

# 신생대 3기 퇴적이암지역에서의 사면 및 교량설계사례

이 중 범\*, 김창현\*, 김경태\*, 한진희\*, 이광희\*

## 1. 서론

포항지역에 분포되어 있는 퇴적층은 지질학적으로는 신생대(Cenozoic Era)-제3기(Tertiary Period)-중진세(Miocene Epoch)-연일통-연일층군에 속하며, 지금으로부터 2300만년전부터 500만년 전까지 약1800만년에 걸쳐 퇴적된 층으로 풍화에 민감하고, 수분 함유시 팽창하는 공학적 특성을 가지고 있는 것으로 보고되어있다.

최근 이러한 지역에 도로 및 철로건설이 활발히 진행되면서 시공 중 또는 시공완료 후 유지관리시 많은 재해를 유발 및 예측 못한 구조물거동 등으로 인적·경제적 손실을 초래하고 있는 실정이다.

본 사례 또한 신생대-3기 미고결 퇴적이암이 분포하는 구간으로 처음 설계착수단계시 사례 및 문헌 조사결과 미고결 퇴적암에 대한 물리·역학적특성

에 대한 논문 및 서적등 학술적 연구성과는 많이 이루어져 충분한 자료를 확보하였으나, 이러한 연구결과를 통하여 실제 설계적용 및 시공사례에 대한 자료는 극히 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 “포항영일만 배후도로 공사 실시설계”의 사례를 통하여, 비탈면 및 교량기초 설계시 지반공학적으로 접근했던 방법을 기술하여, 추후 유사지층에 대한 설계 및 시공시 조금이나마 참고자료로 활용되길 바라며, 또한 이러한 설계사례가 향후 시공시까지 지속적인 관심으로 이어져 보다 많은 시공사례에 의한 기술력발전의 초석이 되었으면 하는바람이다.

## 2. 사례지역 및 지반특성

### 2.1 현장위치 및 지질특성

본 사례지역은 행정구역상 경상북도 포항시 북구 흥해읍 성곡리에서 흥해읍 용한리에 이르는 연장

\*1 한국종합기술 지반부 상무

\*2 한국종합기술 지반부 이사

\*3 한국종합기술 지반부 차장(kkt@kecc.co.kr)

\*4 한국종합기술 지반부 과장

\*5 한국종합기술 지반부 대리

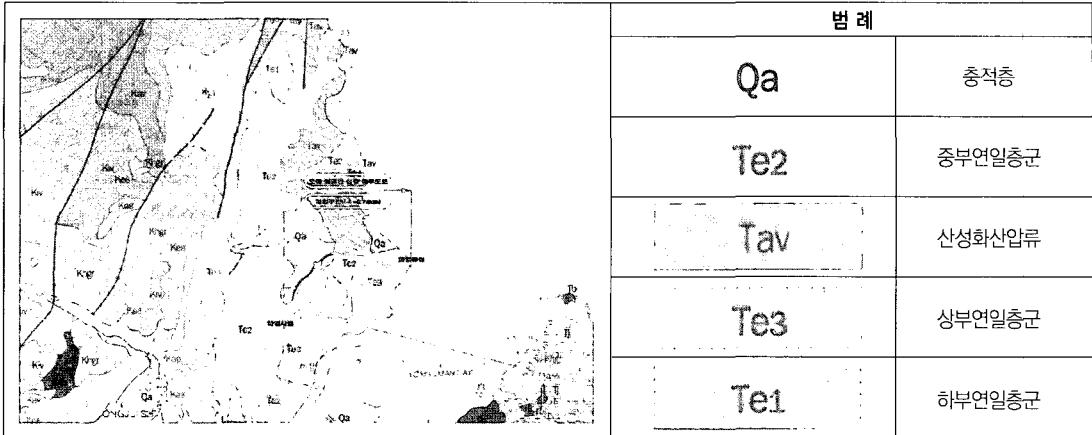


그림 1. 사례 현장 위치 및 지질도

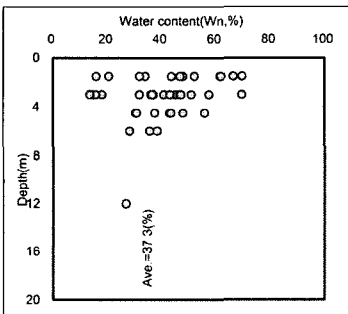


그림 2. 자연함수비

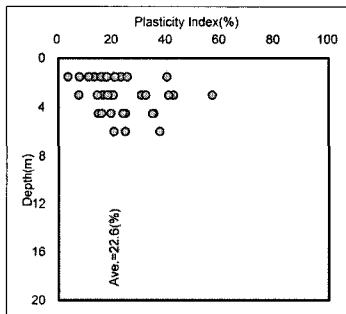


그림 3. 소성지수

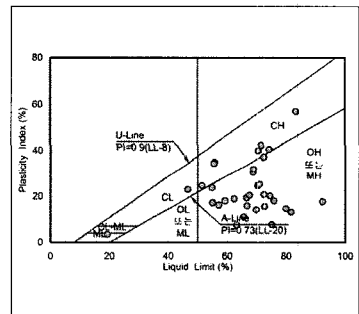


그림 4. 소성차트

9.69km의 도로로 주요 현황은 깎기 11구간, 교량 7개, 쌓기 3구간으로 형성된다(그림 1).

지형 및 지질특성은 동해안에 산재하여 소규모로 분포되고 있는 제3기층이 주요 구성암층으로 이는 신생대 제3기에 해당하는 것으로서 이들 구성암석은 암질이 연약하기 때문에 분포지형은 구릉성 산지와 하천을 따라 넓은 충적층을 이루고 있다.

59~67%(평균63%), 소성지수는 23~35%(평균 30%)으로 High plasticity and compressibility를 특성을 보이는 점성토로, 통일분류에 의하여 주로 CH와 MH로 분류되며 부분적으로 CL, ML로 분류되는 것으로 나타났(그림2~4).

비중은 2.59~2.61(평균2.61)범위로 분포하며, 습윤단위중량은 1.70tonf/m<sup>3</sup>으로, 초기 간극비는 평균 1.30정도로 나타났(그림5~7).

## 2.2 이암의 특성

### 2.2.1 물리적특성

자연함수비는 36~70%(평균37%), 액성한계는

### 2.2.2 역학적 특성

토사의 삼축시험 및 일축압축시험결과 비배수 전단강도는 각각 0.32~0.34kgf/cm<sup>2</sup>(평균0.33)으로

## 신생대 3기 퇴적이암지역에서의 사면 및 교량설계사례

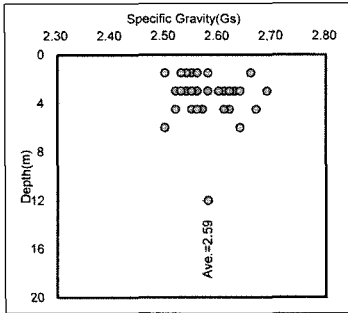


그림 5. 비중

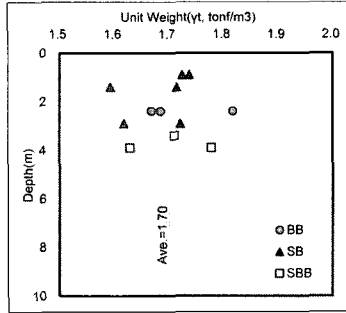


그림 6. 단위중량

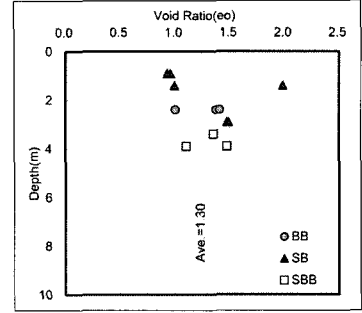


그림 7. 간극비

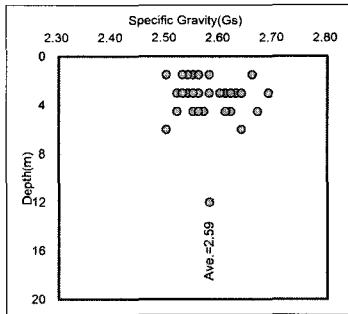


그림 8. 비배수강도(토사)

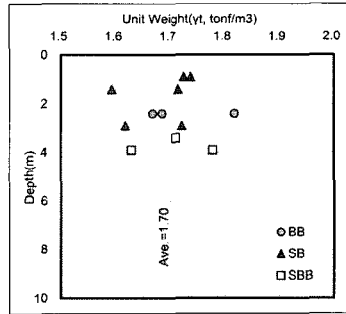


그림 9. 일축압축강도(암석)

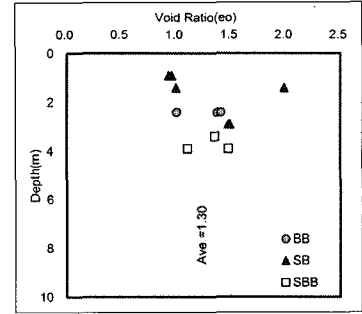


그림 10. 압축지수

나타나 연약한 연경도를 보이며, 응력이력으로 과압 밀비는 평균 3.78, 압축지수는 평균 0.41로 과압밀상태로 보통의 압축특성을 보인다(그림8~9).

암석시편에 의한 일축압축 강도는  $83.15 \text{ kgf/cm}^2 \sim 104.88 \text{ kgf/cm}^2$  (평균  $97.05 \text{ kgf/cm}^2$ )의 범위로 분포하는 것으로 나타났다(그림10).

### 3. 사면설계현황

#### 3.1 기시공사면조사 및 분석을 통한 설계방향설정

다음은 포항지역의 이암특성을 잘 보여주는 현장

사진으로 현재 슬래킹에 의한 풍화가 상당히 진척된 상태를 보여주고 있다. 특징적으로는 대규모 붕괴는 발생되지 않고, 단지 암편이 표면풍화진행에 따라 지속적으로 사면선단으로 흘러내리는 경향을 보여 준다(그림11). 따라서 포항지역이암에 대하여는 다음과 같은 설계방향설정이 필요하다

첫째, 포항지역이암은 대규모 활동파괴는 일어나지 않는다.

일반적인 퇴적암의 경우 층리면에 의하여 대규모 활동이 일어나나 포항지역의 이암은 세일, 사암, 이암 등이 상호 교호하여 형성된 것이 아니라 전반적으로 순수한 이암이 퇴적된 상태를 보여준다(단, 본 과업구역에서의 국한된 특징적 퇴적특성으로 사료 됨)(그림12).



그림 11. 기공사면 현장사진

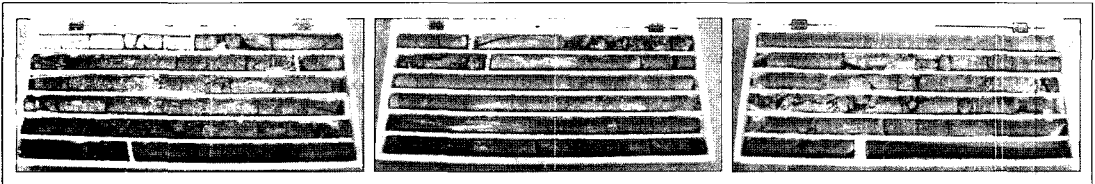


그림 12. 현장 시추코아사진

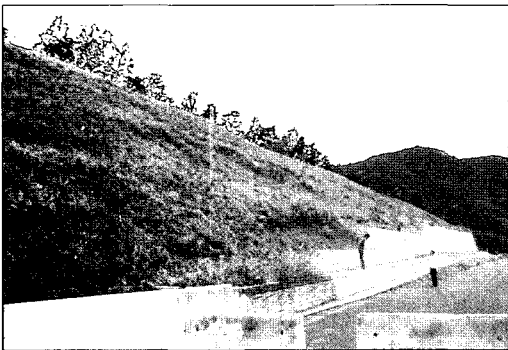


그림 13. 인근구간에 적용된 표면보호공사진

둘째, 일반적인 표준구배적용시 활동이나 풍화촉진에 의한 침식 및 유실 등을 방지할 수 없다. 현장조사결과 구배가 1:1-1:1.2의 경우 대부분의 노출이암사면은 풍화에 의하여 안정성 확보가 어려운 것으로 나타났다.

셋째, 일반적인 소단폭으로는 소단자체의 풍화 및 상부암편의 유입으로 기능을 유지할 수 없는 것으로

확인되었다.

넷째, 슬레이킹, 스웰링등에 의한 풍화촉진을 억제하기 위하여는 표면보호공이 필요할 것으로 판단되나, 이암특성상 그 실효성에 의문이 있다.

다음은 표면보호공 적용현장사진으로 대부분은 노출암상태로 유지하나, 일부 진출입IC구간등 미관이 필요한 부분대하여 녹화공법을 적용하였다(그림

## 신생대 3기 퇴적이암지역에서의 사면 및 교량설계사례

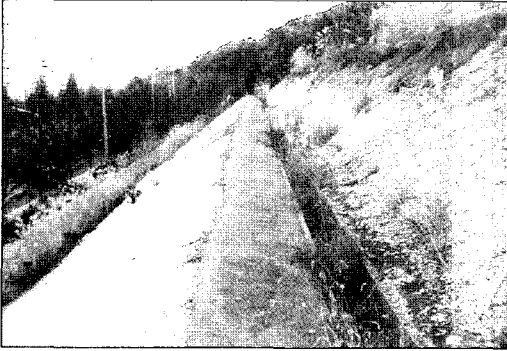


그림 14. 노출암상태의 인근현장사진

13, 14).

따라서 이암지역의 녹화시 다음과 같은 사항을 주시하여 설계 적용하여야 할 것이다.

첫째, 이암은 스웰링이나 슬래이킹이 크므로 일반적인 구배에 정착시 그 효과가 발휘되기 어려우므로, 장기적인 착상 및 정착을 위하여는 완화구배가 필요할 것으로 판단된다.

둘째, 녹화공법으로는 씨앗뿌어뿌이기공, 격자블럭공등이 고려되며 전자의 경우 배양토 두께 또한 증가가 필요하며, 후자의 경우 표면녹화방안이 별도로 검토되어야 할 것이다.

셋째, 녹화공 적용시기로, 이암의 슬래이킹이나 스웰링에 의하여 들뜸현상에 의한 유실이 우려되므로, 가능하면 일정부분 풍화유도 후 시공하는 것이 이론적으로 적정하나, 둘째항과같이 보다 강화된 기준을 적용하여 절개지후 빠르게 시공하는 것이 보다 합리적일 것으로 사료된다.

다음은 노출암반의 경우 소단편을 확폭하여 상부 암편의 유실의 억제 및 하부 도로에 유입되는 것을 방지한 경우이다.

소단에 현장콘크리트를 타설하여 소단자체의 풍화축진을 억제한 것이 특징적이다.

이 또한 영구적인 대책이 될 수는 없고 특히 미관상 불리할 것으로 판단된다.

그러나 구배완화 후 도로노건을 충분히 확보하고 조경 수목을 식재한다면 노출암반이 조경림에 의하여 차단되어 전면판에 의한 앵커나 네일등의 보강공법보다는 보다 안정적이며 미관상 유리할 것으로 사료된다.

### 3.2 설계적용현황

본 사례에서 비탈면에 적용된 설계현황은 표 1, 그림 15와 같다.

우선적으로 포항일대 이암지역에 대한 설계사례를 조사한 결과 표 1과 같이 1:1.5-1:2.0으로 적용한 것으로 나타났다.

따라서 본사례에서도 신생대 3기 이암의 공학적 특성을 반영하여 기본적용구배를 1:1.5로, 소단을 5m마다 1.0m의 폭으로 계획하였다.

그러나 적용구배로도 불안정한 40m이상의 대절토구간에 대하여는 1:2.0으로 계획하여 안정성을 확보하였으며, 보호공으로 녹생토를 계획하여 풍화억제를 유도하였다(그림 15).

표 1. 포항일대 이암지역에 대한 설계사례 조사결과

과업명	깎기 비탈면 기울기		비고
	풍화토	리핑암(이암)	
포항시 관내국도 대체우회도로 건설공사 실시설계 보고서 (2004. 12)	1 : 1.5	1 : 1.5	미절개 비탈면
유강 RAMP-A 시점부 교대 및 대절토부 비탈면안정검토보고서 (2000. 10)	1 : 1.5	1 : 1.5	미절개 비탈면
강동 - 포항간 도로 사면붕괴구간 검토보고서 (2000. 3)	1 : 2.5	1 : 2.0	붕괴비탈면
고속국도 제 20호선 대구~포항 고속도로 연일 JCT 건설공사(2004. 12)	1 : 1.5	1 : 1.5	-
성토공 및 절취 사면 안정대책 수립 학술 연구 용역 보고서 (2000. 7.15)	1 : 1.5	1 : 1.5	미절개 비탈면

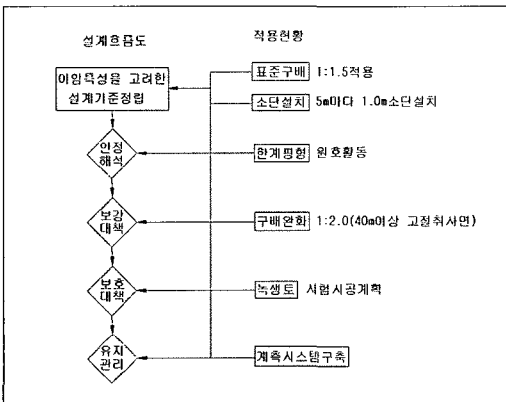


그림 15. 설계흐름 및 적용현황(사면)

## 4. 기초설계현황

### 4.1 문헌 및 시공사례조사 및 분석을 통한 설계방향설정

일반적으로 향타말뚝의 지지력은 간극수압의 소산 및 디소트로피(Thixotropy)현상 등으로 시간의 경과에 따라 증가하는 것으로 보고되고 있다.(Preim, 1989) 그러나 일부 특수지역에서는 시간의 경과에 따라 지지력이 오히려 감소(Relaxation)되는 것으로 알려져 있다(Donald L. York etc., 1992). 특히, 국내에서도 퇴적 이암 지반에 말뚝을 향타시공할 경우 장기적으로 교란된 선단부의 이완으로 인해 선단지

지력이 감소되는 것으로 재하시험을 통하여 확인하였으며(전병식 외 3인, 1997), 또한 일부 시공사례를 통하여 이암지역에서 시공 후 지속적으로 침하 및 지지력이 감소되어 보강을 하는 경우도 보고되고 있다. 이와 같은 메카니즘은 향타에 의하여 선단부의 이완 및 교란된 상태에서 말뚝의 내, 외주면을 통하여 지속적으로 물이 유입되어 선단부가 경화되지 않고 연화되어 지내력의 감소를 초래하는 것으로 판단된다.

따라서 본 사례의 기초설계시 다음과 같은 의문점을 고려하여 설계에 접근함이 필요할 것이다.

첫째, 기초지내력 검토시 이암을 공학적으로 어떻게 분류하여 적용할 것인가? 즉 풍화암지조건으로 할 것인가. 연암지조건으로 검토할 것인가를 결정하여야 할 것이다.

둘째, 향타말뚝적용시 이암에 근입조건을 어떻게 할 것인가? 즉 일반적인 건전도 확보속에 근입되어 안정적인 거동을 할 수 있는 깊이를 결정하는 것이다.

셋째, 직접기초적용시 이암특성상 스웰링 및 슬래이킹이 크므로 타파기 직후 빠르게 기초를 시공하도록 유도함이 필요할 것이다.

넷째, 이암지역의 경우 말뚝기초적용시 선단지력은 오히려 감소할 수 있으므로 이를 고려한 설계가 이루어져야 할 것이다.

## 신생대 3기 퇴적이암지역에서의 사면 및 교량설계사례

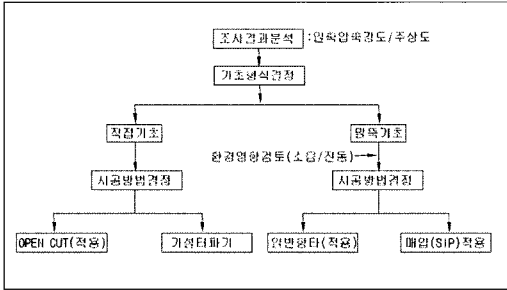


그림 16. 기초시공법선정

다섯째, 이암의 Relaxation 특성을 고려한 현장재하시험계획이 필요할 것이다.

### 4.2 설계적용현황

본 사례에서 교량기초에 적용된 설계현황은 아래와 같다.

#### 1) 시공법결정

시공법을 일반적인 절차와 기준에 의하여 선정하였으며, 직접기초의 경우 이암의 특성상 터파기 직후 바로 시공이 되도록 하여야 할 것이다.

#### 2) 지내력검토

우선 이암을 풍화암 및 연암 각각의 경우에 대하여 지내력을 예비 검토하여 작게 산정된 풍화암지지 조건으로 기초의 안정성을 평가하였다. 이는 일축압축강도기준에 만족하는 것이고 퇴적이암에서의 TCR/RQD의 값은 큰 의미를 부여할 수 없으므로 합리적이라 판단된다.

또한 말뚝의 근입깊이는 항타말뚝의 경우 2D(D: 말뚝직경), SIP의 경우 4D를 기준으로 적용하였으며, 시공 중 시험타에 의하여 현장여건에 대응토록 하였다.

재하시험의 경우 직접기초의 경우 일반적인 재하판보다 큰 것을 사용하도록 하였으며, 말뚝의 경우

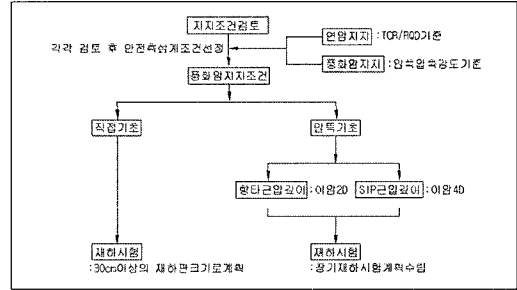


그림 17. 설계흐름 및 적용현황(교량기초)

정재하시험을 각각 15일, 30일의 시간의 경과를 두고 시행하도록 계획하여 지내력감소의 영향을 판단하도록 하였으며 재하시험결과 이완에 의한 선단지력감소가 지속적으로 예측되는 경우 폐쇄된 선단부에 그라우팅을 하여 relaxation을 저감하는 방안 등을 검토하여야 할 것이다.

## 5. 결론

포항-영일신항만 배후도로 설계시 이암특성을 고려하여 다음과 같이 적용하였다.

- 1) 본 사례구간의 대중을 이루고 있는 이암은 대기 중에 노출되면 1~2cm 간격의 균열이 발생하고 체적팽창량이 대단히 크고 또한 건습반복에 의한 급속한 slaking현상으로 그 성질이 급격히 열화(softening)되어 전단강도가 급격히 저하되는 특성을 보이고 있다.
- 2) 또한 전반적으로 순수한 이암으로 형성되어 일반적인 퇴적이암에서 확인되는 층리면은 확인되지 않아 대규모의 활동은 발생되지 않을 것으로 사료되며, 인근 기 시공사사면을 조사한 결과에서 파쇄된 암편들이 흘러내려오는 것을 확인하였다.
- 3) 비탈면 구배는 1:1.5이상이 적정하고, 비탈면보

호공은 격자블럭공+녹화, 녹생토등이 적용성이 있는 것으로 검토되었다.

- 4) 이암의 경우 풍화암지지조건으로 지내력을 평가하는 것이 합리적이며, 근입깊이는 항타의 경우 말뚝직경(D)의 2D, 매입말뚝(SIP)의 경우 4D를 적용하였다.
- 5) 장기적인 선단지력감소영향을 판단하기 위하여 말뚝시공 후 일정시간(15일, 30일)경과후 재하시험계획을 수립하였다.
- 6) 본 사례는 한정된 지역에서의 설계사례이므로 향후 많은 설계 및 시공 사례로 이어져 지반공학자들이 설계 단계 및 시공 단계에서 활용할 수 있는 자료축적이 필요할 것이다.

2. 천병식(1997) "재하시험에 의한 퇴적이암지반에 시공된 강관말뚝의 지지특성 연구", 97 National Conference
3. 이암,세일 지역에서의 사면시공사례 2004. 10, 한국암반 공학회 추계학술발표회
4. 이영휘(1996) "포항이암의 Slaking, 팽창 및 전단특성" 한국지반공학회
5. Donald L. York, Walter G. Brusey, Frank M. Clemente, and Stephen K. Law(1992), "Setup and Relaxation in Glacial Sand", ASCE Annual Meeting, New York.
6. Preim, M., March,R. and Hussein, M.(1989). "Bearing capacity of piles in soil, with time dependent characteristics." Piling and Deep Foundations. Proc. of the 3rd Int. conf., London, pp.363-370

## 참고 문헌

1. 포항영일만항 배후도로 건설공사 설계보고서, 2006

## (사)한국토질및기초기술사회 회장 김동민 선출

(사)한국토질및기초기술사회 11월 10일 정기총회에서 김동민(주)한국종합기술 전무이사가 회장으로 선출되어 2007년 1월 1일부터 2008년 12월 31일까지(2년간) 회장직을 수행하게 된다.

김동민 회장은 한양대 토목공학과와 중앙대 건설대학원을 졸업하고 1995년부터 토질및기초기술사로서 활동하고 있다.

(사)한국토질및기초기술사회