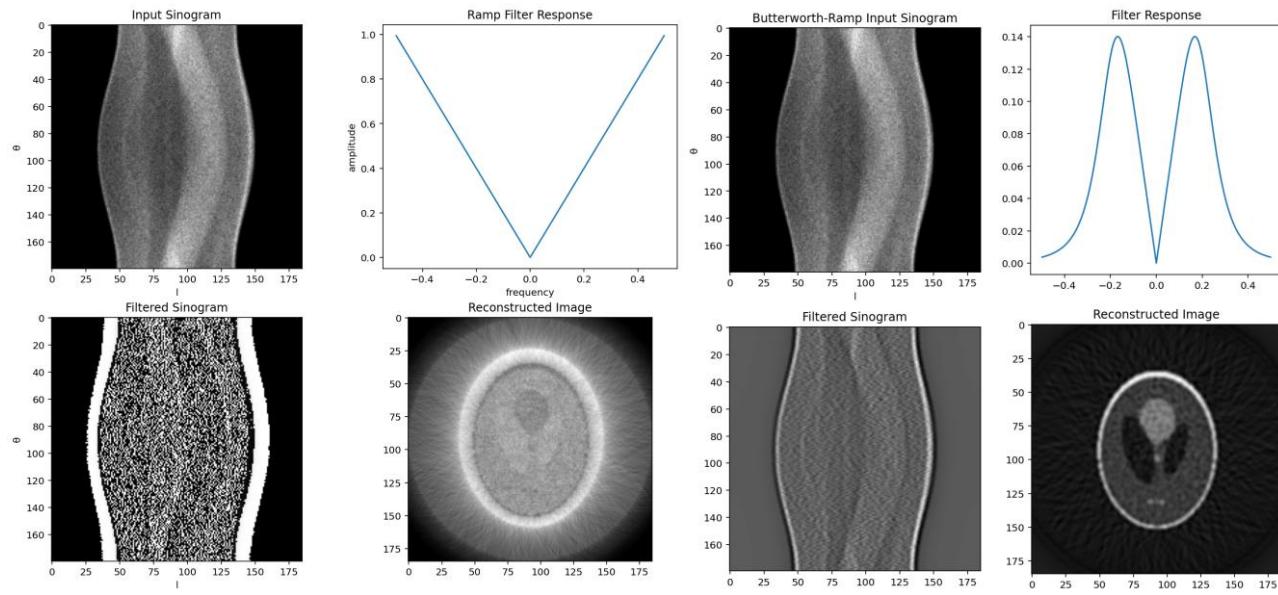
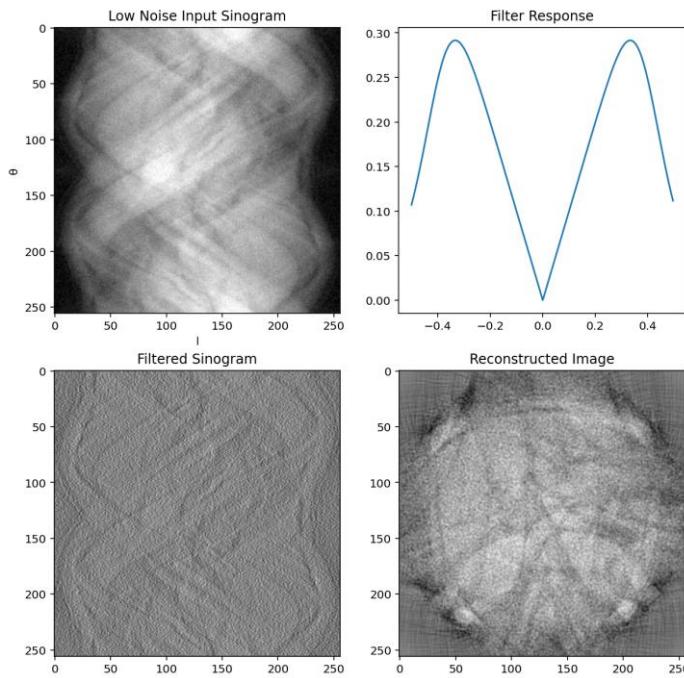


이번 과제의 코드는 다음 순서로 동작합니다. 먼저 시노그램의 각 투영 행에 대해 일차원 푸리에 변환을 수행하고 주파수 축을 정렬했습니다. 이후에 필터를 곱하여 주파수 영역에서 원하는 대역만 통과시키고 역변환으로 시간 영역의 필터링된 투영을 얻었습니다. 그런 다음 각 투영 각도에 대해 필터링된 투영을 영상 격자에 회전 배치하여 누적하는 역투영을 수행했습니다. 마지막으로 각도 수에 맞추어 정규화하여 최종 재구성 영상을 얻었습니다. 구현 시에는 푸리에 변환과 역변환의 길이를 일치시키고 주파수 축 기준점이 중앙에 오도록 시프트를 적용하여 역투영 결과가 영상 격자 밖으로 벗어나지 않도록 영상 크기를 검출기 길이와 동일하게 설정했습니다.

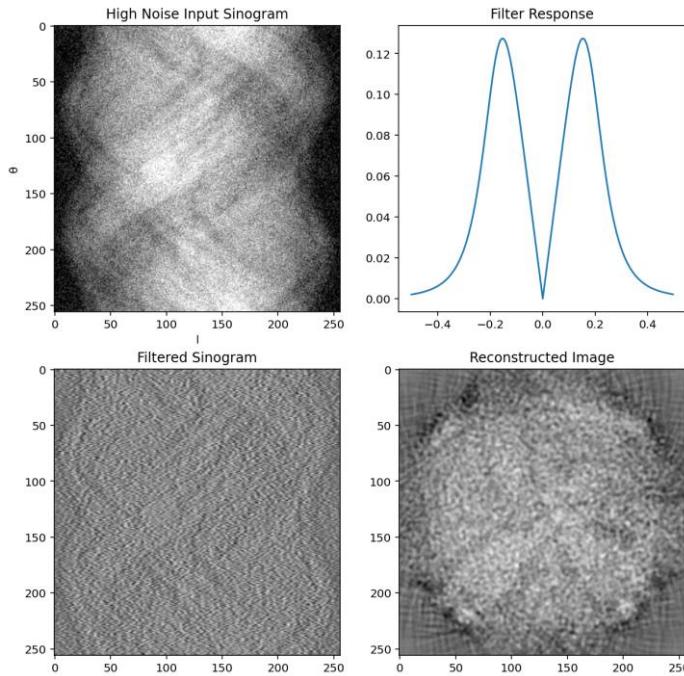


우선 기본 시노그램에 대해서는 컷오프를 0.44, 차수를 3으로 사용했습니다. 이 값은 램프 필터만 사용했을 때 나타나는 배경의 줄무늬와 고주파 잡음을 충분히 줄이면서도 머리 윤곽과 내부 구조가 자연스럽게 유지되는 지점이었습니다. 컷오프를 0.5에 가깝게 높이면 경계가 더 또렷해지지만 배경 주름이 빠르게 증가했고, 0.35 이하로 낮추면 잡음은 줄었으나 회백질과 백질의 경계가 흐려졌습니다. 차수는 2일 때는 세부가 약간 뭉개졌고 4 이상에서는 링잉이 눈에 띄어 3이 가장 안정적이라고 생각했습니다.

램프 필터와의 비교 결과는 다음과 같습니다. 램프 필터는 가장 경계가 날카롭게 재현되지만, 모든 데이터에서 배경 잡음과 줄무늬가 함께 증폭되어 특히 고노이즈 데이터에서 영상 전체가 거칠게 보였습니다. 반면 버터워스가 곱해진 램프 필터는 고주파 이득을 제한하여 배경 잡음을 크게 줄였고 컷오프와 차수를 적절히 선택하면 경계 선명도와 잡음 억제 사이의 균형이 확보되었습니다. 기본 시노그램에서는 컷오프 0.44와 차수 3이 램프에 비해 배경 잡음과 줄무늬를 줄이면서 윤곽과 내부 대비를 유지했습니다. 저노이즈 데이터에서는 컷오프 0.85와 차수 4가 램프와 유사한 선명도를 제공하면서 배경을 더 안정적으로 유지했습니다. 고노이즈 데이터에서는 컷오프 0.40과 차수 3이 램프 대비 명확한 개선이 있었습니다. 정리하면 데이터의 노이즈가 낮을수록 컷오프를 높여 세부를 보존하는 것이 유리하고, 노이즈가 높을수록 컷오프를 낮춰 잡음을 억제하는 것이 필요합니다. 차수는 3에서 4 사이가 전반적으로 안정적이었으며, 지나치게 높이면 링잉이 증가했습니다.



저노이즈 시노그램의 경우 컷오프를 0.85, 차수를 4로 설정했습니다. 데이터 자체의 잡음이 낮기 때문에 높은 주파수 성분을 보존하는 것이 유리하다고 생각했습니다. 컷오프를 0.8 이상으로 설정했을 때 가장자리와 미세 구조가 가장 잘 보존되었습니다. 차수는 4로 두었을 때 경계가 또렷해지면서도 링잉이 억제되어 시각적 선호도가 가장 높았습니다. 같은 데이터에서 컷오프를 0.6 이하로 낮추면 배경은 더욱 매끈해졌지만 세부 구조가 지나치게 감소했습니다.



고노이즈 시노그램의 경우 컷오프를 0.4, 차수를 3으로 설정했습니다. 이 데이터는 고주파 잡음이 지배적이었기 때문에 컷오프를 낮추는 것이 필수적이라고 생각했습니다. 0.4에서는 배경의 얼룩과 줄무늬가 눈에 띄게 감소했고 윤곽이 과도하게 퍼지지 않았습니다. 컷오프를 0.5 이상으로 올리면 잡음 입자가 영상 전반에 확산되어 구조 인지가 어려워졌고 0.3 이하로 내리면 잡음은 더 줄었지만 작은 구조가 소실되었습니다. 차수를 4로 올리면 일부 가장자리에서 링잉이 다시 보여서 차수는 3이 가장 균형적이라고 판단했습니다.