

아프카니스탄 도로복구사업 중 해외지반설계 사례



조 흥 재
(주)유신코퍼레이션
지반·터널 1부 이사
(y12773@yooshin.co.kr)

1. 서론

국내 토목경기가 예전같지 않은 상황에서선지 요즘들어 많은 설계회사들이 동남아, 중앙 아시아, 아프리카등지로 진출하고 있으며, 본 사례 도 그 중 아프카니스탄에서 설계한 과업 중 지반분야 위주로 간단히 소개하려고 한다.

2. 과업구간 현황

2.1 국가현황

아프카니스탄은 2006년 샘물교회신도들이 피납되어 회자된 아시아 중부에 위치한 정식명칭은 아프카니스탄 공화국 (Islamic Emirate of Afghanistan)이다. 면적은 대한민국의 약 3배에 해당하^는 64만 7500km²이며, 인구는 2,817만 명(2003년 기준)이다. 북쪽은 투르크메니스탄, 우즈베키스탄, 타지키스탄, 북동쪽은 중국, 동쪽과 남쪽은 파키스탄, 서쪽은 이란에 맞닿아있다. 수도는 카불이다

2.2 과업현황

본 도로복구사업은(MPW/333/ADB/Con2, Con3) 아프카니스탄 공공사업부(Ministry of Public Works)에서 ADB(Asian Development Bank) 차관으로 발주한 것으로 아프카니스탄 카불에서 순환도로사업(Ring Road Project)의 일부구간으로 북서부에 위치한 알마르 ~ 쉬린타갑(연장 70km) 구간과 쉬린타갑~안코이(연장 86km)구간에 이르는 총 연장 156km의 2차로 도로복구사업(Rehabilitation and Reconstruction)이다.

2.3 공사개요

- 발 주 자: 아프카니스탄 공공사업부
- 시 공 자: 삼환기업(주)
- 공 사 비: 약 600억원
- 공사기간: 2006. 5 ~ (2년간)
- 차 로 수: 왕복 2차로

(본포장: 7.0m, 길어깨: 1.5×2=3.0m)

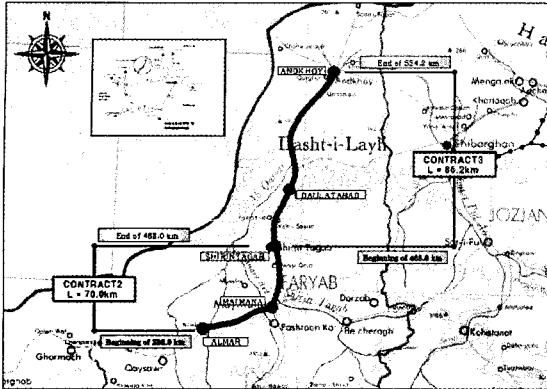


그림 1. 과업구간 위치도

- 도로연장 : 156km
- 설계속도 : 40~80km/h (평지 80, 구릉지 60, 산지 40)

2.4 지반분야 설계범위

- 지반조사
- 사면안정 검토
- 교량기초안정성 검토
- 노상품질시험 평가방법 검토

2.5 설계시 현장발생 문제점

토공설계에 적용된 설계기준은 Bidding Document에 제시된 기준 및 AASHTO 2001 “A Policy on Geometric Design of Highways and Streets”를 기준으로 하도록 되

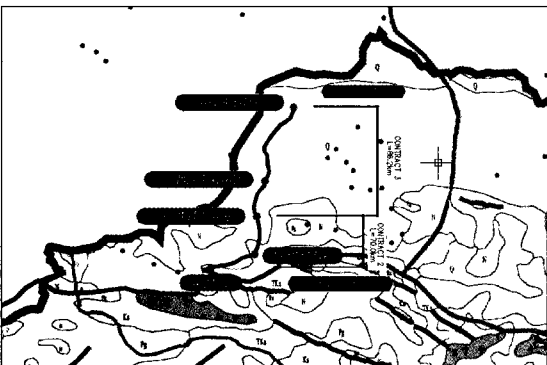


그림 3. 과업지역 지질도

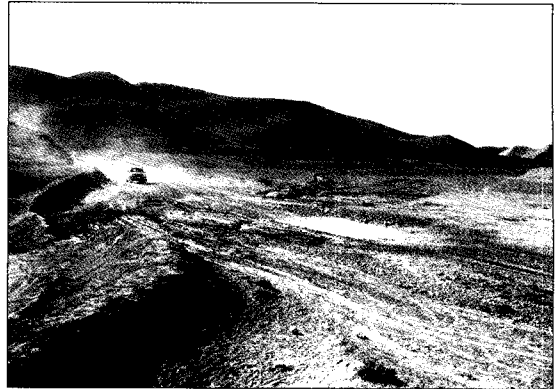


그림 2. 과업지역 전경

어있었으나 실제 설계기준이 상이하고, 아프가니스탄 현장에 적용하기에는 미흡하였다. 이에 감리자(SMBC)와 협의하여 기본적인 설계기준은 Bidding Document 및 AASHTO 2001(The Green Book)을 기준으로 하되 세부 미흡한 부분은 국내 설계기준을 설계에 반영하였다.

3. 설계조건

3.1 지질현황

과업지역은 신 제3기 퇴적암(The Neogene Sedimentary Rocks)지역으로 노출된 기반암은 우리나라 포항지역의 이암과 비슷하게 고결되지 않아서 휴대용 칼로도 긁혀지는 정도에 매우 약한 강도를 가지고 있었다.

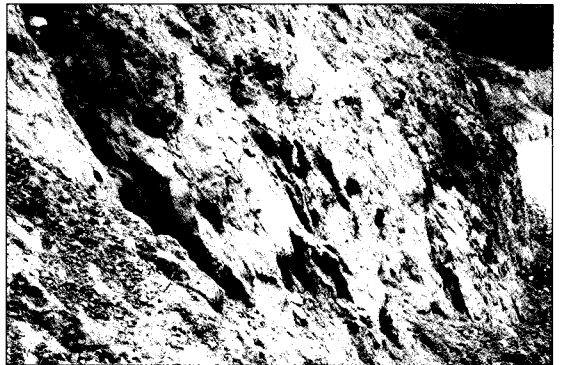


그림 4. 과업구간 사면현황

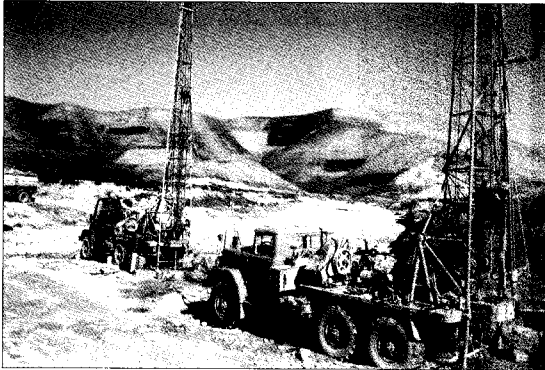


그림 5. 시추장비 전경



그림 6. 표준관입시험 후 심도확인



그림 7. 시험굴조사 전경

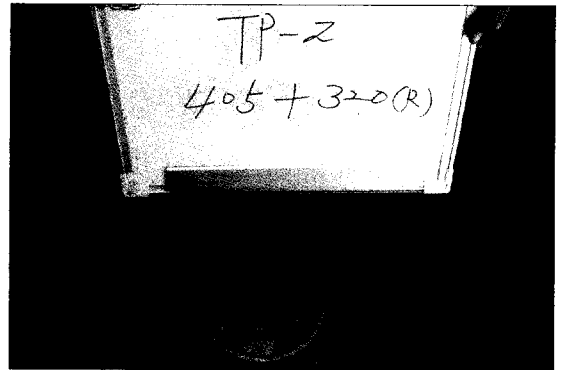


그림 8. 시험굴시료 채취 전경

3.2 지반조사

카불의 소재하는 현지지반업체에게 조사를 의뢰하고 수행하였으며, 우여곡절(?)끝에 교량구간 27공 조사를 4개월 만에 완료하게 되었다.

■ 교량구간 조사결과 예

표 1. Bridge-5 구간 지층현황 (BB-1, 2, 3, 4)

구분	매립층	자갈층	실트층	총
층후(m)	Only BB 4	3.0 - 7.5m	상부실트:	23m
	1.5m		6.0-7.5m	-
특기사항	Clayey Silt	직경 = 4 - 20	하부실트:	25m
	소량의 사갈 포함		자갈층 하부에 존재	-
N-치	17~50	50	17~47	-

3.3 시험굴조사 (2006.09)

설계 CBR 및 전단강도를 구하기 위하여 알마르 ~ 쉬린 타갑 구간 2km마다, 쉬린타갑 ~ 안코이 구간의 경우 5km마다 이루어졌으며, 그리고, 깎기비탈면부에 해당하는 구간에 대하여 시험굴조사를 실시하였다.

채취된 직접전단시료에 대해서는 아프카니스탄내에서는 직접전단시험을 실시할 수 있는 장비가 없어 수소문끝에 파키스탄으로 이동 후 N.W.F.P University에서 직접전단시험을 수행하였다.

3.4 실내시험 및 설계기준 선정

3.4.1 실내시험 결과

■ 기본물성시험 결과

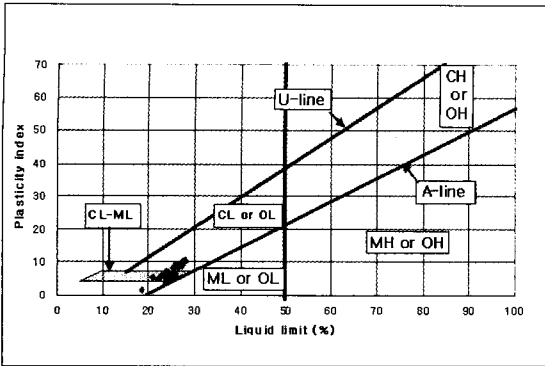


그림 9. 소성도(짜기비탈면구간)

■ 기준안전율(FS=1.25)을 적용

→비탈면 안전율 기준은 FHWA에 기준인 1.25~2.0 중 1.25을 적용하였다.

■ 우기시 조건을 고려하지 않음

→과업구간은 년강우량은 100ml이하이며, 겨울에 강설량이 대부분에 유입량을 차지하였다.

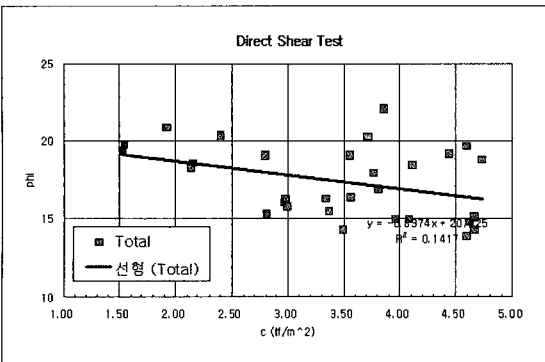


그림 10. 직접전단시험 결과

■ 설계정수 산정(실내직접전단시험(2006.10.19))

구 분	단위중량 (tf/m ³)	내부마찰각 (φ)	점착력(tf/m ²)
풍화토	1,453	19,1	3.1

■ 교량구간 실내시험결과

표 1. Bridge-5 구간 실내시험 결과

구 분	자갈층	상부실트층	하부실트층	지하수위 (GL, m)
N-치	≥ 50	20 - 50 (평균: 34)	25 - 50 (평균:40)	평균: 11.6m
USCS	GC,GM	ML, SC, GC, GM	ML, CL- ML, GM	
Wn/LL/PI	-	10/27/8.8	17/27.8/7.2	
# 200 Pass (%)	-	AVG. 37,1	AVG. 94,4	

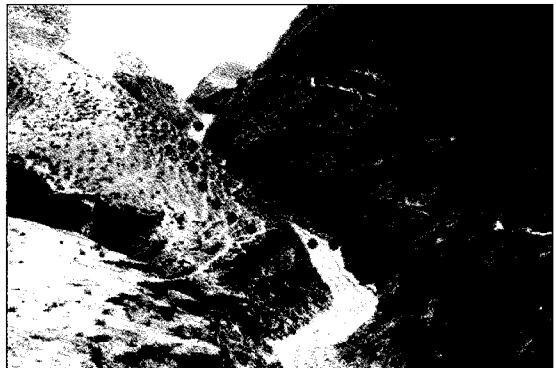


그림 11. 과업구간내 비탈면 파괴 현황(STA .419)

4. 비탈면 설계

검토결과 H=40m미만에서는 S=1:1에 대해 안정성이 확보되었으며, 45m이상구간은 S=1:1.4에서 기준안전율 (F·S=1.25)을 만족하는 것으로 나타남. 따라서, 20m미만 구간은 1:0.8로 경사를 유지하여도 안정성에는 문제가 없을 것으로 판단되나, 20m이상구간은 상부지형특성에도 영향을 크게 미칠 수 있으므로 구간별 현황을 파악하여 상세 경사선정이 필요하였다.

본 검토는 지형조건이 고려되어있지 않으며, 지하수위 조건은 dry상태에서 검토되어진 개략검토이다. 따라서, 3.0 Slope Analysis에서와 같이 상세한 지형조건과 지하수위조건이 필요하다.

본 검토는 지형조건이 고려되어있지 않으며, 지하수위

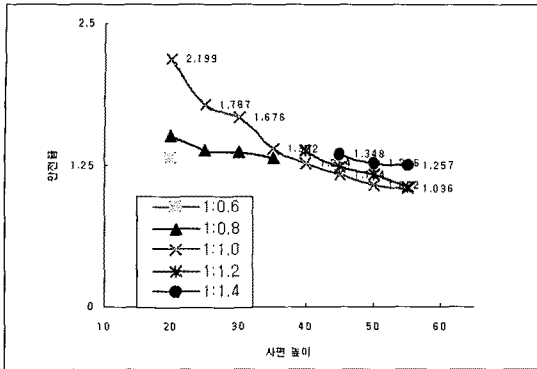


그림 12. 기울기에 대한 안정성 평가



그림 13. 최대비탈면구간 현장 전경

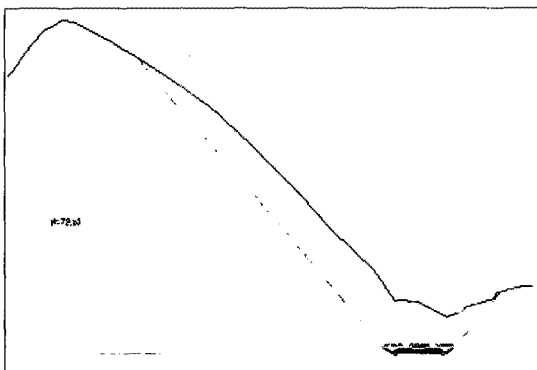


그림 14. 최대비탈면구간 깎기횡단면도

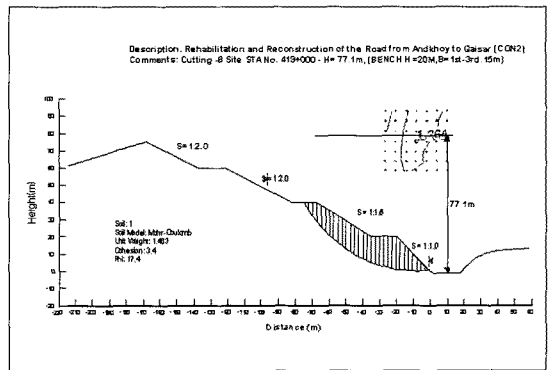


그림 15. 최종 한계평형해석 결과

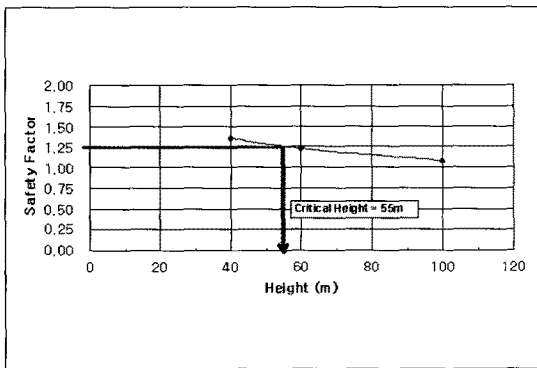


그림 16. 한계성토고(깎기구간) 선정

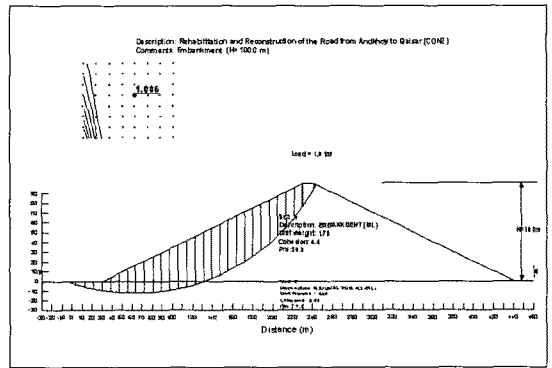


그림 17. 대표 쌓기비탈면 한계평형해석 결과

조건은 dry상태에서 검토되어진 개략검토이다. 따라서, 3.0 Slope Analysis에서와 같이 상세한 지형조건과 지하수 위조건이 필요하다.

본 검토는 Bedding Document에서 기준으로 하는 The Standard Specifications for Highway Bridges, 17th Edition, 2002를 기준을 준용하였으며, 추가로 범용적인 지지력 공식 및 침하식을 비교하여 기초안정성 검토를 실시하였다.

5. 기초설계



그림 18. 표준관입시험 전경

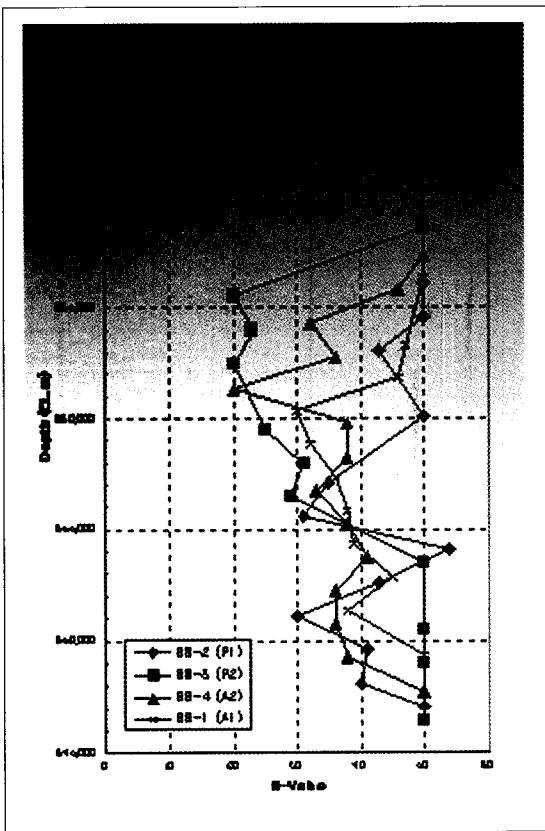


그림 19. Bridge-5지역 SPT시험결과

■ Bowles식에 의한 허용지지력

$$q_a = 1.25N[(B+0.305)/B]^2 \times (1+D_f/3B) \text{ (tonf/m}^2\text{)}$$

$$\text{탄성침하량} = [q_b \cdot (1-\nu^2) \cdot \sqrt{A}] / E_s \beta_z$$

$$= 24.5 \times [(1-0.4^2) \times \sqrt{(6.0 \times 10)}] / (7320 \times 1.09)$$

$$= 0.01997 \text{ m} = 19.7 \text{ mm} < 25.4 \text{ mm} \dots \dots \text{ O.K}$$

$$\text{각변위} = 0.0197/15 = 0.00133 < 0.005 \dots \dots \text{ O.K}$$

말뚝기초는 Bridge-5교량에 대해 4공에 대해 시추심도 25m시에도 지지층인 Bedding Rock층이 발견되지 않아 a minimum of 10 feet of rock core를 획득할 수 없었으며, 마찰말뚝 개념을 도입하여 말뚝설계시 천공말뚝으로 시공해야하며, 이때 지층상태가 자갈·전석층이 주이므로 시멘트 주입에 따라 자갈층에서 확실한 주면마찰력을 발휘하기가 힘든 문제가 발생할 수 있으며, 현장타설말뚝적용시에도 현장타설말뚝이 선단지지말뚝점을 고려한다면 본 과업구간에 말뚝기초를 적용하기에는 교량구조물에 안전성에는 위험한 측면이 있음.

따라서, 지반조사결과로 볼 때 상부 Boulder층은 N-치가 50이상으로 크나 지층이 불균질하고 침하에 따른 교량 구조물에 부등침하 등이 예상되어 기초지지층으로 부적합하며, 20 feet 내외에서 지지층인 점토섞인 자갈층이 시작하므로 6m 하부층에서 직접기초로 형식을 선정하고, 최소 깊이 D_f는 6m로 하는 것이 타당하다고 판단된다.

■ 허용침하기준을 적용한 허용지지력식

4.4.2에서 제시된 사질지반의 허용지지력식은 너무 안전측인 것으로 확인되어 Meyerhof가 1974년에 제시했던 식을 수정한 Bowles(1988)식을 이용하여 지지력을 다음과 같이 산정하였다.

$$q_a = 12.5N[(B+0.305)/B]^2 \times (1+D_f/3B)$$

6. 설계CBR-DCP상관성 검토

국내에서 노상시공중 현장품질시험으로 상대대침도를 평가하는데는 들밀도시험을 지지력을 평가하는데는 평판재하시험과 현장CBR시험을 수행하고 있는 실정이나 현지 사정상 지지력 평가를 위해 평판재하시험과 현장CBR시험을 관리할 기술자가 전무한 실정이라 휴대용DCP(Dynamic Cone Penetration)시험장비를 통해서 지지력 평가를 수행할 수밖에 없었다. 따라서 그림 20과 같이 시

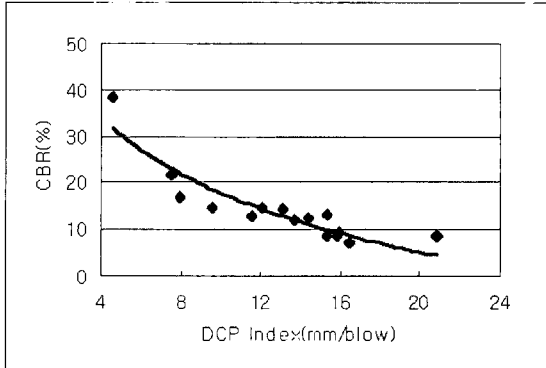


그림 20. CBR_{field} - DCP Index 상관성 관계



그림 21. 조사 참여자 기념사진 (좌측 두번째 필자)

험시공을 통하여 CBR field - DCP에 상관관계를 파악하였다.

$$\log CBR = 2.24 - 1.04 \log PI \quad (R^2 = 0.88)$$

$$\log DCP = 0.46 - 0.84 \log CBR \quad (R^2 = 0.88)$$

$$DCP = 2.88 \times CBR^{0.84}$$

where, $PI = DCP \text{ index (mm/blow)}$, $PI = 300 \div DCP$

■ Estimated N-Value on CBR Test

따라서 현장 CBR치와 DCP시험과의 상관관계를 도출하여 시공시 손쉽게 노상상기제의 품질관리를 수행할 수 있는 상관관계를 아래와 같이 도출하였다.

$$\log CBR = 2.24 - 1.04 \log PI \quad (R^2 = 0.88)$$

7. 결론

아프카니스탄이라는 특수한 환경하에서의 설계와 시공

은 많은 환경적, 물질적, 언어적 제한을 가져오는게 사실이지만 설계기준에 기초하여 엔지니어의 기술적 판단에 따른 합리적인 설계방안과 경험이 축적된다면 추후 이러한 해외설계의 노하우가 장래 해외진출을 위한 밑거름이 될 것으로 판단된다. 또한 현지에 대한 다양한 정보를 현지에 투입되기전 숙지 할 경우 설계업무는 합리적이며 독창적인 설계가 이루어질 수 있을 것이다. 나아가서 아프카니스탄 정부 및 ADB(Asian Development Bank)에게 한국 지반기술자의 설계수준을 널리 알릴 수 있을 것이다.

참고 문헌

1. Principles of Foundation Engineering, Braja M. Das (5th), pp. 187~190
2. Principles of Foundation Engineering, Braja M. Das (4th), pp. 99~101
3. The Standard Specifications for Highway Bridges, 17th Edition, 2002