

3차원 유사이동 해석 모형(SSIM) 적용을 통한 수력발전댐 Desander 설계법 제안

토목연구지원팀
장동일 차장, 이상화 부장, 권오성 부장
항만수자원에너지팀
조두찬 부장



1 서론

수력발전 사업에 있어 Desander 구조물은 주로 고산지대 수력발전댐의 Run-of-river 형식의 발전방식에서 유사로 인한 터빈의 손상을 방지하기 위한 목적으로 설치된다. Desander의 적정 규모는 터빈의 손상을 일으킬 수 있는 유사 입경을 안정적으로 침전 시킬 수 있는 폭/길이/깊이 제원 등을 통해 평가할 수 있으며 상대적으로 Desander의 규모가 크게 설계된 경우 초기 공사비가 증가하게 되고 반대로 규모를 작게 설계하는 경우 터빈 손상에 따른 교체 주기 단축으로 인한 유지관리비 증가가 발생하게 된다. 현재까지 일반적인 Desander의 설계 방식은 제거 목표 대상 입경의 침전 속도, 유입유량(처리유량) 및 깊이를 변수로 사용하는 여러 경험식(L. Sudry method, Guicciardis method 및 Rouse method)을 비교·평가하여 규모를 결정하였다. 하지만, 일반화된 3차원 전산유체해석을 통해 직·간접적 Desander 규모의 적정성을 평가할 수 있는 현 시점에서 경험식으로부터 도출된 결과의 신뢰성과 객관성을 검증할 필요가 있다고 판단된다. 따라서, 본 연구에서는 유사이동 모듈이 탑재된 3차원 수리해석 프로그램인 SSIM(Simulation of Sediment movements In water Intakes with Multiblock option)을 활용하여 제거 목표

대상 입경의 차집 효율 분석 결과를 기초로 하여 Desander의 적정 규모를 산정하고 평가할 수 있는 설계법을 소개하고자 한다.

2 파키스탄 Athmuqam HPP Desander 규모 적정성 검토

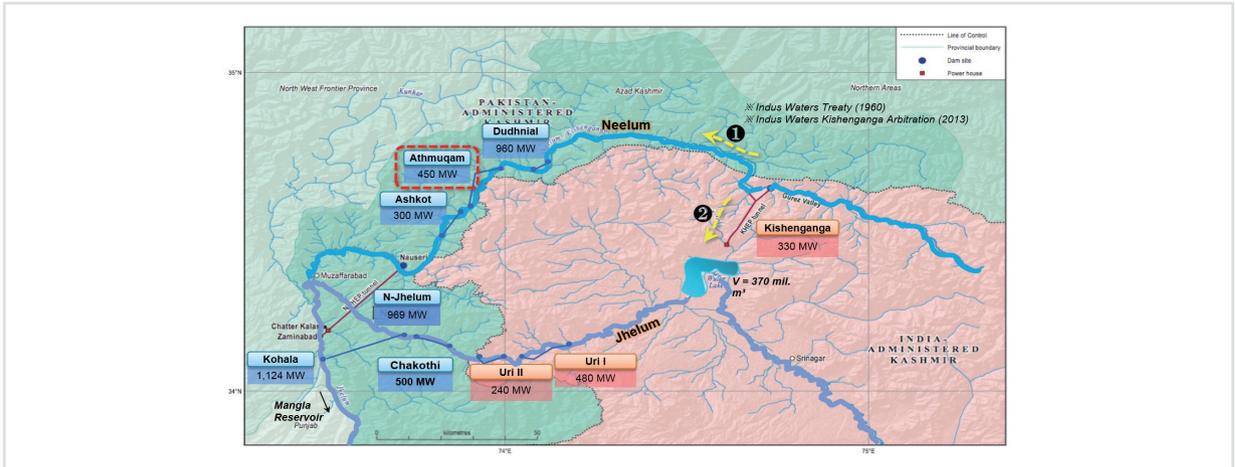
2.1 파키스탄 Athmuqam HPP 프로젝트 개요

Athmuqam HPP는 인도와 파키스탄을 따라 흐르는 Neelum river 중상류에 위치하며 전체 유역면적은 5,325km²이다. 본 프로젝트는 발전 유량 208.4m³/sec, 순 수두(Net head) 242m, Modified Run-of-river 발전 형식의 콘크리트 중력댐으로 계획되었으며 발전 용량은 450 MW, 연간 2,115 GWh의 전력을 생산할 수 있다. 본 연구의 주요 관심사인 Desander는 유입 유사 입경 0.25mm 이상에 대해 계획된 2개의 Desander를 통해 차집하는 것을 목표로 설계되었다. 개략적인 파키스탄 Athmuqam HPP 설계 현황은 [표 1]에 제시하였다.

[표 1] 파키스탄 Athmuqam HPP 설계 현황

구분	내용	
Type of Power generation	Modified Run-of-river	
Plant Capacity	450 MW	
Plant Discharge	208.4m ³ /sec	
Turbine Type	Francis (112.5 MW × 4 units)	
Desander	Design size	W 21.4m × H 22.0m × L 180.0m × 2 EA
	Design particles	0.25 mm

[그림 1] 파키스탄 Athmuqam HPP 위치도



2.2 기존 경험식을 통한 Desander 규모 설계

2.2.1 기존 Desander 설계법 분석

Desander 설계를 위한 기존 경험식은 공통적으로 제거하고자 하는 유사 입경의 크기, 유입 유량 및 침전 공간의 높이를 Desander 설계에 있어 주요 인자로 채택한다. 이러한 이유는 유사가 주어진 공간내에서 유입 유량(유속)에 의해 침전될지 평가할 수 있는 방법을 [그림 2]와 같이 물리적으로 설명 가능하기 때문이다. 수평 흐름(Horizontal flow)이 주 흐름(Main flow)이 되는 Desander에서 유사 차집 효율을 일반적으로 계산하는 방법은 수평 유속(Horizontal flow velocity), 표면 부하 유속(Surface loading velocity) 및 제거 목표 유사의 침전속도(Fall velocity) 관계를 통해 주어진 Desander 규모의 침전 효율을 평가하는 것이다. 유입 유량이 Desander 통과하여 나가는 데 걸리는 시간 t_1 이 제거 목표 유사의 필요 침전 시간 t_2 보다 클 경우 해당 유사의 차집 효율은 100%로 볼 수 있으며 반대로 작을 경우 차집 효율은 100% 미만일 것이다. 해당 관계는 아래 [식 1]로 설명할 수 있다.

[식 1]

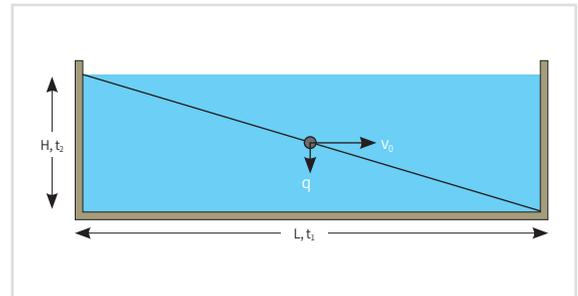
$$t_2 \leq t_1 \Rightarrow \frac{H}{V_s} \leq \frac{L}{V_o} \Rightarrow \frac{H}{V_s} \leq \frac{B \times H \times L}{Q}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{V_s} \leq \frac{1}{q} \Rightarrow V_s \geq q$$

$$V_o = \frac{Q}{B \times H} \quad q = \frac{Q}{B \times L}$$

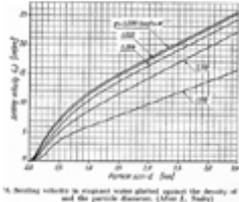
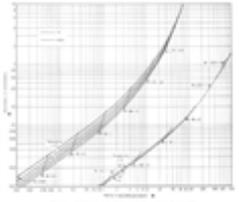
여기서, H, L, B는 Desander의 높이, 길이 폭이며 V_s 는 유사 침강속도, V_o 는 수평 유속, q는 표면부하 속도, Q는 유입유량이다.

[그림 2] Desander의 유사 차집 평가 개념도



[표 2]에 제시된 경험식 중 L. Sudry method와 Guicciardi method는 Input data로서 설계자가 Desander의 높이를 사전에 결정하는 것과 달리 Rouse method의 경우, Camps'equation을 통하여 입자 침강 제거율, 길이와 폭의 비율(L/B ratio, 장폭비), 조도계수, 동수경사를 결정 한 후 상세 제원을 설계하는 점이 가장 큰 차이점이라 할 수 있다. 경험식을 사용하여 정형화된 Desander를 설계하는 것은 설계적 측면에서 편의성을 제공할 수 있지만 유입부 형상, Transition zone의 길이를 반영하여 Desander의 규모를 최적화 할 수 없을 뿐만 아니라 정량적인 차집 효율을 제공하는데 한계점을 가지고 있다.

[표 2] 경험식별 Desander 설계 방법 비교

구분		L.Sudry method	Guicciardis method	Rouse method
Input data		1. Particle diameter 2. Flow rate(m ³ /s) 3. Height	1. Particle diameter 2. Flow rate(m ³ /s) 3. Height	1. Particle diameter 2. Flow rate(m ³ /s) 3. Settling performance 4. L/B ratio, n, l
Q	Flow rate (m ³ /sec)	User defined	User defined	User defined
d	Particle Diameter (mm)	User defined	User defined	User defined
h	Height (m)	User defined	User defined	User defined
v	Critical velocity (m/sec)	$V = 0.01 \times a \sqrt{D}$ (a, coefficient of particle diameter, 0.1mm<D<1.0mm, a=44)		
	Settling velocity (m/sec)	$w = f(D, \gamma_s)$	$w = 0.01 \times \left(\frac{d}{0.0053}\right)^{\frac{1}{3}}$	$w = f(D, Temp.)$
w	<Ref. figure>		-	
w'	Retarding effect of turbulent (m/sec)	$w' = a \times v = \left(\frac{0.132 \times v}{\sqrt{h}}\right)$		
b	Width (m)	$b = \frac{Q}{h_v}$		$b = \sqrt{\frac{A'}{L/b \text{ ratio}}}$
L	Length (m)	$L = \frac{h_v}{(w - w')}$		Camp's equation $L = b \times \frac{L}{b} \text{ ratio}$
A	Area (m ²) Vetter's equa.	-	-	$A = 1 - e^{(-wv/Q)}$
A'	Cross-Sectional area (m ²)	-	-	$A' = \frac{Q}{V}$
A''	Area(m ²), Camp's equa.	-	-	$A'' = \frac{Q}{A} \times \left(\frac{wA''}{Q}\right)$
P	Wetted perimeter(m)	-	-	$P = 2h + b$
R	Hydraulic radius	-	-	$R = \frac{A}{P}$
l	Hydraulic gradient	-	-	User defined
n	Combined manning's n	-	-	User defined
v*	Shear velocity(m/s)	-	-	$v^* = v - \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times l^{\frac{1}{2}}$
E	Settling performance	-	-	User defined
w/v*	-	-	-	w/v^*
wA''/Q	-	-	-	$f = (w/v^*, E)$

2.2.2 기존 수력발전 프로젝트 Desander 설계 사례 검토

기존 수력발전 프로젝트에 설계 반영된 Desander의 규모를 [표 3]과 같이 조사하여 비교하였다. Desander가 반영된 수력발전 프로젝트의 제거 대상 입경은 0.2~0.3mm가 일반적이었으며 제거 대상 입경별로 침전 공간의 높이, 체류시간(HRT), 장폭비(길이/폭)는 유사한 제원을 가지는 것으로 나타났다.

먼저 침전 공간의 높이를 분석한 결과, 입경 0.2mm 유사를 제거 목표로 설정한 사례들의 Desander 높이는 각각 22.5m, 22.5m, 27.3m, 27.5m로 평균 높이가 25.2m로 나타난 반면, 입경 0.2mm 유사를 제거 목표로 설정한 사례의 Desander 높이는 각각 7.1m, 9.0m, 14.5m, 16.5m, 17.0m, 25.0m로 평균 높이가 14.8m로 나타났다. 이 중 Middle Marsyangdi 사례를 제외할 경우에는 모두 20m 이하의 높이를 가지는 것으로 나타났다.

체류시간(HRT)의 경우, 입경 0.2mm 유사 제거 목표 사례가 각각 15.5분, 22.3분, 24.2분, 38.8분으로 평균 25.2분으로 나타났다. 입경 0.3mm 유사 제거 목표 사례는 5.8분, 7.5분, 8.5분, 12.3분, 12.9분, 32.8분으로 나타났으며, 이 중 최소값과 최대값을 제외할 경우, 평균 체류시간은 10.3분인 것으로 나타났다. 장폭비(길이/폭)의 경우, 입경 0.2mm 유사 제거 목표 사례는 4.8~32.2의 넓은 범위의 값을 보였으며 입경 0.3mm 유사 제거 목표 사례는 1.9~16.9의 범위를 보였다. 다른 설계인자에 비해 일관성을 확인하기 어렵지만 조사한 전체 사례의 평균은 13.5로 나타났다. 제거 입자 크기별 설계 인자 분석 결과는 [표 4]에 제시하였다. 참고로 Alternate Hydro Energy Centre Indian Institute of Technology(2008)에서 발표한 가이드라인에는 8~10이 적당하며, 그 값이 4 이하에서는 안 된다고 보고하고 있다. 또한, 이응천(2013)은 장폭비가 8 이상일 것을 권고하고 있다.

[표 3] 수력발전 프로젝트 Desander 설계 사례

Project name	Country	head (m)	Capacity (MW)	Q _{total} (m ³ /s)	Q _{each} (m ³ /s)	Dp (mm)	제원							
							B (폭)	H (높이)	L (길이)	수량	장폭비 (L/B)	V _{each} (m ³)	V _{total} (m ³)	HRT (min)
Patrind	Pakistan	108.2	150	153.7	76.8	0.2	28.0	27.3	135.0	2	4.8	103,005	206,010	22.3
Teesta stage-V	India	216.7	510	292.4	97.5		20.0	22.5	315.0	3	15.8	141,750	425,250	24.2
Nathpa jhakri	India	428.0	1,500	405.0	101.3		16.3	27.5	525.0	4	32.2	235,476	941,903	38.8
Parbati	India	862.0	520	177.0	88.5		12.2	22.5	300.0	2	24.6	82,350	164,700	15.5
Musi	Indonesia	404.4	210	62.0	31.0	0.3	28.0	7.1	54.0	2	1.9	10,735	21,470	5.8
Kukule	SriLanka	186.4	80	47.5	23.8		15.0	9.0	90.0	2	6.0	12,150	24,300	8.5
Middle marsyangdi	Nepal	120.0	76	80.0	26.7		15.0	25.0	140.0	3	9.3	52,500	157,500	32.8
Uri	India	130.0	240	253.1	253.1		60.0	14.5	225.0	1	3.8	195,210	195,210	12.9
Chamera	India	230.0	231	132.0	66.0		13.0	17.0	220.0	2	16.9	48,620	97,240	12.3
Lower Spat Gha	Pakistan	-	-	81.0	81.0		21.0	16.5	105.0	1	5.0	36,383	36,383	7.5

[표 4] Desander 평균 설계 제원

구분		Q _{total} (m ³ /s)	Q _{each} (m ³ /s)	제원				
				B(폭)	H(높이)	L(길이)	L/B	HRT(min)
사례 평균	0.2mm	257.0	91.0	19.1	25.0	318.8	19.3	25.2
	0.3mm	109.3	80.3	25.3	14.8	139.0	* 8.0	* 10.3
	all	183.2	85.7	22.2	19.9	228.9	13.5	17.8

2.2.3 경험식을 통한 파키스탄

Athmuqam HPP Desander 규모 검토

Desander unit을 2개로 적용할 경우에 3가지 경험식을 통해 Desander를 설계한 결과, 체류시간은 14.2분, 13.5분, 15.5분으로 계산되었다. L. Sudry method와 Guicciardis method에 적용된 Desander 높이는 전체 설계 사례의 평균값인 20m를 적용하였으며, Rouse method의 장폭비 (L/B ratio)는 권고 기준 최소 값인 8 적용하였다. 또한, 제거 대상 입자 크기 0.25mm에 대한 침강 제거율은 90%로 가정하여 적용하였으며, 동수경사(l) 및 조도 계수(n)는 Lower Spat Gha 사례에서 적용한 1.3×10^{-6} , 0.0165를 각각 적용하였다. 설계 규모 결과는 아래 [표 5]와 같다.

파키스탄 Athmuqam HPP F/S에서 채택한 Desander의 규모와 경험식을 통해 계산된 규모를 비교한 결과, 높이는 사례 평균보다도 2.5m 가량 높게 설계되었고 폭과 길이는 5~10% 정도 작게 설계되었으며, 침전성에 가장 민감한 인자인 HRT를 기준으로 전체 평균값에 비해서 규모가 약 8.0% 가량 더 작게 설계된 것으로 검토되었다. 보수적인 설계 접근 시각에서 현 F/S 설계는 경험식을 통해 제시된 규모에 비해 과소 설계된 것으로 보인다. 그러나, 현장의 유사특성과 수치해석을 통해 유사 차집 효율과 규모의 적정성에 대해 검토할 경우 현 규모의 적정성에 대해 보다 객관적인 평가가 가능할 것으로 사료된다. 따라서, 금회 연구에서는 3-D 유사 이동 해석 등을 통하여 제거 유사 입경에 대한 차집 효율을 분석한 후 현 F/S에서 제시한 Desander의 규모의 적정성에 대해 평가하였다.

2.3 SSIIM을 이용한 Desander의 규모 적정성 검토

2.3.1 SSIIM 소개

SSIIM(Simulation of Sediment movements In water Intakes with Multiblock)은 개수로 흐름 상태에서 유사 이동 및 하상 변동을 분석할 수 있도록 개발된 3차원 해석 프로그램이다. SSIIM은 유체 이동 특성을 해석하기 위해 Navier-Stokes equation과 k-ε 난류 모델을 기본 방정식으로 채택하였으며 이송 및 확산 모듈이 탑재되어 있어 유사 입경 크기에 따른 유사 이동 해석이 가능하다. SSIIM은 개수로 흐름 조건에서 유속, 유사 이동, 하상 변동량, 수위 변화, 수질을 모의할 수 있지만, 관수로 흐름 상태는 모의가 불가하다는 단점이 있다. 그럼에도 불구하고, 약 20년 동안 오류 보안 및 업그레이드가 지속되어 왔으며 현재 유사 해석과 관련된 분야에서 활발히 적용되고 있다.

2.3.2 현지 유사 특성 분석

본 댐이 설치될 Neelum river 상류의 Dudhnil 수위-유량 관측소의 1983-1990, 1992, 2010-2016년 관측 자료를 통해 유량-유사농도 관계 곡선을 [식 2]과 같이 추정하였다. [식 2]에 의해 유입 유사 농도를 추정한 결과, 최고 유사 농도는 6월 발생하였으며 이때 유사 농도는 309.8PPM으로 분석되었다. 본 연구에서는 Desander 운영에 있어 가장 최악의 유사 농도 조건인 6월의 유사 농도를 기준으로 SSIIM 모델링을 위한 입력 자료인 Desander의 유입 유사량(kg/s)을 결정하였으며 월 평균 유입 유사량 산정 결과는 [표 6]에 제시하였다.

[식 2]

$$C = 0.371 \times Q + 88.692$$

여기서, C는 유사 농도(PPM)이며 Q는 유량(m³/s)이다.

[표 5] 파키스탄 Athmuqam Desander 규모 산정 결과(2 units)

Method	Q _{total} (m ³ /s)	Q _{each} (m ³ /s)	제원				
			B (폭)	H (높이)	L (길이)	L/B	HRT (min)
F/S 설계	208.4	104.2	21.4	22.0	180.0	8.4	13.5
L.Sudry method	208.4	104.2	23.7	20.0	187.2	7.9	14.2
Guicciardis method	208.4	104.2	23.7	20.0	178.1	7.5	13.5
Rouse method	208.4	104.2	25.5	18.6	204.2	8.0	15.5
평균	208.4	104.2	24.3	19.5	189.8	7.8	14.4

본 댐이 설치될 Neelum river에서 2018년 3월에 수집된 총 7개의 Bed load 샘플 자료를 통해 [그림 3]과 같이 입경 가적 곡선을 작성하였다. 샘플들의 평균 입경은 최소 0.2mm, 최대 13mm로 확인되었으며 평균은 1.3mm로 산정되었다. SSIIM 모델링을 통해 Desander의 차집 효율 분석을 수행하기 위해서는 대표 입경 가적 곡선을 통해 산정된 입경별 분포비가 필요하다. 본 연구에서는 가용할 수 있는 샘플 자료를 활용하여 입경 분포비를 [표 7]과 같이 결정하였다. 한편, Desander의 차집 효율 분석을 위해서 주요 입경별 침강속도(Fall velocity)를 결정해야 한다. 현재 유사 입경별 침강속도 측정 실험이 F/S 단계에서 수행되기 어렵기 때문에 석영 재질의 입경별 수온에 따른 침강속도를 [그림 4]를 통해 산정하였다. 이때, Neelum river의 평균 수온은 20°C로 가정하였다.

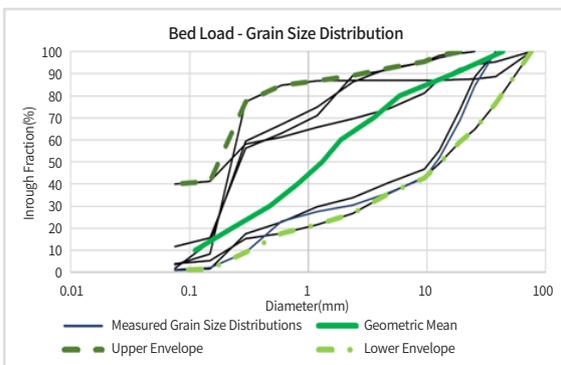
[표 7] 파키스탄 Athmuqam 유입 유사 가적 입경 분포 및 침강속도

Diameter	Cumulated Ratio (%)	Fall velocity (m/s)	Description
1 0.15mm	10.0	0.015	-
2 0.20mm	11.5	0.023	-
3 0.25mm	13.2	0.030	Target size
4 0.30mm	15.1	0.038	-
5 0.50mm	24.5	0.080	-
6 1.00mm	43.0	0.150	-
7 5.00mm	70.0	0.300	-
8 5.00mm 이상	100.0	-	-

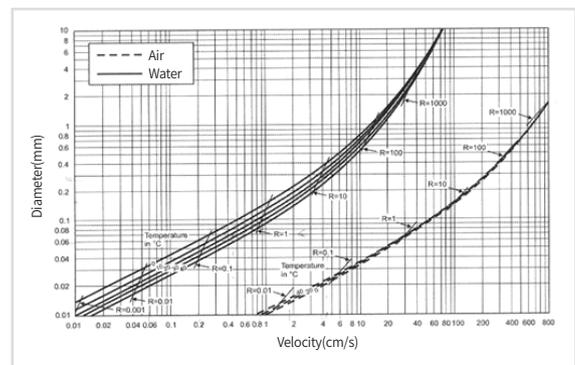
[표 6] 파키스탄 Athmuqam 유입 유입량 조사 결과

Month	River Discharge (m³/s)	Concentration of river (PPM, 1g/m³)	Flow to Turbine (m³/s)	Discharge per basin (m³/s)	Amount of sediment (kg/s)
Jan	37.1	102.5	28.1	28.1	2.9
Feb	43.4	104.8	34.4	34.4	3.6
Mar	93.9	123.5	84.9	84.9	10.5
Apr	298.5	199.4	208.4	104.2	20.8
May	526.2	283.9	208.4	104.2	29.6
Jun	596.0	309.8	208.4	104.2	32.3
Jul	441.7	252.6	208.4	104.2	26.3
Aug	250.0	181.4	208.4	104.2	18.9
Sep	125.8	135.4	116.8	58.4	7.9
Oct	64.2	112.5	55.2	55.2	6.2
Nov	48.6	106.7	39.6	39.6	4.2
Dec	39.6	103.4	30.6	30.6	3.2
Average	213.7	168.0	119.3	71.0	11.9

[그림 3] Athmuqam PJ 대표 입경 가적 곡선(Bed load)



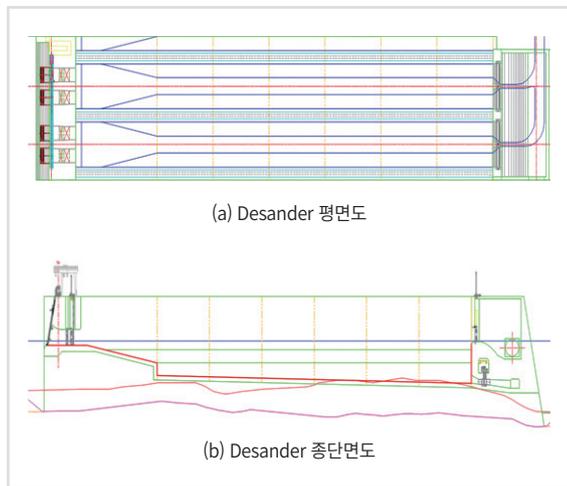
[그림 4] 석영 재질의 입경별 수온에 따른 침강속도 실험 곡선(by Hunter Rouse)



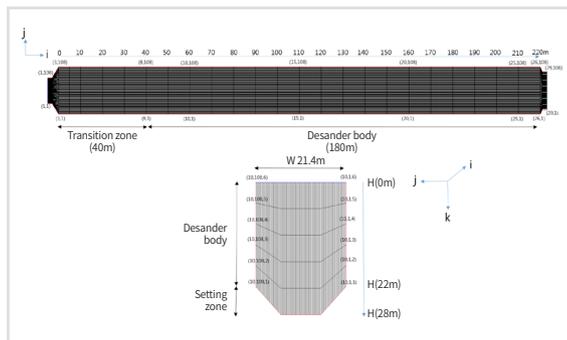
2.3.3 SSIIM 모형 구축

SSIIM 모델링은 크게 Pre-processing, Computations 및 Post-processing로 구분할 수 있다. 그 중 가장 중요한 Pre-processing은 Grid의 생성과 Input 파일 작성을 구성하는 것으로 본 연구에서는 아래 [그림 5]의 Desander 종평면도를 기초로 [그림 6]와 같이 Grid를 생성하였으며, 각 Desander별 유입 유량과 유입 유사 특성 분석 자료로 Input 파일을 작성 하였다. 특히, Desander의 Grid를 생성함에 있어 난류 발생 범위 및 유향을 확인하기 위해 Transition zone을 Desander main body 전단에 추가 반영하였으며 유출부 Weir로 인한 Desander main body 후단의 유속 변화도 함께 모의하였다.

[그림 5] Athmuqam PJ Desander 종평면도



[그림 6] Athmuqam PJ Desander 3-D Grid

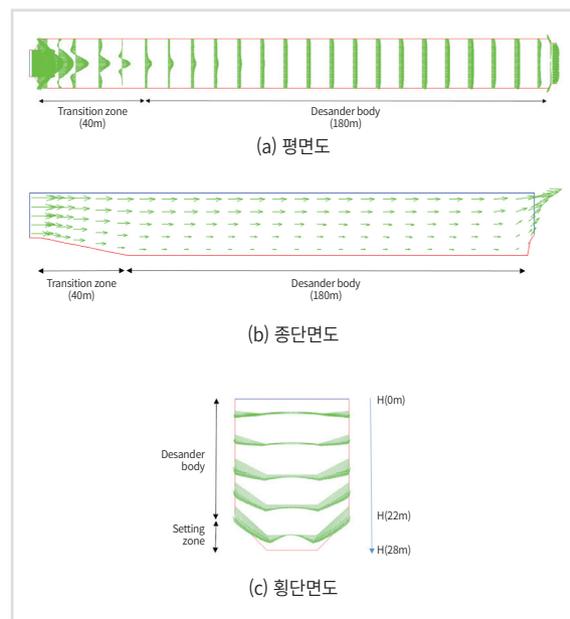


2.3.4 주요 구간의 유속 검토

당 프로젝트의 발전 유량은 208.4m³/sec로써 절반의 발전 유량 104.2m³/sec가 각 Desander unit별로 수로 박스 (W 5.8m×H 7.1m)를 통해 유입되도록 설계되어있다. Transition zone (W 5.8~21.4m×H 7.1~22.0m×L 40m)은 단면 변화로 발생할 수 있는 와류 현상을 억제하고 Desander에서 안정적인 유속이 형성될 수 있도록 설치하며 SSIIM을 통해 [그림 7]과 같이 전체 구간의 유속 분포를 검토한 결과 Transition zone에서 단면 급확대로 인해 발생한 와류 현상이 점차 소멸되며 Desander body 시점부터 유속이 안정화 되는 것으로 확인되었다.

유속은 Desander 위치 및 깊이에 따라 다르게 형성되기 때문에 방향축(i, j, k)별 발생 최대 유속과 단면 평균 유속을 각 위치별 (0-220m)로 비교 해 볼 필요가 있다. [표 8]에 제시된 결과를 보면 SSIIM을 통해 계산된 유속이 Manning's equation을 통해 계산된 평균 유속에 비해 전체적으로 크게 산정되었고 특히 Desander body 유입 및 유출부에서는 약 2배 이상 차이가 발생하는 것으로 분석되었다. 유속이 크게 발생한다는 것은 유사의 침전성에 불리하게 작용함을 의미함에 따라 제거 유사 입경의 차집 효율을 통해 Desander 규모의 적정성을 평가가 필요한 것으로 판단된다.

[그림 7] Athmuqam PJ Desander 유속 분포도



[표 8] 파키스탄 Athmuqam Desander 위치별 발생 최대 및 평균 유속 결과표

Location		Navier-Stoke's Velocity(m/s)			Manning's Velocity (m/s)	Description
		Maximum				
		i-axis	j-axis	k-axis		
1	0m	0.46094	0.00007	0.02204	0.34629	Transition zone
2	10m	0.40335	0.00017	0.01456	0.22659	
3	20m	0.37946	0.00011	0.00725	0.21289	
4	30m	0.37413	0.00011	0.00488	0.19864	
5	40m	0.35688	0.00001	0.01051	0.18891	
6	50m	0.35089	0.00001	0.00722	0.18501	Desander body
7	60m	0.34271	0.00001	0.00836	0.18501	
8	70m	0.33841	0.00001	0.00671	0.18501	
9	80m	0.33222	0.00001	0.00534	0.18501	
10	90m	0.32787	0.00001	0.00440	0.18501	
11	100m	0.32225	0.00001	0.00342	0.18501	
12	110m	0.31762	0.00001	0.00273	0.18501	
13	120m	0.31207	0.00001	0.00222	0.18501	
14	130m	0.30760	0.00001	0.00163	0.18501	
15	140m	0.30193	0.00001	0.00151	0.18501	
16	150m	0.29827	0.00001	0.00083	0.18501	
17	160m	0.29212	0.00001	0.00127	0.18501	
18	170m	0.29051	0.00001	0.00050	0.18501	
19	180m	0.28326	0.00001	0.00163	0.18501	
20	190m	0.28737	0.00001	0.00295	0.18501	
21	200m	0.28328	0.00001	0.00881	0.18501	
22	210m	0.31240	0.00001	0.02961	0.18501	
23	220m	0.42551	0.00002	0.08510	0.18501	

2.3.5 Desander 규모에 따른 유사 차집 효율 분석

[식 1]에 제시된 개념을 바탕으로 현 제원(W 21.4m×H 22.0m×L 180.0m)을 통해 Desander에서의 체류시간과 제거 목표 유사 0.25mm의 필요 침전시간을 계산한 결과, 과는 각각 813초, 773초로 이 보다 큼에 따라 현 제원으로 제거 유사를 차집함에 있어 문제가 없는 것으로 판단된다. 또한, SSIIM을 통해 계산된 단면 최대 유속이 수평방향 평균 유속보다 크게 산정됨에 따라 SSIIM 유사 이동 해석의 결과를 통해 현 Desander 규모의 적정성을 평가하였다.

검토 결과, 본 프로젝트의 제거 목표 유사 입경인 0.25mm보다 큰 유사에 대해 현 Desander의 규모로 100% 제거가 가능한 것으로 분석되었으며 해당 입경보다 작은 입경부터 차집 효율이 100% 보다 낮게 유지되는 것으로 분석되었다. 그러나, 유사 차집 효율은 입경별 침강속도에 따라 달라질 수 있기 때문에 향후 현장 채취 시료를 이용하여 실질적인 침강속도 실험을 수행할 것으로 추천한다. 본 연구에서 유사 입경별 침강속도와 유입 유사량 자료를 통해 현 제원을 기준으로 입경별 차집 효율을 분석한 결과는 [표 9]에 제시하였다.

[표 9] 파키스탄 Athmuqam Desander 유입 유사 입경별 차집 효율 분석 결과표

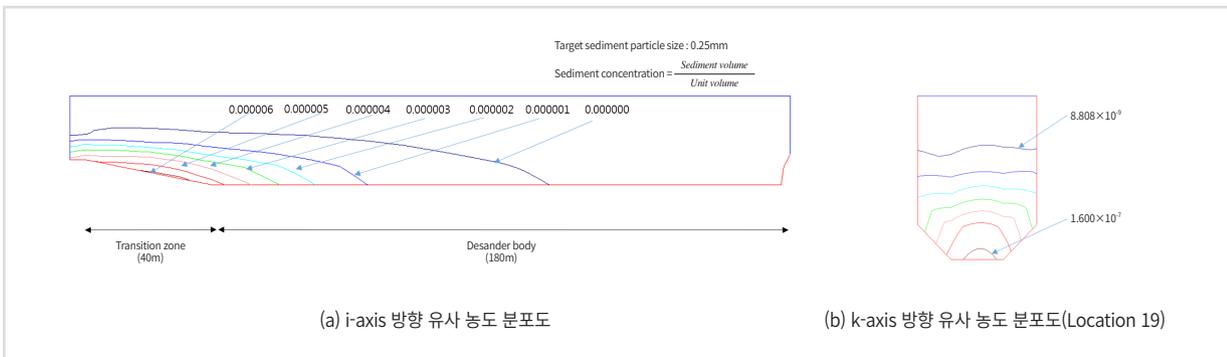
Diameter	Sediment inflow (kg/s)	Trapped Sediment (kg/s)	Trap efficiency (%)	Description	
1	0.15mm	3.23	2.79	86.4	-
2	0.20mm	0.48	0.47	97.0	-
3	0.25mm	0.55	0.55	100.0	Target
4	0.30mm	0.61	0.61	100.0	-
5	0.50mm	3.04	3.04	100.0	-
6	1.00mm	5.98	5.98	100.0	-
7	5.00mm	8.72	8.72	100.0	-
8	over 5.00mm	9.69	9.69	100.0	-
Total	32.30	31.85	98.6	-	

추가적으로, SSIIM은 Grid별(격자별) 유사 농도 결과 제 공이 가능하다. 농도 단위는 용적 분율(Volume fraction) 로써 단위 부피당 유사 부피의 비이다. 입경 0.25m의 최대 유사 농도는 0.000006으로 Transition zone 위치에서 형성됐으며 Desander main body쪽으로 갈수록 유사 농도는 낮아지고 [표 8]의 Location 19에서 0에 가까운 농도가 형성됨에 따라 해당 위치에서 입경 0.25mm 를 가지는 유입 유사 가 100% 차집 완료 됐다고 판단할 수 있다. 입경 0.25m에 대한 Desander에서의 농도 분포는 [그림 8]과 같다.

3 결론

본 연구에서는 Desander의 적정 규모를 산정하기 위하여 기존 Desander 설계 사례를 조사하여 파키스탄 Athmuqam HPP F/S에 적용된 Desander 설계와 비교· 검토하였다. 현 F/S상의 제안된 Desander의 규모가 기존 설계사례와 경험식을 통해 산정된 Desander의 규모가 비해 과소 설계된 것으로 평가 할 수 있지만 3차원 수치해 석을 통해 현 Desander 규모의 적정성을 제거 입경 유사 0.25mm의 차집 효율을 통해 평가한 결과, 제거 목표 입경 0.25mm에 대해 현 Desander 규모로 100% 차집이 가능한 것으로 분석되었다.

[그림 8] 입경 0.25mm에 대한 Desander 내 농도 분포도



본 연구는 SSIIM을 이용하여 제거 목표 유사 입경의 차집 효율(Trap efficiency)로 Desander의 적정 규모를 평가할 수 있는 설계법을 제안하였으며 설계 단계에서 결정되는 최소 제거 유사 입자와 차집 효율에 의한 Desander의 적정 규모 평가 분석을 파키스탄 Athmuqam 프로젝트를 대상으로 평가하였다. 연구 성과로 다음과 같은 결론을 얻었다.

- ① SSIIM을 통해 해석된 차집 효율을 기초로 Desander의 적정 규모를 계획할 경우 경험적 방식에 비해 설계의 객관성과 신뢰성을 제고할 수 있다.
- ② 3차원 수치해석을 통해 grid 별 유사농도를 확인할 수 있어 Desander 형상과 규모에 대한 정량적 평가가 가능하다.

향후 수력발전 프로젝트의 Desander 설계를 수행함에 있어 본 설계법을 적용할 시 합리적이고 객관적인 결과를 제공하여 설계의 신뢰성을 제고할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 450MW Athmuqam Hydropower Project Feasibility Study Report, KHNP Consortium (2018)
2. Ministry of New and Renewable Energy Government of India, "Guidelines for Hydraulic Design of Small Hydro Plants", Technical report, Alternate Hydro Energy Centre Indian Institute of Technology (2008)
3. 이응천, "댐 및 수력 발전 공학", 씨아이알 (2013)
4. NILS REIDAR B. OLSEN, A three-dimensional numerical model for simulation of sediment movements in water intakes with multiblock option (User's manual) (2014)