

**퇴적현상으로 인한 뱀섬의 육지화가
한강 홍수에 미치는 영향에 대한 수리적 고찰**

양성연 · 이윤하

하나고등학교

**Hydraulic Analysis of Bamseom Terrestrialization and Its Impact on Flood
Dynamics on Hangang River**

Seong-Yeon Yang · Yoon-Ha Lee

Hana Academy Seoul

Abstract

Based on Bamseom's geological and ecological significance, this study analyzes the influence of Bamseom's recent change in its area and terrestrialization on the flow of Hangang River and ultimately occurrence of flood. Terrestrialization and area increase require great attention, because they result from sedimentation processes, which would only worsen in our nearest future. This study integrates several numerical data sets such as the annual increase of Bamseom area, the water level of adjacent Hangang River, and digital elevation model (DEM) to create a river simulation model for Bamseom and the surrounding area. We operated HEC-RAS (U.S. Army Corps of Engineer's River Analysis System) in order to visualize Hangang River, and thus simulating the river flow in the circumstance of flood. Our founding gained from multiple simulation suggests that the terrestrialization phenomenon itself is not an urgent issue that can instantly change the flow of Hangang river. However, when the intensity of terrestrialization increases, it can severely affect the flow of the river and thus promotes flood occurrence. Therefore, our study holds its significance by emphasizing the impact that Bamseom's change has on the flow of the river and furthermore urges to pay more attention to Bamseom, not just as the ecological hub in city, but for the sake of neighbor's safety.

Key words: Bamseom, terrestrialization, HEC-RAS, river flow simulation of flood

1. 서론

밤섬은 마포구 주변의 한강에 형성된 섬으로, 서울의 유일한 습지이자 도심 속 철새 도래지이다. 밤섬은 2012년부터 야생 동물의 서식지와 희귀한 유형의 습지로서의 가치를 인정받아 랍사르 습지로 지정되기도 했다. 수생 및 육상생물의 서식에 적합한 환경을 조성함과 동시에 도심의 철새 도래지라는 점에서 그 생태적 보호가치를 인정 받은 것이다. 현재는 멸종위기종인 흰꼬리수리, 새매 등을 포함해 40여종, 10,000여 마리의 새들이 관찰되고 있으며 한강의 생태적 요충지 역할을 수행하고 있다(오충현 외, 2013).

이러한 생태적 가치를 인정받은 밤섬은 근 50년간 많은 면적 변화를 겪고 있다. 지속된 퇴적으로 인해 본래 윗밤섬과 아랫밤섬으로 나누어져 있어 섬을 나누던 물길은 막히고 육지화가 진행되는 것과 더불어 총 면적도 약 6.4배나 증가했다. 육지화와 면적 변화의 실태는 밤섬에 서식하는 나무의 우세종이 버드나무에서 능수버들로 바뀌는 등의 생태적 변화가 여실히 보여준다(현인아, 2023). 밤섬의 퇴적물로 인한 육지화는 단순히 밤섬의 생태 환경에만 변화를 일으키는 것이 아닌, 한강의 범람에도 큰 영향을 미치게 된다. 선행연구에 따르면 밤섬이 홍수에 미치는 영향은 여의도 셋강이 주는 영향보다도 크게 나타났으며, 밤섬의 유무에 따라서는 약 10cm의 수위차를 보이는 것으로 나타났다(이종태&전형준, 2000).

퇴적은 직접적인 인간의 개입이 없는 한 지속될 것이므로, 밤섬의 추후 육지화와 면적의 증가 양상은 예상되는 바이기에 밤섬의 변화가 한강의 범람에 유의미한 영향력을 행사할 것으로 예측되는 시점을 파악하는 것이 필수적이다. 이에 하천 모델링 HEC-RAS 모형과 밤섬 수위 실측 데이터를 활용해 홍수 기간의 밤섬 구간의 수위 데이터를 시각화하고 홍수 상황 시뮬레이션을 통해 밤섬의 육지화 정도에 따른 차이점을 비교해보는 탐구를 진행했다. 해당 프로젝트를 통해 한강의 범람에 미치는 영향이 치명적인 수준이 되는 그 임계점을 파악하고 이는 곧 범람으로 인해 발생할 수 있는 여러 인명, 재산, 문화적 피해를 사전에 예측해 피해 감소에 큰 도움이 될 것으로 예상된다.

2. 이론적 배경

2.1. 밤섬의 면적 변화와 육지화 현상

1986년 여의도개발 종결 이후, 밤섬은 인간의 개입에서 벗어나 온전히 퇴적 작용에 의해 면적이 지속적으로 증가해왔다. 1986년 골재 채취가 종료된 이후에 1990년까지 면적이 감소하게 된 원인으로, 개발 과정에서는 인위적으로 유지되었던 밤섬이 개발 종료 직후에는 침식 작용에 직접적인 영향을 받았기 때문으로 여겨진다. 이후 1990년대부터는 아래 그래프에서 알 수 있듯이 큰 면적 증가율을 보였고, 2000년대부터는 그 증가폭이 줄어 5% 안팎의 감소된 증가율을 띄고 있었다. 강물이 흐르는 방향으로 인해, 퇴적 작용은 윗밤섬보다 아랫밤섬에 더 큰 영향을 미쳤으며, 궁극적으로 1990년부터 32년 동안 윗밤섬의 면적은 약 20.5%, 아랫밤섬의 면적은 약 94.2% 증가하였다. 더 나아가 밤섬의 토심변화 표지시설 연구를 통해 지속적인 퇴적이 발생했음을 확인할 수 있었다(오충현 외, 2013).

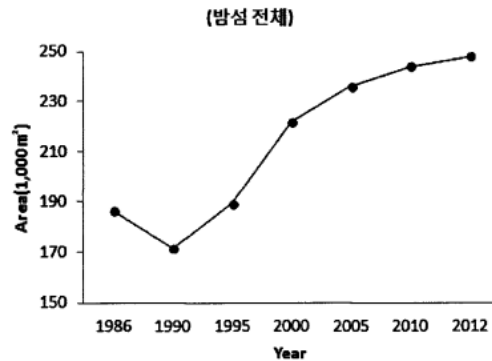


Figure 1. Change of Bamseom's area since 1986

2.2. HEC-RAS 모형

강물은 다양한 요소가 복합적으로 작용하며 흐르기 때문에 댐섬의 면적 변화가 홍수에 미치는 영향을 효율적으로 모델링하기 위해서, 하천 수리공학 모델링 프로그램 HEC-RAS를 활용하였다. HEC-RAS는 정상류 수면형, 비정상류 시뮬레이션, 이동하는 침전물 운반 등을 계산하는 1차원 수리학적 해석 요소를 포함하고 있기에, 본 탐구가 진행하고자 하는 목표인 홍수 시뮬레이션을 실현해 내기에 적합한 모형이라고 판단하였다(한양대학교, HEC-RAS Users Manual).



Figure 2. HEC-RAS 6.5 program starting page

3. 연구 방법 및 절차

3.1. 연구 방법

댐섬 주변 한강을 모델링하기 위해 본 연구는 S-Map(서울시 제공 오픈랩 데이터)에서 제공하는 해발고도 데이터, 한강대교 주변 수위 데이터 실측값, 등을 이용하였다. 서울시에서 제공하는 댐섬 주변 한강의 해발고도를 바탕으로 수위값을 추정하여 HEC-RAS 모형에 대입하였으며, 그 과정에서 추론의 신뢰성을 확인하기 위해 한강대교 주변 수위 데이터의 개형과 비교해 보았다. 더 나아가 한강의 범람 상황의 시각화를 위해 국토지리정보원이 제공하는 DEM 데이터셋을 이용하였으며 조도계수의 변화에 따라 각각 시뮬레이션을 진행해 범람 상황을 관찰하였다. 각 조도계수에 따라 특정 지점에서의 범람 발생 유무와 더불어 유량 그래프에서 나타나는 기울기와 특정 값 등의 차이를 기록하였다.

3.2. 연구 절차

1. HEC-RAS 모형을 활용한 한강 횡단면 모델링

• S-MAP 데이터 이용

밤섬이 지나는 구간의 한강의 횡단면을 모델링하기 위해 서울시가 제공하는 S-Map Openlab의 데이터를 활용하였다. 아래 사진과 같이 각 지점에서의 해발고도를 이용해 수위 데이터로 환산하는 방식을 사용하였다. 이때, 환산하는 식을 생성하기 위해 기준으로써 한강대교의 수위 데이터를 이용했으며 그 결과 (수위)= 2 (해발고도)+ 1 의 식을 얻을 수 있었다. 환산한 수위 데이터를 입력해 출력한 HEC-RAS 모형의 한강 횡단면 데이터의 그래프가 한강대교 수위관측소 지점 하천 단면도와 매우 유사한 개형을 보임을 확인할 수 있었다.



Figure 3. Data extraction from S-Map

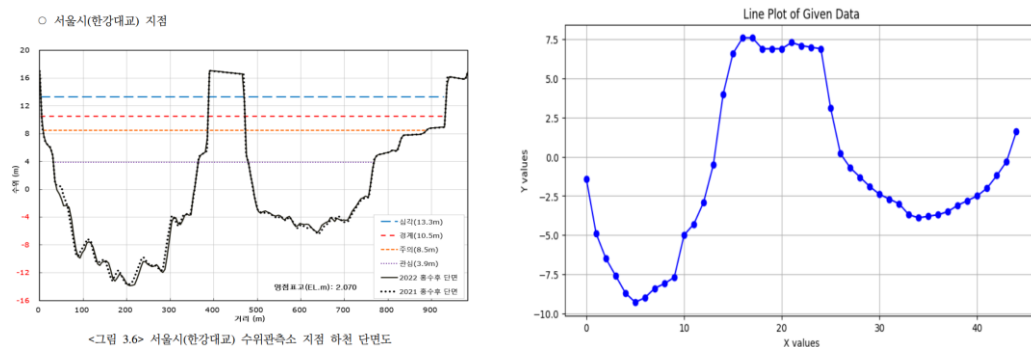


Figure 4. Graph omparison

Terrain Layer

Terrain Layer는 국토지리정보원에서 제공하는 DEM 데이터를 기반으로 생성했다. QGIS에서 XYZ파일에 대한 Rasterize를 진행한 후, 대한민국 지형 전역에 대한 투영좌표계인 UTM Zone 52N(EPSG: 32652) 기반의 GeoTiff파일로 Terrain Layer를 생성하기 위한 지형 데이터를 내보냈다.

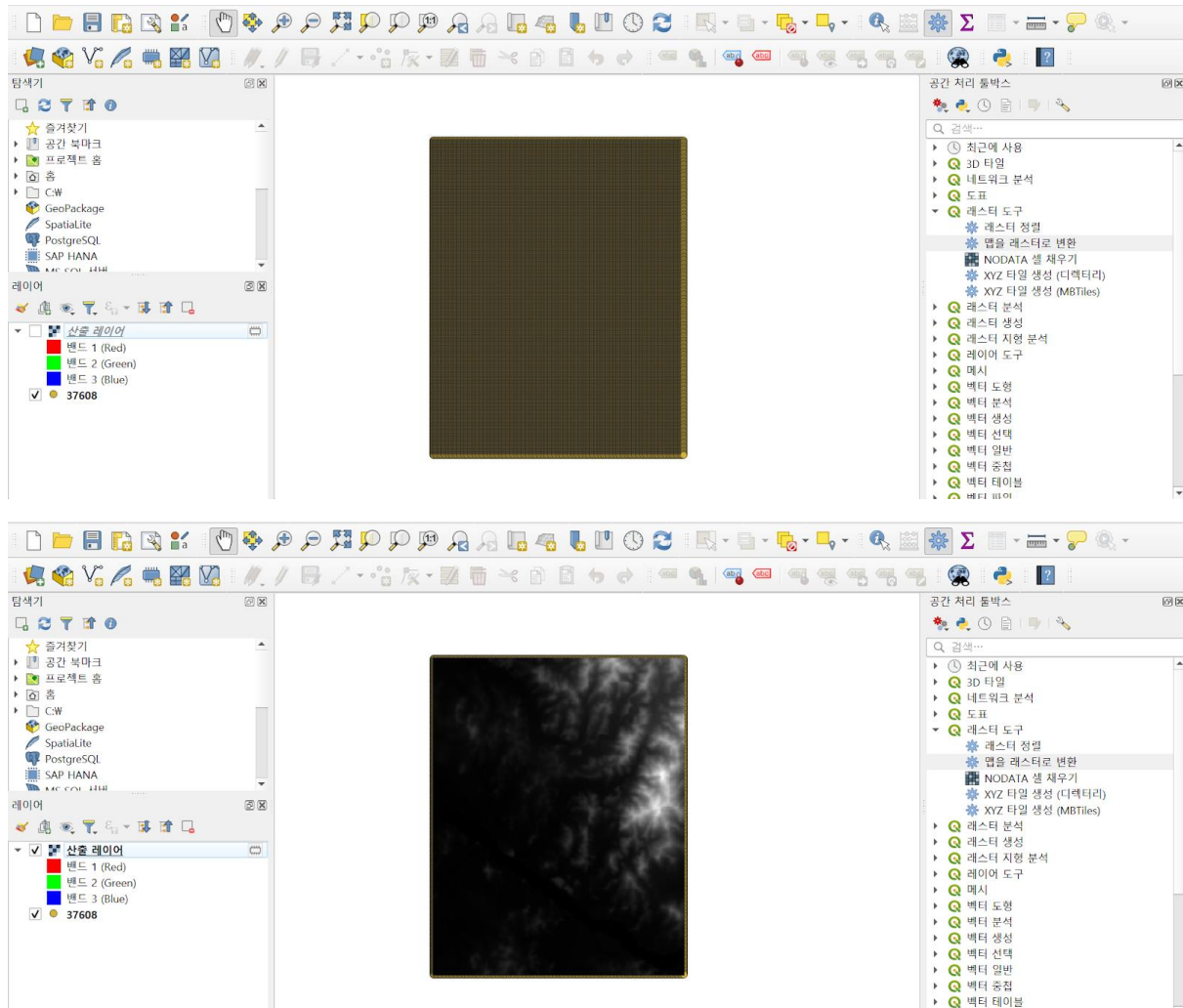


Figure 5. Terrain Layer of Seoul City

Geometric Data

Terrain Layer의 데이터를 보강하기 위해 S-Map의 데이터를 활용해 수집한 데이터를 기반으로 Geometric Data에서 양화대교~한강대교 구간의 횡단면을 생성하고 각각의 고도를 설정했다. 추가적으로 S-Map 상에서 측정한 거리 데이터를 기반으로 횡단면 간 본안, 좌안 및 우안 거리를 설정해주었다. 다음은 HEC-RAS에서 Geometric Data를 입력했을 때의 화면이다:

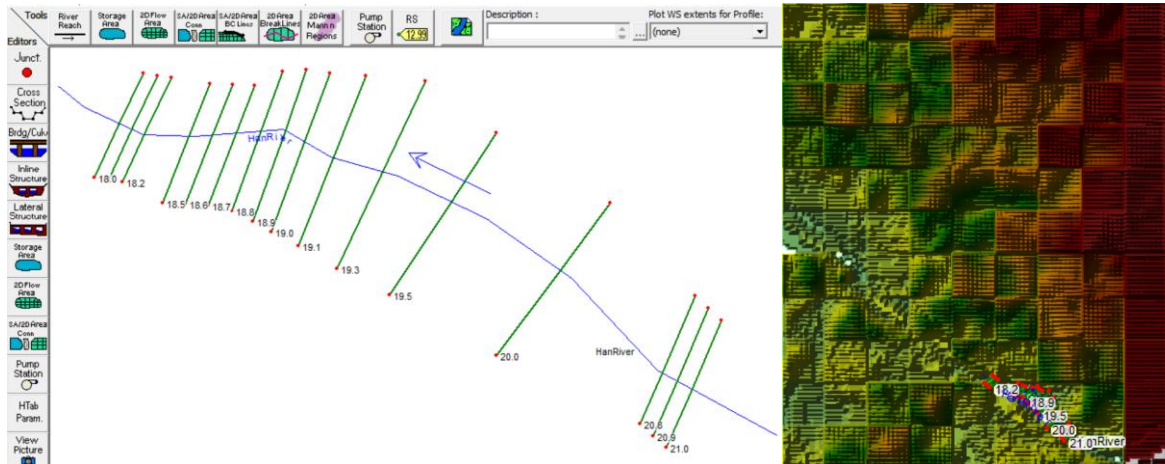


Figure 6. Geometric Data of Hangang River

Roughness Coefficient

조도계수는 물의 흐름에 대한 저항을 나타내는 계수로, 하천 주위 식생, 퇴적물, 수질 등의 영향을 받는다. 가령, 자갈 및 모래에 대한 조도계수는 일반적으로 0.020~0.035의 값을 가지며, 식생이 풍부한 하천에 대한 조도계수는 일반적으로 0.060~0.150의 값을 가진다. 이러한 조도계수는 퇴적물이 축적되고 식생이 성장하는 육지화 과정을 나타내는 지표로서 활용되기에 적합하다. 따라서 본 연구에서는 밤섬의 육지화 과정을 조도계수의 변화를 통해 모델링하였으며, ‘인공습지 조성에 따른 홍수조감효과 분석, 정재원 외(2014)’에서 제안한 조도계수를 감안하여 시뮬레이션 초기 조도계수 값으로 0.070을 채택하였다. 한강 본류의 조도계수는 ‘실측 자료를 이용한 국내하천의 조도계수 산정 - 적용성 및 한강의 계획홍수위 검토 -, 김주영 외(2010)’에서 제시된 조도계수 값을 참조하였다.

Steady Flow Analysis

밤섬의 육지화에 따른 평상시 한강의 흐름을 분석하기 위해 Steady Flow Analysis를 진행했다. Steady Flow Analysis는 ‘홍수규모에 따른 한강의 유황분석 및 지배유량 산정에 관한 연구, 김태화(2001)’을 참조하여 작성했다.

Unsteady Flow Analysis

밤섬의 육지화에 따른 홍수 발생시 한강의 흐름을 분석하기 위해 Unsteady Flow Analysis를 진행했다. Unsteady Flow Analysis는 한강홍수통제소에서 제공하는 ‘수위’ 데이터를 감안하여 설정했다.

4. 연구 결과

다음은 밤섬의 육지화 정도에 따라 한강대교 ~ 양화대교 구간에서 각 단면을 통과하는 유량과 그로 인한 수위를 시각화한 결과이다:

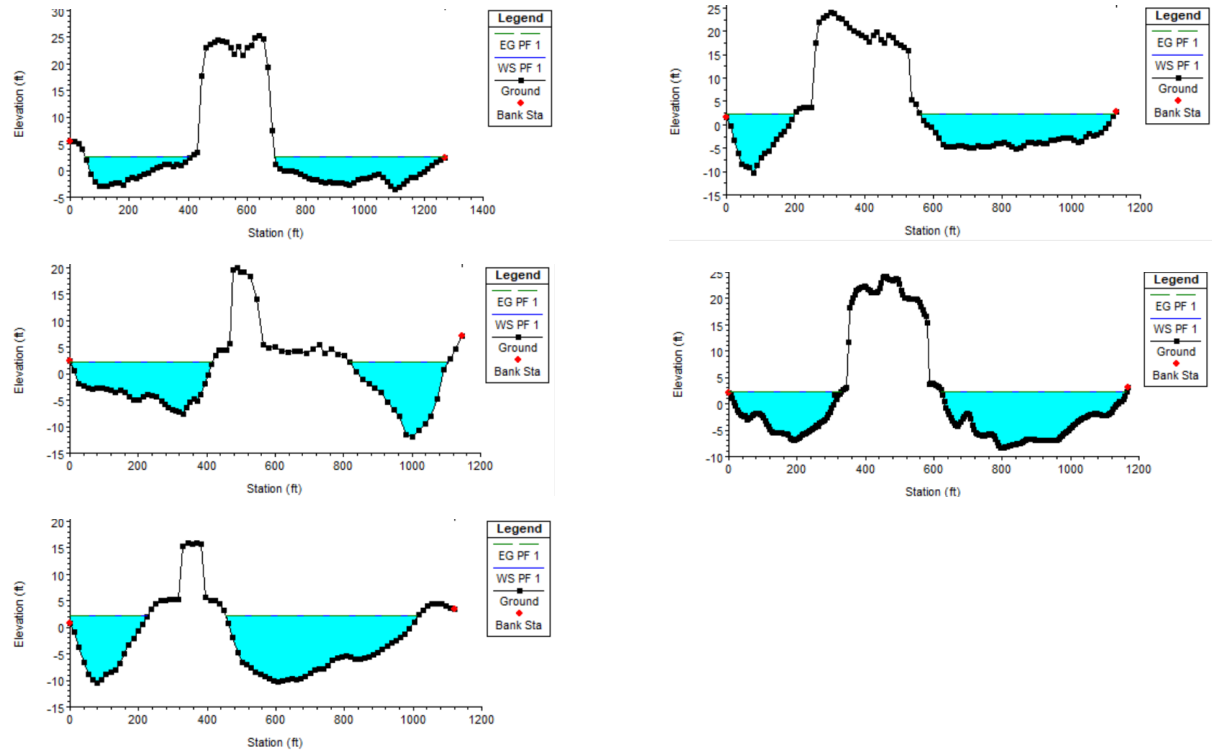


Figure 7. Results of Steady Flow Analysis(Manning's n 0.07)

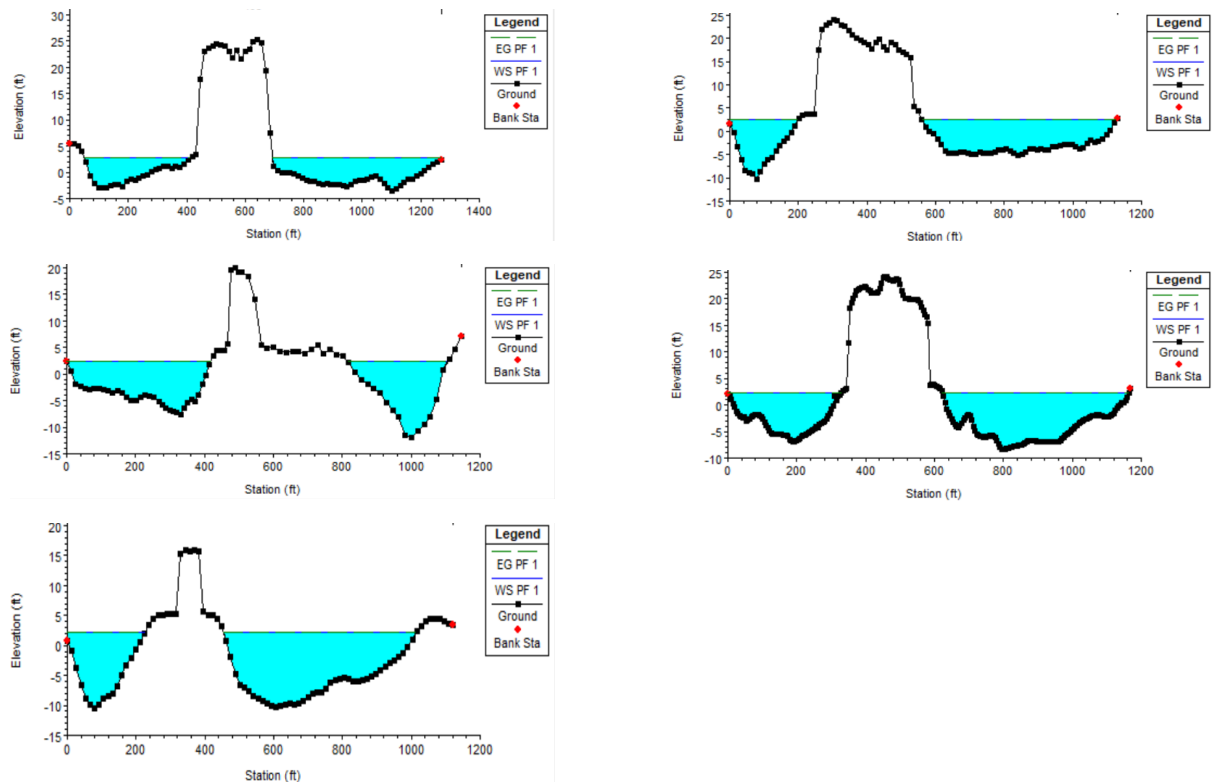


Figure 8. Results of Steady Flow Analysis(Manning's n 0.09)

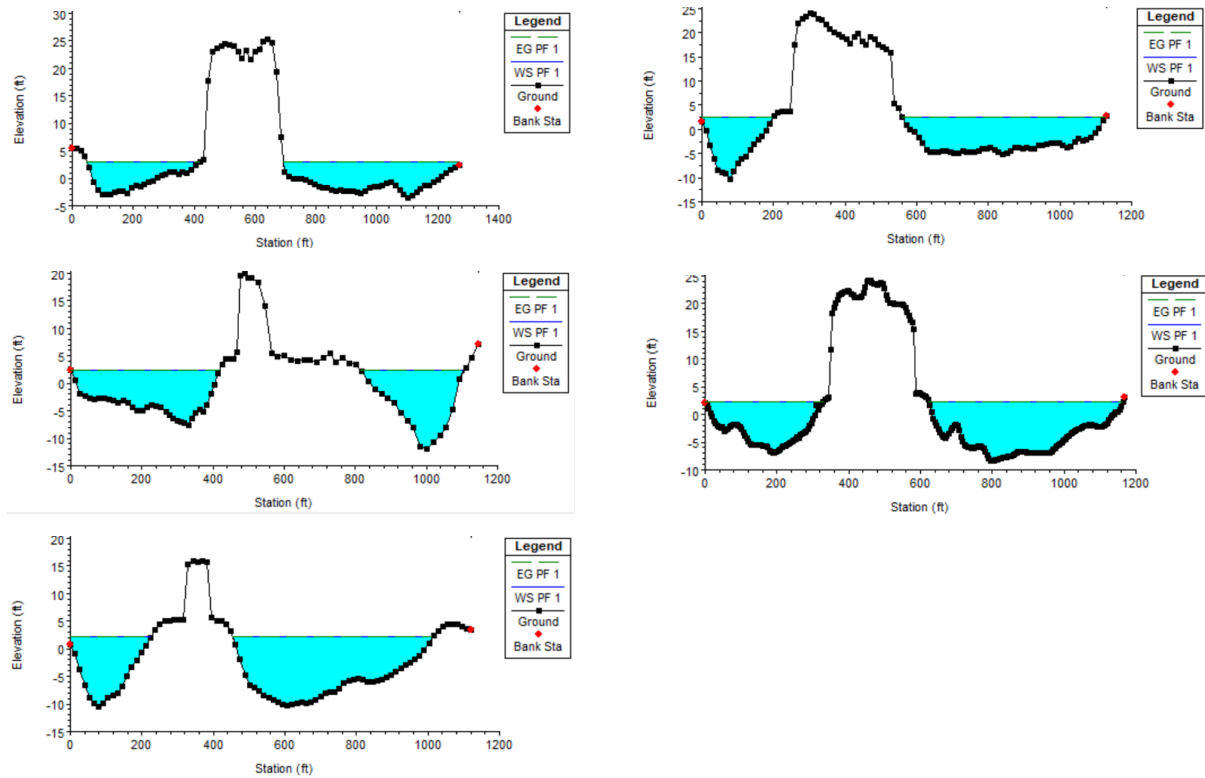


Figure 9. Results of Steady Flow Analysis(Manning's n 0.11)

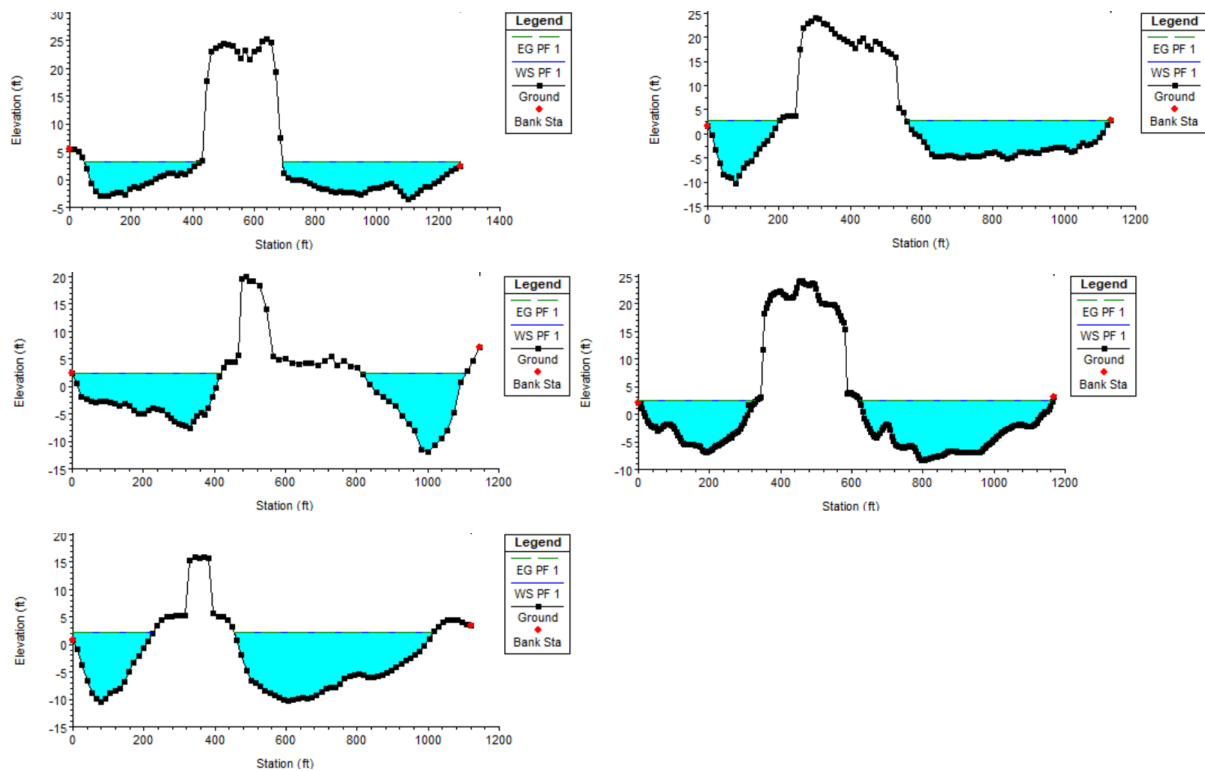


Figure 10. Results of Steady Flow Analysis(Manning's n 0.13)

다음은 밤섬의 육지화 정도에 따른 한강대교 ~ 양화대교 구간의 유속 분포를 나타낸 것이다:

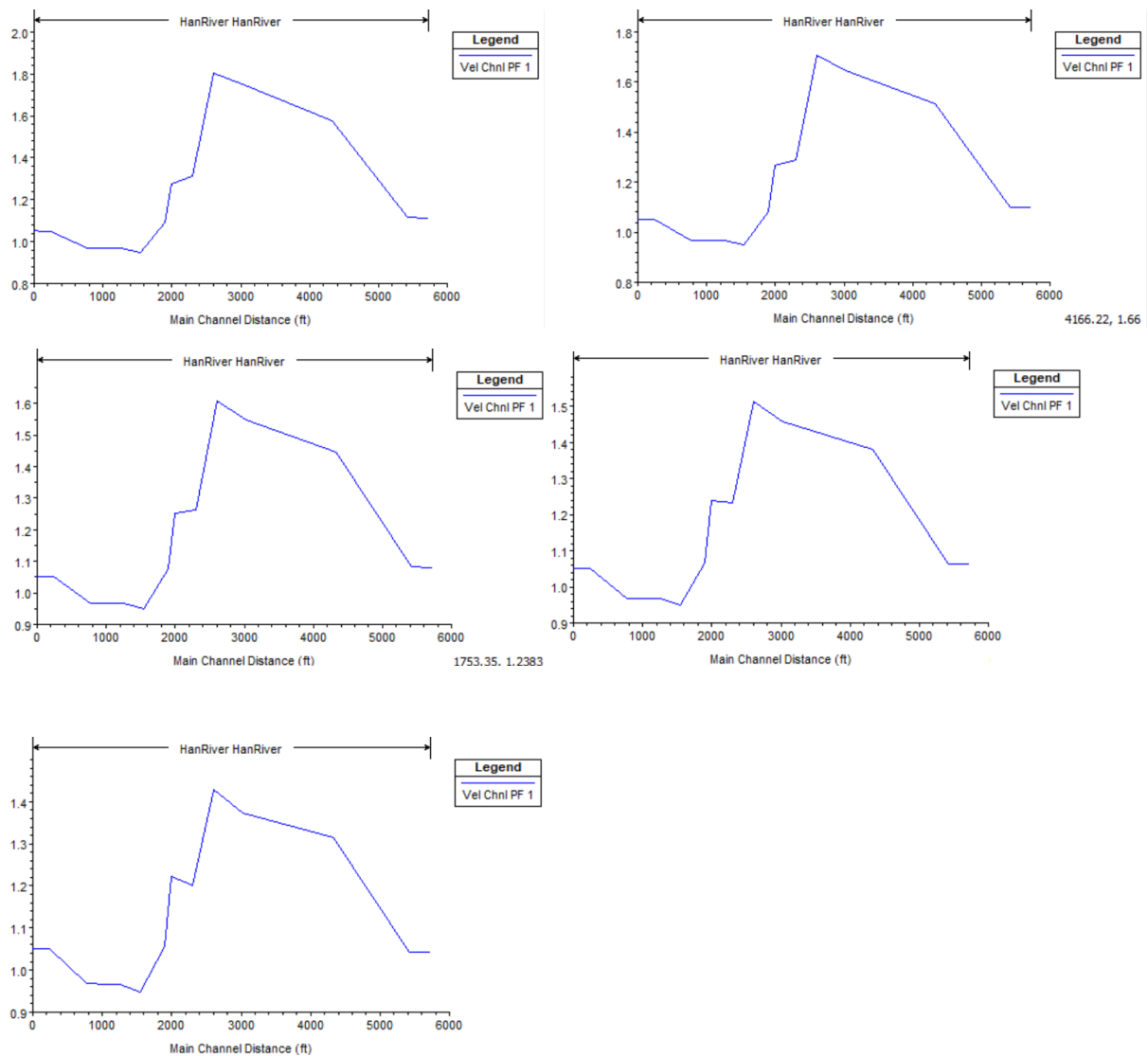


Figure 12. Velocity(Manning's n 0.07, 0.09, 0.11, 0.13, 0.15)

세로축의 인덱스를 살펴보면, 조도계수가 증가함에 따라 유속이 감소함을 확인할 수 있다. 조도계수는 물의 흐름에 대한 저항을 나타내며, 그 값이 클수록 물의 흐름이 느려지므로, 이로부터 모델이 잘 설계되었음을 알 수 있다. 또한, 조도계수가 0.07, 0.09, 0.11인 상황에서 유속 분포가 유사한 양상으로 나타났으나, 조도계수가 0.13, 0.15인 상황에서는 유속 분포가 변화했다. 특히, 가로축 인덱스가 2000~3000인 구간에서 그 차이가 뚜렷하게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

다음은 밤섬의 육지화 정도에 따른 한강대교 ~ 양화대교 구간의 횡단면에서 물과 맞닿는 면적을 나타낸 것이다:

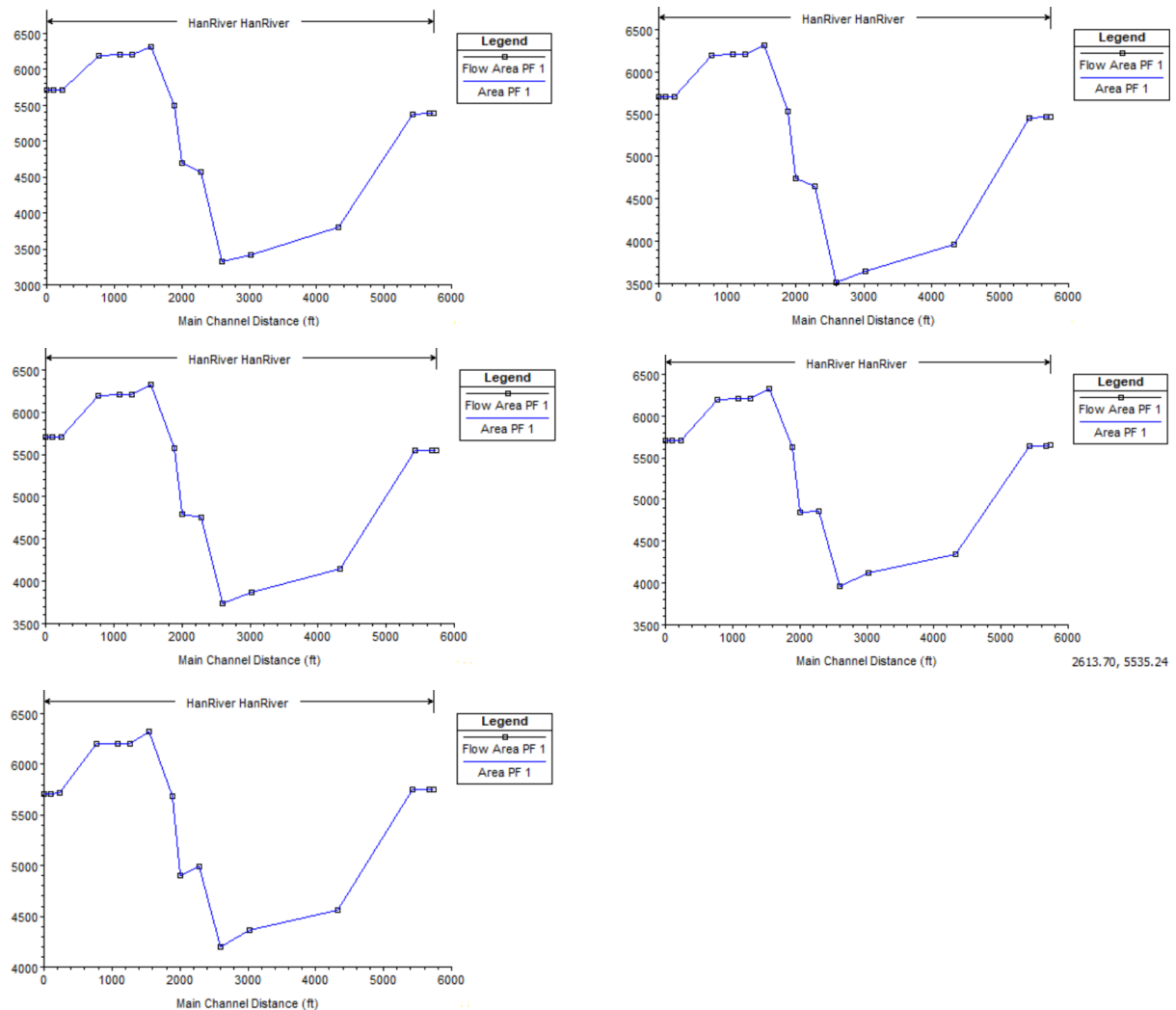


Figure 13. Flow Area(Manning's n 0.07, 0.09, 0.11, 0.13, 0.15)

물과 맞닿는 면적도 마찬가지로 조도계수가 0.07, 0.09, 0.11인 상황에서는 그 분포가 유사하게 나타났으나, 조도계수가 0.13, 0.15인 상황에서는 그 분포가 다르게 나타났다. 역시 가로축 인덱스가 2000~3000인 구간에서 그 차이가 두드러진다.

다음은 밤섬의 육지화 정도에 따른 한강대교 ~ 양화대교 구간의 횡단면을 통과하는 물의 부피를 나타낸 것이다:

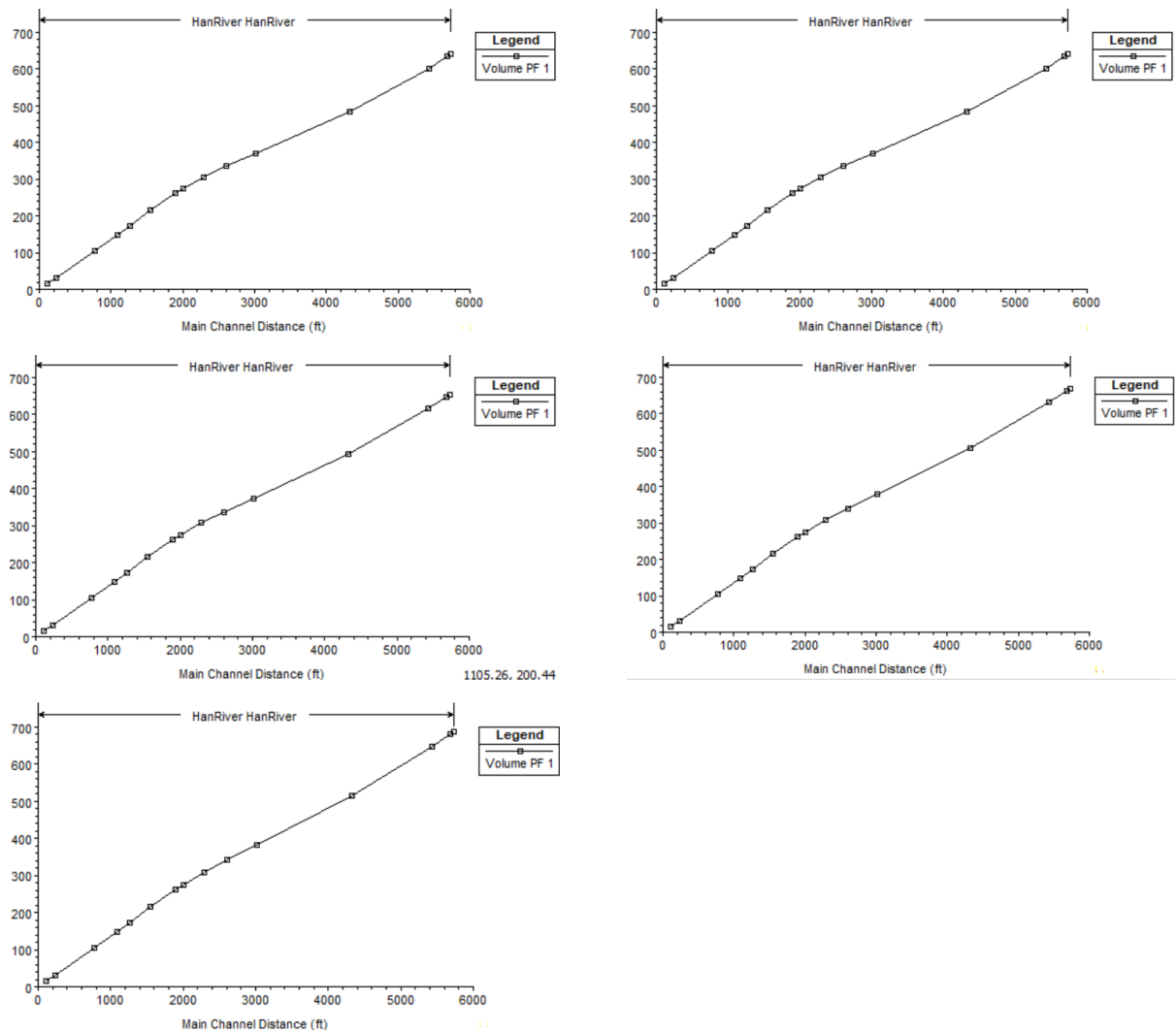


Figure 14. Volume(Manning's n 0.07, 0.09, 0.11, 0.13, 0.15)

횡단면을 통과하는 물의 부피는 전반적인 양상이 모두 유사하게 나타났다. 그러나 조도계수의 값이 클수록 하류에 더 많은 양의 물이 통과함을 알 수 있다. 이는 조도계수의 값이 클수록 유속이 느려지는 것과 상관관계가 있는 것으로 보인다. 조도계수가 클수록 상류와 하류에서의 유속분포 차이가 급격하게 나타났는데, 이로 인해 상류와 하류에 존재하는 물의 양에 차이가 있음을 알 수 있다.

다음은 밤섬의 육지화 정도에 따른 한강대교 ~ 양화대교 구간에서 물의 에너지 분포를 나타낸 것이다:

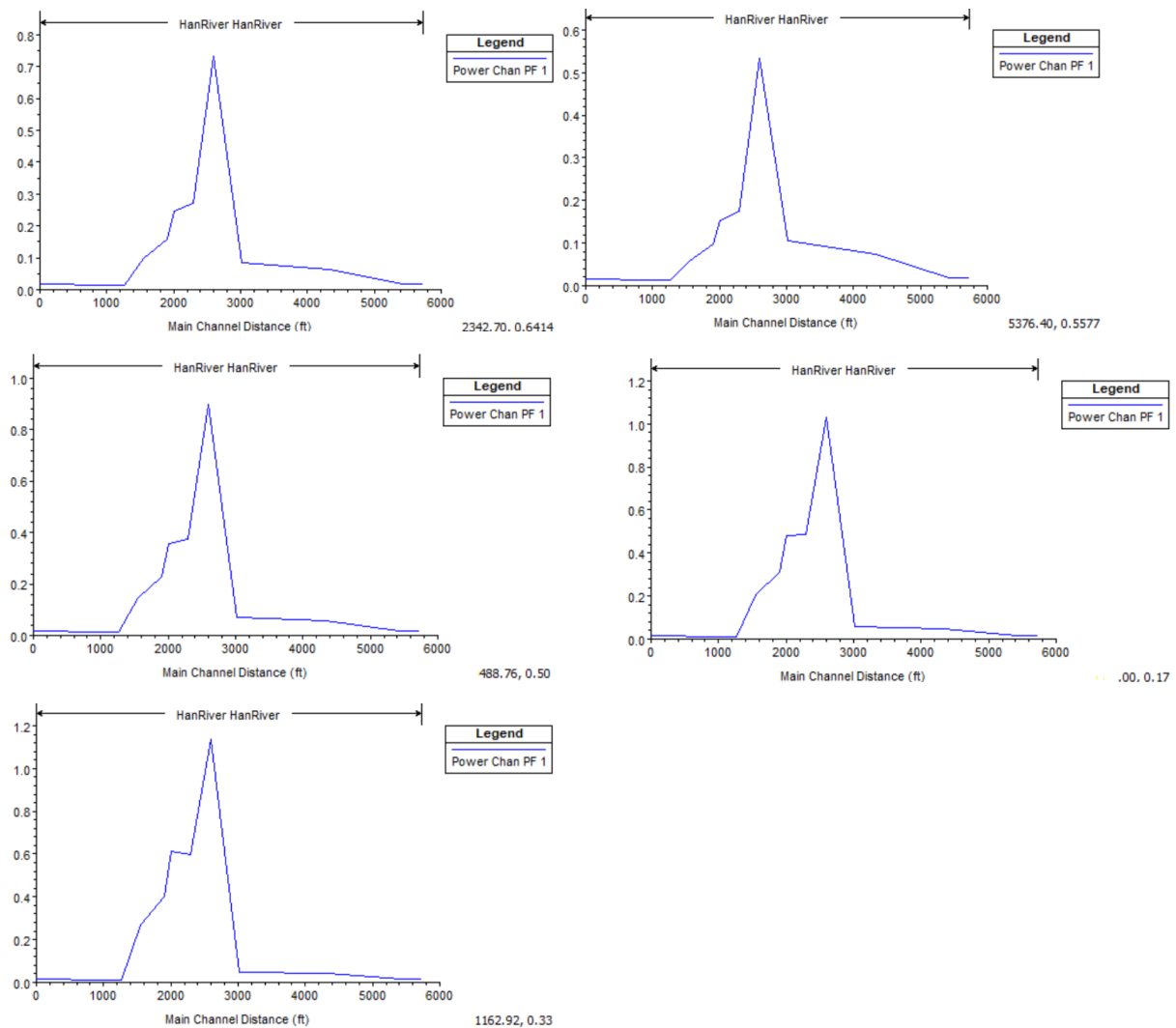


Figure 15. Power(Manning's n 0.07, 0.09, 0.11, 0.13, 0.15)

조도계수가 0.07, 0.09, 0.11인 상황에서 에너지 분포가 유사한 양상으로 나타났으나, 조도계수가 0.13, 0.15인 상황에서는 물의 에너지 에너지 분포에 차별점이 존재했다. 물의 에너지의 경우에도 마찬가지로 가로축 인덱스가 2000~3000인 구간에서 특히 다르게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

다음은 밤섬과 그 부근의 조도계수가 각각 0.07, 0.15일 때의 Unsteady Flow Analysis 결과를 3차원 공간 상에 나타낸 것이다:

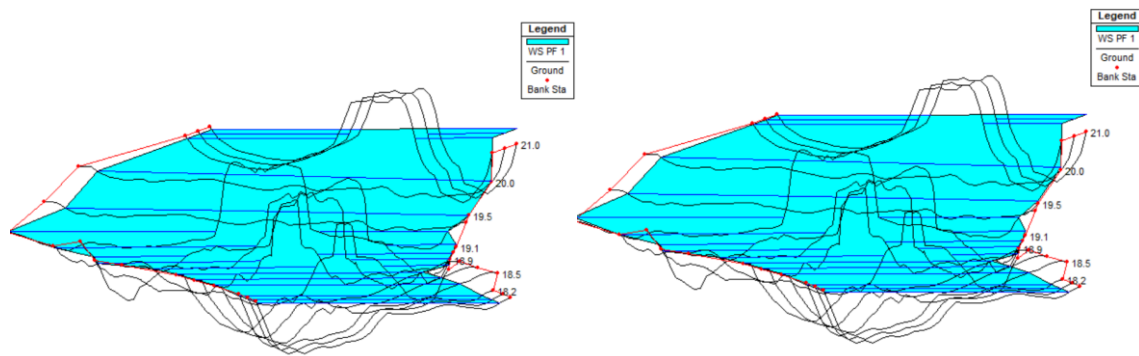


Figure 16. X-Y-X Perspective Plot (Manning's n 0.07, 0.15)

조도계수에 따라 유속, 횡단면과 물이 맞닿는 면적, 물의 부피, 물의 에너지의 분포가 큰 차이를 보였던 가로축 인덱스 2000~3000 구간에서, 조도계수가 0.07일 때와 달리 조도계수가 0.15일 때는 수위가 계획홍수위보다 높게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

5. 결론 및 논의

일정 수준 이하의 육지화는 수위에 유의미한 영향을 미치지 않으나, 이러한 상태를 방치하여 육지화가 심화될 경우 기상 조건과 관계없이 주위 시설이 침수될 위험이 있다. 뿐만 아니라 밤섬은 현재 람사르 습지로 지정되어 있음에도 관리가 미흡한 상황이므로 이런 상황적 조건이 추가된다면, 머지않은 미래에 밤섬의 육지화가 한강의 범람에 실질적인 영향을 미칠 것은 자명해 보인다. 특히 그 육지화와 면적 증가로 인해 한강의 수위가 증가하는 현상이 발생할 것으로 예상된다 (이종태&전형준, 2000). 그렇기 때문에 지속된 퇴적으로 인한 밤섬의 변화에 경각심을 갖고 밤섬과 한강의 흐름 간의 상호작용을 관찰할 필요가 있다. 해당 연구는 밤섬과 가까운 한강 지역을 특정하고 이 구간에서의 수위 변화를 관찰했지만, 실제 밤섬의 변화가 전체적인 한강 흐름에 미치는 영향은 추가적인 연구가 필요할 것이다. 더 나아가, 밤섬의 육지화와 면적 증가 현상을 결부시켜 두 현상이 함께 작용했을 때 밤섬은 어떤 방식으로 한강의 흐름에 영향을 미치게 될지를 탐구한다면 본 연구의 결론이 더욱 큰 의미를 가지게 될 것이다.

참고문헌

- [1] 김주영, 이정규, & 안종서 (2010). 실측 자료를 이용한 국내하천의 조도계수 산정 적용성 및 한강의 계획홍수위 검토. *대한토목학회논문집 B*, 30(6B), 571-578.
- [2] 김태화 & 이종태 (2001). 홍수규모에 따른 한강의 유황분석 및 지배유량 산정에 관한 연구.
- [3] 오충현(2013). 생태경관보전지역 정밀변화관찰 연구. *서울특별시*
- [4] 정재원, 김연수, 홍승진, 권형수, 김정옥, & 김형수 (2014). 인공습지 조성에 따른 홍수저감효과 분석. *J. Korean Soc. Hazard Mitig*, 14(4), 369-377.