

◇강 좌◇

지반구조물 거동의 정보확보와 시공에의 이용(Ⅱ)

이 문 수*1
김 영 남*2

2. 정보화 시공의 개념과 필요성

2.1 머릿말

지반에 관련된 구조물을 시공하기 전에 계획, 조사, 설계단계에서 여러 가지의 불확실성이 발생하여 직간접적으로 시공관계에 큰 영향을 주게 된다. 나아가서는 이들이 시공법이나 시공시기 등 시공단계의 불확실성과 함께 경제적, 기술적 불합리성을 초래하는 결과를 야기하였다. 더욱 최근의 지반구조물의 특징으로서는 사회간접자본(SOC)의 대형화와 함께 건설분야의 대부분의 공사비가 지반과 관련된 구조물 축조에 투자되고 있다. 따라서 설계 및 감리에 관한 시방사항이 보다 엄격해지면서 계획, 조사, 설계, 시공에 이르기까지 지반공학의 고급지식이 필연적으로 요청되기에 이르렀다.

이와 관련 이 강좌의 1편 “강좌의 시작에 즈음하여”에서는 지반구조물 시공중 내지는 유지관리에 왜 계측이 필요한가? 그리고 계측에서 얻는 자료(정보)를 어떻게 시공에 귀환하는가를, 이어서 2편에서는 다시 계측의 일반사항, 토목공사 특히 각종 지반구조물 공사에서의 계측발전 과정을 개괄하고, 계측과 신뢰성과의 관계, 현장관측과 시공관리 그리고 정보화시공의 장래 전망에 대하여 간추리고자 하였다.

따라서 이 강좌에서는 정보화시공에 관한 총괄적인 내용을 다루었고 이어지는 강좌 3, 4,

5, 6, 7편에서는 각각 연약지반, 터널, 지반굴착공사와 관련된 계측, 계측기설치 및 분석에서의 유의사항, 환경과 계측에 관련된 각론으로서 상세하고 세부적인 사항을 취급하기로 계획되어 있다.

2편의 목적은 “왜 비용을 들여 (대체적으로 계측비용은 총공사비의 1~3%정도) 계측을 하는가?”라는 질문에 “지반을 구성하고 있는 재료는 흙이나 암반이나 모두가 불균일하고 비등방성이며 더욱이 국부성이 강하기 때문에 설계와 시공은 일치되지 아니한다, 아니 일치될 수 없다고 하는 극히 평범한 상식으로부터 출발하여 처음 설계에 따라 시공하는 과정에서 차이가 발견되면 즉시 이 차이로부터 관련 재료상수의 참 값을 찾아 점차적으로 역동적으로 설계변경이라는 필수적인 과정을 수행하기 위한 자료를 확보하기 위함”이라는 해답을 얻는 것을 이해할 수 있길 바라면서 계측기기의 선정, 설치위치, 고장비율, 설치간격(밀도), 계측빈도, 자료해석기법(시공에로의 귀환) 등에 관하여 약간 추상적이기는 하지만 문제점을 정리할 수 있는 동기유발을 위해 몇개의 흐름도를 중심으로 강좌의 초점을 맞추고자 하였다.

2.2 일반사항

2.2.1 설계와 예측과 시공

여러 가지 지반위어나 지반 가운데 기초구조물을 적정하고, 안전하게 경제적으로 건설하는 것은 토질·기초공학에 종사하는 기술자에게 부여된 중요한 과제이고 실무이다. 그리고 그 기초구조물은 국민경제의 원리로부터 보아도

*1 정회원, 전남대학교 농과대학 농공학과 교수

*2 정회원, 동아기술공사 전문이사

발주자, 설계자, 시공자 그리고 이용자로서 만족할 수 있는 품질, 성능, 형상의 것으로 되어야 한다.

발주자가 기획한 것을 설계자는 도면, 사양서로 나타낸다. 다시 말하면, 설계는 실무를 수행한다. 다음에 시공자는 그 도면이나 사양서에 근거하여 기초구조물을 만들어 왔다. 다시 말하면 시공이라고 하는 실무를 처리한다. 최후로 완성된 기초구조물은 이용자에 의해서 장시간 이용된다. 발주로부터 설계, 시공, 이용까지의 일련의 실무는 지반이라고 하는 자연을 상대로 할 때의 인간의 행동이고, 이 인간의 행동은 여러 가지 불확실성 가운데에서 이루어져 온 것이다.

연약지반에 성토를 하거나 지중을 굴착하거나 산악에 터널을 굴진하기도 하고 해안에 안벽을 축조하든지, 이들 대부분의 기초구조물의 건설공사는 불확실성 가운데에서 이루어진 설계,

시공이라고 하는 인간의 행동인 것이다.

불확실성 가운데서 인간이 행동하기에는 이제부터 일어날 수 있는 사상을 예측할 필요가 있다. 설계자는 설계자대로, 시공자는 시공자대로 현장에 어떤 문제가 있는가, 어떤 사상이 일어나고 있는가를 생각하여 예측한다.

Lambe는 토질·기초공학의 문제에서는 변형(크기와 속도), 안정성, 하중의 3가지를 예측할 필요가 있다고 하여 그림 2.1과 같이 나타내었다. 이 그림은 토질·기초공학에서의 예측의 수순, 즉 설계라고 하는 하나의 예측작업을 요약한 것이다.

한편, 시공자는 주어진 설계를 기초로 이제부터 시공중에 일어날 수 있는 사상을 예측하여 행동한다. 그렇지만 그들의 예측에 기인하여 실제의 시공을 진행하여 본다면, 현장에서 현실로 발생하는 크건 작건 사전의 예측과는 다른 거동을 나타내는 경우가 많은 것은 우리도 잘 경험한 바 있을 것이다. 자연을 상대로 하였을 때의 인간의 행동은 인간의 예측대로는 진행되지 아니한다.

인간의 행동의 방향을 임기응변으로 바꾸어 가지 않으면 안된다. 특히 연약지반이라거나 불규칙, 불균질 지반, 더욱이 지하수가 존재하는 지반을 대상으로 할 때는 예측에서 어긋나는 일이 많이 발생한다.

그래서 실무에 종사하는 기술자야말로 채용하는 방법의 하나가 현장계측공법 또는 정보화 시공이라고 부르는 공학적 수법인 것이다. 현장에서 발생하는 현상이 있는 국면을 신속하게 계측하므로써 불확실성 가운데서의 신뢰도를 높이도록 하는 기법이다. 그림 2.2를 참조하기 바란다.

설계자에 의하여 주어진 예측치에 대하여 초기단계의 시공을 실시하면서, 현장계측에 의해서 얻어진 정보를 기초로 예측치의 수정과 새로운 예측치에 기초한 다음 단계 시공에의 의사결정을 반복하게 된 셈이다.

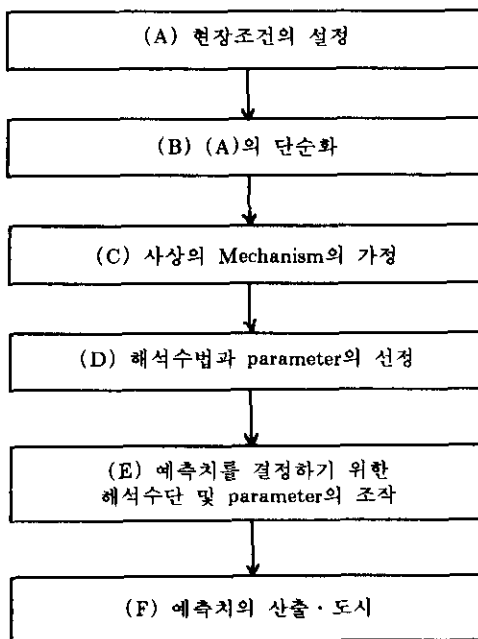


그림 2.1 토질·기초공학에서의 예측의 수순

2.2.2 현장계측의 배경과 의의

1) 현장계측의 배경

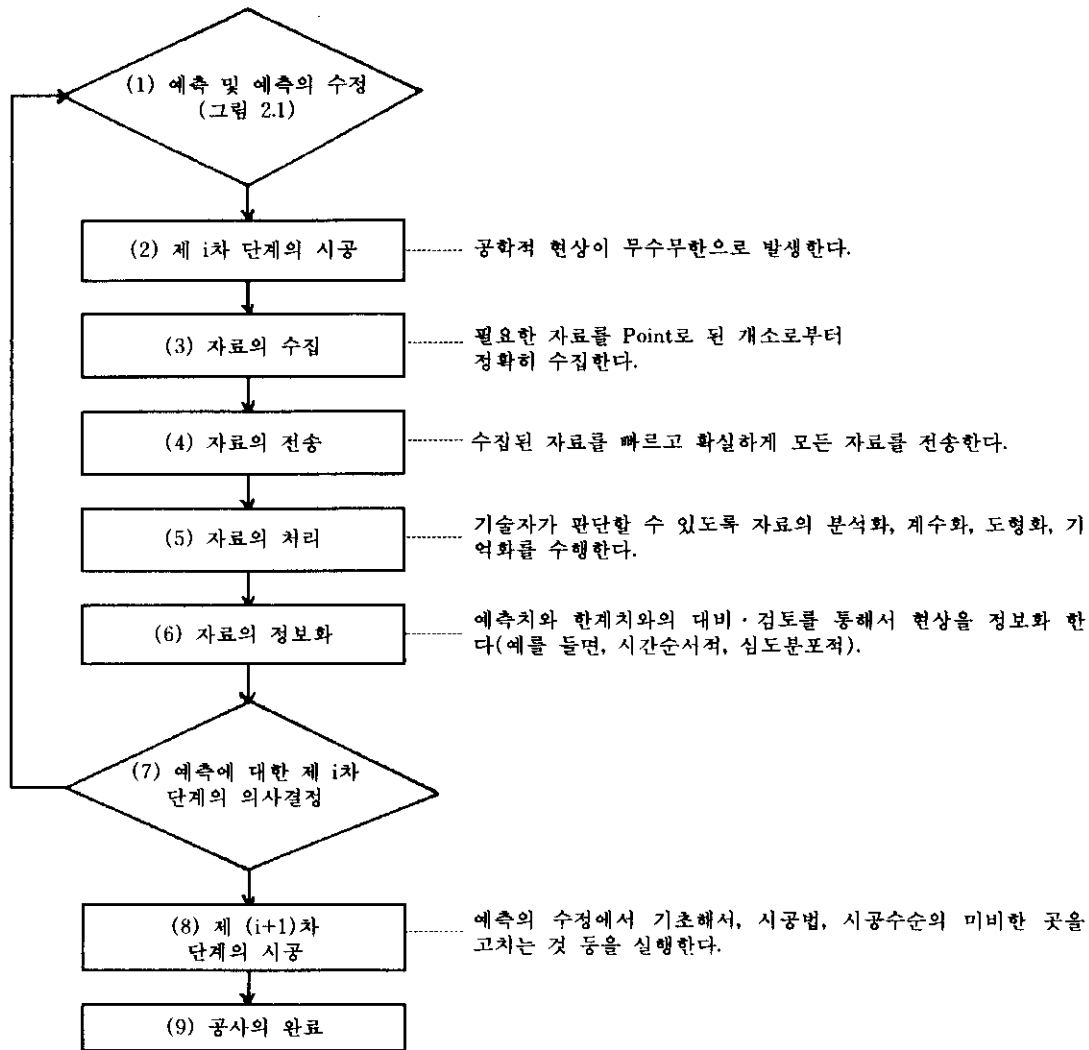


그림 2.2 현장계측공법(혹은 정보화시공)의 system

앞에서 「예측」이라고 하는 표현을 썼지만 실제로 시공을 진행하고 있는 공사현장의 책임자의 입장에서 생각해 본다면, 어떠한 것으로 되는 것일까?

공사책임자는 설계자로부터 도면을 떠맡아서 목적으로 하는 구조물을 소정의 공기와 비용으로 안전하게 만들어내야 한다. 이것이 예정(예측이라고 생각해도 좋다)대로 진행된다

면 전혀 문제가 없겠지만, 보통은 그렇게 안된다. 그래서 공법을 변경하거나 보조적인 수단을 강구하는 등, 무엇인가의 수단을 쓰게 된다. 언제 어떤 수단을 써야만 할까? 책임자는 언제라도 그 결단을 강요받게 된다. 이와 같이 지금부터 실행하려고 하는 방법을 결정하는 행위를 「의사결정」이라고 한다. 실행하여 버린후 어떠한 결과가 될 것인가가 확실하게 될 수 있을

때는 의사결정은 전혀 문제가 되지 않는다. 그런데 이와 같은 것은 거의 드물 것이다. 결과가 어떻게 될 것인가를 잘 이해하지 못한 채로 의사결정을 행하게 된다. 이런때 책임자로서 「의사결정을 위한 정보가 불확실하다」고 말하고, 책임자는 「불확실한 정보 아래서의 의사결정」을 수행한다고 한다.

불확실 정보아래에서의 의사결정을 할 경우, 사람은 각자 믿는 것을 찾는다. 오랜기간의 경험이나 직감, 신념이라고 할 수 있는 그 사람의 인생관, 신과 부처의 가호라고 말하는 경우도 고려된다. 의사결정의 과학은 이러한 정서적인 측면을 대상으로 하여 얻을 수 없지만, 한편, 정보를 정량적으로 표현하고 불확실한 부분의 존재를 명확하게 하는 외에 이와 같은 정보의 근거아래서 의사결정을 하는 경우의 risk(손실)를 정량적으로 산정한 것과 같은 극히 객관적인 측면을 대상으로 하고 있다. 따라서 이와 같은 의사결정의 과학은 통계적으로 보다 호감이 가는 결과를 주는 확률이 높다고 하는 점에서 유익하다고 생각되고 있다. 여기서 말하는 의사결정의 이론을 마음속에 두고 기술을 해

나가지만 다음에서 약간 상세하게 설명되도록 현장계측은 의사결정에 있어서 종종 강력한 정보원으로 될 수 있다는 점이다.

현장계측이 이루어지는 배경에는 이와 같이 그 현장을 대상으로 한 무엇인가의 의사결정이 이루어 지도록 하고 있고, 더구나 그것이 불확실한 정보아래 있다는 것, 더욱 더 현장계측에 의해서 얻어진 정보가 불확실성을 해소하기에 충분히 유효하다는 것이 인정되지 않으면 안된다.

2) 현장계측의 의의

이제 그렇다면, 현장을 대상으로한 의사결정과 현장계측은 어떻게 관련되어 있을가를 조금 더 구체적으로 생각해 보기로 한다.

일본, 토목학회가 시행했던 설문조사에서 어떤 목적으로 현장계측이 이루어지고 있는가를 본다면 표 2.1과 같다.

이 표에 의하면, 현장계측은 시공관리, 안전관리, 설계법의 확인, 유지관리라고 할 수 있는 목적으로 이루어지는 경우가 많고 각자의 의사결정행위의 상황을 상기할 수 있다.

우선, 시공관리, 안전관리라고 하는 목적은

표 2.1 공종별로 본 계측목적(단위 : %항목수)

계측목적 공 종	(a) 시공관리	(b) 안전관리	(c) 설계법의 확인	(d) 사전검사	(e) 유지관리	(f) 기타	평균의 계측목적수
① 굴착 1	34.8	91.1	58.9	0	12.5	25.9	2.2
② 굴착 2	34.0	74.0	64.0	2.0	28.0	22.0	2.2
③ 성토	53.8	10.3	28.2	0	7.7	2.6	1.0
④ Dam	62.5	0	0	0	12.5	37.5	1.1
⑤ 매립 등	18.8	6.3	18.8	0	18.8	37.5	1.0
⑥ 시설기초	15.2	21.7	37.0	0	6.5	19.6	1.0
⑦ Tunnel	31.4	59.0	67.6	0	10.5	42.9	2.1
⑧ Shield	28.2	31.8	14.5	2.7	11.8	10.9	1.0
⑨ 교량	52.4	0	66.7	0	19.0	0	1.4
⑩ 기타	35.6	17.8	40.0	6.7	4.4	22.2	1.3
전 체	33.2	46.9	44.9	1.3	12.3	22.8	1.6

주) 회답은, 복수회답이므로 공종별합계는 100%를 넘는다.

전체는, 전 공사수의 계측목적의 분포이다.

굴착 1은 기초·뿌리를 자르는 것 등,

굴착 2는 관로매설 등이다.

이제 바야흐로 구조물의 시공이 진척되고, 책임자는 잠시도 형편이 좋지 못함이 일어나지 않도록 감시하고 적절한 의사결정을 해야 할 상황아래 있는 것으로부터 생긴 것으로 현장계측의 전형적인 이용목적일 것이다. 정보화시공이라는 것은 관측적 시공방법 등이라고 부르고, 시공과 현장계측의 관계를 공고히 하고, 그 수단을 개발하는 노력이 진척되어 와서, 한 분야를 이루고 있다. 여기서는 시공법의 변경이라던가 시시각각의 안전도의 평가와 그 대응이라고 할 수 있는 의사결정행위에 현장계측이 필요 불가결한 것으로서 의의를 갖고 있다.

이것에 대응하여 설계법이라고 하는 목적은 현장의 즉시적인 의사결정과 관련되는 것은 아니고, 예비적인 시험시공이나 특수지반, 미경험한 규모, 새로운 설계이론의 적용 등이라고 하는 상황아래서의 시공에서 생긴다고 생각되고, 대부분의 경우 정보화시공의 기법으로 시공관리, 안전관리를 행하고, 그 결과 얻어진 정보를 다음의 단계에서 설계라고 하는 의사결정행위에 feed back한다고 하는 것이다.

또, 표 2.1에 표시된 것은 비율이 그다지 크지 아니한 것으로 현장계측이 유지관리라고 하는 장에서 활용되는 것도 나타내고 있다. 구축된 사회기반으로서의 전조물의 상황을 계측관리하여 적절한 보수를 해나가면서 안전하고 유효하게 활용하여 온 것은 중요한 사회적 요구이고 현장계측이 이것에 기여하는 가능성도 크다.

이와 같이 현장계측은 기초구조물의 설계에서부터 유지관리까지의 넓은 분야에서 개개의 의사결정에 관여하고 있다.

2.2.3 현장계측과 비용

1) 계측계획의 어려움

2.2.2까지에 기술한 것은 현장계측이 구조물의 설계, 시공, 유지관리라고 하는 일련의 process에 있어서 매우 의의 깊다고 하지만, 그 현장계측이 효과를 충분히 발휘하기 위한 제일보로서 견고한 계측계획이 이루어져야 한다. 그런데 계측계획의 입안이라고 하는 것은 실제

는 상상이상으로 곤란한 일이다. 그 첫째 이유는 광범위한 분야에 걸친 지식을 필요로 하는 점에 있다. 우선, 「불확실 정보아래서의 의사결정」이라고 하는 문제를 붙잡는 방법, 혹은 의사결정의 이론이나 정보화이론 등에 있어서 적지 않게도 그 개념의 이해가 필요할 것이다. 더욱 대상으로 하는 설계, 시공 등에 관계되는 구체적인 지식에 대하여 계측기의 구조, 센서의 특성 등, 전기·기계적 지식과 자료처리에 관한 computer관련 지식이 요구될 것이다. 또 얻어진 데이터의 운영을 위하여 구성된 인적조직의 존재방식, 바람직한 사회 system 제안을 요구받는 경우도 있을 것이다. 정보·건설·전기·기계·사회조직 등 그 관련된 분야는 실로 광범위한 것이다.

둘째 이유는, 계획에 필요한 기초자료가 얻기 어려운 점이 지적될 수 있을 것이다. 대상으로 하는 구조물의 설계·시공의 방법은 물론, 계기나 computer 등은 급속하게 변화하고 있으므로, 신뢰성이나 성능에 관하여 정확한 자료는 매우 얻기 어려운 것이다.

더욱이, 현장계측에 관한 사회적인 공동인식(대부분 계측지침이나 규준이라고 했던 형식에서 정비된다)이 부족하고, 적지 않게도 일본의 경우도, 계측에 관한 서적이 간행된 1990년의 시점에서는 그와 같은 지침·규준의 종류가 토목계측기에 관한 공인의 기술규격 등은 거의 정비되지 아니하였다. 따라서 계획에 즈음하여 입안자 자신들이 광범위한 지식을 얻는 외에 data를 수집하고, 독자의 판단으로서 계측기의 선정이라거나 배치를 결정하지 않으면 안되게 되었다.

이와 같은 상황에 있기 때문에, 통상 구조물의 설계자가 계측계획을 포함해서 입안하는 것이 곤란하게 되고, 현장계측의 전문업체에 설계도를 제시하여 계측계획을 하도록 하는 경우가 많다. 그런데 현장계측의 전문업자에게는 설계도 만으로는 그 구조물의 어디에 어느 정도의 불확실성이 존재할 것인가는 이해할 수 없고, 당연한 결과로, 충분히 지나칠 정도의 계측기의 배치와 같은 계측계획을 하는 결과로 된다.

여기서 의도하는 것은 마땅히 이와 같은 상황을 걱정하고 두려워하여 구조물의 설계·시공·현장의 상황 등에 충분히 적합했던, 더 좋은 현장계측이 계획되기 위하여 참고로 되는 자료를 제공하려고 하는 것이다.

2) 계측계획에서 검토할 사항

계측계획의 작업은 대체로 그림 2.3과 같은 흐름으로 진행된다. 아래에 약간의 해설을 추가하고자 한다.

①에서는, 계획시점까지 얻어지고 있는 정보를 정리·분석하여 이들의 정보아래서의 의사

결정을 하는 경우의 risk를 검토한다. 이하의 현장계측은 이 risk의 정도에 따라서 큰 규모로서 계획되는 것으로 된다. 정보량과 risk상태의 고려방법은 다음에서 해설하지만, 실제의 계획은 꽤 번거로운 일이고 평가값도 주관적으로 되는 것은 어쩔 수 없다. 규준, 지침 등이 있다면, 이것을 참고로 하는 것이 가능할 것이다. 이들에 대하여는 장차 기회가 주어지면 소개한다.

②에서는, 현장계측에 의해서 얻어진 추가정보에 의해서 해소되는 불확실성과 risk의 감소

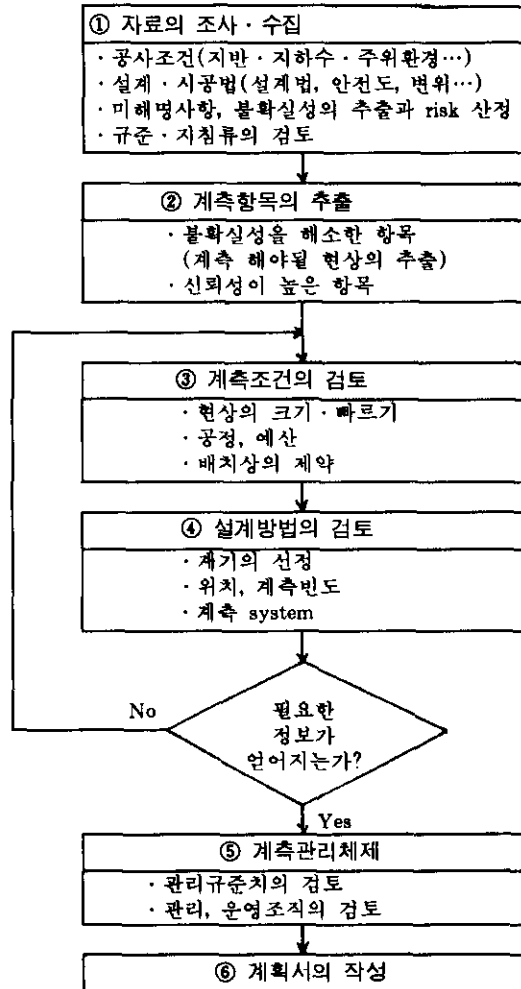


그림 2.3 계측계획의 process

에 대해서 검토한다.

③, ④는 계측기거나 시스템의 구체적인 도입에 관한 검토이다.

⑤는 다음 항에서 약간 상세하게 기술한다.

3) 현장계측의 적용

계측계획의 최종단계로서 현장계측을 최대한으로 활용하고, 의사 결정에 공헌하도록, 그 운용방법에 대하여 충분히 검토하여 두는 것이 중요하다. 고가인 계거나 computer를 도입하여도 시공관리나 안전관리에 거의 이용되지 않고 있다는 경험은 없는가.

현장계측이 유효하게 활용되기 위한 필수조건은 그것이 불확실성의 해소와 의사결정에 있어서 불가결한 것으로서 이미 기술한 바와 같다. 그에 더하여 운용에 관하여 다음 2개 사항을 검토하여 둘 필요가 있다. 그 하나는 관리 규준을 명확하게 하는 것으로, 얻어진 자료를 처리 해석하여 판정 가능한 형식으로 정보화하고, 관리, 판단의 기준에 비추어 직접적으로 판정 가능한 방법을 정비하여 놓고 싶다.

다음에 이와 같은 정보가 제공되었을 경우, 누가 최종결정을 내릴 것인가 라고 하는 인적인 관리조직을 명확하게 하여 둘 필요가 있다. 계획 정보는 어디까지나 의사결정을 위한 지원정보이다. 인적조직에 있어서는 추후에 설명한다.

2.2.4 현장계측의 비용

그림 2.4는 공사중의 안전율의 추이를 나타내는 개념도이다. 토질기초에 관한 공사에 있어서는 이 그림과 같이 공사기간중에 안전율이 최소(가장 위험한 상태)로 되는 시기가 반드시 한번 이상 출현한다. 이 같은 가장 위험한 기간을 발주자, 설계자, 시공자가 일체로 되어 협력하여 안전하게, 동시에 최소의 비용으로 극복하는 것이, 현장계측의 큰 목표의 하나인 것이다.

그래서 현장계측에 드는 비용에 있어서도, 필요한 공사비의 일환으로 하여 발주자, 설계자, 시공자 3자간에 논의가 이루어지는 것이 요망된다. 이것이 과대한 안전으로부터 오는 공사비의 낭비나 과소한 안전율로부터 오는 공

사의 risk 등을 피하기 위해 보험료와 같은 성격의 비용인 것이다. 안전한 현장 계측에 의해서 얻어지는 기대 이익이, 그 비용의 한도인 것은 당연하다 해도, 통상 현장계측에 필요한 비용은 어느 정도가 적절한 것인가?

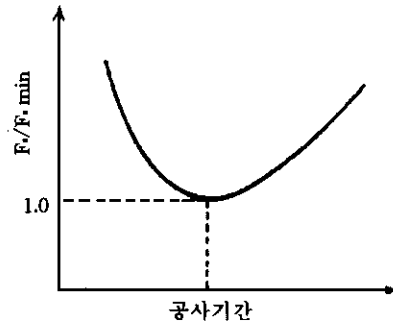


그림 2.4 공사중 안전율의 추이

표 2.2는 일본 토목학회가 시행했던 현장 계측에 관한 설문조사 결과이다.

이 표는

- (1) 현장계측비의 평균 61%는 발주자가 부담하고, 동시에 의사결정은 발주자가 한다.
- (2) 공사비용에 차지하는 현장 계측의 비용은 2%정도이다.
- (3) 이 가운데 약 30%는 soft에 관한 비용이다.

의 3개 사항을 나타내고 있다.

깊은 굴착공사라던가 호안, 성토공사에서의 실시 예를 조사해 본다면 그림 2.5가 얻어지고, 공사비의 다소에도 의존하지만, 공사비의 1~3%로서, 평균 2%가 목표로 되고 있다.

그러나 현장계측의 비용은 현장계측의 목적, 공사의 규모나 중요성, 현장계측의 규모나 기간, 계측치의 처리방법이나 시스템 등의 soft 등에 의해서 크게 좌우되는 것은 말할 것도 없다.

그림 2.2는 현장계측공법 또는 정보화시공의 시스템을 나타내고 있지만, 최근에는 computer와 특히 mycom(micro computer)의 이용이 보편화되고, 여러 가지 시스템이 개발되어 와서 현장계측 비용의 가격 저하(특히 data

표 2.2 계측비용과 그 부담

공종	공사금액에 차지하는 계측비용의 비율		계측비용의 발주자 부담비율					
	hard	soft	평균부담율	75% 이상	25~75%	25%이하	합계	
① 굴착 1	1.68%	62	38	51.4%	46	18	36	100
② 굴착 2	2.19%	81	19	46.7%	38	23	38	100
③ 성토	1.10%	20	80	62.2%	56	11	33	100
④ Dam	0.13%	100	0	46.3%	25	50	25	100
⑤ 매립 등	7.21%	84	16	75.3%	75	0	25	100
⑥ 시설기초	1.59%	88	12	72.8%	67	22	11	100
⑦ Tunnel	2.31%	69	31	70.1%	68	24	8	100
⑧ Shield	1.24%	82	18	41.4%	33	14	52	100
⑨ 교량	1.17%	84	16	98.3%	100	0	0	100
⑩ 기타	1.35%	43	57	45.6%	47	6	47	100
평균	2.00%	71	29	61.0%	56	17	27	100

주) 평균이라는 것은 표에 기재되어 있는 수치의 가중평균을 의미하고, 전공사의 공사금액의 합계와 계측비용의 합계로부터 산출한 것은 아니다.

처리 작업의)가 진행되고 있는 것은 다행스러운 일이다.

발주자측이 현장 계측비용의 예산화와 필요 경비화에 노력함과 동시에 설계자, 시공자와의 공동작업을 실현시켜 가는 것이 우리들 토질·기초공학에 관련된 기술자의 임무라고 말할 수 있다.

2.3 계측의 역사적 고찰

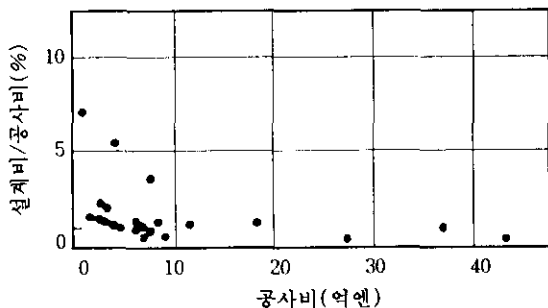


그림 2.5 현장계측공법의 cost와 공사비(실적에 의하여)

2.3.1 계측의 발전사

일본국의 齊藤二郎(土と基礎, 1992. 9. pp. 64~65)에 의하면, 인류의 탄생은 최근의 고고학 연구에서는 지금까지 생각해 왔던 것보다 다시 옛날 300만년 이상이라고 하는 연구결과도 보고 되고 있지만, 고대인은 별도로 하고, 현세인의 시대로 된다면, 신석기 시대인 BC 7000년 이상의 무렵에 mesopotamia에서 농경 목축이 시작되었다고 전해지고 있다.

농경이 시작되었다고 하는 것은 흙을 이용하여 굴착이나 지면을 고르는 작업이 시행됐다는 것은 쉽게 상상하여 알게 된다.

표 2.3에 계측에 관한 사항의 발전과정에 있어서 고대의 흙에 관계있는 기기의 발명, 개발, 연구 등에 있어서 연대순으로 중요한 것을 기재하여 보았다.

기원전 상당히 오래전 시대에 dam, pyramid, 운하, 도수터널, 수도공사 등이 보여지지만, 어느 것도 계측하지 않고 건설되어 얻을 수 있다고도 생각되지 않는다. 고고학적 조사에 의해서 이 문제에 관한 해명이 계속되고 있다.

표 2.3 계측에 관한 사항의 발전과정

년대	계측에 관한 사항
BC 2800	Egypt에 Sadd-el-Kafara dam건설되다(제하폭 84m, 높이 12m, 연장 108m)
BC 2500	Egypt에 구우왕의 대형 pyramid 건설되다
-	Egypt에 Nimrud-(marduk) dam, Tigris에 건설되다
BC 1600	Egypt왕에 의해서 Swiss 지중해와 홍해를 연결하는 연장 180km 운하 건설
BC 710	예루살렘에서 전쟁동안 성외의 기본샘으로부터 지하터널로 도수(길이 520m, 지하 40m)
BC 110	Rome 대수로 공사 완성. 길이 2080km(14본의 pipe로 1일 10만톤)
1608	화란의 안정점 리버시에가 먼곳이 크게 보이는 것을 발견
1642	프랑스인 프레스·파스칼 8연의 계산기 발명
1669	J. 피카르가 처음으로 십자선이 붙은 망원경을 써서 측량 실시
1799	프랑스 정부 meter법 채용원기 프라치나로 작성
1875	5월 20일 Paris에서 국제 meter조약 참가국 18, 신원기(프라치나 90%, 이리시움 10%)
1885	일본 국제 meter조약에 가맹, 다음해 칙령으로 결정
1899	덴마크, V. 바르센 자기 tape recorder발명, 다음에 Paris 미국 박람회 출품
1909	일본국, 쓰야이스사, La형 level에 기포합치식 채용
1910	와일드사 창립, T-2 transit로 micrometer 사용
1916	Goldbeck 토압계에 대하여 연구 제작
1927	Kogler와 Scheidig 토압계의 실험적 연구를 실시(토압계가 주위의 흙보다 강성이 큰 경우, 큰 토압력이 보여지고, 역의 경우 작은 힘이 보여지는 사실을 발표)
1928	일본 해군기술연구소, 독일에서 개발된 오쿠이젠식 변형률계를 이화학연구소에 제작시키고, 이연식 변형률계로서 판매하다
1930	미국 California대학, Ray W. Carlson박사, 칼슨형 변형률계를 제안, Stantham Laboratory, Inc에서 시판
1932	Terzaghi, 대형 모형실험에 Goldbeck 토압계 사용, 저압에서는 사용 불능
1937	일본국 후켄베르가 변형률 小笠原제작소에서 일산화 시킴. 육군 항공기술연구소, 철도 기술 연구소에서 사용되다
1939	일본국 주우금속, 항공기 propeller의 강도측정용 탄소편 변형률계를 개발
1940	미국 Baldwin사에서 전기저항 변형률 SR-4 gage를 개발
1941	일본 해군기술연구소, 小林韓治鬼頭史成전기저항 변형률계를 사용하여 선박의 응력측정을 행하고 1947 발표하다
1943	일본국 해군공창에서 접착식 변형률계와 동일한 형식의 격자형 변형률계를 제작하고 응력 측정에 사용
1946	미국 육군, 1초 5000회 가산응력 computer ENIAC을 J.P. 에카드, J.W. 모쿠리가 제작, 18000본의 진공관을 사용
1947	스웨덴 베르그랜드, 광과측거의 geometer를 개발
1948	미국 Bell 전화연구소, W. 조글라이, J. 베르던, W. 푸테레인에 의해서 transit발명되다
1950	독일 카르스루 공과대학의 Franz박사와 Glotz박사에 의해서 순유체식의 힘변환기를 실용화 하고 Glotz형이라고 불려서 최근에도 NATM공법의 복공 콘크리트 응력측정에도 사용되고 있다

년대	계측에 관한 사항
1950	일본국 쓰야이스사 자동레벨 개발 일본국 동경대학 생산연구소내 용력측정연구회 설치 발족 미국 개발국으로부터 발행된 「earth manual」에 순유체 복판식 piezometer, 유공관 piezometer, 내부수직변위 측정장치(cross arch식 침하계) 등이 earth dam용 관측기로서 사용되다
1952	일본국 판전전기 교류방식 차동 Trans형 용력계 개발판매 일본국 坪川家환案 자동레벨 AL-1 측기사 발매 일본기계학회의 용력측정 좌담회 개최하다 외국전문지에 은박 gage관계 소개기사가 증가되다
1953	일본국 미네베아(주) 신흥통신사업부(구 신흥통신공업(주))에서 배접착형(Statham형) 변형률 gage 시판개시 기록장치 응용기기 개발 급속히 증가되다
1954	일본국 공화 무선연구소에서 칼손형 토압계 국산화 판매 신흥통신공업·공화전업에서 접착형 변형률 gage 시판개시 일반 공업계측용 load cell, 압력계도 개발
1955	일본국 동경측기 polyester gage에 이용
1957	일본국 epoxy 수지막 사용 gage 국산화하다
1958	일본국 자동제어 기술연구 교류차동 Trans 개발 판매
1960	영국 Huge연구소의 세오·마이손에 의해 laser 광선 발명되다
1965	일본국 laser광선 건설공사에 이용되다
1966	일본국 토목특기센터, 직류식 차동 Trans 개발 판매
1967	일본국 쓰야이스사 고성능 자동 level Ni 7 발매
1968	일본국 토목측기센터, 공화전업·판전전기 potentia meter를 변환부로 하는 토목용 계측기 판매 개시
1970	일본국 토목측기센터, 공화전업 토목용 변형률 gage인 측정계기 판매
1971	일본국 일본광학 NND-2, 측기사 SDM-3 광파측거의 개발, 1km 사용, 5~10'읽은 transit 일본광학 NT-2, 측기사 TM-10을 국산화
1976	일본국 동형 에르메스 직류식 차동 Trans 개발 판매
1980	미국에서 silicon 기판에 가속도계, 압력계, gascromtgraphy 등 소형센서를 조합, 신호처리용의 전자회로와 sensor를 동시에 조합한 "집적화 sensor"의 연구가 진행된다 Stanford대학 L.M. Roylance는 silicon 가속도 sensor(2mm×3mm×두께 0.6mm)를 개발

2.3.2 정보화시공 system의 역사적 개관

지반공학은 과거의 경험과 이론과의 상호보완에 의해서, 그 때마다 최선을 다하여 계속적으로 발전하여 왔다. 초기 무렵의 현장실적은 조잡한 이론과 현장기술자의 기술적인 직감력에 힘입은 것 같지만, 그 후에 이론의 진전과 더불어서, 관측기술과 그 정도의 향상이 결과적으로 크게 공헌 하였다. 여기에 정보화시공 system이 생겨나는 소지가 이루어져 온 것이

다. 정보화시공 system의 발전과정은 사회적 배경과 연동시켜 생각한다면, 이해하기 쉽다. 초기의 지반공학에서는 취급하는 구조물의 규모는 작고, 더구나 관측기술도 빈약했기 때문에, 정보화 system적 발상은 생겨나지 않고, 또한, 그 필요성도 거의 없었다. 그 후, 사회의 경제적 발전에 따라 구조물의 규모가 증대하고, 관측기술의 기반도 가능해졌다.

이로 인해서, 기술자는 현장의 안전성을 확보

하기 위해, 혹은 장래의 유사공사의 참고를 위해 현장계측결과를 이용하게 되었다. 이를테면, 후술하는 현장계측의 적극적인 이용법에 대립하는 소극적 이용이다. 그리고 최근에 이르러, 실제현상과 설계계산과의 사이의 gap의 정량적 평가라던가, 현장거동의 장래예측, 나아가서는 설계변경을 위한 귀중한 정보원으로서 관측이 실시되어 오게 되었다. 즉, 현장관측의 적극적 이용이고, 이것이야말로 정보화시공 system의 중핵부분이라고 말할 수 있는 것이다.

이상의 역사적 흐름의 실증으로서, 과거에 제안, 실시되어 왔던 고려방법을 간단하게 살펴보기로 한다. 현재의 정보화시공 system의 기본적 이념을 최초로 명확하게 제창했던 분은 Terzaghi와 Peck이다. 그들은 저서 "soil mechanics in engineering practice"의 제 1판에서 현장관측의 중요성과 유효성을 언급하고, 구체적인 사례로서 토압이나 사면안정 문제를 취급하고 있다. 게다가 dam이나 기타 수리구조물의 공사에 관하여는 관측을 도입한 시공법이 그때까지의 방법에 비하여, 기술적으로도 경제적으로도 유리하다고 까지 단언하고 있는 점에 주목해야 한다. 그리고 그의 저서 제 2판에서는 이같은 생각을 적극적으로 밀고 나가, 관측의 중요성을 도처에 기술하면서 그것에 기초한 설계방법을 "observational procedure"라고 표현했다(申瀨는 이것을 "현장계측 공법"이라고 부르고 있다). 더하여, 최후에 "performance observations"인 새로운 장을 만들어, 지반의 거동에 따른 상세한 관측방법을 기술하면서, 시공중의 설계변경의 필요성을 설득했다.

그들의 "observational procedure"가, 이른바 정보화시공 system으로서의 구체적인 정식화나 system적 고찰을 포함하고 있지 않다고 할지라도, 그럼에도 역시, 그 기본적 이념의 제안은 지반공학상 높은 가치를 줄 수밖에 없을 것이다. 또한, Terzaghi-Peck의 이전의 실적에 제 2판에 나타나 있다. 그것에 의하면, 1936년 Graftio의 논문을 가장 오래된 사례로서 들고, 그 외의 2~3개의 사례에 관해서도 언급하

고 있다. Sibata와 Isisaghi는 이들 결과의 update한 적극적 이용이라 할 수 있는 조건을 구비하고 있지 아니 하지만, 그렇다고 해서 단순한 소극적 이용에 그치고 있다고 말할 수 없고, "observational procedure"의 실마리라고 자리매김하여 좋다.

한편, 일본국에 있어서는, 소극적 이용법으로서 현장계측을 1961년 경부터 그 실적 예가 보여진다. 당시 소득 배가계획이라고 하는 사회적 배경에 입각하여 구조물이 대형화되는 가운데, 千葉에서는 1만톤급 안벽건설을 위한 강관널판에 strain계를 붙이고, 그 휨응력을 현장 측정하고, 게다가 잠시후 1964년에는 水島에서 scale pit의 굴착공사에 현장계측이 실시되고 있었다. 이외에도 1958년에는 名神 고속도로의 건설이 시작되었고, 1962년에는 성토아래의 기초연약지반의 거동이 많은 현장지점에서 계측, 검토되었다.

그후, 계측결과의 소극적 이용(이 용어를 가치가 낮은 의미로 사용한 것은 아니고, 거의 무엇인가도 이해 못했던 당시로서는 우선 "사실을 알" 필요가 있었다)의 시대가 잠시 계속되고, 그 한가운데 도로, 철도, 매립, 댐 등의 대형의 project가 계속해서 나왔다. 이와 같은 상황아래서 기술자간에는 관측결과를 현재 실시 중인 시공에 적극적으로 이용하는 기운이 생겨나서, 1971년에 "정보화시공"이라고 하는 용어가 肱黒 등에 의해서 처음으로 활자화 되었다(松尾 등의 기억에 틀림이 없다면, 단어로써 정보화시공이라고 하는 용어를 처음으로 사용했던 사람은 上野長三郎이다). 그리고, 1975년 전후를 경계로 하여 이른바, 정보화시공 system이 여러 공사를 대상으로 제안되고 실시되어 온 것처럼 되었지만, 조잡하기는 해도 system이 제안되고, 이 정량적 평가를 실시한 것은 松尾 등의 보고가 최초이다. 그후 이 설계·시공의 사상의 완전한 정식화를 행한 셈이지만, 이들과 서로 전후하여, 성토, 굴착, 터널공사 등에 있어서 각기 구체적인 system 이름을 주는 형식으로 잇따라 실용화가 보고되도록 되었다. 그 기반에는 파괴나 변형 등에 관한 몇

개의 예측기술의 제안이 있는 것을 묵인해서는 안된다.

2.4 신뢰성과 공학문제

2.4.1 신뢰성의 정의와 공학문제

신뢰성(reliability)은 일본국 표준(JIS) 5003(citing no.)에 의하면, 「system, 기기(제품) 등의 시간적 안정성을 나타내는 정도 또는 성질」이라고 정의되고 있다. 이것은 약간 추상적인 표현이지만, 요컨대, 어떤 사용조건 아래서 system이라던가 제품의 품질이 사용자가 기대하는 규정의 시간을 만족하고 있는 상태에서 유지된다고 하는 것이다. 이것은 실제로는 2개의 측면을 갖고 있다. 즉,

- (i) 고장이 일어나지 않도록 한다.
- (ii) 고장이 일어나도, 그것을 빨리 찾아내어 전체의 system이나 제품에 치명적인 손상을 초래하지 않도록 회복한다.

신뢰성이라고 하는 용어는, 협의로 사용되는 경우와 광의로 사용되는 경우가 있지만, 전자는 상기 (i)의 경우에 대응한다. 그리고 이것을 측정하는 척도로서는 신뢰도(영어로는 reliability라고 불린다)가 쓰여진다. 신뢰도란 “system이나 제품이 규정의 조건에서 의도하는(혹은 규정의) 시간, 규정대로의 기능을 고장 없이 수행하는 확률”이라고 정의된다. 이로부터 알 수 있듯이 신뢰도는 추상적인 신뢰성을 명확하고, 정량적으로, 확률로 정의하는 점에 특징이 있다.

위의 (ii)의 경우에는, 보전기술, 수복능력이 요구된다는 점에서 이것은 보전도(main-tainability, 고장 발생후 어떤 시간까지 보전을 완료하고 있는 확률)로 측정된다. 광의의 신뢰성이란, 이들 (i), (ii)의 기능을 모아서 갖는 경우를 의미하고, availability라고 부르고 있다. 즉, availability는, 어떤 사용조건과 규정시간의 기초 아래, system이나 제품이 사용될 수 있는 만족한 상태에 있는 확률이다. 수식에서는 일반적으로 다음과 같이 나타내고 있다.

$$A(t, z) = R(t) + [1 - R(t)]M(z)$$

여기서, $A(t, z)$ 는 사용시간 t 및 보전을 위해 허용되는 시간 $\tau(t)$ 에 비하여 훨씬 짧다)에서의 system이나 제품의 availability, $R(t)$ 는 신뢰도(시간 t 까지 고장나지 아니할 확률, 따라서 $1 - R(t)$ 는 t 까지 고장날 확률), $M(z)$ 는 보전도이다.

이상으로부터, 신뢰성을 감안한 설계에서는, 주로 확률이나 통계에 관한 수학이 쓰이고 있는 것을 이해할 수 있다. 따라서 확률의 성질, 확률분포와 그 기대치나 분산, 통계의 개념, 추정과 검정, 상관과 회귀, 분산 분석, 통계적 의사결정이론 등에 관한 기초적인 지식이 필요하게 된다. 이들의 수학적 도구는 이미 완성되어 있을 뿐이고, 그리고 다른 수학의 분야에 비하여 쉬운 것이다. 상세하게는 확률통계나 신뢰성에 관한 수학을 참고하기 바란다.

2.4.2 신뢰성과 비용

system이나 제품, 혹은 토목구조물의 신뢰성은 클 수록 좋다고 하는 것은 아니다. 왜냐하면, 직관적으로 이해되는 바와 같이 신뢰성을 크게 할수록 필요한 비용이 증가하기 때문이다. 간단한 system, 예를 들면, 연약지반상의 성토를 고려해 보아도, 신뢰도를 높이도록 한다면, 압성토를 하기도 하고, 지반개량을 해야 한다. 일반적으로 신뢰도를 90%에서 99%로, 혹은 99%에서 99.9%에 까지 1 order 높이려고 한다면, 비용 쪽은 지수적으로 증가한다고 한다. 이들의 필요 비용은 결국, 사용자 부담으로 돌아갈 것이다. 비용에 관계가 없다면, 사람은 모두 신뢰성이 높으면 높을 수록 좋다고 생각하는게 틀림없다. 그렇지만, 현실에서는, 상술한 대로 신뢰성의 정도와 비용은 밀접한 관련이 있고, 특히, 세금에 의존하는 공공 구조물과 같은 경우, 사람들은 “가격이 너무 높게 되는 것은 싫다”, “세금이 이보다 높으면, 곤란하다”고 생각하기 때문에 아무래도 어떤 관점에서 타협해야 한다. 이와 같이 더욱 안전하게 하고 싶은 것과, 더욱 싸게 하고 싶은 상반된 요구(trade off관계에 있다고 말한다)중에서 누

구나 가능한 한 납득할 수 있는 타협점을 찾아 내지 않으면 안되고, 이것이 설계에서의 중요한 point의 하나이고, 신뢰성 설계의 근간을 이루는 점이다.

2.4.3 신뢰성 공학의 발전 역사

신뢰성의 고려 방법이나 신뢰성 공학의 발전은 제 2차 세계대전을 계기로 하고 있다. 즉, 진공관을 중심으로 하는 각종 제품의 부품, antenna, 독일의 V1, V2 rocket의 제작과 관리, 더욱이 60년대 말의 미국의 Apollo계획을 통해서 현저한 발전을 이루어 왔다. 이 사이의 사정은, 예컨대, 梶의 2개의 저서에 상세하게 되어 있고, 전문을 소개할 수 있는 지면이 없기 때문에 간략하게 요약하여 소개하면 아래와 같다.

「신뢰도 예측을 처음으로 수리적으로 다룬 것은 Von Brown의 group에 의한 V₁ rocket에 관한 것이고, 그 신뢰도를 75%라고 산출한 것이 처음이라고 일컬어지고 있다. V₂ rocket에도 신뢰성 수리가 사용되었지만, 패전으로 결국 발전하지 못한 채로 끝나고 말았다. 조직적으로 신뢰성 공학을 계통화했던 것은 미국이다. 미·일전에서 남방으로 향한 전자계기의 반이상이 보관중 혹은 운수중에 사용할 수 없는 쓴 경험은, 신뢰성 문제에 본격적으로 접근하는 계기가 된 것이다. 즉, 1943년경부터 연구 활동이 개시 되었지만, 주로 이 연구는, 당초의 전자장치의 주요 부품이고, 고장의 대부분을 점유했던 전자관의 높은 신뢰화에 향하게 되었다. 고품질 진공관은 여러 가지의 명칭으로 불리어 왔지만, 최종적으로 reliable tube라고 부르게 되었고, 여기에 처음으로 reliability인 단어가 정의되게 되었다. 1952년, 미·국무성의 연구자문 group으로서 9개의 연구 group이 조직되고, 신뢰성에 관한 장치, 신뢰도의 측정법, 사양서 작성법, 수송이나 보관문제 등에 있어서 연구를 진행하고 1957년에 보고서가 작성되었다. 그동안 1954년에는 제 1차의 신뢰성과 품질관리의 symposium이 New York에서 개최되었다. 그후 다방면에 걸친 연구가 착실하

게 진행되었지만, Apollo계획의 추진에 의해서 급속하게 발전하고, 이를테면, 신뢰성의 성과는 인류의 달착륙으로서 급속도로 세계에 알려지게 된 것이다. 물론 이사이 Europe이나 일본에 있어서도, 각종의 연구, 개발이 진행되고, 주로 전자제품의 품질관리면에 관하여도 힘을 쏟게 된 것이다」 대략 이상과 같이 기술되어 있다.

일본국에 있어서도 70년대에 통신용 위성 등 여러 가지의 목적을 지녔던 우주위성의 실용화가 빠르게 진행되고 있지만, 이 분야에서의 신뢰성 공학의 적용은 이제는 상식으로 되어 있다. 또한, 1981년 3월 11일의 아사히 신문논단(牧野鐵治, 우주개발사업단 신뢰성 관리부장)에 의하면, 「해바라기(일본 최초의 정지 기상 인공위성의 애칭)정도의 중형의 인공위성이 우주공간에서 3년간 고장 없이 기능을 다하는 확률을 50% 이상으로 하려고 하면, 각 부품(약 4만점)의 조립을 완벽하게 한 것을 전제로 한다고 해도, 1점의 부품의 신뢰도는 99.998% 이상으로 할 필요가 있다고 진술하고 있다. 더욱 그 규모의 대소를 불문하고, 각종 공업제품의 품질관리에 대한 요청과 기술향상이 따르고, 공학의 폭넓은 분야에 있어서 신뢰성 공학의 적용이 불가결하게 되어 왔다. 즉, 신뢰성 공학은 어느덧 진귀한 것이 아니고, 공학의 분야에 있어서 가장 중요한 관점으로써 완전하게 정착되어 발전하고 있다.

2.4.4 토질공학분야에서의 간단한 경과

그런데, 토질공학분야로 눈을 돌려보기로 하자. 이 분야에 있어서는 우주위성의 계획에 보여진 거의 완성 수준에 도달했던 신뢰성 공학의 현황에는 아직 거리가 먼 실정이다. 그것은 토질공학분야에서는 신뢰성 연구의 역사가 아직 짧다는 데에 그 원인이 있다. 거기에 대하여 변화가 많은 여러 가지의 자연 또는 많은 인간, 사회 등을 대상으로 하는 것으로부터, 조건 및 상태의 제어나 관리면의 곤란 등이라는 점에서, 오히려 우주계획이나 공업제품의 생산보다도 훨씬 어려운 문제를 많이 떠맡아 왔기 때문

이라고는 말하면서도, 특히, 이 15년 정도에 조금씩 연구노력이 되풀이되고, data가 축적되고 일부에서는 실제 설계에 쓰이는 단계에까지 되어 온 것이다. 또한, 약간 앞선감은 있지만, goal은 점점 확실히 눈에 보일 수 있다고 할 것이다.

한마디로 신뢰성 설계라고 말해도, 이것은 하나의 system 전체의 설계이므로 그를 위해서는 그 기초가 되는 개개의 부분(즉, subsystem의 부분)의 연구나 Data의 수집이 필요하다. 예를 들면, 연약지반상의 성토를 하나의 system으로서 신뢰성 설계를 하려고 하는 경우, 가장 기초가 되는 지반의 강도나 변형 특성에 관한 확률 통계적인 성질을 알 필요가 있는 것은 물론, 구조물이 기능하기 위한 변형 등의 허용한계, 그 한계를 초과하는 확률, 그들과 경제성 손실의 관계 등, 매우 많은 정보가 필요하게 되어 간다.

즉, 신뢰성 설계의 기초가 되는 개개의 subsystem의 연구가 우선 기본적으로 중요하다. 이런 점을 포함하여 토질공학분야에서의 경과를 극히 간단하게 기술하여 본다면, 다음과 같다. 주로 1960년대부터 우선, 흙의 성질에 관한 통계적인 성질의 연구나 data의 수집이, Hooper, Lumb, 松尾, Meyerhof 등에 의해서 개시되었다. 그들은 처음 포화된 점토의 일축압축강도, 비배수강도에 관한 것이 많았지만, 계속하여 압축특성이나 함수비, 간극비, 단위체적중량, atterberg 한계 등에도 연구가 진행되고, 더욱 모래의 강도계수나, 불포화토의 전단강도 등의 통계적 성질은 다음에 명확하게 되어 왔다. 이것과 함께, 이들의 기초 data를 사용하여 지반의 파괴확률과 설계안전율과의 관계, 나아가서는 그들과 기대 총비용(초기의 건설비나 만약 파괴된 경우 등을 위하여 예상해야만 하는 총비용)과의 관계 등이 개개의 구체적인 문제를 대상으로 하면서, 松尾의 group이나 Wu의 group에 의해서 이제 명확하게 되어 왔다. 침하에 관하여는 Vanmarcke와 Cornell을 중심으로 하는 MIT group의 연구가 꽤 진전을 보이고 있다. 더욱 80년대 초에 이르러, 어떤 한

정된 문제(예를 들면, 연약지반상의 성토, 자연 및 인공사면, 굴착지반의 파괴문제나 침하의 예측문제)에 있어서는 이른바, system전체로서 생각한 신뢰성 설계의 정식화가 가능하고, 실용에 제공되는 단계에 왔다. 구미에 있어서는 전체의 설계결정에까지는 왔다고 말할 수 없지만, 부분적인 subsystem의 결정, 예컨대 토질조사나 토질시험의 규모(boring의 본수나 시험개수)의 결정이나 각종 대체안으로부터의 적절한 안의 선택 등에 신뢰성의 개념이 점차 쓰여지도록 되어 왔다. 이 방면의 연구나 실무면의 적용을 모색하고 있는 토질관계의 연구자나 기술자의 수는 80년대 초반에 급속으로 증가하고 있기 때문에, 조만간 지지력, 토압, 응력분포 등 여러 가지의 문제에 관해서도 신뢰성 설계의 기법이 실무단계에 있어서 도입되어 발전 될 것이다.

이상의 상황을 배경으로 하여, 이 방면의 국제적인 회의도 많이 개최되어 온 것 같다. 「토질 및 구조공학에서의 통계와 확률의 적용」을 주제로 한 국제회의가 제1회는 홍콩에서 1971년에, 제2회는 아-헨에서 1975년에, 제3회는 시드니에서 1979년에 개최되고, 또한 제4회는 1983년에 이태리의 프로렌스에서 개최되었다. 또한 1976년에는 MIT에서 「지반공학에서의 risk와 결정 문제」를 주제로 한 summer session이 1주간에 걸쳐서 열렸던 것을 계기로, 1977년에 동경에서 개최된 제 9회 국제 토질기초 공학회의에 있어서는 「토질역학에서의 확률적 설계 기법」을 주제로 특별부회가 개최되고, 3개의 topic 즉, 「부분 및 전체의 안전율」, 「통계적인 추정 및 관측에 의한 extrapolation」, 「토질공학에서의 최적 설계」에 대하여 활발한 논의가 교환되었다. 동경회의에서는 Kerisel 전 국제토질공학회 회장을 위시하여 많은 참석자가 확률이나 통계적 수법의 도입의 중요성, 장래성에 대하여 언급한 것을 기억하고 있는 독자가 많을 것이다. 또한, 이들 회의에서는 우선 “신뢰성”, 혹은 “신뢰성 설계”라고 하는 용어가 사용되는 데는 이르지 못하고 단순히 “확률”이나 “통계”, 또는 “risk”라고 의

미하는데 그치고 있었다는 것은 앞에서 설명한 바와 같이 system으로서 신뢰성 설계 그 자체를 토질공학의 넓은 분야에서 논의할 단계까지 온 것은 아니기 때문이다. 물론, 제출된 논문 중에는 신뢰성 설계 그 자체를 취급했던 것도 있고, 1981년의 국제토질공학회의(스톡홀름)의 주요부회[1]에서 이 문제가 논의된 이래, 현재 급속한 발전을 보이는데 이르고 있다.

어떻게 하여도, 흙의 성질은 본래 차이를 갖고 있고, 게다가 그 차이가 꽤 큰 쪽으로 되는 것을 생각한다면, 파괴나 변형의 문제를 결정론적으로 취급하는 것은 무리이고, stochastic한 입장(개개로는 차이가 보여도 집단적으로는 규칙성을 갖는 성질)으로부터 바라보는 자세로 갈 수밖에 없다고 하는 인식이 넓게 생겨나고 있는 것은 이미 부정할 수 없다.

2.5 현장계측공법과 신뢰성

2.5.1 설계·시공에서의 불확실성

구조물이 계획되고 실용에 제공될 때까지의 단계를 설계와 시공의 2단계로 분류하여 본다면, 설계·시공단계에 있어서 다음에 기술한 바와 같은 여러 가지의 불확실성(uncertainty)이 발생하고, 그 불확실성을 cover하기 위해서 여러 가지 방법이 고려되고 있다. 여기서는 이와 같은 불확실성에의 대응책을 고려하기 전에 어떤 불확실성이 설계·시공에 있어서 발생하는가를 정리하여 본다.

1) 구조설계·시공에서의 불확실성

구조물의 설계·시공에서의 불확실성은 크게 다음 3가지로 나누어 진다.

(1) 강도에 관한 불확실성

i) 재료강도의 분산. 동일 규격의 재료일지라도, 그 제조법의 상이, 제조과정에서의 관리의 차이 등에 대해서 발현되는 강도에 분산이 있다. 또한, 콘크리트와 같이 현장 혹은 plant에서 제조된 재료는 골재의 불균일, cement재료의 차, w/c비의 미소한 차이에 의하여 강도가 상당히 다르다.

ii) 부재 및 부재강도의 분산. 동일한 재료

일지라도, 부재로서 제작, 가공할 때의 치수 오차, 용접강도의 차이 또는 이들의 운반조건의 차, 현장에서 조립할 때의 오차, 기상·해상·지상의 변동에 의한 영향에 의해서 구조자체의 강도가 분산된다.

(2) 하중에 관한 불확실성

i) 하중의 불규칙 변동. 지진하중, 풍하중, 자동차하중, 기타 거의 모든 활하중은 불규칙적으로 변화하는 성질의 것으로, 설계에서 이와 같은 불규칙 하중을 예측하는 것이 매우 어렵다.

ii) 기술혁신 등 사회적 조건의 변동. 자동차나 선박, 수송화물의 하물형태(예컨대, 컨테이너 등) 등에 의해서 결정되는 하중은 설계시에 장래를 예측하고 있지만, 기술혁신 등은 장래예측이 매우 어려워 그만큼 불확실하게 되는 것은 어쩔 수 없다. 많은 교량 구조물의 열화는 이와 같은 하중 예측의 불확실성에 기인하는 것이 많다.

(3) 설계계산에 관한 불확실성

i) 설계하중의 이상화·단순화에 의한 오차. 설계에서는 하중의 대부분은 설계계산의 단순화 때문에, 이상화·단순화되고, 이것에 대해서 현실의 하중의 형태와의 괴리가 발생한다.

ii) 구조물의 최종내력 추정 모델의 오차. 구조물의 최종내력을 추정하기 위한 해석 모델은 완전하지 않고, 꽤 큰 진실과의 괴리가 생긴다.

iii) 하중작용과 해석모델의 오차. 하중작용을 해석하는 외에도 많은 가정이나 전제가 있어서 현실과의 괴리가 생긴다.

iv) 계산오차. 설계계산에서는 유효숫자에 의한 반올림 처리와 계산상의 오차가 있고, 다른 조건이 모두 참이라 해도, 또한 동시에 설계에서는 근사치를 얻는 것에 불과하다.

v) 설계자의 human error. 설계시에는 인간의 판단을 포함한 개입이 있어 단순한 계산 착오를 범할 위험성이 있어 누구나 주의하지 않으면, 큰 사고로 이어지는 예도 많이 보고되고 있다.

2) 지반에 관한 설계·시공상의 불확실성
구조물 설계와 같이 기초 및 흙구조물의 설계·시공에 관한 불확실성도 크게 나누어 아래의 3종류로 분류 가능하다.

(1) 지반강도에 관한 불확실성

i) 강도의 위치적 변동. 지반은 장소에 따라서 그 형성과정과 다르고, 흙의 여러 가지 성질이 불규칙하게 변동하고 있지만, 그 변동의 양상은 경제적, 기술적 제약 때문에 완전하게 얻어지지 않는다.

ii) 강도의 시간적 변동. 지반의 성질은 단기적으로는 지하수의 시간적 변동이라거나 압밀, 장기적으로는 지각변동 등에 의해서 시간적으로 변동하고 있지만, 정확하게 그 변동을 예측하는 것은 매우 어려운 일이다.

iii) 최종 강도시험의 오차. 강도는 사용하는 시험기, 시험을 하는 사람의 숙련도 등에 의해서 심한 경우는 2배까지도 다를 정도로 값이 다르다.

(2) 하중에 의한 불확실성

i) 흙의 자중은 사용하는 토목재료에 따라서 크게 다르게 되고, 또한 그 시공법에 의해서도 상당히 다르다.

ii) 외력의 불규칙 변동. 지반 및 기초에 작용하는 외력도 일반 구조물의 경우와 같이 외력은 불규칙하게 변화한다.

(3) 설계계산에 관한 불확실성

i) 설계외력의 이상화·단순화에 의한 오차. 지반 및 기초에 작용하는 하중은 앞에 기술한 구조물의 경우와 같이, 설계에 있어서는 이상화·단순화 시킨 현실과의 괴리가 생긴다.

ii) 지반구성의 이상화·단순화에 의한 오차. 현실의 지반은 그 형성과정의 이력을 반영한 복잡한 양상을 띠고 있지만, 설계에서는 계산의 단순화 때문에 이것을 이상화·단순화 하여 현실과의 괴리가 생긴다.

iii) 지반의 변형특성의 추정 오차. 지반의 설계는 극한강도에 관한 설계와 도중의 변형에 관한 설계로 크게 나누어 지지만, 최종 강도는 실험실 오차로서 불확실성의 원인으로 되고, 변형에 관하여는 하중작용의 추정모델오차와

함께 변형해석모델의 오차가 존재 한다.

iv) 계산오차. 앞에서 기술한 구조물의 경우와 함께, 설계계산의 반올림 오차가 반드시 발생한다.

v) 설계자의 human error. 계산상의 단순한 착오, 지반의 이상화·단순화의 과정에서의 판단 착오.

이상의 각종의 불확실성은, 크게 요약한다면, (1) 외력이나 강도의 추정, 구조물의 거동예측에 따르는 해석모델오차(modelling error), (2) 외력, 저항력의 불규칙성(randomness), (3) 설계에 필요한 parameter 추정시의 정보의 불완전성(imperfect information)에 기인한 것, (4) 재료시험이나또는 설계 계산할 때의 human error로 분류 가능하다.

이와 같이 여러 가지의 원인에 의해서 생기는 구조물-지반계의 거동예측에 관한, 불확실성을, ① 시공시의 관측에 의해서 얻어진 새로운 정보에 의해서 장래의 거동을 별도의 예측방법으로 예측하거나, 또는 ② 당초 예측에 사용했던 parameter값을 수정하여 재예측하여 안전을 확인하고 계속하여 공사를 진행하고 있는 방법을 현장계측공법(observation procedure), 또는 parameter 정보를 신 정보에 의해서 업데이트(up-date)한다고 하는 경우에 있어서는 정보화시공(realtimeconstruction control system)이라고 불리고 있다. 이와 같은 공법은 불확실성에 대응하는 하나의 전술이고, 공학의 분야에서는 이 외에도 다양한 공법이 고안되고 있다. 다음에서는 이와 같은 방법을 몇 개 관찰하고, 정리하기로 한다.

2.5.2 risk의 대응책으로 본 현장계측공법

1) 불확실성과 risk

앞에서 설명한 바와 같이 현실의 지반 및 기초의 설계에서는 여러 가지 원인에 의해서 많은 불확실성이 불가피하게 혼입되어 있다. 이와 같은 불확실성의 존재는 어떤 결정된 설계를 그대로 시공에 옮긴다 해도, 시공시에 구조물-지반계가 예측한대로의 거동으로 나타날 것인가, 아닌가 확정적으로 보증할 수 없다고 하

는 사실을 우리에게 말하여 주고 있다. 인간이 어떤 행동을 실행했을 때, 그 행동의 결과가 확정적으로 예측할 수 없는 불안은 계산할 수 없다. 이 불안은 불확실성의 존재가 그 개인에게 초래되는 불명예·불이익의 경우일 것이다.

또는 그가 소속하는 조직에의 손해, 더욱이 넓은 지역사회에의 막대한 희생일지도 모른다.

이와 같은 바람직하지 아니한 결과 그 자체를, 혹은 그것이 발생하는 기대치를 통상 risk라고 부르고 있다. risk는 구조물의 설계·시공에 따르는 risk와 같이 잘 되어가면 그대로이고(손익이 없고), 잘못되면 무엇인가의 손해를 초래한다고 하는 순수 risk와 기업의 제품개발 risk와 같이 손해의 위험도 있지만 결과가 때로는 좋게 된다면, 막대한 이익으로 연결된다는 투기적 risk로 나누어 진다.

이와 같은 risk의 첫째의 원인은 불확실성의 존재 그 자체이다. 불확실성이 없는 경우에는 당연 risk는 존재하지 아니한다. 이와 같은 risk에 대처하는 인간 개개인의 대응은 그 개인의 risk성향에 따라서 다르지만, 기본적으로는 누구라도 risk를 환영하지 아니한다. 따라서 인류역사 시작 이래 risk에의 대응에 대하여 다양한 뛰어난 지혜가 기울어져 온 것이다. 이 절에서는 이와 같은 risk의 대응방법을 정리하고, 현장계측공법 및 이것에 밀접하게 관계하는 신뢰성 설계가 이들의 대응책 중에서 어떠한 위치에짐으로 되는가를 명백하게 하고자 한다.

표 24 불확실성에의 대응 전략

전략명	전술명	구체예
회피 전략 (aversion)	· trace 전술	동일계획, 동일구조, 동일공법
	· 도피 전술	이전, 우회, 공법변경, 계획변경
	· 대기 전술	부동대기
제거 전략 (elimination)	· spy 전술	전수조사, 실물(모형)실험, 앙케이트 조사
	· 사전예방 전술	방재시설, 증산, 각종규제, 동적계획
	· 사후예방 전술	현장계측공법 혹은 정보화시공, 시험공사, 추가되는 투자, 피난, 이전
경감 전략 (reduction)	· 대기·용장 전술*	신뢰성 설계, 광역수관리, fool-proof, fail-proof
	· 분산 전술	집중규제, 유수지, risk balance, 건설보험
	· 보전·수복 전술	보전(보수·관리), 수리, 갱신

2) risk 대응의 전략

표 2.4는 토목공학분야에서 고려되고 있는 여러 가지 risk 대응을 전략수준, 전술수준으로 정리하고, 각각의 구체예를 나타낸 것이다. risk 대응은 전략수준으로 분류한다면, 크게 3종류로 분류가능하다. 다만 「승산은 없으나 좌우간 부딪쳐 본다」는 risk 대응은 현명한 방법은 아니기 때문에 이것을 제외하고 있다. 아래에 3종의 합리적인 대응책에 대하여 개략을 기술한다.

(1) 회피(aversion) 전략. 이 전략의 기본적인 고려방법은 「군자는 위험한 것에 가까이 하지 않는다」는 소극형의 고려방법이다. 즉, risk의 원인으로서는 불확실성이 존재하는 곳에 그것을 회피하여 결과로서 risk를 뒤집어 쓰지 않도록 한다고 하는 전략으로서, 포함되는 전술로서는 과거에 행했던 방법을 그대로 찾아가는 trace 전략, 불확실성이 존재하는 국면으로부터 도망가는 도피전술, risk를 두려워해서 아무 것도 하지 아니한 부동전술이 있다.

trace 전술의 예로서는 불확실성이 없는 과거의 예를 답습하는 것으로서 동일계획을 행하고, 동일구조의 설계로 하고, 동일공법을 채용한 바 있는 사례가 있다.

도피전략의 예로서는, 위험지역으로부터 다른 곳에 이전하고, 위험을 피하기 위해 돌아가고, 공법의 변경을 한 바 있는 예가 있다.

부동전술은 문자 그대로 위험이 예측되는 경

우에, 행동을 하지 않고 그대로 있는 전략이다.

(2) 제거(elimination) 전략. 이 전략의 고려 방법은 「호랑이 굴에 들어가야 호랑이 새끼를 잡는다」라고 하는 적극적인 고려방법이다. 다만, 「싸우지 않고 상대방을 책략으로 이김」인 것은 아니고 여러 가지 독특한 방법이 있다. 즉, 정보의 부족을 미리 해소한다고 하는 사전 spy전술, 미리 risk의 존재를 예측하여 대책을 강구한다고 하는 사전예방 전술, 상대의 나오는 태도를 걸으면서 spy하여 손을 쓴다고 하는 관측형 전술(사전중의 spy 전술이라고도 한다)이 여기에 포함된다.

사전 spy 전술의 예로서는 앙케이트에 의한 주민 또는 소비자의 의향조사에 기초하여 시설 정비계획이나 제품개발계획을 세우고, 추정 불확실성을 소거하기 위해 전수조사를 행하여 실물 또는 모형실험에 의해서 불확실한 부분을 제거한다고 하는 사례가 있다.

사전예방 전술의 예로서는 생각할 수 없는 수많은 사람 때문에 증발편을 준비하고, 각종 규제에 의해서 risk를 만나지 않는 안전율·여유도를 매우 크게 취하고, 견고한 방제시설을 정비하여 둔다고 하는 방법이 생각된다.

관측형 전술의 예로서는 이 책의 주제인 현장계측공법, 시험공사, 임시편 대응, 계속되는 투자였던 예가 포함되지만, 이것들은 관측에 의해서 완전정보가 얻어지는 경우(현실에는 완전정보에 가까운 정보)와 그렇지 않은 경우(다음의 경감전략에 포함된다)라는 것이 있다. 이것들의 차이는 오로지 불확실성의 크기에 의 존하고 있다.

(3) 경감(reduction) 전략. 회피전략과 제거 전략의 중간적 전략으로서, 불확실성의 존재는 불가피한 것으로 「어느 정도의 risk를 각오하자」라고 하는 방법으로서 대기·용장전술, risk 분산전술, 보전·복원전술, 관측형 전술이 포함된다.

대기·용장전술의 예로서는 system에 고장이 발생하여도 대체 system이 가동될 수 있도록 하고, 고장이 일어나도 큰 사고로 되지 않도록 fail-proof system으로 하고, 광범위한 ener-

gy 관리system으로서 피해를 경감했던 예가 생각된다. risk 분산 전술로서는 유수지를 설치하여 하류에 큰 피해를 초래하지 않도록 하고, 위험한 지역에서의 집중을 피하고, 재산을 분산하여 두고, 보험에 가입, risk가 발생하여도 타인에게 그것을 분산한다고 하는 사례가 있다.

보전·복원 전술은 고장이 발생하여도 바로 부품을 교환 혹은 수리하여 기계의 장시간 정지에 의한 손해를 경감하는 편의장치 혹은 시설을 갱신하는 대응책이 포함되고 있다.

관측형 전술은 앞에서 기술한 바와 같이 현장계측공법, 임시편, 임시중산, 뒤따르는 투자가 포함된다.

이하에 개관했다시피, 현장계측공법은 다양한 risk 대응책의 기본의 일부이고, 모든 risk가 이와 같은 방법으로 예방되는 셈은 아니다. 중요한 것은 대상으로 하고 있는 system에 어떠한 불확실성이 존재하고, 그것들에 의해서도 피할 수 없는 risk는 무엇인가를 분류하여 그것들의 risk에 대처하는 적절한 대응책을 찾아 보는 것이다.

2.6 현장관측과 시공관리

2.6.1 개요

정보화시공 system의 확립에 있어서 가장 중요한 것은 현장계측의 역할을 명확하게 하여 그것을 system 가운데 정량적으로 위치를 메기는 것이다. 이 경우, 현장관측을 아래의 2가지 점, ①파괴나 변형 등의 장애거동의 정확한 예측이 가능하여, 단순히 현재 안전한 것이 확인되는 것에 그치지 않고, 그 후의 현장의 안정성을 어느 정도 정량적으로 평가 가능할 것, ②따라서 시공중의 설계변경에 관한 중요한 정보로서 이용 가능할 것을 각각 만족해야 한다. 이들 예측과 귀환(feed back)에 대하여 검토를 한다면 아래와 같다.

2.6.2 현장관측에 의한 예측

그림 2.6에 나타난 정보화시공 system을 약간 상세하게 다시 써서, (정보의 수집)→(장애거동의 예측)→(최적 결정)인 흐름 속에 정리

한 것이 그림 2.7이다. 그림 2.7로부터 분명하게 알 수 있는 바와 같이, 시공전 설계는 시공 후 설계와 함께 같은 작업, 즉 (정보)→(예측)→(결정)의 각 단계를 갖는다. 여기서 시공전 설계는 주로 종래의 조사라고 부르는 단계와 설계라고 부르는 단계의 (정보)→(예측)→(결정)으로 구성 가능하지만, 종래의 시공이라고 부르는 단계는 정보화시공 system에서는 시공 후 설계의 (정보)→(예측)→(결정)으로

서 취급하는 점에 특징이 있다. 시공완료후의 관리라고 부르는 단계도 그림 2.7에 나타낸 흐름과 본질적으로 다르지 않다.

그런데 관측결과를 어떻게 하여 설계에 정량적으로 귀환(Feed Back)할 것인가에 대하여 다음에 기술하기 때문에, 여기서는 관측결과에 기초한 예측에 중점을 두고, 제안을 포함하여 검토하고자 한다.

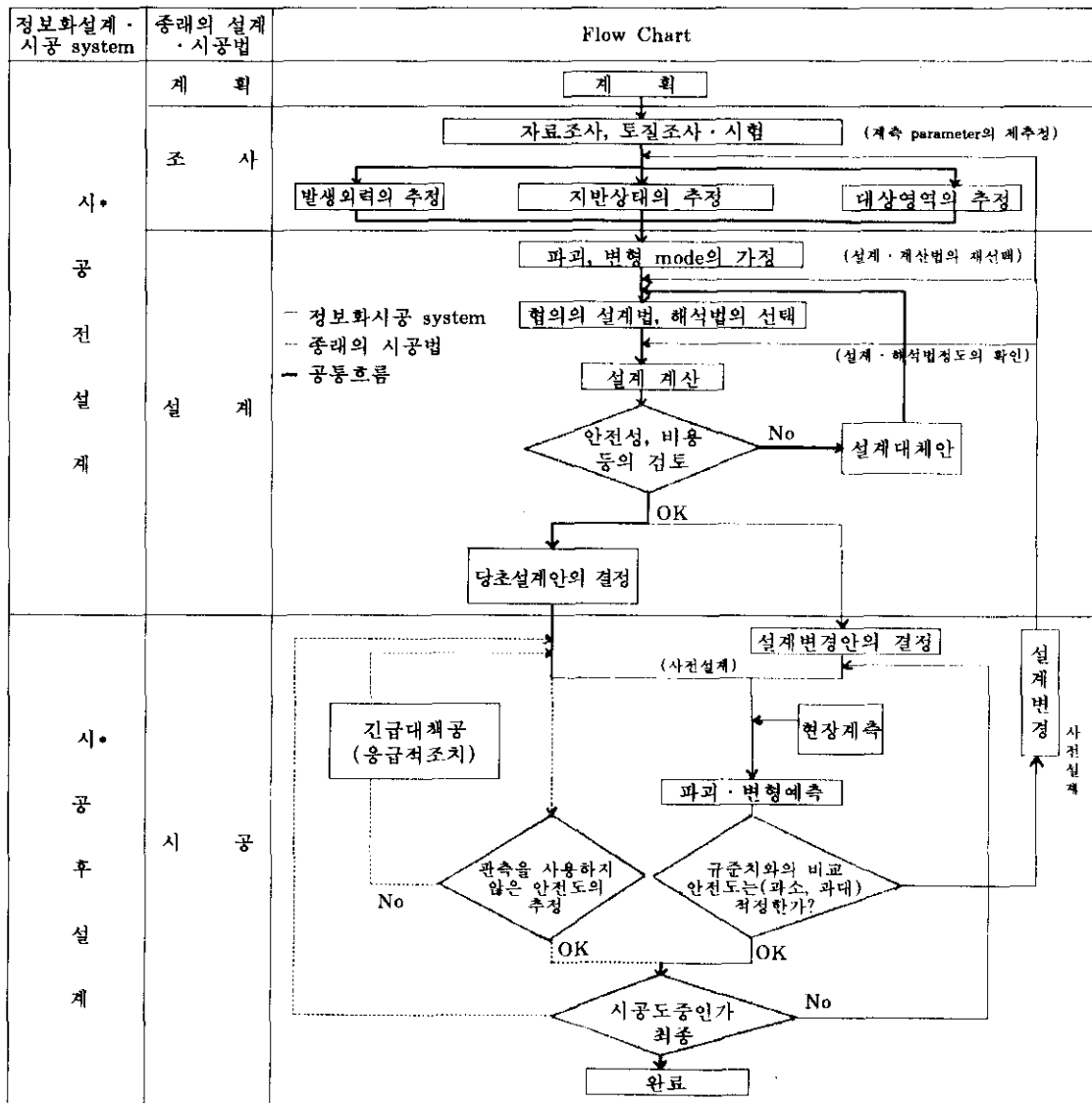


그림 2.6. 정보화시공 system과 종래법

표 2.5 정보화시공 system의 각 작업단계의 특징

작업 단계	결 정	예 측	정 보	
			질	양
시공전 설계	· 불확실성 큼 · 최적결정안이 갖는 risk 큼	· 예측정도 한계 · (추정)이라고 부름	· 주로 간접적정보** · 정도에 한계	· 예측정도와의 정합성으로부터 결정
시공후 설계	· 불확실성 감소 · 보다 합리적인 설계 변경안의 결정	· 정도가 양호한 예측 방법의 적용 · (예지)라고 부름	· 주로 직접적정보* · 높은 정도 기대	· 예측정도와의 정합성으로부터 결정

* 정보내용이 예측대상과 합치하는 것
 ** 정보내용이 예측대상과 다르고, 말하자면, cross sata라고 불리는 것

상기와 같이, 관측결과는 현장의 안전도의 확인 뿐만 아니고, 장래의 거동을 예측하기 위하여 이용된다. 그러므로, 예측이라는 것은 시공 개시후 처리해야 될 여러 가지의 결정, 예컨대, 설계변경의 실시여부, 실시한다면, 그 종류나 규모에 관한 최적 결정 등의 전작업단계로 한정하고, 결정을 위한 귀중한 판단자료를 제공하는 작업으로 정의될 수 있다. 정보화시공 system은 구조물이나 현장을 절대 파괴시키지 않고, 게다가 과대설계를 피한다고 하는 입장을 기본으로 하고 있기 때문에 기술자에게 시공후 설계변경의 결정은 시공전 설계의 그 이상으로 중요하게 되고, 안전성, 경제성, 중요성 등의 관점에서 가일층 합리적으로 이루어져야 한다. 다만, 이와 같이 정보화시공 system의 중추부라고 말할 수 있고 시공후 설계의 결정은 관측결과에 근거한 예측의 정도에 크게 의존된다. 구체적으로는 관측정보의 질·양 및 예측방법의 정도에 따라 영향을 받는 것이다.

이상의 관점에 유의한다면, 시공전 설계와 시공후 설계로 구성되는 정보화시공 system이 갖추어야 될 모양은 각각 (정보), (예측), (결정)의 각 단계의 상이점으로부터 떠올라 올 것이다. 표 2.5는 정보화시공 system이 갖추어야 될 조건을 개념적으로 동시에 약간 극단화하여 정리한 것이다. 즉, 시공전 설계의 최종목적은 시공개시전에 얻어진 여러 가지의 정보, 예를 들면, 기술자의 경험이나 실적, 토질조사 시험 등의 결과(그림 2.7참조)를 써서 구조물이나

토공의 최적결정을 하는 것이다. 그러나, 이 단계에서는 설계법이나 해석법, 더욱이 외력이나 지반상태 및 경계조건에 관계된 추정오차에 기인된 여러 가지의 불확실성 때문에 최적 설계안이라고 말하여도 또한 동시에 많은 risk를 피할 수가 없다. 이 결과, 예를 들면, 기술자가 필요 이상으로 정도 높은 많은 정보를 입력했다 해도, 정확한 결정을 기대할 수 없는 것이 보통이다. 물론 한정된 정보로부터 경험과 뛰어난 지혜에 의하여 최선을 얻는 방법이외는 없다. 바꾸어 말하면, 시공전 설계의 정보는 예측정도와 balance를 고려한 뒤에 그 질·양을 결정할 수밖에 없다.

한편, 시공중의 정보에 의해서 설계변경이 필요하게 되는 경우, 최적변경안을 결정하려고 하는 시공후 설계에 있어서는 관측으로 얻어진 새로운 정보에 의해서 사전설계에서의 여러 가지 불확실성에 대처해 나가면서 보다 좋은 결정을 dynamic한 자세로 실시해야 한다. 이를 위해서는 설계변경의 전제로서, 관측결과에 의한 파괴나 위험의 훌륭한 예측기술이 필요하게 된다. 당연히, 이용된 정보는 질·양 모두 예측정보의 향상에 공헌해야 할 것이다. 이상과 같이, 정보화시공 system에서는 최선을 다해도 또한, 때로는 부적절한 결정을 피할 수 없는 사전설계 결과를 사후 설계에 있어서, 적절한 결정으로 변경함이 필요하게 된다. 즉, 설계의 진행에 따라서 결정에 관여하는 negative인자가 서서히 사라져 가는 system이고, 이것은 토목

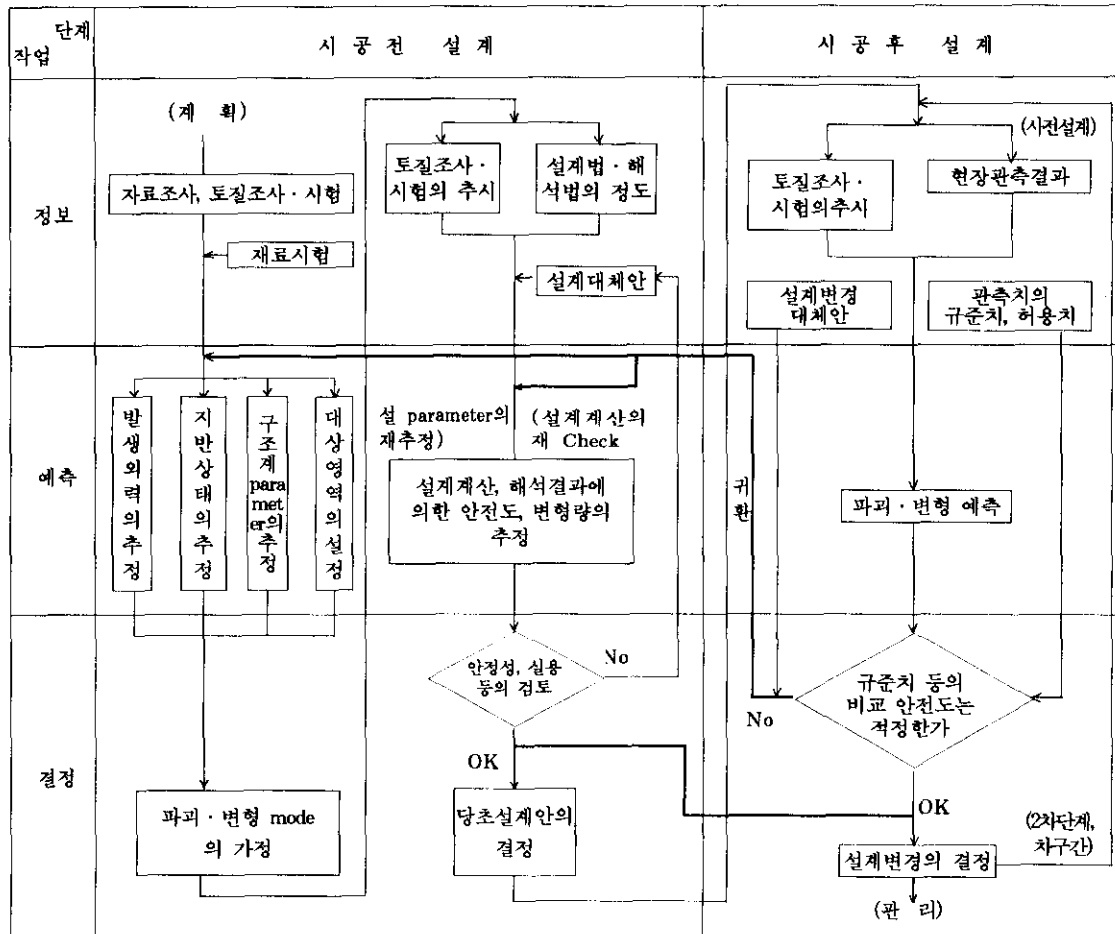


그림 2.7 정보화시공 system의 정보, 예측 결정

구조물의 설계 이념에 적합하다. 왜냐하면, 일반적으로 설계초기에 발생하는 trouble에 비하여 설계가 진행되었던 시점에서의 그것은 훨씬 크고 이것에 대응하여 손실도 크게 되기 때문에, 적어도 설계의 진행과 함께 보다 좋은 결정을 내릴 수 있는 system이 필요하기 때문이다. 상기와 같이 현장계측은 장래의 거동을 높은 확률로 게다가 정량적으로 예측할 수 있어야 한다. 이와 같은 의미에서 이 예측을 정도의 관점으로부터 “예지”라고 하는 용어로서 앞으로 표현하고 있다. 한편, 시공전 설계단계의 예측은 그 정도가 시공후 설계의 그것에 비하여 떨

어지기 때문에 여기서는 “추정”으로 표현하기로 한다. 이것은 예측이라고 하는 용어가 매우 넓은 의미로 사용되고 있기 때문에 이 system의 기본적 개념에 합치된 표현법의 정착이 금후 요청된다고 고려하여, “추정”과 “예지”로 구별한 것이다. 특히, 최근에는 주목해야 할 예지 기술이 성토아래서의 기초지반의 파괴나 침하, 굴착현장과 그 구성부재의 안전성, 호우시의 자연사면이나 하천제방의 안전성, 산사태 및 터널의 내공변위 등의 분야에서 제안되고, 결국 정보화시공 system의 확립에 크게 기여하고 있다.

2.6.3 계측결과와 시공에의 귀환

관측결과를 시공중의 설계변경에 적극적으로 이용하는 점이 정보화시공 system의 큰 특징인 것을 반복하여 기술했다. 그림 2.6과 2.7에 설계변경이 관측결과와 귀환에 의해서 결정되는 흐름을 나타냈다. 즉, 이 흐름은 관측결과 그 자체를 실제치와 계산치 사이의 괴리의 정량적 평가를 나타내는 정보로 간주하고, 불확실성이 높았던 설계 parameter를 수정하여, 발생 외력, 지반상태 및 장래의 거동 등을 보다 정도 높게 재추정하는 과정을 나타내고 있다. 어쨌든 이 system의 관측결과는 사전 설계시에 개재되었던 불확실성에 대처하고, 설계변경을 위한 더욱 좋은 input data의 작성에 feed back해야 할 것이다.

최근 제안되고 있는 정보화시공 system에서 관측결과는 크게 나누어서 다음 2가지 방법에 의해서 feed back되고 있다. 그 하나는, 확정론적 입장에 서서, 중요한 설계 parameter의 수정에 관측결과를 이용하는 system이다. 즉, 얻어진 관측결과에 합치되도록 설계 parameter를 확정론적으로 역해석하고, 그것을 이후의 설계계산에 적용하는 방법이다. 예컨대, 굴착공사 등에서 사용할 수 있도록 토류벽의 변위나 휨응력을 측정하고, 그것을 확정치로 하면서 다시 설계계산에 대입하여 그때까지는 정도 낮은 추정이었던 지반반력계수나 축압계수를 결정하는 방법이다. 이것은 측정정도 및 back analysis에 사용되는 설계법이나 해석법의 구성부재의 안정성을 예지하는 목적에서 도입된 system에서는 이 feed back법이 잘 사용된다.

다른 하나는, 확률론적 입장에서부터 설계 parameter를 재추정하는 system이다. 이것은 신뢰성 설계에 의한 risk평가에 잘 사용되기 때문에, 설계법이나 해석법의 정도의 확률론적 검토를 전제로 주로 발생외력이나 지반상태를 보다 현실에 가까운 상태로 고쳐 측정하고, 이후의 설계 parameter로써 이것들을 이용하는 방법이다. 이 feed back법에서는, 장래 거동의 예지를 위한 관측결과를 Bayes통계학을 중심

으로 하는 확률, 통계론적 입장에서 취급하는 점에 특징이 있다. 松尾 등이 중심이 되어 제안되었던 성토 및 굴착에 관한 구체적 system은 아무래도 후자의 확률론적 입장에 있던 feed back법의 적용이다. Bayes통계학의 적용 및 상기의 system 등에 관한 상세한 내용은 달리 발표된 논문이 많아 여기서는 생략기로 한다.

2.7 정보화시공의 전망

정보화시공 system의 기본적 이념과 특징, system으로서의 구체적 내용, 더욱이 관측결과와 이용에 관하여 구비해야 될 조건 등에 관하여 기술해 왔다. 이 장에서는 이 system이 앞으로 어떻게 발전하여 갈 것인가, 그때 어떤 문제점을 해결해야 할 것인가 등 급후의 동향에 관하여 전망하고자 한다.

우선, 정보화시공 system은 이후에도 발전할 것임에 틀림없다는 것을 강조하고 싶다. 왜냐하면, 우선, 공비를 유효하게 이용하고, 사회적 불안을 초래하는 것과 같은 현장의 파괴를 회피하는 것이 토목기술자에게 주어진 책무이다.

이와 같은 기술자의 기본적 자세가 종래의 시공법에서는 자칫하면, 이념에만 치우쳐 실제 효과를 얻지 못한채로 일관했던 경향이 있는 것에 대하여, 이 system에서는 이것이 구체적 작업 내용으로 반영되기 때문이다. 더욱이 토목구조물의 특징으로서는 다른 구조물과 비교해 설계변경이 용이하고, 그 위에 그 설계법의 이론과 기술자의 경험이나 실적과의 상호보완에 의해서 진보하고 있다는 것을 들 수 있다. 정보화시공 system은 시공중의 설계변경을 가장 중점적으로 언급함과 동시에, 현장관측결과에 의해서 기술자에 대하여 이론의 검증이나 실적의 확증을 구체적 수치로 표시 가능하게 된 것도, 이후의 발전에 기여하는 이유의 하나라고 생각된다.

이를 위해서는, 아래와 같은 문제점의 해결 자체가 이 system을 일층 충실하게 관련시키는 것일 것이다.

(1) 이후, 정보화시공 system이 시민권(제 자리)을 얻기 위해서는 예컨대, 관측비를 사용해도 이 system이 종래보다 유리하게 되는 객관적인 근거, 환언하면, 실적의 축적과 정식화를 도모해야 한다. 기 보고에도 있는 바와 같이 굴착공사에 관한 정보화시공 system에 의하여 당초 설계시의 공사가 완료된 실적은 매우 주목할 만하다. 또한, 관측의 결과를 cost로 평가하고, 그 결과, 정보화시공 system이 종래법보다 우수하다는 것을 정량적으로 논의했던 보고에도 흥미롭다.

(2) 시공중의 관측이 정보화시공 system의 핵심부에 상당하는 것을 강조하였지만, 무엇을 예지할 것인가의 예측대상을 명확히 하여, 우수한 예측기술을 개발하는 것이 필요할 것이다. 또 예측에 이용되는 정보를 확실하게 얻을 수 있는 계측방법의 검토도 중요하게 된다. 이들을 위해서는 당연 구조물이나 현장의 역학적 mechanism의 연구가 불가결하게 되고, 여기에 지반공학의 가일층의 발전이 요청된다.

(3) 관측결과로부터 안전도를 예측할 때는 판정기준치가 중요하다. 이 기준치는 구조물의 중요성, 파괴의 규모 및 설계변경에 필요한 시간 등을 고려하여 결정되어야 한다. 정보화시공 system은 관측결과를 항상 살려서, 적극적으로 설계변경을 하는 점에 특징을 갖고 있기 때문에 이 기준치의 타당성은 이 system의 성패를 좌우한다고 해도 과언은 아니다.

(4) 정보화시공 system에 쓰여지는 예측기술이 매우 훌륭하다 해도 그 결과는 현실과는 거리가 먼 risk를 갖고 있다. 그 때를 위하여, 우리들은 다음과 같은 대처수단을 갖고 있어야 한다. 예로서, 예측기술로서 복수의 방법을 병용함과 동시에 치명적 손상을 초래하지 아니한 응급대책공이 가능한 체제를 구축하여 두는 것 등이 필요할 것이다.

2.8 맺는 말

이상 앞에서 계측일반에 관한 사항을 개괄적으로 살펴보았다. 이제 우리나라의 계측도 70

년 후반 초창기 여건에 비해 기계의 개발과 기술도 눈부시게 발전되었다.

그러나 극히 중요한 국책사업인 대형공사를 제외하고는 계측은 불필요한 낭비라고 생각하는 발주기관이나 개인 발주자가 아직도 태반을 점유하고 있는 실정이다. 그 결과, 대형참사가 일어나서 막대한 재산손실과 수많은 인명피해까지 초래되는 일을 가끔 경험하게 된다. 그러나 앞에서 기술한 바와 같이 아무리 조사·설계에 완벽을 기하려고 노력을 해도 실제현장에서는 지반의 국부성, 비균질성, 비등방성, 지하수위의 변동 등 시공중 변화요인은 얼마든지 존재하는 것이다. 따라서 계측에 의한 시공에의 귀환 외에는 다른 방법이 없는 것이다. 그러므로 설계 당시부터 계측을 독립적으로 예산확보 및 기타 발주여건을 조성하여 공사비에 2% 내외에서 계측의 수행이 가능하므로 계측기의 종류, 배치간격, 설치위치, 빈도 등에 대하여 합리적이고, 치밀한 계획을 수립하여 안전하고도 경제적인 최적시공이 이루어지기를 간절히 바라면서 이 글을 마친다.

참 고 문 헌

1. 한국토지공사, 1997, "97 단지조성 전문 실무"
2. 이문수, 김영남, 이강일 역, 1997, "연직배수공법의 설계와 시공관리", 새론출판사
3. 최영박, 윤용남 역, 1981, "확률의 기초 개념", 형설출판사
4. 土質工學會, 1983, "土と基礎", 9月
5. 土質工學會, 1982, "土と基礎", 7月
6. 松尾 禾念, 1985, "地盤工學, 信頼性 設計の理論と實際", 技報堂
7. 土質工學會, 1990, "現場計測計劃の立つ方", 現場技術者のための 土と基礎 シリーズ 17
8. 土質工學會, 1988, "軟弱地盤 對策工法", 現場技術者のための 土と基礎 シリーズ 16
9. Terzaghi, K. and R. B. Peck, 1948, "Soil Mechanics in Engineering Practice", New York