

성층기 저수지 수체 인공순환 모사

Fluid Flow CFD Simulation in Lake during Summer Stratification

이요상*, 반양진**, 손병용***, 김영성****

Yosang Lee, Yang Jin Ban, Byeong Yong Sohn, Youngsung Kim

요 지

저수지에 설치된 물순환장치는 저수지 수문상황과 자연조건의 변화에 따라 유동특성이 상이하므로 연구자가 고려하는 다양한 조건에서 현장 측정하기는 불가능하다. 이런 문제를 대체하는 방안으로 전산유체유동(CFD) 모형을 적용한 모사를 실시함으로써 다양한 조건에 따른 효과를 평가할수 있게 된다. 본 연구에서는 전산유체유동을 통한 대류식 물순환장치의 유동영향범위와 수질변화 등을 평가하고, 다양한 조건에서 모사를 실시하여 최적운영방안을 도출하고 실제운영에 활용토록 하고자 한다.

수체거동을 모사하기 위해 실제 저수지를 형상화한 Domain을 3가지로 구성하였다. 첫번째는 반경 20m, 깊이 40m Domain에 물순환장치를 중앙에 설치한 것이며(D20), 두 번째는 반경 40m, 깊이 40m에 두 개의 물순환장치를 양쪽에 설치하였고(D40), 세 번째는 반경 100m, 깊이 40m로 설정(D100)하였고 양쪽에 두 개의 물순환장치를 설치한 것으로 구성하였다. CFD에 의한 개별 대류식 순환장치의 유동모사결과 D20은 시간의 경과에 따라 수온성층이 하강하는 현상이 나타났으며 이러한 결과로 판단할때 40m 간격으로 대류식 순환장치를 설치하여 운영하면 탈성층이 나타날 수 있을것으로 판단되었다. D40에 대하여 CFD에 의한 유동모사를 실시하였으며 시간의 경과에 따라 수온성층의 변화는 나타나지 않았다. 이러한 결과로 판단할때 40m 간격으로 한줄로 대류식 순환장치를 설치하여 운영하면 성층을 깨는 현상은 나타나지 않을 것으로 평가되었다. 반면 Dye테스트시 심층에서 상승한 수체는 수온성층 표면에서 수평방향으로 계속 퍼져 나가면서 옆장치에서 상승된 수체와 혼합이 활발히 이루어 지는 현상을 나타내었다. 장치간 거리가 100m인 대류식 물순환장치에 의한 유동모사시 수온성층의 변화는 전혀 나타나지 않았으며, Dye테스트시 심층에서 상승한 수체는 수온성층 위에서 수평방향으로 퍼져 나가면서 옆에서 가동되는 장치에서 상승된 수체와 혼합 현상을 나타내기는 하나 D40보다 혼합시간이 더 걸리는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 저수지, 물순환장치, 성층기, CFD, 수온성층 변화

1. 서 론

호수에서는 하절기가 되면 표면과 심수층간 수온성층이 형성된다. 이로 인해 호수의 물이 상하층간 정체되고 심수층에서 용존산소의 소비가 증가되어 무산소층이 형성되기도 한다. 이와 같은 용존산소의 결핍으로 저수지 퇴적층에서 무기물의 용출과 함께 내부부하가 증가하게 되고, 영양염을 포함한 유입수등의 외부부하가 가중되어 호수에서는 식물플랑크톤농도의 증가와 투명도 저하 등의 저수지 부영양화현상이 나타나게 된다. 이러한 현상을 제어하는 방안으로 적용된 방법이 인공순환이다. 이 방법을 효과적으로 사용하는 경우 심수층의 산소농도가 증가하여 혐기성층이 소멸되거나 조류의 서식조건을 악화시킴으로서 녹조현상

* 정회원 · 한국수자원공사 K-water연구원 수자원연구소 책임연구원 · E-mail : yslee@kwater.or.kr

** 정회원 · 한국수자원공사 댐-유역관리처 수질환경팀 팀장 · E-mail : banyang@kwater.or.kr

*** 정회원 · 한국수자원공사 댐-유역관리처 수질환경팀 차장 · E-mail : sonby@kwater.or.kr

**** 정회원 · 한국수자원공사 K-water연구원 수자원연구소 책임연구원 · E-mail : yskim@kwater.or.kr

을 제어할수 있는 장점이 있으나, 심수층의 암모니아 농도와 수온이 상승하는 부작용을 초래하여 냉수성 어류의 서식환경을 악화시킬수도 있는 것으로 보고되고 있다.

국내 대부분의 인공호소는 부영양화로 인해 하절기에 조류의 과잉성장이 종종 발생되며 이로인한 경관 장애 및 상수원사용시에 문제점이 발생하고 있다. 본 연구에서는 용담다목적댐에 설치된 대류식 물순환장치의 유동영향범위등 효과를 평가하기 위해, CFD적용을 통한 다양한 조건에서 모사를 실시하고자 한다.

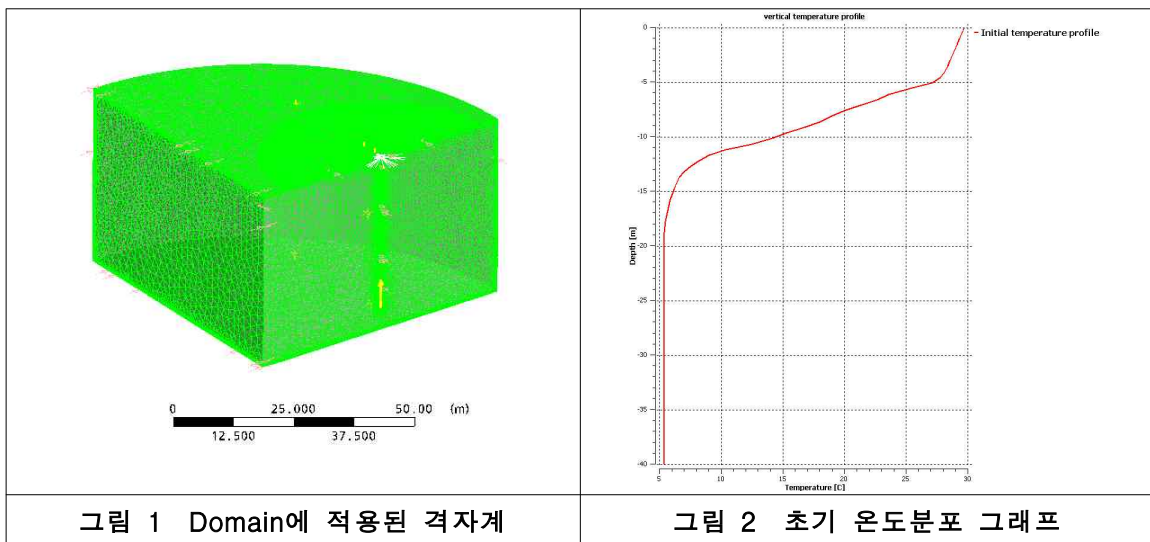
2. 전산유체유동(CFD) 해석

저수지에 설치된 물순환장치는 저수지 수문상황과 자연조건의 변화에 따라 운영효율이 상이하다. 따라서 연구자가 고려하는 수문상황이나 자연조건과 같이 다양한 조건에서 현장 측정하기는 불가능하며 이런 문제를 대체하는 방안으로 전산유체유동(CFD) 모형을 적용한 모사를 실시함으로써 다양한 조건에 따른 순환효과를 평가할수 있게 된다.

2.1 해석 도메인 설정

CFD를 이용한 수체거동을 모사하기 위해서 Domain은 3가지로 구성하였다. 첫번째는 반경 20m, 깊이 40m로 설정(D20)하였고 중앙에 물순환장치를 설치한 것이며, 두 번째는 반경 40m, 깊이 40m로 설정(D40)하였고 양쪽에 두 개의 물순환장치를 설치하였고, 세 번째는 반경 100m, 깊이 40m로 설정(D100)하였고 양쪽에 두 개의 물순환장치를 설치한 것으로 구성하였다. 대류식 물순환장치가 분출하는 유량의 모멘텀이 수평방향으로 영향을 미치지 않도록 반경을 멀리 잡을수록 유리하지만, 격자가 늘어나면 계산시간이 많이 걸리게 되므로 차별화하여 결정하였다. 그림 1 은 해석 Domain에 적용된 격자를 보여주고 있다. 격자로는 사면체 격자를 적용하였고, 벽 근접영역의 속도구배를 모사하기 위해 벽쪽으로 프리즘 격자를 적용하였다. 수면부는 순환장치의 분출부에서 멀어질수록 속도가 느려지는 경향을 반영하여 격자를 생성하였다.

본 해석에서 작동유체는 물이며, 온도차가 있는 유동해석이므로 열전달 모델을 적용하였고, 부력에 의한 대류가 일어날 것이므로 부력 모델을 적용하였다. 해석에서 매우 중요한 조건으로 온도성층 조건을 유지하는 것을 들 수 있는데, 이를 위해 CFD에서 제공하는 복사모델 중 Discrete Transfer 복사모델을 적용하였다.



2.2 경계조건

수치모사를 진행하기 위해서는 해석 Domain을 둘러싸고 있는 모든 surface들에 대하여 미리 설정한 Domain Physics에 대응하는 경계조건을 설정하여야 한다. 분출부의 유속은 해석조건으로 제공된 물순환장치의 일일양수량 10,656 m³/day을 분출부의 면적과 유속과의 관계를 이용하여 결정하였으며 분출부 표면에서 수평방향으로 일정한 속도로 분출 되는 것으로 설정하였다. 벽조건으로 적용해야할 대상 surface는 Domain의 바닥면, 폭기장치의 파이프 면, Domain 바깥쪽 면이다. surface들은 고체와 유체의 경계면으로 벽에서 유체의 유속은 no-slip조건을 적용하였다.

Transient 해석이므로 속도에 대한 초기조건은 정지해 있는 상태에서 수체거동 모사를 시작하는 것으로 가정하여 속도는 0으로 설정 하였으며, 압력은 Relative Pressure를 0 [Pa]로 설정 하였다. 초기 온도분포는 수심에 따라 그림 2 에 나타난 그래프와 같으며, 이 값은 현장에서 측정된 값으로 온도분포는 수심별로 일정하게 적용되었다. 압력장은 부력모델을 적용하였기 때문에 수심에 따라 유체정역학적인 선형분포를 나타내며 유동장 내 유속이 작아 전체 압력 분포는 유체정역학적인 분포를 보이고 이는 수치모사 시간동안 일정하다. 복사조건으로는 수표면에서의 열전달이 실제 대기온도와 기상조건에 따라 이루어 지게 된다. 실제 조건을 단순화하여 대기 온도를 낮에는 30°C, 밤에는 25°C 로 일정하게 유지하는 것으로 가정하고 수면에서의 열전달 계수를 낮에는 8000 W/m²·K, 밤에는 5000 W/m²·K로 설정을 하여 수체거동을 모사하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 3 은 수면의 유체속도 분포를 보여주고 있는데, 분출구에서 멀어질수록 유속이 느려지는 것을 관찰할 수 있다. 반경방향으로 10m 지점까지 분출되는 유동의 영향을 받고, 그 보다 먼 지점에는 영향이 급격히 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 그림 4 는 반경방향의 수면 온도분포를 보여주고 있다. 장치로부터 분출된 저온의 물이 반지름 약 10m 지점까지는 수온변화에 영향을 미치는 영향권인 것을 알 수 있다.

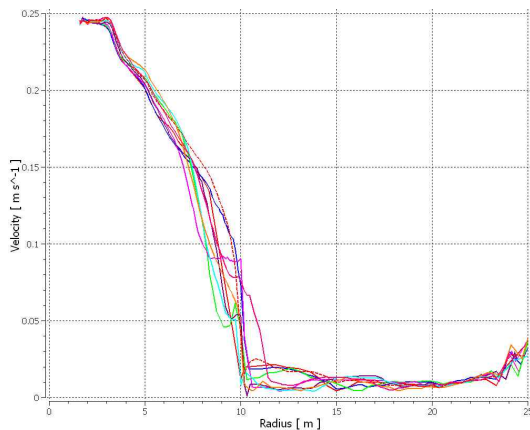


그림 3 반경에 대한 수면속도 분포

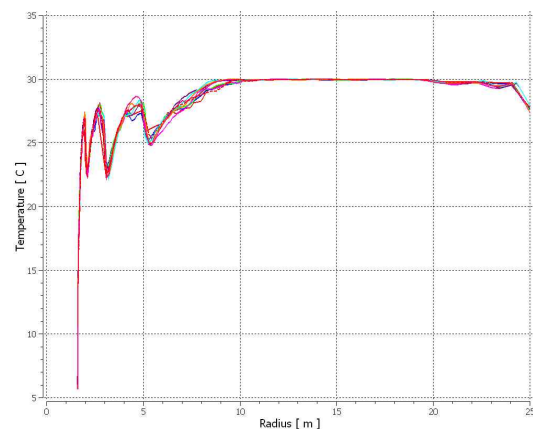


그림 4 반경에 대한 수면온도 분포

1) D20 결과

CFD에 의한 개별 대류식 순환장치의 유동모사결과 시간의 경과에 따라 수온성층이 낮아지는 현상이 나타났다(그림 5). 이러한 결과로 판단할때 40m 간격으로 바둑판 형태로 대류식 물순환장치를 설치하여 운영하면 수체에서 성층이 깨질수 있을 것으로 보이나, 자연조건에 따라 상이한 결과가 나타날 가능성도 있다.

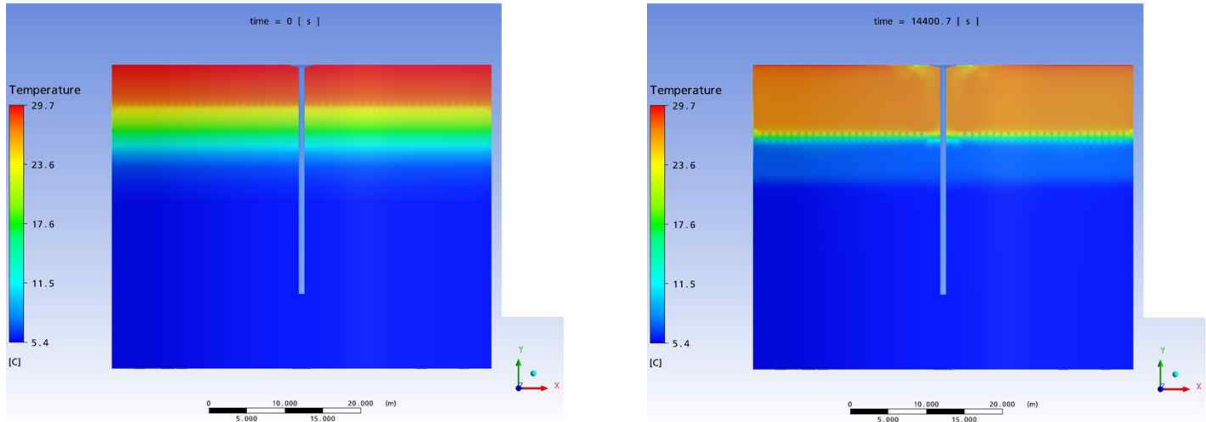


그림 5 D20에 의한 수온성층 변화

2) D40 결과

CFD에 의한 대류식 순환장치의 장치간 간섭현상 유동모사를 실시하였다. 장치간 거리는 40m로 하였으며 시간의 경과에 따라 수온성층의 변화는 나타나지 않았다(그림 6). 이러한 결과로 판단할때 40m 간격으로 일직선으로 대류식 순환장치를 설치하여 운영하면 성층을 깨는 현상을 나타나지 않을 것으로 평가되었다. 반면 간접영향권을 나타내는 Dye테스트 결과에 의하면 심층에서 상승한 수체는 수온성층 위에서 수평방향으로 계속 퍼져 나가면서 옆장치에서 상승된 수체와 혼합이 활발히 이루어 지는 현상을 나타내었다(그림 7).

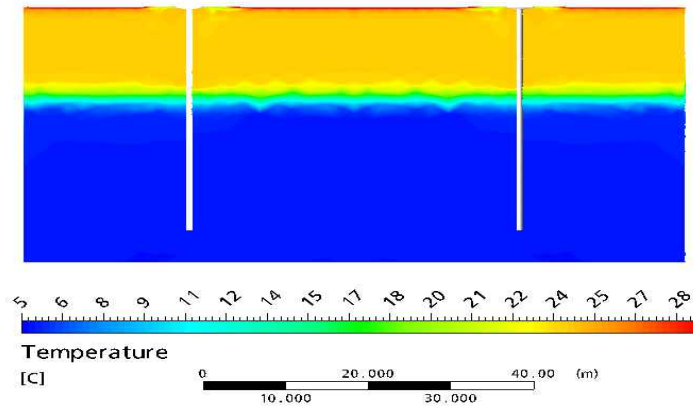


그림 6 D40에 의한 수온성층 변화

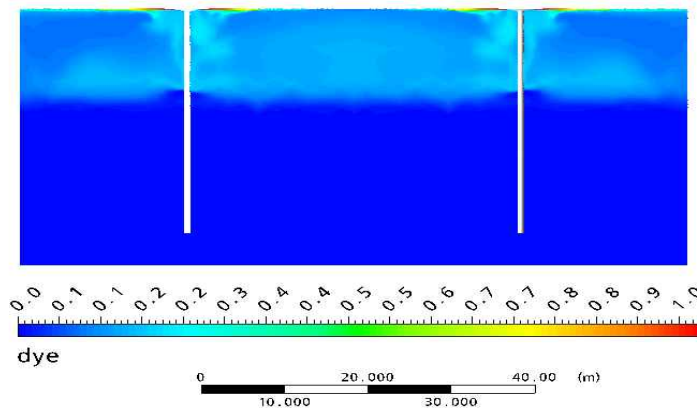


그림 7 D40에 의한 Dye확산 변화

3) D100결과

장치간 거리가 100m인 대류식 물순환장치에 의한 장치간 간섭현상을 CFD를 적용하여 유동모사를 실시한 결과 시간의 경과에 따라 수온성층의 변화는 나타나지 않았다. 이러한 결과로 판단할때 100m 간격으로 대류식 순환장치를 설치하여 운영하면 성층에는 영향을 미치지 못하는 것으로 평가되었다. 반면 Dye테스트 결과에 의하면 심층에서 상승한 수체는 수온성층 위에서 수평방향으로 계속 퍼져 나가면서 옆에서 가동되는 장치에서 상승된 수체와 혼합 현상을 나타내기는 하나 D40보다 시간이 조금 더 걸리는 것으로 나타났다. 그러나 현장에서와 같이 3~5개월간 연속하여 물순환장치를 가동하면 보다 뚜렷한 혼합현상을 관찰할수 있을 것으로 판단되었다.

4. 요약 및 결론

CFD에 의한 대류식 물순환장치의 유동모사결과 D20은 시간의 경과에 따라 수온성층이 하강하는 현상이 나타났으며 이러한 결과로 판단할때 40m 간격으로 대류식 순환장치를 설치하여 운영하면 탈성층이 나타날 수 있을것으로 판단되었다. D40에 대한 유동모사를 실시한 결과 시간에 따른 수온성층의 변화는 나타나지 않았으므로 40m 간격으로 한줄로 대류식 순환장치를 설치하여 운영하면 성층을 깨는 현상은 나타나지 않을 것으로 평가되었다. 반면 Dye테스트시 심층에서 상승한 수체는 수온성층 표면에서 수평방향으로 계속 퍼져 나가면서 옆장치에서 상승된 수체와 혼합이 활발히 이루어 지는 현상을 나타내었다. 장치간 거리가 100m인 대류식 물순환장치에 의한 유동모사시 수온성층의 변화는 전혀 나타나지 않았으며, Dye테스트시 심층에서 상승한 수체는 수온성층 위에서 수평방향으로 퍼져 나가면서 옆에서 가동되는 장치에서 상승된 수체와 혼합 현상을 나타내기는 하나 D40보다 혼합시간이 더 걸리는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 3가지 조건에서 CFD모사를 실시하여 평가한 것으로 보다 정확한 수체의 거동을 모사하기 위해서는 다양한 수심변화와 온도조건을 변화시켜야 할 필요가 있으며, 복수개의 물순환장치에 대한 변화된 조건에서 많은 자료를 수집해야 보다 정확한 모사결과를 도출할수 있을 것으로 판단되었다.