성시키는 방법, 그리고 Green 함수를 이용하는 방법 등이 있다. 이들 중에서 널리 쓰이는 방법은 기존의 지진기록을 수정하는 방법과 시간영역에서 인공적으로 생성시키는 방법이다.

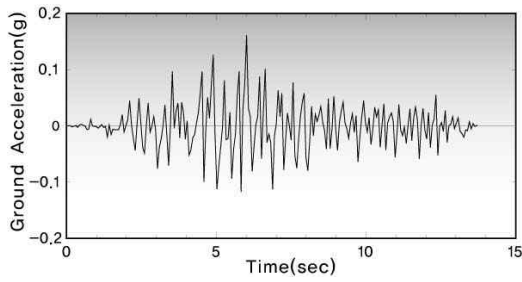
내진설계시 사용할 수 있는 실지진기록으로 Tokachi-oki(1968)와 Miyagi-ken-oki(1978) 지진 발생시 Hachinohe항과 Ofunato항에서 조사된 가속도 시간이력을 들 수 있다. 상기의 지진기록은 일본에서 내진설계에 가장 많이 이용되는 기록이다. 이들 각 지진의 제원 및 가속도 시간이력 곡선은 다음의 표 및 그림에 나타난 바와 같다. 여기서, Hachinohe항의 가속도 시간이력곡선은 기반암에서의 가속도 시간이력으로 수정한 것이며, Ofunato항의 가속도 시간이력곡선은 지표면에 노출된 기반암에서 조사된 기록으로 Hachinohe항의 지진기록보다 단주기의 지진임을 알 수 있다. 이와 같이 내진설계에 사용하기 위한 실 지진기록을 선택할 때에는 장주기 성분과 단주기 성분이 우세한 지진 모두를 고려할 수 있도록 선택하여야 한다. 이외에도 시간이력해석을 수행할 때 사용할 수 있는 지진기록은 인터넷을 통해서 구할 수 있다. 설계자는 해당지역의 특성과 설계강도를 고려하여 여러 지진기록중에서 필요로 하는 지진기록을 선택해야 한다.

<표 3-5-3-7> 계기지진의 제원

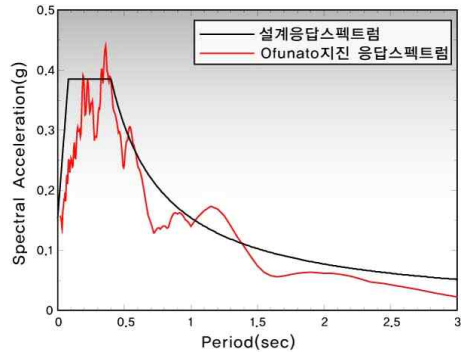
지진형태	제 원	지진규모	최대가속도
Hachinohe	1968년 3월 16일에 Tokachi 앞바다에서 발생	7.9	0.170 g
Ofunato	1978년 6월 12일에 Miyagi 현의 앞바다에서 발생	7.4	0.161 g



<그림 3-5-3-2> Hachinohe 지진의 지진기록 및 응답스펙트럼



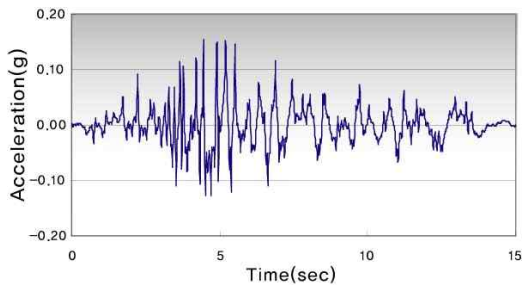
(a) 지진기록



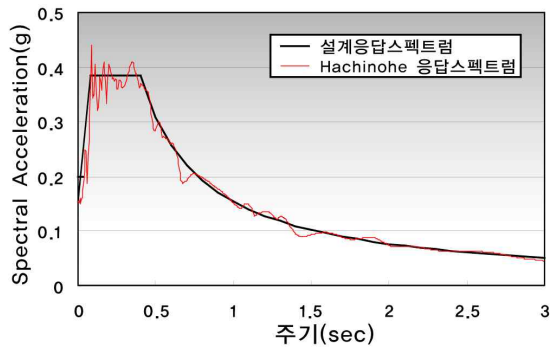
(b) 응답스펙트럼

<그림 3-5-3-3> Ofunato 지진의 지진기록 및 응답스펙트럼

Hachinohe 지진과 Ofunato 지진은 일본의 계기지진이므로 국내의 설계응답스펙트럼과 많은 차이를 나타내고 있다. 따라서 본 과업에서는 SIMQKE 프로그램내의 알고리즘을 이용하여 설계응답스펙트럼에 부합하도록 지진파를 수정하였다. 수정된 Hachinohe 지진과 수정된 Ofunato 지진을 원 지진과 비교하면 원 지진과 거의 유사한 지진파형을 유지하고 있음을 알 수 있다.

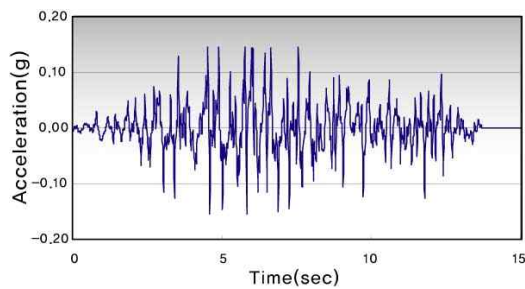


(a) 지진기록

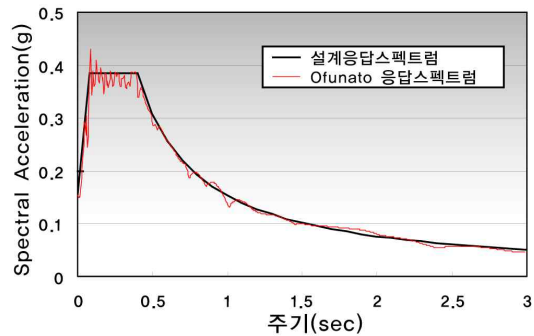


(b) 응답스펙트럼

<그림 3-5-3-4> 수정된 Hachinohe 지진의 지진기록 및 응답스펙트럼



(a) 지진기록



(b) 응답스펙트럼

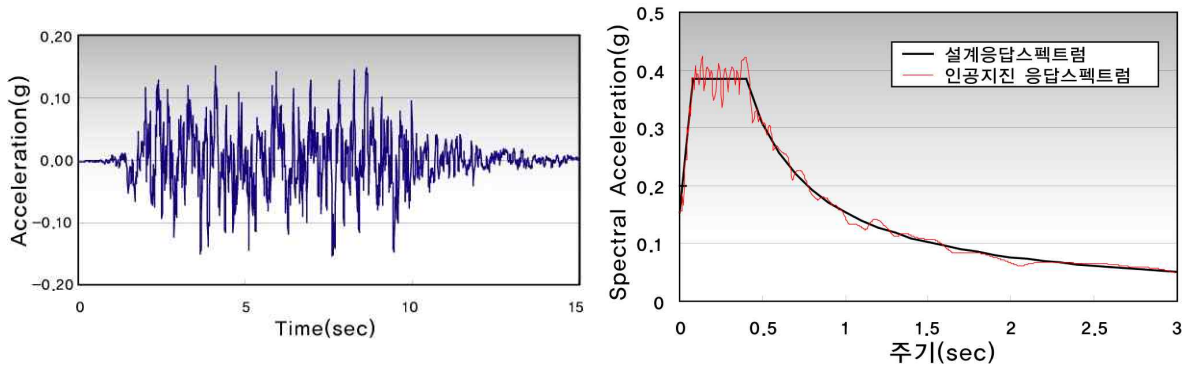
<그림 3-5-3-5> 수정된 Ofunato 지진의 지진기록 및 응답스펙트럼

내진설계시 상기의 지진기록과 같은 실제의 기록을 이용하여 동적해석에 사용할 수 있다. 그러나 시공하고자 하는 지역의 실제 지진기록이 존재하지 않는 상황에서 타 지역에서의 지진기록만으로 설계를 하는 것은 무리가 있다. 따라서 해당 부지의 지역적인 특성을 반영하는 인공적인 지진기록을 작성하여 내진설계에 반영하는 것이 필요하다.

수정된 Hachinohe 지진과 Ofunato 지진은 일본에서 발생한 지진이므로 현장지반의 여건과 국내 설계응답스펙트럼을 반영할 수 있는 인공지진파를 작성하여 추가적으로 지진해석에 이용하였다. 인공지진을 작성하기 위한 진도포락함수는 특정지역에서 발생한 가속도 시간이력의 기록을 사용하여야 그 지역의 지반특성에 따라 계산될 수 있으며 일반적으로 사다리꼴, 지수형, 복합형과 같은 세 가지 서로 다른 형태를 주로 이용한다. 본 과업에서는 복합형 포락선 형태의 인공지진을 SIMQKE를 이용하여 복합형 포락선의 특성을 갖도록 작성하였다. 인공지진의 제반 특성은 다음 표에 나타난 바와 같고 작성된 인공지진의 시간이력곡선을 설계응답스펙트럼과 비교한 결과 생성한 인공지진이 설계응답스펙트럼과 잘 맞는 것을 알 수 있다.

<표 3-5-3-8> 인공지진의 특성

지진형태	최대지반가속도	지속시간	강진시작시간	강진지속시간
복합형 포락선	0.154g	15초	2초	8초



(a) 지진기록

(b) 응답스펙트럼

<그림 3-5-3-6> 인공지진의 지진기록 및 응답스펙트럼

라. 구조물-지반 상호작용 해석

지진에 의한 구조물의 응답을 구하고자 할 때 제일 먼저 결정하여야 할 사항은 “지반-구조물 상호작용 효과”의 포함 여부이다. 보통 암반상에 건설된 구조물은 지반-구조물 상호작용 효과가 거의 없기 때문에 이 효과를 무시할 수 있다. 보통 암반은 전단변형도가 10^{-6} 이하일 때 전단파속도가 3500 ft/sec(약 1070 m/sec) 이상인 지반을 말한다. 지금까지 국내에 원자력발전구조물은 대체적으로 암반상에 건설되어 왔으나 원전 부지의 제한성으로 인하여 보다 약한 지반에 건설될 가능성이 높아지고 있어서 지반-구조물 상호작용 해석에 관한 기술 확보가 시급한 실정이다.

지반-구조물 상호작용해석에 관한 연구는 1960년대 말부터 시작되어서 현재까지 많은 이론적, 실험적 연구가 수행되어 왔다. 국내에서는 1980년대 초반부터 대학과 관련 기업을 중심으로 연구되어 왔으며 대형구조물의 증가와 지진해석기술에 대한 관심이 증가하면서 최근에는 다양한 분야로 연구가 확대되고 있다. 지반-구조물 상호작용 효과에 관한 연구는 무한지반의 수치적 모형화 방법, 재료 및 경계의 비선형성, 간극수의 거동 등에 대하여 수행되어 왔으며, FLUSH, SASSI, CLASSI, HASSI 등과 같은 많은 범용 지반-구조물 상호작용해석용 전산 S/W가 개발되어 실무에 활용되고 있다. 그러나 지반의 모형화방법, 해석절차 등이 통일성이 적고 S/W에 따라서 해석결과가 다르며 계수의 산정법 등이 달라서 각 S/W의 비교 연구가 중요하게 되었다. 이런 배경에서 현장시험을 통한 각 S/W의 검증이 필수적인 요소가 되었으며 Lotung, Hualien과 같은 국제공동 현장시험 프로젝트가 시작되었다. Lotung 현장 시험은 미국과 대만에 의하여 대만의 Lotung에서 수행되었으며, Hualien 프로젝트는 한국, 미국, 일본, 대만, 프랑스 5개국이 참여하여 수행하였다. Hualien 프로젝트는 대만의 花蓮(Hualien)에 원자력발전 격납구조물의 1/4 축소 구조물을 만들어서 강제진동시험, 현장지진 계측 등을 하여, 여러 가지 지반-구조물 상호작용해석용 S/W들을 비교하고, 지반의 비선형거

동 등에 대한 고찰을 함으로써 각 해석법들 간의 차이점을 분석하고, 궁극적으로 지반-구조물 상호작용해석법들을 개선하는데 목적이 있었다.

지반-구조물 상호작용 효과는 크게 2가지로 정리할 수 있다. 첫번째는 구조계의 강성변화이고, 두번째는 방사감쇠의 추가로 인한 구조계의 감쇠 증가이다. 이런 효과는 지반의 적층 특성, 물성치 및 입력지진의 주파수특성에 따라 다르게 나타난다. 이런 복잡성 때문에 지반-구조물 상호작용을 고려한 해석은 고정지반가정에 의한 해석에 비하여 응답이 크게 산정되기도 하고 작게 산정되기도 하여 일률적인 해석결과를 나타내지는 않는다. 그러므로 중요한 대형구조물의 지진해석에는 지반-구조물 상호작용 효과를 고려하여 해석하여야 한다.

지진이 작용하는 경우 댐이나 원자력발전소의 격납구조물과 같은 거대 구조물의 지진응답은 실험과 계측 및 해석경험 등에 의하여 지진자체의 특성과 구조물이 건설된 지반의 조건, 구조물의 동적거동 특성 이외에도 지반과 구조물의 동적 상호작용효과에 의하여 매우 큰 영향을 받음을 알게 되었다. 지진에 의하여 발생된 응력파는 진원으로 부터 지반을 매체로 하여 구조물의 기초에 도달하게 되며, 이에 의하여 구조물의 기초와 구조물이 운동을 시작한다. 또한 기초를 포함한 구조물의 운동에 의하여 유발된 구조물의 관성력은 다시 기초를 통하여 지반에 작용하게 된다. 이와 같이 지반과 구조물이 서로 연관되어 운동하는 현상을 지반-구조물 상호작용(Soil-Structure Interaction, SSI)이라고 한다. 지반-구조물상호작용은 특히 강성이 크고 부피가 큰 대형구조물이 상대적으로 연약한 지반에 위치한 경우에 그 영향이 큰 것으로 알려져 있다.

우리나라의 경우 전반적으로 원자력발전소와 같은 대형구조물이 건설되는 지반은 암반과 같이 매우 양호하여서 실제 설계과정에서 지반-구조물 상호작용을 고려하지 않아왔으며 최종 단계에서 근사적인 방법을 사용하여 이의 효과를 검토하는 정도였다. 그러나 원자력발전소등의 건설부지 확보가 점점 힘들어지는 현재의 상황을 고려할 때 보다 연약한 지반조건에서의 건설이 필요함에 따라 지반-구조물 상호작용을 고려한 해석이 중요한 문제가 되었다. 세계적으로도 원자력발전소 격납구조물이나 고정식 해양구조물 등과 같은 대형구조물은 지진해석시 지반-구조물 상호작용효과를 반드시 고려하여야 하는 것으로 인식되고 있다. 지반-구조물 상호작용을 고려하여 지진해석을 하는 경우, 해석은 크게 두 단계로 이루어진다. 첫 번째 단계는 자유장해석으로서 구조물이 설치되지 않은 지반에서 계측된 지표나 지반내의 지진기록으로 부터 지반내 임의의 위치에서 운동을 구하는 것이다. 두 번째 단계는 실제의 지진해석으로 주로 전단계에서 구해진 자유장운동을 입력으로 사용하여 구조해석을 수행하게 된다. 가로림 조력발전소 수문구조물의 경우 암반이 깊지 않으므로 여기서는 지반을 구조물과 함께 모델링하여 지반과의 상호작용을 고려할 수 있도록 하였다.

마. 흐름-구조물 상호작용 해석

1) 유사정적해석법

유사정적법은 진도법과 수정진도법으로 구분된다. 진도법은 케이슨 안벽구조물과 같이 강성이 큰 구조물에서는 지반가속도와 동일한 가속도가 등분포 형태로 구조물에 작용한다는

가정에 기초한 계산법이다. 반면 수정진도법은 댐의 동적 특성을 고려하여 지진하중이 상부로 갈수록 증폭되는 효과를 고려한 진도법을 보완한 것이라 볼 수 있다. 자세한 사항은 아래에 기술한다.

- 진도법

지진에 의한 구조물의 거동응답이 시간의 함수이므로 동역학적인 해석을 적용해야 하나, 거동응답이 시간에 따라 서로 다른 값을 갖게 되어 해석이 어렵고 복잡하게 된다. 따라서 이를 정역학적인 방법으로 전환하기 위하여 임의의 시간에서 발생하는 응답값 중 최대응답으로 한정하면 Newton의 제 2법칙에 따라 생기는 관성력으로 표현할 수 있다.

$$f = m \cdot \ddot{u}_{g, \max} \quad (3.5.3.1)$$

여기서 최대지반가속도 $\ddot{u}_{g, \max}$ 대신에 지역별로 발생된 최대 지반가속도를 통계처리한 값, 즉 설계진도 K 로 대체하면 아래와 같이 유도된다.

$$f = m \cdot K \quad (3.5.3.2)$$

상기 식에서 질량대신에 무게를 대입하면 다음과 같이 된다.

$$f = \frac{W}{g} \cdot K = W \cdot k_f \quad (3.5.3.3)$$

상기 식에서 설계진도를 중력가속도로 나눈 값이 지반의 지진계수 k_f (g 단위)이다. 이 식이 정역학적인 해석을 위한 진도법의 최종식이며, 진도법에서는 설계지진계수와 체체의 무게를 곱하여 케이슨 안벽에 등분포로 작용시켜 지진력을 구한다.

한편, 3차원 지진해석의 경우, 요소 절점수가 2차원 지진해석모델에 비하여 매우 많으며, 따라서 동적해석에 많은 시간이 소요된다. 따라서 일반적으로 구조물에 대한 모드를 계산한 후, 주요 모드자료를 활용한 응답스펙트럼법이 실제 구조물의 3차원 지진해석을 위하여 많이 이용되고 있다. 그러나 케이슨 안벽구조물의 경우, 응답스펙트럼법으로 지진해석을 하는 것은 부적절하다고 판단되어 응답스펙트럼 해석은 수행하지 않았다. 응답스펙트럼법은 기본적으로 구조물의 모드자료를 활용하여 변위 및 내력을 계산하는 방법으로, 고층빌딩이나 교량 등과 같이 구조물의 저차 주요 모드가 전체적인 구조물의 동적거동을 90% 이상 지배하는 경우에 적절한 방법이다. 즉, 모드참여계수(modal participation factor)가 90% 이상이 되도록 사용하는 모드의 수를 추가하고 있다.

구조물에 작용하는 동수압은 Westergaard식을 이용한 동수압을 적용하고 있고, 지진에 의한 퇴사압은 고려하지 않는 것으로 하고 있다. 지진력이 작용한 경우에 발생하는 동수압은 다음의 Westergaard 식에 의해서 계산하며, 이것은 케이슨 안벽의 연직면에 수평으로 작용한다.

$$p_d = \frac{7}{8} W_w \cdot K_h \cdot \sqrt{H \cdot h} \quad (3.5.3.4)$$

여기서, p_d 는 수면으로부터의 수심 h 에 작용하는 동수압이며, W_w 는 물의 단위중량, K_h 는 설계수평진도, H 는 수위, h 는 수면으로부터 하중작용 위치까지의 수심이다.

- 수정진도법

진도법에 있어서는 벽체에 작용하는 관성력의 분포가 벽체의 어디에도 일정한 등분포로 작용한다는 것이 기본 가정이다. 그러나 이 가정은 체체의 고유주기가 극히 짧은 경우에만 적용되고, 고유주기가 길어서 진동변형(응답)이 일어나는 경우에는 적용이 반드시 합리적이라고 생각할 수 없다. 즉, 지진이 발생하면 지반과 동일한 진도의 관성력을 댐체에 정하중으로 작용시키는 방법의 경우에는 댐체 탄성계수에 상응한 벽체의 처짐이 생기고 동역학적으로는 그 만큼 벽체가 설계진도보다 상당히 큰 진도를 받는 것이 된다.

다시 말하면, 진도법에서는 지진하중이 지반진도와 댐체 진도가 동일하다는 가정이나, 수정진도법에는 실제 구조물의 동적특성이 고려되기 때문에 지진하중이 케이슨 벽체 상부로 갈수록 증폭되므로 지반진도가 케이슨벽체 진도와 상이하게 된다. 따라서 그 구조물의 진동특성을 가미한 진도인 수정진도법은 진도법과 달리 구조물의 고유주기를 산정하여 설계진도를 설정한다. 댐 설계기준의 경우, 지진력을 댐체의 기본진동모드에 따라 댐체 각부에서는 각각 다른 진도를 취해야 하며 일반적으로 댐체 진도가 지반진도보다 크다고 명시하고 있다. 따라서 수정진도법이 적용되기 위해서는 댐체 각부에서 각각 다른 진도를 취해야 하기 때문에 진도법의 설계지진계수를 보정 ($k_f \rightarrow k$) 해야 하며, 설계지진계수 산정 이후 나머지의 계산과정은 진도법과 같다.

$$f = W \cdot k \quad (3.5.3.5)$$

여기서, k 는 댐체의 기본진동모드와 높이에 따라 달라지는 계수이다. 한편, 관성력은 2000년 과학기술부에서 제시한 「특수구조물의 내진설계 및 내진성능 향상기법개발」 식을 사용하였다.

$$f = \frac{L_1}{M_1} \frac{k}{g} \Psi(y) \mathcal{W}(y) \quad (3.5.3.6)$$

여기서, $L_1 = \int_0^{H_s} \Psi(y) \mathcal{W}(y) dy$ (정규화된 지진력계수), $M_1 = \int_0^{H_s} \Psi^2(y) \mathcal{W}(y) dy$ (정규화된 질량계수)이고, k 는 설계지진계수이며, \mathcal{W} 는 구조체의 중량, Ψ 는 기본진동모드형상벡터, H_s 는 구조물의 전체 높이, y 는 높이에 관한 변수이다. 지진력계수 L_1 과 질량계수 M_1 은 다음과 같이 구할 수 있다.

2) 동적해석법

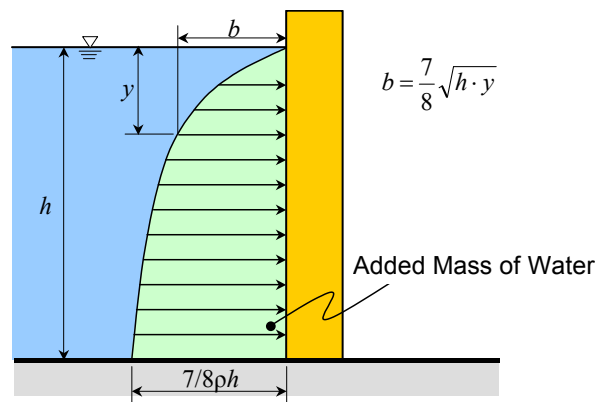
- 부가질량법

유사정적해석법인 진도법 또는 수정진도법을 이용한 해석으로는 구조물의 지진거동을 충분히 고려할 수 없으므로 동적해석을 실시하여야 한다. 부가질량법에 의한 동적해석시에는 유사정적해석에서와는 달리 동수압을 구조체에 부가된 질량으로 고려하여 해석을 수행하게 된다. 즉, 유체가 구조물과 같이 거동하는 부가질량으로 고려된다. 이때의 부가질량은 구조체의 상류면 벽면의 각 절점에서 합산하여 구하며, 질량은 다음과 같은 식으로 산정이 된다.

$$m_w = \frac{7}{8} \rho \sqrt{H \cdot h} \quad (3.5.3.7)$$

$$M_w = \int_{h_1}^{h_2} \left(\frac{7}{8} \rho \sqrt{H \cdot h} \right) dh \quad (3.5.3.8)$$

여기서, m_w 는 수면으로부터의 수심 h 에 작용하는 질량 밀도이며, M_w 는 수심 h_1 과 h_2 사이에 존재하는 질량밀도의 합이다. M_w 가 산정이 되면 이를 구조물의 유한요소모델에서 상류면 벽면의 각 절점에 부가하여 동적해석을 실시한다.



<그림 3-5-3-7> Westergaard식에 의한 부가질량 분포도

마. 대상후보지 수문구조물에 대한 적용 결과

흐름-구조물-지반 상호작용을 고려한 구조물의 내진성능을 분석하였다. 대상후보지인 가로림만은 충청남도 서산시 내리와 벌말을 잇는 약 2km의 방조제로 형성되는 조지를 이용하여 조력발전을 하는 8m의 간만 차를 가진 우리나라 서해안의 대표적인 조력발전 입지이다.

여기서는 가로림 조력발전을 위하여 1981년 검토된 바 있는 수문구조물과 이 연구를 통하여 통수성능이 크게 개선된 수문구조물에 대하여 각각 흐름-지반-구조물 상호작용을 고려한 시간이력 동적해석 수행하고, 또한 붕괴방지수준의 지진발생시 구조물에 발생하는 응력 및 변위를 검토하였으며, 이때 사용한 지진자료는 국내설계응답스펙트럼에 부합하는 3가지 가속도 시간이력자료를 이용하였다.

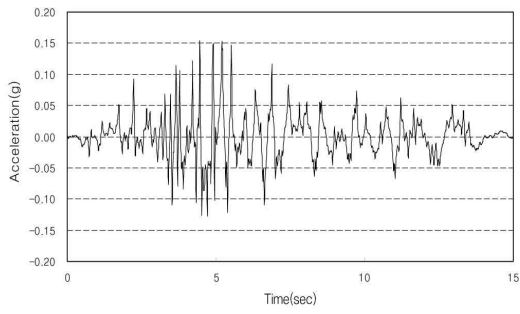
이를 위하여 사용한 내진설계기준은 다음의 표와 같으며, 성능수준은 붕괴방지 수준으로 설계하였고, 지진구역은 충청남도에 해당하는 I구역으로써 구역계수는 0.11이다. 내진1등급으로 설계할 경우 재현주기는 1000년이며, 이때 최대지반가속도는 지반종류를 SB로 고려할 때 0.154g이다.

<표 3-5-3-9> 가로림 조력발전소 수문구조물의 지진해석을 위한 기초자료

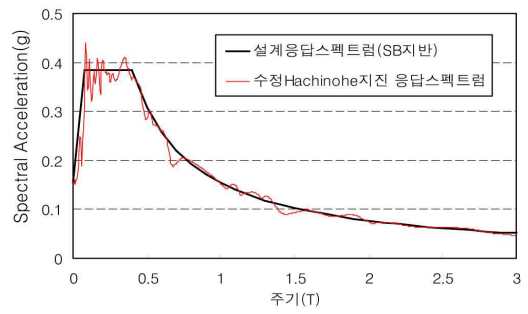
내진설계기준		설계지반운동수준	
관련기준	분류	성능수준	붕괴방지수준
내진설계기준연구(II)	상위개념기준	지진구역	I 구역
지중구조물의 내진설계 성능기준	하위개념기준	구역계수	0.11
도로교설계기준	하위개념기준	재현주기(내진등급)	1,000년(1등급)
항만및어항시설의 내진설계표준서	하위개념기준	최대지반가속도(지반종류)	0.154g(SB)

검토기준은 지진발생시 구조물에 발생한 최대압축응력이 지진시 콘크리트의 허용휨압축응력 14.04MPa (=허용응력증가계수(1.3) × 0.4 × 콘크리트압축강도(27MPa))보다 작아야한다는 기준과 붕괴방지수준의 지진 발생시 구조물의 절대변위가 300mm 내이어야 한다는 항만및어항시설의 내진설계표준서를 근거로 하였다.

입력지진은 다음의 그림 10~12에서와 같이 국내에서 사용되고 있는 SB 지반에 대한 표준 설계응답스펙트럼을 만족하도록 수정된 Hachinohe 지진, 수정된 Ofunato 지진, 그리고 인공 지진을 사용하여 구조물의 지진시 응력을 검토하였다.

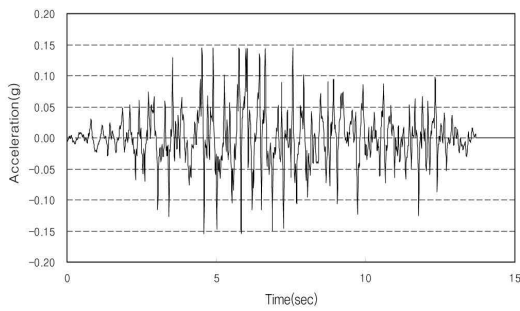


(a) 가속도 시간이력

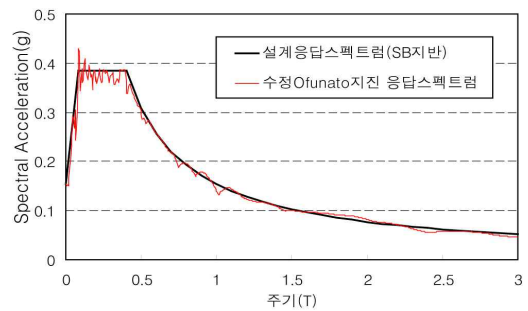


(b) 응답스펙트럼

<그림 3-5-3-8> 수정된 Hachinohe 지진파

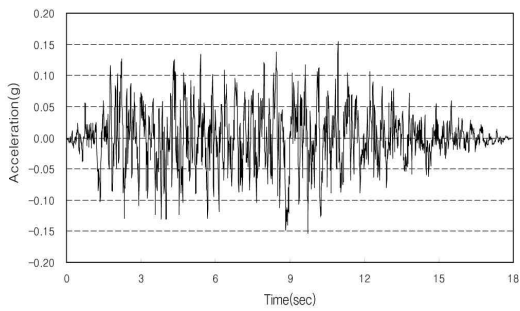


(a) 가속도 시간이력

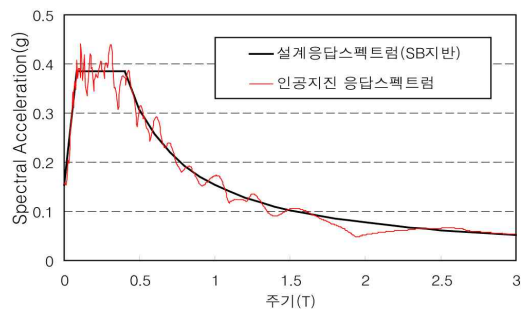


(b) 응답스펙트럼

<그림 3-5-3-9> 수정된 Ofunato 지진파



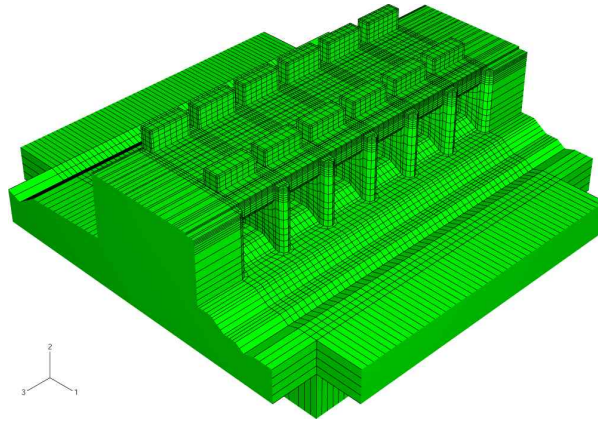
(a) 가속도 시간이력



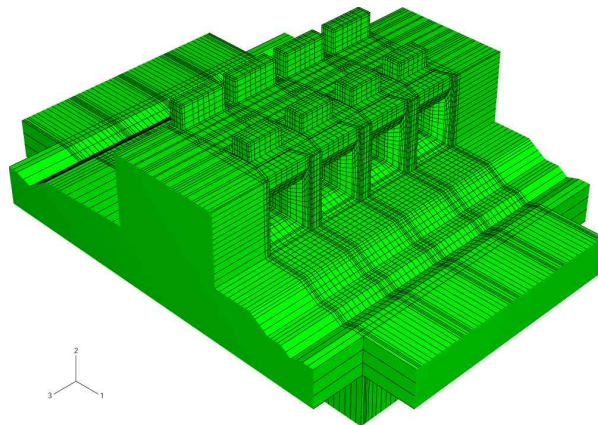
(b) 응답스펙트럼

<그림 3-5-3-10> 인공지진

지반-구조물 상호작용효과를 고려하기 위하여 지반과 구조물을 같이 모델링하고 경계조건으로 무한요소를 적용하여 지진파의 소산영향과 지반의 반무한성을 고려하였으며, 유체의 영향은 Westergaard식에 의한 부가질량으로 고려하여 다음 그림과 같이 ABAQUS를 이용하여 모델링을 하였다.

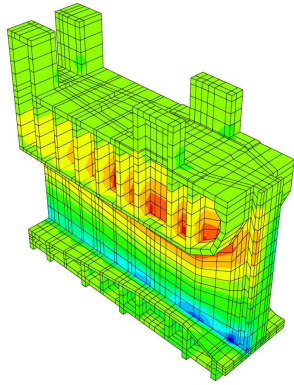
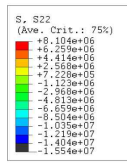


<그림 3-5-3-11> 1981년 보고서에 제시된 수문구조에 대한 유한요소 모델

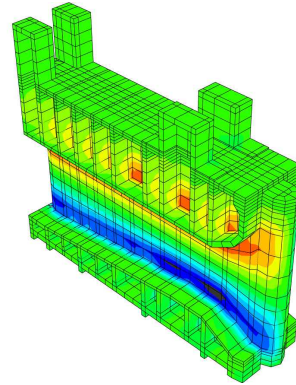
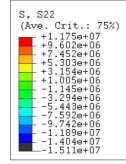


<그림 3-5-3-12> 통수성능을 개선한 수문구조에 대한 유한요소 모델

다음의 그림은 세 개의 입력지진에 대하여 1981년 수문구조물과 이 연구를 통하여 제시된 수문구조물에 대하여 지진해석을 수행하여 구한 최대 휨응력분포도를 정리한 것이다.

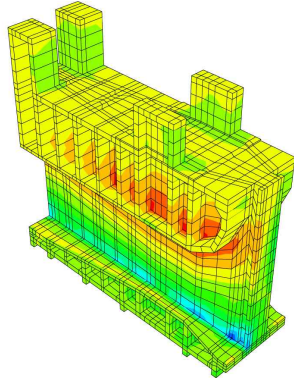
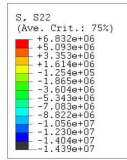


(a) 1981년 수문구조물 (Max=15.54MPa)

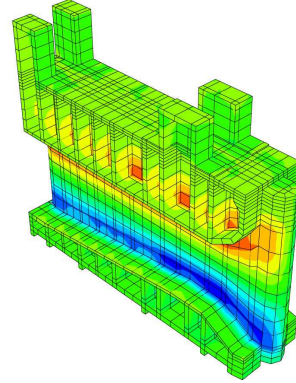
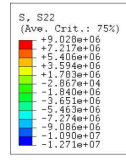


(b) 제안 수문구조물 (Max=15.11MPa)

<그림 3-5-3-13> 수정된 Hachinohe 지진시

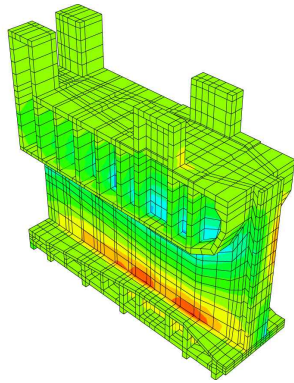
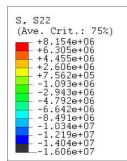


(a) 1981년 수문구조물 (Max=14.39MPa)

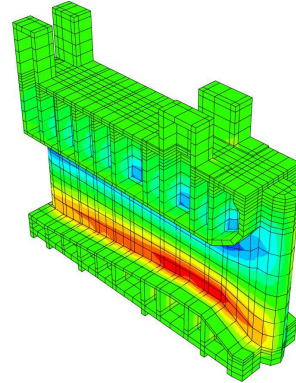
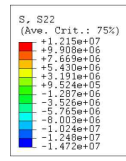


(b) 제안 수문구조물 (Max=12.71MPa)

<그림 3-5-3-14> 수정된 Ofunato 지진시

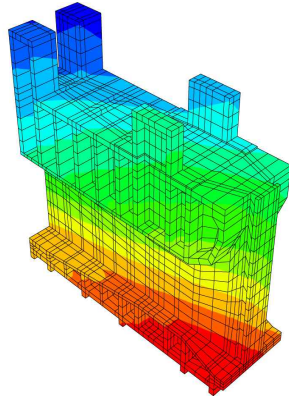
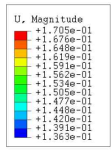


(a) 1981년 수문구조물 (Max=16.06MPa)

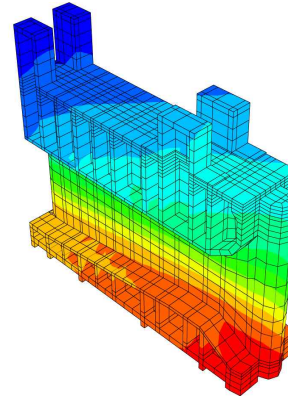
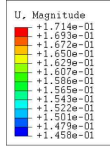


(b) 제안 수문구조물 (Max=14.72MPa)

<그림 3-5-3-15> 인공지진시

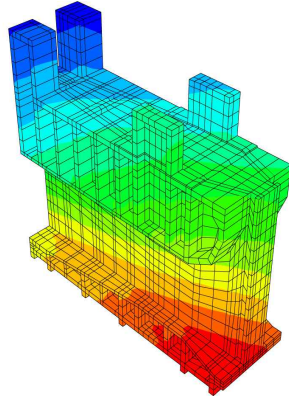
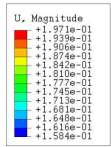


(a) 1981년 수문구조물 (Max=170.5mm)

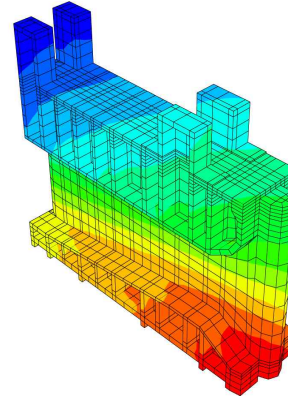
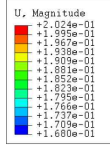


(b) 제안 수문구조물 (Max=171.4mm)

<그림 3-5-3-16> 수정된 Hachinohe 지진시

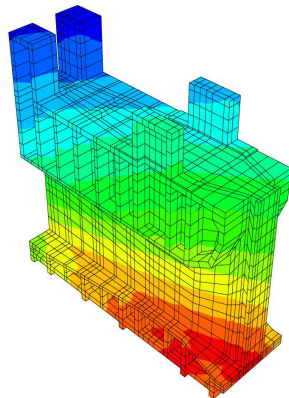
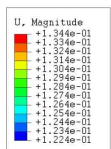


(a) 1981년 수문구조물 (Max=197.1mm)

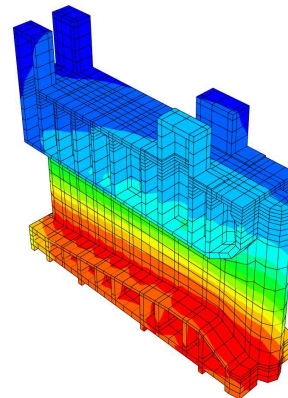
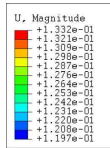


(b) 제안 수문구조물 (Max=202.4mm)

<그림 3-5-3-17> 수정된 Ofunato 지진시



(a) 1981년 수문구조물 (Max=134.4mm)



(b) 제안 수문구조물 (Max=133.2mm)

<그림 3-5-3-18> 인공지진시

위의 결과는 모두 수평 2방향과 연직방향을 고려한 3축 재하를 모사한 결과로 수평2방향 또는 1축 방향에 대하여 지진하중을 재하하여 얻은 휨압축응력 최대값은 다음의 표와 같다. 한 가지 중요한 사실은 제안단면이 벽체가 얇아졌음에도 불구하고 내진안전성에 큰 문제가 없다는 점이다.

<표 3-5-3-10> 휨압축응력 최대값

지진과재하	단면	수정 Hachinohe	수정 Ofunato	인공지진
3축(수평2방향+연직 방향)	기본계획단면	15.54	14.39	16.06
	제안단면	15.11	12.71	14.72
2축(수평2방향)	기본계획단면	14.22	13.26	13.88
	제안단면	15.59	13.18	14.12
1축 (3방향)	기본계획단면	13.72	12.48	13.44
	제안단면	13.22	11.85	13.87
1축 (1방향)	기본계획단면	10.42	10.49	10.21
	제안단면	10.67	10.85	11.56

검토결과 기존설계와 변경설계안 모두 일부지진파에서 허용응력을 초과하는 부분이 나타났으나, 이는 접합부와 모서리 같은 국부적인 부분에서 발생하는 것으로 현치와 같은 약간의 보강이 이루어진다면 구조물의 전체적인 내진안전성에는 문제가 없을 것으로 판단되며, 또한 해석결과를 바탕으로 두 가지 안을 비교한 결과 변경설계안이 내진안전성 측면에서 약간 우수한 것으로 판단되나 그 차이는 크지 않으므로, 시공성, 경제성 및 기타 수리여건 등을 고려하여 유리한 단면을 결정하는 것이 바람직할 것으로 판단되었다. 즉 벽체를 기존의 유선형 벽체에서 일자형 벽체로 줄이더라도 지진 하중의 관점에서 볼 때 큰 문제가 되지 않음을 알 수 있다.

제6절 소결

이 연구를 통하여 조력발전용 고효율 수문형상을 설계하기 위한 기초 및 실용화 기술을 개발하였으며, 주요 내용은 다음과 같다.

(1) 정밀 수치실험 기법 정립

- 자유수면효과(Free Surface Effect)를 고려할 수 있는 유동해석프로그램인 Flow3D를 이용하여 수치모형실험에 의한 수문구조물의 통수성능을 신뢰성 있게 평가할 수 있도록 하였다.
- 경계조건, 난류모델 등에 따른 수치모형 실험결과를 수리모형실험결과와 비교하여 그 정확성을 검증하였다.
- 각 조건에 따른 수리모형실험에 의한 결과와 비교할 때 정성적으로는 동일한 경향성을 찾아볼 수 있었으며, 정량적으로는 유량계수를 기준으로 수리모형실험보다 최대 0.3정도 작은 결과를 얻을 수 있었다.

(2) 정밀 수리모형실험 실험장치 고안 및 제작

- 실제 조력발전소의 경우 수문구조물 전후의 수두차가 클 경우보다는 대부분 0.5m 이내에서 통과유량이 많은 구조물이 바람직하며, 따라서 실제 수두차 0.5m 내외를 재현하는 수리모형실험을 수행하여야 한다.
- 만약 1/40 모델을 사용한다면 이는 1.25cm 내외가 되며 특히 설계 파라미터의 변화에 따른 유량의 변화는 극히 미미한 수준이며, 이 역시 강한 유속에 의한 흐름으로 정밀한 계측이 어렵게 된다.
- 따라서 이 연구사업의 목표를 달성하기 위하여 웨어수조와 정류수조를 KS 규격보다 더욱 엄격하게 관리, 제작하고, 관측수로 후면에 수위조절장치 및 감속기어를 채택하였으며, 또한 공급 유량을 조기에 안정화시킬 목적으로 배관 일부분에 공기 밸브를 설치하는 등 매우 정밀한 수리모형실험 장치를 고안하고 제작하였다.

(3) 수문형상 설계 파라미터에 따른 통수성능의 변화 분석

- 최소단면 폭 변화의 영향 :
컬버트형 수문과 벤츄리형 수문 모두 최소단면의 폭이 증가할수록 통과유량과 유량계수가 증가함을 알 수 있었다.
- 사석마운드 설치에 따른 영향 :
사석마운드가 설치됨에 따라 대체로 수문의 통수성능이 불리해 짐을 알 수 있었다. 그러나 사석마운드의 형태 및 높이에 따라 영향을 받을 수 있으므로 일반화하기는 어려운 점이 있다.

- 최소단면 바닥 길이 변화의 영향 :
사석마운드의 유무와 관계없이 수문구조물의 수평구간 길이를 짧게 축소시킨 모형의 통과유량과 유량계수가 증가함을 알 수 있었다.
- 최소단면 바닥 높이 변화의 영향 :
컬버트형 수문과 같이 통수로 전체의 바닥높이가 균일한 경우보다는 Gate 설치구간에서 바닥높이를 높임에 따라 통과유량과 유량계수가 증가함을 알 수 있었다. 그러나 이 같은 경향은 최소단면의 연직높이의 29%까지 적용되며, 그 이후는 영향이 거의 없음을 알 수 있었다.
- 수문구조물 상부벽 경사 변화의 영향 :
통수로 상부벽의 경사를 1.2° 상향시켜 하류측으로 갈수록 상부벽의 표고를 높일 경우 통수성능이 다소간 개선됨을 알 수 있었다.
- 수문구조물 전면부의 곡률반경 변화의 영향 :
기본안보다 곡률반경을 25% 증가시킨 경우 수문의 통수성능이 근소하게 나빠지는 것을 볼 수 있었으나, 이에 대해서는 다양한 실험조건에서의 추가 실험이 필요한 것으로 보인다.
- 수문구조물 전체 길이 변화의 영향 :
수문구조물 전체 길이를 기본안보다 15% 줄였을 경우 통수성능에는 유의할 만큼의 차이가 발견되지 않았다.

(4) 수리모형실험 및 수치모형실험 결과를 토대로 최적 수문형상 도출

- 연구사업 초기에는 수리특성이 양호하다고 알려져 있는 벤츄리형 수문을 중심으로 고효율 수문형상을 도출하는 것을 계획하였으나, 연구수행 과정에서 컬버트형 수문의 통수성능 또한 우수함을 밝히게 되었으며, 이로 인하여 3개월 연구기간을 연장하여, 컬버트형 수문실험을 추가하였으며, 이를 통하여 벤츄리형과 컬버트형 수문의 장점을 취한 고효율 수문형상을 개발하게 되었다.
- 벤츄리형 수문의 장점과 컬버트형 수문의 장점을 살려 평면적으로는 수문의 통수단면적을 넓게 하기 위하여 내측으로 좁아지지 않고 직선형 측벽으로 유입부와 유출부가 연결되며, 측면적으로는 최소단면 구간의 바닥이 통수로의 다른 부분보다 약간 솟아오르게 볼록한 형태를 제안하였다.
- 이 수문구조물의 유량계수는 수위차가 0.5m보다 작은 범위 내에서 사석마운드가 있는 경우 조위에 따라 2.3~2.6 (수리모형실험 결과)의 값을 가지며, 사석마운드가 없는 경우 2.4~2.6의 값을 가지게 된다. 따라서 사석마운드가 있을 경우에는 2.3을, 없는 경우에는 2.5의 값을 권장하였으며, 2.3을 사용하는 경우에도 기존 컬버트형과 벤츄리형 수문에 대하여 각각 알려진 1.3과 1.8의 유량계수를 사용한 것에 비하면 77%, 28% 증가한 것이다. 한편 기존 벤츄리형 수문과 비교할 때, 제안 형상은 통수단면적이 증가하였기 때문에 통과유량 자체는 28% 보다 크게 증가할 것으로 예상할 수 있다.

(5) 조력발전 후보지에 대한 적용 및 경제성 평가

- 조력발전 후보지인 가로림만에 대하여 제안된 고효율 수문형상을 적용하여 구조설계를 수행하였다.
- 1993년 가로림 조력발전소 타당성 조사시 계획된 수문구조물 안과 이 연구에서 제안된 안을 이용하여 각각 구조설계를 수행하고, 각각의 구조적 안전성 및 설계·시공성 등을 평가하였다. 안전성과 설계·시공성은 두 안 모두 만족한 것으로 나타났다.
- 또한 흐름-구조물-지반 상호작용을 고려하여 지진안전성을 평가한 결과 내측벽에 모래채움이 없는 이 연구에서 제안한 안이 오히려 지진력을 감소시켜 안전성이 약간 증가하는 것으로 분석되었다.
- 경제성을 비교한 결과 수문구조물 제작비용이 2007년 2월 단가 기준으로 182억 절감되는 것으로 분석되었으며, Dry Dock 대신에 가물막이 설치공사를 채택하는 경우에는 가물막이 공사비가 추가로 100억원 절감되어 건설비용을 약 280억원 줄일 수 있을 것으로 기대되었다.

제4장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제1절 연구개발목표의 달성도

이 연구의 최종목표는 (1) 수문형상에 따른 정확한 유량계수의 평가, (2) 국내 입지에 맞는 고효율 수문형상 개발, (3) 개발된 고효율 수문형상을 국내 조력발전 후보지에 적용함으로써 안전성 및 경제성을 평가하는 것이다. 이를 위하여 1차년도와 2차년도 세부연구목표를 설정한 바 있으며, 각 세부연구목표에 대하여 다음과 같은 연구를 수행한 바 있다.

- 1차년도 세부연구목표 및 연구내용

(1) 정밀 수치실험 기법 정립

- 자유수면효과(Free Surface Effect)를 고려할 수 있는 Flow3D에 의한 수치실험 기법 정립
- 경계조건, 난류모델 등에 따른 수치모형 실험결과의 분석
- 기본 수문형상에 대한 통수성능 분석 및 수리모형실험결과와 비교, 모델 보완

(2) 정밀 수리모형실험 실험장치 고안 및 제작

- 수리모형실험 장치의 설계 및 제작
- 수리모형실험 장치의 설치 및 수조 보정(Calibration)
- 예비실험 수행을 통해서 수리모형실험 장치의 성능평가 및 문제점 도출
- 최적 수문형상 도출을 위한 수리모형실험 장치 재설계 및 제작*
- 본 실험 수행을 통한 수리모형실험 장치의 재설치, 수조 보정, 성능평가 및 시설보완*
- 최적 수문형상 도출을 위한 수리모형실험 장치 제작 및 설치 완료*

(*는 1차년도에 제작한 장치의 개선을 위하여 2차년도에 추가로 수행한 연구내용임)

(3) 수문구조물 구조특성 분석 기법 수립

- 흐름-구조물-지반 상호작용을 고려한 구조물의 지진안전성 분석 기법 수립

- 2차년도 세부연구목표 및 연구내용

(1) 고효율 수문형상 도출 및 유량계수 개발

- 다음과 같이 여러 수문형상 설계 파라미터에 따른 통수성능의 영향을 분석하기 위한 수치 및 수리모형실험 수행.
 - 최소단면 폭 변화의 영향
 - 사석마운드 설치에 따른 영향
 - 최소단면 바닥 높이 변화의 영향
 - 수문구조물 상부벽 경사 변화의 영향

- 수문구조물 전면부의 곡률반경 변화의 영향
 - 수문구조물 전체 길이 변화의 영향
 - 수리모형실험 및 수치모형실험 결과를 토대로 최적 수문형상 도출
 - 벤츄리형 수문의 장점과 컬버트형 수문의 장점을 살린 고효율 수문형상 개발*
- (* : 사업계획서상에는 벤츄리형 수문에 대한 고효율 수문형상을 도출하는 것으로 되어 있으나, 연구수행 과정에서 컬버트형 수문의 통수성능 또한 우수함을 밝히게 되었으며, 이로 인하여 3개월 연구기간을 연장하여, 컬버트형 수문의 실험을 추가하고, 벤츄리형과 컬버트형 수문의 장점을 취한 고효율 수문형상을 개발하게 됨)

(2) 조력발전 후보지에 대한 적용 및 경제성 평가

- 조력발전 후보지(가로림만)에 대한 적용 및 구조설계
- 구조적 안전성 및 설계·시공성 평가
- 흐름-구조물-지반 상호작용을 고려한 지진안전성 평가
- 93년도 가로림 조력발전 예비타당성 조사 시 설계된 수문 단면과 고효율 수문을 채택한 경우의 경제성 비교

전체적으로 평가할 때 1차년도 연구목표는 2차년도 연구개발사업을 통하여 최종적으로 구하고자 하는 수문형상별 정확한 유량계수 평가방법 개발, 고효율 수문형상 개발을 위한 기초적인 연구목표라 할 수 있다. 특히 1차년도에는 수치모형실험 결과를 토대로 고효율 수문형상 대안을 구하고자 하였으나 수치모형실험의 신뢰성을 우선 확보하기 위하여 수리모형실험과 수치모형실험을 일부 병행하는 방식의 연구를 진행하였으며, 최종적으로는 최초 계획하였던 것보다 많은 수의 수문형상에 대한 수리모형실험과 수치모형실험이 수행되었다고 할 수 있다.

특히 연구개발사업 계획 당시에는 일반적으로 통수성능이 우수한 것으로 알려진 바 있는 벤츄리형 수문을 중심으로 고효율 수문형상을 개발할 계획이었으나, 2차년도 연구기간 중 비교의 목적으로 수행한 컬버트형 수문에 대한 통수성능이 기존의 타당성 검토 등에서 사용된 통수성능보다 월등히 우수한 것으로 분석되어, 컬버트형 수문에 대한 추가적인 실험을 수행하기 위하여 연구기간을 3개월 연장하였고, 그 결과 벤츄리형 수문과 컬버트형 수문의 장점을 가진 고효율 수문형상을 개발함으로써 연구목표 달성도를 크게 향상시켰다고 할 수 있다. 즉 기존의 컬버트형 수문과 벤츄리형 수문의 유량계수가 각각 1.3과 1.8 정도로 알려져 있으며, 이번에 개발된 고효율 수문형상을 적용한 수문은 유량계수가 최소 2.3으로 이들보다 77%, 28% 우수한 성능을 가지고 있음을 알 수 있었으며, 특히 벤츄리형 수문보다 통수단면이 크기 때문에 기존 벤츄리형 수문설계 비해서 통수성능을 크게 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

또한 고효율 수문형상을 기존 가로림 조력발전소 수문구조물에 적용함으로써 2007년 2월 기준으로 수문 구조물 공사비용 182억원을 절감할 수 있음을 보였으며, 특히 최근 해상공사

에서 많이 적용되고 있는 가물막이 공법을 적용하는 경우에는 가물막이 비용을 100억원 정도 추가로 절감시킬 수 있는 것으로 분석되었다. 이와 같이 개발된 고효율 수문형상을 실제 조력발전 후보지에 적용하여 구조적 안전성, 경제성 등을 검토함으로써 실용화 목표 역시 충분히 달성한 것으로 판단된다.

제2절 관련분야에의 기여도

이 기술은 조력발전소 건설과 관련된 소프트웨어나 하드웨어를 개발하는 기술은 아니지만, 조력발전에 있어서의 발전량을 예측하고, 필요한 수문의 수량을 결정하는데 매우 중요한 역할을 하는 기술이다. 이 기술은 크게 두 가지로 나눌 수 있는데 우선, 첫 번째로 형상에 따른 수문의 통수성능을 수치모형실험 및 수리모형실험에 의하여 정확하게 평가할 수 있는 정밀 분석기술과 두 번째로 국내의 조력발전 입지 조건에 적합한 고효율 수문형상을 설계하는 기술로 나누어진다.

조력발전은 현재 여러 재생에너지 중 가장 실용화가 앞서 있는 분야로 알려져 있으며, 특히 우리나라는 세계적으로도 조력자원이 풍부한 국가 중 하나이다. 또한 최근 유가가 지속적으로 상승하고 있으며, 또한 각종 환경규제에 의하여 이산화탄소 배출량이 제한됨에 따라 조력발전의 필요성이 더욱 커지고 있는 상황이다.

이와 같이 조력발전소 건설과 관련된 외부 요인이 긍정적으로 작용하는 시점에서 이 기술은 조력발전의 발전량을 정확하게 예측하고, 또한 계획한 발전시설용량을 충족시킬 수 있는 필요 수문의 수량을 최소화하는데 매우 중요하며, 또한 국가 예산 절감에 큰 기여를 할 수 있을 것으로 판단된다.

이와 같은 이 연구의 중요성 및 우수성은 여러 언론기관을 통하여 소개된 바 있는데, 최근 연합뉴스, KBS 뉴스, 뉴시스, 디지털타임스, 매일경제, 한국재경신문, 동아사이언스, YTN 등의 언론기관에서 이 연구성과를 소개한 바 있다.

제5장 연구개발결과의 활용계획

현재까지의 이 연구사업을 통하여 국내 (등재)학술지에 2편의 논문을 게재하고, 관련 학술대회에서 1편의 논문을 발표한 바 있다. 연구사업이 종료된 후에 추가적으로 신재생에너지학회 및 한국해양과학협회의 공동학술대회 등 학술대회에서 2편의 논문을 발표할 계획이며, 고효율 수문형상에 관련된 특허를 참여기업인 (주)헤인이엔씨와 공동으로 출원할 계획이며, 현재 준비 중이다. 이와 같은 유형적 연구성과와 함께 이 연구사업을 통하여 정밀한 수치 및 수리모형실험 기법을 정립하였고, 이 기술을 바탕으로 조력발전 입지에 맞는 고효율 수문형상 설계기술을 정립하였다. 이와 같은 무형적 연구성과를 활용하여 조력발전소 건설시의 비용을 줄이고, 발전량 예측의 신뢰성을 제고함으로써 국내 조력발전의 여건을 개선시키고자 한다.

현재 국내에서는 가로림만, 인천만, 새만금, 천수만, 강화 등 여러 조력발전 후보지가 있으며, 이들 중 가로림과 인천만 조력발전소 개발사업은 매우 적극적으로 추진되고 있다. 또한 새만금 역시 수질개선효과를 검토하여 현재 조력발전 개발타당성을 분석하고 있으며, 개발 가능성이 높은 것으로 알려져 있다. 또한 북한의 해주만 역시 향후 남북 관계 및 주변 여건에 따라 추진될 가능성이 매우 높다고 할 수 있다. 국제적인 여건이 유가 급등과 이산화탄소 배출 규제가 지속될 경우, 우리나라에서 조력발전은 선택이 아닌 필수가 될 가능성이 매우 높다.

이들 조력발전소 건설 시 이 연구사업을 통하여 개발된 기술을 활용하여 수문형상을 설계할 경우, 발전량 예측의 정확도를 높임으로써 신뢰성 있는 수문 구조물 설계가 가능하며, 또한 수문형상 최적설계를 통하여 건설비용을 최소화 할 수 있을 것으로 기대된다.

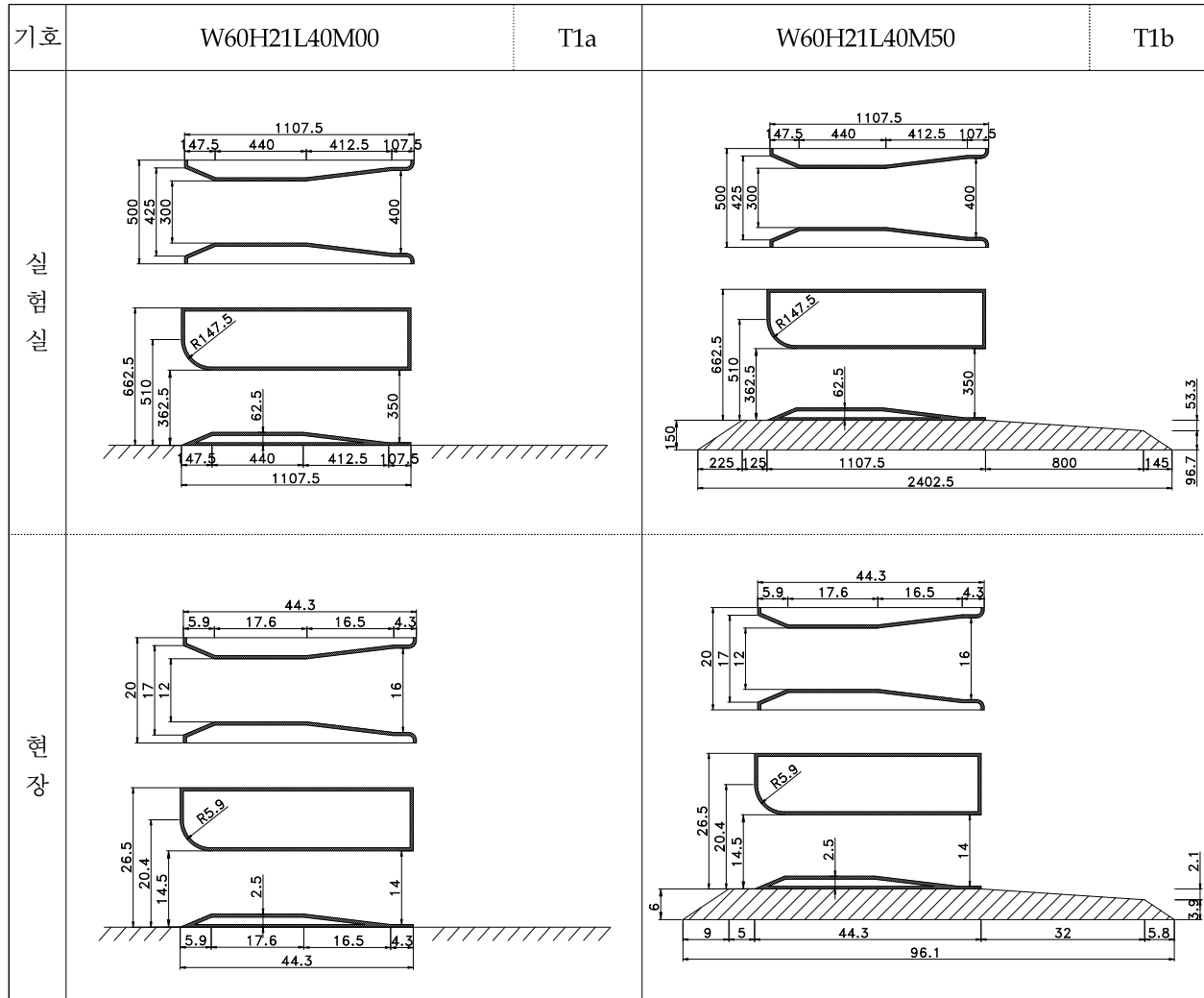
그러나 이 기술은 제품을 생산하는 기술이 아니기 때문에 기업에서의 상용화는 어려우며, Know-How 및 설계기술 등 개발된 기술을 도입하여 수문 구조물을 최적으로 설계할 수 있는 엔지니어링 측면에서의 성격이 강하다고 할 수 있다. 따라서 이 사업성과의 활용도를 높일 수 있도록, 관련 부처 및 발주기관에서의 제도적인 지원이 필요하리라 판단된다.

현재 조력발전이 가장 유력하게 검토되고 있는 가로림 조력발전소에 이 기술을 적용할 경우 수문구조물 건설비용 182억원을 절감할 수 있는 것으로 이 연구를 통하여 분석되었으며, 시화호나 새만금과 같이 이미 방조제가 축조되어 있는 경우 수문구조물 단축에 따른 추가적인 방조제 건설이 필요하지 않고, 또한 가물막이 공법을 적용할 경우 가물막이의 길이가 단축되어 보다 높은 경제성을 가질 것으로 예측할 수 있다. 가로림 조력발전소에 Dry Dock 대신 가물막이 공법을 적용할 경우 추가로 100억원 건설비용이 절감되어 2007년 2월 기준으로 총 282억원의 비용 절감이 예상되었다.

제6장 참고문헌

- 산업자원부 (1998) 제4차 장기전력수급계획.
- 산업자원부 (2006). 한반도 조력자원 개발 타당성 검토.
- 한국수자원공사 (2002). 시화호 조력발전 건설사업 타당성조사 및 기본계획 보고서.
- 한국전력공사 (1978) 서해안 조력 부존자원 조사
- 한국전력공사 (1986) 가로림 조력발전 후속조사 및 우수영 조류발전 예비타당성 조사
- 한국전력공사 (1993). 가로림 조력 개발 타당성 조사 보고서.
- 한국표준협회 (2001). 펌프 토출량 측정 방법 KS B 6302.
- 한국해양연구소 (1981) 가로림만 조력발전 타당성 조사
- 한국해양연구소 (1993) 조력발전 기술 현황 분석
- 한국해양연구소 (1997) 조력발전시스템 최적화 연구
- 해양수산부 (2001) 해양에너지 실용화 기술개발(I) : 조력·조류에너지
- 해양수산부 (2002) 해양에너지 실용화 기술개발(II) : 조력·조류에너지
- 해양연구소 (1985) 조력발전
- Baker, A.C. (1991). Tidal Power. Peter Peregrinus Ltd., London, United Kingdom.
- Bernshtein LB, Wilson EM, Song WO (1997) Tidal Power Plant.
- Flow Science (2007) FLOW3D Ver 9.2 User's Manual.
- Street, R.L., Watters, G.Z., and Vennard, J.K. (1996). Elementary Fluid Mechanics (7th Ed.). John Wiley & Sons, Inc., New York.

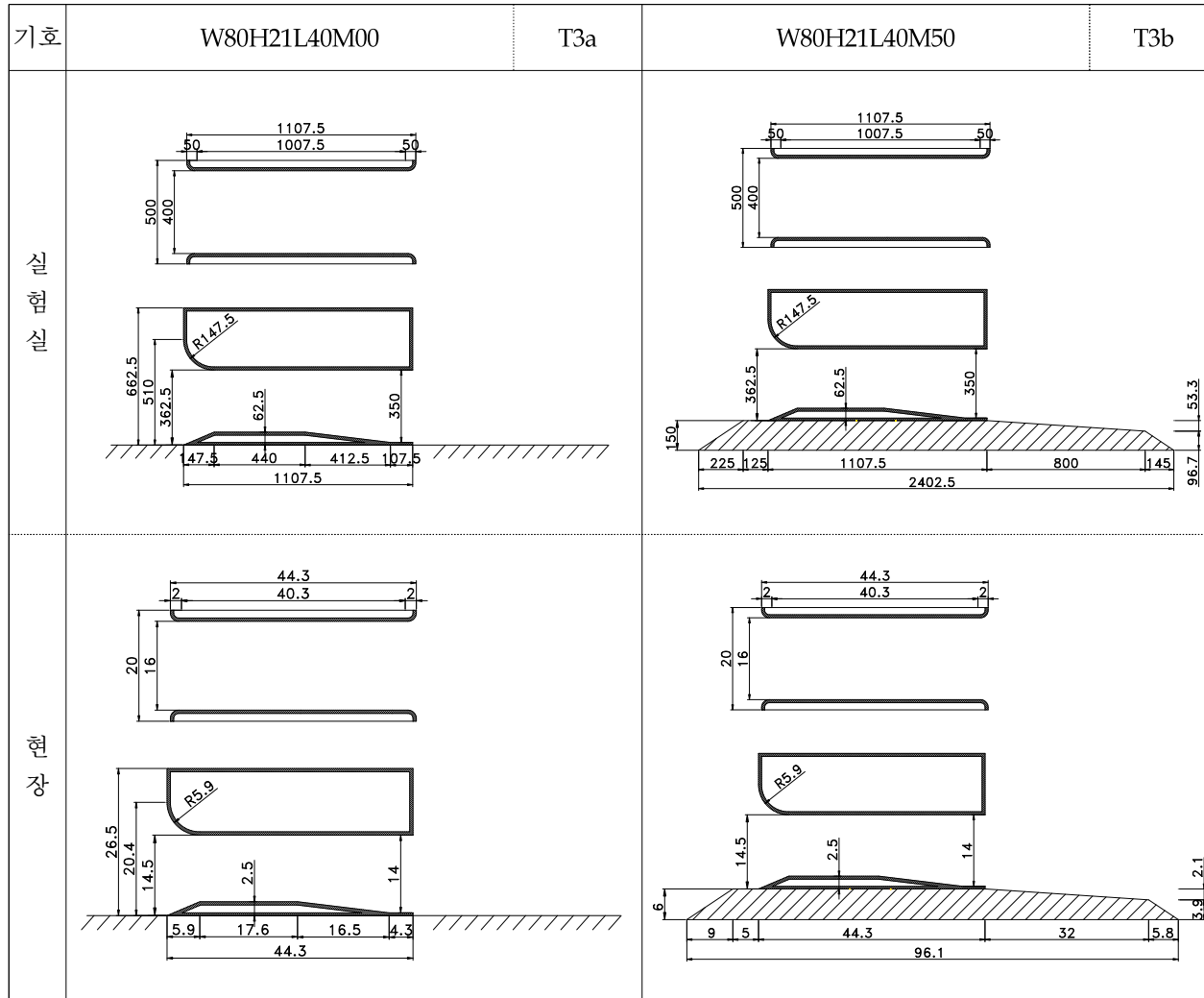
부록 A 수문구조물 단면도



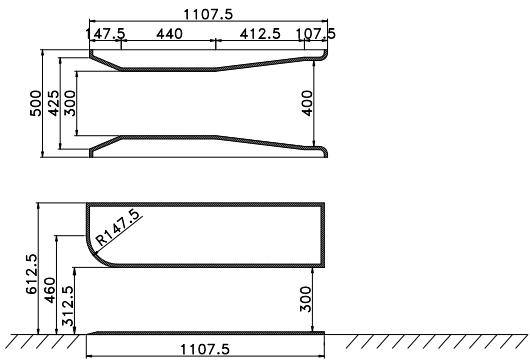
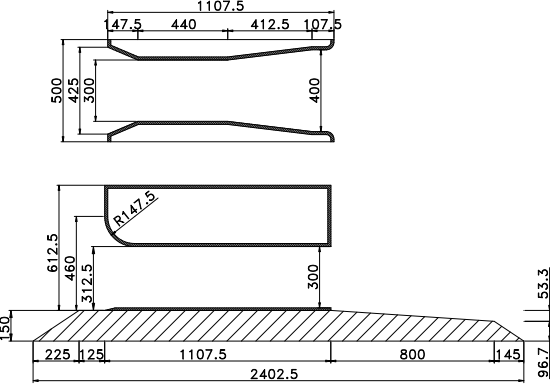
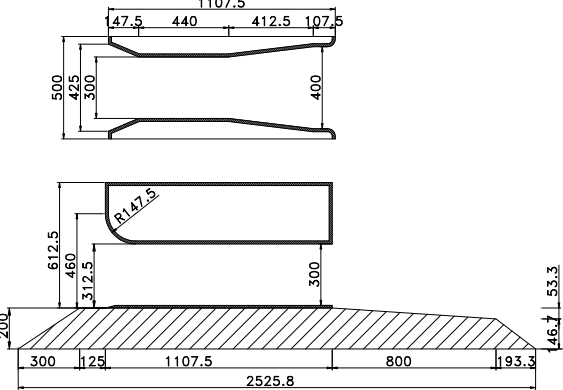
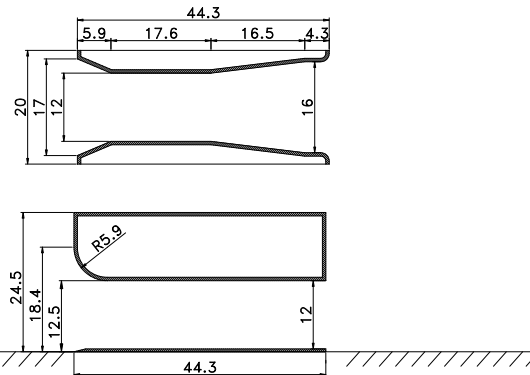
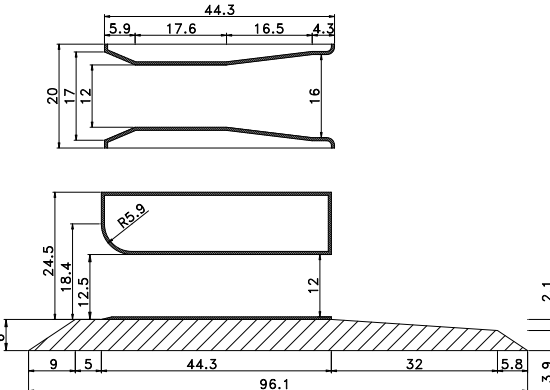
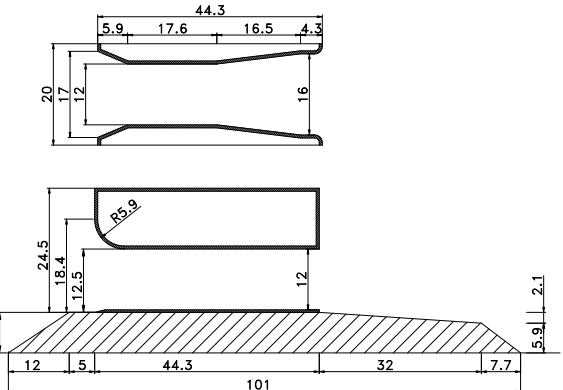
※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

기호	W70H21L40M00	T2a	W70H21L40M50	T2b
실 험 실				
현 장				

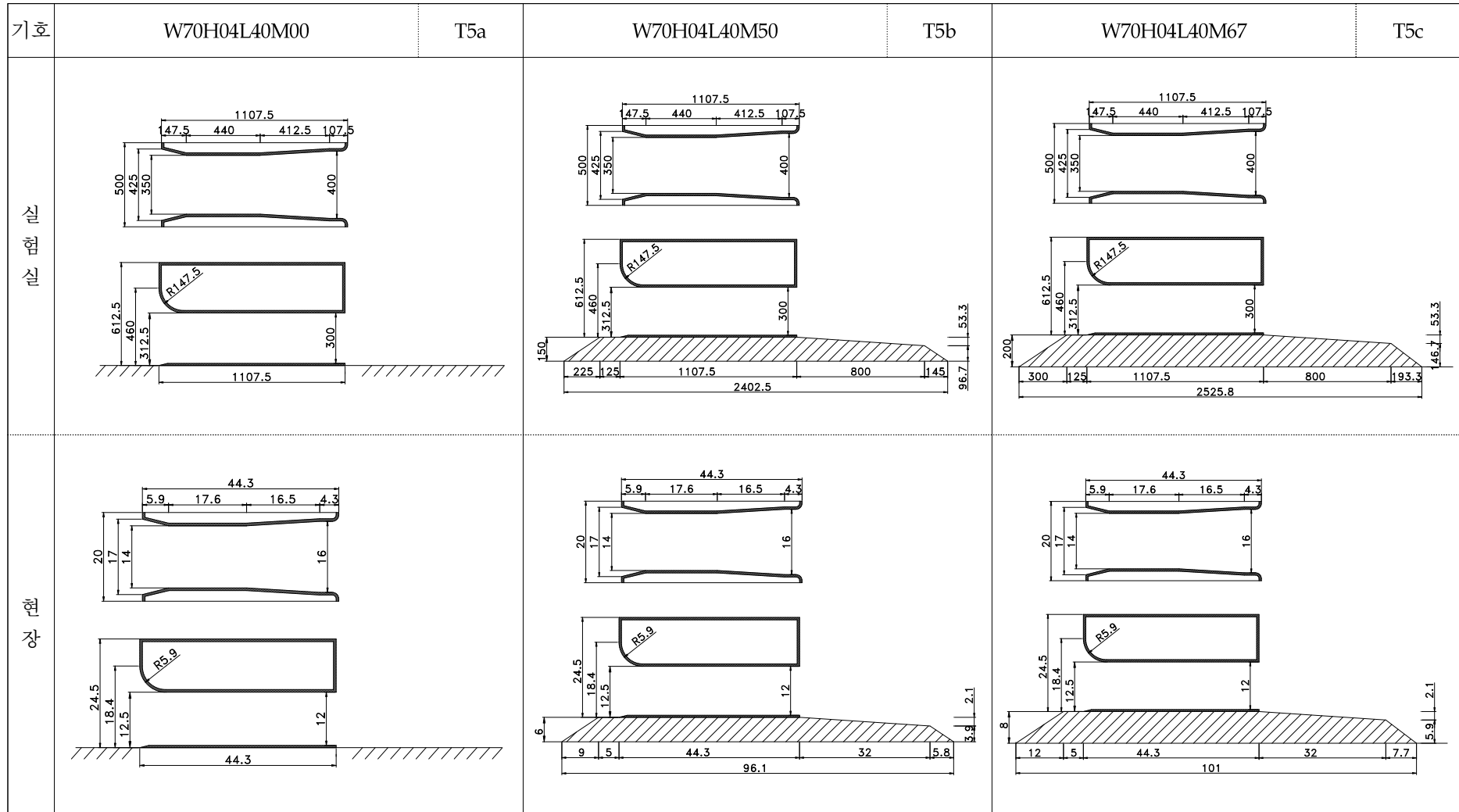
※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조



※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

기호	W60H04L40M00	T4a	W60H04L40M50	T4b	W60H04L40M67	T4c
실 험 실						
	현 장					

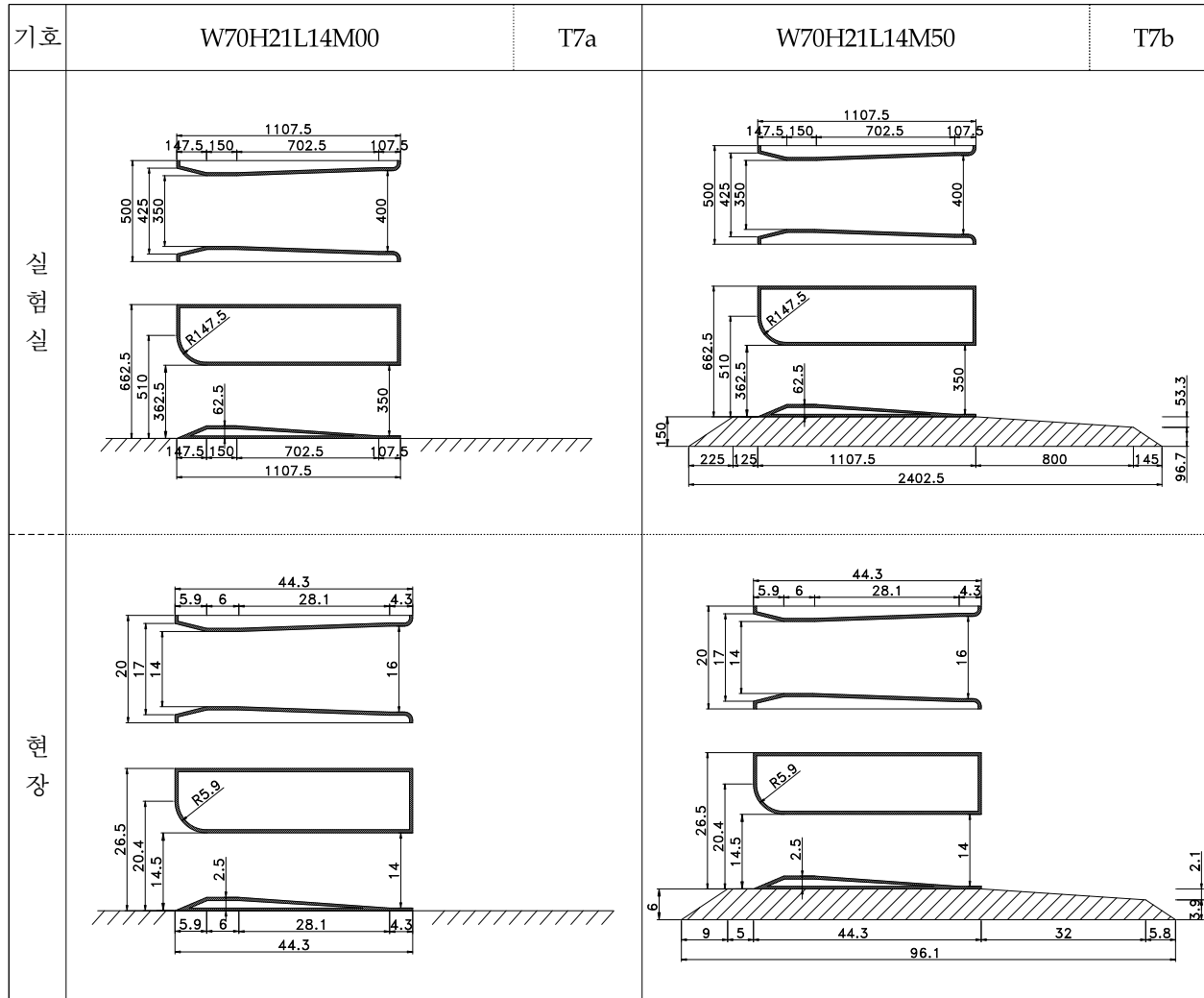
※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조



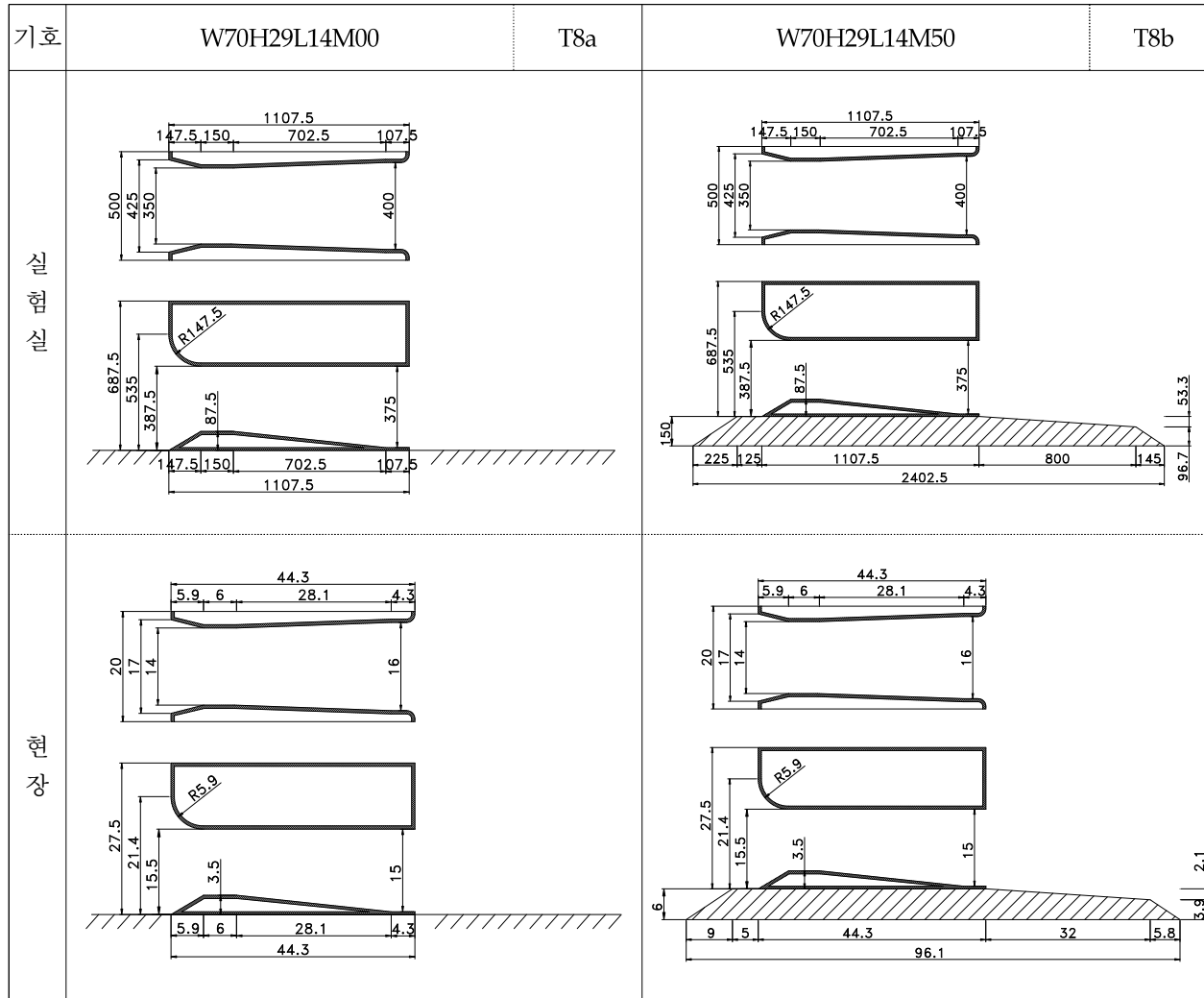
※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

기호	W80H04L91M00	T6a	W80H04L91M50	T6b	W80H04L91M67	T6c
실 험 실						
	현 장					

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조



※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조



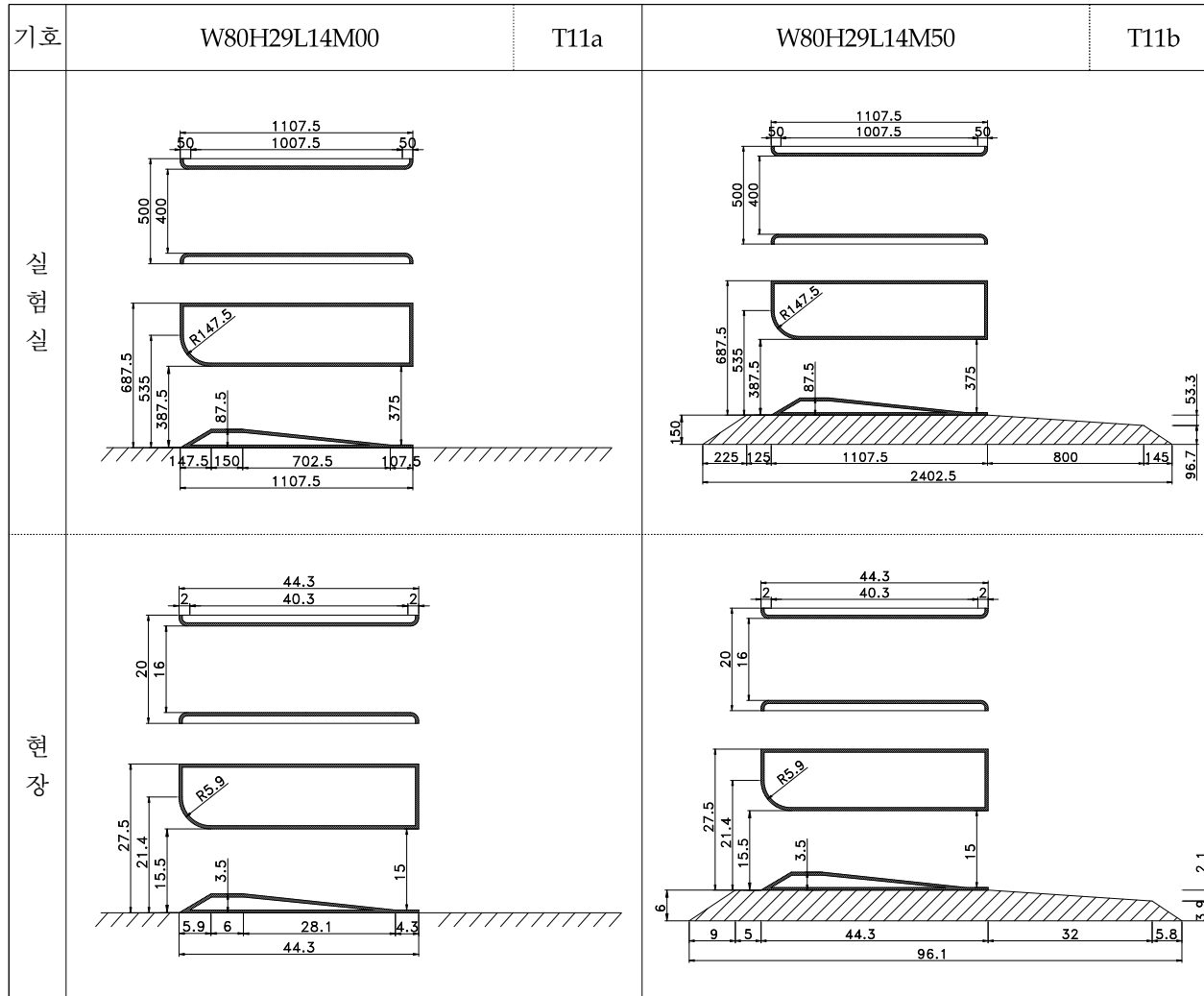
※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

기호	W70H38L14M00	T9a	W70H38L14M50	T9b
실 험 실				
현 장				

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

기호	W80H21L14M00 T10a	W80H21L14M50 T10b
실험실		
현장		

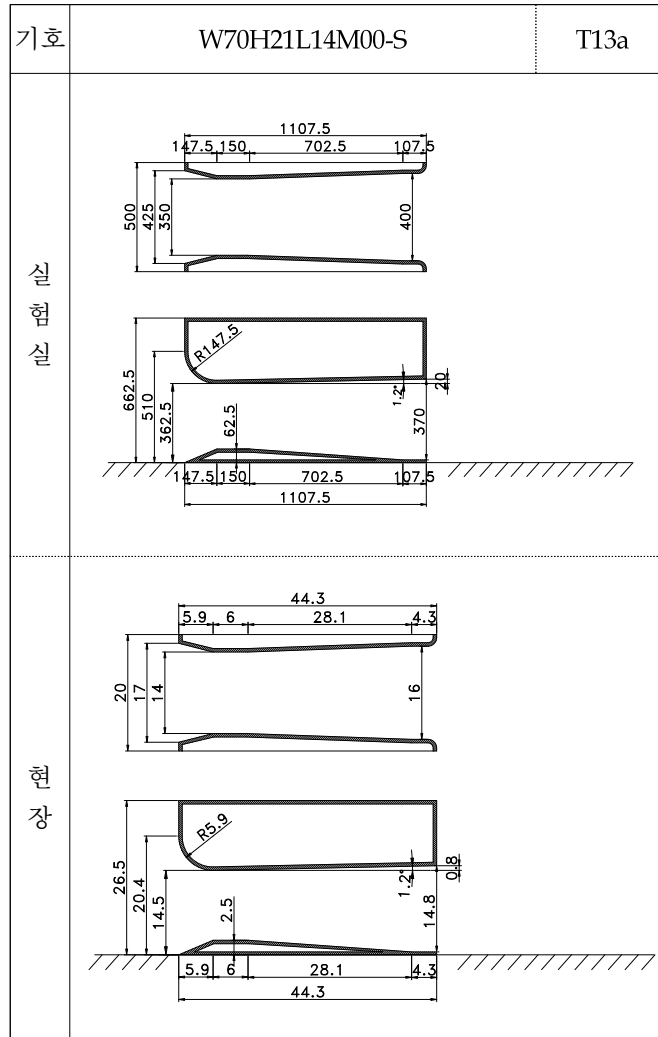
※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조



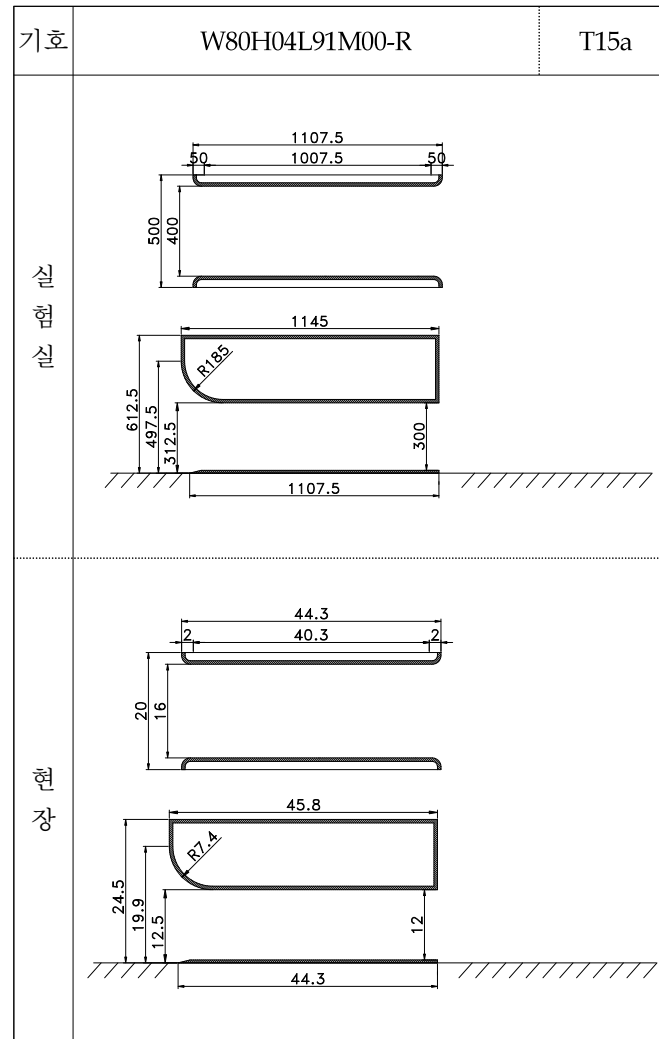
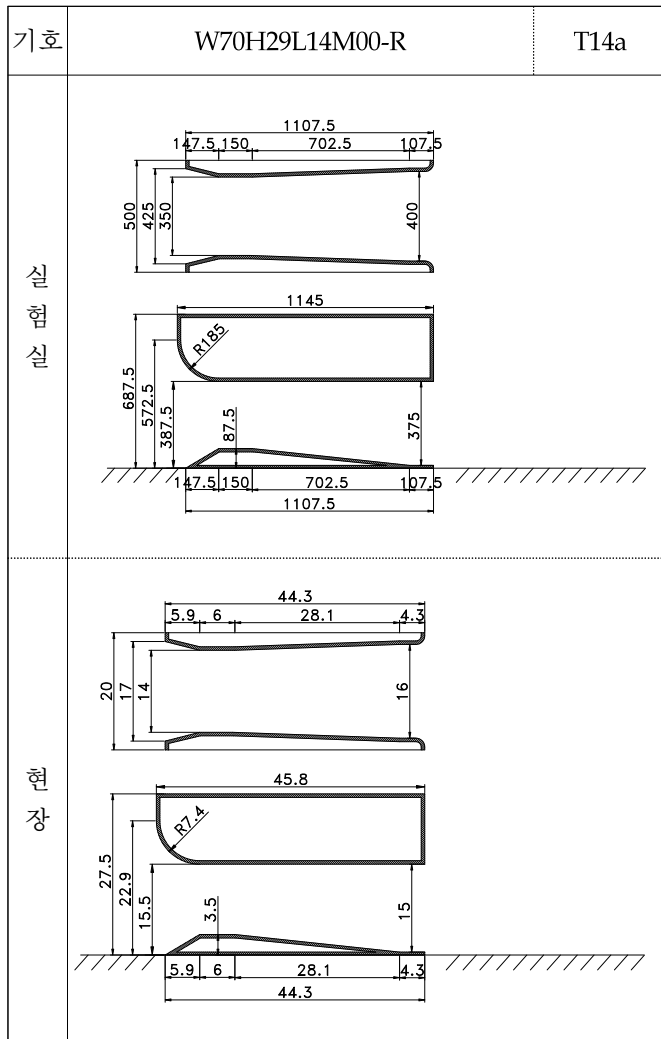
※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

기호	W80H38L14M00	T12a	W80H38L14M50	T12b
실 험 실				

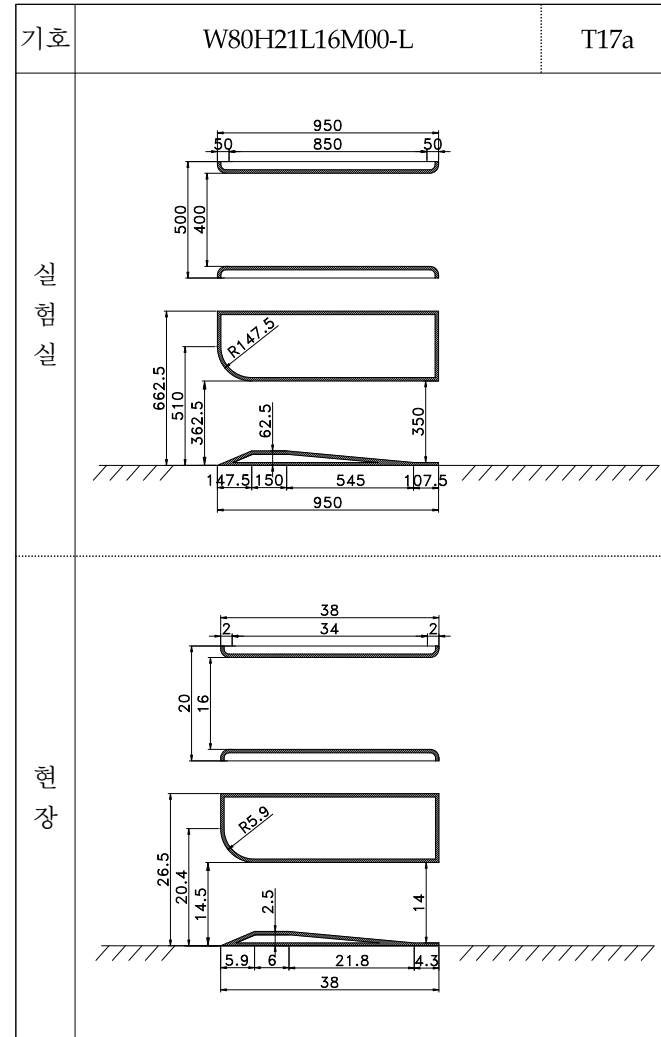
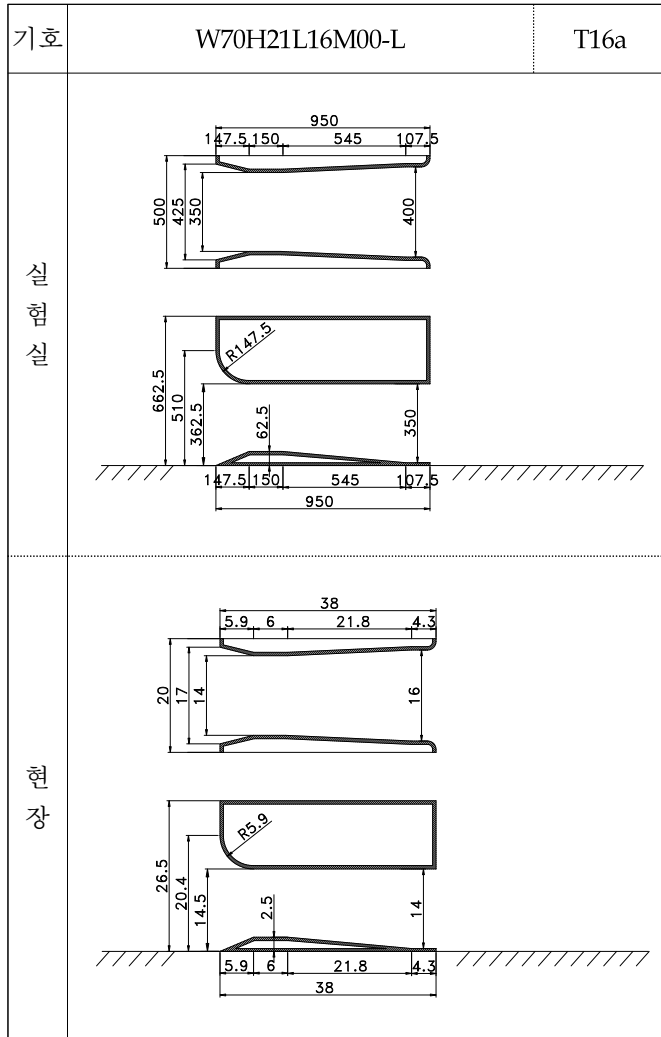
※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조



※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

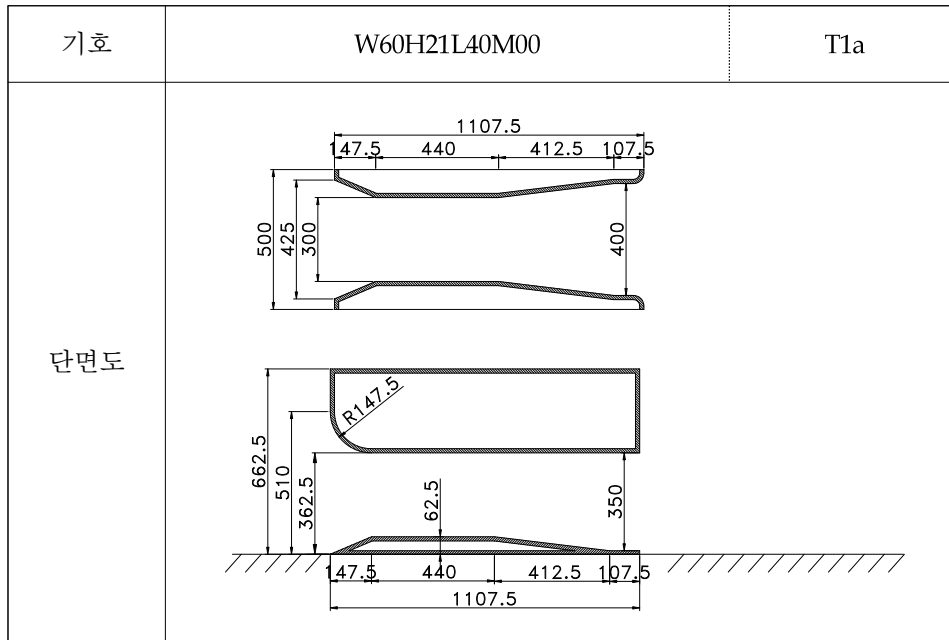


※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조



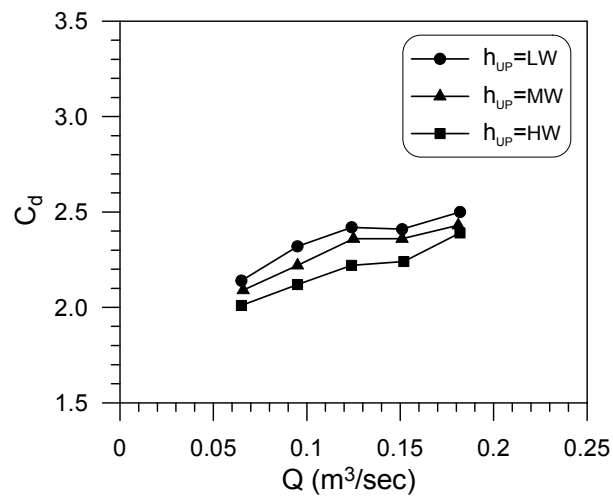
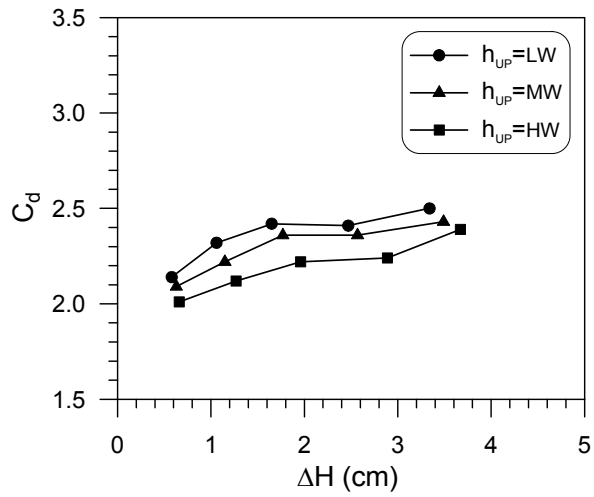
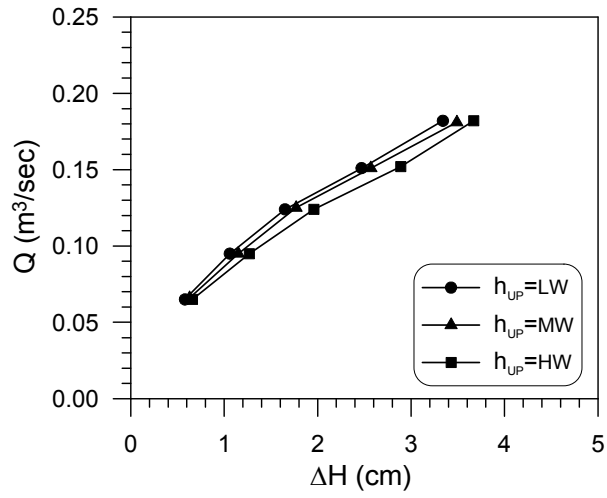
※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

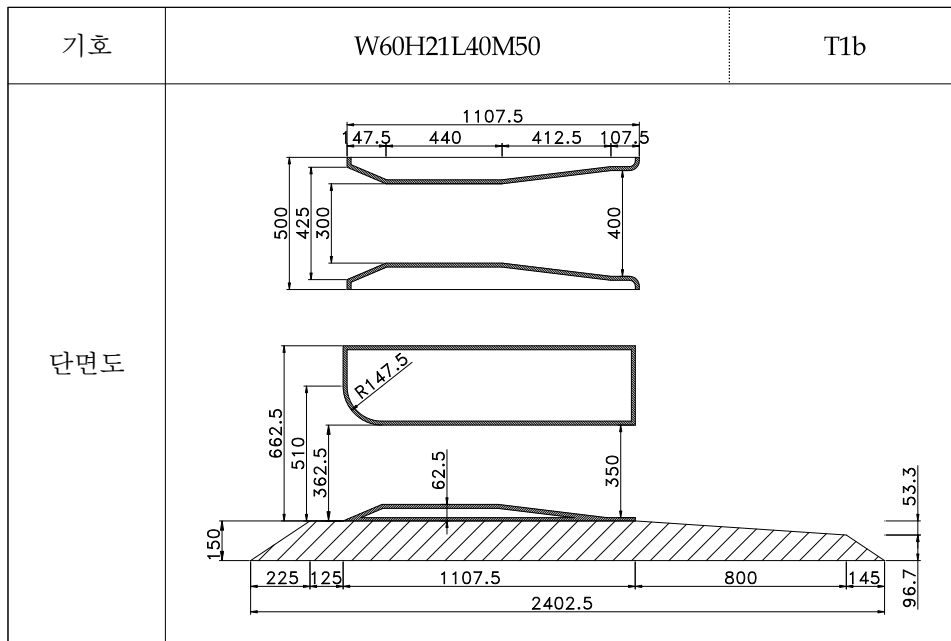
부록 B 수리모형실험 결과



유량(Q)	상류측			하류측		수위차 (Δh)	수두차(ΔH)		유량계수(C_d)		
	수위 (h_{UP})	유속 (V_{UP})	유속 (V_{UP})	수위 (h_{DN})	유속 (V_{DN})		속도 보정	경사 보정	속도 보정	경사 보정	
(m^3/sec)	(cm)	(cm/s)	(cm/s)	(cm)	(cm/s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	
Q ₁	0.065	LW	47.42	27.14	46.83	27.49	0.59	0.58	0.58	2.14	2.14
	0.066	MW	51.29	25.48	50.65	25.80	0.64	0.63	0.63	2.08	2.09
	0.065	HW	55.02	23.39	54.35	23.68	0.67	0.66	0.66	2.00	2.01
Q ₂	0.095	LW	47.55	39.56	46.40	40.54	1.15	1.11	1.06	2.26	2.32
	0.095	MW	51.25	36.71	50.01	37.62	1.24	1.21	1.15	2.17	2.22
	0.095	HW	55.00	34.20	53.65	35.06	1.35	1.32	1.27	2.08	2.12
Q ₃	0.124	LW	47.47	51.73	45.60	53.85	1.87	1.76	1.65	2.35	2.42
	0.125	MW	51.14	48.40	49.17	50.34	1.97	1.87	1.77	2.29	2.36
	0.124	HW	55.08	44.58	52.93	46.39	2.15	2.07	1.96	2.17	2.22
Q ₄	0.151	LW	47.48	62.98	44.59	67.06	2.89	2.62	2.47	2.34	2.41
	0.151	MW	51.17	58.43	48.23	62.00	2.94	2.72	2.57	2.30	2.36
	0.152	HW	55.06	54.67	51.82	58.08	3.24	3.04	2.89	2.19	2.24
Q ₅	0.182	LW	47.52	75.84	43.40	83.04	4.12	3.54	3.34	2.43	2.50
	0.181	MW	51.31	69.85	47.16	76.00	4.15	3.69	3.49	2.36	2.43
	0.182	HW	54.96	65.57	50.71	71.07	4.25	3.87	3.67	2.32	2.39

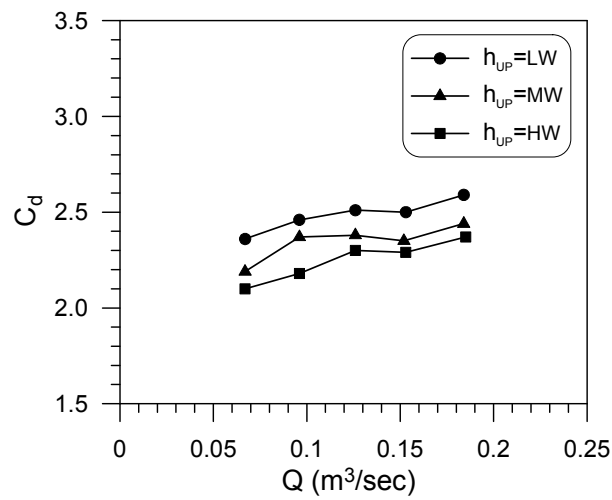
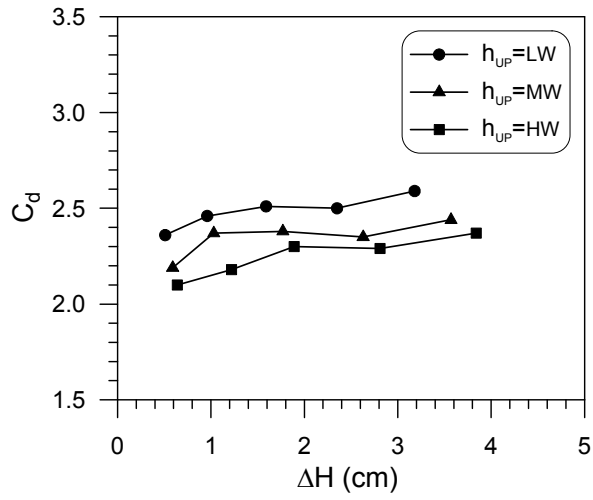
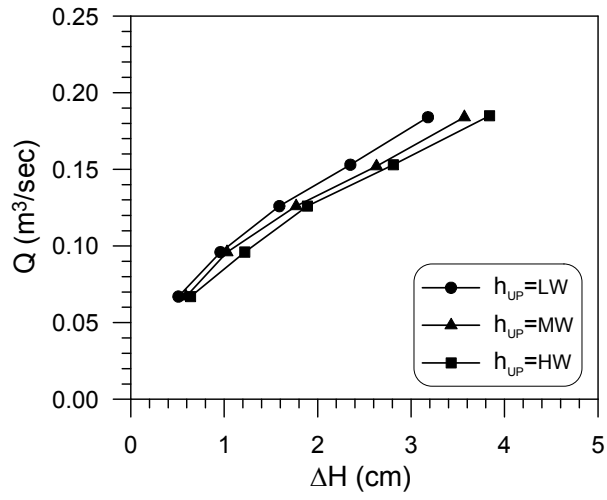
※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

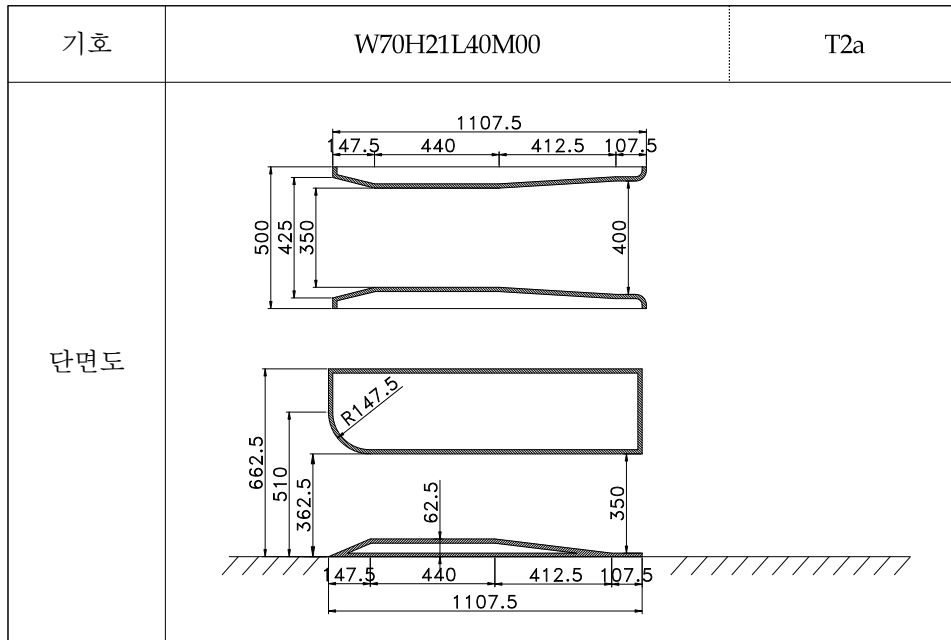




유량(Q)		상류측		하류측		수위차 (Δh)	수두차(ΔH)		유량계수(C_d)		
		수위 (h_{UP})	유속 (V_{UP})	수위 (h_{DN})	유속 (V_{DN})		속도 보정	경사 보정	속도 보정	경사 보정	
(m^3/sec)		(cm)	(cm/s)	(cm)	(cm/s)	(cm)	(cm)				
Q ₁	0.067	LW	62.63	21.21	62.11	21.39	0.52	0.52	0.51	2.34	2.36
	0.067	MW	66.66	19.90	66.06	20.08	0.60	0.60	0.59	2.18	2.19
	0.067	HW	70.25	18.89	69.60	19.06	0.65	0.65	0.64	2.09	2.10
Q ₂	0.096	LW	62.42	30.45	61.39	30.97	1.03	1.01	0.96	2.39	2.46
	0.096	MW	66.28	28.68	65.15	29.18	1.13	1.12	1.03	2.28	2.37
	0.096	HW	69.97	27.17	68.65	27.69	1.32	1.31	1.22	2.11	2.18
Q ₃	0.126	LW	62.31	40.04	60.57	41.19	1.74	1.69	1.59	2.43	2.51
	0.126	MW	66.15	37.72	64.18	38.88	1.97	1.92	1.77	2.28	2.38
	0.126	HW	69.79	35.75	67.70	36.85	2.09	2.05	1.89	2.21	2.30
Q ₄	0.153	LW	62.5	48.48	59.85	50.62	2.65	2.54	2.35	2.41	2.50
	0.152	MW	66.12	45.52	63.20	47.63	2.92	2.82	2.63	2.27	2.35
	0.153	HW	69.77	43.42	66.68	45.44	3.09	3.00	2.81	2.22	2.29
Q ₅	0.184	LW	62.45	58.34	58.79	61.98	3.66	3.44	3.18	2.49	2.59
	0.184	MW	66.16	55.07	62.13	58.64	4.03	3.82	3.57	2.36	2.44
	0.185	HW	69.91	52.40	65.62	55.83	4.29	4.10	3.84	2.29	2.37

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

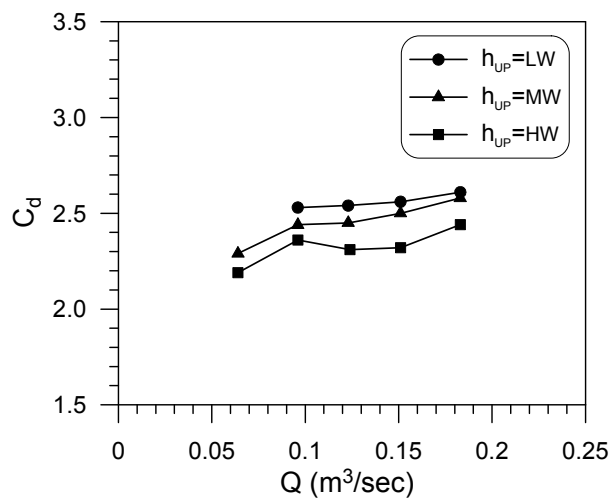
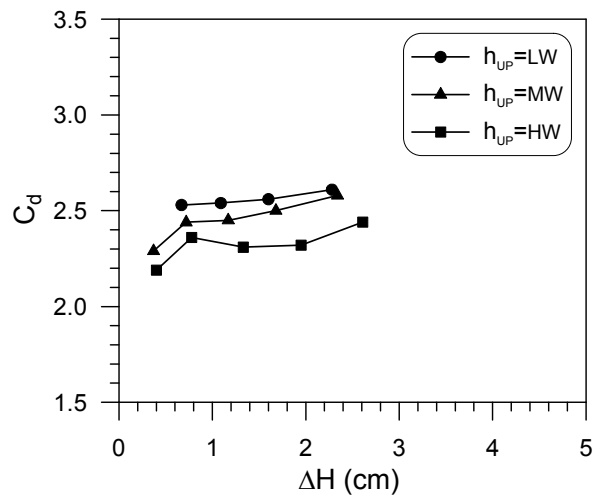
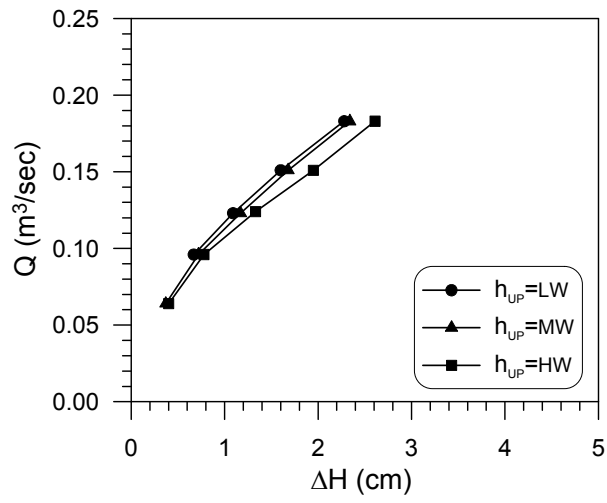


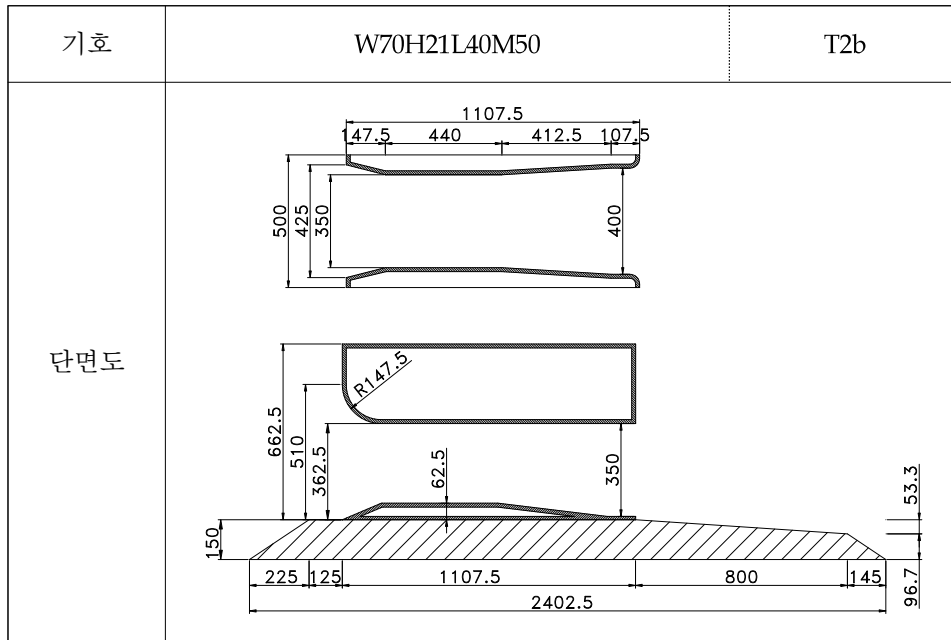


유량(Q)	상류측			하류측		수위차 (Δh)	수두차(ΔH)		유량계수(C_d)		
	수위 (h_{UP})	유속 (V_{UP})	유속	수위 (h_{DN})	유속 (V_{DN})		속도 보정	경사 보정	속도 보정	경사 보정	
(m^3/sec)	(cm)	(cm/s)		(cm)	(cm/s)	(cm)	(cm)				
Q ₁	0.065	LW	47.51	26.97	47.17	27.16	0.34	0.33	(0.33)	2.41	(2.41)
	0.064	MW	51.28	24.79	50.91	24.97	0.37	0.37	0.37	2.28	2.29
	0.064	HW	54.97	23.05	54.57	23.22	0.40	0.40	0.40	2.19	2.19
Q ₂	0.096	LW	47.50	40.10	46.75	40.75	0.75	0.72	0.67	2.43	2.53
	0.096	MW	51.28	37.23	50.48	37.82	0.80	0.78	0.72	2.35	2.44
	0.096	HW	54.92	34.76	54.07	35.30	0.85	0.83	0.78	2.28	2.36
Q ₃	0.123	LW	47.35	51.40	46.09	52.80	1.26	1.19	1.09	2.43	2.54
	0.123	MW	51.26	47.48	49.93	48.74	1.33	1.27	1.17	2.35	2.45
	0.124	HW	54.87	44.75	53.38	46.00	1.49	1.43	1.33	2.23	2.31
Q ₄	0.151	LW	47.47	62.82	45.55	65.47	1.92	1.75	1.60	2.45	2.56
	0.151	MW	51.26	58.29	49.29	60.62	1.97	1.83	1.68	2.40	2.50
	0.151	HW	55.03	54.34	52.8	56.63	2.23	2.10	1.95	2.24	2.32
Q ₅	0.183	LW	47.40	76.53	44.52	81.49	2.88	2.48	2.28	2.50	2.61
	0.183	MW	51.19	70.95	48.34	75.13	2.85	2.54	2.34	2.48	2.58
	0.183	HW	54.91	66.07	51.82	70.01	3.09	2.82	2.61	2.35	2.44

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

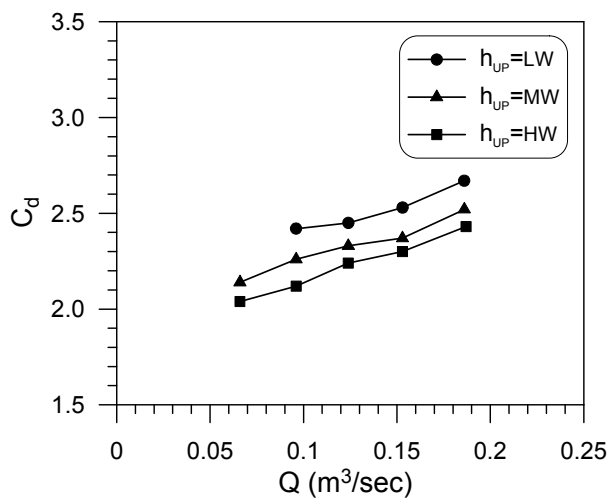
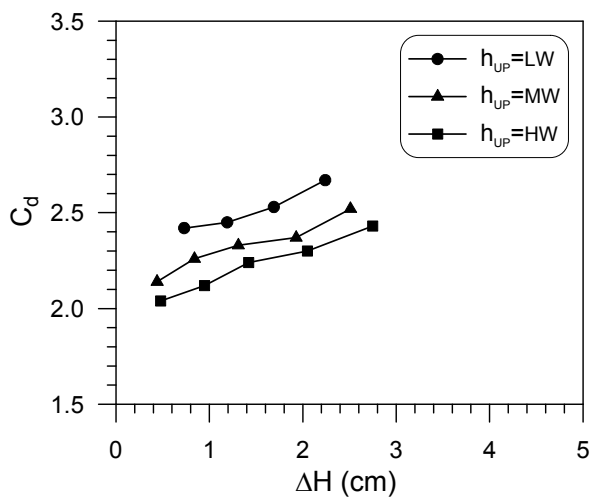
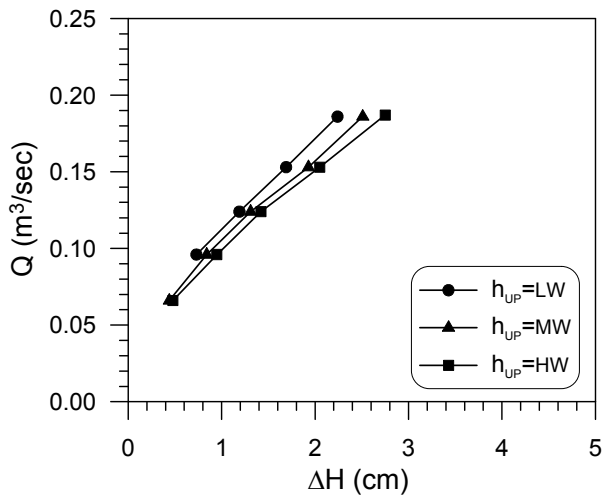
W70H21L40M00 / T2a

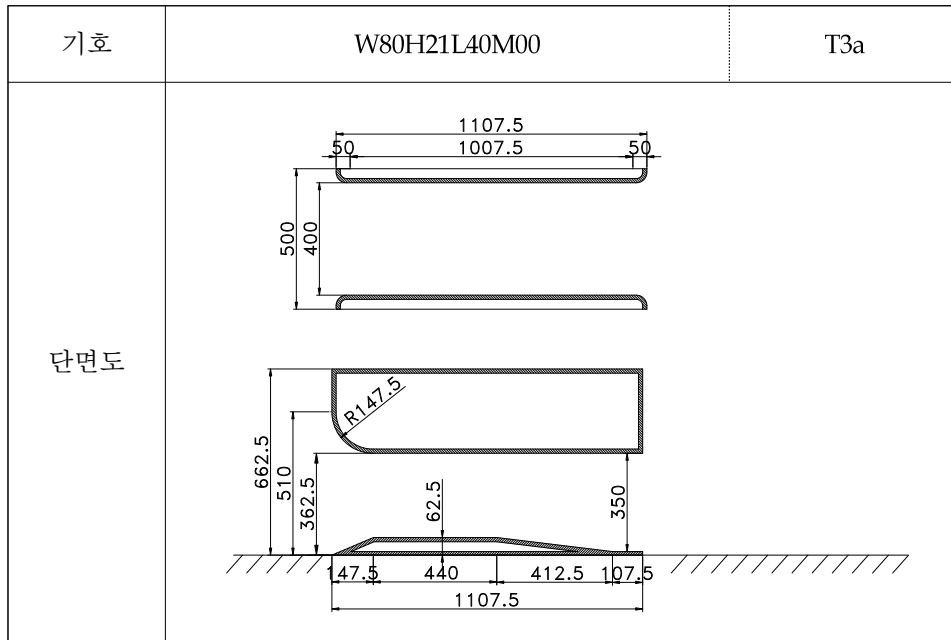




유량(Q)	상류측			하류측		수위차 (Δh)	수두차(ΔH)		유량계수(C_d)		
	수위 (h_{UP})	유속 (V_{UP})	유속	수위 (h_{DN})	유속 (V_{DN})		속도 보정	경사 보정	속도 보정	경사 보정	
(m^3/sec)	(cm)	(cm/s)		(cm)	(cm/s)	(cm)	(cm)				
Q ₁	0.066	LW	62.60	21.09	62.24	21.21	0.36	0.36	(0.35)	2.38	(2.39)
	0.066	MW	66.12	19.96	65.67	20.10	0.45	0.45	0.44	2.12	2.14
	0.066	HW	69.98	18.86	69.49	19.00	0.49	0.49	0.48	2.03	2.04
Q ₂	0.096	LW	62.49	30.72	61.68	31.13	0.81	0.80	0.73	2.31	2.42
	0.096	MW	66.22	28.99	65.29	29.41	0.93	0.92	0.84	2.16	2.26
	0.096	HW	69.95	27.45	68.91	27.86	1.04	1.03	0.95	2.04	2.12
Q ₃	0.124	LW	62.34	39.78	60.99	40.66	1.35	1.31	1.19	2.33	2.45
	0.124	MW	66.26	37.43	64.76	38.30	1.50	1.47	1.31	2.20	2.33
	0.124	HW	69.85	35.50	68.25	36.34	1.60	1.57	1.42	2.13	2.24
Q ₄	0.153	LW	62.43	49.01	60.43	50.64	2.00	1.92	1.69	2.38	2.53
	0.153	MW	66.13	46.27	63.90	47.89	2.23	2.15	1.93	2.24	2.37
	0.153	HW	69.95	43.75	67.60	45.27	2.35	2.28	2.05	2.18	2.30
Q ₅	0.186	LW	62.44	59.58	59.72	62.29	2.72	2.55	2.24	2.51	2.67
	0.186	MW	66.26	56.14	63.28	58.79	2.98	2.82	2.51	2.38	2.52
	0.187	HW	69.80	53.58	66.59	56.16	3.21	3.07	2.75	2.30	2.43

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

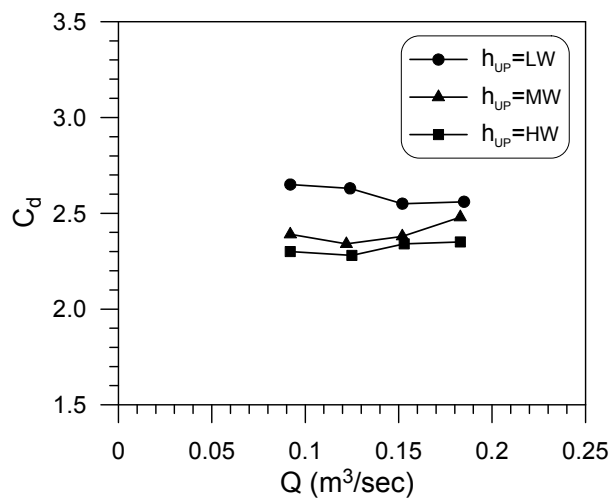
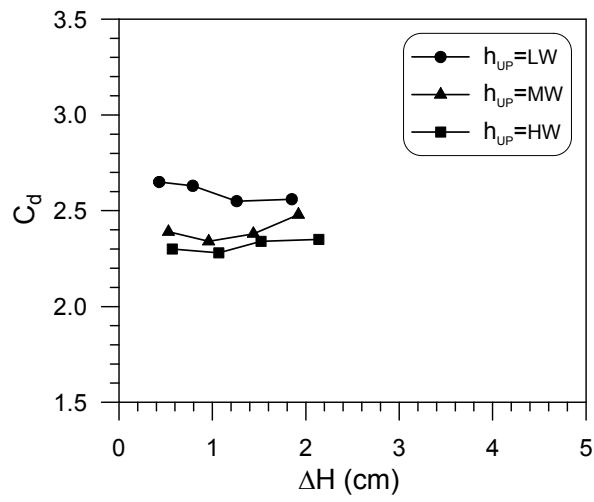
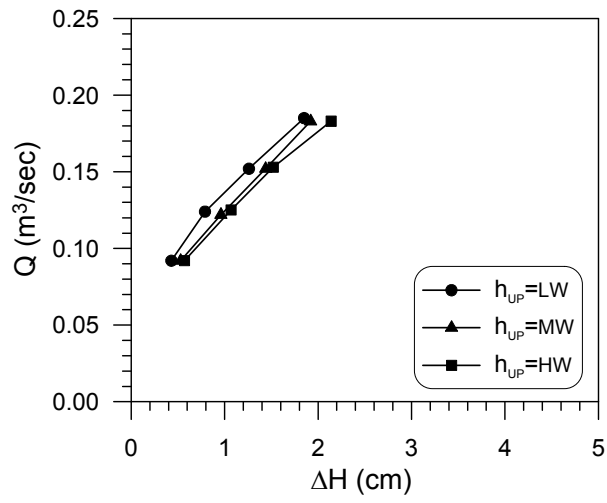


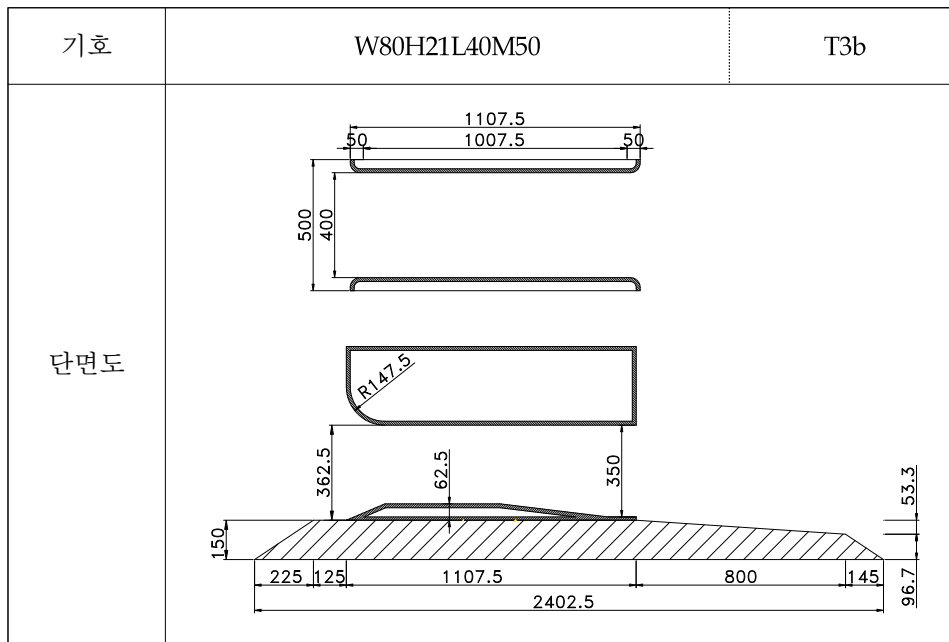


유량(Q)	상류측			하류측		수위차 (Δh)	수두차(ΔH)		유량계수(C_d)		
	수위 (h_{UP})	유속 (V_{UP})	유속	수위 (h_{DN})	유속 (V_{DN})		속도 보정	경사 보정	속도 보정	경사 보정	
(m^3/sec)	(cm)	(cm/s)		(cm)	(cm/s)	(cm)	(cm)				
Q ₁	0.065	LW	47.43	27.41	47.23	27.52	0.20	0.20	(0.20)	2.76	(2.77)
	0.064	MW	51.14	25.03	50.90	25.15	0.24	0.24	(0.24)	2.46	(2.47)
	0.064	HW	54.83	23.34	54.54	23.47	0.29	0.29	(0.29)	2.24	(2.25)
Q ₂	0.092	LW	47.45	38.78	46.96	39.18	0.49	0.47	0.43	2.47	2.65
	0.092	MW	50.99	36.09	50.40	36.51	0.59	0.57	0.53	2.25	2.39
	0.092	HW	54.99	33.46	54.36	33.85	0.63	0.62	0.57	2.18	2.30
Q ₃	0.124	LW	47.33	52.40	46.38	53.47	0.95	0.89	0.79	2.39	2.63
	0.122	MW	51.21	47.65	50.10	48.70	1.11	1.06	0.96	2.18	2.34
	0.125	HW	54.88	45.55	53.66	46.59	1.22	1.17	1.07	2.13	2.28
Q ₄	0.152	LW	47.44	64.08	45.89	66.25	1.55	1.41	1.26	2.30	2.55
	0.152	MW	51.03	59.57	49.31	61.65	1.72	1.59	1.44	2.18	2.38
	0.153	HW	54.88	55.76	53.10	57.63	1.78	1.67	1.52	2.16	2.34
Q ₅	0.185	LW	47.42	78.03	45.02	82.19	2.40	2.06	1.85	2.25	2.56
	0.183	MW	51.04	71.71	48.65	75.23	2.39	2.13	1.92	2.23	2.48
	0.183	HW	54.91	66.65	52.34	69.93	2.57	2.34	2.14	2.15	2.35

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W80H21L40M00 / T3a

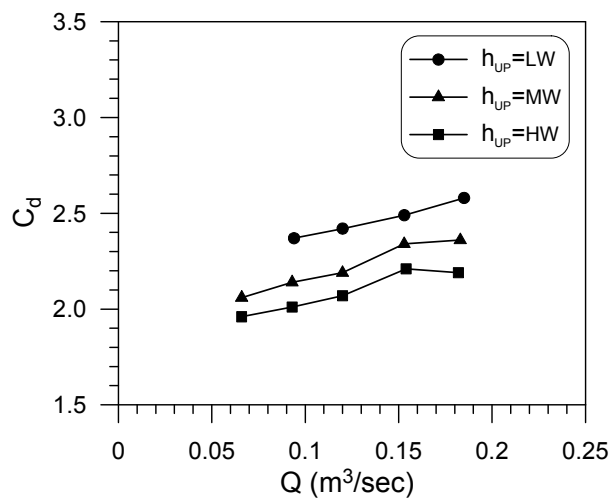
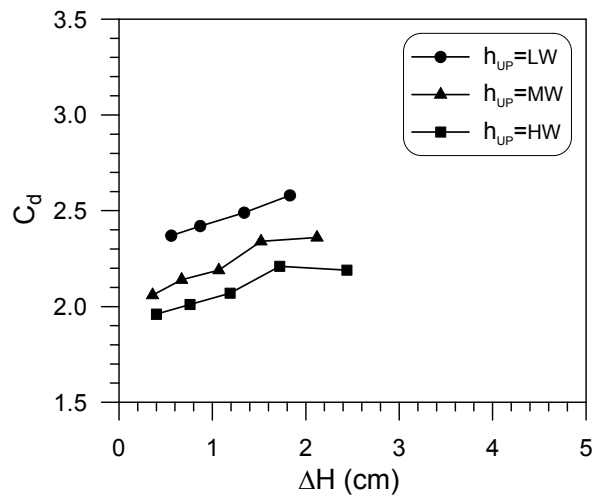
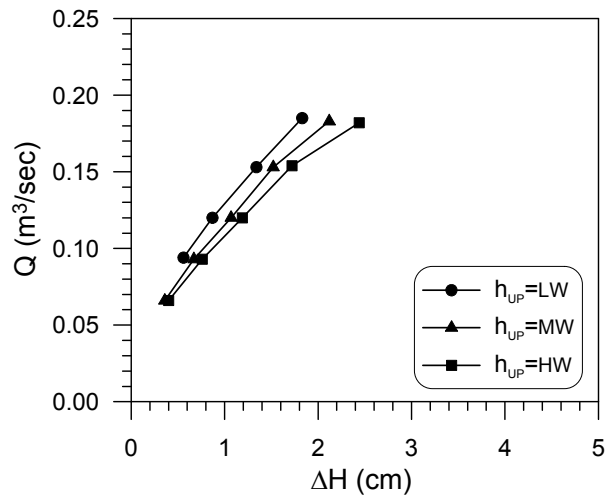


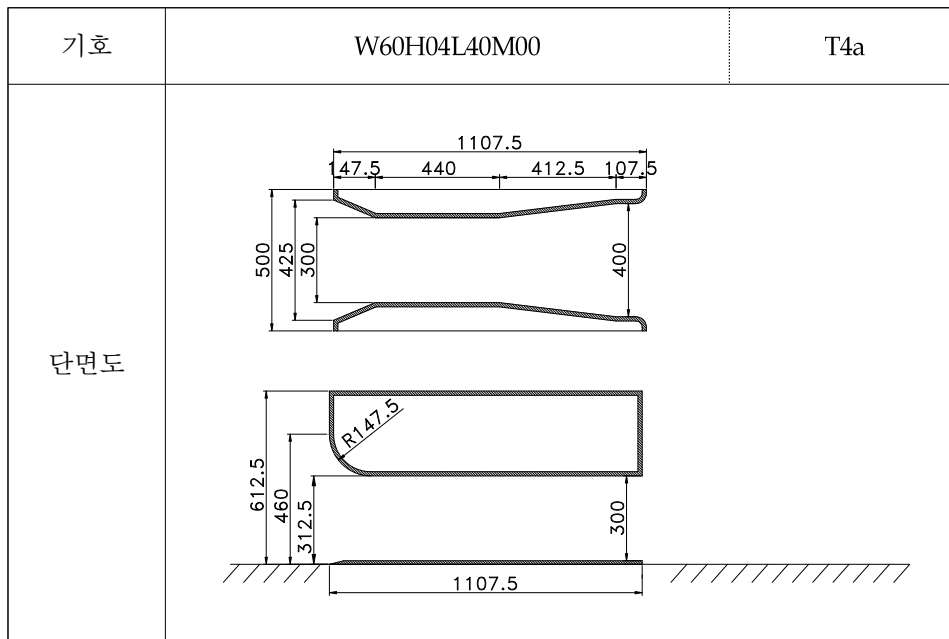


유량(Q)	상류측			하류측		수위차 (Δh)	수두차(ΔH)		유량계수(C_d)		
	수위 (h_{UP})	유속 (V_{UP})	유속	수위 (h_{DN})	유속 (V_{DN})		속도 보정	경사 보정	속도 보정	경사 보정	
(m^3/sec)	(cm)	(cm/s)		(cm)	(cm/s)	(cm)	(cm)				
Q ₁	0.067	LW	62.38	21.48	62.06	21.59	0.32	0.32	(0.31)	2.24	(2.26)
	0.066	MW	66.15	19.95	65.78	20.07	0.37	0.37	0.36	2.05	2.06
	0.066	HW	70.07	18.84	69.66	18.95	0.41	0.41	0.40	1.95	1.96
Q ₂	0.094	LW	62.59	30.04	61.96	30.34	0.63	0.62	0.56	2.25	2.37
	0.093	MW	66.39	28.02	65.65	28.33	0.74	0.73	0.67	2.05	2.14
	0.093	HW	70.07	26.54	69.24	26.86	0.83	0.82	0.76	1.93	2.01
Q ₃	0.120	LW	62.48	38.41	61.49	39.03	0.99	0.97	0.87	2.30	2.42
	0.120	MW	66.10	36.31	64.89	36.99	1.21	1.18	1.07	2.08	2.19
	0.120	HW	69.91	34.33	68.58	35.00	1.33	1.31	1.19	1.98	2.07
Q ₄	0.153	LW	62.39	49.05	60.80	50.33	1.59	1.52	1.34	2.33	2.49
	0.153	MW	66.16	46.25	64.35	47.55	1.81	1.75	1.52	2.18	2.34
	0.154	HW	69.74	44.16	67.73	45.47	2.01	1.95	1.72	2.08	2.21
Q ₅	0.185	LW	62.30	59.39	60.08	61.58	2.22	2.08	1.83	2.41	2.58
	0.183	MW	66.21	55.28	63.71	57.45	2.50	2.38	2.12	2.24	2.36
	0.182	HW	69.96	52.03	67.15	54.21	2.81	2.69	2.44	2.09	2.19

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W80H21L40M5 / T3b

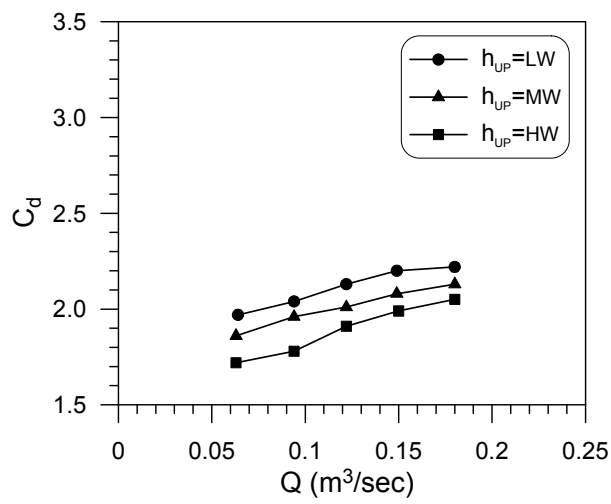
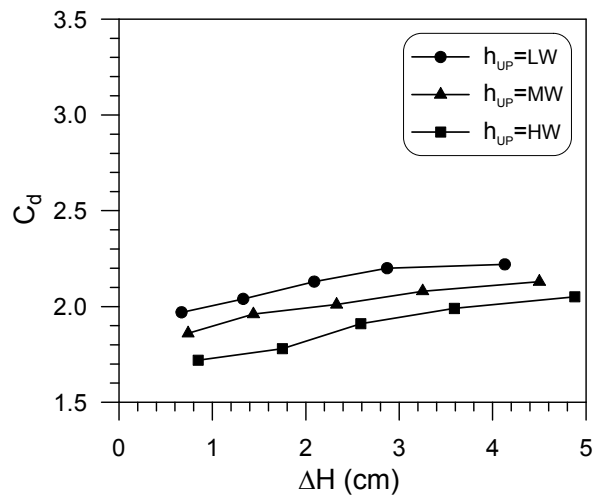
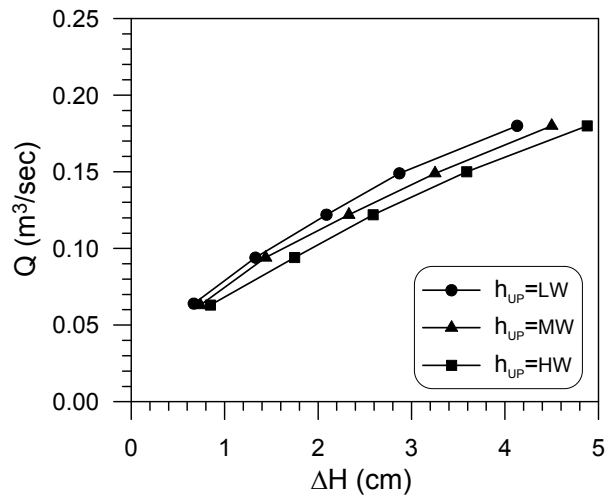


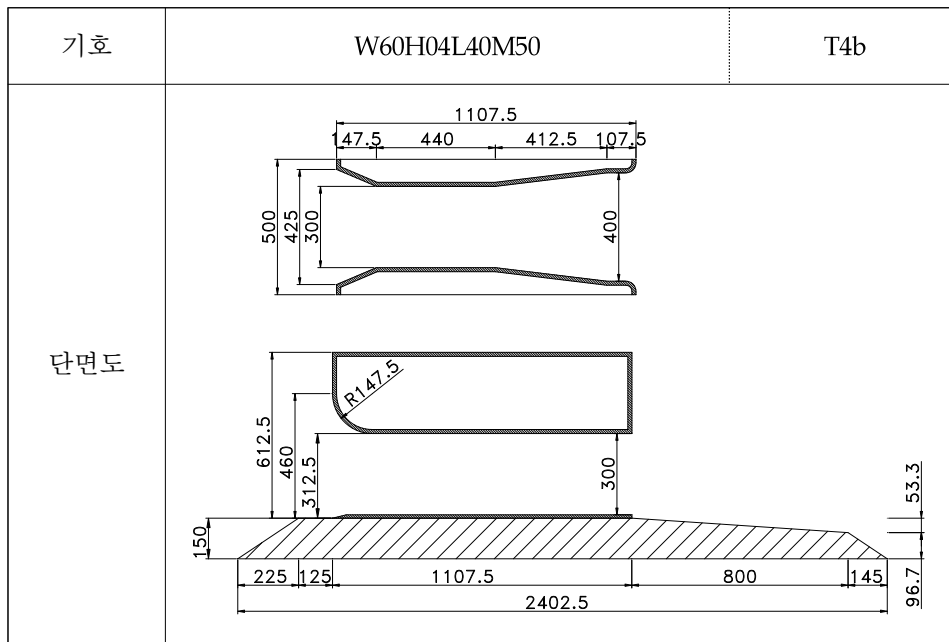


유량(Q)	상류측			하류측		수위차 (Δh)	수두차(ΔH)		유량계수(C_d)		
	수위 (h_{UP})	유속 (V_{UP})	유속 (V_{UP})	수위 (h_{DN})	유속 (V_{DN})		속도 보정	경사 보정	속도 보정	경사 보정	
(m^3/sec)	(cm)	(cm/s)	(cm/s)	(cm)	(cm/s)	(cm)	(cm)	(cm)			
Q ₁	0.064	LW	42.37	29.68	41.70	30.15	0.67	0.66	0.66	1.97	1.97
	0.063	MW	46.08	27.20	45.34	27.65	0.74	0.73	0.73	1.86	1.86
	0.063	HW	49.89	25.05	49.03	25.48	0.86	0.85	0.85	1.72	1.72
Q ₂	0.094	LW	42.35	43.86	40.90	45.41	1.45	1.38	1.33	2.00	2.04
	0.094	MW	46.09	40.34	44.54	41.75	1.55	1.49	1.44	1.93	1.96
	0.094	HW	49.72	37.32	47.86	38.77	1.86	1.80	1.75	1.75	1.78
Q ₃	0.122	LW	42.38	57.19	39.99	60.61	2.39	2.18	2.09	2.08	2.13
	0.122	MW	46.11	52.52	43.51	55.66	2.60	2.43	2.33	1.97	2.01
	0.122	HW	49.81	48.66	46.97	51.60	2.84	2.69	2.59	1.87	1.91
Q ₄	0.149	LW	42.35	69.53	38.87	75.75	3.48	3.02	2.87	2.15	2.20
	0.149	MW	46.08	64.12	42.29	69.86	3.79	3.40	3.25	2.03	2.08
	0.150	HW	49.77	59.68	45.70	65.00	4.07	3.73	3.59	1.95	1.99
Q ₅	0.180	LW	42.29	84.33	36.8	96.91	5.49	4.33	4.13	2.17	2.22
	0.180	MW	46.16	77.22	40.57	87.86	5.59	4.69	4.50	2.09	2.13
	0.180	HW	49.86	71.65	44.05	81.10	5.81	5.07	4.88	2.01	2.05

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W60H04L40M00 / T4a

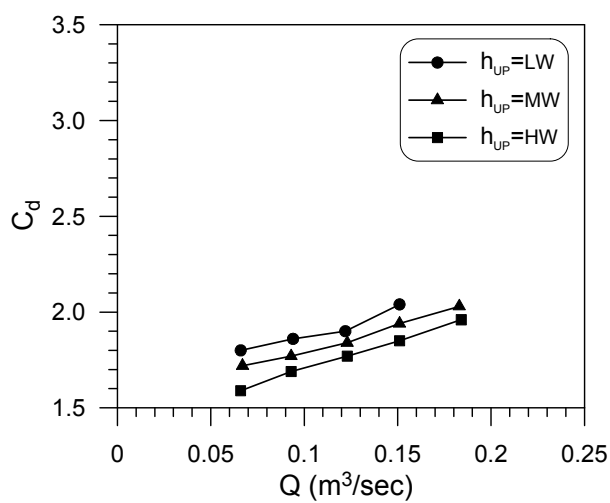
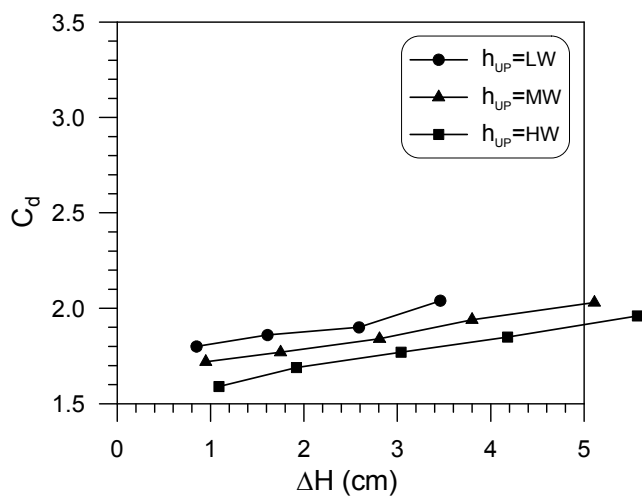
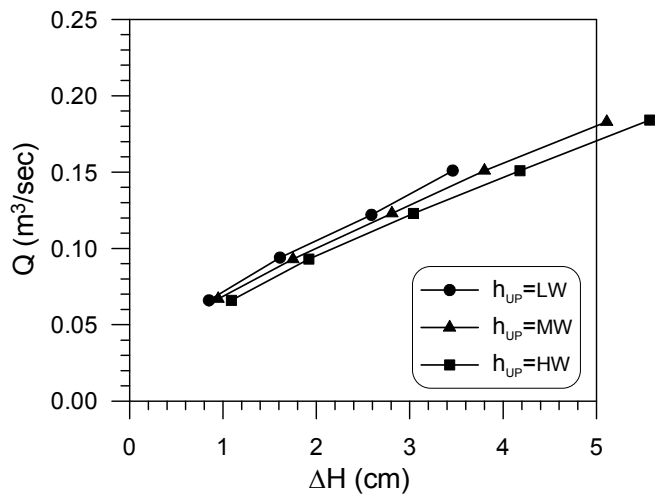


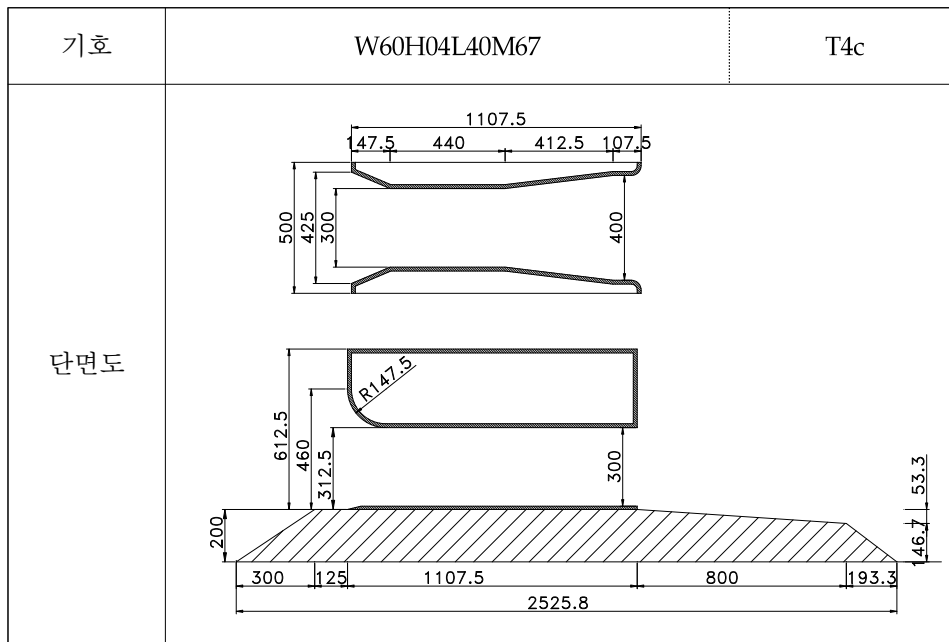


유량(Q)	상류측			하류측		수위차 (Δh)	수두차(ΔH)		유량계수(C_d)		
	수위 (h_{UP})	유속 (V_{UP})	수위 (h_{DN})	유속 (V_{DN})	속도 보정		경사 보정	속도 보정	경사 보정		
(m^3/sec)	(cm)	(cm/s)	(cm)	(cm/s)	(cm)	(cm)	(cm)				
Q ₁	0.066	LW	57.52	22.95	56.66	23.30	0.86	0.85	0.85	1.79	1.80
	0.067	MW	61.27	21.87	60.30	22.22	0.97	0.96	0.95	1.71	1.72
	0.066	HW	65.00	20.31	63.90	20.66	1.10	1.09	1.09	1.58	1.59
Q ₂	0.094	LW	57.54	32.67	55.83	33.67	1.71	1.68	1.61	1.82	1.86
	0.093	MW	61.23	30.38	59.38	31.32	1.85	1.82	1.75	1.73	1.77
	0.093	HW	64.85	28.68	62.83	29.60	2.02	1.99	1.92	1.65	1.69
Q ₃	0.122	LW	57.33	42.56	54.52	44.75	2.81	2.71	2.59	1.86	1.90
	0.123	MW	61.05	40.29	58.00	42.41	3.05	2.96	2.81	1.79	1.84
	0.123	HW	64.75	37.99	61.48	40.01	3.27	3.19	3.04	1.73	1.77
Q ₄	0.151	LW	57.28	52.72	53.38	56.58	3.90	3.69	3.46	1.97	2.04
	0.151	MW	61.08	49.44	56.87	53.10	4.21	4.02	3.80	1.89	1.94
	0.151	HW	64.81	46.60	60.23	50.14	4.58	4.41	4.18	1.81	1.85
Q ₅	-	LW	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.183	MW	61.17	59.83	55.35	66.12	5.82	5.42	5.11	1.97	2.03
	0.184	HW	64.74	56.84	58.49	62.92	6.25	5.88	5.57	1.90	1.96

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W60H04L40M50 / T4b

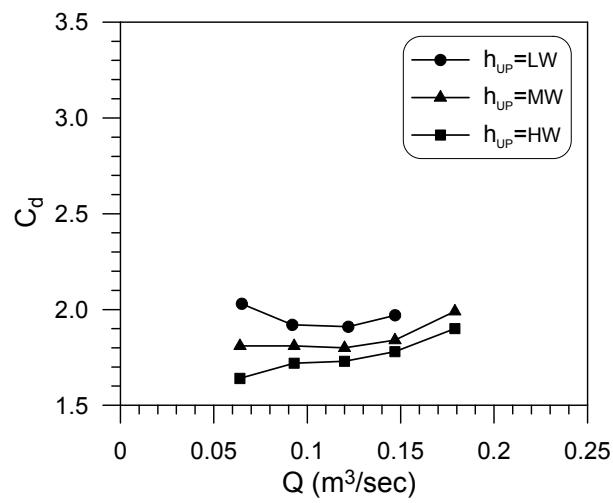
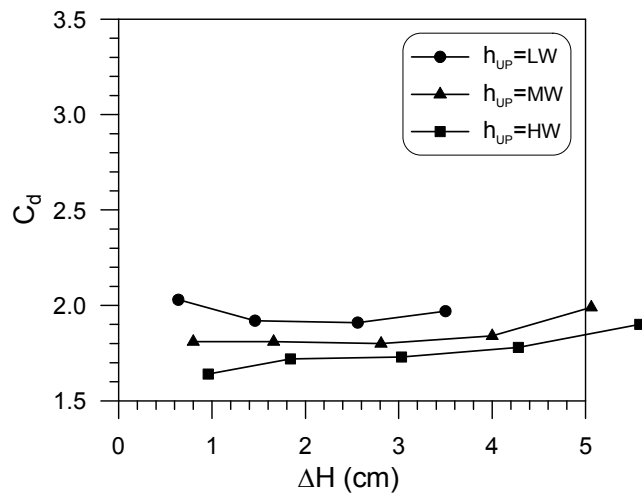
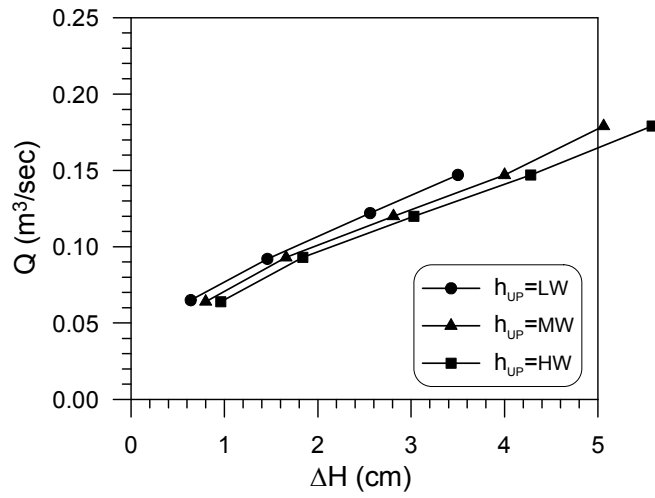


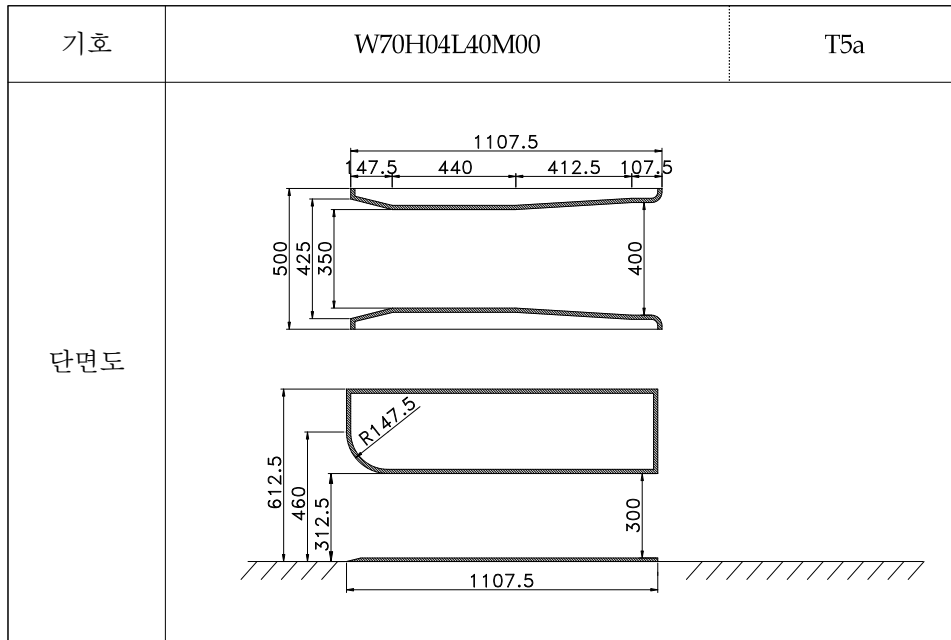


유량(Q)	상류측			하류측		수위차 (Δh)	수두차(ΔH)		유량계수(C_d)		
	수위 (h_{UP})	유속 (V_{UP})	유속	수위 (h_{DN})	유속 (V_{DN})		속도 보정	경사 보정	속도 보정	경사 보정	
(m^3/sec)	(cm)	(cm/s)		(cm)	(cm/s)	(cm)	(cm)				
Q ₁	0.065	LW	62.68	20.69	62.03	20.91	0.65	0.64	0.64	2.03	2.03
	0.064	MW	66.22	19.44	65.42	19.68	0.80	0.80	0.80	1.81	1.81
	0.064	HW	70.00	18.37	69.03	18.63	0.97	0.96	0.96	1.64	1.64
Q ₂	0.092	LW	62.57	29.54	61.04	30.28	1.53	1.51	1.46	1.89	1.92
	0.093	MW	66.22	28.11	64.46	28.88	1.76	1.74	1.66	1.77	1.81
	0.093	HW	70.13	26.58	68.20	27.33	1.94	1.92	1.84	1.69	1.72
Q ₃	0.122	LW	62.59	38.85	59.86	40.62	2.73	2.66	2.56	1.87	1.91
	0.120	MW	66.26	36.32	63.29	38.02	2.97	2.90	2.81	1.77	1.80
	0.120	HW	70.09	34.17	66.90	35.80	3.18	3.13	3.03	1.70	1.73
Q ₄	0.147	LW	62.65	46.96	58.75	50.08	3.90	3.75	3.50	1.91	1.97
	0.147	MW	66.32	44.32	62.04	47.38	4.28	4.14	4.00	1.81	1.84
	0.147	HW	69.96	41.98	65.41	44.90	4.55	4.42	4.28	1.75	1.78
Q ₅	-	LW	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.179	MW	66.29	53.94	60.60	59.01	5.69	5.40	5.06	1.93	1.99
	0.179	HW	69.98	51.15	63.79	56.12	6.19	5.92	5.58	1.85	1.90

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W60H04L40M67 / T4c

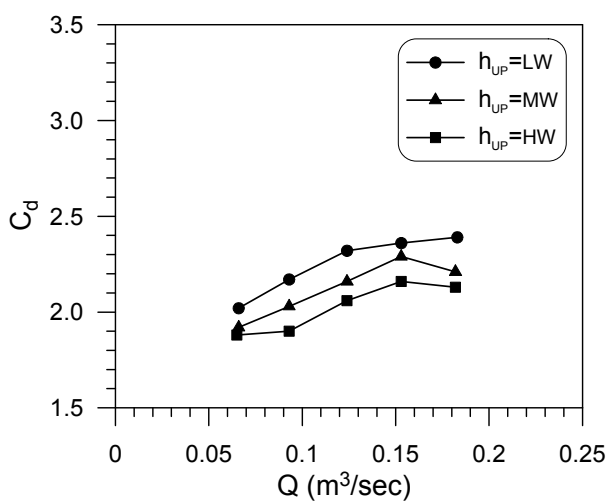
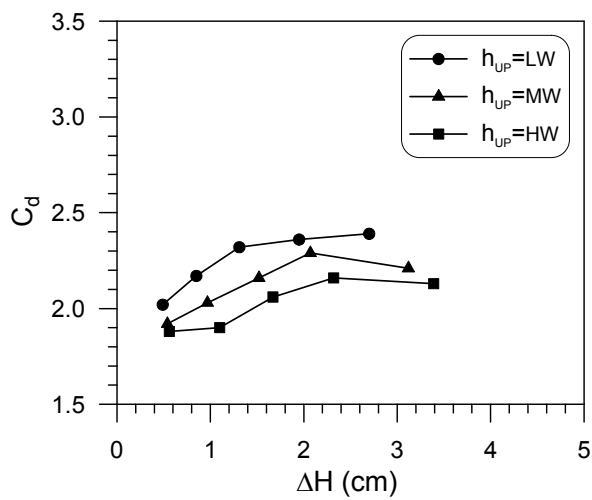
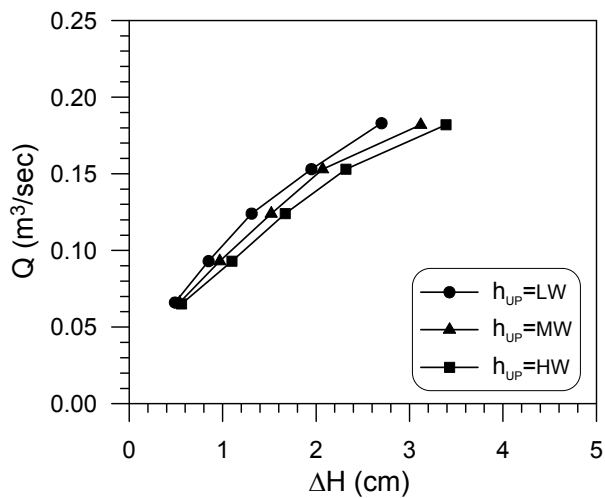


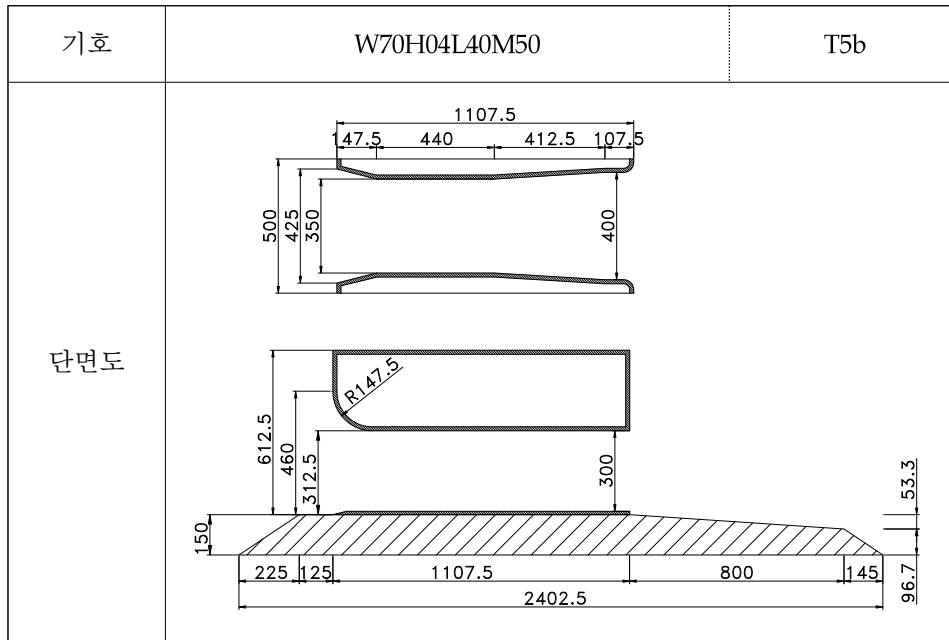


유량(Q)	상류측			하류측		수위차 (Δh)	수두차(ΔH)		유량계수(C_d)		
	수위 (h_{UP})	유속 (V_{UP})	유속	수위 (h_{DN})	유속 (V_{DN})		속도 보정	경사 보정	속도 보정	경사 보정	
(m^3/sec)	(cm)	(cm/s)		(cm)	(cm/s)	(cm)	(cm)				
Q ₁	0.066	LW	42.39	30.88	41.88	31.25	0.51	0.50	0.49	2.01	2.02
	0.066	MW	46.14	28.11	45.59	28.45	0.55	0.54	0.54	1.92	1.92
	0.065	HW	49.80	25.97	49.23	26.27	0.57	0.56	0.56	1.87	1.88
Q ₂	0.093	LW	42.36	43.52	41.40	44.53	0.96	0.91	0.85	2.09	2.17
	0.093	MW	46.15	39.95	45.08	40.90	1.07	1.03	0.97	1.97	2.03
	0.093	HW	49.89	36.87	48.69	37.78	1.20	1.17	1.10	1.85	1.90
Q ₃	0.124	LW	42.27	57.86	40.73	60.04	1.54	1.41	1.31	2.24	2.32
	0.124	MW	46.22	53.08	44.48	55.16	1.74	1.63	1.52	2.09	2.16
	0.124	HW	49.88	49.07	47.96	51.03	1.92	1.82	1.67	1.97	2.06
Q ₄	0.153	LW	42.16	71.96	39.73	76.36	2.43	2.10	1.95	2.28	2.36
	0.153	MW	46.13	65.68	43.65	69.41	2.48	2.22	2.07	2.21	2.29
	0.153	HW	49.80	60.96	47.02	64.56	2.78	2.55	2.32	2.07	2.16
Q ₅	0.183	LW	42.32	85.49	38.69	93.51	3.63	2.90	2.70	2.31	2.39
	0.182	MW	46.12	78.01	42.19	85.28	3.93	3.32	3.12	2.14	2.21
	0.182	HW	49.86	72.32	45.66	78.97	4.20	3.69	3.39	2.04	2.13

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W70H04L40M00 / T5a

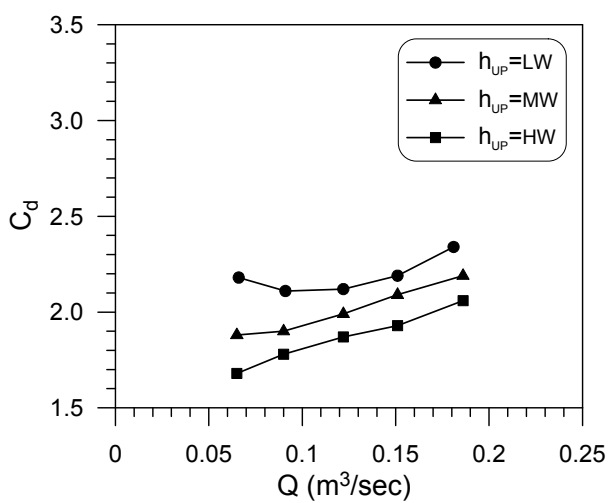
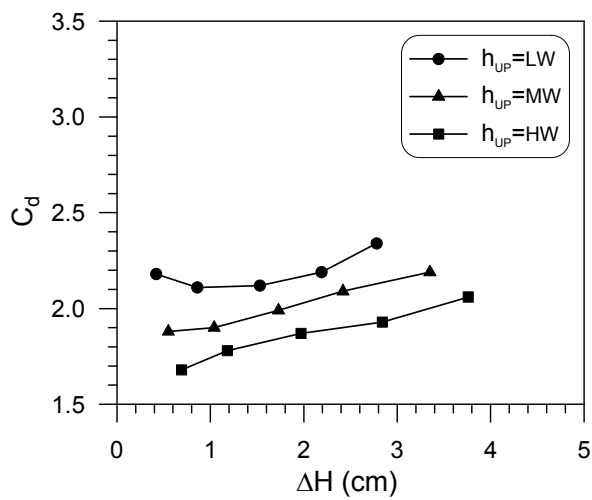
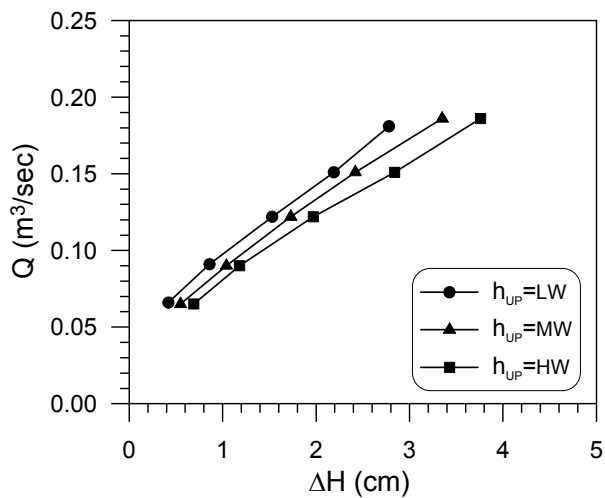


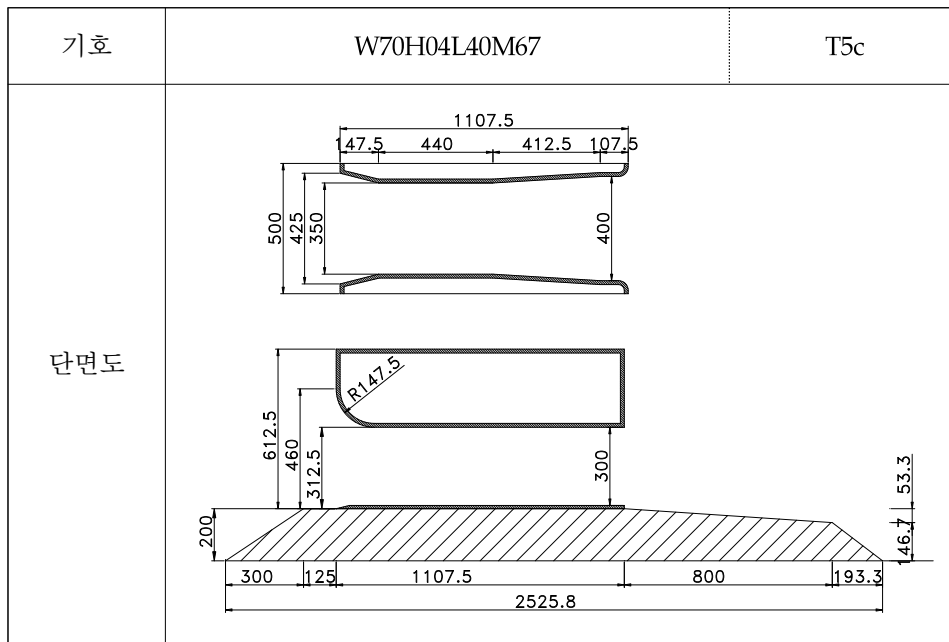


유량(Q)	상류측			하류측		수위차 (Δh)	수두차(ΔH)		유량계수(C_d)		
	수위 (h_{UP})	유속 (V_{UP})	유속	수위 (h_{DN})	유속 (V_{DN})		속도 보정	경사 보정	속도 보정	경사 보정	
(m^3/sec)	(cm)	(cm/s)		(cm)	(cm/s)	(cm)	(cm)				
Q ₁	0.066	LW	57.32	23.03	56.89	23.20	0.43	0.43	0.42	2.18	2.18
	0.065	MW	60.99	21.31	60.43	21.51	0.56	0.56	0.55	1.88	1.88
	0.065	HW	64.71	20.09	64.01	20.31	0.70	0.70	0.69	1.68	1.68
Q ₂	0.091	LW	57.17	31.83	56.25	32.36	0.92	0.90	0.86	2.06	2.11
	0.090	MW	61.14	29.44	60.04	29.98	1.10	1.08	1.04	1.86	1.90
	0.090	HW	64.92	27.73	63.68	28.27	1.24	1.22	1.18	1.75	1.78
Q ₃	0.122	LW	57.39	42.52	55.68	43.82	1.71	1.65	1.53	2.04	2.12
	0.122	MW	61.23	39.85	59.32	41.13	1.91	1.86	1.73	1.93	1.99
	0.122	HW	64.82	37.64	62.68	38.93	2.14	2.09	1.97	1.82	1.87
Q ₄	0.151	LW	57.30	52.71	54.79	55.12	2.51	2.38	2.19	2.11	2.19
	0.151	MW	61.02	49.49	58.30	51.80	2.72	2.60	2.42	2.01	2.09
	0.151	HW	64.84	46.58	61.70	48.95	3.14	3.02	2.84	1.87	1.93
Q ₅	0.181	LW	57.48	62.98	54.20	66.79	3.28	3.03	2.78	2.24	2.34
	0.186	MW	61.12	60.86	57.25	64.98	3.87	3.61	3.35	2.11	2.19
	0.186	HW	64.78	57.43	60.51	61.48	4.27	4.02	3.76	1.99	2.06

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W70H04L40M50 / T5b

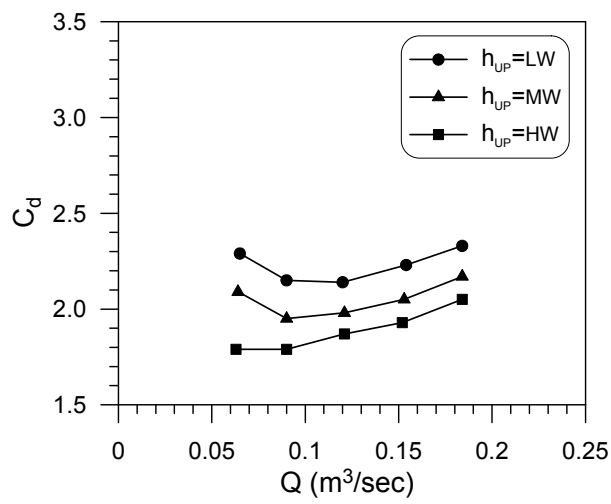
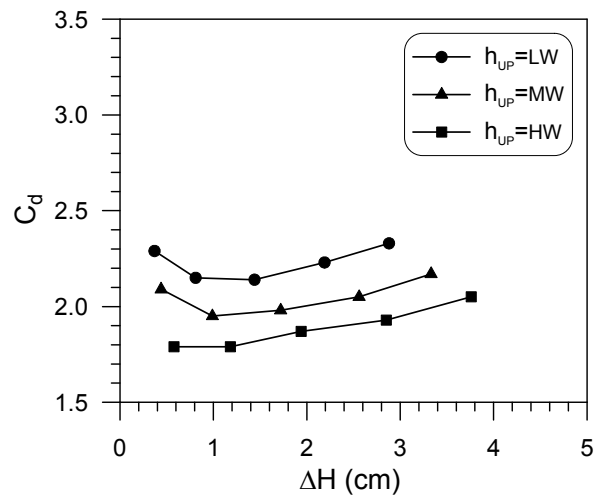
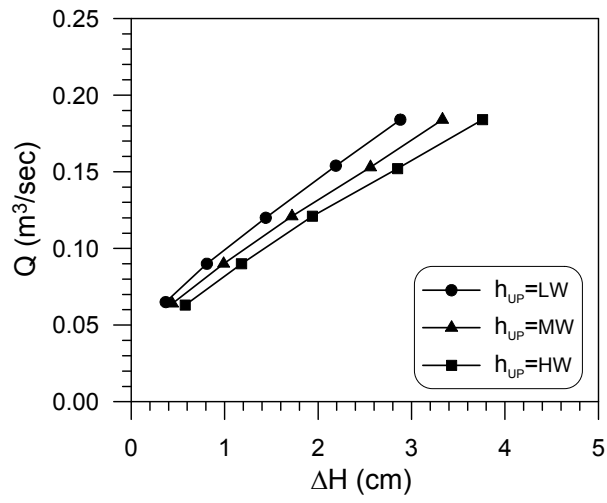


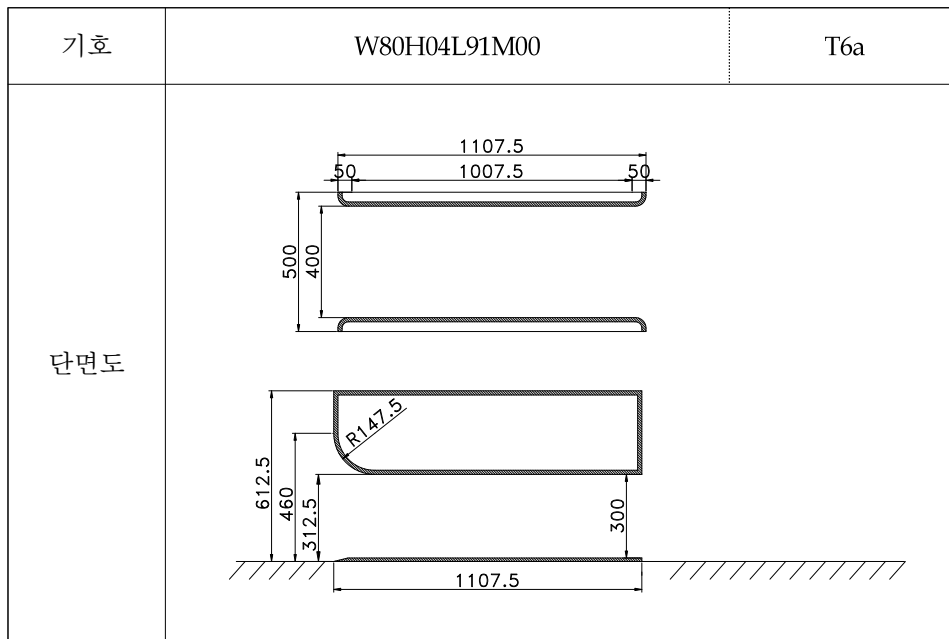


유량(Q)	상류측			하류측		수위차 (Δh)	수두차(ΔH)		유량계수(C_d)		
	수위 (h_{UP})	유속 (V_{UP})	유속	수위 (h_{DN})	유속 (V_{DN})		속도 보정	경사 보정	속도 보정	경사 보정	
(m^3/sec)	(cm)	(cm/s)	(cm)	(cm)	(cm/s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	
Q ₁	0.065	LW	62.44	20.81	62.06	20.94	0.38	0.37	0.37	2.29	2.29
	0.064	MW	66.23	19.38	65.79	19.50	0.44	0.44	0.44	2.09	2.09
	0.063	HW	69.85	18.10	69.27	18.25	0.58	0.58	0.58	1.79	1.79
Q ₂	0.090	LW	62.62	28.71	61.75	29.11	0.86	0.85	0.81	2.10	2.15
	0.090	MW	66.27	27.12	65.22	27.56	1.05	1.04	0.99	1.89	1.95
	0.090	HW	69.95	25.87	68.70	26.34	1.25	1.24	1.18	1.75	1.79
Q ₃	0.120	LW	62.51	38.32	60.93	39.32	1.58	1.54	1.44	2.08	2.14
	0.121	MW	66.39	36.35	64.51	37.42	1.89	1.85	1.72	1.91	1.98
	0.121	HW	69.84	34.66	67.75	35.73	2.09	2.06	1.94	1.82	1.87
Q ₄	0.154	LW	62.57	49.07	60.05	51.13	2.52	2.42	2.19	2.12	2.23
	0.153	MW	66.32	46.01	63.47	48.08	2.85	2.75	2.56	1.98	2.05
	0.152	HW	69.95	43.38	66.79	45.44	3.16	3.07	2.85	1.86	1.93
Q ₅	0.184	LW	62.50	58.80	59.11	62.17	3.39	3.18	2.88	2.22	2.33
	0.184	MW	66.27	55.50	62.49	58.86	3.78	3.58	3.33	2.09	2.17
	0.184	HW	70.15	52.57	65.90	55.96	4.25	4.06	3.76	1.97	2.05

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W70H04L40M67 / T5c

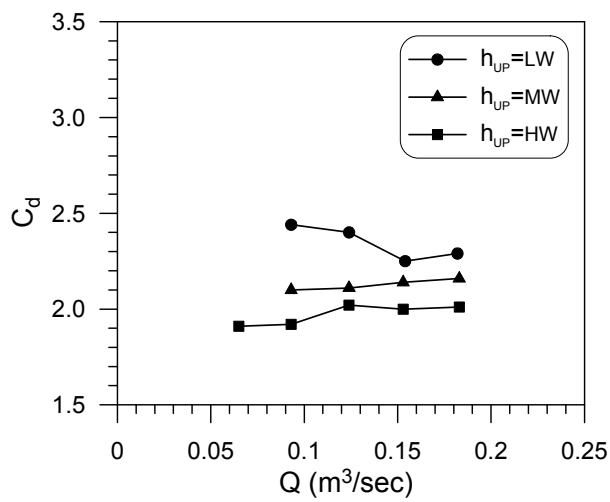
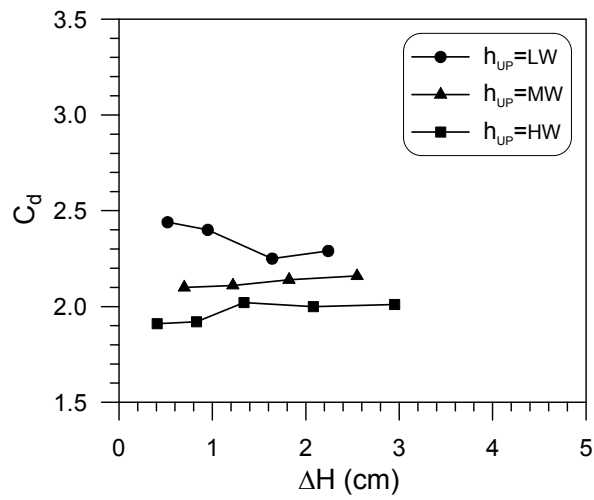
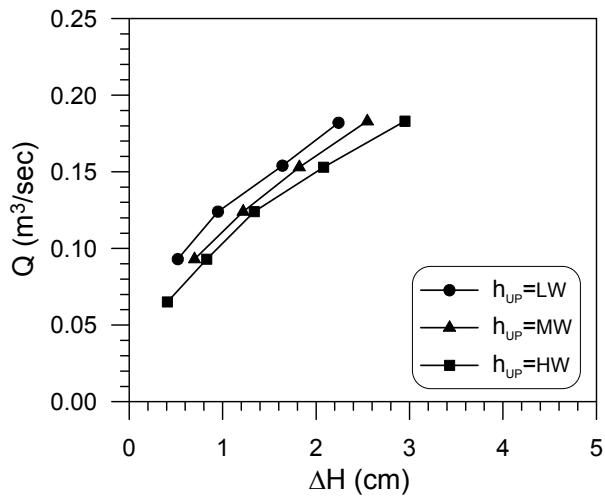


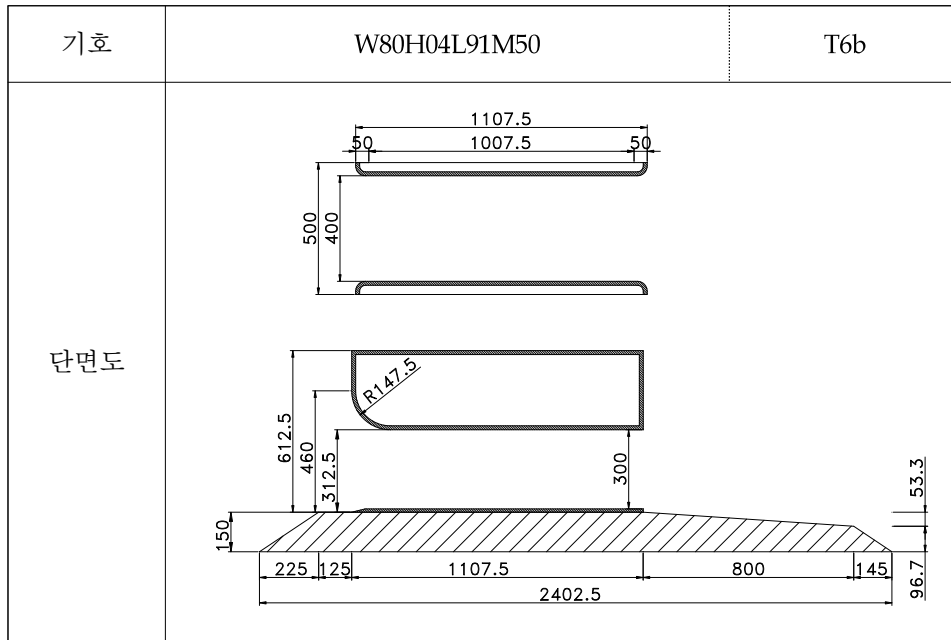


유량(Q)	상류측			하류측		수위차 (Δh)	수두차(ΔH)		유량계수(C_d)		
	수위 (h_{UP})	유속 (V_{UP})	유속 (V_{UP})	수위 (h_{DN})	유속 (V_{DN})		속도 보정	경사 보정	속도 보정	경사 보정	
(m^3/sec)	(cm)	(cm/s)	(cm/s)	(cm)	(cm/s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	
Q ₁	0.066	LW	41.66	31.37	41.42	31.55	0.24	0.23	(0.23)	2.57	(2.59)
	0.065	MW	45.5	28.29	45.17	28.50	0.33	0.32	(0.32)	2.15	(2.16)
	0.065	HW	49.18	26.17	48.76	26.40	0.42	0.41	0.41	1.90	1.91
Q ₂	0.093	LW	41.52	44.35	40.90	45.03	0.62	0.59	0.52	2.28	2.44
	0.093	MW	45.43	40.54	44.63	41.26	0.80	0.77	0.70	2.00	2.10
	0.093	HW	49.15	37.47	48.22	38.19	0.93	0.90	0.83	1.84	1.92
Q ₃	0.124	LW	41.55	59.00	40.40	60.68	1.15	1.05	0.95	2.28	2.40
	0.124	MW	45.38	54.02	43.96	55.77	1.42	1.32	1.22	2.03	2.11
	0.124	HW	49.11	50.16	47.53	51.83	1.58	1.49	1.34	1.92	2.02
Q ₄	0.154	LW	41.64	73.00	39.55	76.85	2.09	1.80	1.64	2.16	2.25
	0.153	MW	45.40	66.86	43.19	70.29	2.21	1.97	1.82	2.06	2.14
	0.153	HW	49.13	61.83	46.60	65.19	2.53	2.31	2.08	1.90	2.00
Q ₅	0.182	LW	41.70	86.43	38.63	93.29	3.07	2.44	2.24	2.19	2.29
	0.183	MW	45.46	79.71	42.19	85.89	3.27	2.75	2.55	2.08	2.16
	0.183	HW	49.06	73.86	45.45	79.73	3.61	3.15	2.95	1.94	2.01

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W80H04L91M00 / T6a

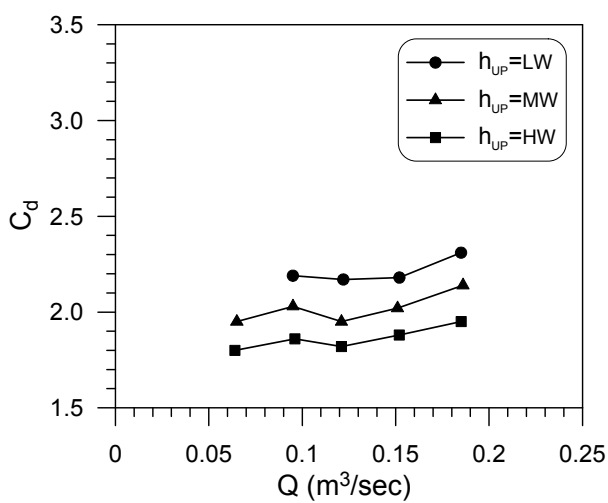
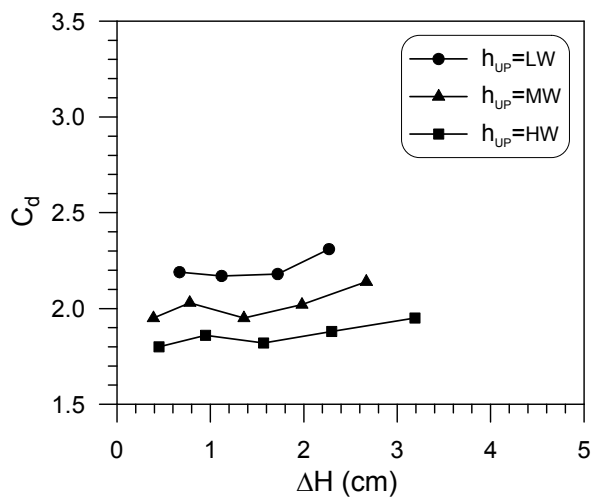
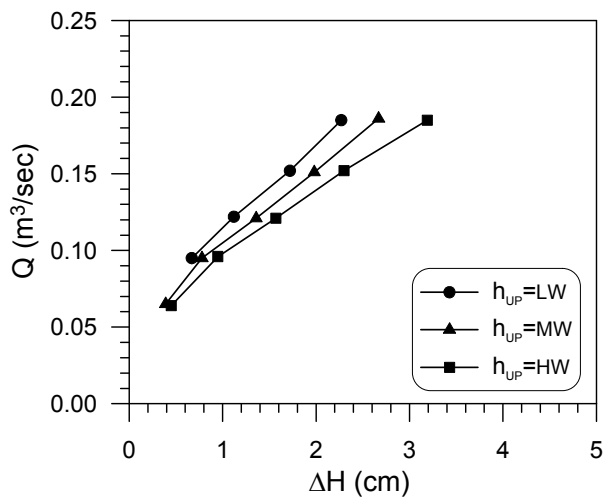


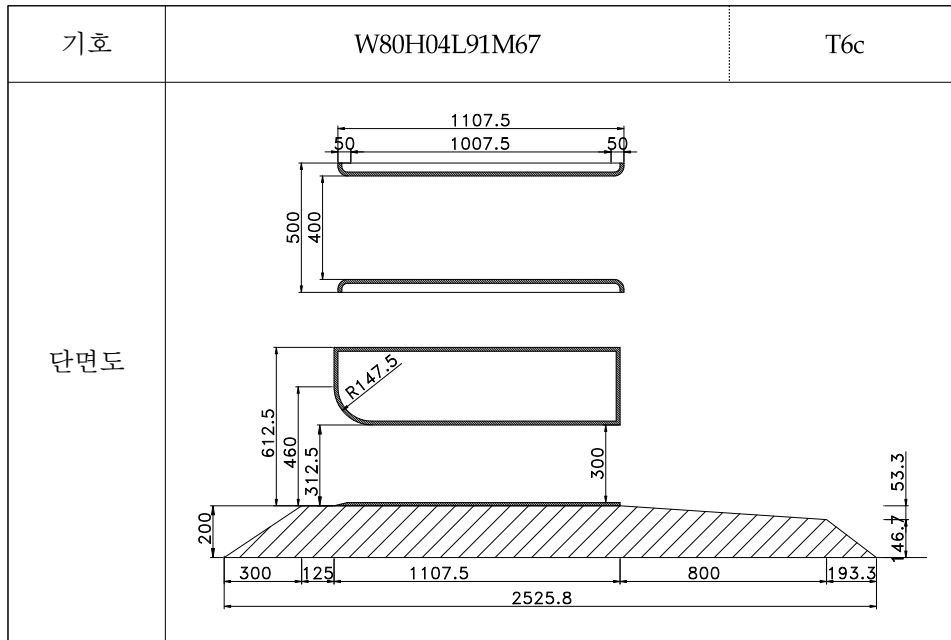


유량(Q)	상류측			하류측		수위차 (Δh)	수두차(ΔH)		유량계수(C_d)		
	수위 (h_{UP})	유속 (V_{UP})	유속 (V_{UP})	수위 (h_{DN})	유속 (V_{DN})		속도 보정	경사 보정	속도 보정	경사 보정	
(m^3/sec)	(cm)	(cm/s)	(cm/s)	(cm)	(cm/s)	(cm)	(cm)	(cm)			
Q ₁	0.065	LW	56.74	22.91	56.42	23.04	0.32	0.32	(0.31)	2.17	(2.18)
	0.065	MW	60.38	21.53	59.98	21.67	0.40	0.40	0.39	1.94	1.95
	0.064	HW	64.13	19.96	63.68	20.10	0.45	0.45	0.45	1.80	1.80
Q ₂	0.095	LW	56.64	33.55	55.89	34.00	0.75	0.73	0.67	2.09	2.19
	0.095	MW	60.44	31.44	59.58	31.89	0.86	0.85	0.78	1.94	2.03
	0.096	HW	64.32	29.85	63.29	30.34	1.03	1.02	0.95	1.79	1.86
Q ₃	0.122	LW	56.90	42.88	55.61	43.88	1.29	1.25	1.12	2.06	2.17
	0.121	MW	60.54	39.97	59.04	40.99	1.50	1.46	1.36	1.89	1.95
	0.121	HW	64.23	37.68	62.50	38.72	1.73	1.69	1.57	1.75	1.82
Q ₄	0.152	LW	56.74	53.58	54.72	55.56	2.02	1.91	1.72	2.07	2.18
	0.151	MW	60.49	49.93	58.26	51.84	2.23	2.13	1.98	1.95	2.02
	0.152	HW	64.23	47.33	61.64	49.32	2.59	2.49	2.30	1.81	1.88
Q ₅	0.185	LW	56.75	65.20	54.00	68.52	2.75	2.52	2.27	2.19	2.31
	0.186	MW	60.46	61.53	57.26	64.97	3.20	2.98	2.67	2.03	2.14
	0.185	HW	64.31	57.53	60.65	61.01	3.66	3.45	3.19	1.87	1.95

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W80H04L91M50 / T6b

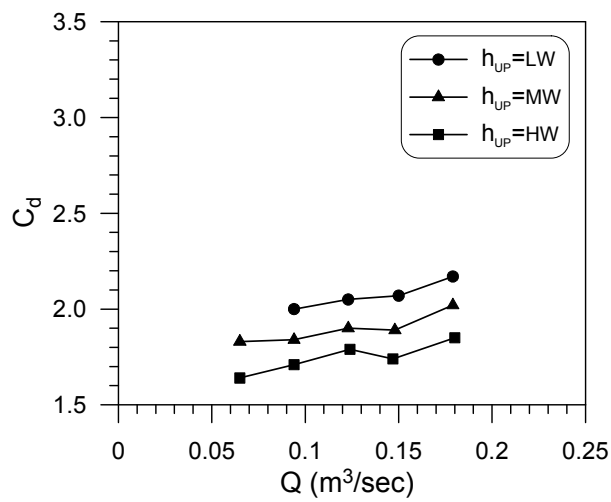
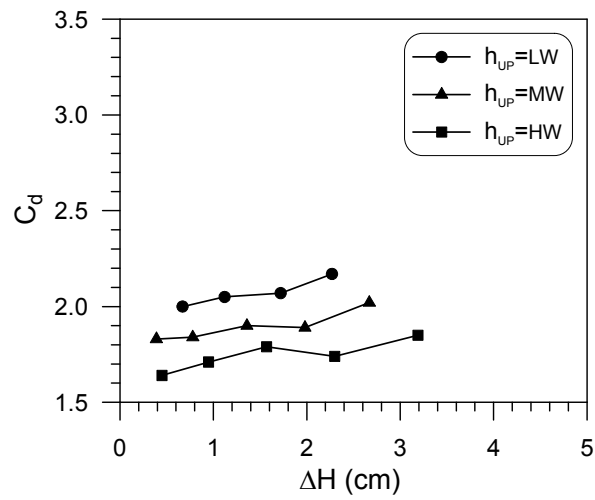
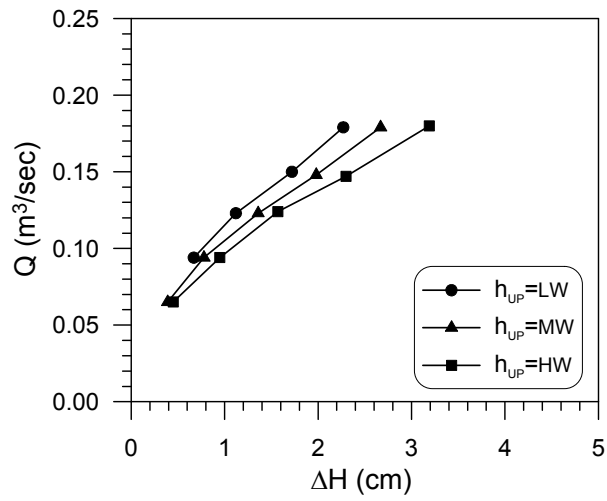


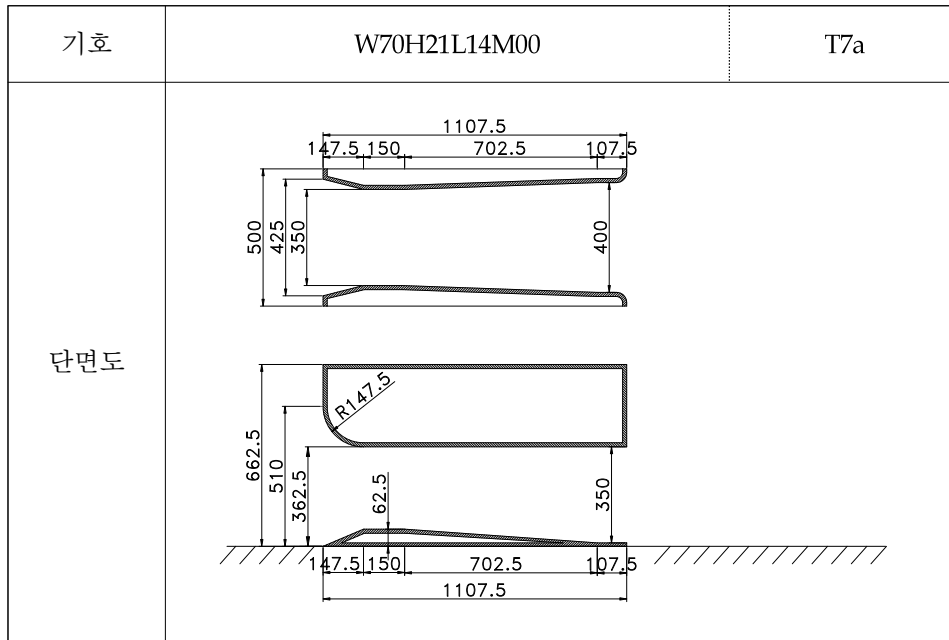


유량(Q)	상류측			하류측		수위차 (Δh)	수두차(ΔH)		유량계수(C_d)		
	수위 (h_{UP})	유속 (V_{UP})	유속 (V_{UP})	수위 (h_{DN})	유속 (V_{DN})		속도 보정	경사 보정	속도 보정	경사 보정	
(m^3/sec)	(cm)	(cm/s)	(cm/s)	(cm)	(cm/s)	(cm)	(cm)	(cm)			
Q ₁	0.065	LW	61.63	21.09	61.29	21.21	0.34	0.34	(0.34)	2.10	(2.11)
	0.065	MW	65.49	19.85	65.04	19.99	0.45	0.45	0.45	1.83	1.83
	0.065	HW	69.18	18.79	68.62	18.94	0.56	0.56	0.56	1.64	1.64
Q ₂	0.094	LW	61.75	30.45	60.89	30.88	0.86	0.85	0.78	1.92	2.00
	0.094	MW	65.34	28.77	64.34	29.22	1.00	0.99	0.92	1.78	1.84
	0.094	HW	69.11	27.20	67.97	27.66	1.14	1.13	1.07	1.66	1.71
Q ₃	0.123	LW	61.60	39.94	60.16	40.89	1.44	1.40	1.27	1.96	2.05
	0.123	MW	65.50	37.56	63.82	38.55	1.68	1.64	1.49	1.81	1.90
	0.124	HW	69.21	35.83	67.32	36.84	1.89	1.85	1.70	1.71	1.79
Q ₄	0.150	LW	61.80	48.54	59.67	50.28	2.13	2.04	1.86	1.98	2.07
	0.148	MW	65.50	45.19	63.07	46.93	2.43	2.35	2.17	1.82	1.89
	0.147	HW	69.40	42.36	66.62	44.13	2.78	2.70	2.53	1.68	1.74
Q ₅	0.179	LW	61.77	57.96	58.95	60.73	2.82	2.65	2.41	2.07	2.17
	0.179	MW	65.56	54.61	62.37	57.40	3.19	3.03	2.79	1.94	2.02
	0.180	HW	69.20	52.02	65.43	55.02	3.77	3.61	3.36	1.78	1.85

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W80H04L91M67 / T6c

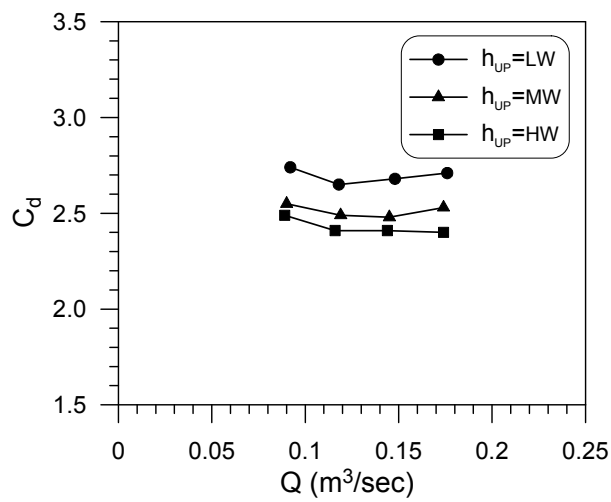
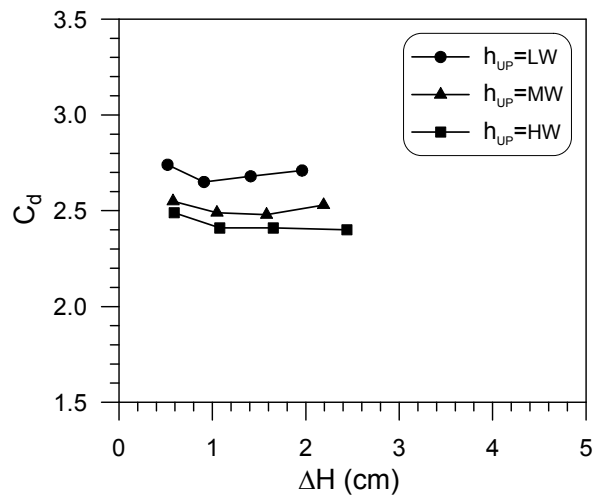
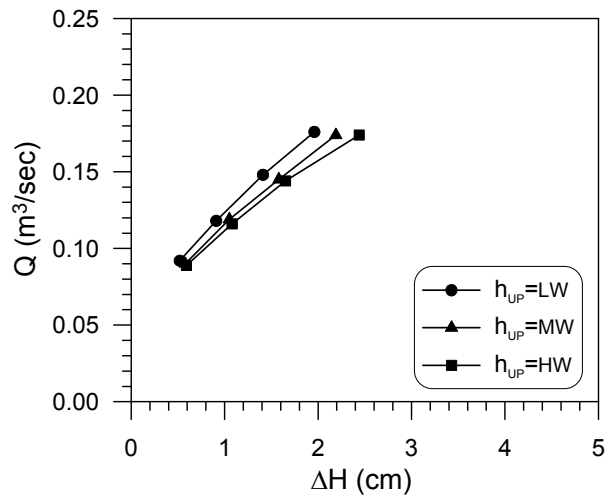


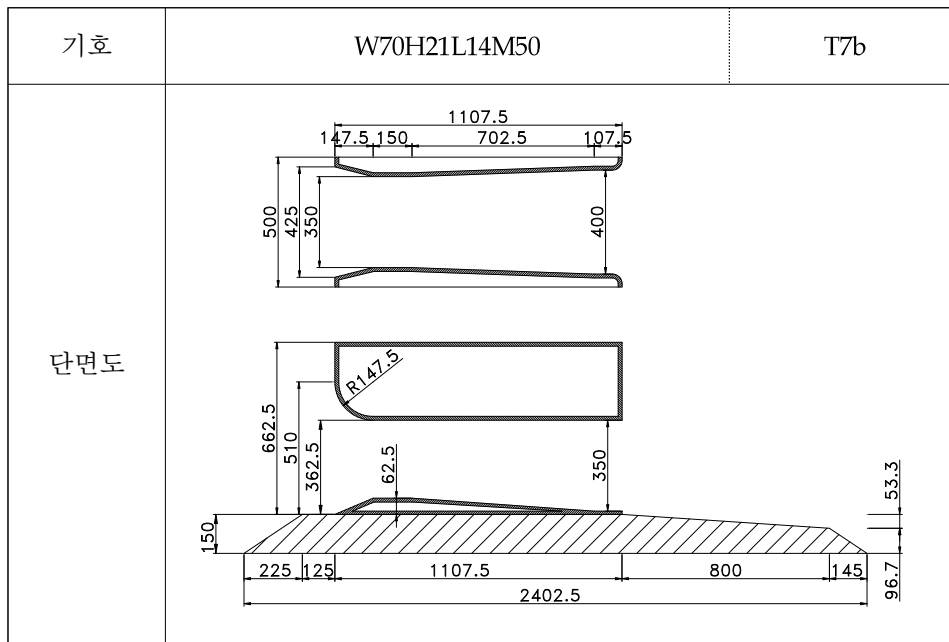


유량(Q)	상류측			하류측		수위차 (Δh)	수두차(ΔH)		유량계수(C_d)		
	수위 (h_{UP})	유속 (V_{UP})	유속	수위 (h_{DN})	유속 (V_{DN})		속도 보정	경사 보정	속도 보정	경사 보정	
(m^3/sec)	(cm)	(cm/s)		(cm)	(cm/s)	(cm)	(cm)				
Q ₁	0.063	LW	47.10	26.75	46.86	26.89	0.24	0.23	(0.23)	2.81	(2.81)
	0.062	MW	51.18	24.23	50.90	24.36	0.28	0.27	(0.27)	2.55	(2.55)
	0.062	HW	54.98	22.56	54.74	22.65	0.23	0.23	(0.23)	2.78	(2.78)
Q ₂	0.092	LW	47.36	38.85	46.77	39.34	0.59	0.57	0.52	2.62	2.74
	0.090	MW	51.16	35.19	50.50	35.65	0.66	0.64	0.58	2.41	2.55
	0.089	HW	54.92	32.41	54.25	32.81	0.67	0.65	0.59	2.37	2.49
Q ₃	0.118	LW	47.40	49.79	46.33	50.94	1.07	1.01	0.91	2.53	2.65
	0.119	MW	51.18	46.50	49.96	47.64	1.23	1.17	1.05	2.37	2.49
	0.116	HW	54.71	42.40	53.48	43.38	1.23	1.19	1.08	2.29	2.41
Q ₄	0.148	LW	47.36	62.50	45.66	64.83	1.70	1.55	1.41	2.56	2.68
	0.145	MW	51.19	56.66	49.27	58.86	1.92	1.79	1.58	2.33	2.48
	0.144	HW	54.85	52.51	52.89	54.45	1.96	1.85	1.65	2.28	2.41
Q ₅	0.176	LW	47.49	74.12	45.03	78.17	2.46	2.15	1.96	2.58	2.71
	0.174	MW	51.09	68.12	48.44	71.84	2.65	2.38	2.19	2.43	2.53
	0.174	HW	54.73	63.59	51.87	67.09	2.86	2.62	2.44	2.31	2.40

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

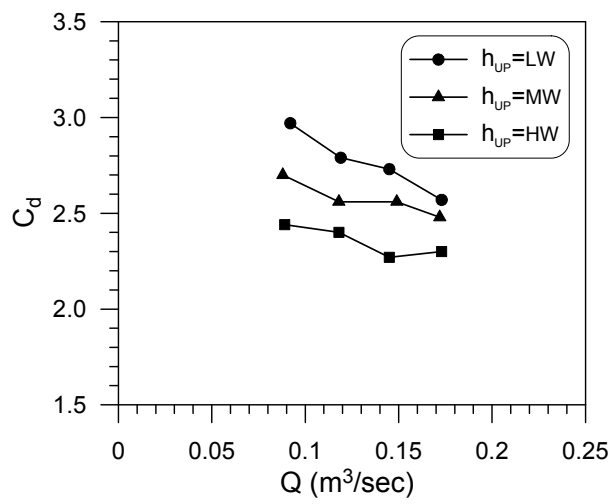
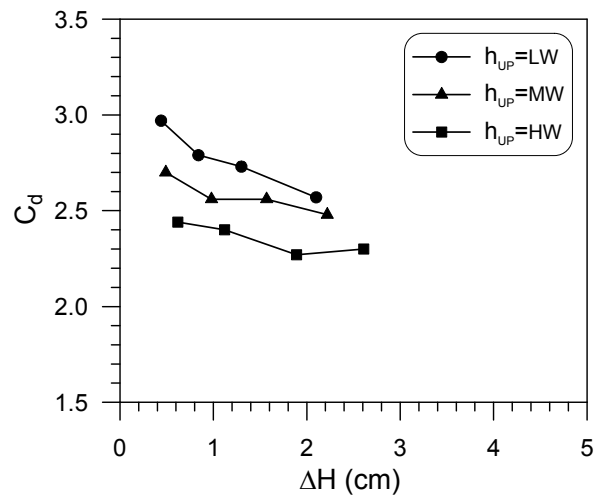
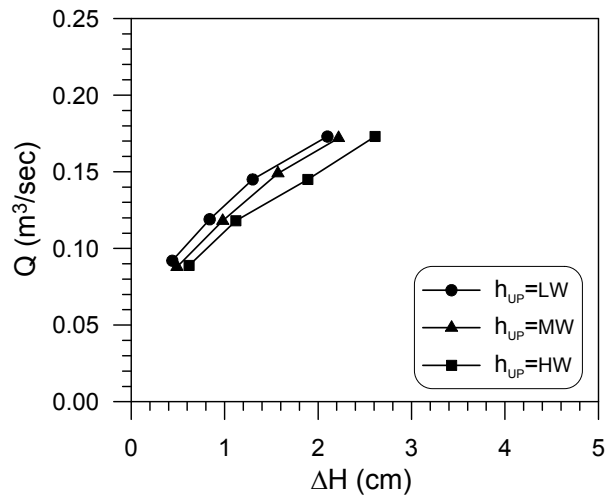
W70H21L14M00 / T7a

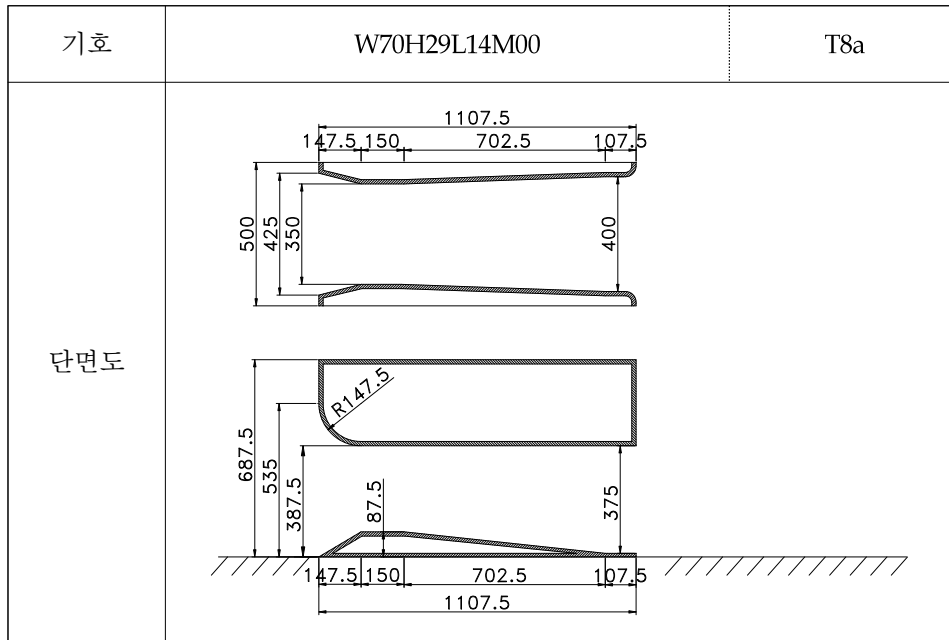




유량(Q)	상류측			하류측		수위차 (Δh)	수두차(ΔH)		유량계수(C_d)		
	수위 (h_{UP})	유속 (V_{UP})	유속 (V_{UP})	수위 (h_{DN})	유속 (V_{DN})		속도 보정	경사 보정	속도 보정	경사 보정	
(m^3/sec)	(cm)	(cm/s)	(cm/s)	(cm)	(cm/s)	(cm)	(cm)	(cm)			
Q ₁	0.063	LW	62.12	20.28	62.04	20.31	0.08	0.08	(0.08)	4.75	(4.75)
	0.062	MW	66.22	18.73	66.09	18.76	0.13	0.13	(0.13)	3.70	(3.70)
	0.062	HW	69.69	17.79	69.50	17.84	0.19	0.19	(0.19)	3.04	(3.04)
Q ₂	0.092	LW	62.22	29.57	61.71	29.82	0.51	0.50	0.44	2.79	2.97
	0.088	MW	66.17	26.60	65.62	26.82	0.55	0.54	0.49	2.57	2.70
	0.089	HW	69.92	25.46	69.23	25.71	0.69	0.68	0.62	2.32	2.44
Q ₃	0.119	LW	62.23	38.24	61.23	38.87	1.00	0.98	0.84	2.59	2.79
	0.118	MW	65.91	35.80	64.80	36.42	1.12	1.10	0.98	2.43	2.56
	0.118	HW	69.58	33.92	68.33	34.54	1.25	1.23	1.12	2.29	2.40
Q ₄	0.145	LW	62.39	46.48	60.86	47.65	1.53	1.47	1.30	2.57	2.73
	0.149	MW	66.17	45.04	64.36	46.30	1.81	1.75	1.57	2.42	2.56
	0.145	HW	69.84	41.52	67.73	42.82	2.11	2.06	1.89	2.17	2.27
Q ₅	0.173	LW	62.40	55.45	59.94	57.72	2.46	2.33	2.10	2.44	2.57
	0.172	MW	65.97	52.15	63.40	54.26	2.57	2.45	2.22	2.36	2.48
	0.173	HW	69.66	49.67	66.71	51.87	2.96	2.84	2.61	2.21	2.30

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

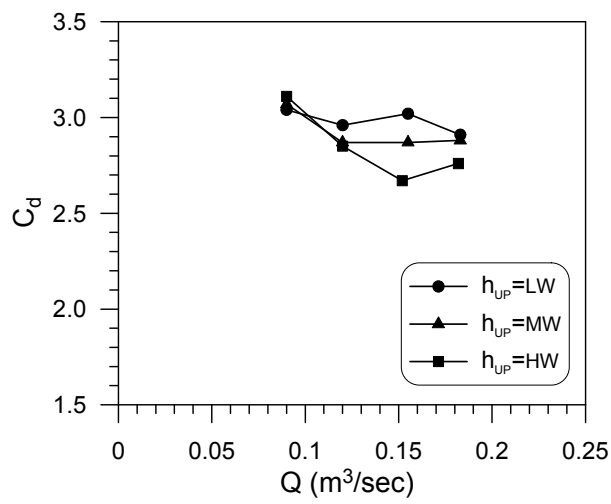
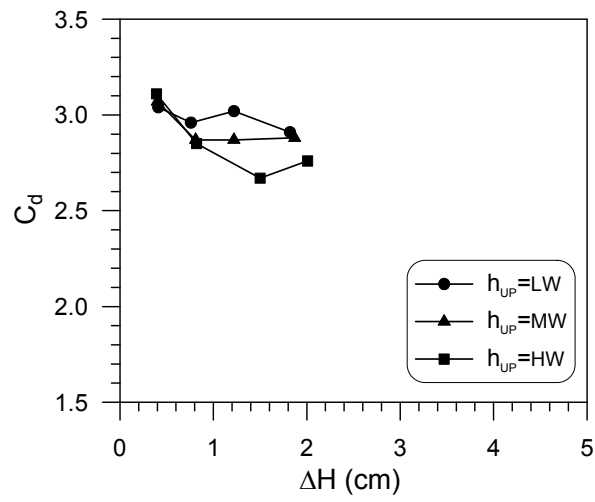
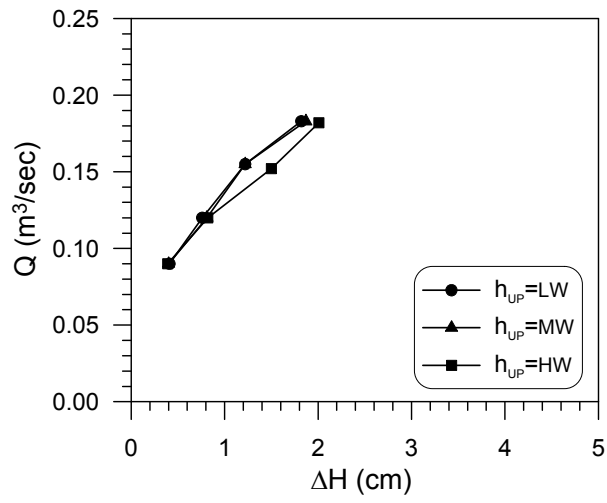


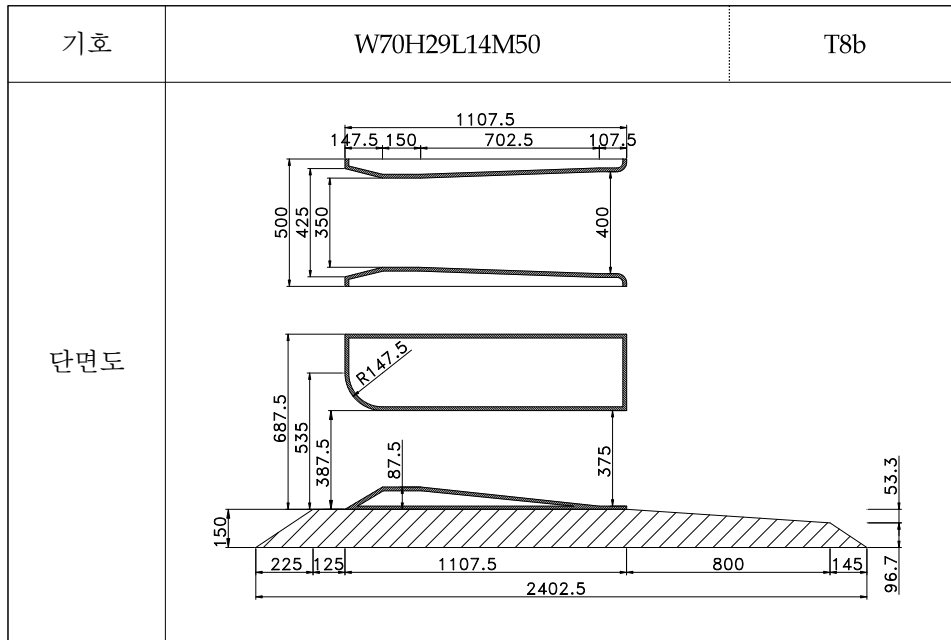


유량(Q)	상류측			하류측		수위차 (Δh)	수두차(ΔH)		유량계수(C_d)		
	수위 (h_{UP})	유속 (V_{UP})	유속	수위 (h_{DN})	유속 (V_{DN})		속도 보정	경사 보정	속도 보정	경사 보정	
(m^3/sec)	(cm)	(cm/s)		(cm)	(cm/s)	(cm)	(cm)				
Q ₁	0.065	LW	49.60	26.21	49.41	26.31	0.19	0.18	(0.18)	3.27	(3.28)
	0.063	MW	53.53	23.54	53.39	23.60	0.15	0.14	(0.14)	3.57	(3.57)
	0.063	HW	57.03	22.09	56.92	22.13	0.11	0.11	(0.11)	4.10	(4.10)
Q ₂	0.090	LW	49.81	36.14	49.33	36.49	0.47	0.46	0.41	2.85	3.04
	0.090	MW	53.58	33.60	53.12	33.89	0.46	0.45	0.40	2.88	3.07
	0.090	HW	57.28	31.43	56.83	31.68	0.45	0.44	0.39	2.91	3.11
Q ₃	0.120	LW	49.76	48.23	48.84	49.14	0.92	0.88	0.76	2.76	2.96
	0.120	MW	53.39	44.95	52.43	45.78	0.96	0.93	0.81	2.68	2.87
	0.120	HW	57.32	41.87	56.35	42.59	0.97	0.94	0.82	2.66	2.85
Q ₄	0.155	LW	49.79	62.26	48.29	64.19	1.50	1.37	1.22	2.85	3.02
	0.155	MW	53.46	57.99	51.81	59.83	1.65	1.54	1.35	2.69	2.87
	0.152	HW	57.38	52.98	55.64	54.64	1.75	1.65	1.50	2.54	2.67
Q ₅	0.183	LW	49.84	73.44	47.54	77.00	2.30	2.03	1.82	2.76	2.91
	0.183	MW	53.50	68.41	51.15	71.55	2.35	2.13	1.87	2.70	2.88
	0.182	HW	57.06	63.79	54.61	66.65	2.45	2.26	2.01	2.61	2.76

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

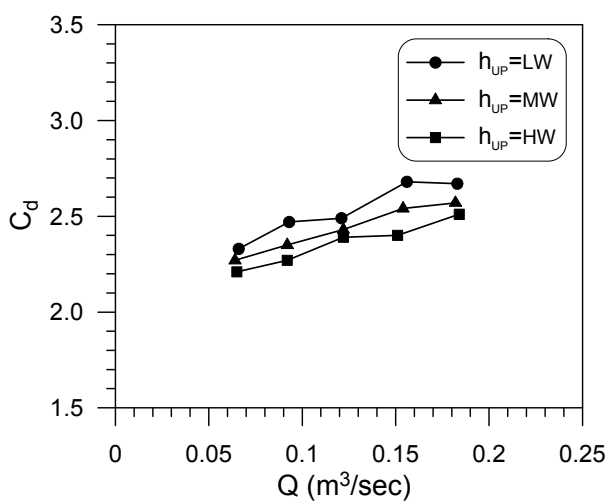
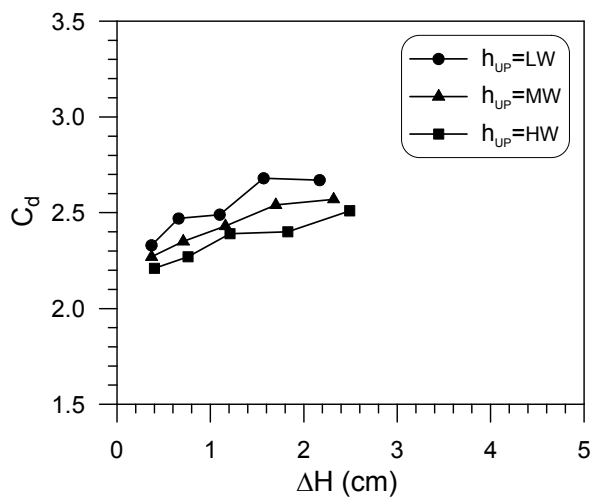
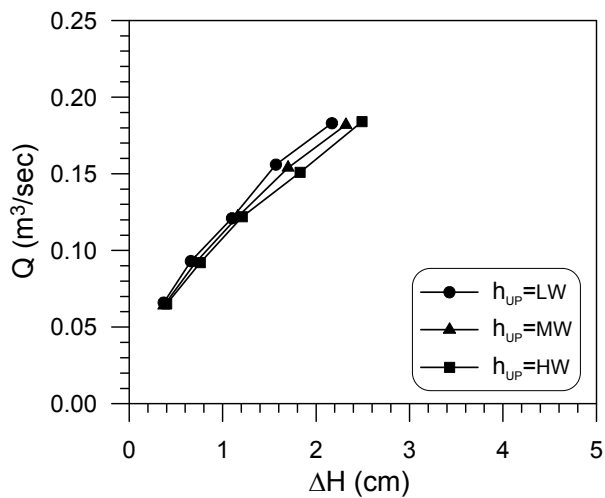
W70H29L14M00 / T8a

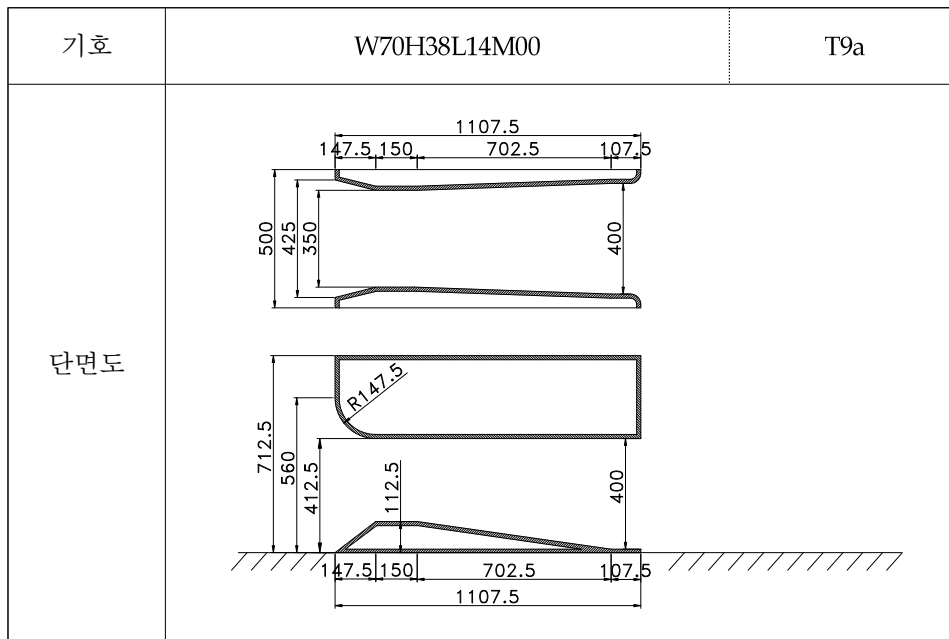




유량(Q)	상류측			하류측		수위차 (Δh)	수두차(ΔH)		유량계수(C_d)		
	수위 (h_{UP})	유속 (V_{UP})	유속	수위 (h_{DN})	유속 (V_{DN})		속도 보정	경사 보정	속도 보정	경사 보정	
(m^3/sec)	(cm)	(cm/s)	(cm/s)	(cm)	(cm/s)	(cm)	(cm)	(cm)			
Q ₁	0.066	LW	64.99	20.31	64.61	20.43	0.38	0.38	0.37	2.31	2.33
	0.064	MW	68.44	18.70	68.07	18.80	0.37	0.37	0.37	2.27	2.27
	0.065	HW	72.32	17.98	71.91	18.08	0.41	0.40	0.40	2.20	2.21
Q ₂	0.093	LW	64.78	28.71	64.06	29.04	0.73	0.72	0.66	2.36	2.47
	0.092	MW	68.70	26.78	67.92	27.09	0.78	0.77	0.71	2.25	2.35
	0.092	HW	72.52	25.37	71.69	25.67	0.83	0.82	0.76	2.19	2.27
Q ₃	0.121	LW	64.86	37.31	63.62	38.04	1.25	1.22	1.10	2.36	2.49
	0.122	MW	68.62	35.56	67.31	36.25	1.31	1.29	1.16	2.31	2.43
	0.122	HW	72.33	33.73	70.96	34.39	1.38	1.35	1.21	2.26	2.39
Q ₄	0.156	LW	64.97	48.02	63.14	49.42	1.84	1.77	1.57	2.52	2.68
	0.154	MW	68.73	44.82	66.77	46.13	1.96	1.90	1.70	2.41	2.54
	0.151	HW	72.36	41.74	70.29	42.96	2.07	2.01	1.83	2.29	2.40
Q ₅	0.183	LW	64.72	56.55	62.17	58.87	2.56	2.42	2.17	2.53	2.67
	0.182	MW	68.75	52.95	66.01	55.15	2.74	2.62	2.32	2.42	2.57
	0.184	HW	72.36	50.86	69.44	52.99	2.91	2.80	2.49	2.37	2.51

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

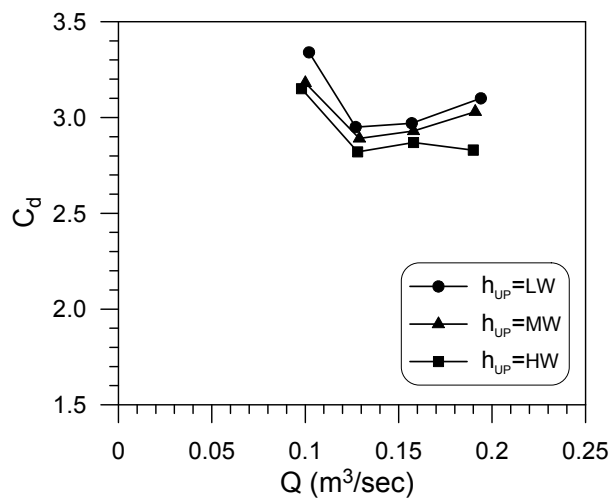
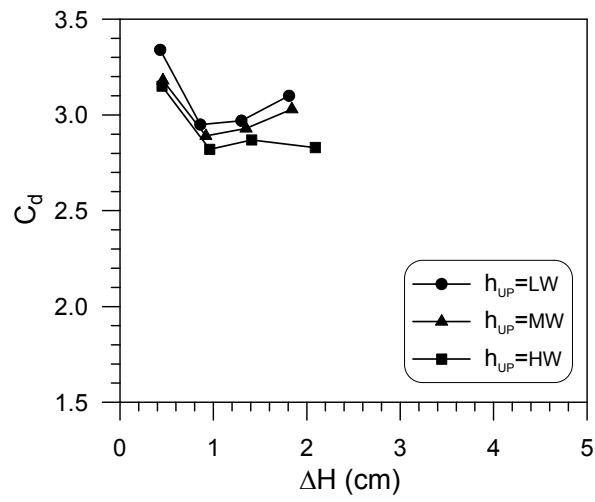
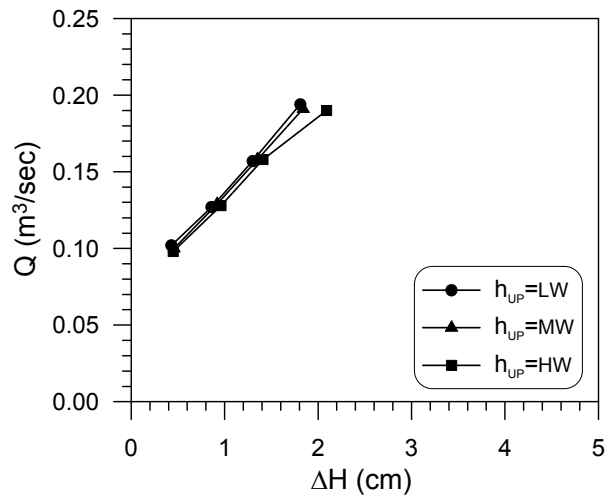


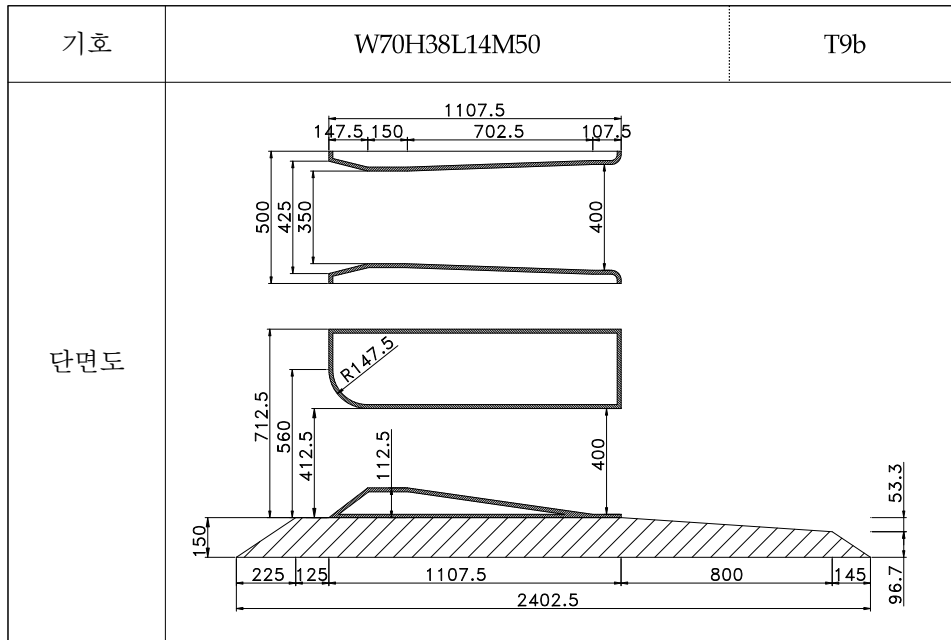


유량(Q)	상류측			하류측		수위차 (Δh)	수두차(ΔH)		유량계수(C_d)		
	수위 (h_{UP})	유속 (V_{UP})	유속 (V_{UP})	수위 (h_{DN})	유속 (V_{DN})		속도 보정	경사 보정	속도 보정	경사 보정	
(m^3/sec)	(cm)	(cm/s)	(cm/s)	(cm)	(cm/s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	
Q ₁	0.067	LW	52.01	25.76	51.80	25.87	0.21	0.21	(0.20)	3.15	(3.21)
	0.068	MW	56.11	24.24	55.95	24.31	0.16	0.16	(0.15)	3.65	(3.76)
	0.067	HW	59.75	22.43	59.63	22.47	0.12	0.12	(0.12)	4.13	(4.22)
Q ₂	0.102	LW	52.16	39.11	51.65	39.50	0.51	0.50	0.43	3.12	3.34
	0.100	MW	55.91	35.77	55.38	36.11	0.53	0.52	0.46	2.98	3.18
	0.098	HW	59.72	32.82	59.20	33.11	0.51	0.50	0.45	2.97	3.15
Q ₃	0.127	LW	52.19	48.67	51.18	49.63	1.01	0.96	0.86	2.78	2.95
	0.129	MW	56.02	46.05	54.94	46.96	1.08	1.03	0.92	2.73	2.89
	0.128	HW	59.90	42.74	58.80	43.54	1.10	1.06	0.96	2.67	2.82
Q ₄	0.157	LW	52.17	60.18	50.60	62.05	1.57	1.45	1.30	2.80	2.97
	0.158	MW	56.14	56.28	54.54	57.94	1.60	1.51	1.35	2.77	2.93
	0.158	HW	59.66	52.97	58.01	54.47	1.65	1.57	1.41	2.72	2.87
Q ₅	0.194	LW	52.24	74.27	49.85	77.68	2.29	2.03	1.81	2.93	3.10
	0.191	MW	55.90	68.34	53.64	71.22	2.26	2.05	1.84	2.87	3.03
	0.190	HW	59.74	63.61	57.25	66.37	2.49	2.30	2.09	2.69	2.83

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W70H38L14M00 / T9a

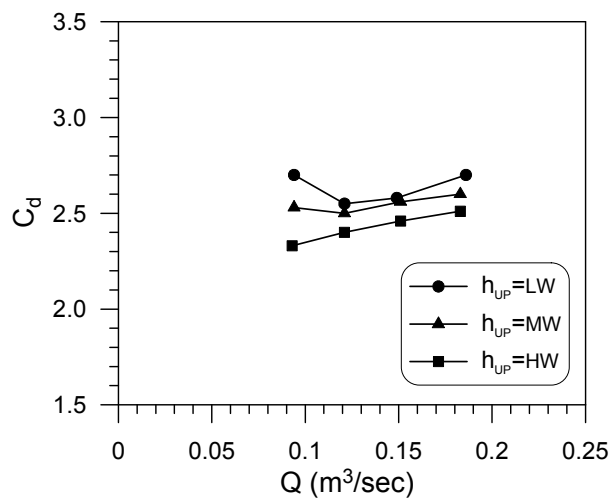
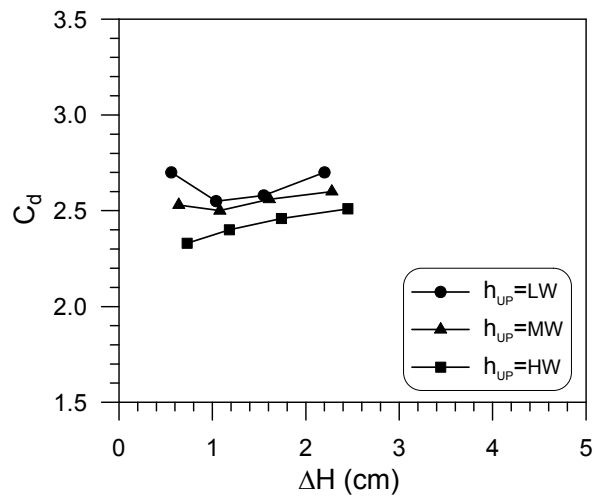
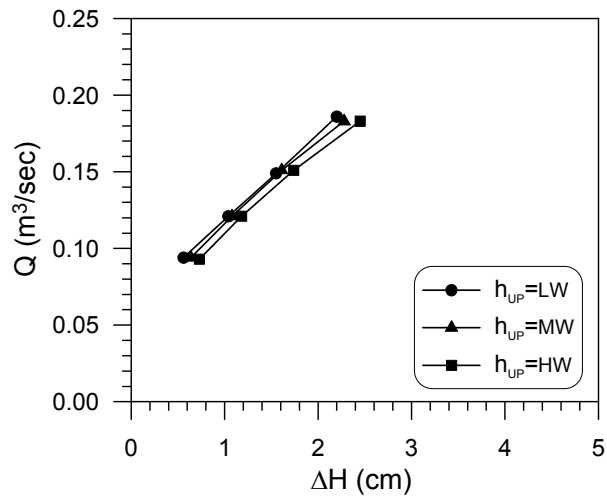


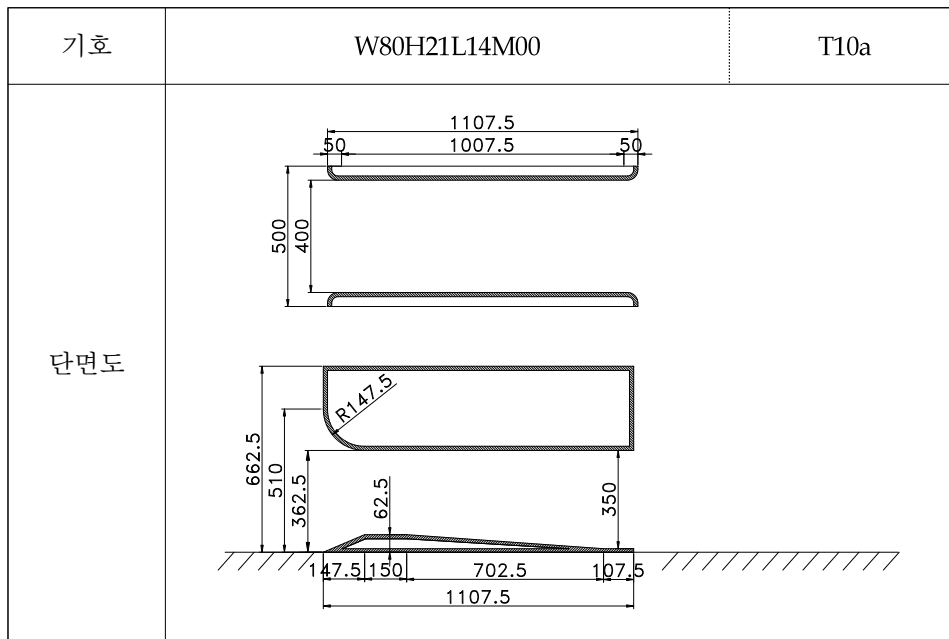


유량(Q)	상류측			하류측		수위차 (Δh)	수두차(ΔH)		유량계수(C_d)		
	수위 (h_{UP})	유속 (V_{UP})	유속 (V_{UP})	수위 (h_{DN})	유속 (V_{DN})		속도 보정	경사 보정	속도 보정	경사 보정	
(m^3/sec)	(cm)	(cm/s)	(cm/s)	(cm)	(cm/s)	(cm)	(cm)	(cm)			
Q ₁	0.066	LW	67.36	19.60	67.04	19.69	0.31	0.31	(0.31)	2.55	(2.56)
	0.065	MW	71.21	18.26	70.92	18.33	0.29	0.29	(0.29)	2.59	(2.60)
	0.064	HW	74.94	17.08	74.62	17.15	0.32	0.32	(0.32)	2.42	(2.42)
Q ₂	0.094	LW	67.44	27.88	66.80	28.14	0.63	0.62	0.56	2.56	2.70
	0.094	MW	71.17	26.41	70.46	26.68	0.71	0.70	0.64	2.41	2.53
	0.093	HW	74.95	24.82	74.15	25.09	0.80	0.80	0.73	2.24	2.33
Q ₃	0.121	LW	67.34	35.94	66.16	36.58	1.18	1.16	1.04	2.42	2.55
	0.121	MW	71.25	33.97	70.03	34.56	1.22	1.20	1.08	2.37	2.50
	0.121	HW	74.74	32.38	73.43	32.96	1.32	1.30	1.18	2.28	2.40
Q ₄	0.149	LW	67.26	44.31	65.47	45.52	1.78	1.73	1.55	2.44	2.58
	0.151	MW	71.26	42.38	69.42	43.50	1.84	1.79	1.61	2.43	2.56
	0.151	HW	74.81	40.37	72.84	41.46	1.97	1.93	1.74	2.34	2.46
Q ₅	0.186	LW	67.42	55.18	64.83	57.38	2.59	2.46	2.20	2.55	2.70
	0.183	MW	71.21	51.40	68.57	53.38	2.64	2.54	2.28	2.47	2.60
	0.183	HW	74.70	49.00	71.90	50.91	2.81	2.71	2.45	2.39	2.51

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W70H38L14M50 / T9b

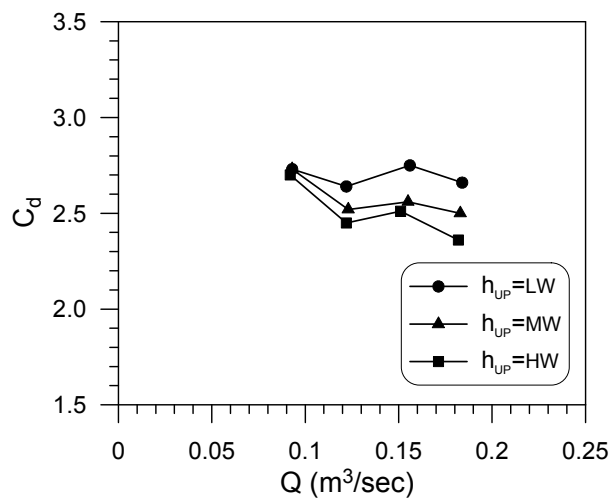
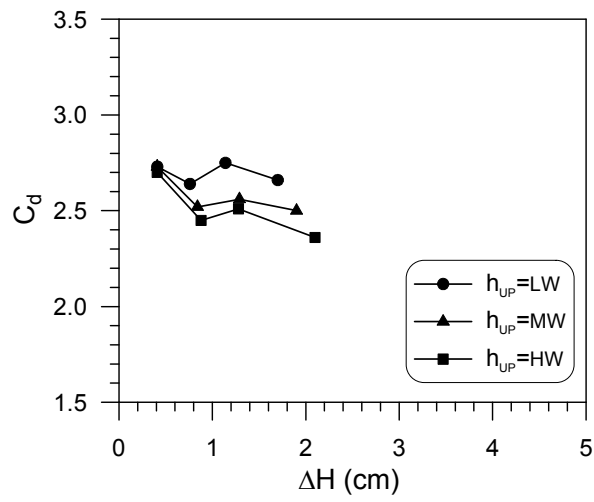
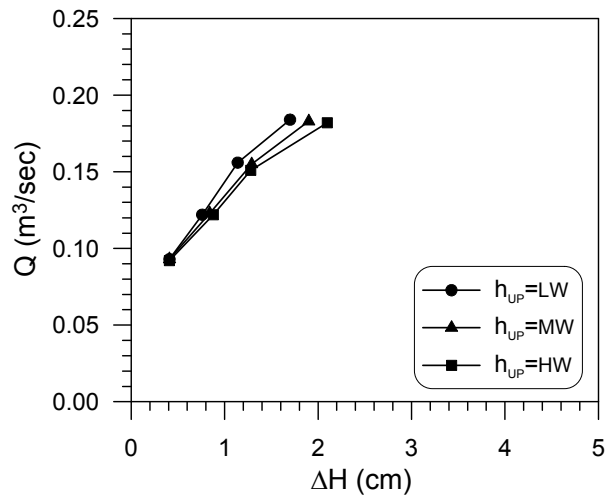


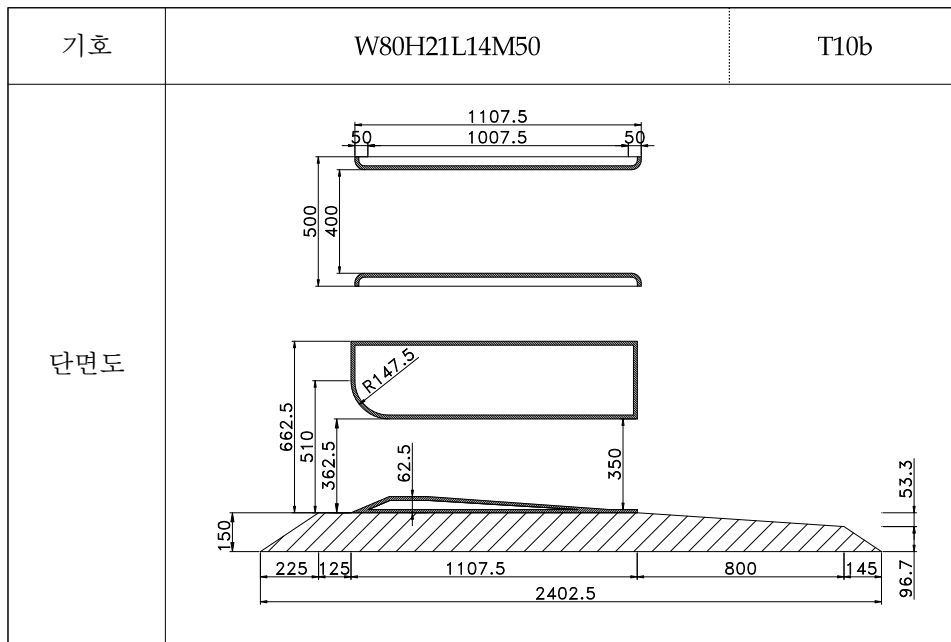


유량(Q)	상류측			하류측		수위차 (Δh)	수두차(ΔH)		유량계수(C_d)		
	수위 (h_{UP})	유속 (V_{UP})	유속 (V_{UP})	수위 (h_{DN})	유속 (V_{DN})		속도 보정	경사 보정	속도 보정	경사 보정	
(m^3/sec)	(cm)	(cm/s)	(cm/s)	(cm)	(cm/s)	(cm)	(cm)	(cm)			
Q ₁	0.065	LW	47.33	27.46	47.17	27.56	0.16	0.16	(0.16)	3.05	(3.06)
	0.064	MW	50.98	25.11	50.81	25.19	0.17	0.17	(0.17)	2.94	(2.94)
	0.065	HW	54.86	23.70	54.69	23.77	0.16	0.16	(0.16)	3.07	(3.09)
Q ₂	0.093	LW	47.24	39.38	46.76	39.78	0.48	0.46	0.41	2.58	2.73
	0.093	MW	51.15	36.37	50.66	36.72	0.49	0.47	0.41	2.55	2.73
	0.092	HW	54.85	33.54	54.37	33.84	0.48	0.47	0.41	2.53	2.70
Q ₃	0.122	LW	47.27	51.62	46.33	52.67	0.94	0.88	0.76	2.45	2.64
	0.123	MW	51.11	48.14	50.12	49.09	0.99	0.94	0.84	2.39	2.52
	0.122	HW	54.72	44.59	53.71	45.43	1.01	0.98	0.88	2.33	2.45
Q ₄	0.156	LW	47.31	65.95	45.87	68.02	1.44	1.29	1.14	2.58	2.75
	0.155	MW	51.17	60.58	49.52	62.60	1.65	1.53	1.29	2.36	2.56
	0.151	HW	54.89	55.02	53.29	56.68	1.60	1.50	1.28	2.32	2.51
Q ₅	0.184	LW	47.42	77.61	45.21	81.41	2.21	1.90	1.70	2.51	2.66
	0.183	MW	51.08	71.66	48.65	75.23	2.43	2.16	1.90	2.35	2.50
	0.182	HW	54.89	66.31	52.37	69.50	2.52	2.30	2.10	2.26	2.36

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W80H21L14M00 / T10a

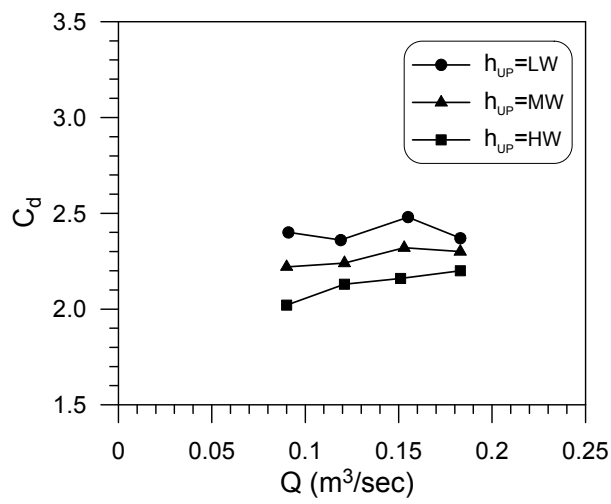
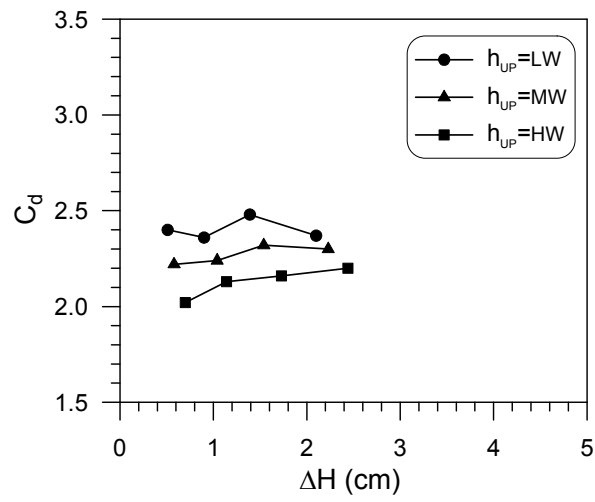
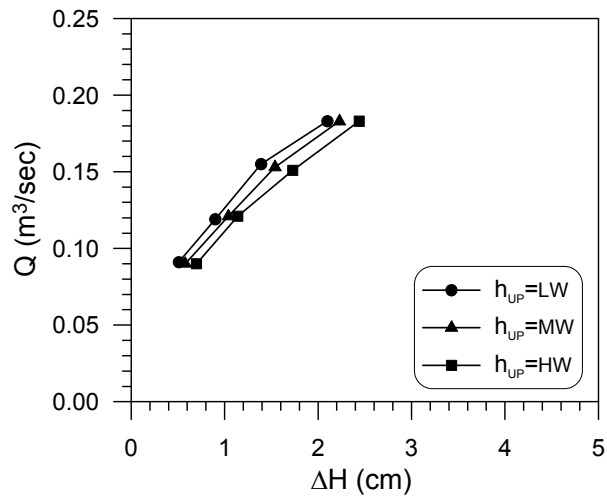


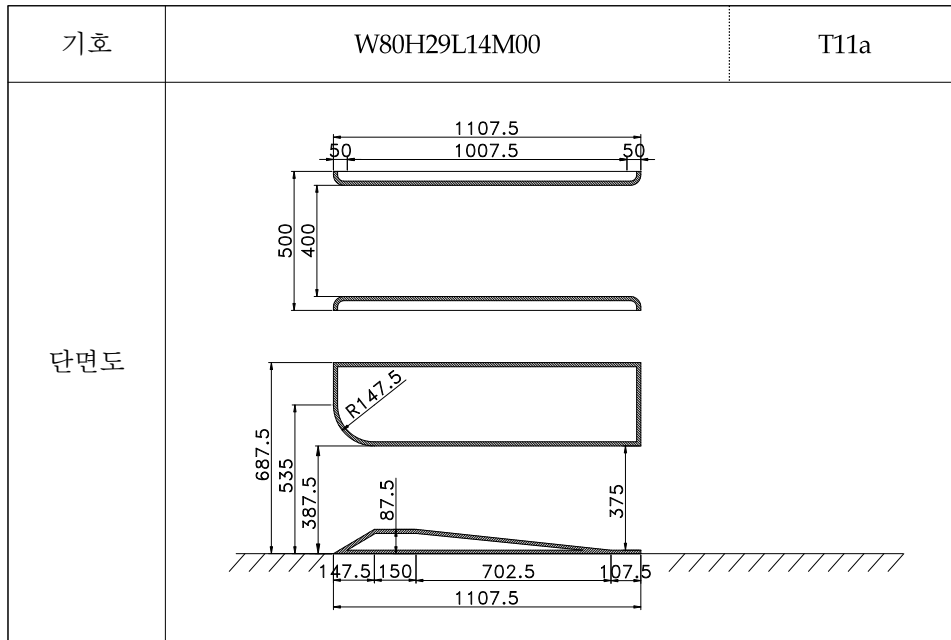


유량(Q)	상류측			하류측		수위차 (Δh)	수두차(ΔH)		유량계수(C_d)		
	수위 (h_{UP})	유속 (V_{UP})	유속	수위 (h_{DN})	유속 (V_{DN})		속도 보정	경사 보정	속도 보정	경사 보정	
(m^3/sec)	(cm)	(cm/s)	(cm/s)	(cm)	(cm/s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	
Q ₁	0.064	LW	62.17	20.59	61.95	20.66	0.23	0.23	(0.23)	2.54	(2.54)
	0.063	MW	66.08	19.07	65.76	19.16	0.32	0.32	(0.32)	2.11	(2.11)
	0.063	HW	69.65	18.09	69.34	18.17	0.31	0.31	(0.31)	2.14	(2.14)
Q ₂	0.091	LW	62.26	29.23	61.69	29.50	0.56	0.55	0.51	2.30	2.40
	0.090	MW	66.05	27.25	65.40	27.52	0.65	0.64	0.58	2.12	2.22
	0.090	HW	69.63	25.85	68.87	26.14	0.77	0.76	0.70	1.95	2.02
Q ₃	0.119	LW	62.36	38.17	61.34	38.80	1.02	1.00	0.90	2.24	2.36
	0.121	MW	65.99	36.67	64.81	37.34	1.18	1.16	1.04	2.12	2.24
	0.121	HW	69.99	34.58	68.70	35.22	1.29	1.26	1.14	2.03	2.13
Q ₄	0.155	LW	62.21	49.83	60.60	51.16	1.61	1.54	1.39	2.35	2.48
	0.153	MW	65.97	46.38	64.18	47.68	1.79	1.73	1.54	2.19	2.32
	0.151	HW	69.85	43.23	67.88	44.49	1.97	1.92	1.73	2.05	2.16
Q ₅	0.183	LW	62.37	58.68	59.92	61.08	2.45	2.31	2.10	2.27	2.37
	0.183	MW	66.24	55.26	63.67	57.48	2.56	2.44	2.23	2.21	2.30
	0.183	HW	69.74	52.48	66.88	54.73	2.87	2.75	2.44	2.08	2.20

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W80H21L14M50 / T10b

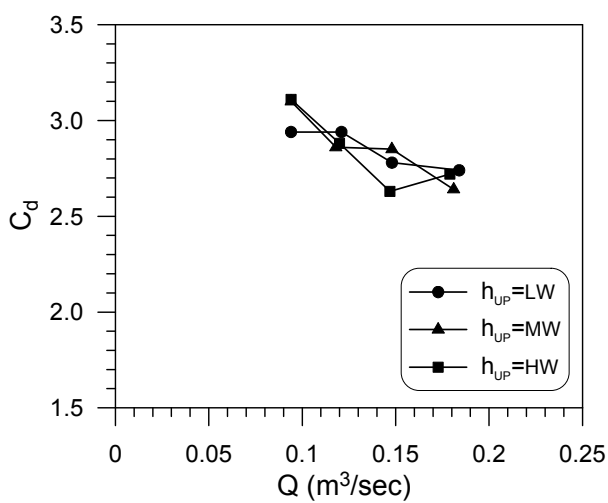
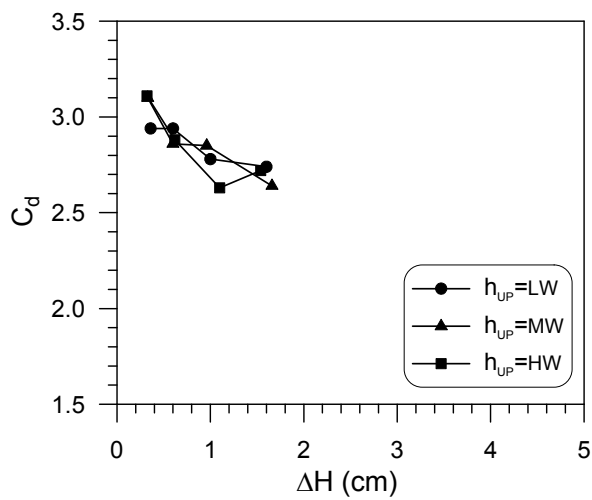
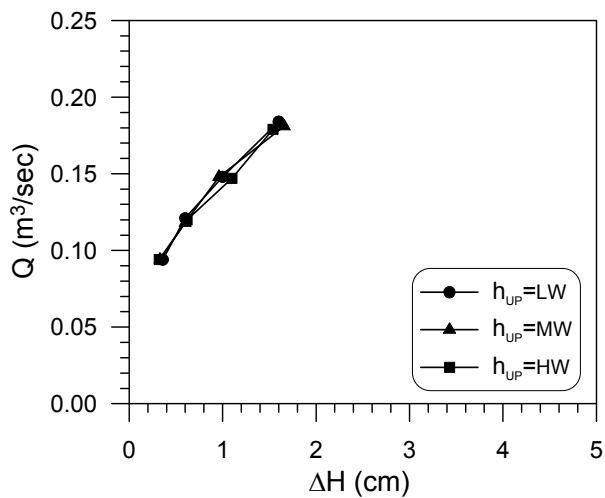


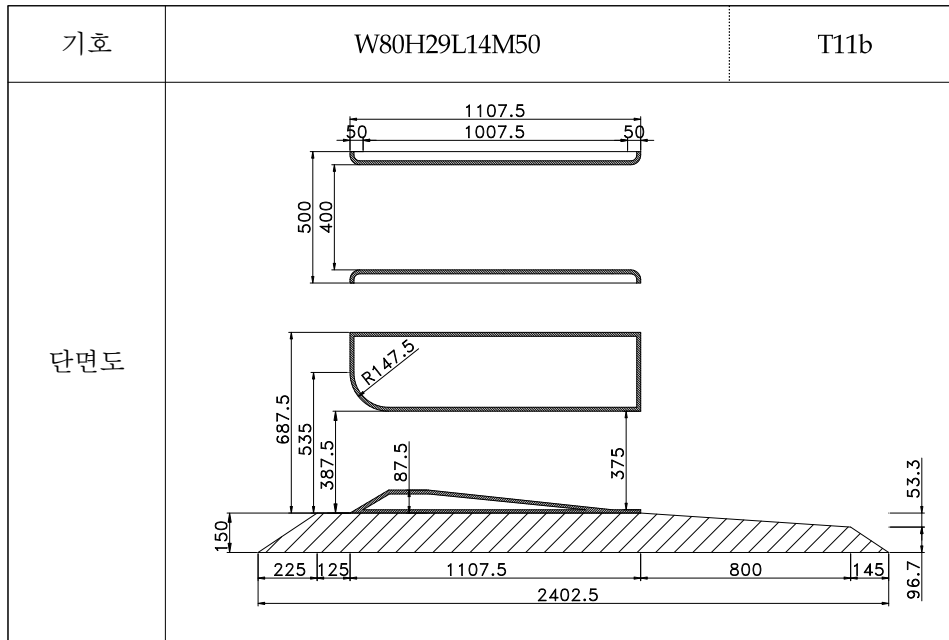


유량(Q)	상류측			하류측		수위차 (Δh)	수두차(ΔH)		유량계수(C_d)		
	수위 (h_{UP})	유속 (V_{UP})	유속	수위 (h_{DN})	유속 (V_{DN})		속도 보정	경사 보정	속도 보정	경사 보정	
(m^3/sec)	(cm)	(cm/s)		(cm)	(cm/s)	(cm)	(cm)				
Q ₁	0.066	LW	49.82	26.50	49.65	26.59	0.17	0.17	(0.16)	3.04	(3.08)
	0.065	MW	53.66	24.23	53.53	24.28	0.13	0.13	(0.12)	3.45	(3.48)
	0.065	HW	57.07	22.78	56.99	22.81	0.08	0.08	(0.07)	4.46	(4.52)
Q ₂	0.094	LW	49.61	37.89	49.17	38.23	0.44	0.42	0.36	2.71	2.94
	0.094	MW	53.38	35.22	52.98	35.49	0.40	0.39	0.33	2.84	3.10
	0.094	HW	57.10	32.93	56.70	33.15	0.39	0.39	0.32	2.84	3.11
Q ₃	0.121	LW	49.76	48.64	49.00	49.39	0.76	0.72	0.60	2.68	2.94
	0.118	MW	53.46	44.15	52.71	44.77	0.75	0.72	0.60	2.62	2.86
	0.120	HW	57.29	41.89	56.53	42.46	0.76	0.73	0.62	2.64	2.88
Q ₄	0.148	LW	49.55	59.73	48.32	61.26	1.24	1.14	1.00	2.61	2.78
	0.148	MW	53.55	55.28	52.34	56.56	1.21	1.14	0.96	2.61	2.85
	0.147	HW	57.27	51.34	55.92	52.57	1.35	1.28	1.10	2.45	2.63
Q ₅	0.184	LW	49.82	73.87	47.66	77.21	2.16	1.90	1.60	2.51	2.74
	0.181	MW	53.51	67.65	51.46	70.35	2.05	1.86	1.66	2.50	2.64
	0.179	HW	57.16	62.63	55.24	64.81	1.92	1.78	1.54	2.53	2.72

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W80H29L14M00 / T11a

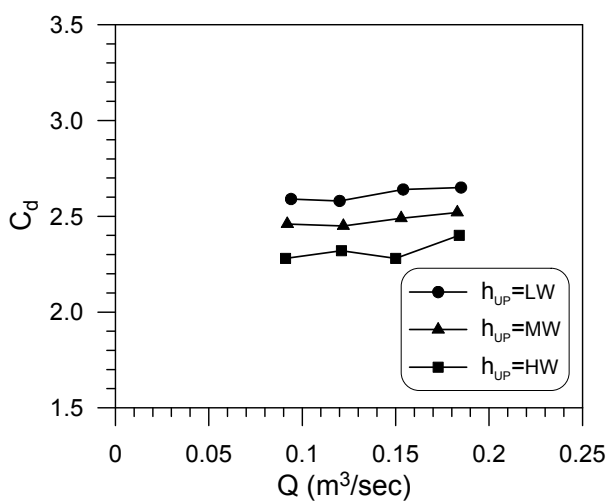
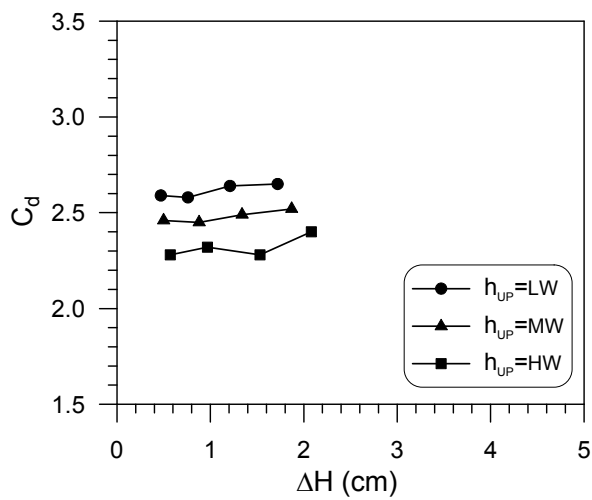
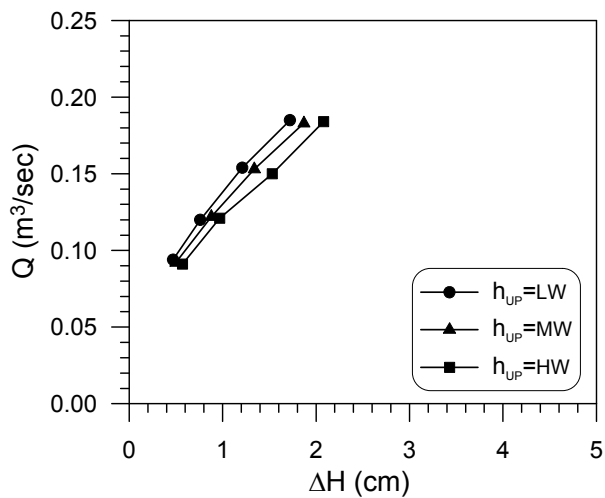


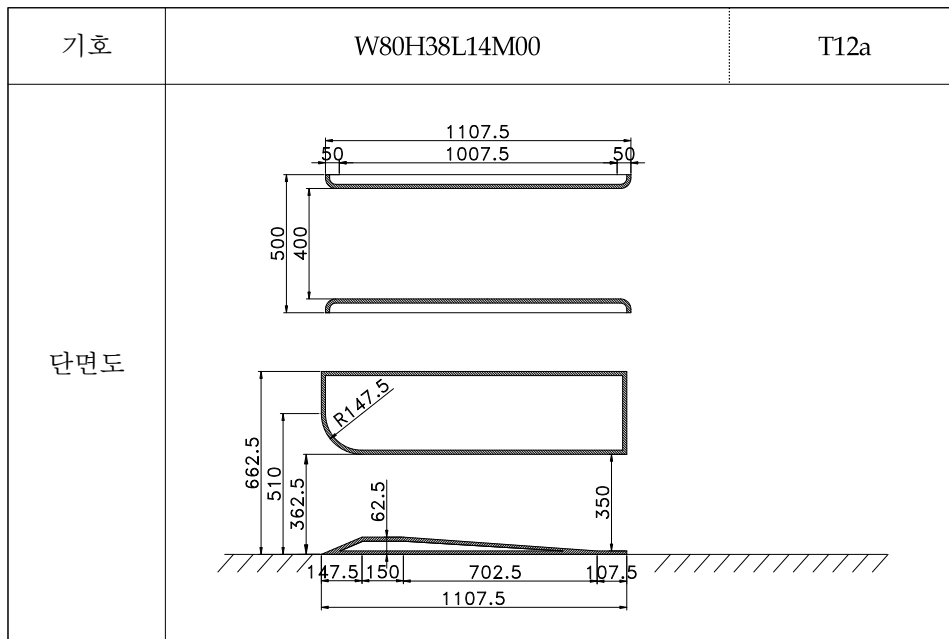


유량(Q)	상류측			하류측		수위차 (Δh)	수두차(ΔH)		유량계수(C_d)		
	수위 (h_{UP})	유속 (V_{UP})	유속 (V_{UP})	수위 (h_{DN})	유속 (V_{DN})		속도 보정	경사 보정	속도 보정	경사 보정	
(m^3/sec)	(cm)	(cm/s)	(cm/s)	(cm)	(cm/s)	(cm)	(cm)	(cm)			
Q ₁	0.065	LW	64.88	20.04	64.64	20.11	0.24	0.24	(0.23)	2.52	(2.53)
	0.064	MW	68.47	18.69	68.25	18.75	0.22	0.22	(0.22)	2.57	(2.57)
	0.063	HW	72.33	17.42	72.07	17.48	0.26	0.26	(0.26)	2.33	(2.33)
Q ₂	0.094	LW	64.71	29.05	64.17	29.30	0.54	0.53	0.47	2.43	2.59
	0.092	MW	68.44	26.89	67.88	27.11	0.56	0.56	0.50	2.32	2.46
	0.091	HW	72.34	25.16	71.71	25.38	0.63	0.63	0.57	2.17	2.27
Q ₃	0.120	LW	64.72	37.08	63.82	37.61	0.90	0.88	0.76	2.40	2.58
	0.122	MW	68.42	35.66	67.40	36.20	1.02	1.00	0.88	2.30	2.45
	0.121	HW	72.04	33.59	70.93	34.12	1.11	1.09	0.97	2.18	2.32
Q ₄	0.154	LW	64.70	47.60	63.25	48.70	1.45	1.40	1.21	2.45	2.64
	0.153	MW	68.54	44.64	66.97	45.69	1.58	1.53	1.34	2.33	2.49
	0.150	HW	72.26	41.52	70.46	42.57	1.79	1.75	1.53	2.14	2.28
Q ₅	0.185	LW	64.76	57.13	62.61	59.09	2.15	2.03	1.72	2.44	2.65
	0.183	MW	68.45	53.47	66.18	55.31	2.27	2.17	1.87	2.34	2.52
	0.184	HW	72.28	50.91	69.80	52.72	2.49	2.39	2.08	2.24	2.40

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W80H29L14M50 / T11b

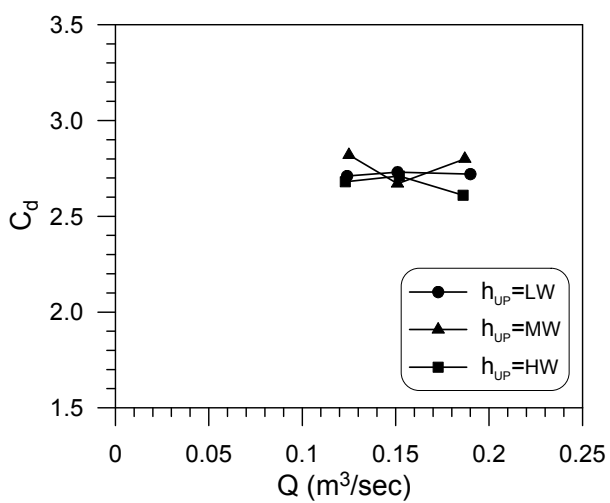
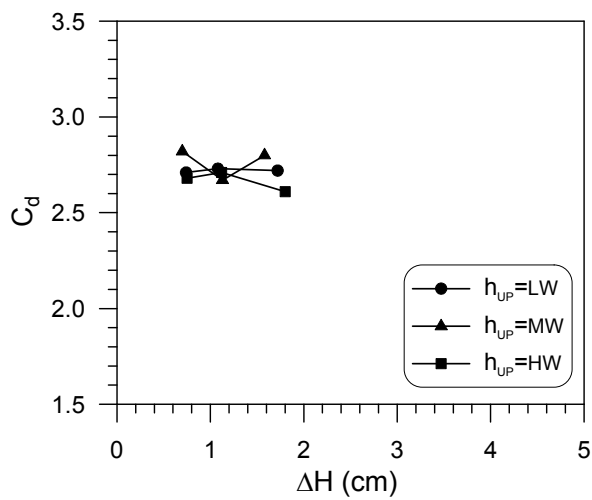
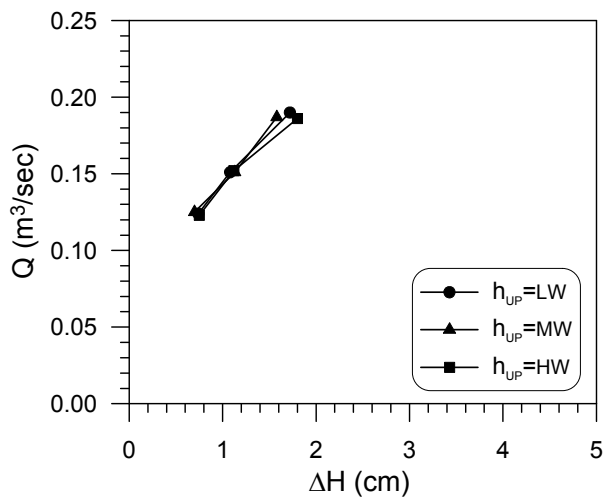


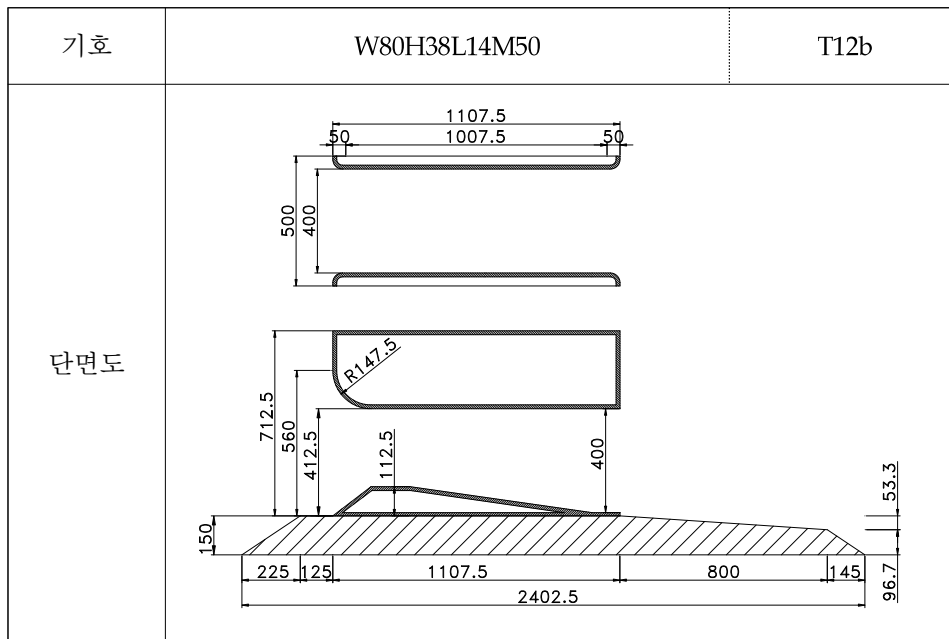


유량(Q)	상류측			하류측		수위차 (Δh)	수두차(ΔH)		유량계수(C_d)		
	수위 (h_{UP})	유속 (V_{UP})	유속 (V_{UP})	수위 (h_{DN})	유속 (V_{DN})		속도 보정	경사 보정	속도 보정	경사 보정	
(m^3/sec)	(cm)	(cm/s)	(cm/s)	(cm)	(cm/s)	(cm)	(cm)	(cm)			
Q ₁	0.065	LW	52.36	24.83	52.23	24.89	0.13	0.13	(0.12)	3.45	(3.48)
	0.064	MW	55.85	22.92	55.77	22.95	0.08	0.08	(0.08)	4.39	(4.39)
	0.064	HW	59.85	21.39	59.78	21.41	0.07	0.07	(0.07)	4.60	(4.60)
Q ₂	0.091	LW	52.07	34.95	51.76	35.16	0.31	0.30	(0.24)	3.12	(3.47)
	0.091	MW	55.94	32.53	55.66	32.70	0.29	0.28	(0.22)	3.23	(3.63)
	0.091	HW	59.81	30.43	59.50	30.59	0.30	0.30	(0.24)	3.13	(3.48)
Q ₃	0.124	LW	52.15	47.55	51.24	48.40	0.91	0.87	0.74	2.50	2.71
	0.125	MW	55.94	44.69	55.08	45.39	0.86	0.83	0.70	2.59	2.82
	0.123	HW	59.63	41.26	58.73	41.89	0.90	0.87	0.75	2.48	2.68
Q ₄	0.151	LW	52.19	57.87	50.87	59.37	1.32	1.23	1.08	2.56	2.73
	0.151	MW	56.03	53.90	54.67	55.24	1.35	1.28	1.13	2.51	2.67
	0.152	HW	59.64	50.97	58.28	52.17	1.37	1.30	1.12	2.51	2.71
Q ₅	0.190	LW	52.36	72.57	50.19	75.72	2.18	1.94	1.72	2.57	2.72
	0.187	MW	56.06	66.72	54.10	69.13	1.95	1.79	1.58	2.63	2.80
	0.186	HW	59.85	62.16	57.69	64.48	2.16	2.01	1.80	2.47	2.61

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W80H38L14M00 / T12a

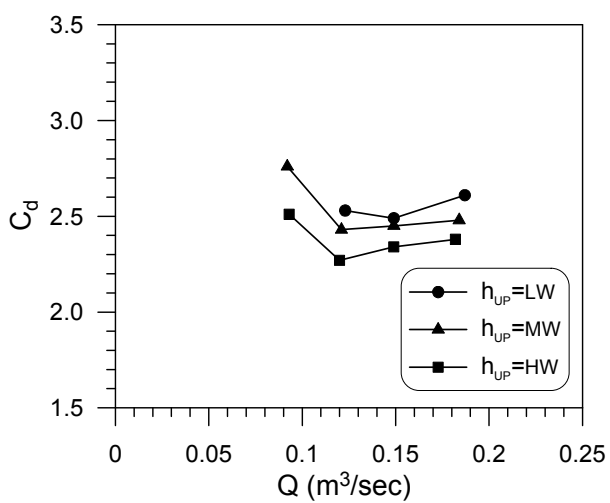
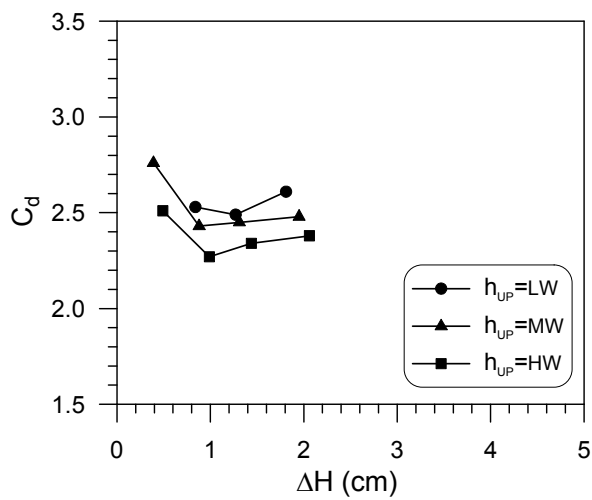
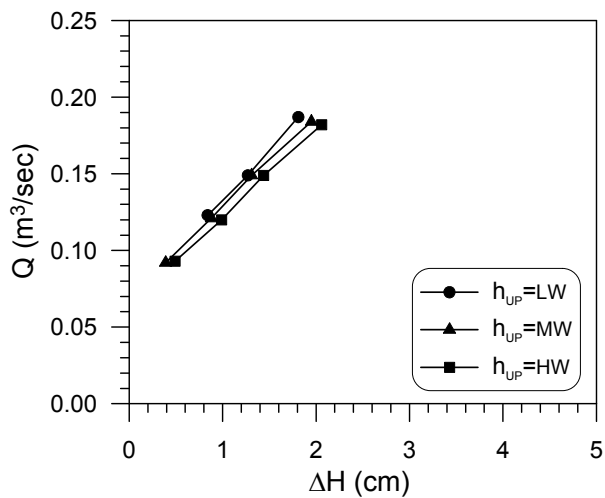


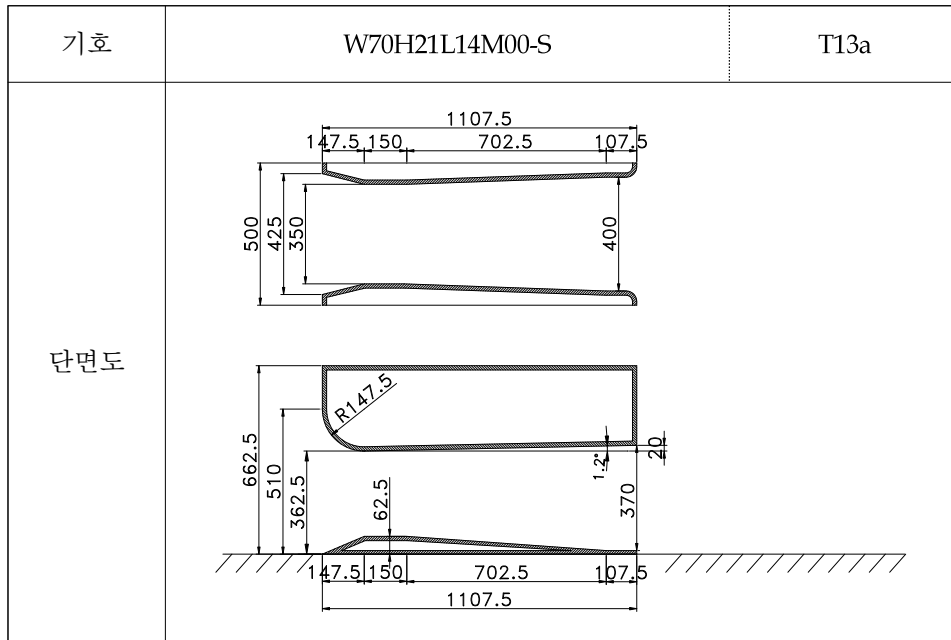


유량(Q)	상류측			하류측		수위차 (Δh)	수두차(ΔH)		유량계수(C_d)		
	수위 (h_{UP})	유속 (V_{UP})	유속	수위 (h_{DN})	유속 (V_{DN})		속도 보정	경사 보정	속도 보정	경사 보정	
(m^3/sec)	(cm)	(cm/s)		(cm)	(cm/s)	(cm)	(cm)				
Q ₁	0.065	LW	67.40	19.29	67.30	19.32	0.09	0.09	(0.09)	4.00	(4.05)
	0.064	MW	71.11	18.00	71.00	18.03	0.11	0.11	(0.11)	3.66	(3.66)
	0.064	HW	74.94	17.08	74.79	17.11	0.14	0.14	(0.14)	3.17	(3.17)
Q ₂	0.092	LW	67.20	27.38	66.81	27.54	0.39	0.38	(0.32)	2.80	(3.04)
	0.092	MW	71.21	25.84	70.76	26.00	0.46	0.45	0.39	2.57	2.76
	0.093	HW	74.99	24.80	74.43	24.99	0.55	0.55	0.49	2.36	2.51
Q ₃	0.123	LW	67.46	36.47	66.48	37.01	0.98	0.96	0.84	2.36	2.53
	0.121	MW	71.22	33.98	70.20	34.47	1.02	1.00	0.88	2.28	2.43
	0.120	HW	74.79	32.09	73.66	32.58	1.13	1.11	0.99	2.14	2.27
Q ₄	0.149	LW	67.39	44.22	65.90	45.22	1.50	1.45	1.27	2.33	2.49
	0.149	MW	70.94	42.01	69.41	42.94	1.53	1.49	1.31	2.30	2.45
	0.149	HW	74.78	39.85	73.12	40.75	1.66	1.62	1.44	2.20	2.34
Q ₅	0.187	LW	67.40	55.49	65.22	57.34	2.18	2.07	1.81	2.44	2.61
	0.184	MW	71.18	51.70	68.89	53.42	2.29	2.20	1.95	2.33	2.48
	0.182	HW	74.86	48.63	72.46	50.24	2.40	2.31	2.06	2.25	2.38

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W80H38L14M50 / T12b

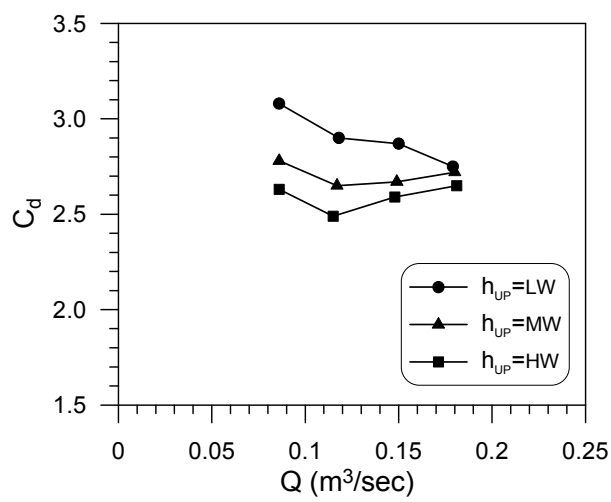
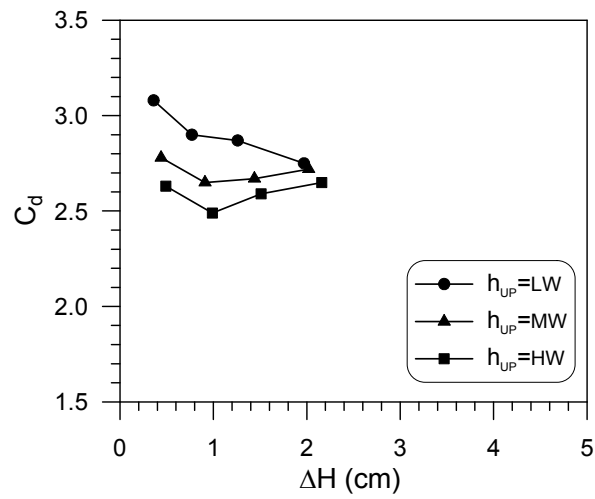
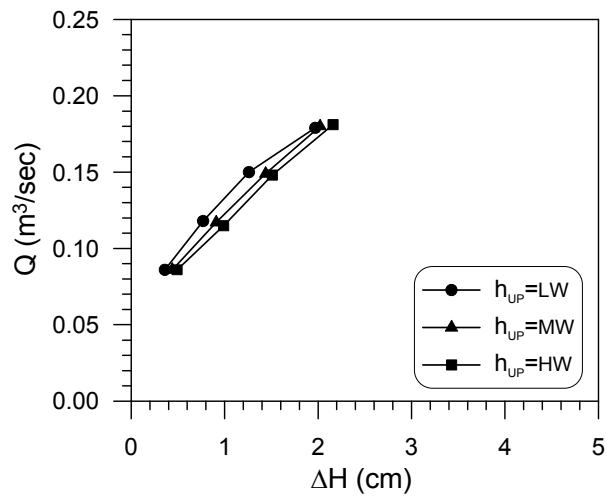


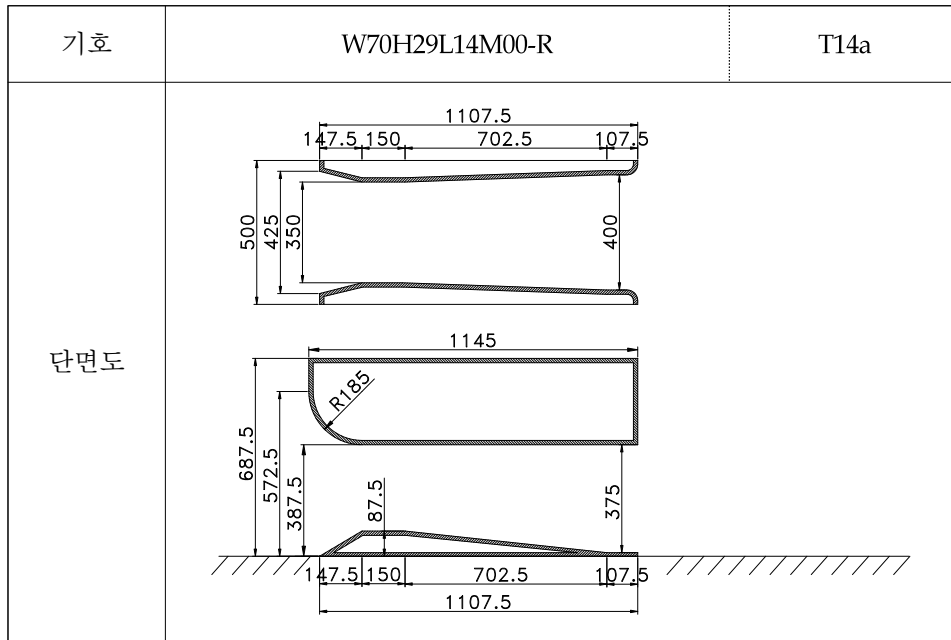


유량(Q)	상류측			하류측		수위차 (Δh)	수두차(ΔH)		유량계수(C_d)		
	수위 (h_{UP})	유속 (V_{UP})	유속	수위 (h_{DN})	유속 (V_{DN})		속도 보정	경사 보정	속도 보정	경사 보정	
(m^3/sec)	(cm)	(cm/s)	(cm/s)	(cm)	(cm/s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	
Q ₁	0.061	LW	47.13	25.89	46.97	25.97	0.16	0.16	(0.16)	3.30	(3.30)
	0.060	MW	51.20	23.44	51.01	23.52	0.19	0.19	(0.19)	2.98	(2.98)
	0.060	HW	54.66	21.95	54.43	22.05	0.23	0.23	(0.23)	2.70	(2.70)
Q ₂	0.086	LW	47.41	36.28	47.00	36.60	0.41	0.40	0.36	2.93	3.08
	0.086	MW	51.22	33.58	50.72	33.91	0.50	0.49	0.44	2.65	2.78
	0.086	HW	54.87	31.35	54.31	31.67	0.56	0.55	0.49	2.50	2.63
Q ₃	0.118	LW	47.28	49.92	46.37	50.89	0.91	0.86	0.77	2.74	2.90
	0.117	MW	51.28	45.63	50.24	46.58	1.04	1.00	0.91	2.52	2.65
	0.115	HW	54.88	41.91	53.77	42.77	1.11	1.07	0.99	2.39	2.49
Q ₄	0.150	LW	47.27	63.47	45.72	65.62	1.55	1.41	1.26	2.72	2.87
	0.149	MW	51.09	58.33	49.38	60.35	1.71	1.59	1.44	2.54	2.67
	0.148	HW	54.79	54.02	53.04	55.81	1.75	1.65	1.51	2.48	2.59
Q ₅	0.179	LW	47.38	75.56	44.87	79.79	2.51	2.17	1.98	2.61	2.74
	0.180	MW	51.19	70.33	48.71	73.91	2.48	2.22	2.02	2.60	2.72
	0.181	HW	54.86	65.99	52.28	69.24	2.58	2.36	2.16	2.54	2.65

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W70H21L14M00-S / T13a

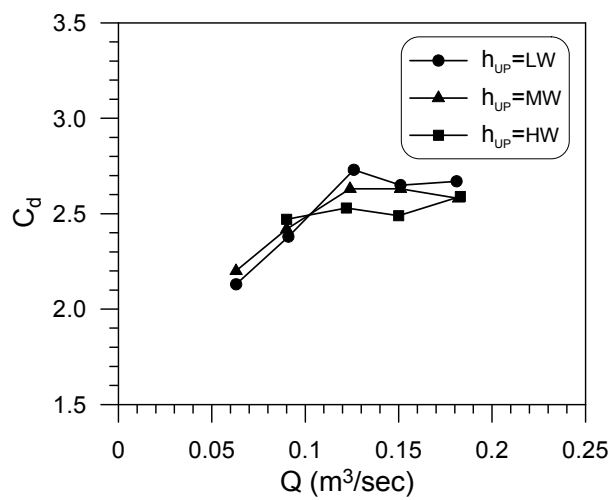
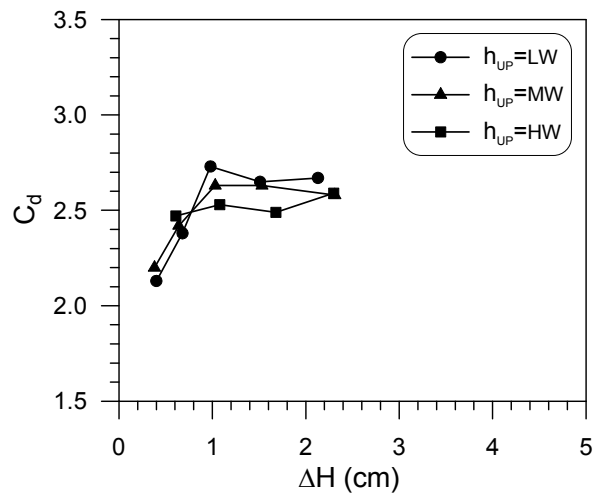
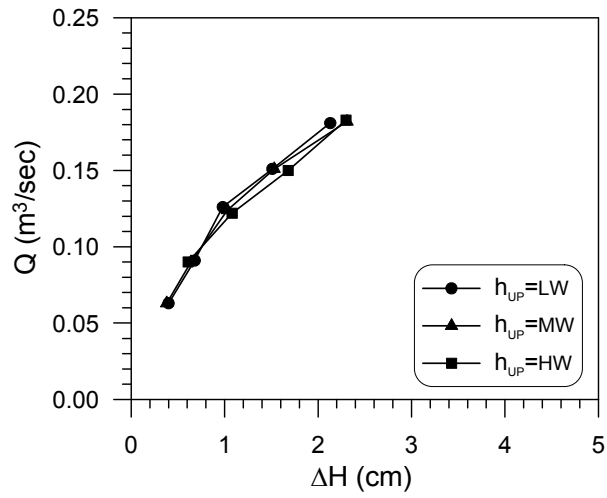


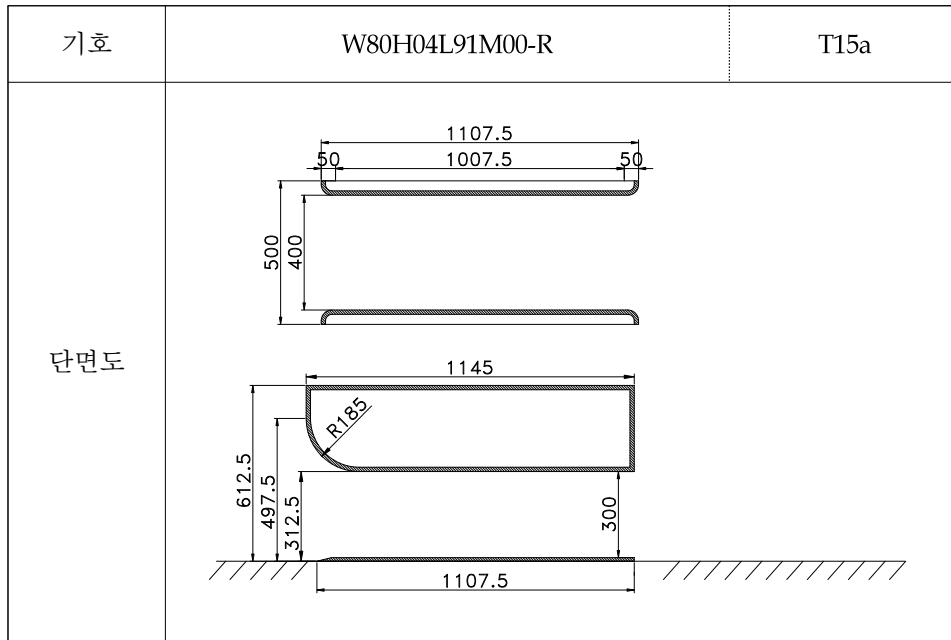


유량(Q)	상류측			하류측		수위차 (Δh)	수두차(ΔH)		유량계수(C_d)		
	수위 (h_{UP})	유속 (V_{UP})	유속	수위 (h_{DN})	유속 (V_{DN})		속도 보정	경사 보정	속도 보정	경사 보정	
(m^3/sec)	(cm)	(cm/s)		(cm)	(cm/s)	(cm)	(cm)				
Q ₁	0.063	LW	49.60	25.40	49.20	25.61	0.41	0.40	0.40	2.13	2.13
	0.063	MW	53.46	23.57	53.07	23.74	0.38	0.38	0.38	2.20	2.20
	0.063	HW	57.26	22.00	56.93	22.13	0.33	0.32	(0.32)	2.38	(2.38)
Q ₂	0.091	LW	49.66	36.65	48.91	37.22	0.75	0.73	0.68	2.29	2.38
	0.090	MW	53.53	33.62	52.82	34.08	0.71	0.70	0.64	2.32	2.42
	0.090	HW	57.05	31.55	56.37	31.93	0.68	0.67	0.61	2.37	2.47
Q ₃	0.126	LW	49.89	50.51	48.71	51.73	1.18	1.12	0.98	2.57	2.73
	0.124	MW	53.52	46.34	52.31	47.41	1.21	1.16	1.03	2.48	2.63
	0.122	HW	57.26	42.61	56.02	43.56	1.24	1.20	1.08	2.40	2.53
Q ₄	0.151	LW	49.66	60.82	47.82	63.16	1.84	1.69	1.51	2.50	2.65
	0.151	MW	53.55	56.39	51.72	58.39	1.83	1.71	1.53	2.48	2.63
	0.150	HW	57.12	52.52	55.16	54.39	1.96	1.86	1.68	2.37	2.49
Q ₅	0.181	LW	49.57	73.03	46.87	77.23	2.70	2.38	2.13	2.52	2.67
	0.182	MW	53.59	67.93	50.76	71.72	2.83	2.56	2.31	2.45	2.58
	0.183	HW	57.30	63.88	54.52	67.13	2.78	2.56	2.30	2.46	2.59

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W70H29L14M00-R / T14a

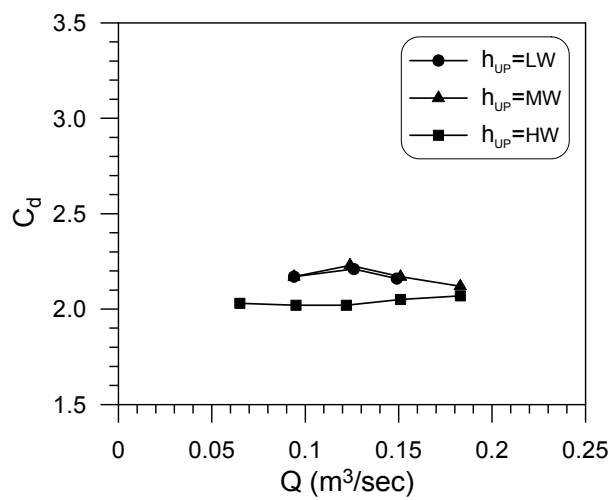
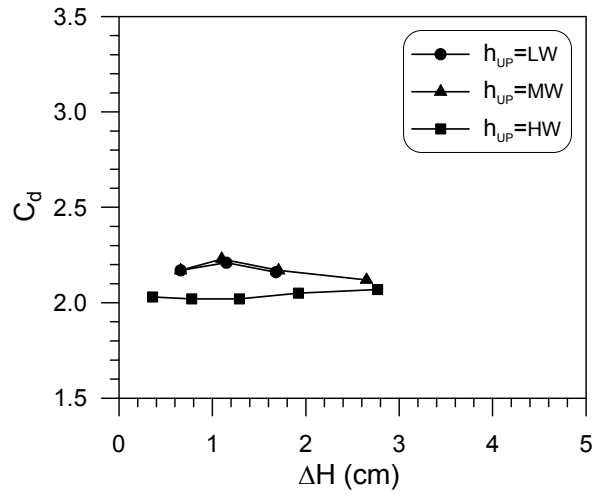
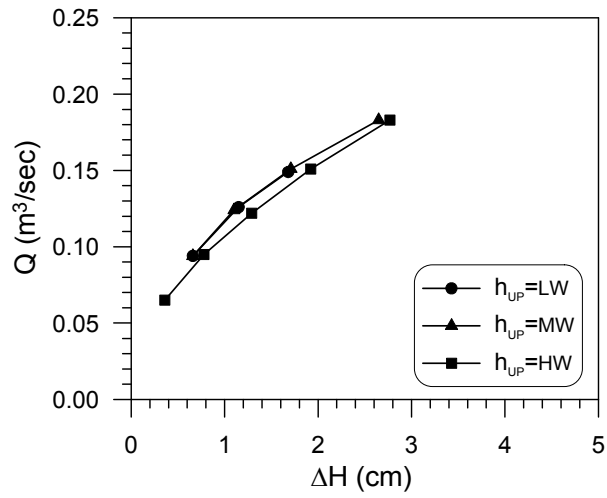


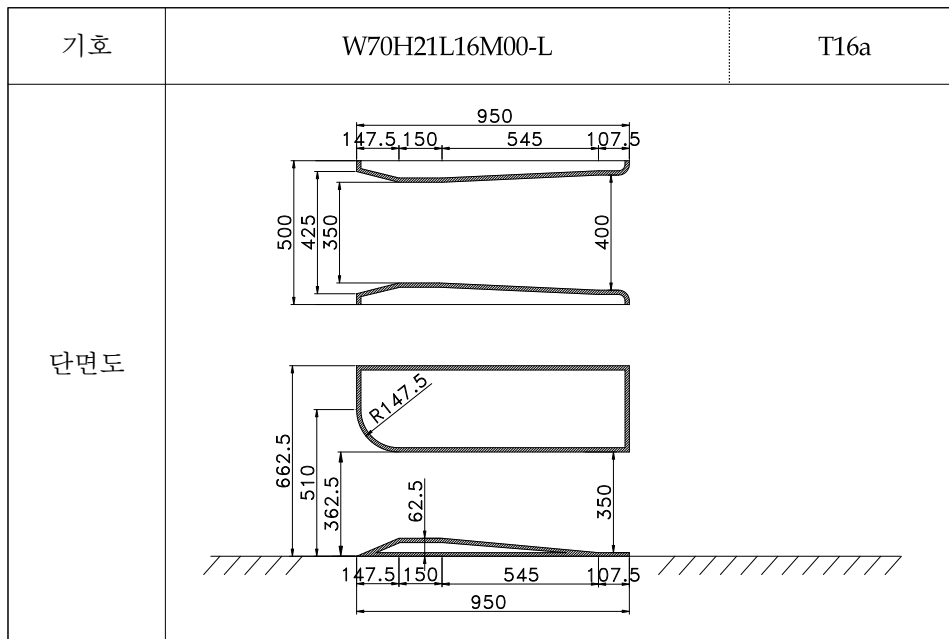


유량(Q)	상류측			하류측		수위차 (Δh)	수두차(ΔH)		유량계수(C_d)		
	수위 (h_{UP})	유속 (V_{UP})	유속 (V_{UP})	수위 (h_{DN})	유속 (V_{DN})		속도 보정	경사 보정	속도 보정	경사 보정	
(m^3/sec)	(cm)	(cm/s)	(cm/s)	(cm)	(cm/s)	(cm)	(cm)	(cm)			
Q ₁	0.066	LW	41.50	31.81	41.31	31.96	0.19	0.19	(0.18)	2.87	(2.90)
	0.066	MW	45.31	29.13	44.95	29.36	0.35	0.35	(0.34)	2.11	(2.12)
	0.065	HW	49.08	26.49	48.71	26.69	0.37	0.37	0.36	2.02	2.03
Q ₂	0.094	LW	41.53	45.26	40.79	46.09	0.74	0.70	0.66	2.11	2.17
	0.094	MW	45.33	41.47	44.59	42.16	0.74	0.71	0.66	2.09	2.17
	0.095	HW	48.87	38.88	47.99	39.60	0.89	0.86	0.78	1.93	2.02
Q ₃	0.126	LW	41.58	60.61	40.19	62.70	1.39	1.25	1.15	2.12	2.21
	0.124	MW	45.27	54.79	43.97	56.40	1.29	1.20	1.10	2.13	2.23
	0.122	HW	49.00	49.79	47.51	51.36	1.49	1.41	1.29	1.93	2.02
Q ₄	0.149	LW	41.59	71.66	39.51	75.42	2.08	1.79	1.68	2.09	2.16
	0.151	MW	45.31	66.66	43.22	69.87	2.09	1.86	1.71	2.08	2.17
	0.151	HW	49.06	61.56	46.75	64.60	2.31	2.11	1.92	1.96	2.05
Q ₅	-	LW	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.183	MW	45.39	80.64	41.97	87.20	3.41	2.85	2.65	2.04	2.12
	0.183	HW	49.09	74.56	45.67	80.13	3.41	2.97	2.77	2.00	2.07

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W80H04L91M00-R / T15a

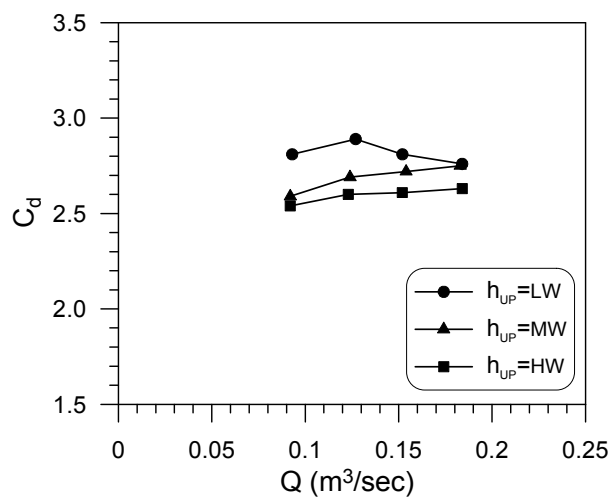
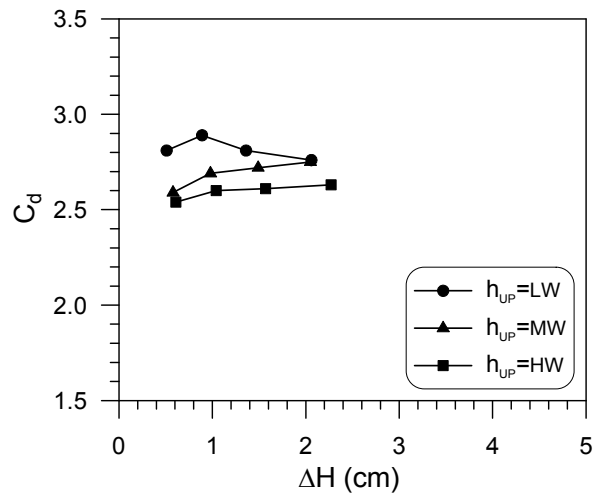
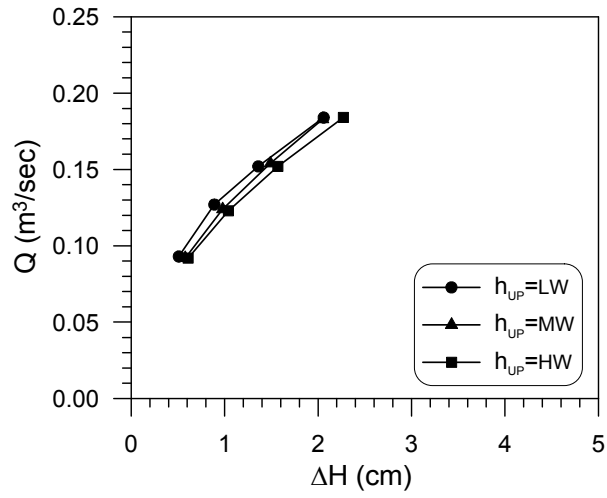


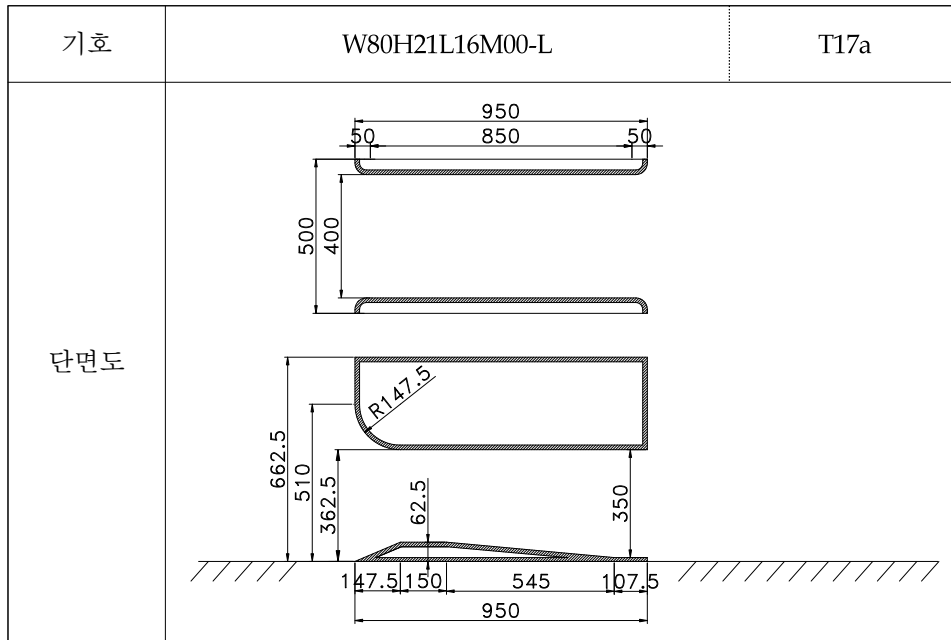


유량(Q)	상류측			하류측		수위차 (Δh)	수두차(ΔH)		유량계수(C_d)		
	수위 (h_{UP})	유속 (V_{UP})	유속	수위 (h_{DN})	유속 (V_{DN})		속도 보정	경사 보정	속도 보정	경사 보정	
(m^3/sec)	(cm)	(cm/s)		(cm)	(cm/s)	(cm)	(cm)				
Q ₁	0.065	LW	47.36	27.45	47.11	27.60	0.26	0.25	(0.25)	2.77	(2.78)
	0.066	MW	51.21	25.78	50.87	25.95	0.34	0.33	(0.33)	2.47	(2.48)
	0.065	HW	54.96	23.65	54.65	23.79	0.32	0.31	(0.31)	2.49	(2.50)
Q ₂	0.093	LW	47.26	39.36	46.68	39.85	0.58	0.56	0.51	2.68	2.81
	0.092	MW	51.21	35.93	50.55	36.40	0.66	0.64	0.58	2.47	2.59
	0.092	HW	54.85	33.54	54.17	33.97	0.68	0.67	0.61	2.42	2.54
Q ₃	0.127	LW	47.23	53.78	46.16	55.03	1.07	1.00	0.89	2.73	2.89
	0.124	MW	51.22	48.42	50.08	49.52	1.14	1.08	0.98	2.56	2.69
	0.123	HW	54.75	44.93	53.54	45.95	1.21	1.16	1.04	2.45	2.60
Q ₄	0.152	LW	47.29	64.28	45.63	66.63	1.66	1.51	1.36	2.66	2.81
	0.154	MW	51.00	60.39	49.27	62.52	1.74	1.60	1.49	2.62	2.72
	0.152	HW	54.79	55.49	52.96	57.40	1.83	1.72	1.57	2.49	2.61
Q ₅	0.184	LW	47.44	77.57	44.80	82.14	2.64	2.27	2.06	2.63	2.76
	0.183	MW	51.04	71.71	48.51	75.45	2.53	2.25	2.05	2.63	2.75
	0.184	HW	54.90	67.03	52.19	70.52	2.72	2.47	2.27	2.52	2.63

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W70H21L16M00-L / T16a

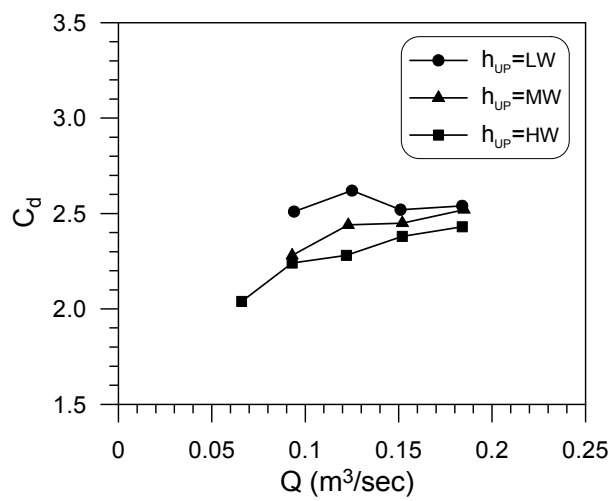
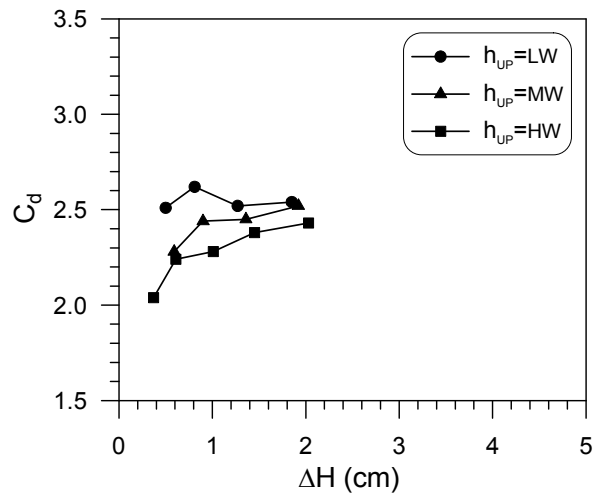
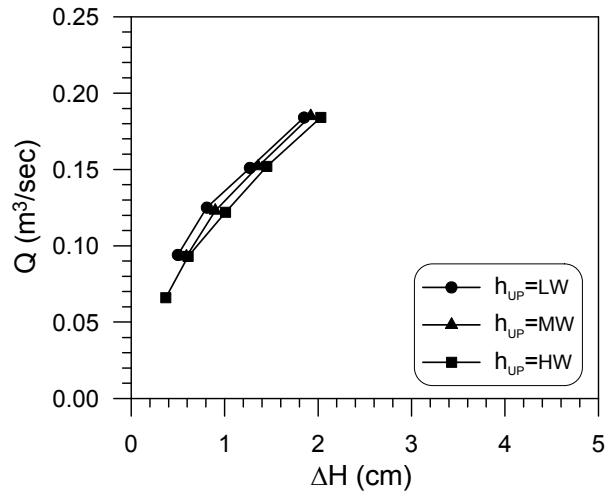




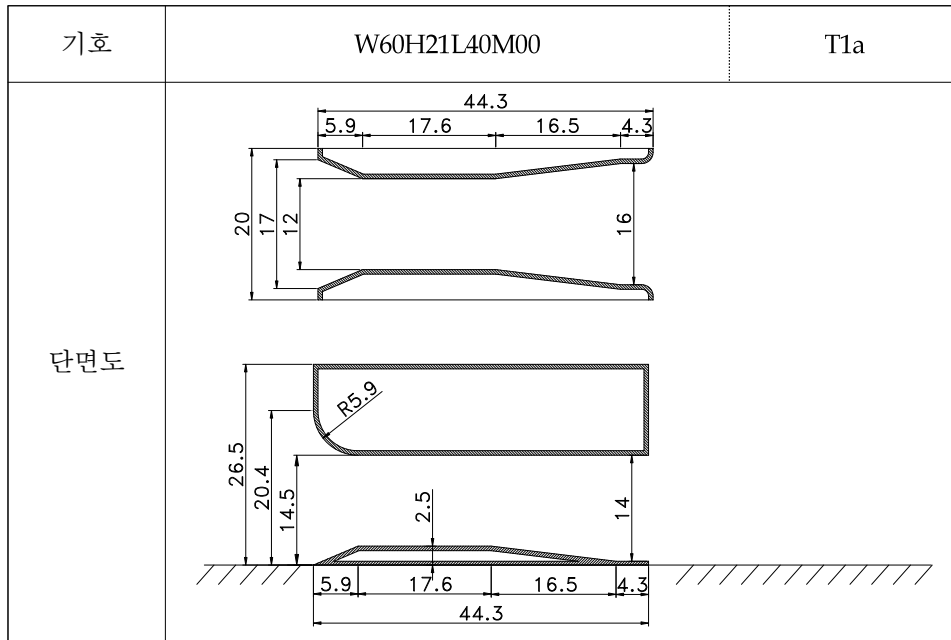
유량(Q)	상류측			하류측		수위차 (Δh)	수두차(ΔH)		유량계수(C_d)		
	수위 (h_{UP})	유속 (V_{UP})	유속	수위 (h_{DN})	유속 (V_{DN})		속도 보정	경사 보정	속도 보정	경사 보정	
(m^3/sec)	(cm)	(cm/s)		(cm)	(cm/s)	(cm)	(cm)				
Q ₁	0.067	LW	47.17	28.41	46.88	28.59	0.30	0.29	(0.29)	2.33	(2.35)
	0.066	MW	51.11	25.83	50.78	25.99	0.33	0.32	(0.32)	2.19	(2.20)
	0.066	HW	54.75	24.11	54.37	24.28	0.38	0.38	0.37	2.03	2.04
Q ₂	0.094	LW	47.47	39.61	46.90	40.09	0.57	0.55	0.50	2.39	2.51
	0.093	MW	51.05	36.44	50.39	36.91	0.66	0.64	0.59	2.19	2.28
	0.093	HW	54.83	33.92	54.15	34.35	0.68	0.66	0.61	2.15	2.24
Q ₃	0.125	LW	47.32	52.83	46.35	53.94	0.97	0.91	0.81	2.47	2.62
	0.123	MW	51.23	48.01	50.19	49.02	1.05	1.00	0.90	2.32	2.44
	0.122	HW	54.74	44.58	53.58	45.54	1.16	1.11	1.01	2.18	2.28
Q ₄	0.151	LW	47.50	63.57	45.94	65.73	1.56	1.42	1.27	2.39	2.52
	0.152	MW	50.97	59.65	49.33	61.62	1.63	1.51	1.36	2.33	2.45
	0.152	HW	54.75	55.53	53.05	57.31	1.70	1.60	1.45	2.26	2.38
Q ₅	0.184	LW	47.21	77.95	44.81	82.13	2.40	2.06	1.85	2.41	2.54
	0.185	MW	51.12	72.38	48.73	75.94	2.39	2.12	1.92	2.39	2.52
	0.184	HW	54.77	67.20	52.31	70.35	2.45	2.23	2.03	2.32	2.43

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W80H21L16M00-L / T17a



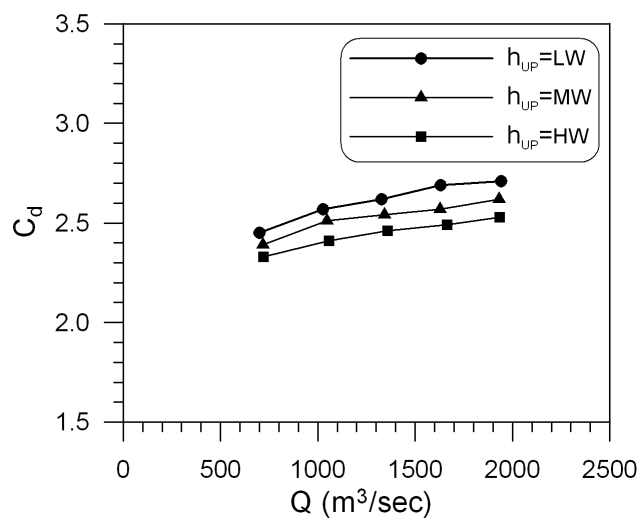
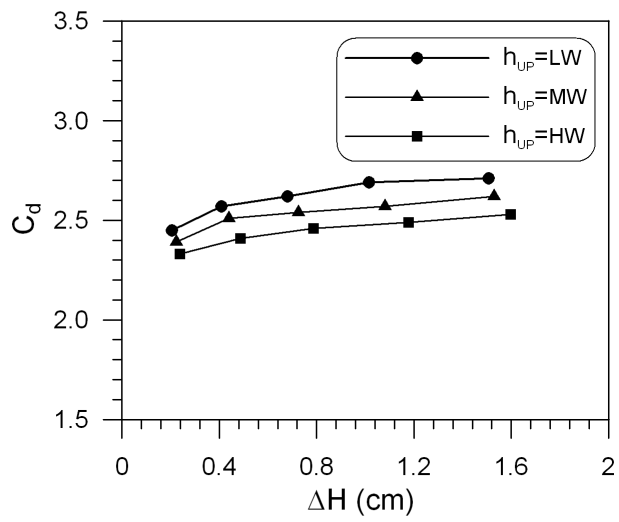
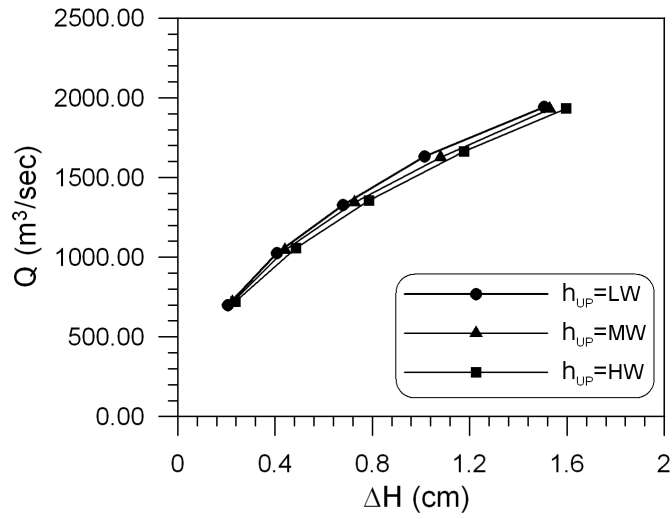
부록 C 수치모형실험 결과

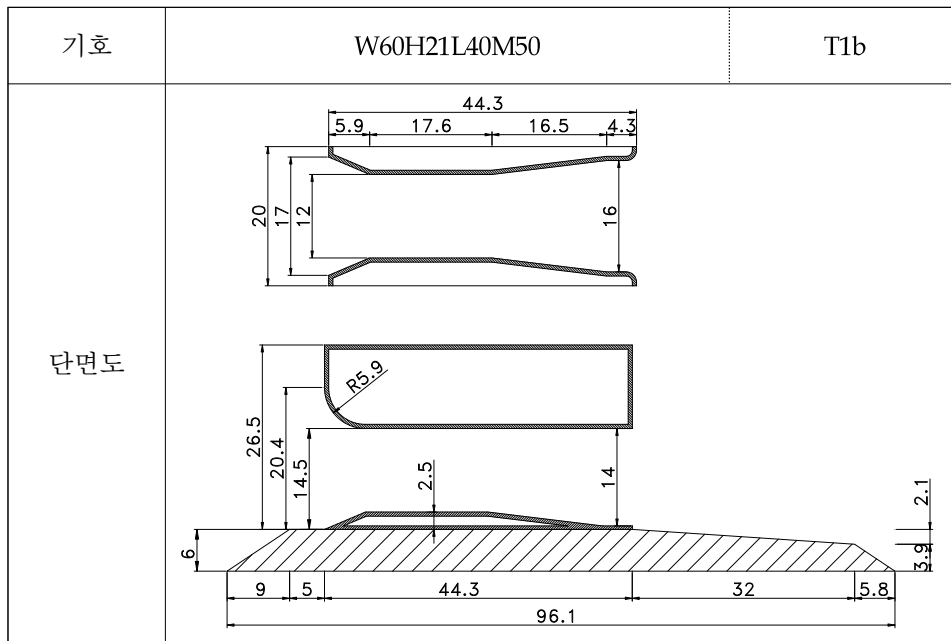


유량(Q) (m ³ /sec)	구분	상류측		하류측		수위차 (Δh) (m)	수두차 (ΔH)	유량계수 (C _d) 속도보정	
		수위 (h _{UP}) (m)	유속 (V _{UP}) (m/s)	수위 (h _{DN}) (m)	유속 (V _{DN}) (m/s)		속도보정 (m)		
Q ₁	700.296	LW	18.931	1.831	18.725	1.851	0.205	0.202	2.45
	717.142	MW	20.484	1.733	20.260	1.752	0.224	0.221	2.39
	720.255	HW	21.975	1.623	21.737	1.640	0.238	0.235	2.33
Q ₂	1027.193	LW	18.967	2.681	18.559	2.740	0.408	0.392	2.57
	1045.691	MW	20.443	2.532	20.003	2.588	0.440	0.426	2.51
	1057.828	HW	21.944	2.386	21.457	2.441	0.486	0.473	2.41
Q ₃	1327.404	LW	18.918	3.474	18.238	3.603	0.680	0.633	2.62
	1343.093	MW	20.387	3.261	19.661	3.382	0.726	0.685	2.54
	1356.874	HW	21.957	3.059	21.170	3.173	0.786	0.750	2.46
Q ₄	1631.039	LW	18.851	4.283	17.836	4.527	1.015	0.906	2.69
	1627.719	MW	20.366	3.957	19.285	4.178	1.081	0.989	2.57
	1663.019	HW	21.895	3.760	20.718	3.974	1.177	1.093	2.49
Q ₅	1942.402	LW	18.853	5.100	17.347	5.543	1.506	1.266	2.71
	1931.826	MW	20.392	4.690	18.863	5.070	1.529	1.340	2.62
	1933.854	HW	21.875	4.376	20.278	4.721	1.597	1.437	2.53

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W60H21L40M00 / T1a

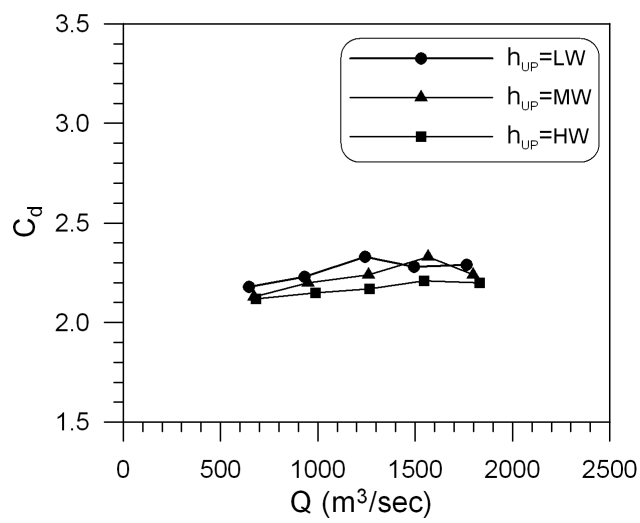
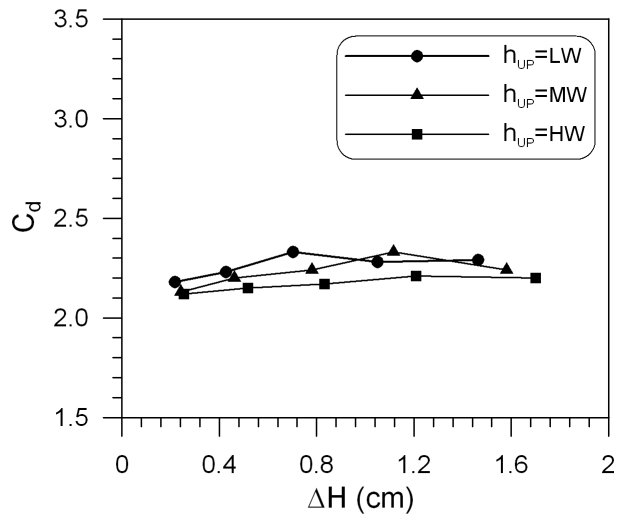
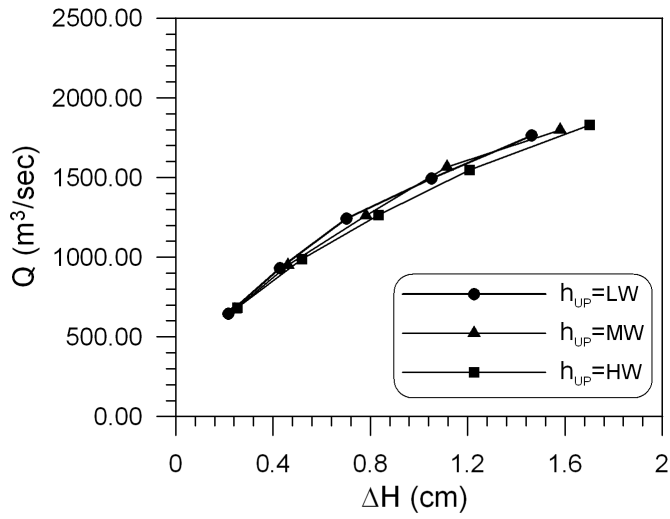


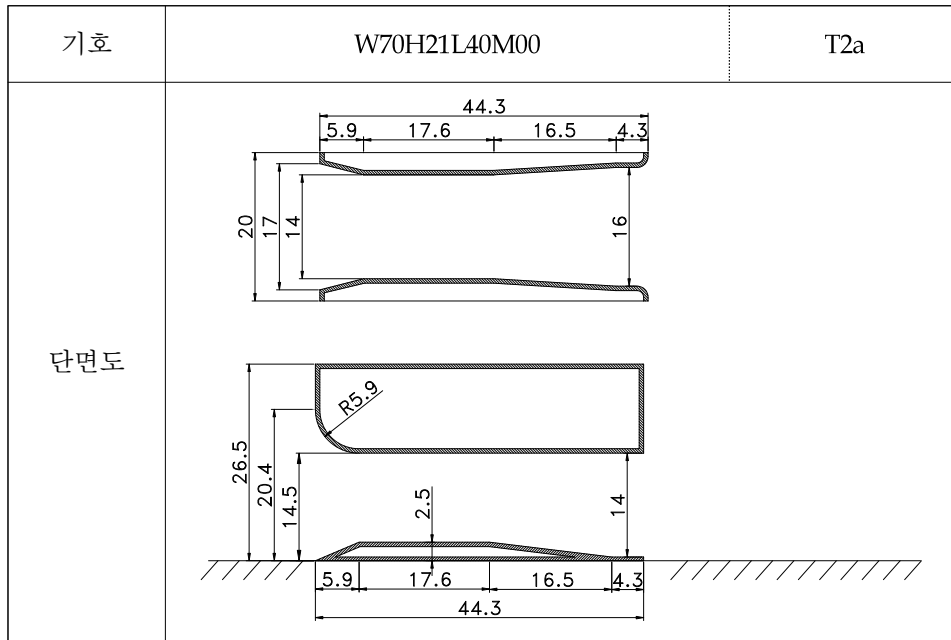


유량(Q)	구분	상류측		하류측		수위차 (Δh)	수두차 (ΔH)	유량계수 (C _d)	
		수위 (h _{UP}) (m)	유속 (V _{UP}) (m/s)	수위 (h _{DN}) (m)	유속 (V _{DN}) (m/s)				속도보정
(m ³ /sec)									
Q ₁	646.160	LW	25.052	1.277	24.833	1.288	0.218	0.217	2.18
	670.122	MW	26.657	1.244	26.412	1.256	0.245	0.243	2.13
	682.785	HW	28.089	1.203	27.833	1.214	0.256	0.254	2.12
Q ₂	930.583	LW	24.985	1.844	24.551	1.876	0.435	0.428	2.23
	950.582	MW	26.520	1.774	26.053	1.806	0.467	0.461	2.20
	987.170	HW	27.981	1.747	27.457	1.780	0.524	0.518	2.15
Q ₃	1243.187	LW	24.938	2.468	24.218	2.541	0.720	0.702	2.33
	1261.201	MW	26.470	2.359	25.672	2.432	0.799	0.781	2.24
	1264.893	HW	27.923	2.243	27.075	2.313	0.849	0.833	2.17
Q ₄	1494.158	LW	25.030	2.955	23.938	3.090	1.093	1.051	2.28
	1567.300	MW	26.437	2.935	25.280	3.069	1.156	1.115	2.33
	1547.029	HW	27.916	2.743	26.672	2.871	1.245	1.208	2.21
Q ₅	1764.573	LW	25.061	3.486	23.514	3.715	1.547	1.463	2.29
	1798.033	MW	26.510	3.358	24.851	3.582	1.659	1.580	2.24
	1830.936	HW	27.988	3.239	26.213	3.458	1.776	1.701	2.20

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W60H21L40M50 / T1b

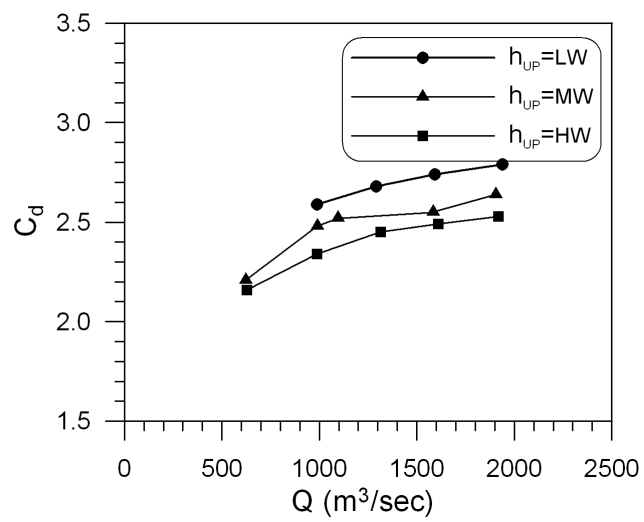
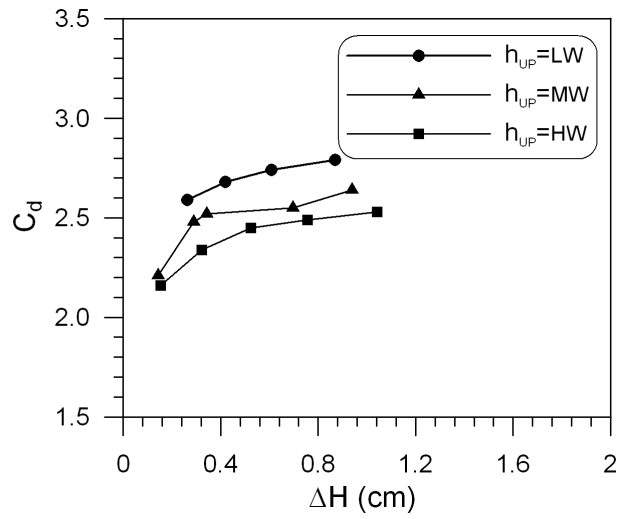
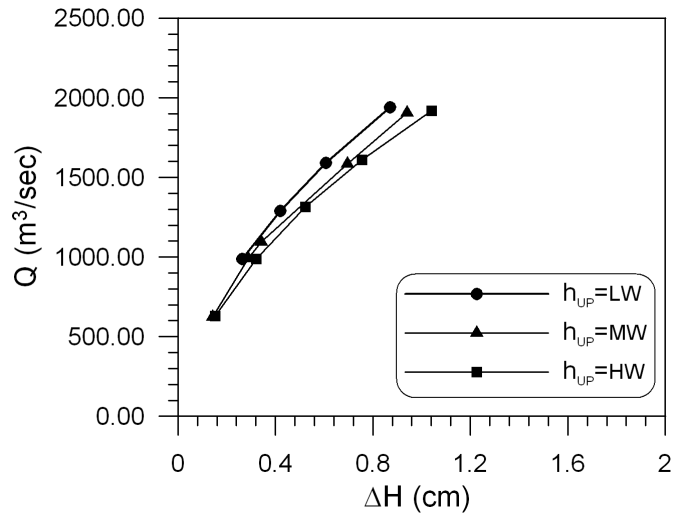


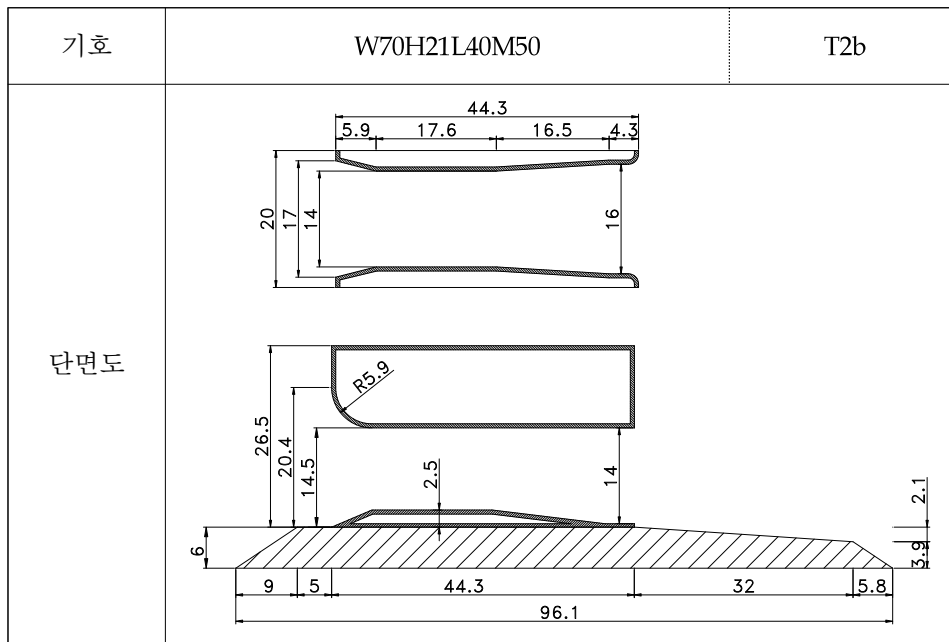


유량(Q) (m ³ /sec)	구분	상류측		하류측		수위차 (Δh) (m)	수두차 (ΔH)	유량계수 (C _d) 속도보정	
		수위 (h _{UP}) (m)	유속 (V _{UP}) (m/s)	수위 (h _{DN}) (m)	유속 (V _{DN}) (m/s)		속도보정 (m)		
Q ₁	620.690	LW	19.004	1.617	18.882	1.627	0.122	(0.120)	(2.41)
	622.610	MW	20.505	1.503	20.360	1.514	0.145	0.143	2.21
	629.040	HW	21.978	1.417	21.824	1.427	0.154	0.153	2.16
Q ₂	988.583	LW	18.974	2.579	18.702	2.617	0.273	0.263	2.59
	990.768	MW	20.491	2.394	20.194	2.429	0.298	0.289	2.48
	987.935	HW	21.951	2.228	21.622	2.262	0.329	0.321	2.34
Q ₃	1290.108	LW	18.883	3.382	18.435	3.464	0.448	0.420	2.68
	1096.376	MW	20.332	2.669	19.976	2.717	0.356	0.343	2.52
	1315.500	HW	21.898	2.974	21.352	3.050	0.546	0.523	2.45
Q ₄	1592.110	LW	18.893	4.172	18.218	4.326	0.674	0.608	2.74
	1584.449	MW	20.444	3.837	19.690	3.984	0.754	0.696	2.55
	1609.896	HW	21.928	3.635	21.120	3.774	0.807	0.755	2.49
Q ₅	1938.969	LW	18.824	5.099	17.796	5.394	1.028	0.870	2.79
	1906.513	MW	20.399	4.627	19.336	4.881	1.063	0.940	2.64
	1919.677	HW	21.880	4.343	20.728	4.585	1.152	1.042	2.53

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W70H21L40M00 / T2a

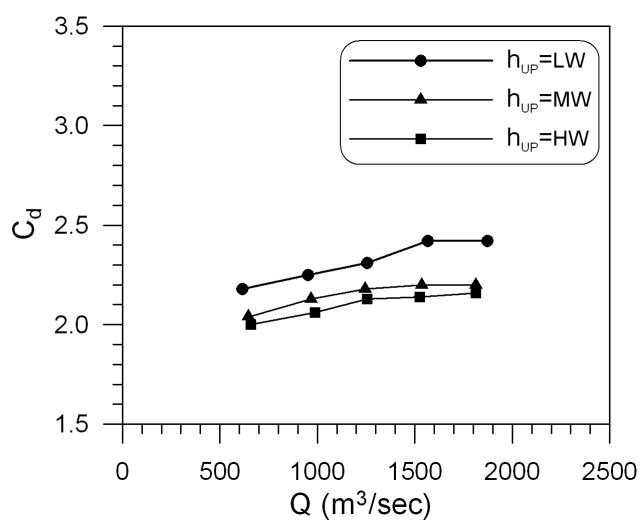
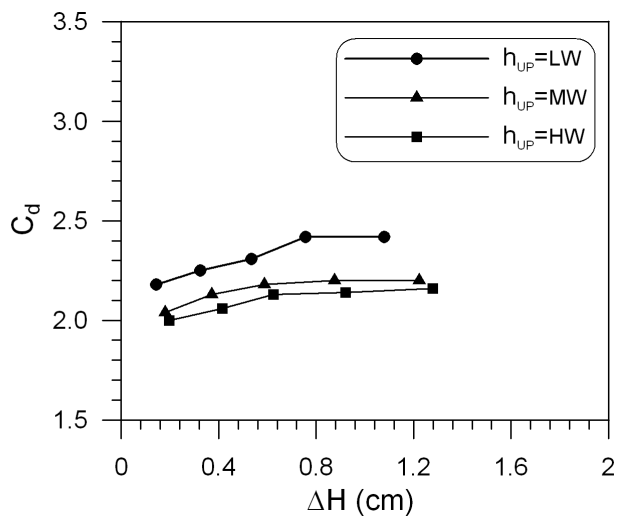
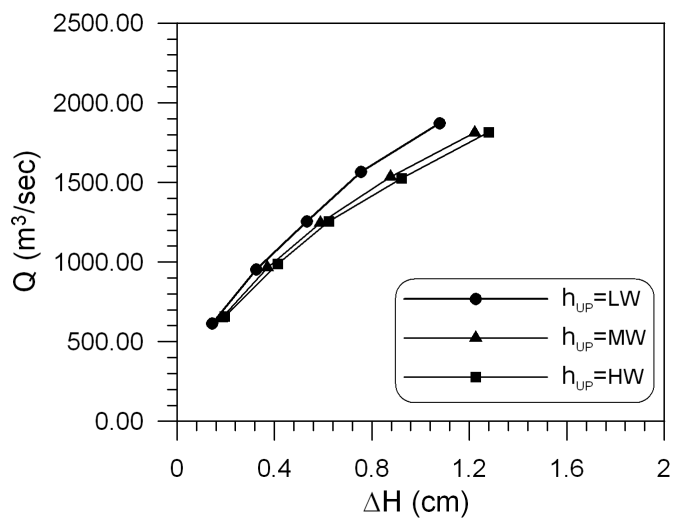


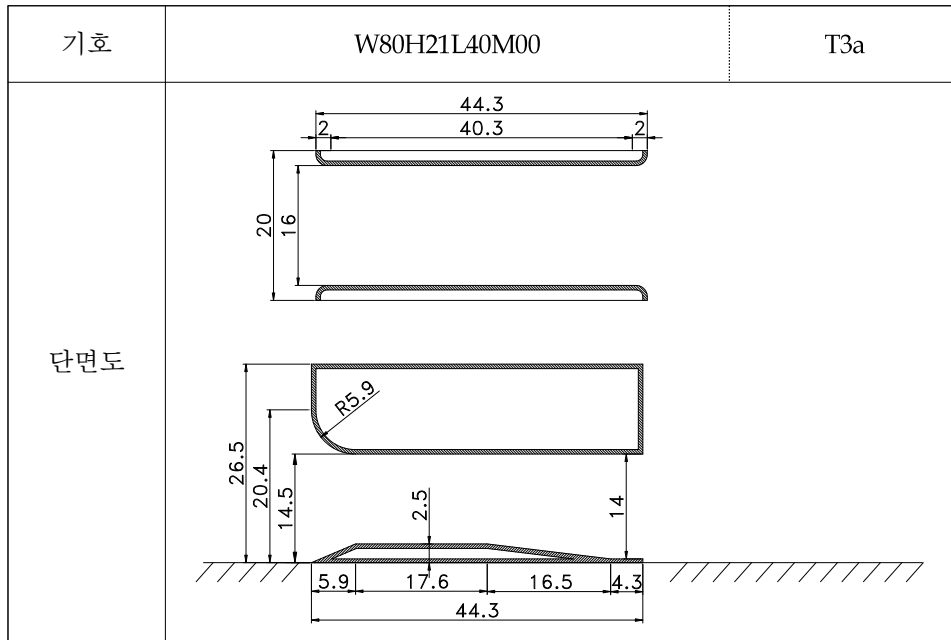


유량(Q) (m ³ /sec)	구분	상류측		하류측		수위차 (Δh) (m)	수두차 (ΔH)	유량계수 (C _d) 속도보정	
		수위 (h _{UP}) (m)	유속 (V _{UP}) (m/s)	수위 (h _{DN}) (m)	유속 (V _{DN}) (m/s)		속도보정 (m)		
Q ₁	615.560	LW	25.040	1.217	24.895	1.224	0.145	0.144	2.18
	645.255	MW	26.444	1.208	26.262	1.216	0.182	0.181	2.04
	658.333	HW	27.987	1.165	27.789	1.173	0.197	0.196	2.00
Q ₂	952.599	LW	25.000	1.886	24.670	1.912	0.329	0.325	2.25
	966.998	MW	26.487	1.807	26.109	1.833	0.377	0.372	2.13
	987.667	HW	27.974	1.748	27.555	1.774	0.419	0.414	2.06
Q ₃	1255.434	LW	24.931	2.493	24.384	2.549	0.547	0.533	2.31
	1245.908	MW	26.506	2.327	25.904	2.381	0.601	0.588	2.18
	1254.308	HW	27.936	2.223	27.301	2.274	0.636	0.624	2.13
Q ₄	1566.951	LW	24.958	3.108	24.171	3.209	0.787	0.755	2.42
	1535.458	MW	26.467	2.872	25.561	2.974	0.906	0.876	2.20
	1525.755	HW	27.987	2.699	27.040	2.793	0.947	0.921	2.14
Q ₅	1871.563	LW	24.986	3.708	23.838	3.887	1.148	1.079	2.42
	1812.102	MW	26.553	3.378	25.269	3.550	1.283	1.223	2.20
	1814.385	HW	27.971	3.211	26.638	3.372	1.333	1.279	2.16

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W70H21L40M50 / T2b

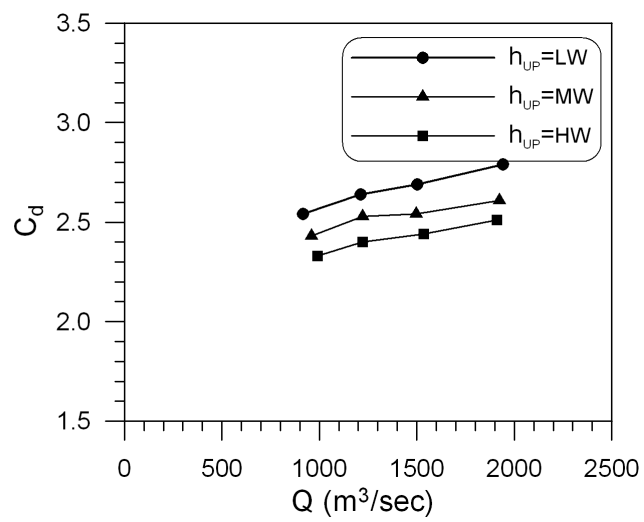
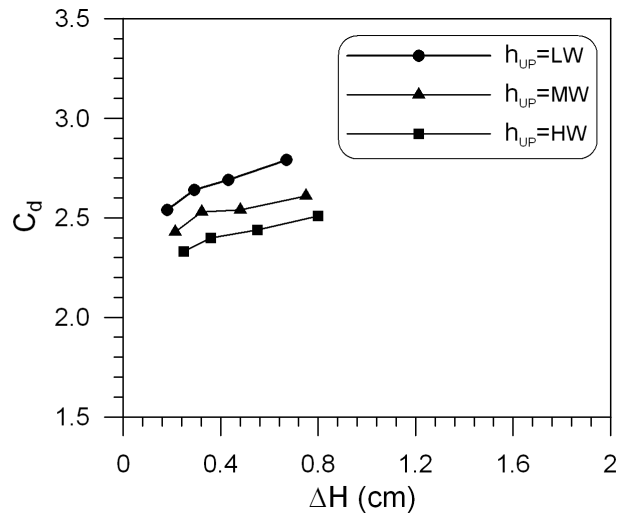
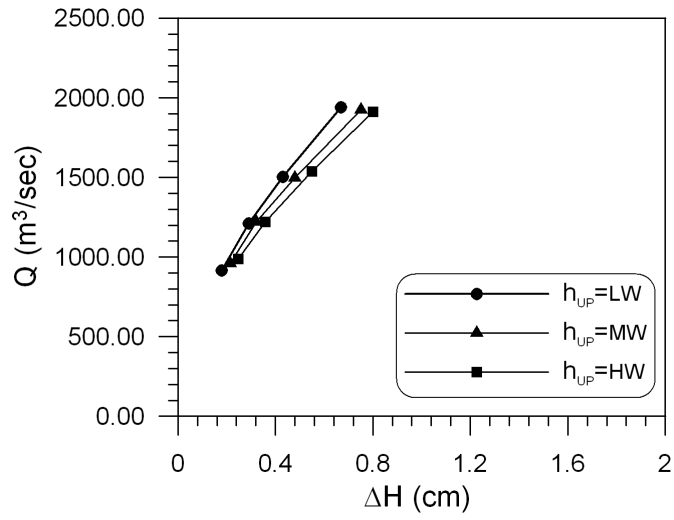


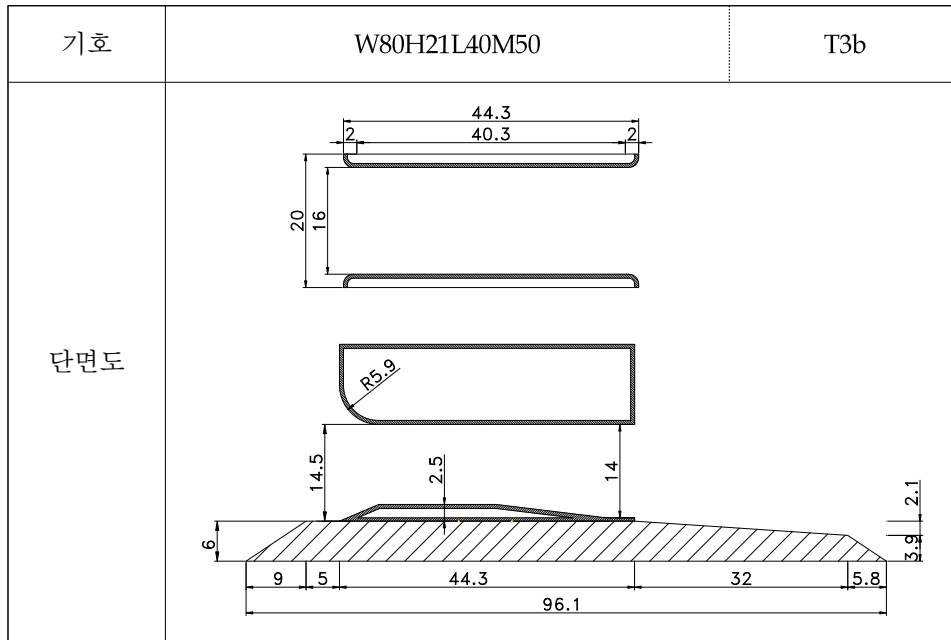


유량(Q)	구분	상류측		하류측		수위차 (Δh)	수두차 (ΔH)	유량계수 (C _d)	
		수위 (h _{UP})	유속 (V _{UP})	수위 (h _{DN})	유속 (V _{DN})		속도보정	속도보정	
(m ³ /sec)		(m)	(m/s)	(m)	(m/s)	(m)	(m)		
Q ₁	584.552	LW	18.892	1.532	18.789	1.540	0.103	(0.101)	(2.16)
	627.934	MW	20.430	1.522	20.321	1.530	0.109	(0.108)	(2.25)
	684.227	HW	21.864	1.549	21.731	1.559	0.133	(0.131)	(2.22)
Q ₂	916.485	LW	18.891	2.402	18.706	2.425	0.186	0.180	2.54
	958.953	MW	20.493	2.317	20.273	2.342	0.220	0.214	2.43
	989.428	HW	21.925	2.234	21.670	2.260	0.254	0.248	2.33
Q ₃	1210.983	LW	18.969	3.160	18.661	3.212	0.308	0.291	2.64
	1220.432	MW	20.401	2.962	20.065	3.011	0.336	0.321	2.53
	1221.435	HW	21.947	2.755	21.575	2.803	0.371	0.358	2.40
Q ₄	1502.969	LW	18.926	3.931	18.453	4.032	0.472	0.431	2.69
	1498.154	MW	20.466	3.624	19.951	3.717	0.515	0.480	2.54
	1536.955	HW	21.927	3.470	21.343	3.565	0.584	0.550	2.44
Q ₅	1940.420	LW	18.744	5.125	17.955	5.350	0.789	0.669	2.79
	1923.390	MW	20.305	4.689	19.454	4.894	0.851	0.751	2.61
	1910.937	HW	21.839	4.332	20.956	4.514	0.883	0.800	2.51

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W80H21L40M00 / T3a

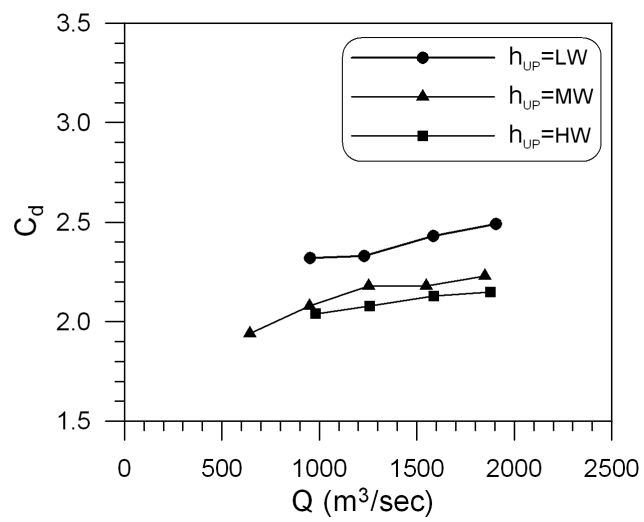
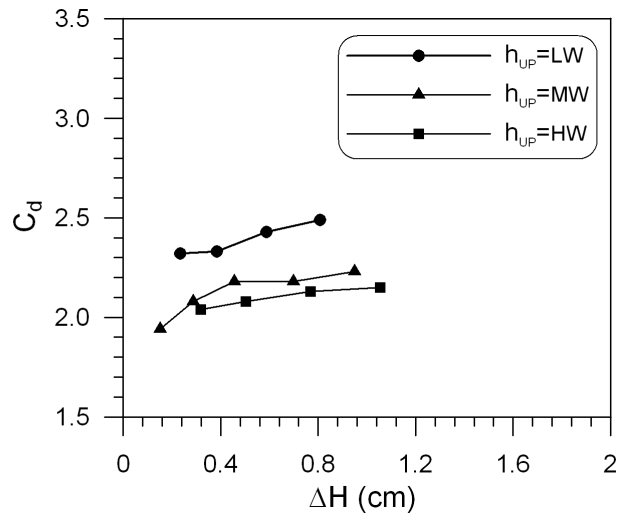
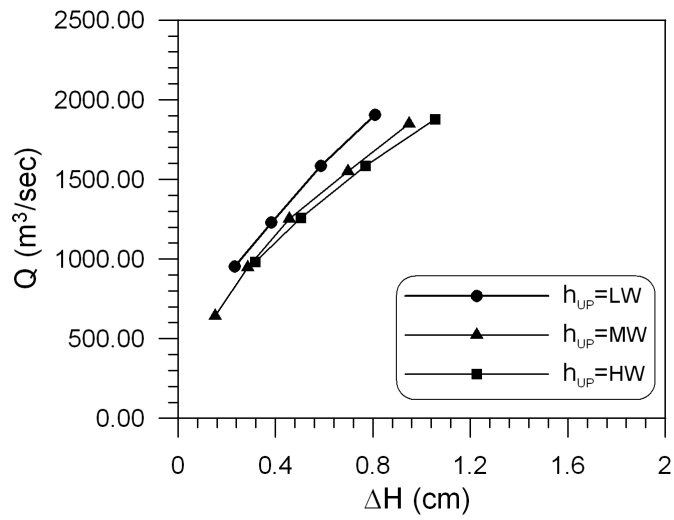


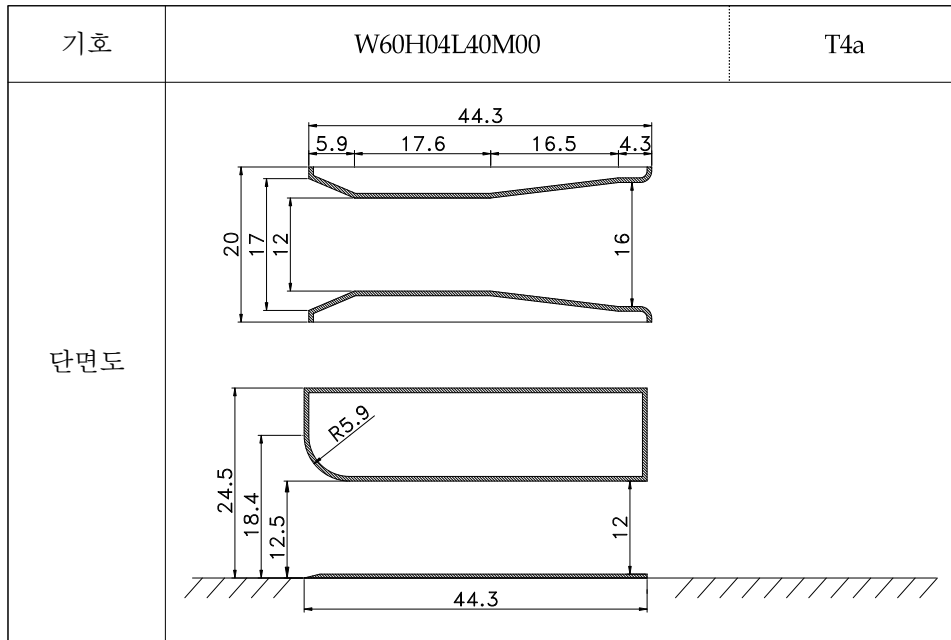


유량(Q) (m ³ /sec)	구분	상류측		하류측		수위차 (Δh) (m)	수두차 (ΔH)	유량계수 (C _d) 속도보정	
		수위 (h _{UP}) (m)	유속 (V _{UP}) (m/s)	수위 (h _{DN}) (m)	유속 (V _{DN}) (m/s)		속도보정 (m)		
Q ₁	636.250	LW	24.946	1.263	24.819	1.269	0.127	(0.126)	(2.11)
	642.721	MW	26.450	1.203	26.296	1.210	0.153	0.152	1.94
	663.897	HW	28.018	1.173	27.855	1.180	0.163	0.163	1.94
Q ₂	952.727	LW	25.023	1.885	24.787	1.903	0.236	0.233	2.32
	948.399	MW	26.549	1.768	26.258	1.788	0.290	0.287	2.08
	980.661	HW	28.015	1.733	27.693	1.753	0.322	0.318	2.04
Q ₃	1228.697	LW	24.979	2.435	24.585	2.474	0.394	0.384	2.33
	1251.937	MW	26.421	2.346	25.954	2.388	0.467	0.457	2.18
	1258.094	HW	27.945	2.229	27.431	2.271	0.514	0.504	2.08
Q ₄	1585.307	LW	24.931	3.148	24.318	3.227	0.613	0.587	2.43
	1549.071	MW	26.462	2.898	25.740	2.979	0.722	0.698	2.18
	1585.798	HW	27.885	2.815	27.092	2.898	0.793	0.769	2.13
Q ₅	1905.326	LW	24.887	3.790	24.026	3.926	0.861	0.808	2.49
	1848.892	MW	26.480	3.456	25.483	3.592	0.998	0.949	2.23
	1878.209	HW	27.950	3.327	26.848	3.463	1.103	1.055	2.15

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W80H21L40M5 / T3b

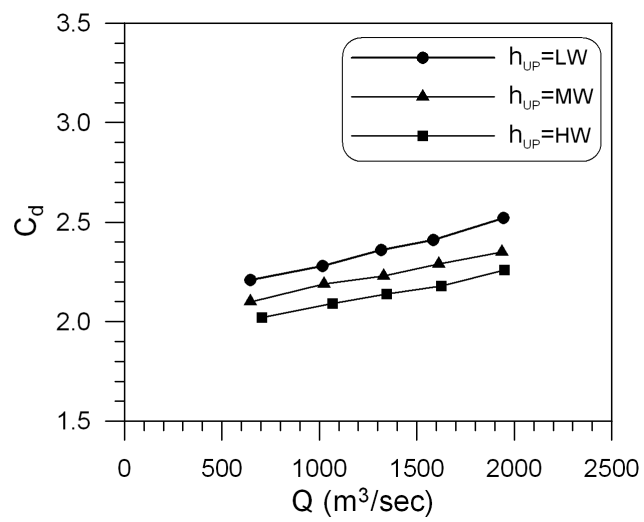
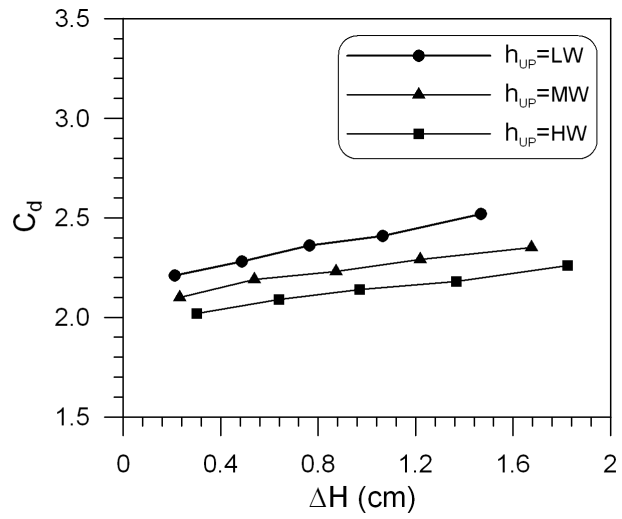
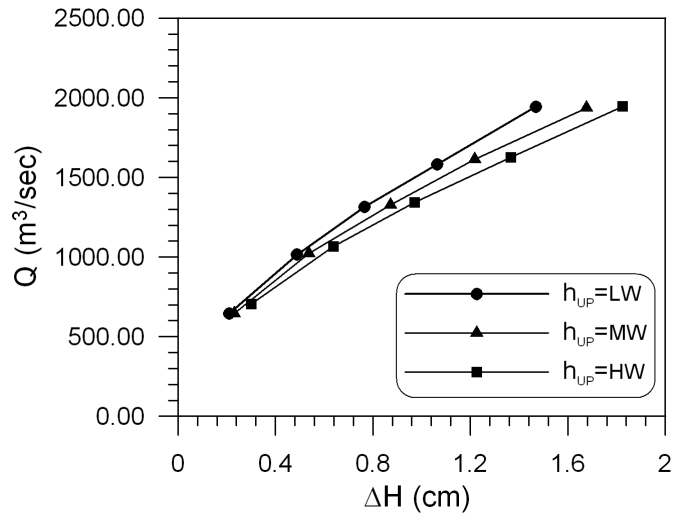


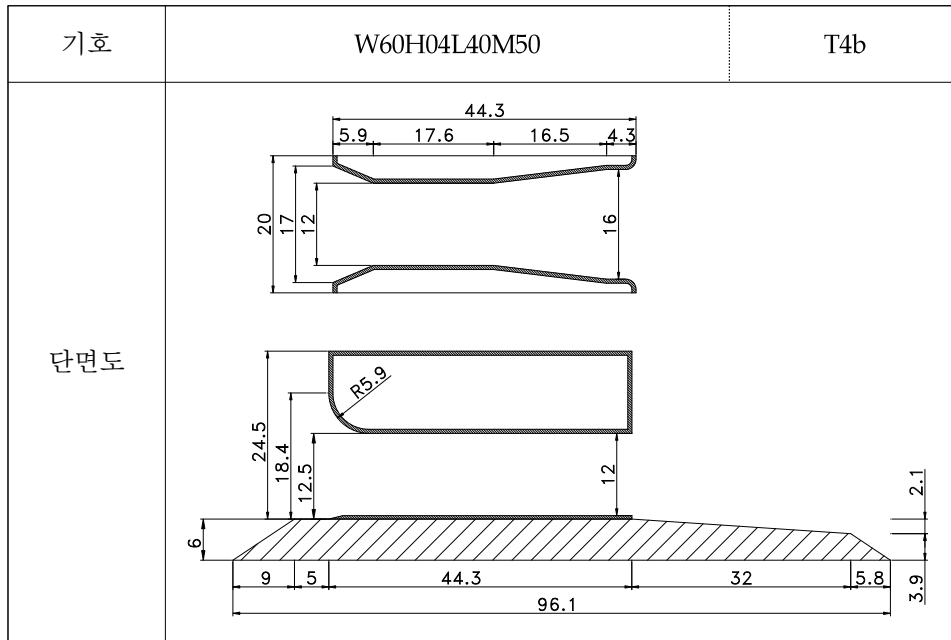


유량(Q) (m ³ /sec)	구분	상류측		하류측		수위차 (Δh) (m)	수두차 (ΔH)	유량계수 (C _d) 속도보정	
		수위 (h _{UP}) (m)	유속 (V _{UP}) (m/s)	수위 (h _{DN}) (m)	유속 (V _{DN}) (m/s)		속도보정 (m)		
Q ₁	646.871	LW	16.919	1.893	16.703	1.917	0.216	0.211	2.21
	645.438	MW	18.376	1.739	18.140	1.761	0.236	0.232	2.10
	706.008	HW	19.920	1.755	19.614	1.782	0.306	0.301	2.02
Q ₂	1014.818	LW	16.876	2.977	16.360	3.071	0.516	0.487	2.28
	1022.327	MW	18.380	2.754	17.817	2.841	0.563	0.538	2.19
	1066.580	HW	19.807	2.666	19.144	2.758	0.663	0.638	2.09
Q ₃	1316.167	LW	16.840	3.869	15.992	4.074	0.848	0.765	2.36
	1328.989	MW	18.345	3.586	17.399	3.781	0.946	0.873	2.23
	1343.751	HW	19.824	3.356	18.788	3.541	1.036	0.971	2.14
Q ₄	1583.415	LW	16.790	4.669	15.541	5.044	1.250	1.064	2.41
	1613.777	MW	18.294	4.367	16.909	4.725	1.385	1.219	2.29
	1625.208	HW	19.786	4.066	18.273	4.403	1.512	1.367	2.18
Q ₅	1943.737	LW	16.659	5.776	14.711	6.541	1.948	1.468	2.52
	1936.452	MW	18.275	5.246	16.222	5.910	2.053	1.676	2.35
	1947.911	HW	19.756	4.881	17.621	5.473	2.136	1.824	2.26

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W60H04L40M00 / T4a

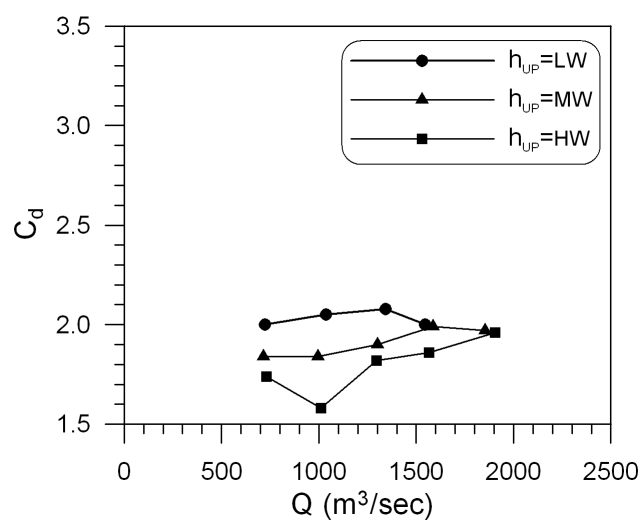
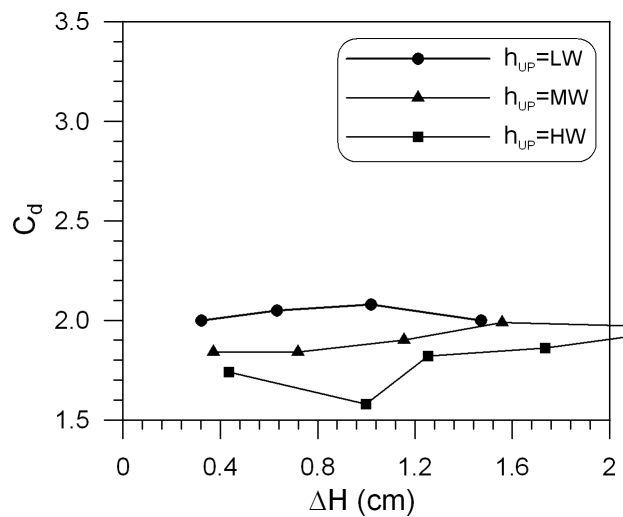
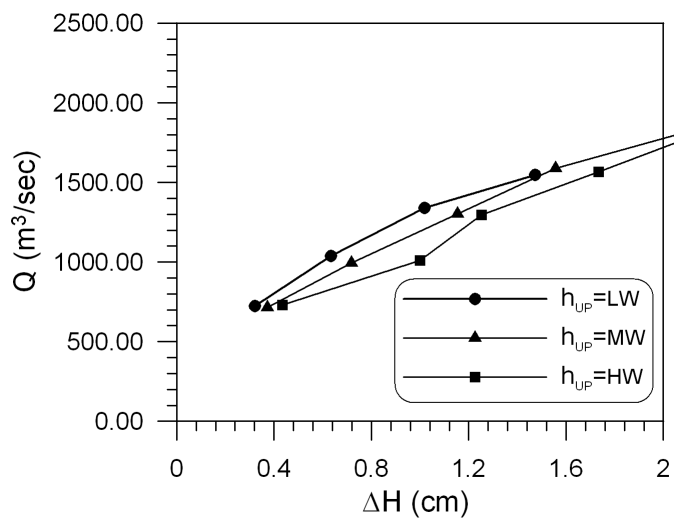


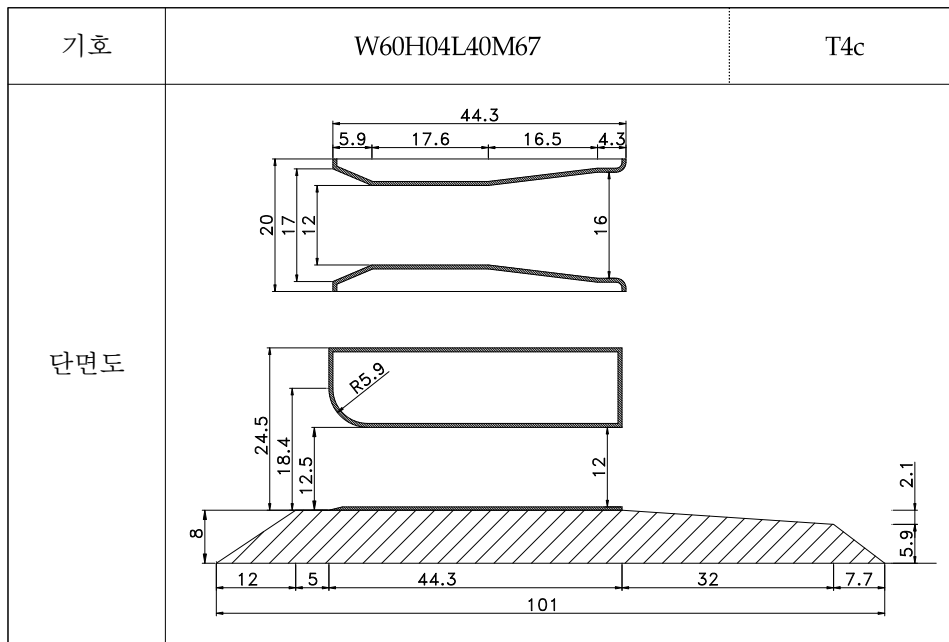


유량(Q) (m ³ /sec)	구분	상류측		하류측		수위차 (Δh) (m)	수두차 (ΔH)	유량계수 (C _d) 속도보정
		수위 (h _{UP}) (m)	유속 (V _{UP}) (m/s)	수위 (h _{DN}) (m)	유속 (V _{DN}) (m/s)		속도보정 (m)	
Q ₁	LW	22.982	1.559	22.658	1.582	0.325	0.321	2.00
	MW	24.493	1.445	24.118	1.467	0.375	0.372	1.84
	HW	25.988	1.391	25.550	1.415	0.438	0.434	1.74
Q ₂	LW	22.975	2.236	22.327	2.301	0.648	0.633	2.05
	MW	24.471	2.013	23.739	2.075	0.732	0.719	1.84
	HW	25.921	1.928	24.906	2.006	1.015	0.999	1.58
Q ₃	LW	22.865	2.903	21.802	3.045	1.062	1.019	2.08
	MW	24.390	2.641	23.198	2.777	1.192	1.154	1.90
	HW	25.874	2.482	24.587	2.611	1.287	1.253	1.82
Q ₄	LW	22.898	3.343	21.340	3.587	1.558	1.472	2.00
	MW	24.385	3.221	22.749	3.453	1.636	1.557	1.99
	HW	25.897	2.993	24.092	3.217	1.805	1.734	1.86
Q ₅	LW	-	-	-	-	-	-	-
	MW	24.464	3.752	22.121	4.150	2.343	2.183	1.97
	HW	25.846	3.647	23.376	4.032	2.471	2.320	1.96

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W60H04L40M50 / T4b

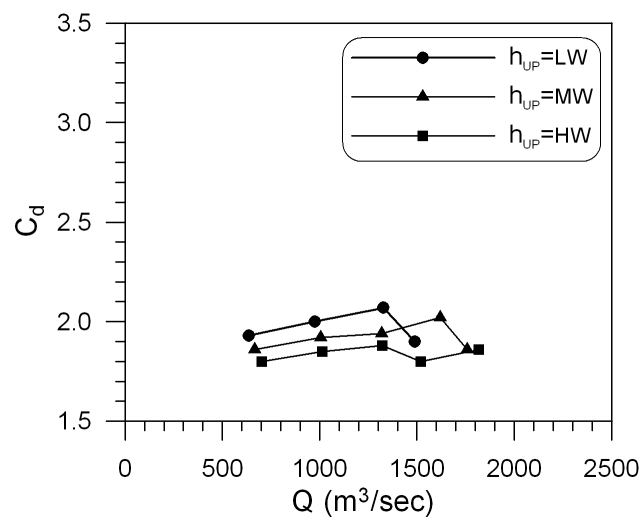
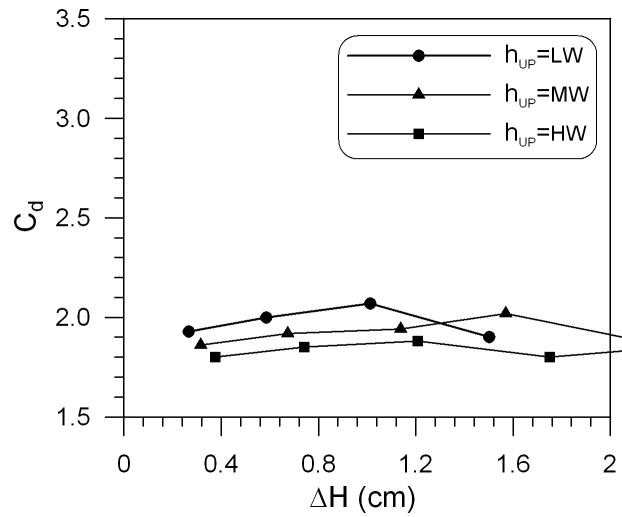
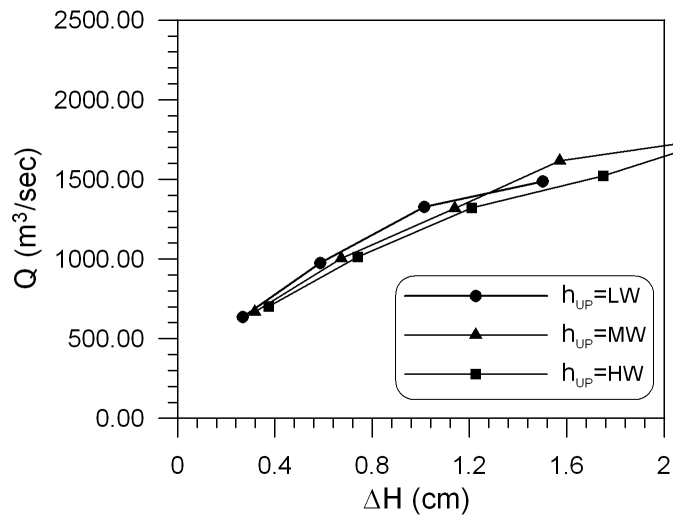


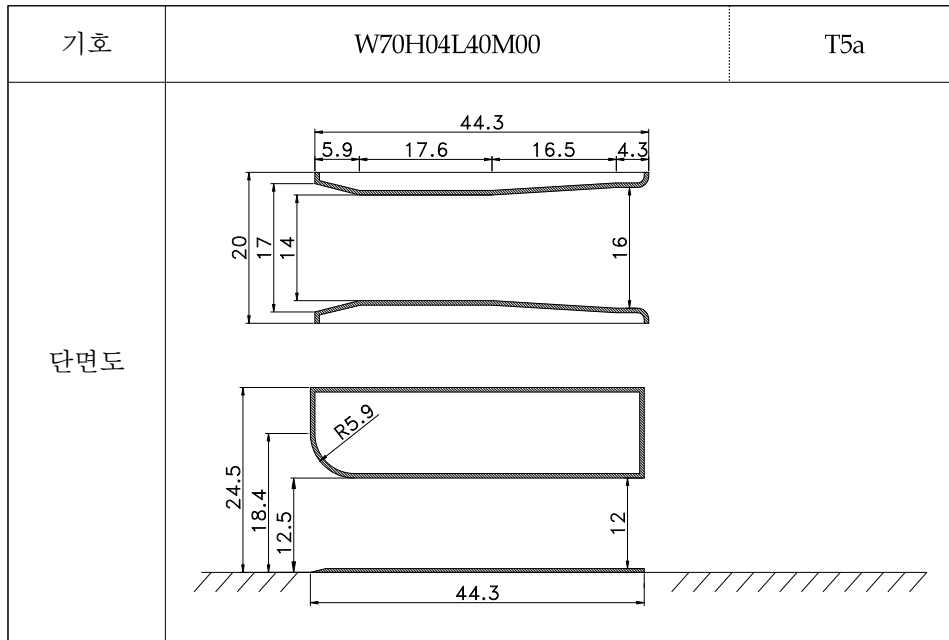


유량(Q) (m ³ /sec)	구분	상류측		하류측		수위차 (Δh) (m)	수두차 (ΔH)	유량계수 (C _d) 속도보정	
		수위 (h _{UP}) (m)	유속 (V _{UP}) (m/s)	수위 (h _{DN}) (m)	유속 (V _{DN}) (m/s)		속도보정 (m)		
Q ₁	634.755	LW	25.075	1.253	24.806	1.267	0.269	0.267	1.93
	666.399	MW	26.484	1.246	26.166	1.261	0.318	0.316	1.86
	702.435	HW	27.987	1.242	27.610	1.259	0.377	0.375	1.80
Q ₂	974.139	LW	25.010	1.928	24.415	1.975	0.595	0.586	2.00
	1004.320	MW	26.466	1.879	25.784	1.928	0.682	0.673	1.92
	1013.633	HW	28.030	1.790	27.280	1.839	0.750	0.741	1.85
Q ₃	1327.268	LW	24.988	2.630	23.944	2.744	1.044	1.013	2.07
	1318.574	MW	26.455	2.467	25.287	2.581	1.169	1.139	1.94
	1321.006	HW	27.994	2.336	26.759	2.444	1.235	1.209	1.88
Q ₄	1487.581	LW	25.054	2.939	23.491	3.135	1.563	1.502	1.90
	1618.442	MW	26.453	3.029	24.818	3.228	1.635	1.571	2.02
	1520.547	HW	27.968	2.691	26.165	2.877	1.803	1.751	1.80
Q ₅	-	LW	-	-	-	-	-	-	-
	1758.959	MW	26.551	3.280	24.232	3.593	2.319	2.209	1.86
	1816.311	HW	27.984	3.213	25.531	3.522	2.452	2.347	1.86

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W60H04L40M67 / T4c

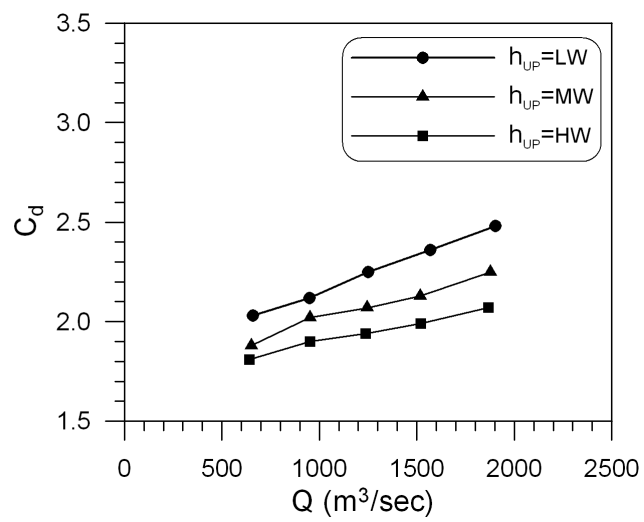
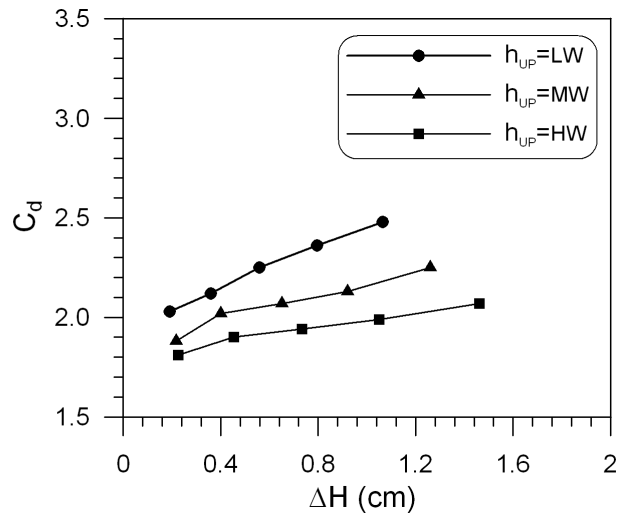
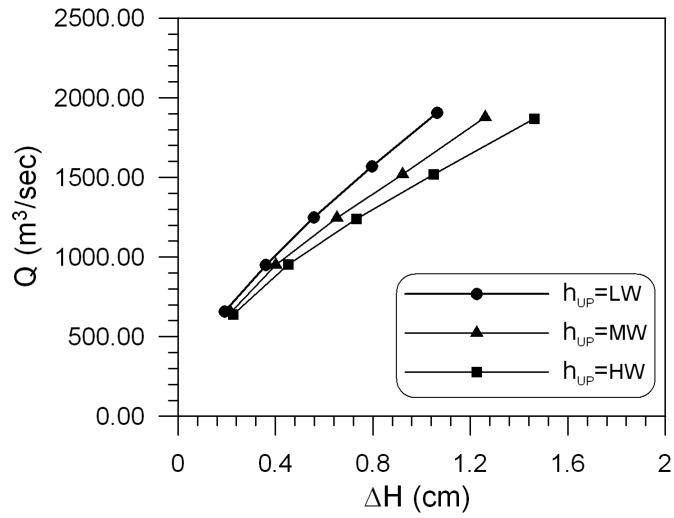


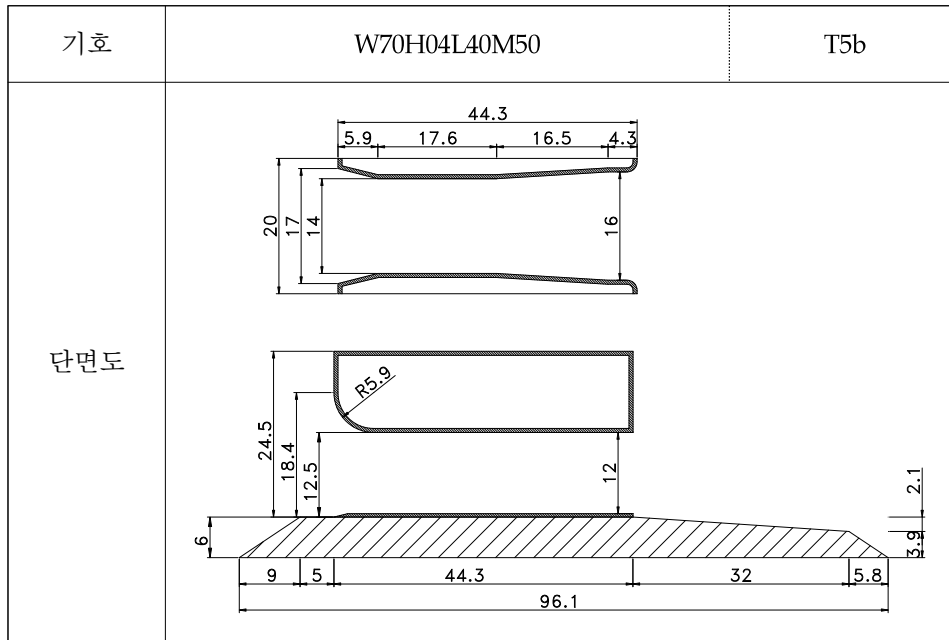


유량(Q) (m ³ /sec)	구분	상류측		하류측		수위차 (Δh) (m)	수두차 (ΔH)	유량계수 (C _d) 속도보정	
		수위 (h _{UP}) (m)	유속 (V _{UP}) (m/s)	수위 (h _{DN}) (m)	유속 (V _{DN}) (m/s)		속도보정 (m)		
Q ₁	659.312	LW	16.945	1.926	16.750	1.949	0.195	0.191	2.03
	651.008	MW	18.454	1.746	18.233	1.768	0.221	0.217	1.88
	640.858	HW	19.919	1.593	19.690	1.611	0.229	0.226	1.81
Q ₂	949.101	LW	16.928	2.776	16.549	2.839	0.379	0.360	2.12
	951.397	MW	18.447	2.553	18.030	2.612	0.417	0.401	2.02
	952.403	HW	19.942	2.364	19.476	2.421	0.467	0.453	1.90
Q ₃	1249.706	LW	16.902	3.660	16.292	3.797	0.610	0.558	2.25
	1245.609	MW	18.489	3.335	17.792	3.466	0.697	0.652	2.07
	1238.350	HW	19.956	3.072	19.184	3.196	0.773	0.733	1.94
Q ₄	1568.704	LW	16.810	4.620	15.883	4.889	0.927	0.796	2.36
	1517.703	MW	18.479	4.066	17.457	4.304	1.022	0.921	2.13
	1519.342	HW	19.946	3.771	18.805	4.000	1.141	1.050	1.99
Q ₅	1904.073	LW	16.812	5.607	15.453	6.100	1.359	1.065	2.48
	1876.547	MW	18.372	5.057	16.868	5.507	1.504	1.261	2.25
	1866.420	HW	19.917	4.639	18.245	5.064	1.672	1.462	2.07

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W70H04L40M00 / T5a

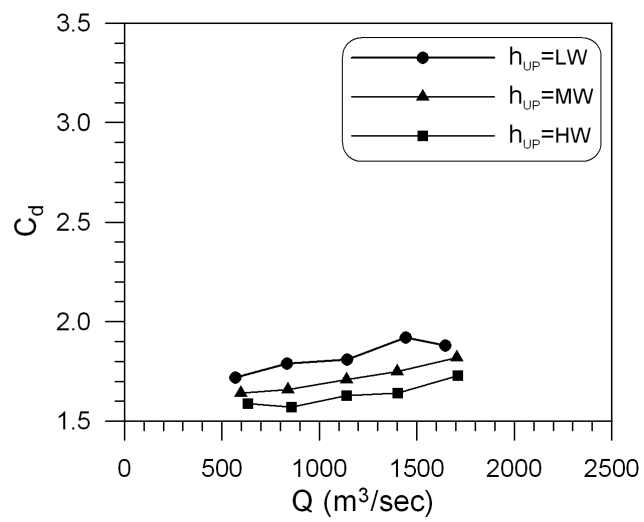
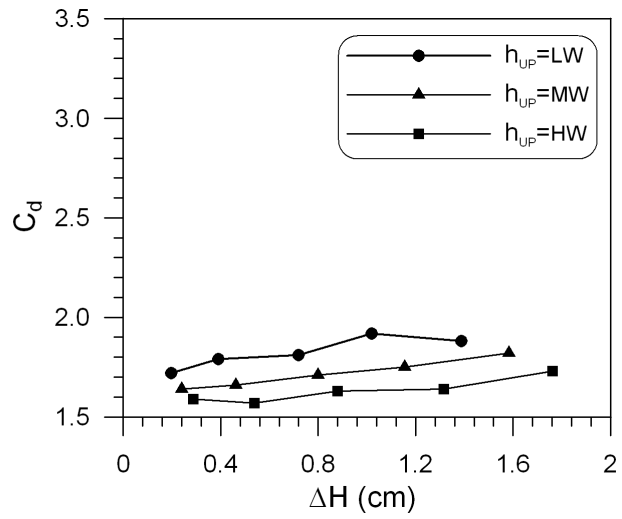
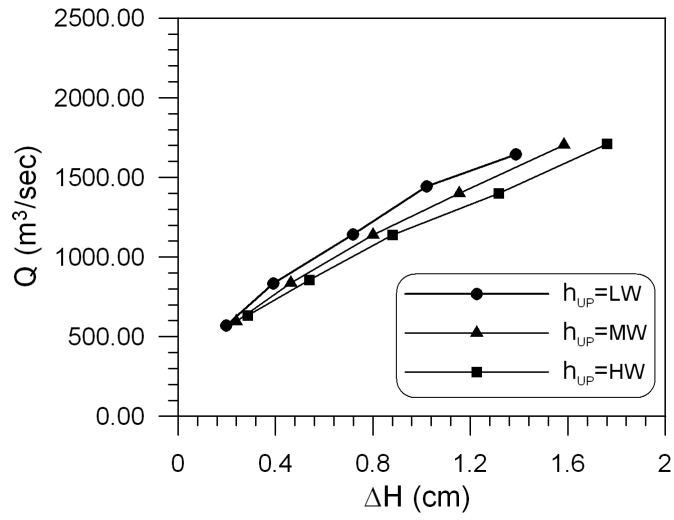


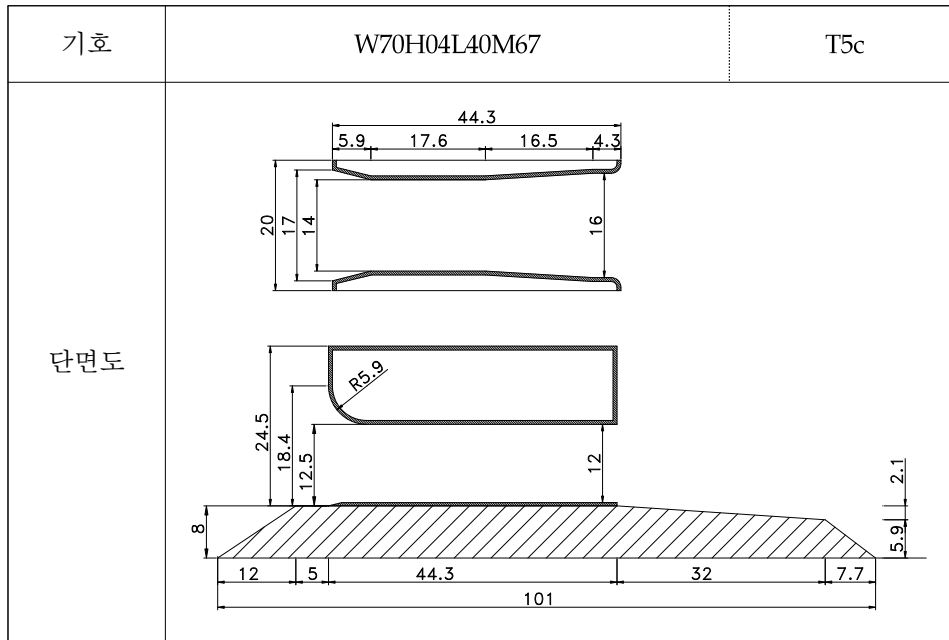


유량(Q) (m ³ /sec)	구분	상류측		하류측		수위차 (Δh) (m)	수두차 (ΔH)	유량계수 (C _d) 속도보정	
		수위 (h _{UP}) (m)	유속 (V _{UP}) (m/s)	수위 (h _{DN}) (m)	유속 (V _{DN}) (m/s)		속도보정 (m)		
Q ₁	569.750	LW	22.949	1.229	22.750	1.240	0.198	0.197	1.72
	596.953	MW	24.408	1.211	24.167	1.223	0.241	0.240	1.64
	634.438	HW	25.889	1.213	25.600	1.227	0.289	0.287	1.59
Q ₂	833.884	LW	22.892	1.803	22.495	1.835	0.397	0.391	1.79
	837.901	MW	24.484	1.694	24.016	1.727	0.468	0.463	1.66
	857.831	HW	25.987	1.634	25.442	1.669	0.545	0.539	1.57
Q ₃	1141.297	LW	23.010	2.455	22.272	2.537	0.739	0.718	1.81
	1138.324	MW	24.536	2.297	23.718	2.376	0.819	0.800	1.71
	1138.575	HW	25.970	2.170	25.072	2.248	0.897	0.880	1.63
Q ₄	1443.285	LW	22.980	3.109	21.911	3.261	1.069	1.020	1.92
	1398.349	MW	24.502	2.825	23.305	2.970	1.197	1.154	1.75
	1401.246	HW	26.010	2.667	24.654	2.814	1.357	1.316	1.64
Q ₅	1646.117	LW	23.140	3.522	21.664	3.762	1.476	1.387	1.88
	1703.862	MW	24.572	3.433	22.896	3.684	1.675	1.584	1.82
	1710.662	HW	26.040	3.252	24.194	3.500	1.846	1.761	1.73

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W70H04L40M50 / T5b

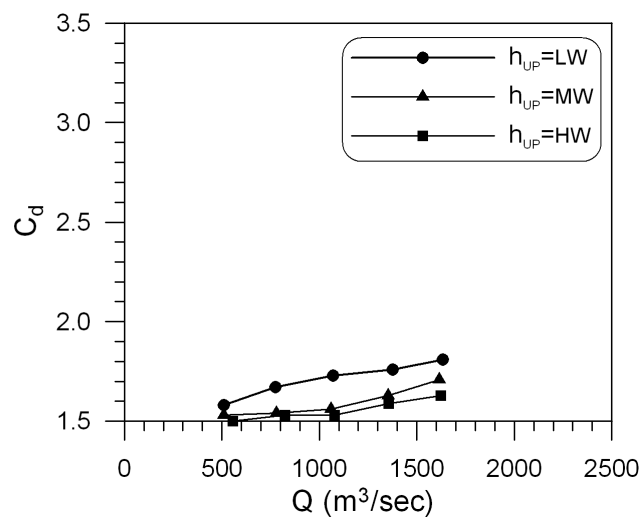
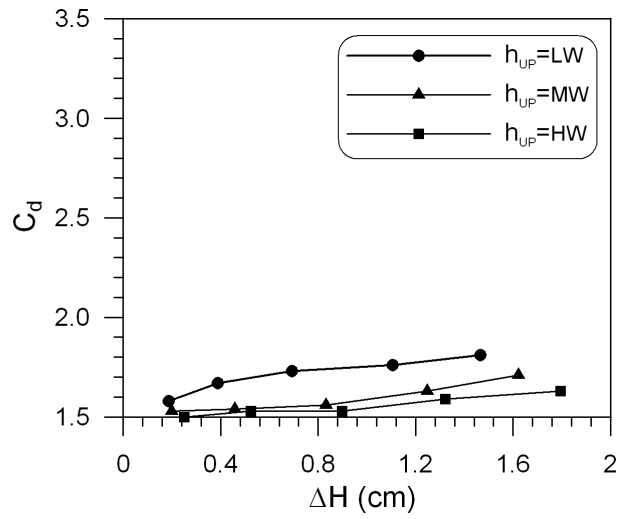
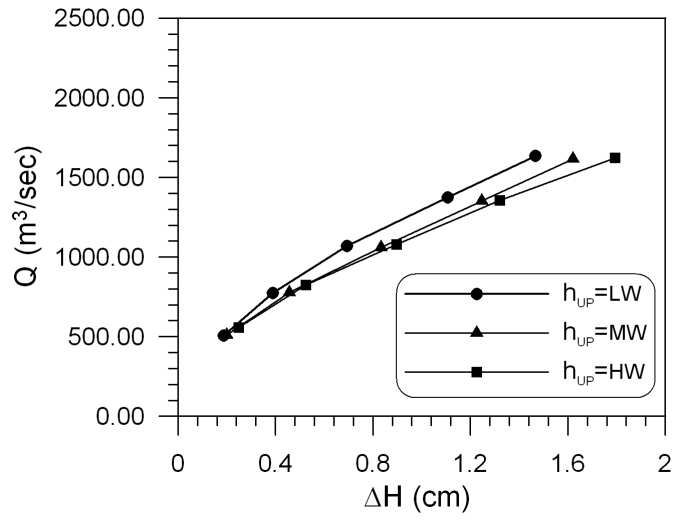


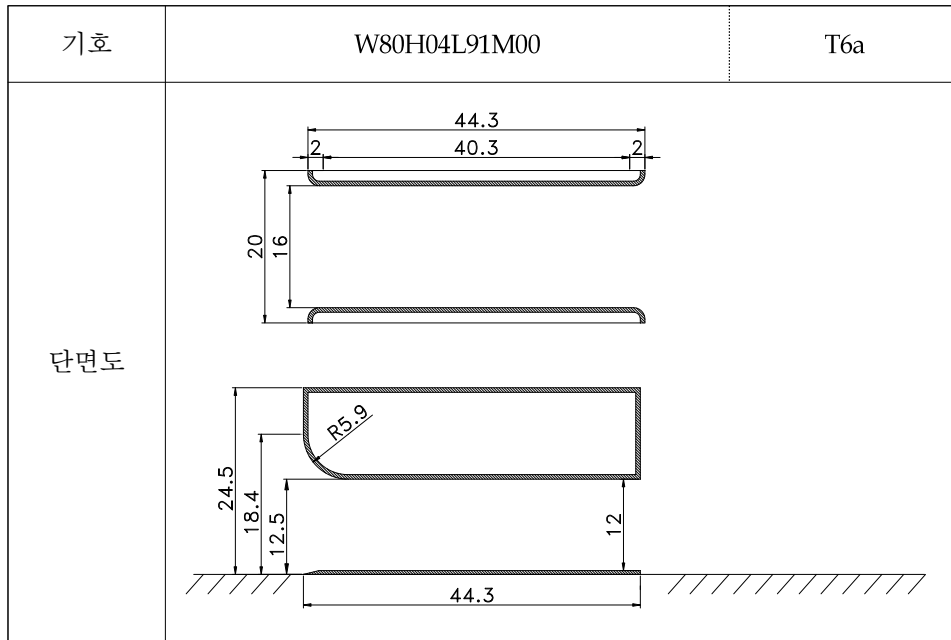


유량(Q) (m ³ /sec)	구분	상류측		하류측		수위차 (Δh) (m)	수두차 (ΔH)	유량계수 (C _d) 속도보정	
		수위 (h _{UP}) (m)	유속 (V _{UP}) (m/s)	수위 (h _{DN}) (m)	유속 (V _{DN}) (m/s)		속도보정 (m)		
Q ₁	508.966	LW	25.008	1.008	24.820	1.015	0.188	0.187	1.58
	510.240	MW	26.517	0.953	26.316	0.960	0.201	0.200	1.53
	556.765	HW	27.951	0.986	27.700	0.995	0.251	0.250	1.50
Q ₂	775.184	LW	25.087	1.530	24.694	1.554	0.392	0.389	1.67
	778.066	MW	26.549	1.451	26.087	1.477	0.462	0.458	1.54
	823.269	HW	28.005	1.455	27.478	1.483	0.528	0.524	1.53
Q ₃	1070.063	LW	25.078	2.112	24.372	2.174	0.707	0.693	1.73
	1059.309	MW	26.627	1.969	25.781	2.034	0.846	0.833	1.56
	1078.537	HW	27.991	1.907	27.081	1.972	0.910	0.897	1.53
Q ₄	1375.512	LW	25.143	2.708	24.000	2.837	1.143	1.106	1.76
	1353.629	MW	26.635	2.516	25.353	2.643	1.282	1.248	1.63
	1356.214	HW	28.066	2.392	26.716	2.513	1.351	1.321	1.59
Q ₅	1634.059	LW	25.175	3.213	23.638	3.422	1.537	1.466	1.81
	1615.959	MW	26.680	2.998	24.994	3.201	1.686	1.622	1.71
	1623.581	HW	28.204	2.850	26.348	3.050	1.855	1.795	1.63

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W70H04L40M67 / T5c

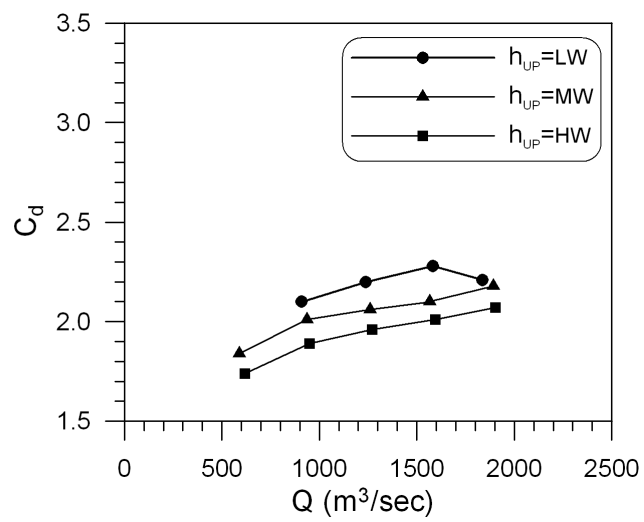
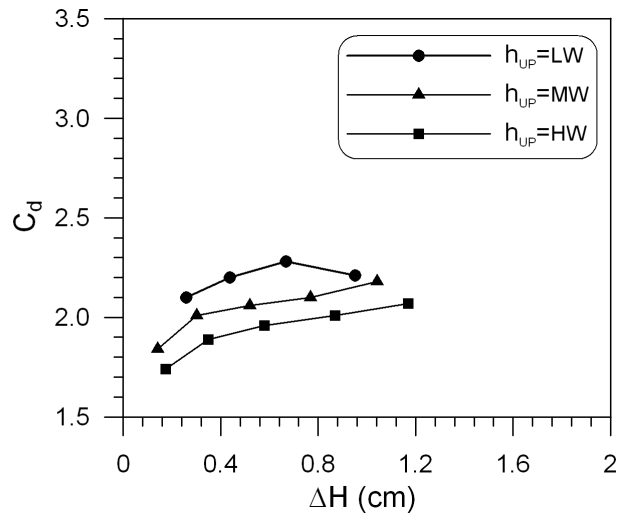
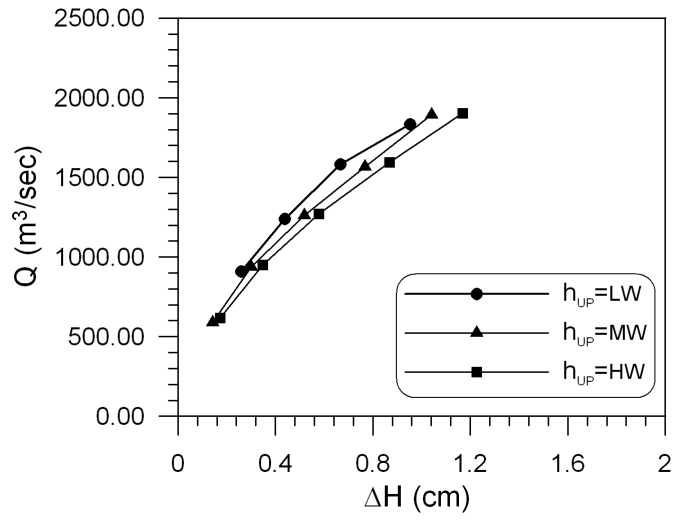


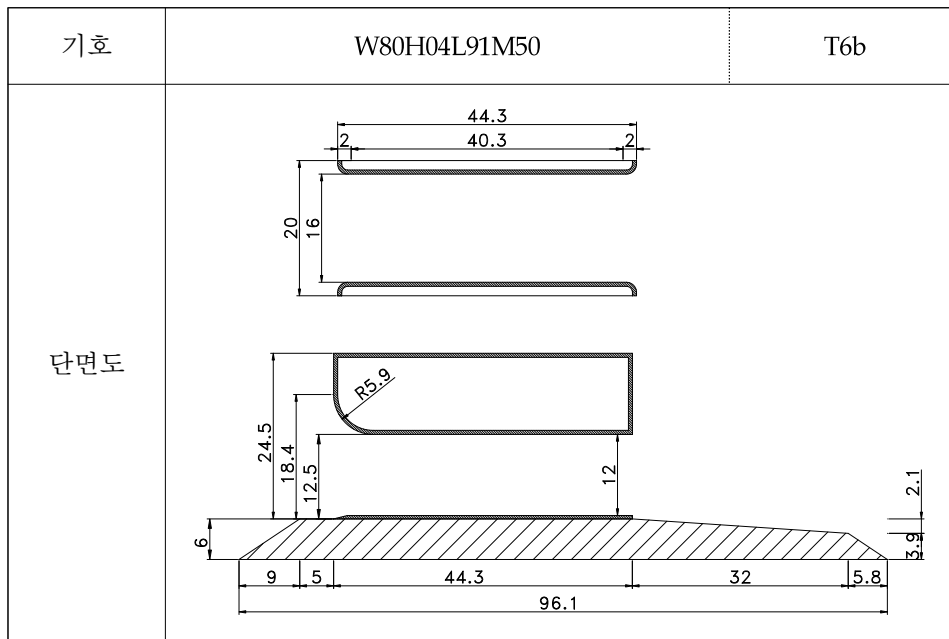


유량(Q)	구분	상류측		하류측		수위차 (Δh)	수두차 (ΔH)	유량계수 (C _d)	
		수위 (h _{UP})	유속 (V _{UP})	수위 (h _{DN})	유속 (V _{DN})		속도보정		
(m ³ /sec)		(m)	(m/s)	(m)	(m/s)	(m)	속도보정		
Q ₁	570.394	LW	16.695	1.691	16.569	1.704	0.126	(0.124)	(1.91)
	589.940	MW	18.210	1.604	18.067	1.617	0.144	0.142	1.84
	616.595	HW	19.673	1.552	19.497	1.566	0.176	0.174	1.74
Q ₂	909.315	LW	16.623	2.708	16.351	2.753	0.272	0.259	2.10
	937.346	MW	18.165	2.555	17.853	2.599	0.312	0.301	2.01
	949.811	HW	19.647	2.393	19.287	2.438	0.360	0.349	1.89
Q ₃	1238.070	LW	16.633	3.685	16.153	3.794	0.480	0.438	2.20
	1261.247	MW	18.139	3.442	17.580	3.552	0.559	0.520	2.06
	1271.315	HW	19.625	3.207	19.012	3.310	0.613	0.579	1.96
Q ₄	1582.630	LW	16.598	4.720	15.815	4.954	0.783	0.668	2.28
	1566.608	MW	18.132	4.277	17.268	4.491	0.864	0.768	2.10
	1595.273	HW	19.597	4.030	18.641	4.237	0.956	0.869	2.01
Q ₅	1834.670	LW	16.643	5.457	15.447	5.880	1.197	0.952	2.21
	1893.346	MW	18.112	5.175	16.860	5.559	1.252	1.042	2.18
	1901.952	HW	19.526	4.822	18.174	5.181	1.352	1.169	2.07

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W80H04L91M00 / T6a

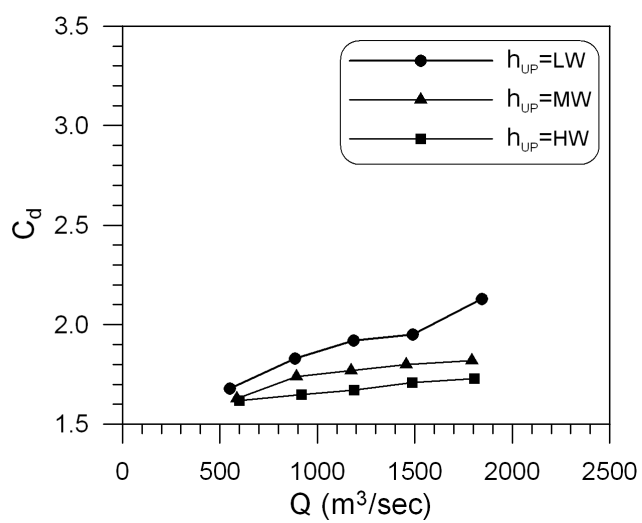
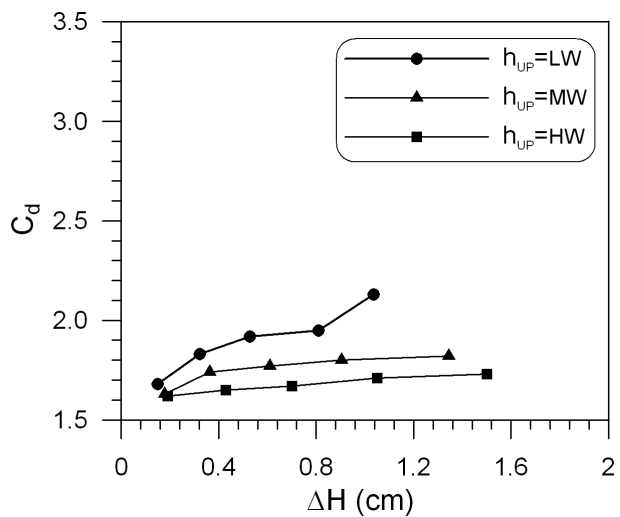
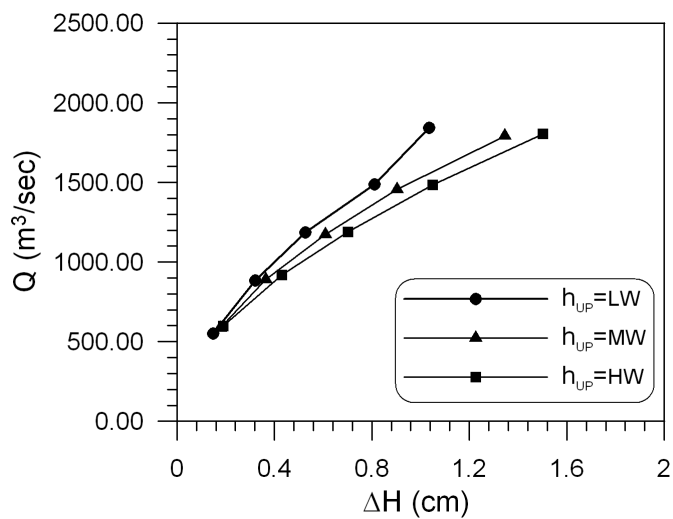


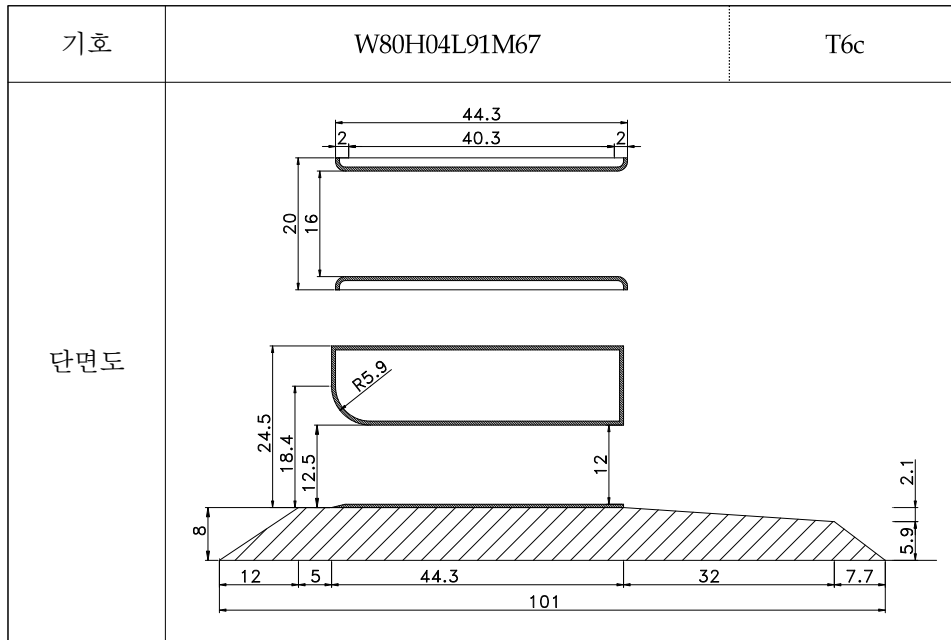


유량(Q) (m ³ /sec)	구분	상류측		하류측		수위차 (Δh) (m)	수두차 (ΔH)	유량계수 (C _d) 속도보정	
		수위 (h _{UP}) (m)	유속 (V _{UP}) (m/s)	수위 (h _{DN}) (m)	유속 (V _{DN}) (m/s)		속도보정 (m)		
Q ₁	552.105	LW	22.712	1.203	22.561	1.211	0.150	0.149	1.68
	585.931	MW	24.163	1.200	23.984	1.209	0.179	0.178	1.63
	599.717	HW	25.655	1.157	25.464	1.166	0.191	0.190	1.62
Q ₂	883.875	LW	22.682	1.929	22.355	1.957	0.327	0.322	1.83
	891.285	MW	24.201	1.823	23.832	1.851	0.369	0.364	1.74
	918.530	HW	25.749	1.766	25.313	1.796	0.436	0.430	1.65
Q ₃	1186.296	LW	22.788	2.577	22.243	2.640	0.544	0.528	1.92
	1174.021	MW	24.242	2.397	23.616	2.461	0.626	0.610	1.77
	1189.339	HW	25.712	2.290	24.996	2.356	0.716	0.701	1.67
Q ₄	1489.277	LW	22.739	3.242	21.886	3.369	0.852	0.810	1.95
	1455.887	MW	24.235	2.974	23.293	3.094	0.942	0.904	1.80
	1486.202	HW	25.730	2.859	24.643	2.986	1.087	1.050	1.71
Q ₅	1844.455	LW	22.714	4.020	21.591	4.229	1.123	1.035	2.13
	1792.448	MW	24.246	3.660	22.813	3.890	1.433	1.345	1.82
	1805.468	HW	25.773	3.468	24.189	3.695	1.584	1.501	1.73

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W80H04L91M50 / T6b

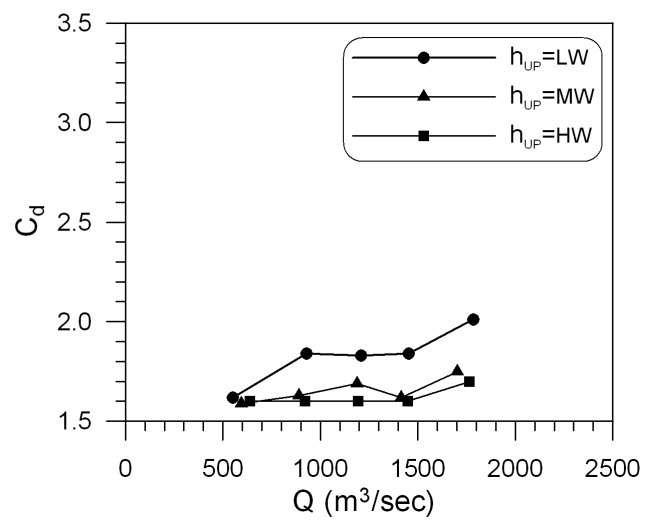
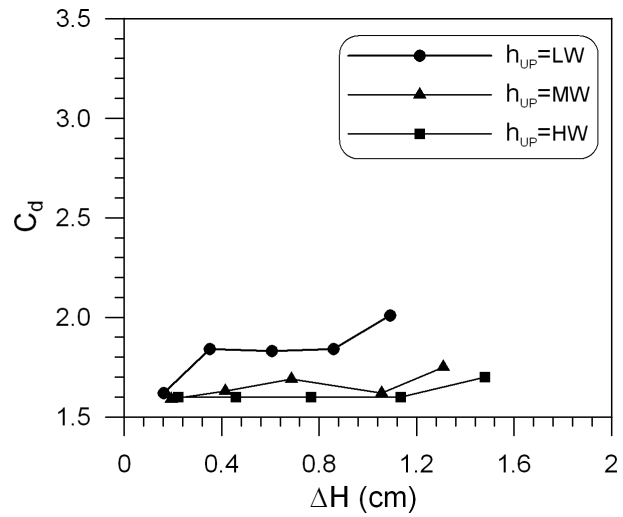
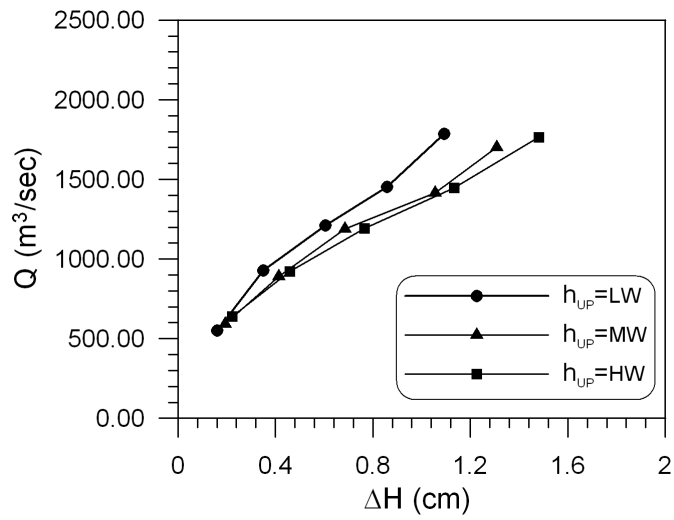


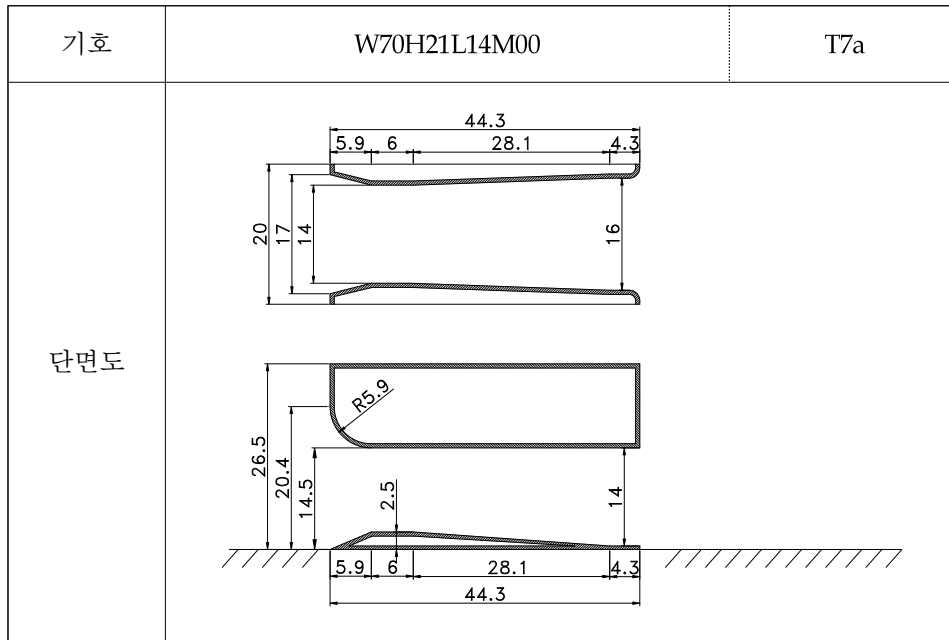


유량(Q)	구분	상류측		하류측		수위차 (Δh)	수두차 (ΔH)	유량계수 (C_d)	
		수위 (h_{UP})	유속 (V_{UP})	수위 (h_{DN})	유속 (V_{DN})		속도보정		
(m^3/sec)		(m)	(m/s)	(m)	(m/s)	(m)	(m)	속도보정	
Q ₁	551.870	LW	24.672	1.107	24.510	1.115	0.162	0.161	1.62
	593.051	MW	26.206	1.120	26.012	1.129	0.194	0.193	1.59
	639.093	HW	27.666	1.144	27.443	1.153	0.223	0.222	1.60
Q ₂	928.719	LW	24.703	1.861	24.347	1.888	0.356	0.350	1.84
	889.890	MW	26.154	1.684	25.735	1.712	0.419	0.414	1.63
	921.996	HW	27.651	1.651	27.187	1.679	0.463	0.459	1.60
Q ₃	1210.043	LW	24.656	2.430	24.034	2.492	0.621	0.606	1.83
	1187.939	MW	26.227	2.242	25.527	2.304	0.700	0.686	1.69
	1193.591	HW	27.707	2.133	26.928	2.194	0.779	0.766	1.60
Q ₄	1452.710	LW	24.756	2.905	23.866	3.013	0.891	0.858	1.84
	1414.109	MW	26.242	2.668	25.153	2.783	1.088	1.056	1.62
	1447.576	HW	27.773	2.580	26.609	2.693	1.165	1.134	1.60
Q ₅	1784.804	LW	24.719	3.574	23.561	3.750	1.158	1.092	2.01
	1701.890	MW	26.299	3.204	24.931	3.379	1.368	1.309	1.75
	1763.041	HW	27.715	3.149	26.173	3.335	1.542	1.481	1.70

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W80H04L91M67 / T6c

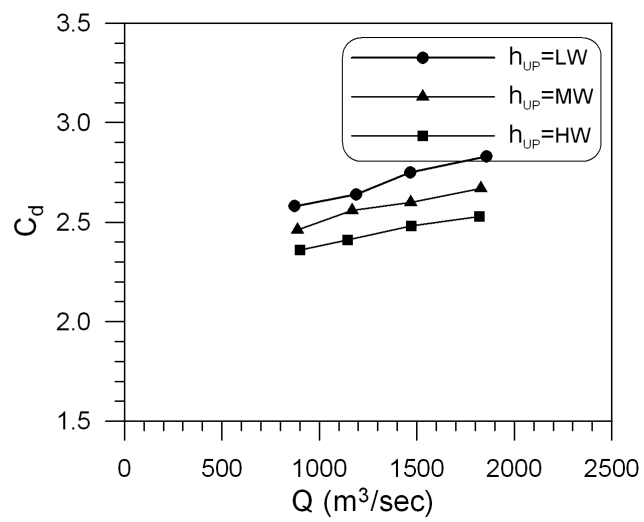
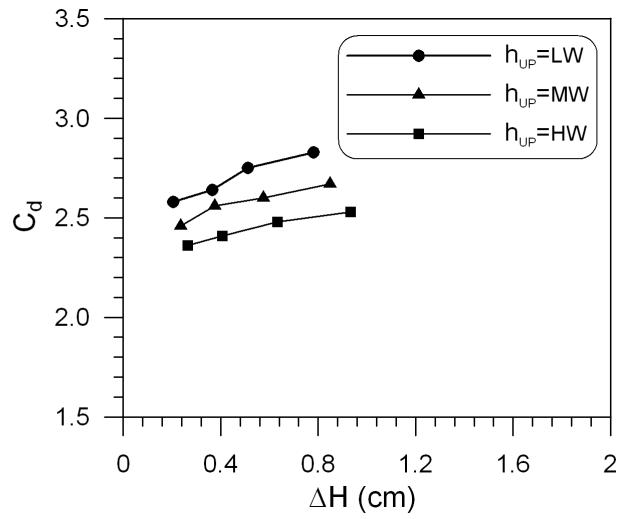
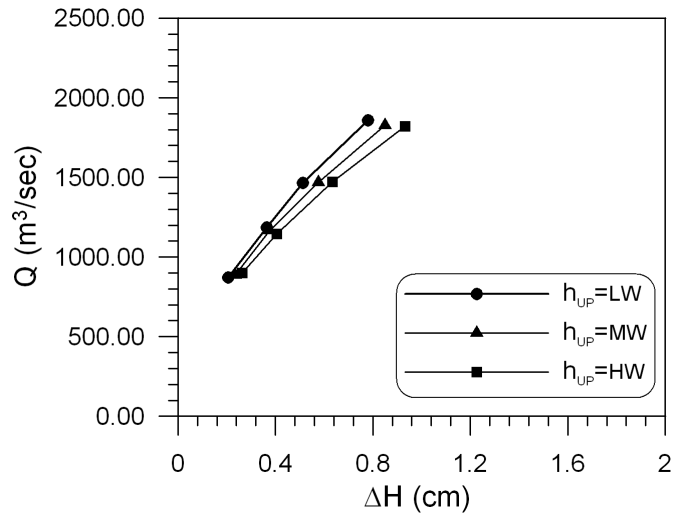


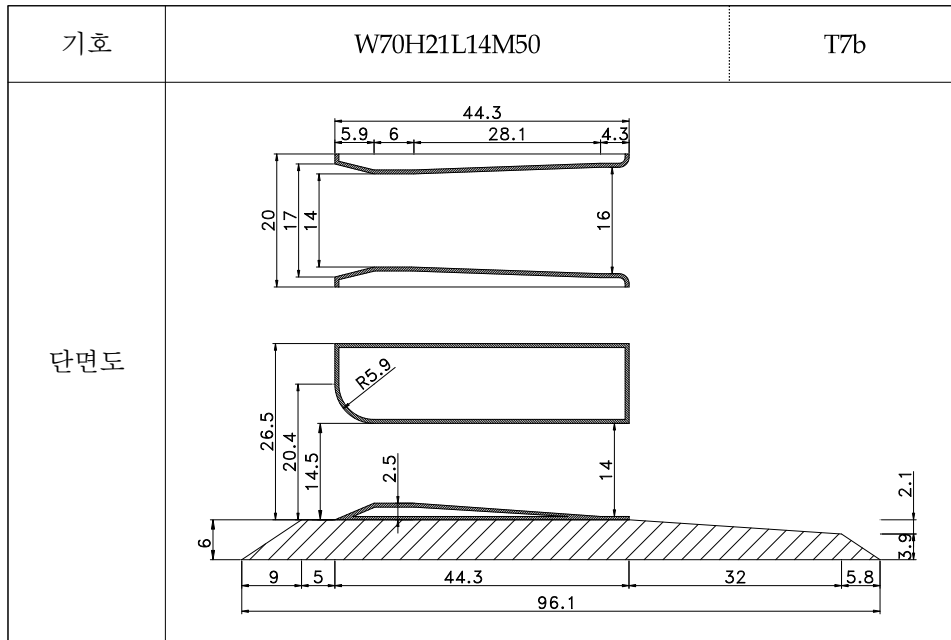


유량(Q) (m ³ /sec)	구분	상류측		하류측		수위차 (Δh) (m)	수두차 (ΔH)	유량계수 (C _d)
		수위 (h _{UP}) (m)	유속 (V _{UP}) (m/s)	수위 (h _{DN}) (m)	유속 (V _{DN}) (m/s)		속도보정 (m)	속도보정
Q ₁	LW	18.933	1.470	18.825	1.478	0.107	(0.106)	(2.32)
	MW	20.507	1.303	20.405	1.309	0.102	(0.101)	(2.28)
	HW	22.000	1.195	21.891	1.201	0.110	(0.109)	(2.16)
Q ₂	LW	18.989	2.272	18.777	2.297	0.212	0.206	2.58
	MW	20.418	2.150	20.178	2.176	0.241	0.235	2.46
	HW	21.982	2.030	21.713	2.055	0.269	0.264	2.36
Q ₃	LW	18.986	3.097	18.601	3.161	0.385	0.365	2.64
	MW	20.536	2.813	20.144	2.868	0.392	0.376	2.56
	HW	21.955	2.581	21.536	2.631	0.419	0.406	2.41
Q ₄	LW	18.990	3.822	18.432	3.937	0.558	0.512	2.75
	MW	20.495	3.551	19.878	3.661	0.617	0.576	2.60
	HW	21.911	3.323	21.242	3.428	0.669	0.633	2.48
Q ₅	LW	18.857	4.875	17.952	5.121	0.905	0.780	2.83
	MW	20.376	4.441	19.427	4.658	0.949	0.849	2.67
	HW	21.946	4.105	20.928	4.304	1.017	0.932	2.53

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W70H21L14M00 / T7a

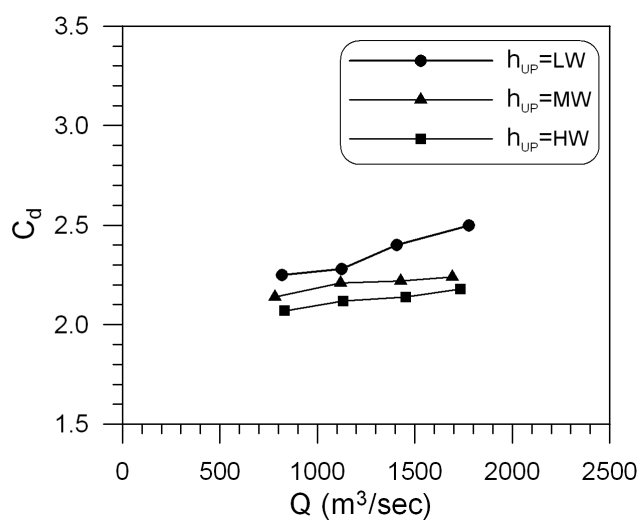
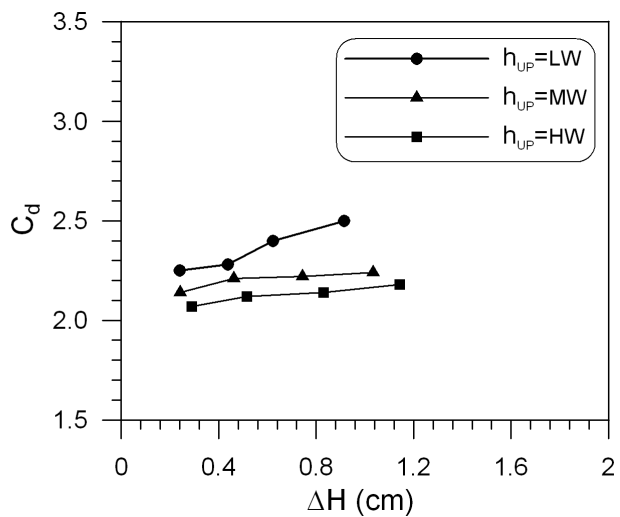
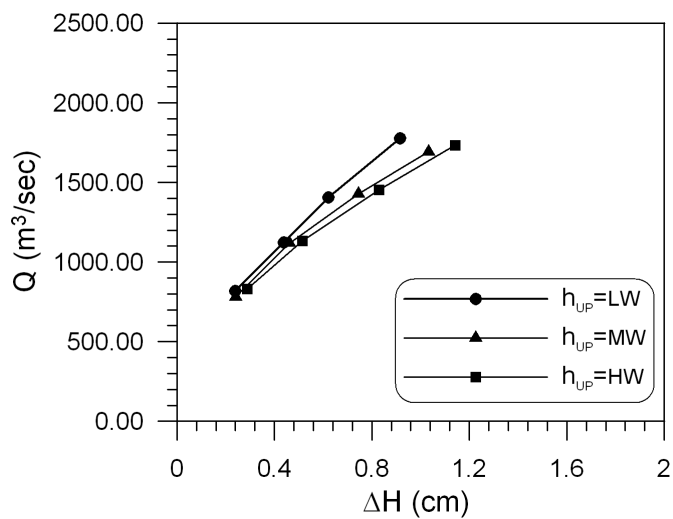


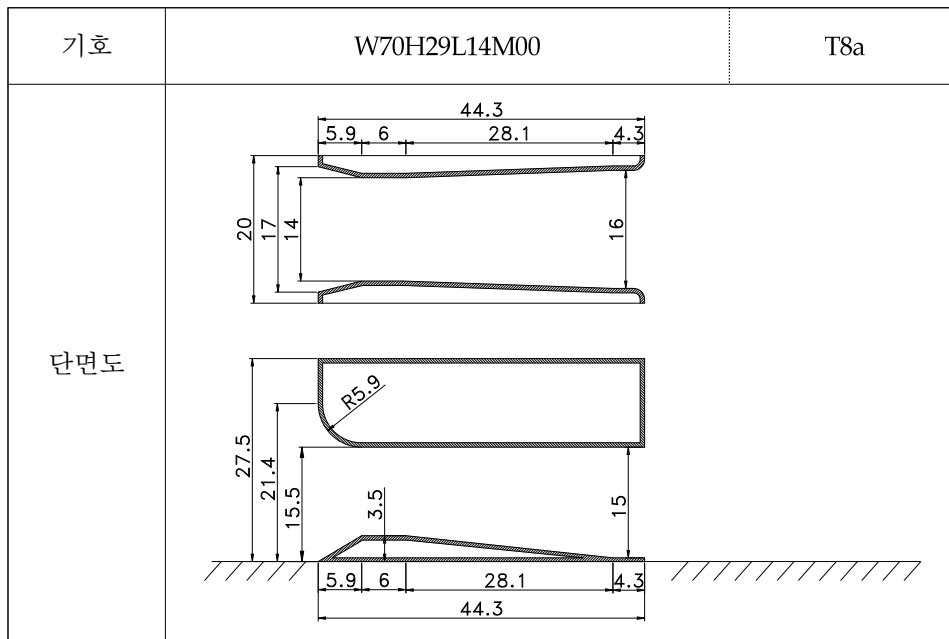


유량(Q) (m ³ /sec)	구분	상류측		하류측		수위차 (Δh) (m)	수두차 (ΔH)	유량계수 (C _d) 속도보정	
		수위 (h _{UP}) (m)	유속 (V _{UP}) (m/s)	수위 (h _{DN}) (m)	유속 (V _{DN}) (m/s)		속도보정 (m)		
Q ₁	398.254	LW	24.874	0.793	24.808	0.795	0.065	(0.065)	(2.10)
	404.388	MW	26.515	0.755	26.436	0.757	0.079	(0.079)	(1.93)
	446.138	HW	27.889	0.792	27.797	0.795	0.092	(0.092)	(1.98)
Q ₂	818.378	LW	24.921	1.626	24.678	1.642	0.243	0.240	2.25
	781.385	MW	26.490	1.460	26.247	1.474	0.243	0.241	2.14
	829.935	HW	27.984	1.468	27.692	1.484	0.291	0.289	2.07
Q ₃	1123.341	LW	24.929	2.231	24.481	2.272	0.448	0.438	2.28
	1118.217	MW	26.392	2.098	25.921	2.136	0.471	0.462	2.21
	1131.647	HW	27.853	2.011	27.330	2.050	0.523	0.515	2.12
Q ₄	1406.249	LW	24.987	2.786	24.344	2.860	0.643	0.622	2.40
	1427.706	MW	26.510	2.666	25.745	2.745	0.766	0.744	2.22
	1453.026	HW	27.940	2.574	27.089	2.655	0.851	0.830	2.14
Q ₅	1777.417	LW	24.940	3.528	23.973	3.670	0.967	0.915	2.50
	1692.659	MW	26.438	3.169	25.361	3.304	1.077	1.033	2.24
	1732.196	HW	27.869	3.077	26.684	3.214	1.185	1.142	2.18

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W70H21L14M50 / T7b

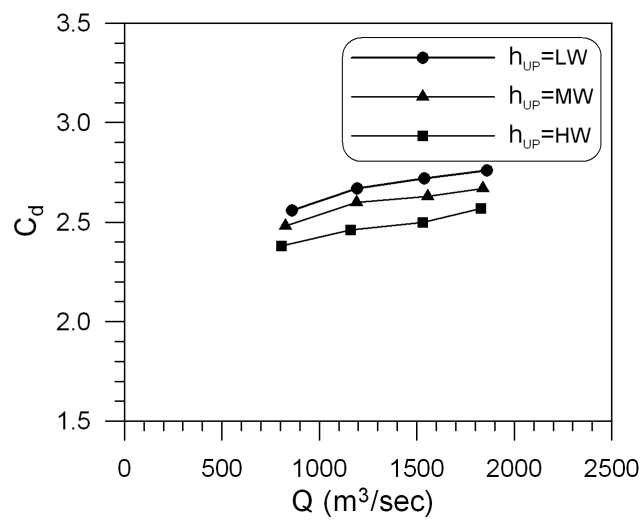
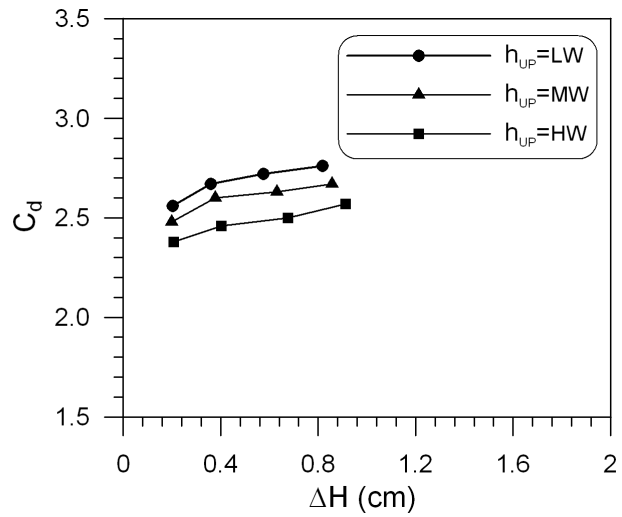
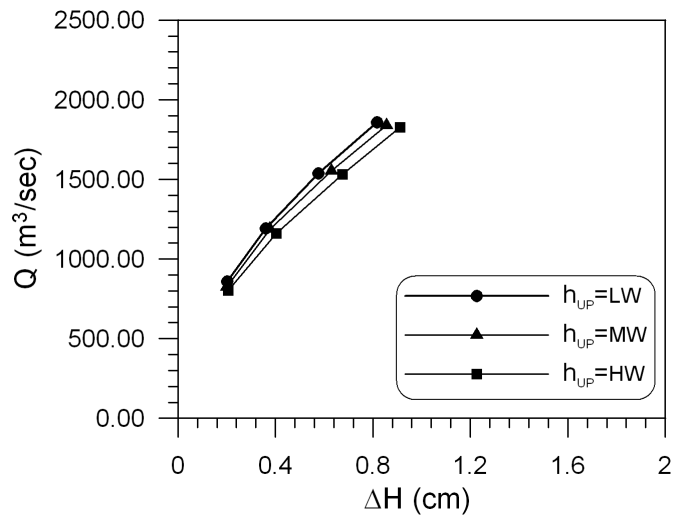


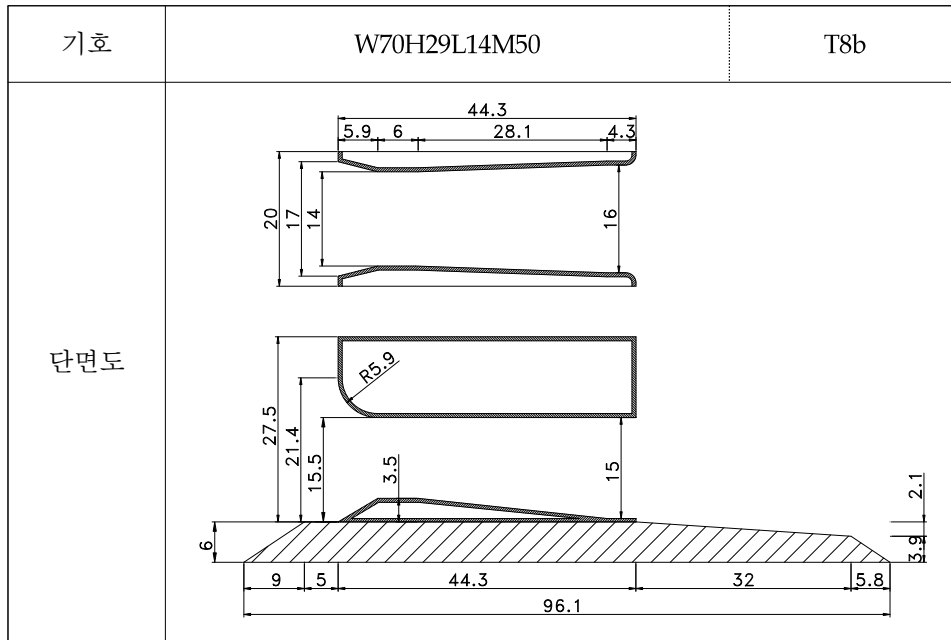


유량(Q) (m ³ /sec)	구분	상류측		하류측		수위차 (Δh) (m)	수두차 (ΔH)	유량계수 (C _d)
		수위 (h _{UP}) (m)	유속 (V _{UP}) (m/s)	수위 (h _{DN}) (m)	유속 (V _{DN}) (m/s)		속도보정	속도보정
							(m)	(m)
Q ₁	LW	19.867	1.338	19.776	1.344	0.091	(0.090)	(2.40)
	MW	21.443	1.071	21.361	1.075	0.082	(0.081)	(2.19)
	HW	22.845	0.920	22.773	0.923	0.072	(0.072)	(2.13)
Q ₂	LW	19.941	2.131	19.733	2.153	0.208	0.203	2.56
	MW	21.457	1.905	21.254	1.924	0.203	0.199	2.48
	HW	22.945	1.735	22.735	1.751	0.210	0.207	2.38
Q ₃	LW	19.913	2.967	19.535	3.025	0.378	0.360	2.67
	MW	21.365	2.757	20.972	2.809	0.393	0.378	2.60
	HW	22.951	2.504	22.536	2.550	0.415	0.403	2.46
Q ₄	LW	19.933	3.820	19.308	3.944	0.625	0.576	2.72
	MW	21.392	3.598	20.719	3.716	0.674	0.630	2.63
	HW	22.947	3.302	22.234	3.407	0.713	0.676	2.50
Q ₅	LW	19.936	4.615	19.010	4.840	0.926	0.817	2.76
	MW	21.411	4.252	20.468	4.448	0.944	0.857	2.67
	HW	22.828	3.962	21.841	4.141	0.986	0.912	2.57

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W70H29L14M00 / T8a

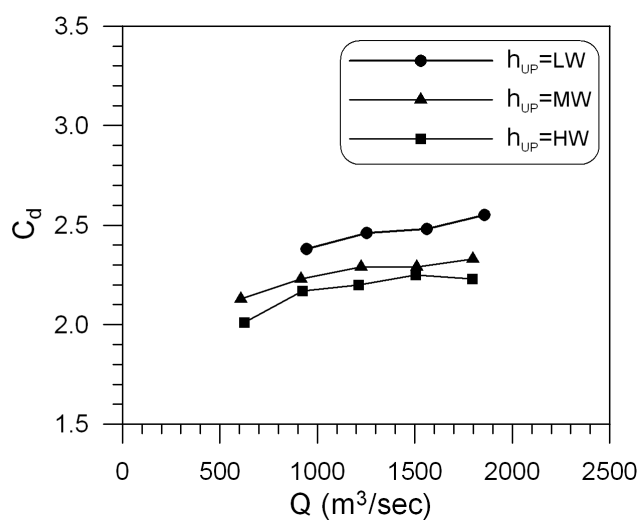
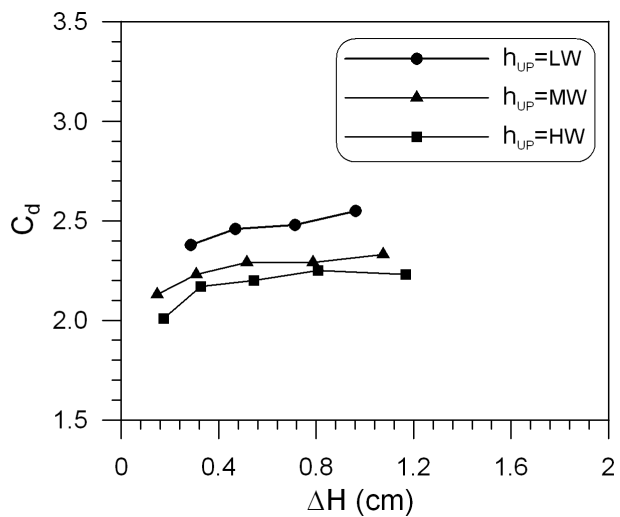
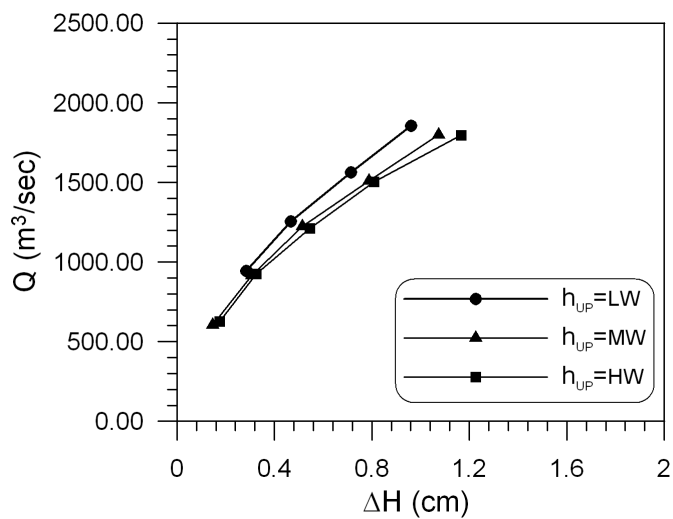


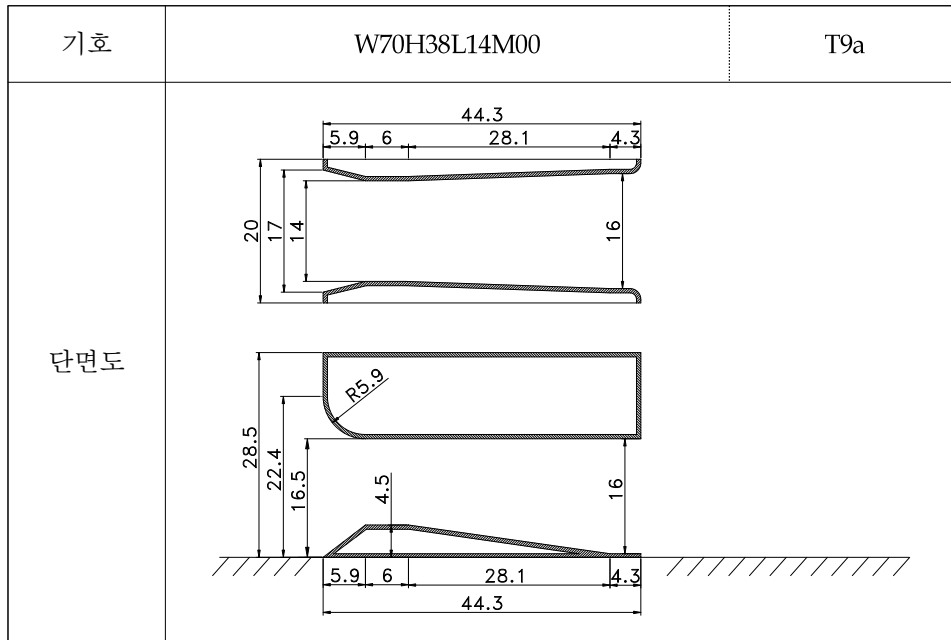


유량(Q) (m ³ /sec)	구분	상류측		하류측		수위차 (Δh) (m)	수두차 (ΔH)	유량계수 (C _d) 속도보정
		수위 (h _{UP}) (m)	유속 (V _{UP}) (m/s)	수위 (h _{DN}) (m)	유속 (V _{DN}) (m/s)		속도보정 (m)	
Q ₁	640.346 LW	25.986	1.220	25.846	1.227	0.140	(0.139)	(2.31)
	606.142 MW	27.367	1.096	27.219	1.102	0.148	0.147	2.13
	626.134 HW	28.926	1.072	28.750	1.078	0.175	0.175	2.01
Q ₂	943.122 LW	25.902	1.803	25.614	1.823	0.288	0.284	2.38
	917.069 MW	27.479	1.652	27.169	1.671	0.310	0.307	2.23
	924.378 HW	29.006	1.578	28.676	1.596	0.329	0.326	2.17
Q ₃	1253.878 LW	25.925	2.394	25.447	2.439	0.479	0.468	2.46
	1223.817 MW	27.449	2.207	26.924	2.250	0.525	0.515	2.29
	1211.478 HW	28.936	2.073	28.382	2.113	0.554	0.545	2.20
Q ₄	1562.083 LW	25.995	2.975	25.255	3.062	0.741	0.714	2.48
	1510.236 MW	27.518	2.717	26.708	2.799	0.810	0.787	2.29
	1504.927 HW	28.944	2.574	28.116	2.650	0.828	0.808	2.25
Q ₅	1856.453 LW	25.877	3.552	24.863	3.696	1.014	0.961	2.55
	1797.776 MW	27.524	3.233	26.404	3.371	1.121	1.074	2.33
	1795.186 HW	28.982	3.066	27.772	3.200	1.210	1.167	2.23

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W70H29L14M50 / T8b

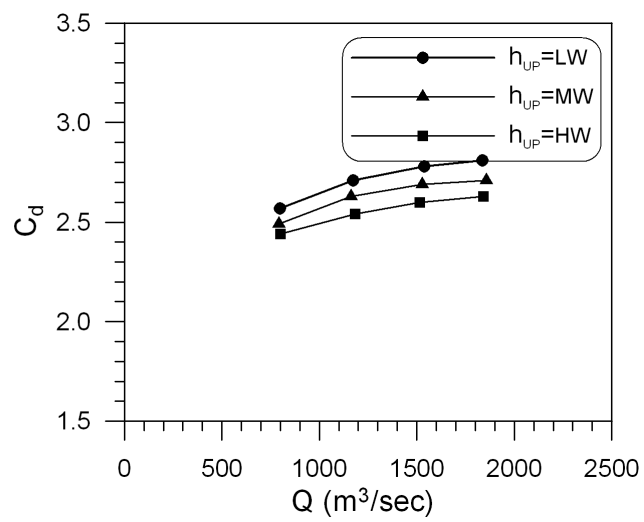
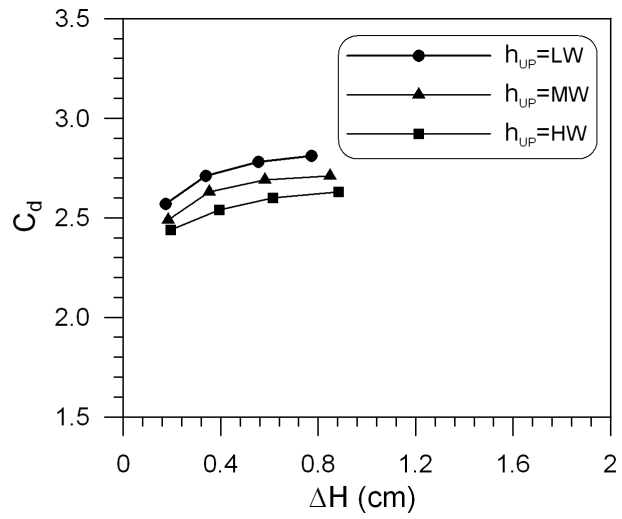
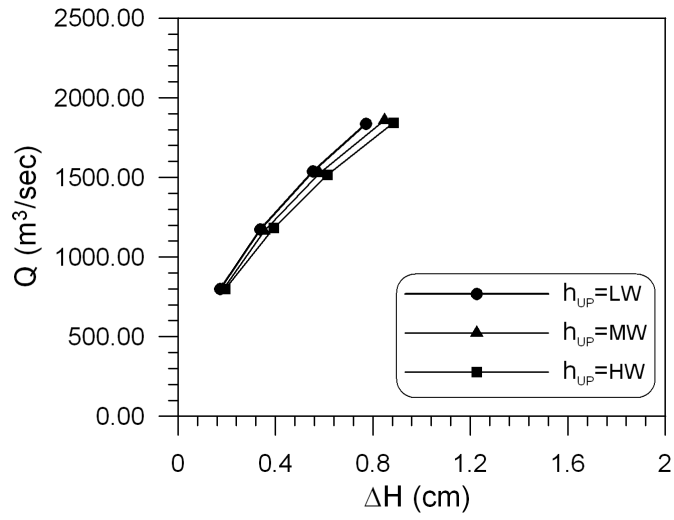


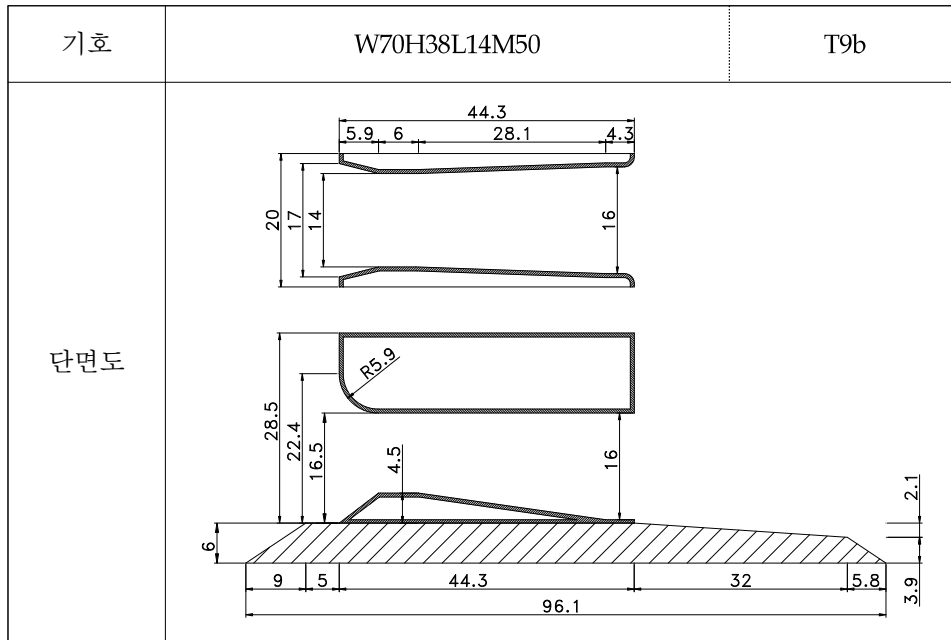


유량(Q) (m ³ /sec)	구분	상류측		하류측		수위차 (Δh) (m)	수두차 (ΔH)	유량계수 (C _d)
		수위 (h _{UP})	유속 (V _{UP})	수위 (h _{DN})	유속 (V _{DN})		속도보정	속도보정
		(m)	(m/s)	(m)	(m/s)		(m)	
Q ₁	LW	20.935	0.996	20.873	0.999	0.062	(0.062)	(2.28)
	MW	22.443	0.899	22.384	0.901	0.059	(0.059)	(2.26)
	HW	23.997	0.860	23.927	0.863	0.070	(0.070)	(2.12)
Q ₂	LW	20.930	1.888	20.753	1.904	0.178	0.174	2.57
	MW	22.429	1.751	22.242	1.766	0.187	0.184	2.49
	HW	23.906	1.657	23.709	1.671	0.197	0.195	2.44
Q ₃	LW	20.939	2.773	20.587	2.821	0.352	0.338	2.71
	MW	22.432	2.569	22.068	2.611	0.364	0.353	2.63
	HW	23.888	2.454	23.484	2.497	0.404	0.394	2.54
Q ₄	LW	20.924	3.639	20.330	3.745	0.594	0.554	2.78
	MW	22.371	3.378	21.756	3.474	0.615	0.581	2.69
	HW	23.847	3.147	23.204	3.234	0.643	0.614	2.60
Q ₅	LW	20.782	4.376	19.925	4.564	0.858	0.772	2.81
	MW	22.360	4.113	21.436	4.290	0.924	0.848	2.71
	HW	23.862	3.821	22.916	3.979	0.946	0.884	2.63

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W70H38L14M00 / T9a

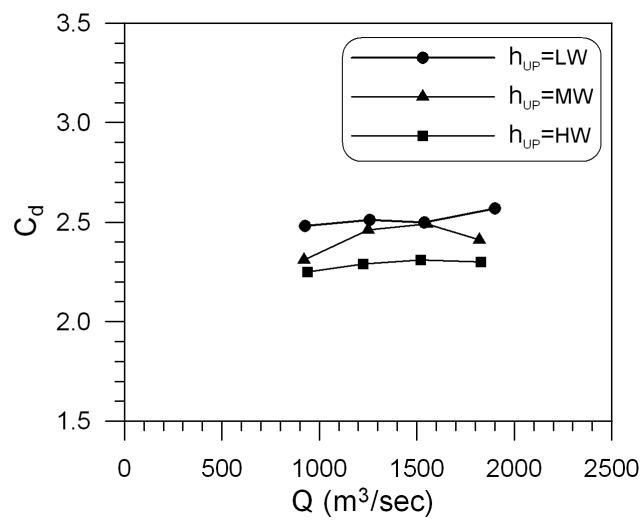
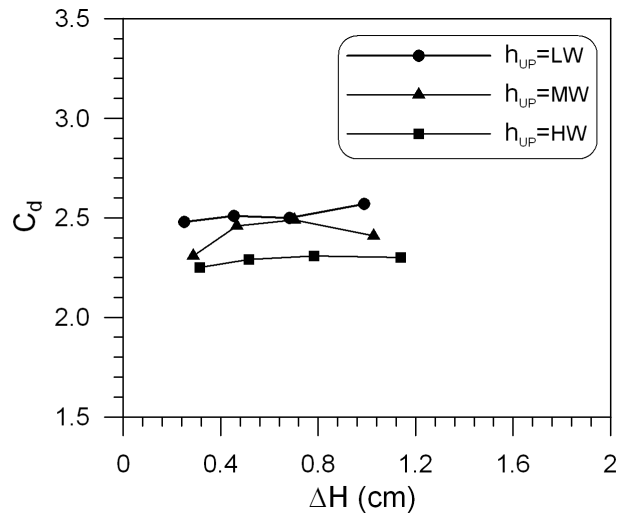
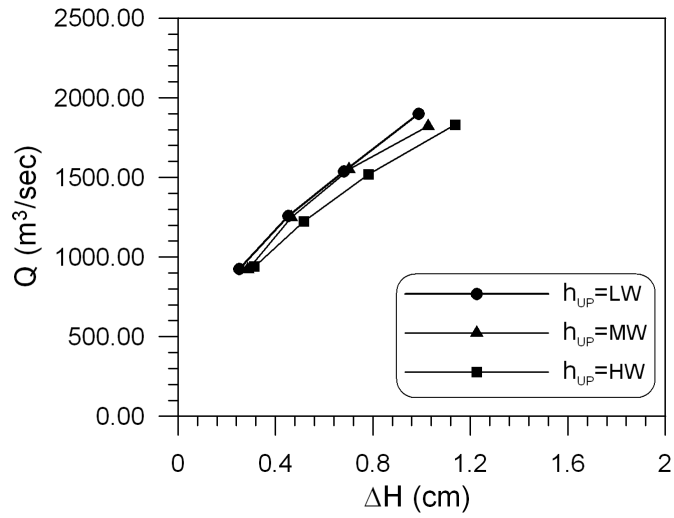


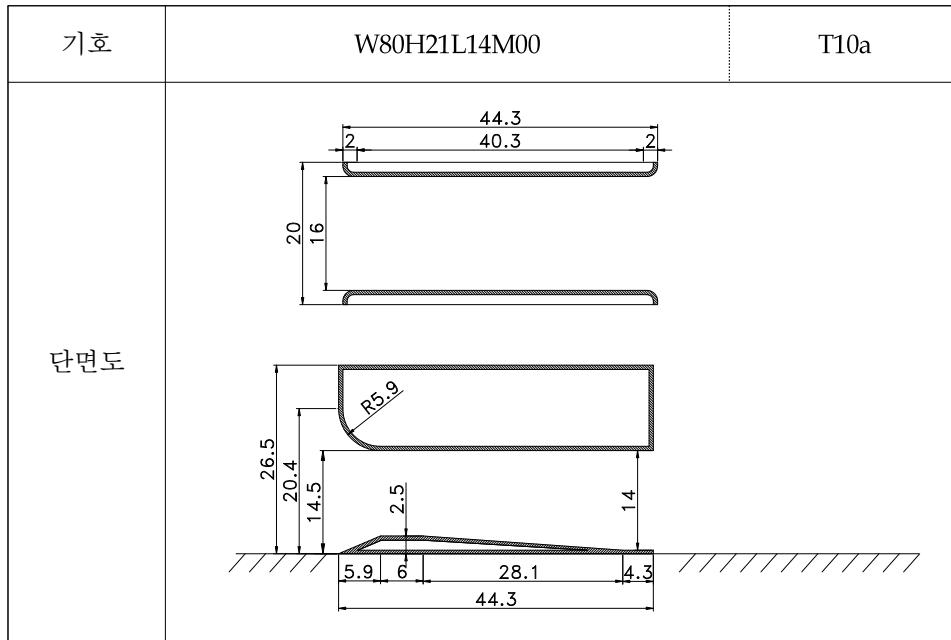


유량(Q) (m ³ /sec)	구분	상류측		하류측		수위차 (Δh) (m)	수두차 (ΔH)	유량계수 (C _d) 속도보정	
		수위 (h _{UP}) (m)	유속 (V _{UP}) (m/s)	수위 (h _{DN}) (m)	유속 (V _{DN}) (m/s)		속도보정 (m)		
Q ₁	618.344	LW	26.937	1.136	26.806	1.142	0.132	(0.131)	(2.30)
	571.812	MW	28.488	0.994	28.357	0.998	0.132	(0.131)	(2.12)
	576.436	HW	29.984	0.952	29.848	0.956	0.135	(0.135)	(2.11)
Q ₂	926.282	LW	26.974	1.700	26.720	1.716	0.254	0.251	2.48
	920.857	MW	28.472	1.601	28.182	1.618	0.289	0.287	2.31
	939.070	HW	29.973	1.551	29.657	1.568	0.316	0.314	2.25
Q ₃	1257.245	LW	26.919	2.312	26.456	2.353	0.462	0.453	2.51
	1249.675	MW	28.487	2.172	28.012	2.209	0.475	0.466	2.46
	1224.680	HW	29.894	2.028	29.370	2.064	0.523	0.516	2.29
Q ₄	1538.757	LW	26.891	2.833	26.187	2.909	0.704	0.682	2.50
	1551.682	MW	28.491	2.696	27.768	2.766	0.723	0.703	2.49
	1519.438	HW	29.923	2.514	29.122	2.583	0.801	0.783	2.31
Q ₅	1899.448	LW	26.937	3.491	25.899	3.631	1.039	0.988	2.57
	1820.203	MW	28.496	3.162	27.429	3.285	1.067	1.027	2.41
	1829.002	HW	29.926	3.026	28.749	3.150	1.177	1.138	2.30

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W70H38L14M50 / T9b

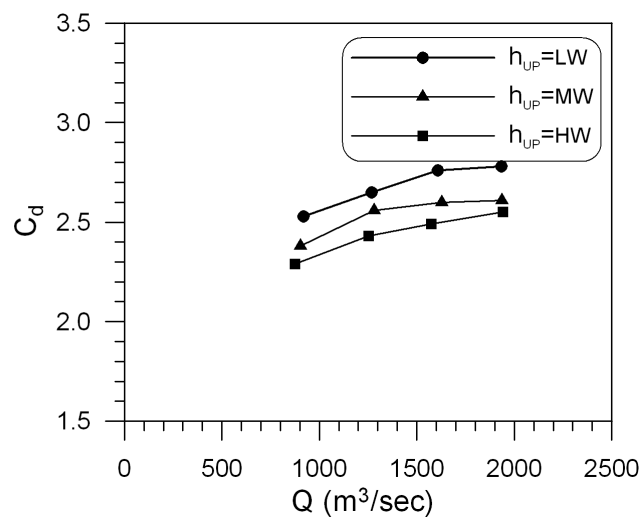
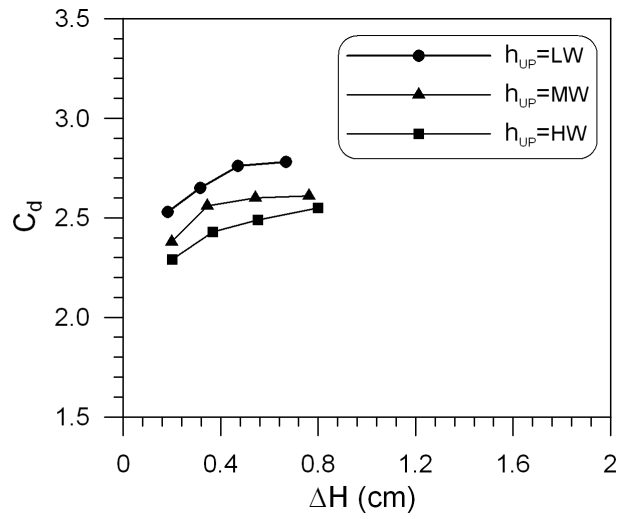
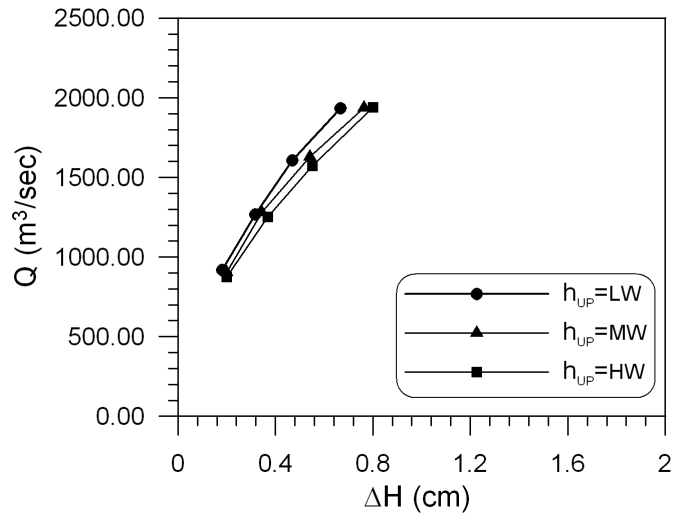




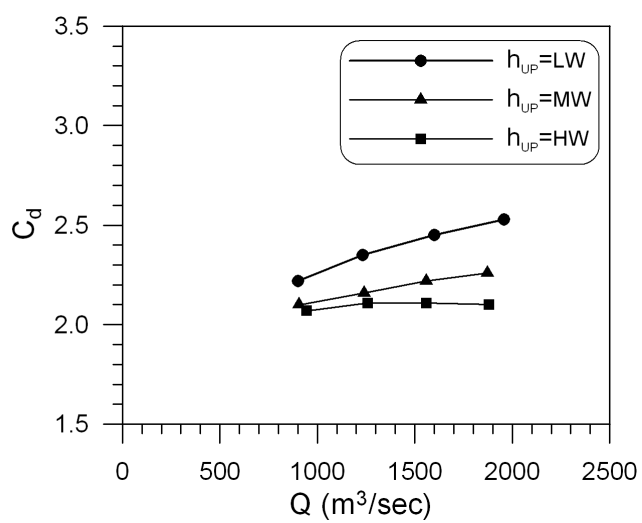
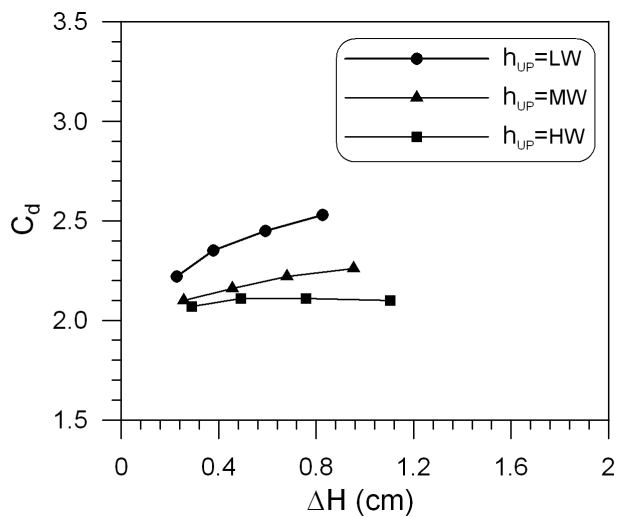
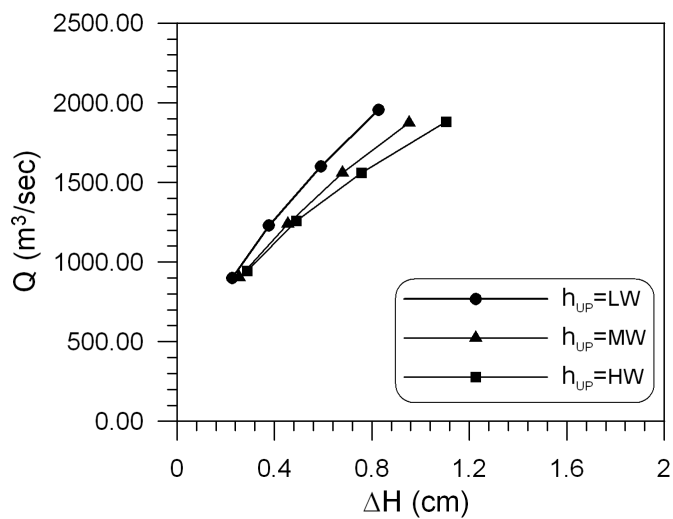
유량(Q)	구분	상류측		하류측		수위차 (Δh)	수두차 (ΔH)	유량계수 (C _d)	
		수위 (h _{UP})	유속 (V _{UP})	수위 (h _{DN})	유속 (V _{DN})		속도보정	속도보정	
(m ³ /sec)		(m)	(m/s)	(m)	(m/s)	(m)	(m)		
Q ₁	537.844	LW	18.961	1.404	18.883	1.410	0.078	(0.078)	(2.27)
	518.062	MW	20.413	1.256	20.323	1.262	0.090	(0.089)	(2.04)
	507.788	HW	21.964	1.145	21.875	1.149	0.088	(0.088)	(2.02)
Q ₂	918.996	LW	18.894	2.408	18.706	2.432	0.188	0.182	2.53
	903.183	MW	20.466	2.185	20.262	2.207	0.205	0.200	2.38
	873.849	HW	21.949	1.971	21.744	1.989	0.205	0.201	2.29
Q ₃	1266.713	LW	18.868	3.324	18.530	3.384	0.338	0.317	2.65
	1280.098	MW	20.411	3.105	20.049	3.161	0.362	0.344	2.56
	1252.302	HW	21.866	2.835	21.483	2.886	0.383	0.368	2.43
Q ₄	1607.416	LW	18.867	4.218	18.345	4.338	0.522	0.470	2.76
	1628.076	MW	20.400	3.951	19.810	4.068	0.589	0.541	2.60
	1572.820	HW	21.904	3.555	21.316	3.653	0.588	0.552	2.49
Q ₅	1932.551	LW	18.861	5.072	18.077	5.292	0.785	0.668	2.78
	1936.808	MW	20.317	4.719	19.450	4.930	0.867	0.763	2.61
	1940.574	HW	21.832	4.400	20.947	4.586	0.886	0.800	2.55

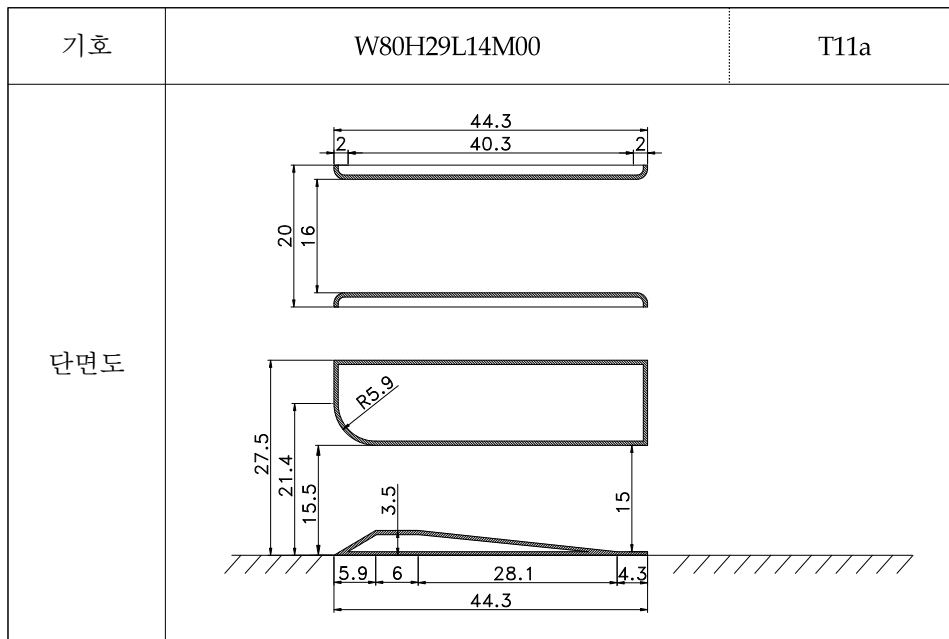
※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W80H21L14M00 / T10a



W80H21L14M50 / T10b

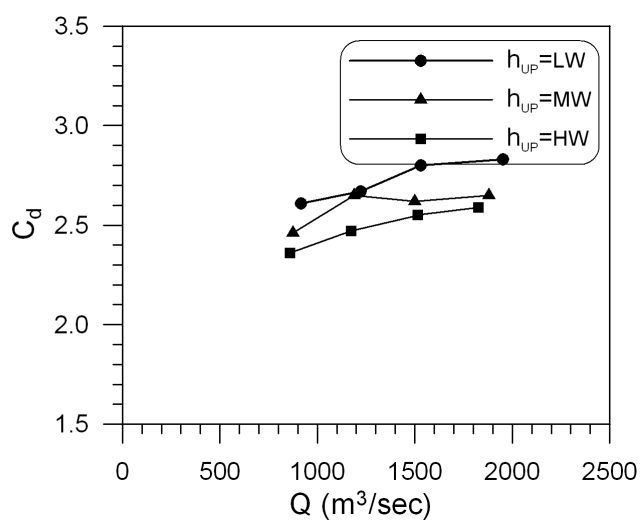
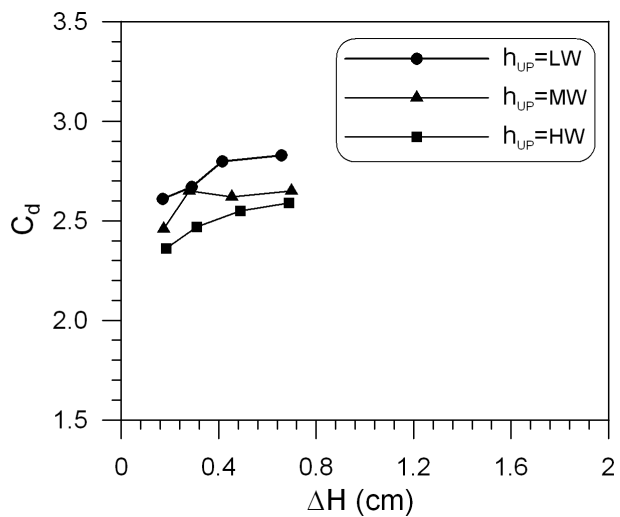
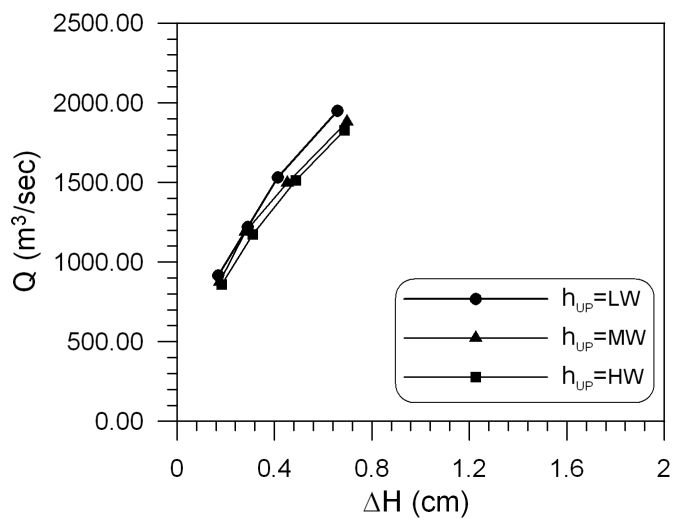


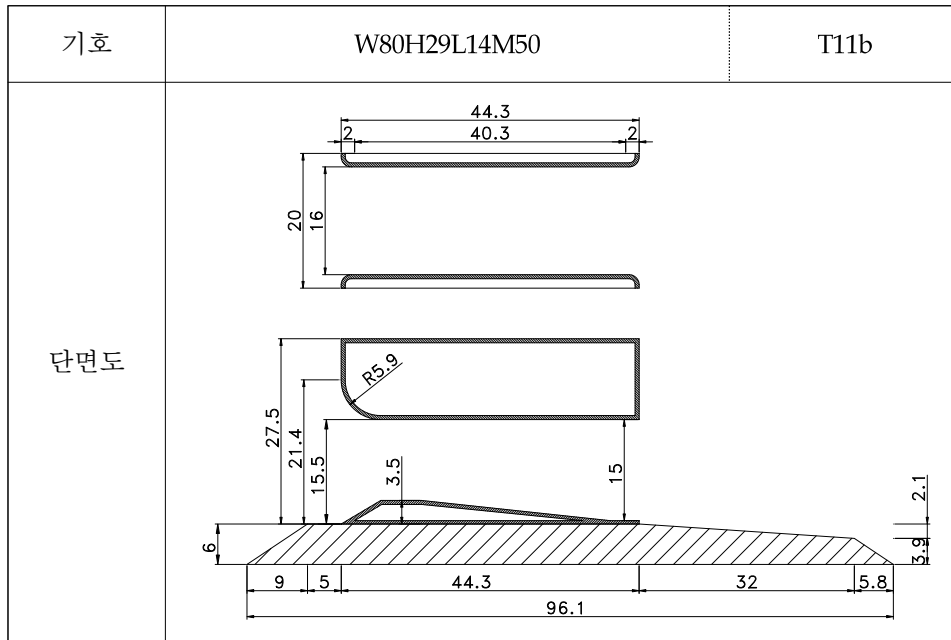


유량(Q)	구분	상류측		하류측		수위차 (Δh)	수두차 (ΔH)	유량계수 (C _d)	
		수위 (h _{UP})	유속 (V _{UP})	수위 (h _{DN})	유속 (V _{DN})		속도보정		
(m ³ /sec)		(m)	(m/s)	(m)	(m/s)	(m)	(m)	속도보정	
Q ₁	552.662	LW	19.953	1.371	19.872	1.377	0.081	(0.080)	(2.29)
	489.121	MW	21.492	1.127	21.428	1.130	0.064	(0.063)	(2.29)
	433.467	HW	22.866	0.938	22.801	0.941	0.065	(0.065)	(2.00)
Q ₂	916.612	LW	19.849	2.286	19.674	2.306	0.175	0.170	2.61
	873.542	MW	21.374	2.023	21.196	2.040	0.178	0.175	2.46
	859.273	HW	22.863	1.861	22.677	1.876	0.187	0.184	2.36
Q ₃	1221.067	LW	19.898	3.038	19.593	3.085	0.305	0.290	2.67
	1188.218	MW	21.375	2.752	21.086	2.790	0.289	0.279	2.65
	1171.931	HW	22.932	2.530	22.612	2.566	0.320	0.311	2.47
Q ₄	1529.934	LW	19.776	3.830	19.326	3.919	0.449	0.414	2.80
	1498.554	MW	21.415	3.464	20.934	3.544	0.481	0.453	2.62
	1514.785	HW	22.881	3.277	22.368	3.353	0.514	0.488	2.55
Q ₅	1950.954	LW	19.805	4.877	19.049	5.070	0.757	0.658	2.83
	1881.070	MW	21.349	4.362	20.576	4.526	0.773	0.698	2.65
	1826.563	HW	22.838	3.959	22.096	4.092	0.742	0.688	2.59

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W80H29L14M00 / T11a

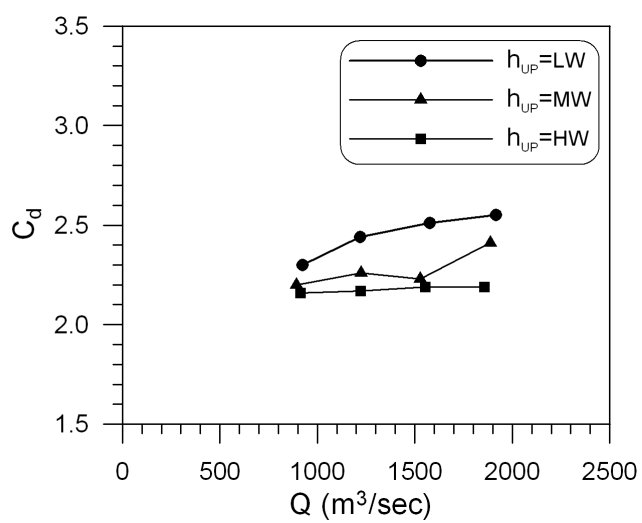
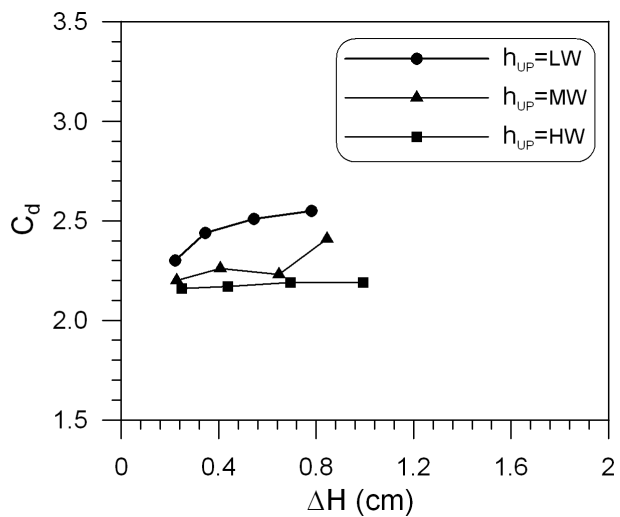
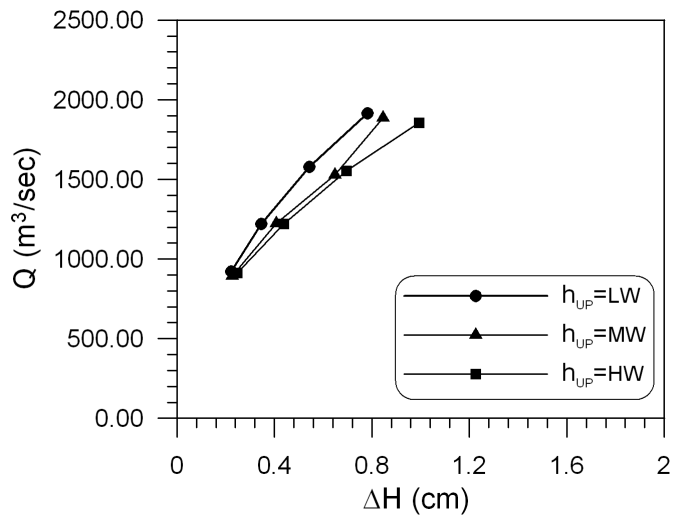


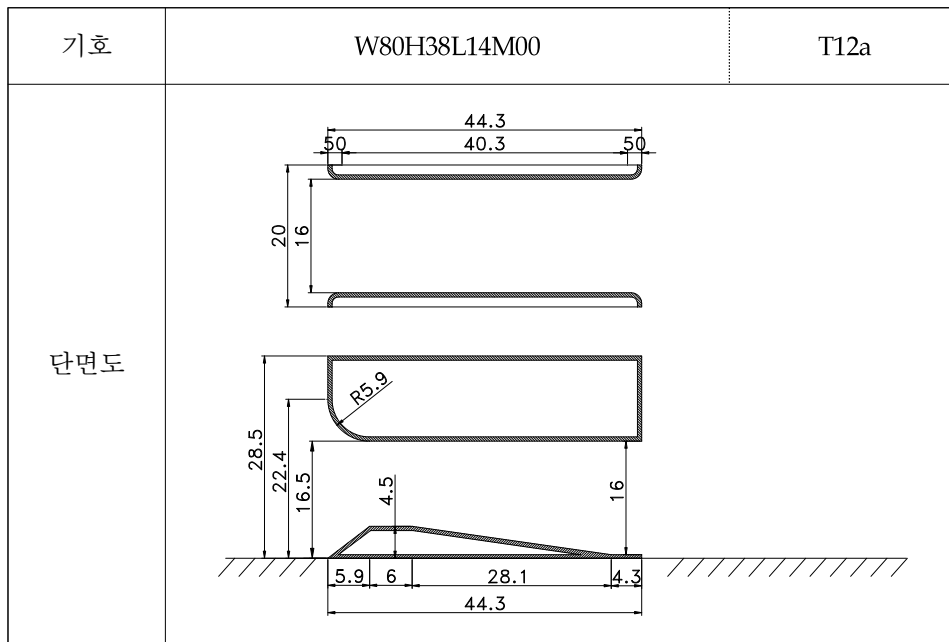


유량(Q) (m ³ /sec)	구분	상류측		하류측		수위차 (Δh) (m)	수두차 (ΔH)	유량계수 (C _d) 속도보정
		수위 (h _{UP}) (m)	유속 (V _{UP}) (m/s)	수위 (h _{DN}) (m)	유속 (V _{DN}) (m/s)		속도보정 (m)	
Q ₁	LW	25.953	1.096	25.860	1.100	0.093	(0.093)	(2.22)
	MW	27.399	0.962	27.283	0.966	0.116	(0.116)	(1.84)
	HW	28.933	0.955	28.825	0.959	0.107	(0.107)	(2.00)
Q ₂	LW	25.885	1.764	25.661	1.780	0.224	0.222	2.30
	MW	27.380	1.614	27.150	1.627	0.229	0.227	2.20
	HW	28.930	1.563	28.680	1.577	0.250	0.248	2.16
Q ₃	LW	25.878	2.334	25.526	2.366	0.352	0.345	2.44
	MW	27.372	2.215	26.958	2.249	0.414	0.407	2.26
	HW	28.816	2.099	28.372	2.132	0.445	0.438	2.17
Q ₄	LW	25.863	3.020	25.298	3.087	0.565	0.544	2.51
	MW	27.423	2.758	26.756	2.827	0.667	0.648	2.23
	HW	28.889	2.662	28.176	2.730	0.713	0.695	2.19
Q ₅	LW	25.869	3.665	25.040	3.786	0.828	0.782	2.55
	MW	27.358	3.413	26.472	3.528	0.886	0.845	2.41
	HW	28.904	3.180	27.872	3.298	1.031	0.993	2.19

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W80H29L14M50 / T11b

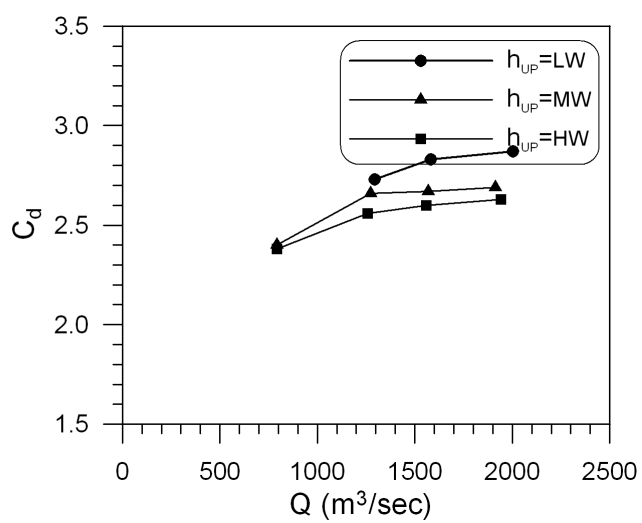
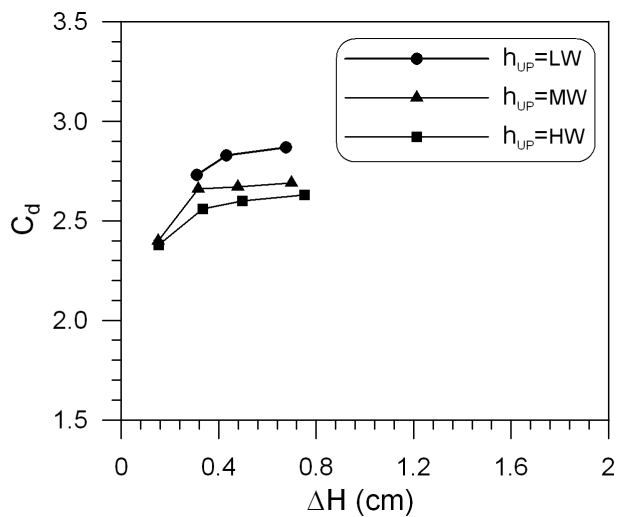
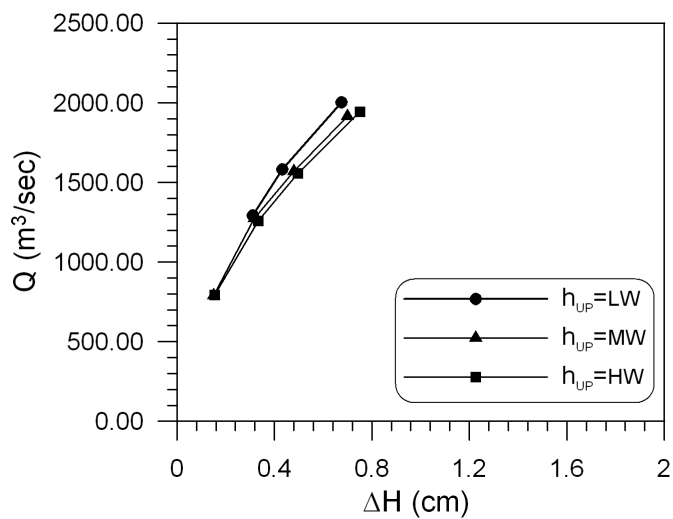


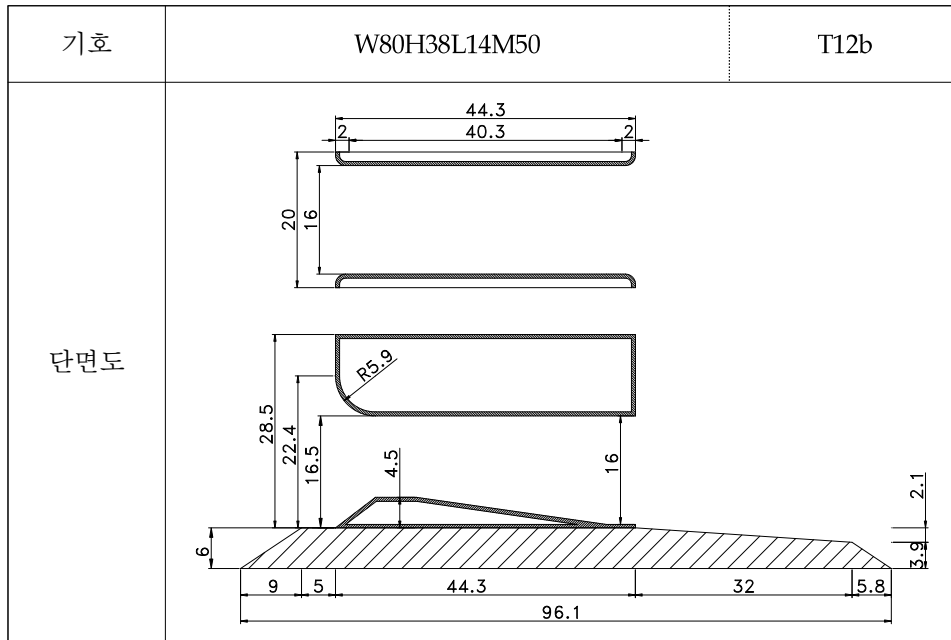


유량(Q)	구분	상류측		하류측		수위차 (Δh)	수두차 (ΔH)	유량계수 (C_d)	
		수위 (h_{UP})	유속 (V_{UP})	수위 (h_{DN})	유속 (V_{DN})		속도보정		
(m^3/sec)		(m)	(m/s)	(m)	(m/s)	(m)	(m)	속도보정	
Q ₁	501.546	LW	20.972	1.184	20.913	1.187	0.059	(0.059)	(2.43)
	436.527	MW	22.380	0.966	22.303	0.969	0.076	(0.076)	(1.86)
	411.585	HW	23.976	0.850	23.918	0.852	0.058	(0.058)	(2.01)
Q ₂	829.178	LW	20.855	1.968	20.714	1.982	0.141	(0.138)	(2.62)
	791.263	MW	22.413	1.748	22.260	1.760	0.153	0.151	2.40
	793.026	HW	23.956	1.639	23.800	1.650	0.155	0.154	2.38
Q ₃	1293.766	LW	20.820	3.076	20.494	3.125	0.326	0.311	2.73
	1273.162	MW	22.362	2.819	22.032	2.861	0.330	0.317	2.66
	1258.606	HW	23.836	2.614	23.491	2.652	0.345	0.334	2.56
Q ₄	1580.803	LW	20.812	3.760	20.347	3.846	0.465	0.432	2.83
	1568.720	MW	22.376	3.471	21.868	3.551	0.508	0.479	2.67
	1557.216	HW	23.833	3.235	23.312	3.307	0.521	0.497	2.60
Q ₅	2004.093	LW	20.836	4.761	20.072	4.943	0.765	0.675	2.87
	1914.517	MW	22.399	4.231	21.633	4.381	0.765	0.699	2.69
	1942.792	HW	23.877	4.028	23.065	4.170	0.811	0.752	2.63

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W80H38L14M00 / T12a

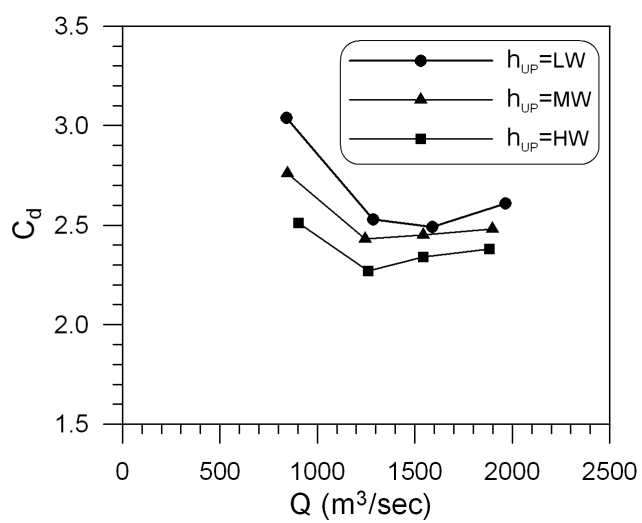
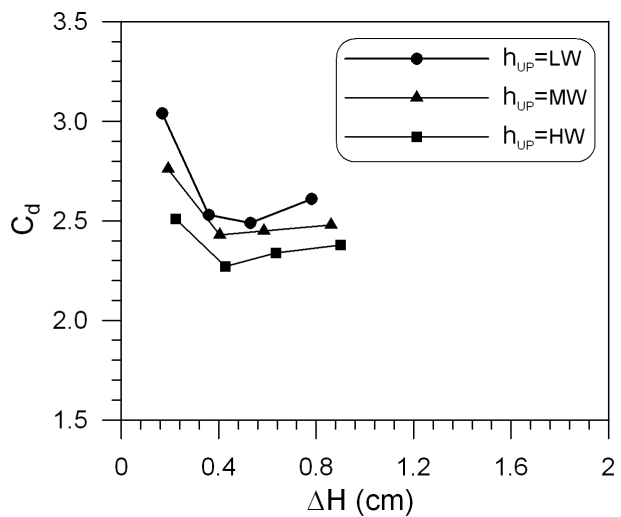
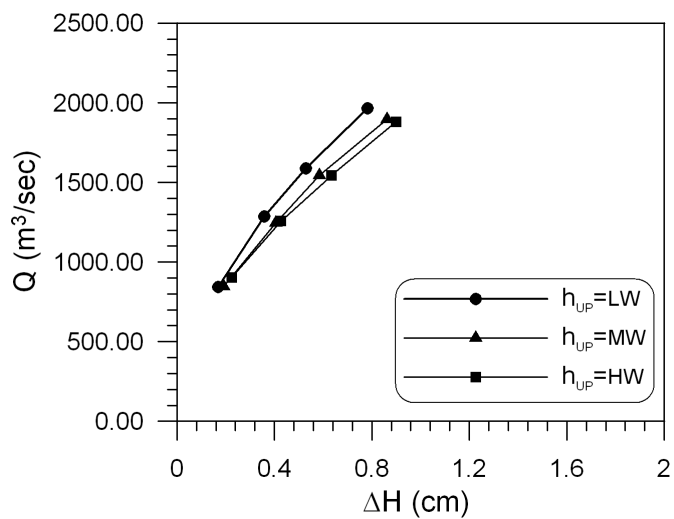


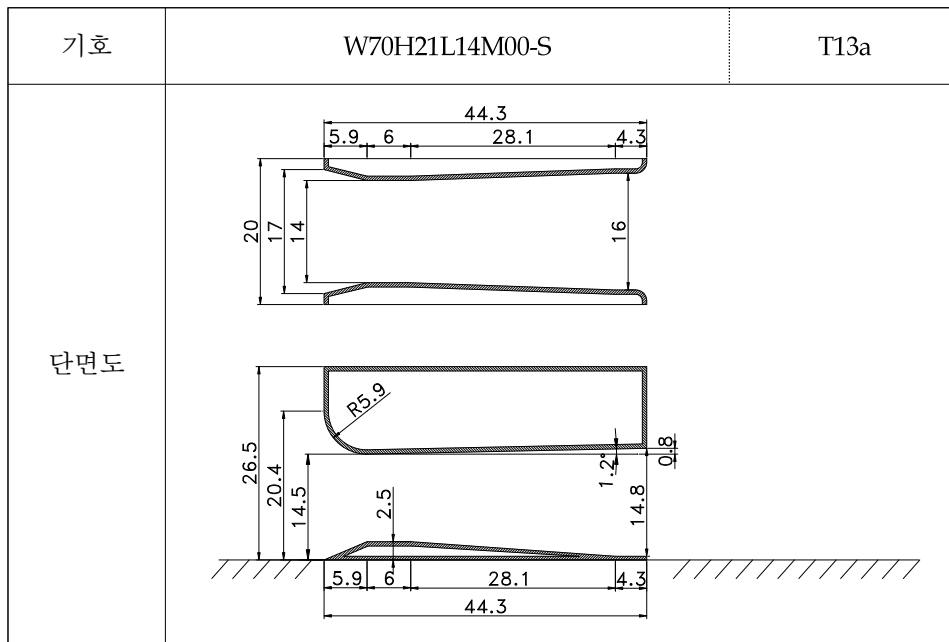


유량(Q) (m ³ /sec)	구분	상류측		하류측		수위차 (Δh) (m)	수두차 (ΔH)	유량계수 (C _d) 속도보정
		수위 (h _{UP}) (m)	유속 (V _{UP}) (m/s)	수위 (h _{DN}) (m)	유속 (V _{DN}) (m/s)		속도보정 (m)	
Q ₁	441.308 LW	26.978	0.810	26.927	0.811	0.051	(0.051)	(2.29)
	423.528 MW	28.464	0.737	28.403	0.738	0.061	(0.061)	(2.01)
	461.180 HW	29.988	0.761	29.917	0.763	0.071	(0.071)	(2.03)
Q ₂	842.559 LW	26.890	1.551	26.719	1.561	0.171	0.169	2.41
	845.802 MW	28.497	1.469	28.304	1.479	0.193	0.192	2.27
	902.174 HW	29.995	1.489	29.769	1.500	0.226	0.224	2.24
Q ₃	1285.412 LW	26.958	2.361	26.591	2.393	0.367	0.359	2.52
	1245.038 MW	28.480	2.164	28.068	2.196	0.412	0.405	2.30
	1260.338 HW	29.897	2.087	29.464	2.118	0.433	0.427	2.27
Q ₄	1589.188 LW	26.906	2.924	26.358	2.985	0.547	0.529	2.57
	1544.203 MW	28.358	2.696	27.756	2.754	0.601	0.585	2.37
	1543.591 HW	29.896	2.556	29.246	2.613	0.650	0.635	2.28
Q ₅	1966.122 LW	26.908	3.617	26.084	3.732	0.824	0.781	2.62
	1897.840 MW	28.456	3.302	27.556	3.409	0.899	0.862	2.40
	1881.642 HW	29.916	3.114	28.984	3.214	0.932	0.900	2.33

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W80H38L14M50 / T12b

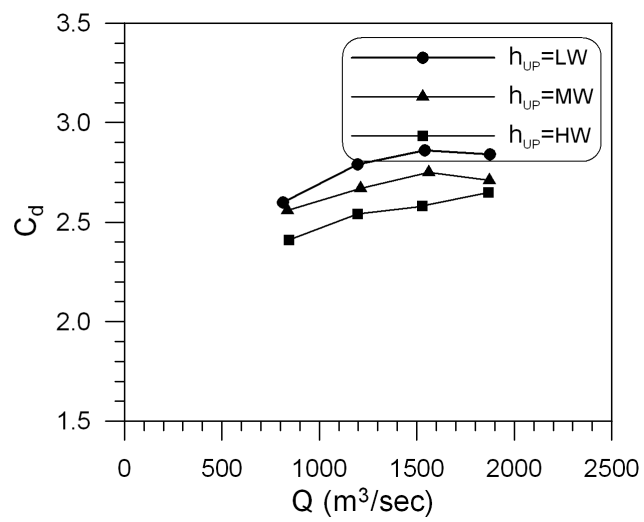
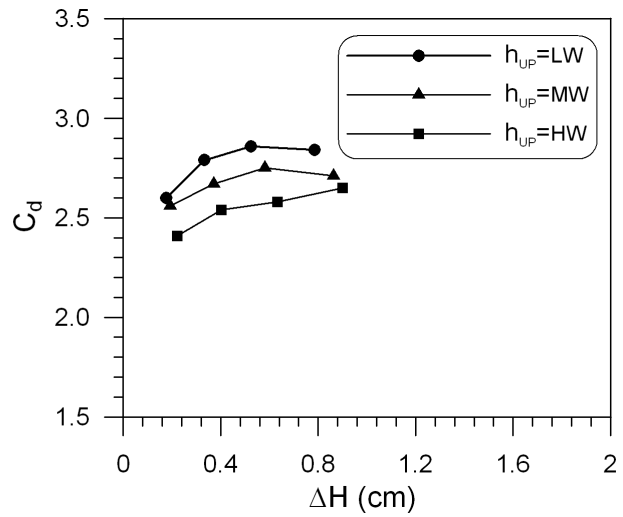
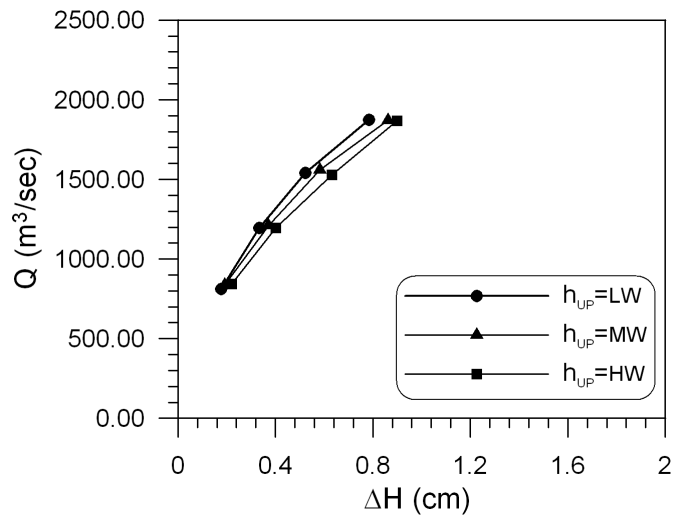


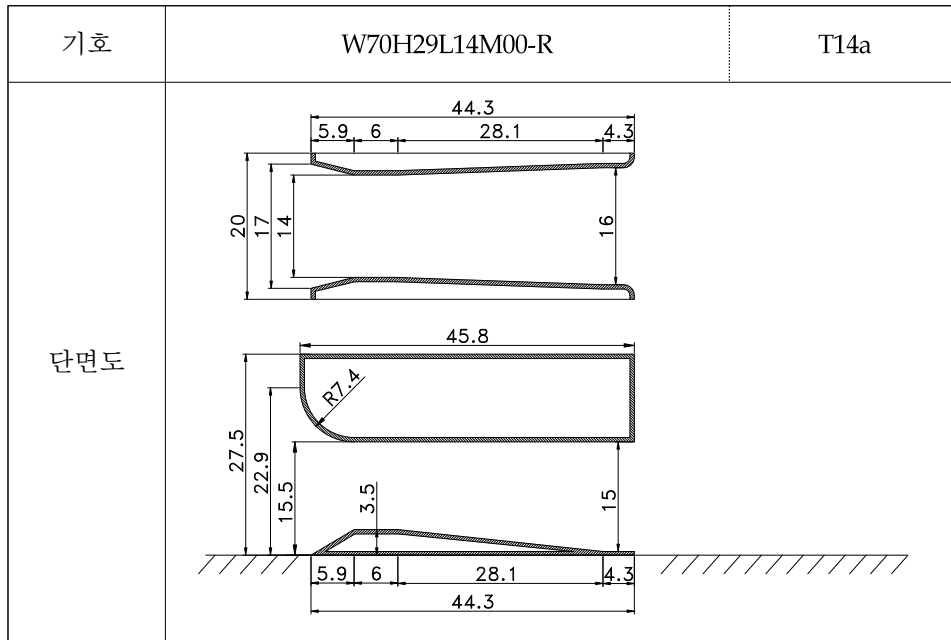


유량(Q) (m ³ /sec)	구분	상류측		하류측		수위차 (Δh) (m)	수두차 (ΔH)	유량계수 (C _d) 속도보정	
		수위 (h _{UP}) (m)	유속 (V _{UP}) (m/s)	수위 (h _{DN}) (m)	유속 (V _{DN}) (m/s)		속도보정		
Q ₁	495.280	LW	18.882	1.299	18.797	1.304	0.085	(0.084)	(2.30)
	492.535	MW	20.499	1.189	20.414	1.194	0.086	(0.085)	(2.27)
	506.894	HW	21.870	1.147	21.773	1.153	0.097	(0.097)	(2.19)
Q ₂	812.929	LW	18.980	2.120	18.799	2.141	0.181	0.177	2.60
	836.698	MW	20.491	2.021	20.294	2.041	0.197	0.192	2.56
	843.446	HW	21.949	1.902	21.724	1.922	0.225	0.221	2.41
Q ₃	1196.396	LW	18.899	3.134	18.547	3.193	0.352	0.333	2.79
	1212.465	MW	20.484	2.930	20.095	2.987	0.389	0.372	2.67
	1195.892	HW	21.925	2.700	21.509	2.752	0.416	0.402	2.54
Q ₄	1540.748	LW	18.864	4.043	18.288	4.171	0.576	0.523	2.86
	1561.187	MW	20.380	3.792	19.751	3.913	0.629	0.582	2.75
	1528.425	HW	21.881	3.458	21.209	3.568	0.672	0.632	2.58
Q ₅	1874.672	LW	18.854	4.922	17.940	5.173	0.915	0.785	2.84
	1871.952	MW	20.411	4.540	19.440	4.767	0.971	0.863	2.71
	1868.310	HW	21.892	4.225	20.904	4.425	0.988	0.900	2.65

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W70H21L14M00-S / T13a

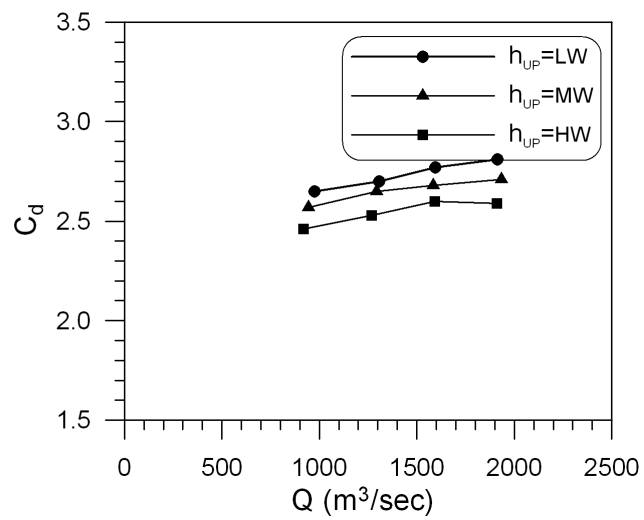
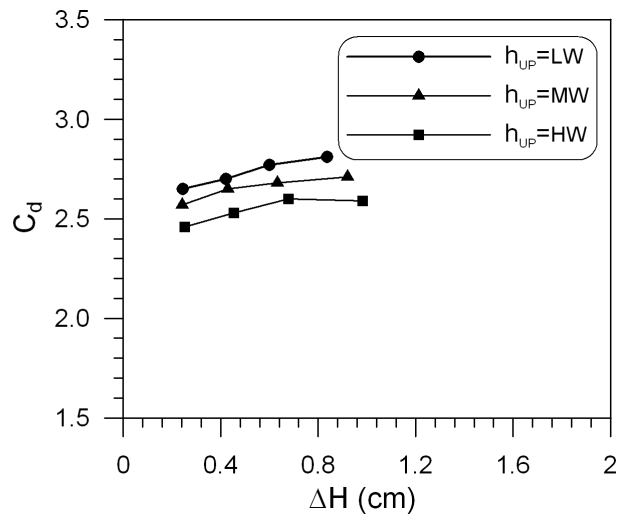
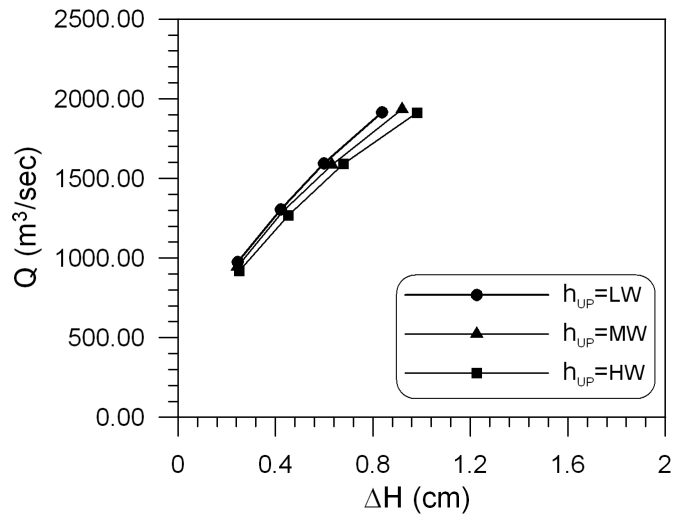


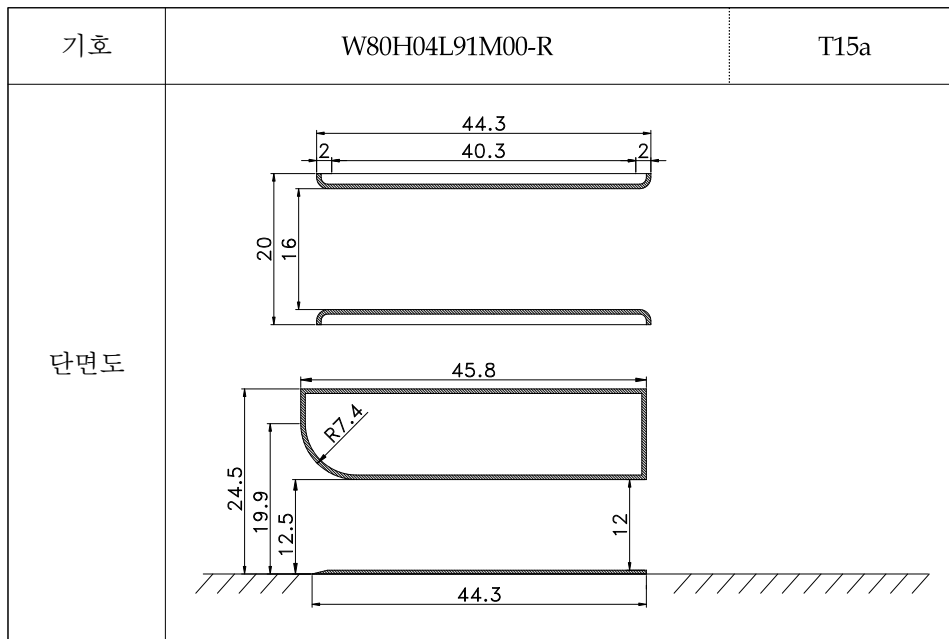


유량(Q) (m ³ /sec)	구분	상류측		하류측		수위차 (Δh) (m)	수두차 (ΔH)	유량계수 (C _d)	
		수위 (h _{UP})	유속 (V _{UP})	수위 (h _{DN})	유속 (V _{DN})		속도보정	속도보정	
		(m)	(m/s)	(m)	(m/s)		(m)		
Q ₁	654.473	LW	19.817	1.635	19.688	1.646	0.129	(0.127)	(2.47)
	640.069	MW	21.363	1.483	21.233	1.492	0.130	(0.129)	(2.40)
	595.044	HW	22.897	1.287	22.768	1.294	0.129	(0.128)	(2.23)
Q ₂	975.442	LW	19.819	2.436	19.566	2.468	0.253	0.245	2.65
	943.791	MW	21.382	2.185	21.133	2.211	0.249	0.243	2.57
	917.793	HW	22.807	1.992	22.550	2.015	0.257	0.252	2.46
Q ₃	1305.614	LW	19.928	3.243	19.482	3.318	0.447	0.422	2.70
	1293.030	MW	21.374	2.995	20.924	3.059	0.450	0.430	2.65
	1266.710	HW	22.876	2.741	22.408	2.799	0.469	0.453	2.53
Q ₄	1594.977	LW	19.778	3.992	19.122	4.129	0.656	0.600	2.77
	1585.141	MW	21.364	3.673	20.686	3.794	0.678	0.632	2.68
	1592.057	HW	22.783	3.459	22.064	3.572	0.719	0.679	2.60
Q ₅	1914.190	LW	19.694	4.812	18.733	5.059	0.961	0.837	2.81
	1933.353	MW	21.330	4.487	20.303	4.714	1.027	0.920	2.71
	1910.656	HW	22.864	4.137	21.795	4.340	1.069	0.982	2.59

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W70H29L14M00-R / T14a

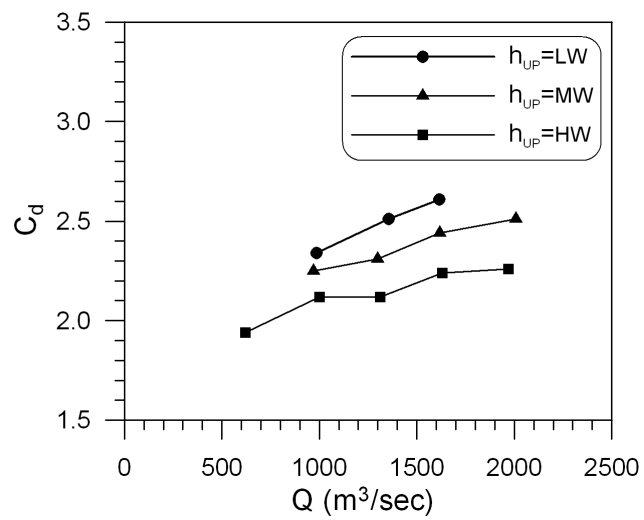
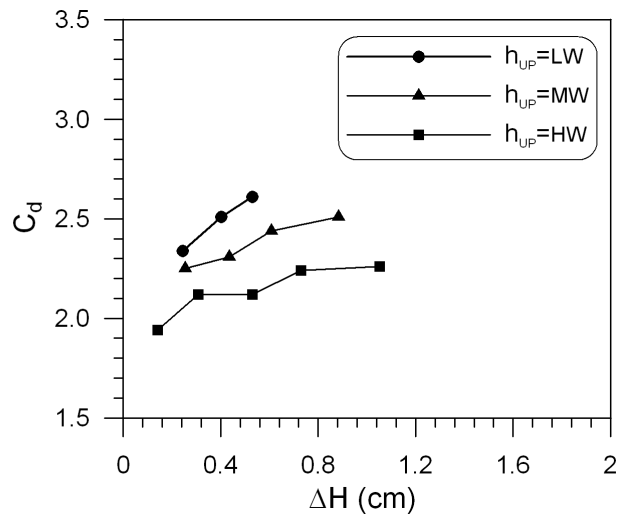
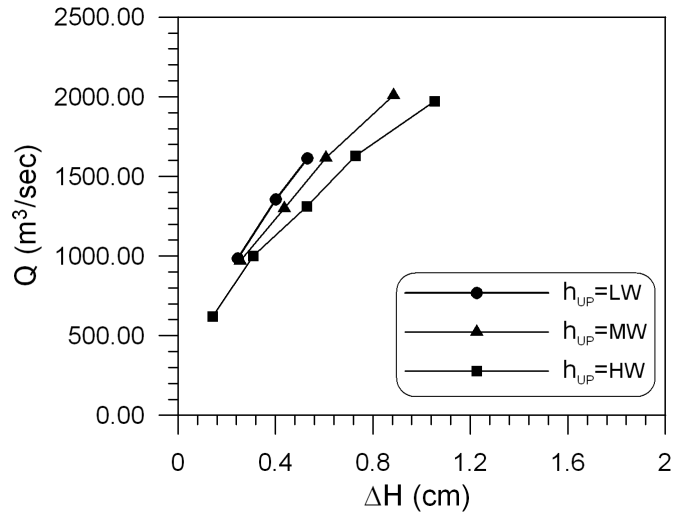


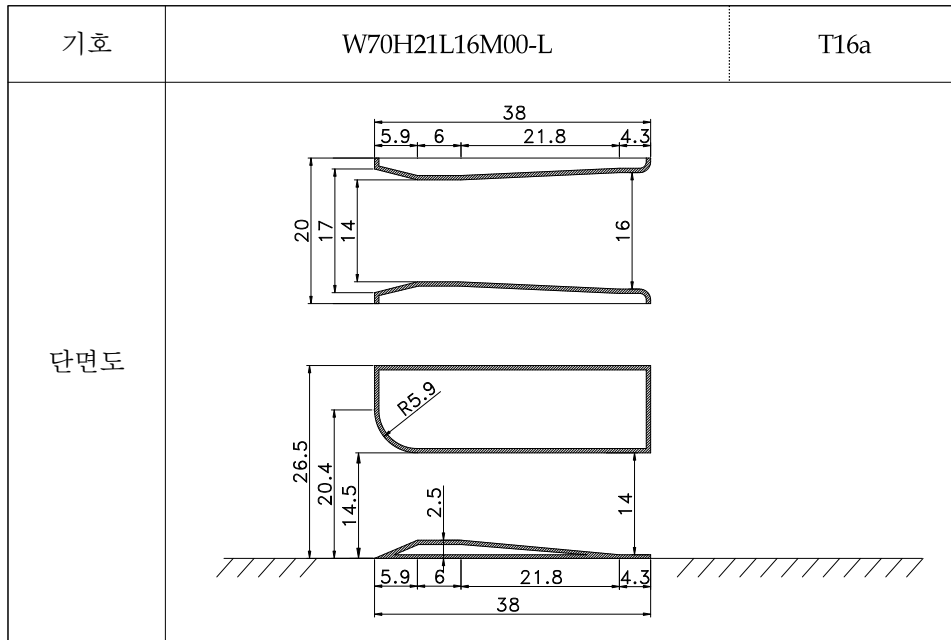


유량(Q) (m ³ /sec)	구분	상류측		하류측		수위차 (Δh) (m)	수두차 (ΔH)	유량계수 (C _d)	
		수위 (h _{UP})	유속 (V _{UP})	수위 (h _{DN})	유속 (V _{DN})		속도보정	속도보정	
		(m)	(m/s)	(m)	(m/s)		(m)		
Q ₁	566.108	LW	16.633	1.685	16.524	1.696	0.108	(0.107)	(2.04)
	637.762	MW	18.118	1.743	17.991	1.755	0.127	(0.125)	(2.12)
	620.975	HW	19.630	1.566	19.487	1.578	0.143	0.142	1.94
Q ₂	984.121	LW	16.570	2.940	16.311	2.987	0.259	0.245	2.34
	968.744	MW	18.107	2.649	17.841	2.688	0.266	0.255	2.25
	999.582	HW	19.514	2.536	19.196	2.578	0.319	0.308	2.12
Q ₃	1356.175	LW	16.518	4.065	16.068	4.178	0.450	0.402	2.51
	1298.407	MW	18.058	3.559	17.587	3.655	0.471	0.436	2.31
	1312.358	HW	19.531	3.326	18.968	3.425	0.563	0.529	2.12
Q ₄	1614.419	LW	16.429	4.865	15.801	5.058	0.628	0.530	2.61
	1617.576	MW	17.967	4.457	17.278	4.635	0.689	0.607	2.44
	1629.656	HW	19.504	4.136	18.698	4.315	0.806	0.729	2.24
Q ₅	-	LW	-	-	-	-	-	-	-
	2007.978	MW	17.878	5.560	16.781	5.924	1.096	0.884	2.51
	1970.651	HW	19.452	5.015	18.220	5.354	1.232	1.053	2.26

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W80H04L91M00-R / T15a

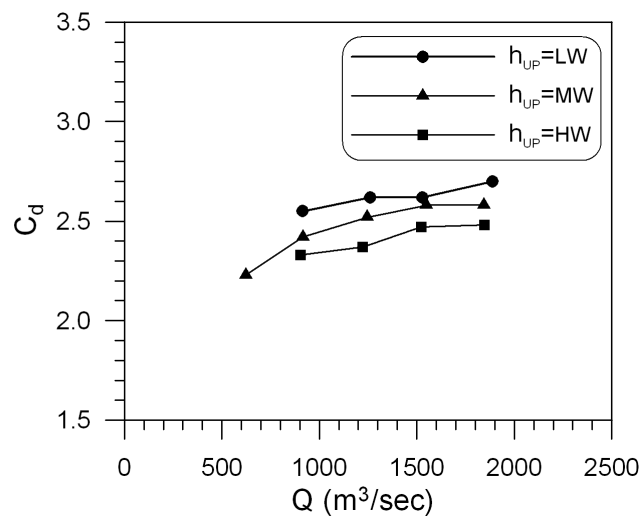
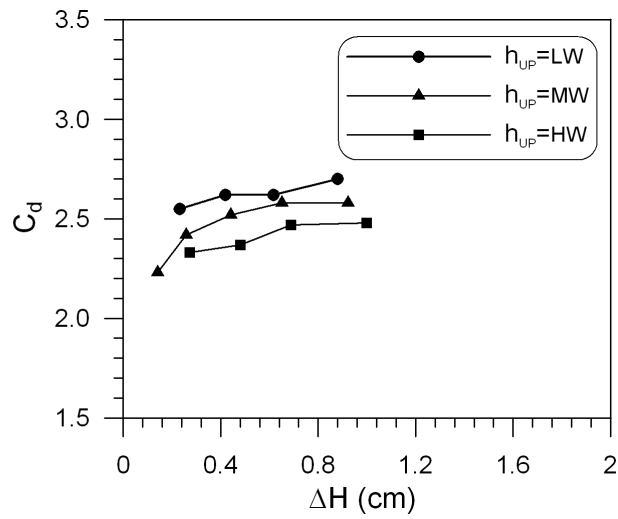
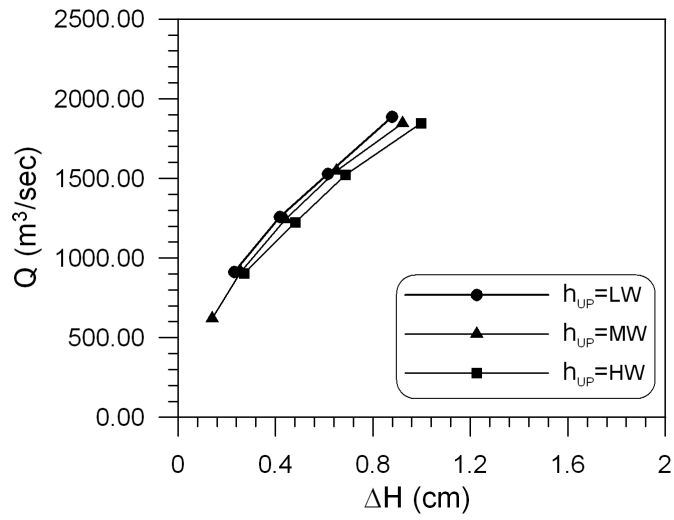


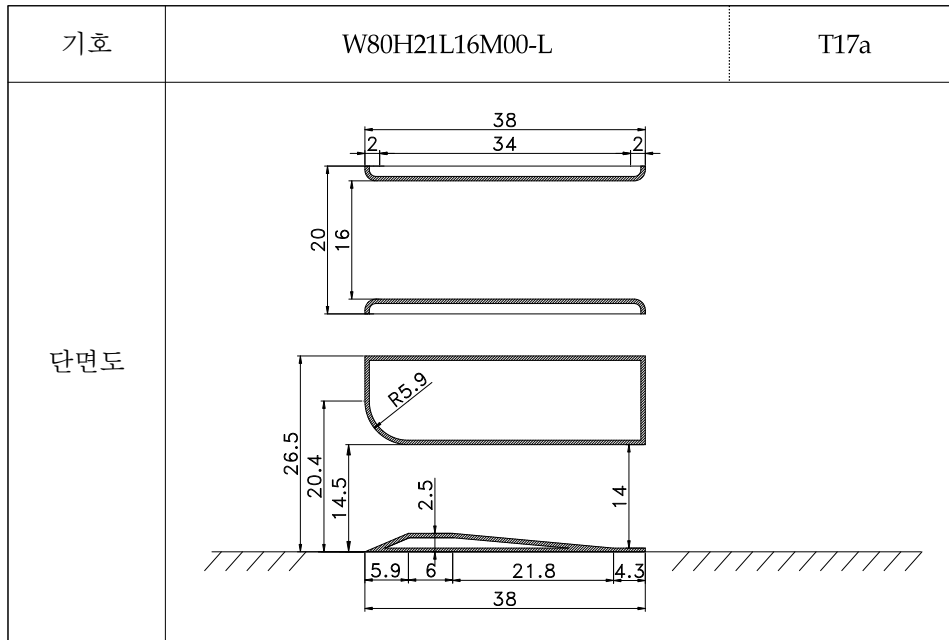


유량(Q) (m ³ /sec)	구분	상류측		하류측		수위차 (Δh) (m)	수두차 (ΔH)	유량계수 (C _d)
		수위 (h _{UP}) (m)	유속 (V _{UP}) (m/s)	수위 (h _{DN}) (m)	유속 (V _{DN}) (m/s)		속도보정	속도보정
							(m)	(m)
Q ₁	LW	18.958	1.498	18.847	1.507	0.111	(0.110)	(2.33)
	MW	20.481	1.504	20.338	1.514	0.142	0.141	2.23
	HW	21.988	1.322	21.857	1.330	0.131	(0.130)	(2.19)
Q ₂	LW	18.910	2.389	18.671	2.420	0.239	0.232	2.55
	MW	20.482	2.210	20.218	2.239	0.264	0.258	2.42
	HW	21.942	2.040	21.664	2.066	0.278	0.272	2.33
Q ₃	LW	18.909	3.300	18.464	3.379	0.445	0.418	2.62
	MW	20.494	3.005	20.032	3.074	0.462	0.441	2.52
	HW	21.911	2.764	21.411	2.828	0.500	0.481	2.37
Q ₄	LW	18.921	4.001	18.244	4.149	0.676	0.615	2.62
	MW	20.406	3.754	19.703	3.888	0.704	0.651	2.58
	HW	21.914	3.438	21.184	3.557	0.730	0.688	2.47
Q ₅	LW	18.937	4.933	17.912	5.215	1.025	0.879	2.70
	MW	20.420	4.474	19.385	4.712	1.034	0.923	2.58
	HW	21.969	4.163	20.876	4.381	1.093	0.998	2.48

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W70H21L16M00-L / T16a





유량(Q) (m ³ /sec)	구분	상류측		하류측		수위차 (Δh) (m)	수두차 (ΔH)	유량계수 (C _d) 속도보정	
		수위 (h _{UP}) (m)	유속 (V _{UP}) (m/s)	수위 (h _{DN}) (m)	유속 (V _{DN}) (m/s)		속도보정 (m)		
Q ₁	647.185	LW	18.860	1.699	18.771	1.707	0.089	(0.087)	(2.58)
	649.139	MW	20.429	1.573	20.325	1.581	0.104	(0.103)	(2.38)
	676.920	HW	21.876	1.532	21.757	1.540	0.119	(0.118)	(2.32)
Q ₂	975.137	LW	18.956	2.547	18.762	2.573	0.193	0.187	2.65
	991.553	MW	20.376	2.409	20.163	2.434	0.213	0.207	2.56
	986.846	HW	21.894	2.231	21.660	2.255	0.234	0.229	2.43
Q ₃	1313.660	LW	18.870	3.446	18.539	3.508	0.331	0.309	2.78
	1308.376	MW	20.435	3.170	20.071	3.227	0.364	0.345	2.62
	1323.267	HW	21.826	3.001	21.433	3.056	0.393	0.376	2.54
Q ₄	1622.492	LW	18.873	4.256	18.375	4.371	0.498	0.448	2.85
	1646.902	MW	20.268	4.023	19.725	4.133	0.543	0.497	2.75
	1634.179	HW	21.807	3.710	21.221	3.812	0.586	0.547	2.60
Q ₅	1990.934	LW	18.671	5.279	17.921	5.500	0.749	0.628	2.95
	1984.093	MW	20.295	4.840	19.492	5.039	0.803	0.703	2.78
	1971.889	HW	21.767	4.485	20.922	4.666	0.845	0.761	2.66

※ 수문 단면 분류기호에 대한 설명은 p.56의 “다. 수문 단면의 분류기호” 참조

W80H21L16M00-L / T17a

