제 9 장 결론 및 요약

우리나라는 다우지역에 속하고 이로 인하여 발생되는 재해는 매년 증가하고 있다. 특히 강우로 인한 산사태의 발생은 인명 및 재산상의 재해의 큰 부분을 차지하고 있다. 따라서, 본 논문에서는 산사태를 방지하고자 적용하는 대책공법 중 가장 효과적으로 사용되고 있는 산사태억지말뚝에 대한 연구를 수행하였다. 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 우리나라의 산사태특성은 지질, 지형적으로 3개지역으로 구분될 수 있으며 강우특성별 구분의 결과와도 일치하였다. 또한 강우특성에 따라 구분된 3개지역은 최대시간강우강도와 파괴전일과 당일의 누적강우량의 관계를 통하여 산사태파괴발생규모를 소규모, 중규모 그리고 대규모파괴로 구분할 수 있었다. 이 기준을 통해 강우량에 따른 예보기준을 마련할 수 있었다. 즉, 소규모파괴는 최대시간강우강도 10mm이상, 2일간누적강우량 40mm이상, 중규모파괴는 최대시간강우강도 15mm이상, 2일간누적강우량 80mm이상, 대규모파괴는 최대시간강우강도 35mm이상, 2일간누적강우량 140mm이상에 발생가능하였다.
   한편, 부산지역에서의 강우특성은 강우특성별 분류기준과 일치하였으며 부산지역에서 발생된 산사태의 90%정도가 최대시간강우강도발생 3시간이내에서 발생하였음을 알 수 있었다.

2) 인장균열이 있는 사면에 강우시 침투거동의 해석을 위한 산사태해석프로그램인 SPILE Ver. 1.5를 개발하였다. 이를 통하여 강우시 우수의 침투거동을 습윤전선하강시, 지하수위상승시 그리고 두 경우가 동시에 발생하는 경우로 검토가 가능하였다. 즉, 습윤전선하강에 따른 습윤대의 하강속도가 지하수위 상승속도보다 빠르게 발생하는 경우 지표로부터의 습윤대 확산에 따른 지표부근의 단위중량 증가 및 Suction의 감소로 인하여 사면은 더욱 불안정하게 된다. 또한, 습윤전선 하강에 따른 습윤대의 확산은 현장실험 및 실내모형실험결과들로부터 확인 가능하였다.

3) 국내에 사용되고 있는 산사태방지대책공들을 수집 정리하였으며 이를 통하여 합리적인 산사태방지대책을 분류 · 정리 · 제시하였다. 산사태방지대책은 안전율유지법과 안전율증가법으로 구분 가능하였고 전자는 물리역학적방법과 생물화학적방법으로 구분할 수 있었다. 또한 후자는 활동력감소법과 저항력증가법으로 구분하였다. 우리나라 산사태는 절개사면에서

많이 발생하고 있었으며 안전율증가법이나, 저항력증가법이 주체가 되고 안전율유지법 및 활동력감소법이 추가로 사용되는 사례가 빈번하다.

이러한 조사 분류는 차후에 발생될 수 있는 산사태를 예측하고 각 현장 상황 및 지반특성 등을 파악하며 정확하고 적절한 방지대책공을 선택할 수 있도록 도움이 될 수 있을 것으로 사료된다.

4) 국내외에 시공되고 있는 산사태억지말뚝의 시공사례를 조사하였다. 외국의 경우 발생되는 산사태의 규모는 우리나라의 경우에 비해서 규모면에서 대규모파괴에 속하였고 따라서 사용되는 억지말뚝은 대구경현장타설말뚝이 주공법으로 채택되고 안전율유지를 위한 공법들이 병행하여 사용되고 있었다. 외국에서 실시된 산사태 억지말뚝의 시공시 말뚝간격비 D_2/D_1, 말뚝두부의 구속조건, 그리고 근입깊이의 산정에 문제점. 국내시공사례의 경우는 말뚝위치, 말뚝두부구속조건 그리고 근입깊이 등의 산정에 문제점이 도출되어 재시공된 사례가 많았다. 이러한 경우를 고려한 설계법은 본 논문의 6장에서 제시되었다.

5) 산사태가 발생된 절개사면의 보강대책으로 억지말뚝공을 채택 보강 시공하였고 이 현장에 억지말뚝 및 사면지반에 계측기들을 설치하고 이들로부터 계측된 계측자료를 이용하여 억지말뚝 및 절개사면 지반의 거동 그리고 억지말뚝의 사면안정효과를 조사 분석하였다.

먼저 시공단계를 4단계로 구분하였고 각 단계에 따라 이들 거동에 미치는 영향을 검토하였다. 억지말뚝이 설치된 절개사면에서 말뚝 및 사면지반의 안정은 억지말뚝열 하부지반의 제거 및 굴착에 의하여 많은 영향을 받으며 굴착시 사면의 안정성이 감소하고 활동력과 측방토압이 증가하므로 이로 인하여 사면지반과 억지말뚝에 변형이 발생하였다. 굴착시공시 발생된 억지말뚝의 변위와 사면지반의 변형은 억지말뚝의 사면안정효과에 의하여 탄성범위내였으며 억지말뚝의 효과를 예증하였다. 또한 억지말뚝의 두부구속조건에 따른 표토층의 억지안정효과를 기대할 수 있었다.

한편, 시공완료후에도 강우가 이들 거동에 미치는 영향을 검토하였다. 일시적인 집중호우는 강우가 지반에 깊이 침투되지 못하고 지표면 지반만 포화되어 지표부 지반의 단위중량을 증가시키며 지표면으로부터의 습윤대가 형성되어 지반의 Suction이 감소되므로써 사면의 안정에 영향을 미치게 된다. 억지말뚝과 사면지반의 변위관계로부터 말뚝사이 지반에서의

아칭현상이 발생함을 알 수 있었으며 이로 인하여 사면지반의 활동에 억지말뚝이 효과적으로 저항할 수 있고 강우시 지반 및 말뚝의 거동은 탄성적이었다.

6) 산사태억지말뚝이 설치된 사면의 안정성 해석을 위하여 수동말뚝에 제안된 측방토압 산정식을 이용하여 말뚝 및 사면의 안정으로 검토하여 보았다. 특히, 말뚝안정시 사면활동면 상부 토괴 속의 억지말뚝 배면에 작용하는 지반계수를 사용하므로써 지반반력을 고려할 수 있도록 하였다. 또한, 산사태발생예정지역을 설정하여 제시된 설계법에 따라 해석예를 수행하므로써 억지말뚝의 사면안정효과를 검토하여 보았으며 합리적인 산사태억지말뚝의 설계법을 마련하였다. 이 과정을 통하여 산사태의 억지말뚝 해석 프로그램인 SPILE Ver. 1.0을 마련하였다.

말뚝의 사면안정효과 및 말뚝의 거동은 사면활동면 상부의 지반계수의 크기, 말뚝의 구속조건, 강성 및 지반계수에 의해 많은 영향을 받으며, 사면의 안전율은 지반계수, 말뚝두부의 구속조건, 말뚝간격, 지하수위상승등에 크게 영향을 받으며 말뚝두부의 구속조건은 회전구속일 경우가 가장 효과적이었다.

7) 산사태억지말뚝이 설치된 사면의 안정성해석을 위하여 기존에 제안된 탄성보의 기본미분방정식을 응용하였다. 이 방정식의 해를 구하여 사면안정을 위한 억지말뚝의 해석을 위한 적분상수, 말뚝의 변위, 회전각, 모멘트, 전단력 등을 구하는 일반식들을 $K_1 f_1 + K_2 f_2$와 같은 일반화된 형태의 식으로 제시하였다. 즉, 산사태억지말뚝을 해석하기 위한 식들은 매우 복잡하므로 이러한 문제를 해결하기위하여 $K_1 f_1 + K_2 f_2$값을 구하는 도표를 만들어 제시함으로써 억지말뚝을 이용한 사면안정설계시 말뚝의 거동을 손쉽게 할 수있도록 도식해법을 확립, 제시하였다.

8) 현장실험이 실시된 단면을 예제단면으로 설정하여 유한요소해석을 실시하였다. 산사태억지말뚝의 해석모델로는 토사지반은 비선형탄성모델, 암반은 탄성모델로 가정하였고 지반과 구조물, 암반과 토사지반사이의 접촉면에 대하여는 탄소성조인트모델로 설정하여 굴착단계별 해석을 실시하였다. 유한요소해석결과 제시된 산사태억지말뚝의 설계방법 순서의 타당성을 확인 가능하였고 현장실험이 수행된 절개보강사면의 보강대책의 안정성이 검토될 수 있었다.