

# 터널분야 수치모델링수행 현황파악을 위한 설문조사

- 터널정보기술위원회 사업성과 보고 -

신휴성 \_ 총괄간사/한국건설기술연구원  
박인준 \_ 위원장/한서대학교  
유충식 \_ Tutor/성균관대학교

## 1. 개요

급속한 컴퓨터 하드웨어 및 소프트웨어의 발전과 더불어, 수치모델링(numerical modeling)은 터널기술자들이 지반 및 터널구조물 거동에 대한 제한된 정보조건에서 풍부한 기술자들의 경험을 기반으로 보다 합리적인 기술적 판단을 내리기위한 유용한 제반 기술정보들을 제공하는 데 크게 기여를 하고 있다. 하지만 이러한 수치모델링은 도입된 제반이론들과 이론적 가정 사항들, 특히 적용된 입력자료들에 크게 지배됨은 의심할 여지가 없다. 따라서 수치모델링에 앞서 제반 이론적 배경을 명확히 이해하고, 준비된 입력자료들의 파악과 결과에 반영될 민감도를 사전에 파악하여, 수치모델링 결과들이 설계에 반영되거나 터널 구조물 거동특성을 예측하는데 오용되지 않도록 하는 것이 중요하다. 또한, 다양한 사안별로 수치모델링의 목적을 명확히 함으로써, 모델링 목적에 맞추어 보다 효율적이고 합리적인 모델링 계획을 수립하며, 모델링 당시 불명확한 정보들이 수치모델링 결과에 미치는 영향을

최소화 시킬 수 있는 모델링 전략을 사전에 강구하는 것이 중요하다. 수치모델링을 올바르게 활용하면 어떠한 기술적 방법론보다 풍부하고 유용한 정보를 제공하는 훌륭한 기술적 도구가 될 수 있으나, 오용되거나 미비한 사전 준비상태에서 수치해석의 결과를 과신한다면 시간낭비이거나 오히려 수치해석을 수행안한 것보다 좋지 않은 결과를 초래할 수 있다.

이러한 배경에서, 한국터널공학회 산하 터널정보기술 위원회에서는 터널기술자들이 설계 및 시공상의 수치해석 수행실태와 반영된 수치해석 결과를 이해하는데 도움을 주고자 2005년도부터 주요사업 중 하나로 설문조사를 실시하였다. 본 기사는 수행된 설문조사결과를 전 터널공학회 회원들에게 보고하기 위해 작성되었으며, 배포된 설문지의 각 문항별로 조사된 설문결과를 제시하고, 각 문항별 결과분석을 시도하였다. 터널정보기술위원회는 본 기사가 터널공학회 회원들이 터널분야 수치해석 수행현황을 파악하고, 향후 수치해석 기술이 나아가야 할 방향을 이해하는데 도움이 될 수 있기를 희망한다.

## 2. 설문지 작성 및 설문대상

설문지 작성은 터널정보기술위원회 위원장과 간사들이 중심이 되어 초안을 작성하고 전체 운영위원들의 검토를 통하여 확정하였다.

전 운영위원들로부터 설문대상을 추천 받았으며, 최종 설문조사 대상기관과 수치해석 실무자가 중심이 된 설문대상을 형성하기 위하여 각 설문대상 기관마다 직급별로 설문대상자를 배정하였다. 작성된 설문지와 취합된 설문내용은 한국터널공학회 홈페이지(<http://www.tunnel.or.kr>)의 터널정보기술위원회 자료실에서 다운받을 수 있으며, 설문대상기관 및 개인응답자의 신분은 공개자료에서 삭제하였다.

작성된 설문지는 (1) 수치모델링 수행현황 파악 (2) 수치모델링 인식 조사 (3) 수치모델링 문제점 파악으로 구분하여 작성되었다.

첫 번째 카타고리는 11개 문항, 두 번째 카타고리는 6개 문항 그리고 마지막 카타고리는 7개 문항으로 총 24개 문항으로 설문지를 구성하였다. 각 문항의 설문의도에 맞추어 객관식과 주관식의 문제유형을 취하였다. 배포된 설문지 원본은 상기에서 언급된 한국터널공학회 홈페이지를 참조 바란다.

설문대상 선정은 본 기술위원회 운영위원들로부터 추천된 터널분야 26개의 설계사와 5개의 시공사에 공문을 발송하였으며, 최종 참여의사를 밝혀준 16개의 설계사와 1개의 시공사가 최종 설문대상으로 선정되었다. 선정된 기관으로부터 최종 77개의 성실히 작성된 설문결과를 얻을 수 있었다.

설문에 참여한 77명중 74명이 신상정보를 제공하여 주었으며, 이중 과장급 이하가 전체의 83%, 수치해석 경력이 5년 이내인 수치해석 실무자들이 78.1%를 차지하고 있다. 참여인원의 수치해석 경력분포는 그림 1과 같다.

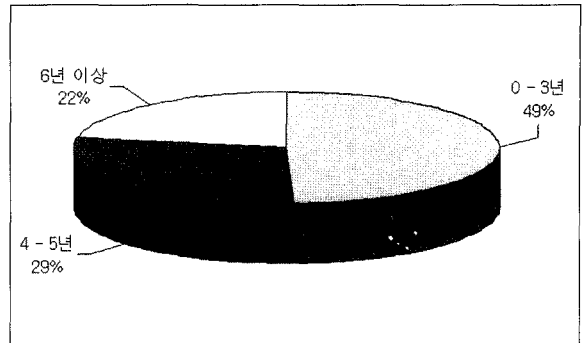


그림 1. 설문참여자의 수치해석 경력분포

## 3. 각 문항별 설문결과 및 분석

### 3.1 수치모델링 수행환경 조사

#### 3.1.1 종류별 소프트웨어 적용빈도 조사

(1-1) 주로 사용하는 수치해석 소프트웨어를 사용빈도 순으로 3개 이내로 기입해 주십시오.

설문에 참여한 설문대상 기관(이상 설문대상기관)이 보유하고 있는 소프트웨어 중 터널설계를 위한 수치해석에 가장 많이 활용되고 있는 터널분야 전문 소프트웨어들을 조사하였다. 그림 2(a)에서와 같이 전체 설문에 참여한 인원(이상 설문응답자)중 72.7%가 미국 ITASCA가 보급하고 있는 FLAC(FLAC3D 포함)을 가장 많이 사용하고 있는 것으로 조사되었다.

그 뒤를 이어 국내에서 개발된 PENTAGON(PENTAGON3D 포함)이 1순위에서는 14.3%, 2순위에서는 26%로 많이 보급되어 일반적으로 활용되는 소프트웨어로 조사되었다. 기타 국내에서 개발된 VISUAL FEA와 영국 CRISP 등 다양한 소프트웨어들이 모델링 목적에 따라 선택적으로 적용되고 있는 것으로 보인다. 전 세계적으로 절리암반 모델링에서 가장 많이 활용되고 있는 UDEC은 2순위에서는 15.1%, 3순위에서 34.9%로 일반

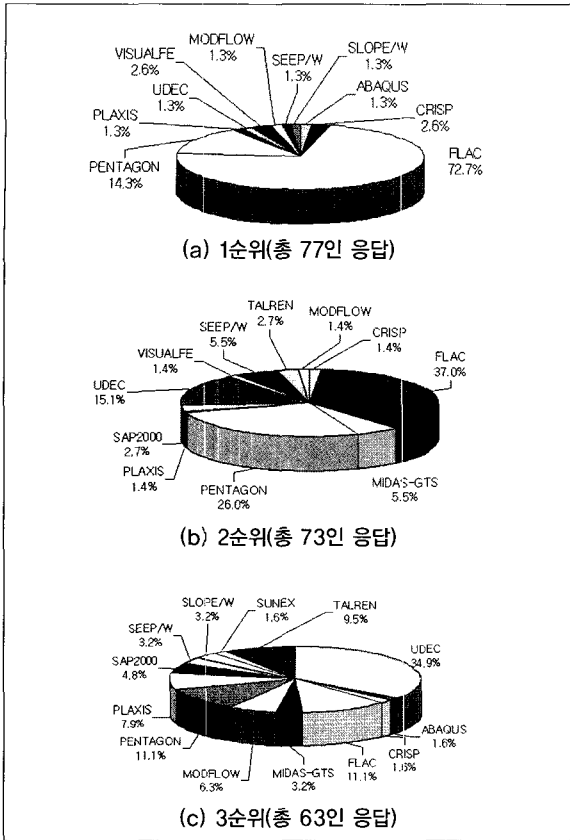


그림 2. 사용빈도 높은 소프트웨어 분포

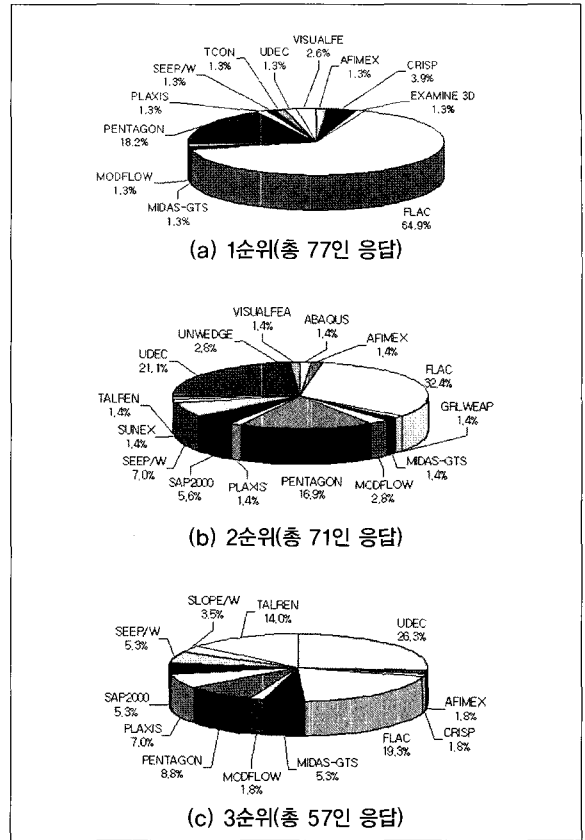


그림 3. 종류별 소프트웨어 친숙도

적이지는 않지만, 특성화된 지반조건 즉, 이방성 절리암반을 대상으로 한 터널설계에서는 활발히 적용되고 있는 것으로 조사되었다.

### 3.1.2 종류별 소프트웨어 친숙도 조사

(1-2) 자신이 자유자제로 운용할 수 있는 수치해석 프로그램을 익숙한 순서로 3개 이내로 기입해 주십시오.

현 수치해석 인식단계에서 터널설계를 위한 수치해석 특성을 고려한 소프트웨어 선택현황과는 별도로, 수치해석 실무자들이 사용상 가장 익숙하며 편안하게 접하고 있는 소프트웨어를 조사하였다. 가장 활발히 설계에 적용되

고 있는 것으로 조사된 FLAC(FLAC3D포함)이 설문응답자 중 64.9%, 두 번째로 적용이 활발한 것으로 조사된 PENTAGON이 설문 응답자 중 18.2%가 가장 사용하기 익숙한 소프트웨어라고 답하였다.

이를 통해 소프트웨어가 제공하는 친사용자환경(user-friendly environment)의 수준보다, 가장 많이 사용해본 소프트웨어가 사용자에게는 사용상 가장 익숙하게 되는 일반적인 상황을 엿볼 수 있다. 물론, 우수한 친사용자 환경이 사용자의 친밀도를 가속시키는데 영향을 미칠 것은 자명하다. UDEC은 전체 설문응답자 중 26.3%가 3번째로 친숙한 전문 소프트웨어로 답하여 주었으며, 기타 사면해석 프로그램인 TALREN 등과 같은 전문해석프로그

램들이 갱구부등 터널 설계 및 시공상 국부적으로 적용하는데 있어서 익숙하게 활용되고 있는 것으로 조사되었다.

### 3.1.3 상용 소프트웨어 보유현황 (1장 3번 문항)

(1-3) 소속기관이 보유한 정품 수치해석 프로그램을 나열하십시오.

사전 수치모델링 환경조사의 마지막으로, 설문대상기관에 보급되어 있는 상용 수치해석 소프트웨어들의 현황을 조사하였다. 설문대상기관의 88%정도가 상기의 조사에서 가장 많이 터널설계에 적용되고, 사용자들이 익숙하게 사용하고 있는 것으로 조사된 FLAC2D를 보유하고 있는 것으로 조사되었다.

특이할 만한 사항은 일반적인 연속체해석 보다는 절리 암반과 같이 상대적으로 특수한 조건상에서 적용되는 UDEC이 활용도에 있어서는 다수의 연속체 해석 프로그램보다는 적용빈도가 낮았으나 FLAC2D에 이어 두 번째로 설문대상기관이 많이 보유하고 있는 소프트웨어로 조사되었다. 3차원 연속체 해석 프로그램은 FLAC2D와 보급사가 같은 FLAC3D(보급율 47.1%) 보다 국내 개발 프로그램인 PENTAGON 3D의 보급률이 64.7%로 다소 높은 것으로 조사되었다.

각 설문대상기관이 보유하고 있는 소프트웨어 수는 적게는 4개, 많게는 15개까지 보유하고 있는 것으로 조사되었다. 이를 통해 많은 터널설계사들이 비슷한 용도의 수치해석 소프트웨어들을 복수로 보유하고 있으며, 필요에 따라 선택적으로 활용하고 있는 경향을 명확히 파악할 수 있다. 또한, ABAQUS, ANSYS와 같은 대형 범용 수치해석 프로그램 보다는 사용하기 편한 터널해석 전문 소프트웨어를 선호하는 경향이 보이며, 2차원 및 3차원 연속체 해석과 같은 폭넓은 적용범위를 갖는 수치해석 프로그램 뿐만 아니라 매우 좁은 용도를 갖는 전문 프로그램들도 다수 보급되어 있는 것으로 조사되었다.

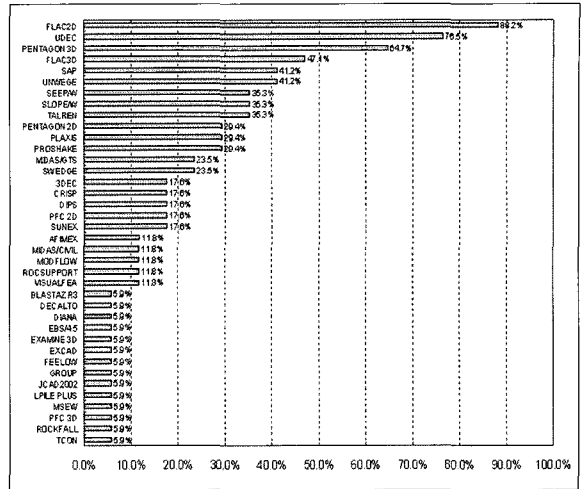


그림 4. 설문기관들에 대한 상용소프트웨어 보급률 (총 17개 기관 대상)

## 3.2 수치해석 수행실태 조사

### 3.2.1 수치해석의 이론적 학습정도

(1-4) 유한요소법이나 유한차분법 같은 수치해석 기초이론에 대해 정규강의를 들었거나 관련 전문서적을 공부한 경험이 있습니까?

※ 프로그램 매뉴얼은 전문서적에 포함되지 않음

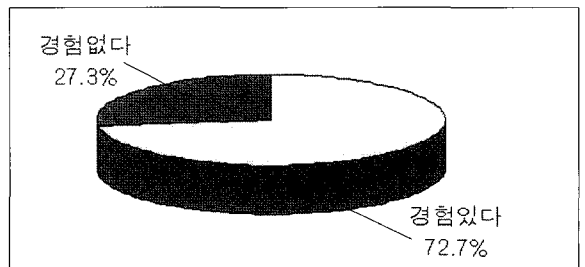


그림 5. 수치해석의 이론적 학습정도 파악

수치해석을 위한 이론적 학습정도를 파악하기 위하여 준비된 문항에 대하여, 총 설문응답자중 72.7%가 프로그램 매뉴얼과 같은 기능적인 습득외의 기본 수치해석 이론

적 배경에 대한 관심이 있었으며, 정규강의나 전문서적을 통한 학습을 수행한 것으로 조사되었다. 매우 고무적인 조사결과라 판단되지만 아직도 30% 정도가 수치해석 관련 강의나 기초이론에 대한 학습 없이 매뉴얼을 통한 프로그램 수행방법만 습득하는 등 기능적 학습에 의존하여 수치해석을 수행하고 있는 현실이다. 하지만 현재 터널관련 정규 대학 학부과정에는 유한요소 등과 같은 전문 수치해석과정이 포함되어 있지 않은 것이 일반적이며, 터널 수치해석 기술자들이 이론적인 학습을 원한다고 하여도 수치해석으로 특화된 체계적인 이론교육의 기회를 찾기는 쉽지 않다.

따라서 터널분야 수치해석관련 실무자에게 이론교육의 기회를 제공하여 궁극적으로 국내 터널기술 발전을 이끌어 내기 위해서는 적용사례를 위주로 한 한시적인 세미나 형태의 강연보다는 체계적인 정기 수치해석 기초이론 교육을 학회차원에서 마련하는 것이 필요하다. 이를 실현키 위한 방법론 등은 터널분야에서 요구되는 다양한 기술 중 어떠한 기술보다도, 수치해석은 이론에 기초하고 있으며, 매우 민감하게 반응하는 기술임을 감안하여 터널정보기술위원회를 중심으로 깊이 고민되어야 할 것이다.

### 3.2.2 3차원 해석 적용 현황

(1-5) 터널설계 시 투입되는 2차원과 3차원 해석의 작업비중을 전체 10을 기준으로 기입해 주십시오. 2차원/3차원 작업비중 : ( : )

예) 2차원/3차원 : (8:2) => 총 10)

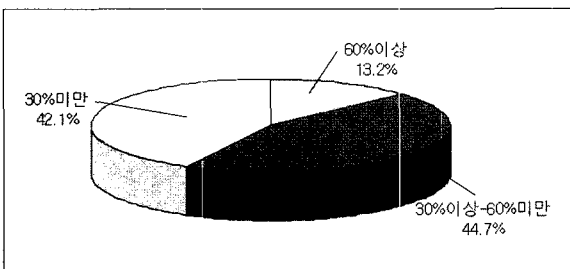


그림 6. 3차원 해석 비중

3차원 해석의 활용정도를 파악하기 위한 문항을 통하여, 터널설계를 위한 전체 수치해석 노력에 대하여 30% 이상 60%미만의 비중으로 3차원 해석을 수행하고 있다는 응답이 총 설문응답자의 44.7%를 차지하였다. 심지어는 총 설문응답자의 13.2%가 대부분의 수치해석(총 수치해석 작업량의 60%이상 비중)을 3차원 해석으로 수행하고 있다고 응답하였다. 이는 근래의 수치해석 수행환경이 컴퓨터 하드웨어와 소프트웨어의 발전과 더불어 매우 높은 수준에 도달해 있어 수치해석에 소요되는 비용이 과거에 비해 매우 낮으며, 교차부, 갱구부, 터널내 서비스 공간 등 요구에 따라 3차원 특성을 갖은 복잡한 형태의 터널구간이 빈번히 발생하고 있다. 본 조사결과는 이러한 배경에 기인한 것으로 판단된다. 형상이나 보강지반 및 시공특성을 고려하여 3차원 특성을 갖는 조건에서는 필수적으로 3차원 수치해석이 적용되어야 하나, 아무래도 3차원 해석이 2차원 해석보다는 오랜 시간과 높은 비용이 소요되는 것이 사실이므로 무분별한 3차원 해석의 수행은 올바른 기술적 접근방법이 아니다.

### 3.2.3 역학/수리 연계해석 적용 현황

(1-6) 터널설계시 수리해석이나 역학/수리 커플링 해석을 보통 수행합니까? (예/아니오)

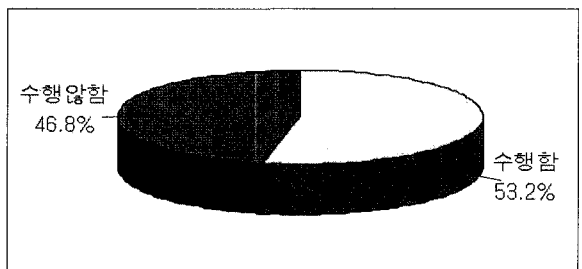


그림 7. 역학/수리 커플링 고려해석 현황

근래 들어 필요성이 대두되고 있는 역학/수리 커플링 해석의 고려정도를 파악하였다. 총 설문응답자 중 53.2%가 터널구조물 거동해석 시 터널현장에 존재하는 지하수

위를 일반적으로 고려한 연속체 해석을 수행하는 것으로 조사되었다. 이러한 조사결과는 최근에 대두되고 있는 대용수량 터널현장에 대한 역학/수리 커플링 해석의 필요성에 부합되는 결과로 보인다. 본 연계해석기법은 상용되고 있는 연속체 해석 소프트웨어에서는 대부분 고려가 될 수 있으며, 지반의 역학적 물성뿐만 아니라 수리학적 물성의 지정이 요구된다. 초기 지하수위, 지반의 수리학적 물성과 모델의 경계면에 부여되는 수리경계조건은 지하수 유동 및 수두 분포뿐만 아니라 터널의 역학적 거동의 수치해석 결과에 크게 영향을 미치므로 신중히 결정되어야 한다.

### 3.2.4 비선형 탄소성해석 적용 현황

(1-7) 터널설계시 소성해석을 보통 수행합니까? (예/아니오)

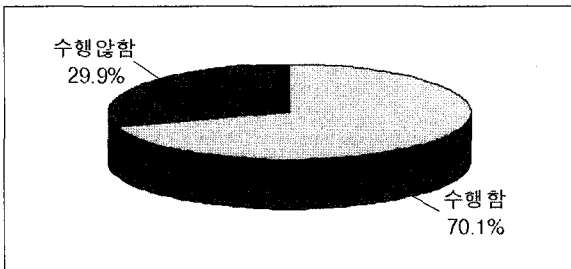


그림 8. 탄소성 해석 수행현황

상기의 문항에서는 총 설문대상자 중 70.4%가 터널설계를 위한 수치해석에서 탄소성 모델을 적용하고 있는 것으로 응답하였다. 이는 탄소성해석이 일반화되고 있음을 의미한다. 하지만 탄소성해석은 모델링 방법이 다양하고, 선택된 탄소성 모델과 비선형 해석을 위한 다양한 수치 알고리즘들의 선택은 해석결과에 크게 영향을 미친다. 프로그램에 따라 탄소성해석을 위한 다양한 옵션을 사용자에게 공개하고 선택할 수 있도록 한 경우도 있지만 공개치 않고 프로그램 자체적으로 알고리즘들을 고정시켜 사용자가 선택할 수 없도록 한 경우가 많다.

이러한 경우는 사용자가 사용하기 편하게 느낄 수 있지

만, 사용자는 탄소성 해석을 수행하기 전 상용 프로그램들이 제공하고 있는 이론 메뉴얼을 참조하여 공개되지 않은 탄소성 관련 사항들이 어떠한 것들인지 면밀히 살펴볼 필요가 있다. 고찰된 내용을 해석결과 분석시에 합리적으로 고려한다면 보다 논리적인 결과분석 작업을 수행할 수 있을 것이다.

### 3.2.5 이방성 암반의 고려 정도

(1-8) 절리암반 터널설계 시 암반의 이방성을 고려한 수치해석을 수행합니까?

(예/아니오) - (만일 '예' 라면 수행방법을 아래에 간단히 적으시오)  
예) UDEC 이용, 이방성 지반물성 적용 등

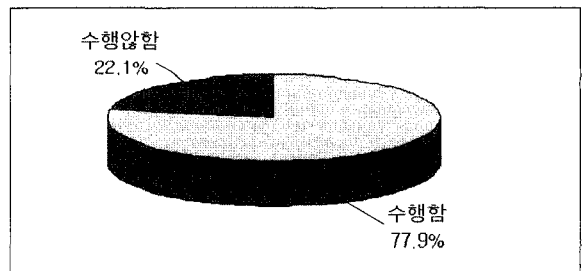


그림 9. 이방성 고려 현황

절리암반 터널의 수치 모델링상에서 이방성을 의미하는 암반의 절리를 적절히 고려하고 있는지에 대해 조사하여 보았다. 일단 전체의 설문응답자 중 77.9%가 지반조사나 막장조사를 통해 획득된 암반절리의 특성을 공학적으로 정리하여 수치모델링에 반영하고 있는 것으로 조사되었다. 본 문항에서 고려하고 있다고 응답한 77.9%의 설문응답자들의 세부적인 수행방법을 정리하면 가장 일반적인 방법으로 적용되고 있는 것이 UDEC 등을 활용한 개별요소법 수치모델링 방법이며, 다음으로 많이 채택되고 있는 방법이 상용 프로그램에서 제공하는 이방성 탄성모델의 이용인 것으로 조사되었다. 또한, 복수의 정수들로 구성된 이방성 절리암반의 탄성정수들을 입력하여 일반탄성해석을 수행하고 있다는 응답도 다수 있었다.

여기서 일반적인 이방성 절리암반 모델링은 아직 탄성

해석 수준이며, 소성해석은 그 복잡도와 결정기 곤란한 이방성 강도정수 때문에 아직 일반적으로 수행되지 않는 것으로 조사되었다. 따라서, 보다 쉽게 공학적인 절리암반의 이방성 거동을 모델링하기 위한 방안이 지속적으로 연구되어야 하지만, 현 수준에서 절리암반 모델링의 합리적 모델링 방안을 공학적 근거자료 제시와 함께 마련하는 것이 필요하다.

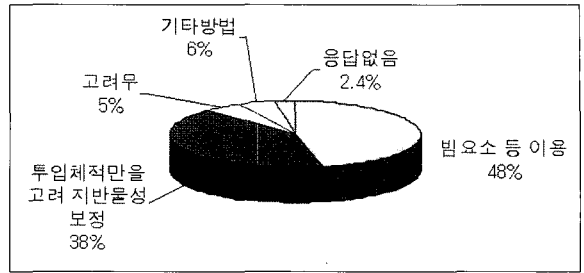


그림 10. 이방성 보강지반 모델링 현황

### 3.2.6 다양한 수치모델링 적용상황 조사

(1-9) 터널설계시 유한요소법이나 유한차분법 이외의 다른 모델링 기법을 사용한 적이 있습니까? 있다면 아래에 간단히 적어주십시오. ( )

예) 인공지능기법, 통계기법, GIS 등

가장 일반적으로 적용되고 있는 유한요소법이나 유한차분법외에 가장 많이 사용하는 모델링 방법이 UDEC등을 활용한 개별요소법 모델링방법이었다. 이외에 설계나 시공상에 필요한 사항들을 결정하는데 다양한 통계기법이 적용되고 있는 것으로 조사되었다. 통계기법을 활용한다는 응답자는 전체 77인의 응답자 중에 14인이었으며, 인공신경망과 같은 인공지능을 사용하고 있다는 응답자도 2인이었다. 또한, 크리깅같은 지구통계학적 기법을 지반조사자료 분석 등에 적용되고 있는 것으로 조사되었다.

### 3.2.7 선형 강보강재가 투입되는 이방성 보강지반 모델링 현황 조사

(1-10) 록볼트의 강관이나 포아폴링 등을 모델링할 때 사용하는 방법은? ( )

- (1) 빔요소 등을 이용해 개별적으로 위치를 지정하여 구현한다
- (2) 투입체적을 고려하여 지반물성을 보정한다
- (3) 고려하지 않는다
- (4) 기타의 방법으로 고려한다 (이 경우 기타방법을 아래에 간단히 기술하십시오)

( ) 예) 균질화 기법 등

활발히 터널시공에 적용되고 있는 터널보강공법들은 강재의 보강재료들을 채택하고 있으며, 선형 강보강재들로 보강된 등방성 지반들은 이방성 특성을 갖게 된다. 본문항이 의도했던 바는 이러한 복잡한 이방성 지반거동을 초래하는 터널보강공법을 합리적인 터널설계에 반영하기 위한 모델링 기법들이 어떠한 실태로 고려되고 있는지를 조사하는 것이다. 총 설문응답자중 86%이상 높은 비율로 절리암반의 이방성을 고려하여 수치 모델링을 수행하고 있는 것으로 조사되었다.

이중 48%정도가 다양한 방향과 위치특성을 가지고 타설되는 강관을 일일이 위치시켜 모델링하는 방식을 채택하고 있으며, 38%정도가 투입된 지보재의 부피비를 계산하여 보강지반의 물성에 반영하는 방식으로 모델링하고 있는 것으로 조사되었다. 지반의 불연속면은 터널구조물의 거동예측에 크게 영향을 미치므로 모델링 상에서 고려되는 것이 필수적이거나, 가장 많이 채택되고 있는 기법인 직접모사법에서 빔요소와 트러스요소는 혼용해서는 안되며 강관다단 그라우팅공법에서 일반적으로 투입되는 대구경 강관은 휨모멘트를 받는 빔부재이므로 적절한 빔요소로 고려되어야 한다. 또한 투입된 보강재료들의 투입 부피비를 고려하여 보강지반 물성을 산정하는 방식은 보강지반의 이방성을 적절히 모사키 어려우므로 투입보강재의 방향성에 민감한 해석모델에서는 적절한 방식이 아니다. 따라서 투입된 보강재료의 양과 초래되는 방향성을 해석에 적절히 반영하기 위한 객관적이고 합리적인 방안이 모색되어야 할 것이다.

### 3.2.8 차수 및 지반보강 그라우팅 모델링 현황 조사

(1-11) 선진 그라우팅이나 강관단단 그라우팅 공법에서 그라우팅을 모델링하기 위해 사용하는 방법은? ( )

- (1) 셀요소 등을 사용해 간접적으로 모델링한다
  - (2) 투입체적을 고려하여 지반물성을 보정한다
  - (3) 고려하지 않는다
  - (4) 기타의 방법으로 고려한다 (이 경우 기타방법을 아래에 간단히 기술하시오)
- ( ) 예) 균질화 기법 등

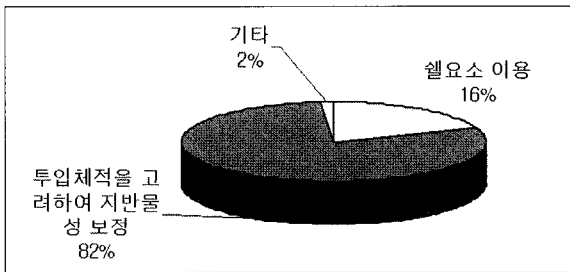


그림 11. 그라우팅 보강지반 모델링 현황

터널보강재 중 대표적인 지반보강공법인 그라우팅공법의 모델링 방법에 대해 조사하였다. 설문조사 결과, 설문 응답자의 82%정도가 투입체적을 고려하여 지반물성을 보정하여 모델링하는 것으로 파악되었다. 투입된 그라우팅재료는 지반의 이방성과는 무관하므로 매우 합리적인 모델링 방법이며, 대부분의 실무자가 이러한 방법을 채택하여 모델링하고 있는 상황은 매우 바람직하다 판단된다. 기타 터널주변 그라우팅 보강효과를 간접적으로 모사기 위해 셀요소 등을 활용한 모델링 방법도 설문응답자의 16%가 일반적으로 사용하고 있는 것으로 파악되었다.

## 3.3 수치모델링 인식 조사

### 3.2.1 수치해석의 중요도 인식 조사

(2-1) 수치해석은 터널설계에서 어느 정도 중요한 역할을 담당하고 있다고 생각하십니까? 1(매우 낮음)에서 5(매우 높음)까지의 수로 느끼는 정도를 표현하시오.

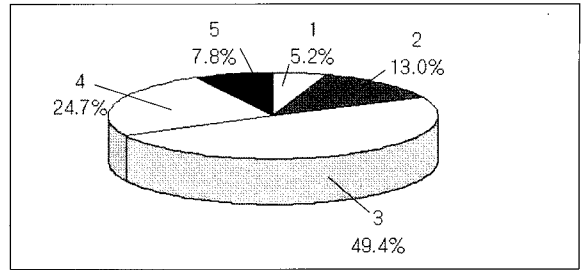


그림 12. 실무자의 수치해석 중요도 인식 정도

현재 활발히 수행되고 있는 터널수치해석 현실에서 수치해석 실무자들이 얼마나 수치해석을 중요하게 생각하고 있는지에 대한 인식을 조사하였다. 총 설문응답자 중 30%정도는 수치해석이 터널설계에 중요한 역할을 담당하고 있다고 응답하였으나, 49.4%의 다수 응답자는 '보통' 정도 수준으로 중요도를 인식하고 있었다.

많은 시간과 노력을 투여하여 수치해석을 수행하고 있는 실무자들이 자신들이 수행하고 있는 수치해석의 역할에 대한 중요성을 크게 인식하지 못하고 있는 것으로 보이며, 수치해석 결과가 관행에 의한 형식적으로 수행되고 터널설계에는 크게 반영되지 않고 있는 것을 간접적으로 암시하는 결과로 보인다.

따라서 수치해석관련 학계와 연구계 종사자들은 학회를 중심으로 수치해석의 올바른 활용에 대한 명확한 방향을 제시하고, 지속적인 교육과 지침마련으로 수치해석에 대한 인식 증진과 수치해석이 합리적으로 터널설계에 반영되어 신뢰성을 확보할 수 있도록 보다 노력하여야 할 것이다.

### 3.2.2 연구계와 업계의 수치해석 연계 수준

(2-2) 터널 수치모델링을 위한 연구계와 업계의 연계 수준은? 1(매우 낮음)에서 5(매우 높음)까지의 수로 느끼는 정도를 표현하시오.

수치모델링의 수행과 발전을 위한 연구계와 업계의 기술적 연계수준은 50%이상이 매우 낮은 수준으로 인식하



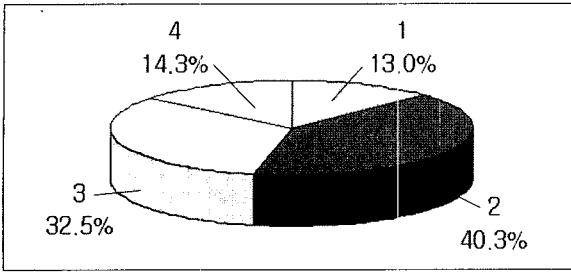


그림 13. 연구계와 업계의 수치해석 기술연계 정도

고 있는 것으로 조사되었다. 매우 높은 연계수준인 '5'는 0명이 응답하여 어느 누구도 기술연계가 매우 잘 이루어지고 있다고 보지 않았다.

이로써 수치해석 관련 실무자들의 교육과 방향제시 그리고 보다 수준 높은 수치해석 수행을 유도키 위하여 새로운 수치해석 여건을 제시하고 많은 실무자들에게 전파하는 노력이 절실하다.

또한, 수치해석관련 연구에 대한 업계 실무자들의 신뢰를 향상시킬 수 있는 노력도 필요할 것이며 터널설계 및 시공에 있어서 수치해석적 애로사항들이 연구계와 잘 연계되어 해결해 나갈 수 있도록 산·학 연계체계 마련과 분위기조성에 노력하여야 할 것이다.

### 3.2.3 수치해석 실무자의 수치해석 신뢰수준

(2-3) 일반적으로 수치해석결과(변위, 응력상태 등)에 대한 자신의 신뢰도는? 1(매우 낮음)에서 5(매우 높음)까지의 수로 느끼는 정도를 표현하십시오.

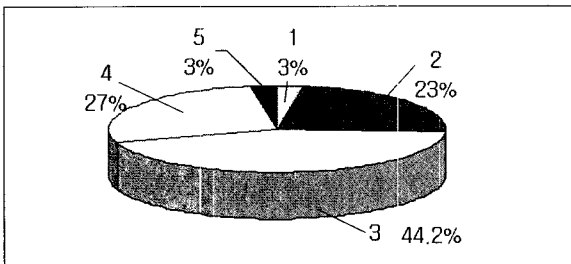


그림 14. 실무자의 수치해석 신뢰수준

대다수의 수치해석 실무자들은 자신이 수행하는 수치해석결과에 대한 신뢰수준이 '보통'인 것으로 조사되었다. 총 설문응답자중 30%정도는 높은 신뢰도를 가지고 있는 반면 26%정도는 수치해석결과를 매우 불신하는 경향이다. 이는 불명확한 입력 자료들과 낮은 이론적 배경의 이해도에 기인한 것으로 보이며, 이러한 불명확한 조건을 향상시키기 위하여 수치해석관련 연구자의 노력이 보다 활발히 이루어져야 할 것이다. 하지만 높은 수치해석결과와 신뢰수준이 해석결과를 과신하여 설계에 반영하고 있다는 의미는 아니며 터널 설계자들이 공학적 판단을 내리는데 있어서 참고를 위한 수치해석결과와 신뢰수준을 나타낸다.

### 3.2.4 역학/수리 커플링 해석의 필요성 인식 수준

(2-4) 터널설계시에 수리해석 및 역학/수리 커플링 해석의 필요성은? 1(매우 낮음)에서 5(매우 높음)까지의 수로 느끼는 정도를 표현하십시오.

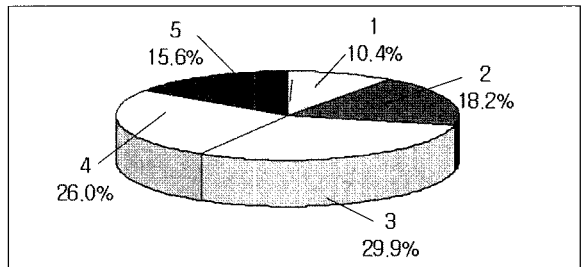


그림 15. 역학/수리 커플링 해석의 필요성 인식 수준

본 조사를 통하여 수리/역학 커플링 해석의 필요성에 대한 의견이 분분한 것을 알 수 있다. 매우 필요하다는 의견이 전체 설문응답자의 40%정도를 차지하고 있으며, 필요치 않다는 의견도 30% 그리고 '보통'으로 인식하고 있는 응답자도 30%정도로 다양한 인식분포를 보인다.

따라서 수리/역학 커플링 해석의 필요성에 대해 보다 활발히 논의되어야 할 것으로 보이며, 커플링 해석이 꼭 수행되어야 하는 조건들이 보다 명확히 제시하여 효율적

인 수치해석이 수행될 수 있도록 하여야 할 것이다.

### 3.2.5 탄소성 해석의 필요성 인식 수준

(2-5) 터널설계시에 소성해석의 필요성은? 1(매우 낮음)에서 5(매우 높음)까지의 수로 느끼는 정도를 표현하십시오.

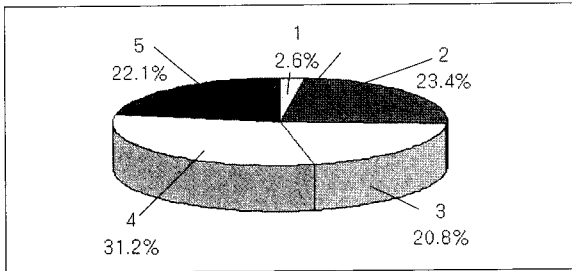


그림 16. 탄소성 해석의 필요성 인식 수준

탄소성해석의 필요성 부분은 총 설문응답자의 75%정도가 '보통' 이상으로 응답하여 탄소성해석이 꼭 필요하게 인식되며 일반적으로 적용되고 있음을 알 수 있다. 하지만 26%정도의 설문자들이 소성해석의 필요성을 느끼지 못하고 일반적인 탄성해석만으로도 터널설계를 수행하는데 무리가 없는 것으로 인식하고 있다. 소성해석이 수치해석결과에 크게 영향을 미치므로 사전에 철저한 준비 없이 무분별한 소성해석 수행은 자제하여야 하겠지만, 탄성해석과 차별화된 탄소성해석의 특성을 명확히 이해하여 수치 모델링을 이용해 터널구조물의 거동특성을 이해하는데 도움이 될 수 있도록 하여야 할 것이다.

### 3.2.6 이방성 지반의 이방성 모델링의 중요도 인식

(2-6) 강화지반이나 절리암반 고유의 역학적 특성인 이방성이 터널설계에 미치는 영향 정도는? 1(매우 낮음)에서 5(매우 높음)까지의 수로 느끼는 정도를 표현하십시오.

이방성 보강 지반이나 절리암반을 대상으로 한 수치모델링에 있어서 필요성을 인식하고 있다는 의견이 58%정도, 필요가 없는 것으로 인식하고 있는 경우가 38%정도

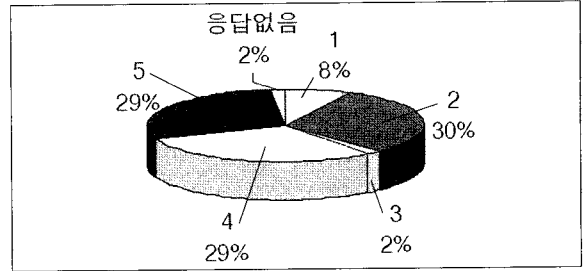


그림 17. 이방성 지반의 이방성 모델링의 중요도 인식 파악

로 명확히 양분된 인식이 존재하고 있음을 알 수 있다. 따라서 등방 연속체해석에 대한 이방성 해석의 난이도를 고려할 때 이방성 해석이 해석결과에 미치는 영향과 반드시 이방성 해석이 필요한 대상을 명확히 하여 효율적이고 합리적인 수치해석이 이루어 질 수 있도록 하여야 한다.

### 3.3 수치모델링 문제점 파악

#### 3.3.1 수치해석에서 중요한 항목 인식 파악

(3-1) 아래의 수치모델링 관련 항목들을 중요도 순으로 나열하십시오?  
( ) 예: (4-2-3-1)

- (1) 지반 및 지보재 물성 결정
- (2) 지질구조 결정 및 초기응력 결정
- (3) 하중분담, 탄소성모델(Mohr-Coulomb, Critical State 모델 등), 단계별굴착방안 결정 등과 같은 모델링 방법
- (4) 해석결과 분석 및 공학적 판단

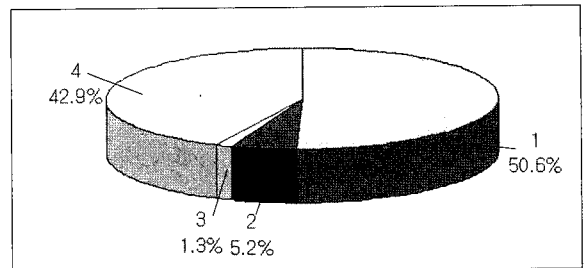


그림 18. 수치해석에서 중요한 항목 인식정도(1순위 기준)

수치모델링 관련 항목들 중 해석결과에 미치는 민감도 수준 인식 파악과 터널설계에 활용하는 방법에 대한 인식

을 조사하였다.

수치모델링 상에서 가장 중요한 것으로 인식되고 있는 항목은 총 설문응답자중 50.6%가 '지반 및 지보재 물성 결정' 이라고 답하였다. 의도됐던 바와 같이 수치해석 실무자들도 수치해석에서 가장 중요한 것은 면밀한 입력자료의 준비라고 인식하고 있었으며, 총 설문응답자의 42.9%가 수치해석 자체보다는 결과를 분석하여 기술자들의 경험과 함께 합리적이고 논리적인 판단을 내리는 과정이 무엇보다 중요한 것으로 인식하고 있었다. 2순위로 선택한 항목들을 분석해 보면, 1번을 1순위로 선택한 경우에는 2순위로 4번을 선택한 응답자가 가장 많았으며, 반대로 4번을 1순위로 선택한 응답자 중 1번을 2순위로 선택한 경우가 대부분이었다. 이는 앞에서 언급된 내용과 부합되는 결과이다. 이러한 조사결과들은 의도됐던 방향과 일치한 것으로 수치해석 실무자들이 올바른 인식을 가지고 수치해석 항목들을 처리하고 있는 것으로 보인다.

### 3.3.2 문제 있는 수치모델링 관련 항목에 대한 인식 파악

(3-2) 아래의 수치모델링 관련 항목들을 문제가 많은 순으로 나열하시오?

( ) 예 : (4-2-3-1)

- (1) 지반 및 지보재 물성 결정
- (2) 지질구조 결정 및 초기응력 결정
- (3) 하중분담, 탄소성모델(Mohr-Coulomb, Critical State 모델 등), 단계별굴착방안 결정 등과 같은 모델링 방법
- (4) 해석결과의 분석 및 공학적 판단

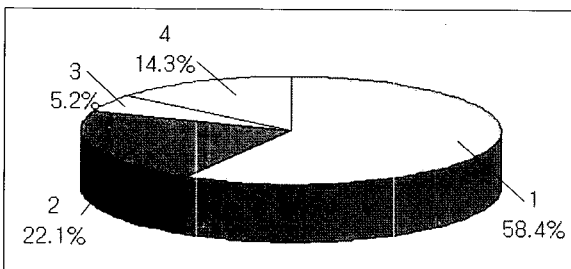


그림 19. 문제 있는 수치모델링 관련 항목에 대한 인식정도 (1순위 기준)

수치모델링 상에서 해결해야 할 문제점을 가장 많이 내제하고 있는 항목들에 대해 조사하였다. 가장 중요한 것으로 인식되고 있는 '지반 및 지보재 물성 결정' 이 문제 또한 가장 많이 내제하고 있는 것으로 인식되고 있다. 총 설문응답자의 58.4%가 이러한 응답을 해 주었다. 반면에 역시 중요한 것으로 인식되고 있는 '해석결과의 분석 및 공학적 판단' 항목은 상대적으로 큰 문제가 없는 것으로 여겨지면서, 수치해석결과가 기술적으로 잘 분석되어 합리적으로 터널설계에 반영되고 있는 것으로 인식되고 있다. 또한 지반조건의 불확실성에 기인하여 해석결과에 큰 영향을 미치는 지질구조 결정이나 해석 전 부여하는 초기 응력에 대한 신뢰성이 무척 낮은 것으로 조사되었다.

### 3.3.3 수치해석의 반영수준에 대한 인식 조사

(3-3) 터널설계에서 수치해석은 어떻게 활용되어야 한다고 생각하는가? ( )

- (1) 물성보정 등 수치해석 입력자료의 신뢰성을 확보하기 위한 노력을 충분히 하고 해석된 결과(변위, 응력 등)는 그대로 터널설계에 반영 한다
- (2) 터널설계는 지반조사 자료 등을 이용해 별도로 진행하고 수치해석은 결정된 설계안에 대한 검토정도로 활용 한다
- (3) 준비된 수치해석 입력자료나 기존 사례를 이용하여 수치해석을 수행하고 전문가의 공학적 판단으로 수치해석 결과를 보정하여 터널설계에 반영 한다
- (4) 기타(이 경우 합리적인 활용방안을 아래에 기술해 주십시오)

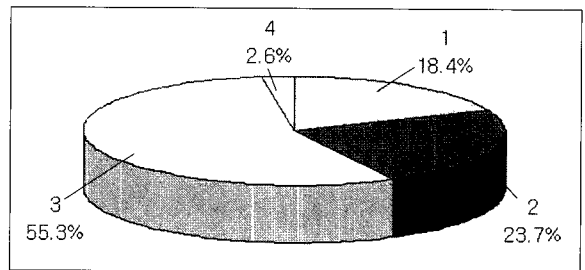


그림 20. 수치해석의 반영수준에 대한 인식

수치모델링의 활용방안에 대한 인식에 있어서는 총 설문응답자중 55.3%가 준비된 자료를 기초로 하여 입력자

료를 준비하고 부족한 자료로 인해 가정된 조건을 결과 분석시 명확히 고려하고, 해석 수행 후 기술자의 공학적 판단에 의존하여 터널설계를 수행하는 것이 바람직한 것으로 인식되고 있다.

항상 완성된 자료가 충분치 않은 현실에서 입력자료의 완성도를 높이기 위한 비용투자를 증가시키거나 보다 많은 시간을 할애하기 보다는 문헌 등 합리적인 자료들을 활용하여 논리적인 가정조건을 세워 수치해석을 수행하는 것이 효율적이라는 인식이 우세했다. 해석결과 과신에 의한 터널설계의 오류가능성을 타진하는 1번 항목에 대해서는 18.4% 정도만 응답을 줌으로써 대다수의 수치해석 실무자들이 결과를 과신하지 않고 적절히 보정하여 터널설계에 반영하고 있는 올바른 인식을 가지고 있는 것으로 조사되었다.

2번 항목은 수치해석의 역할이 매우 낮게 인식되고 있는 상황을 알아보고자 한 것이었으며 본 항목의 내용은 실제 빈번히 행해지고 있는 내용이다. 이러한 현실에 반해 총 설문응답자 중 23.7%만이 본 항목을 1순위로 선택함으로써, 대부분의 실무자들은 이러한 수치해석 활용방안이 올바르지 않은 것으로 인식하지 않고 있었다.

### 3.3.4 수치모델링에 있어서의 애로사항 조사

- (3-4) 수치모델링을 수행하기 하는데 있어서 가장 큰 애로사항은 무엇인가? 두개만 고르시오 ( )
- (1) 배경이론에 대한 교육과정 및 자료의 부족
  - (2) 수치모델링의 개념/수행방법/활용방법이 일관성 있게 체계화되어 있지 않음
  - (3) 수준 낮은 수치해석 프로그램
  - (4) 프로그램 사용이 난해하고 사용방법이 체계화 되어 있지 않음
  - (5) 기타

현재 올바른 수치모델링 수행을 위하여 실무자들이 느끼는 가장 큰 애로사항은 44.6%의 응답자를 통하여 배경이론에 대한 교육 참여 기회의 부족과 자료의 부족으로 파악되었다. 또한, 34.7%의 응답자는 수치모델링 수행에

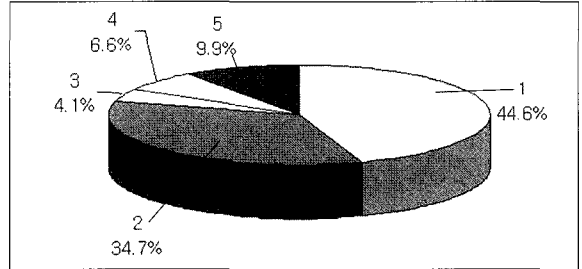


그림 21. 수치모델링에 있어서의 애로사항 조사

대한 개념, 수행방법 그리고 활용방법이 일관성 있게 체계화되지 않아 무척 혼동스럽다고 느끼고 있다. 앞서서도 언급되었지만 이러한 실무자들이 느끼는 수치해석상 애로사항들은 학계와 연구계가 학회를 중심으로 조금만 노력한다면 해결될 수 있는 것들이다.

즉, 대학에서 전문 수치모델링에 대한 이론들을 교육받을 수 있는 정규과목을 배정하지 못한다고 하여도, 학회 차원에서 수치해석 전문가들을 활용하여 관련 강좌를 개설하고 터널실무자들에게 정기적인 교육 참여의 기회를 제공하는 것이 그리 어렵지 않다. 또한, 수치해석 관련 항목들이 조건별로 해석결과에 미치는 민감정도를 자료화 하여 제공하고, 다양한 수치해석 조건들에 대해 합리적인 수치해석 수행방법을 일반화하여 실무자들에게 가이드를 제공하는 것이 필요하다.

또한, 활용방법에 있어서도 학회차원에서 합리적인 수치해석 활용개념을 제시하고, 기술자의 경험을 존중한 올바른 수치해석 활용방법을 체계적으로 제시하는 것이 필요하겠다. 기타, 조사결과에 의하면 제공되는 수치해석 소프트웨어의 수준과 활용 용이성에 있어서는 크게 문제가 되지 않는 것으로 파악되었다.

### 3.3.5 수치해석상의 문제점 파악

- (3-5) 기타, 현 설계사에서 수행되고 있는 제반 수치해석에 있어서 가장 큰 문제점이고 시급히 해결되어야 하는 사항을 간단히 기술해 주십시오.

본 문항에 대한 다양한 의견이 제시되었다. 현재 진행되고 있는 수치해석 수행상에서 실무자들이 문제가 많은 것으로 인식하고 있는 내용들을 아래에 정리하였으며 모든 것들이 앞으로 수치해석 전문가들을 중심으로 해결해야 할 사항들일 것이다.

(1) 교육 및 정보 분야

- 수치모델링 기법과 사례에 관한 정보공유 부족
- 수치해석 및 적용모델에 대한 이해와 이론적 지식 부족
- 인터페이스 요소의 물성 결정이나 보조공법 적용시 물성치 산정 등 입력자료 준비를 위한 가이드라인 부족

(2) 입력자료 준비 분야

- 입력자료의 신뢰도 부족
- 지반조사결과와 수치해석의 연계성 부족
- 지반 물성치 산정과정 확일화 및 과도한 안전측 설계
- 복잡한 지반 및 다양한 보강재료에 대한 물성산정방법의 객관성 부족

(3) 모델링 방법 및 기준 분야

- 수치해석 결과의 일관성 있는 활용기준 미비
- 복잡한 시공과정 및 다양한 현장조건을 고려한 모델링 기법의 다양성 부족
- 정형화된 모델링 방법으로 단순 반복 작업으로 수행되고, 결과의 분석과 활용도 일률적이고 반복적인 방법으로 이루어지고 있는 관행
- 다양한 현장조건을 모사하기 위한 모델링 기법 및 관련 자료 부족
- 수행자에 따라 결과의 차이가 매우 크는 등 수치해석의 객관성 부족
- 해석결과와 실제시공사례의 결과 차에 따른 사례조사 및 보정기준 등의 확립 필요

(4) 기타

- 수치해석의 결과를 원하는 특정결과에 겨 맞추는 관행
- 합리적인 수치해석을 위한 산·학·연 연계체계 부족
- 대부분 숙련도가 떨어지는 신입사원 내지는 대리급에서 수치해석을 수행
- 필요이상 과도한 양의 수치해석 수행 관행
- 수치해석에 주어지는 시간의 부족

3.3.6 합리적인 수치해석 수행을 위해 부족한 지식 분야 파악

(3-6) 개인적으로 수치해석 수행시 어떤 지식이 가장 부족하다고 생각하는가?

설문응답자들로부터 수치해석 수행시 가장 부족하다고 느끼는 지식에 대해 질문하였다. 다음은 제시된 의견들을 여과처리 없이 분류하여 정리한 것이며, 향후 학회를 중심으로 수치해석 실무자들에게 제공하여야 주요 내용들로 활용되어야 할 것이다.

(1) 입력자료 준비를 위해 요구되는 지식 관련

- 지반 및 보강공법에 대한 신뢰할 수 있는 물성산정에 요구되는 지식
- 그라우팅시 지반개량 효과에 관한 지식
- 지반-지보재(특히, 지반보강그라우팅)의 상호작용의 이해를 위한 이론적 배경
- 실내실험과 지반조사로부터 수치해석을 위한 대표물성산정 방법 및 근거이론
- 복잡한 현장을 모델화하는 방법에 대한 지식
- 현장지반 모델링 개념과 다양한 수치모델의 특징 및 적용범위

(2) 수치해석에 관한 이론적 배경 관련

- 유한요소법, 유한차분법, 개별요소법 등에 대한 기초이론

- 구성방정식과 지반관련 탄소성 모델들에 관한 지식
- 역학/수리 커플링해석에 관한 이론적 배경
- 유동법칙의 기초이론과 연속체 해석관련 지식
- 프로그램 작성에 도입된 다양한 수치해석 알고리즘에 관한 지식 및 민감도
- 동적해석 기초이론
- 수치모델 및 알고리즘에 대한 CASE STUDY 자료

(3) 결과 분석 및 활용 관련

- 수치해석 결과의 활용방안 및 프로그램에 대한 사용방법 및 이해
- 결과분석에 필요한 터널 및 구조 기초이론
- 수치해석 결과의 설계 적용체계 및 공학적 판단의 범위 및 근거
- 선택된 해석모델이 해석결과에 미치는 정량적 민감도에 관한 자료

3.3.7 올바른 수치해석 수행을 유도하기 위해 학회가 제공해야 하는 사항 파악

(3-7) 학회에서 수치모델링 관련으로 제공해 줬으면 하는 기술지원 사항이 있다면?

다음에서 설문응답자가 학회에 제안한 기술지원 사항을 정리하였다. 제안된 의견들은 '세미나 및 정기 이론 강좌'와 '다양한 자료 및 가이드라인 제시'와 같은 두 가지 형태의 지원을 요구하는 의견이 대다수를 이루었다.

특히 교육관련으로는 프로그램 개발사에서 제공하는 기능적인 교육 외에 예제를 동반한 이론적 강좌의 필요성을 느끼고 있는 설문응답자가 대다수였다.

(1) 세미나 및 정기 이론강좌

- 수치해석 이론적 배경에 대한 정기교육
- 각각의 상용 전문 프로그램별 기술세미나
- 수치해석의 문제점과 해결방안 제시를 위한 기술세

미나

- 제반 지반 및 암반공학적 문제에 대한 새로운 수치해석 기법 소개

(2) 자료제공 및 가이드라인 제시

- 수치해석 이론에 대한 정리 및 특정문제에 대한 예제를 다룬 책이나 세미나
- 현장조사 및 실험결과로부터 적절한 수치해석 물성치를 산정하기 위한 매뉴얼
- 해석부분에 대한 해외 연구동향을 파악 및 자료제공
- 해외의 수치해석 사례 소개 및 평가를 통한 국내 활용안 제시
- 수치모델링의 개념/수행방법/활용방법의 일관성 체계화
- 근래 활발히 적용되고 있는 다양한 보조공법들에 대한 합리적인 모델링 기법 및 보강지반 물성산정을 위한 가이드라인 제시
- 수치해석 적용범위, 단면결정 및 검토항목 결정을 위한 가이드라인 제시
- 수치해석상 각 모델의 한계점에 대한 공학적 근거 및 해결책
- 수치해석거동과 실제거동과의 차이에 대한 비교 자료 제공 및 수치오차에 대한 대응방안
- 수치해석과 현장 계측자료와의 비교검토 자료 제공
- 해석 결과의 분석에 필요한 기술자료 정리 및 가이드라인 제공
- 각종 현장여건에 맞는 모델링 사례 정리자료
- 보조/보강공법과 선진보강공법에 대한 체계적 모델링 기법
- 다양한 수치해석 기법의 적용사례와 장단점 비교검토 자료
- 각각의 수치해석 프로그램의 적용사례별 활용방법에 대한 자료 제공

(3) 기타

- 지속적인 학회차원의 프로그램 개발자 및 보급자 관리
- 구조물별 보편타당한 상용 전문프로그램을 선정하는 기준제시
- 턴키 등에 적용된 우수 수치모델링 사례 정리 및 정보공유

#### 4. 결론

터널공학회 터널정보기술위원회에서는 터널설계 및 시공상에서 활발히 수행되고 있는 수치모델링에 대한 현황을 파악하기 위하여 설문지를 작성하고 성공적으로 설문조사를 완료하였다. 설문결과와 분석된 내용으로 구성된 본 기사가 전체 터널공학회 회원들의 수치해석 수행상태를 이해하는데 도움이 되길 바라며, 향후 보다 합리적이

고 발전적인 방향으로 수치해석 기술이 발전해 나가는데 좋은 기초 작업이 되었으면 한다.

본 설문조사 내용과 분석결과를 종합정리하면, 현재 터널설계사를 중심으로 활발히 수행되고 있는 수치모델링의 소프트웨어 및 하드웨어적 환경은 지난 10년 전과 비교하여 괄목할 만한 발전이 있었음을 확인할 수 있었고, 설계사의 사원급 및 대리급을 중심으로 한 수치해석 실무자들의 수치해석에 대한 인식은 비교적 높은 수준인 것으로 판단된다.

이와는 상대적으로 실무자들이 느끼는 다양한 애로사항들이 존재하며, 앞으로 해결해야 할 문제점들도 무척 많은 것으로 파악되었다. 이들을 체계적으로 해결해 나가기 위하여 학회를 중심으로 수치해석 전문가들의 전략수립과 방법론 개발을 위한 분위기 조성이 시급히 요구된다. 특히, 실무자들을 대상으로한 이론강좌 개설과 수치해석 전 과정에 걸친 세부적인 가이드라인 작성의 필요성은 본 설문조사를 통하여 명확히 밝혀졌다.