

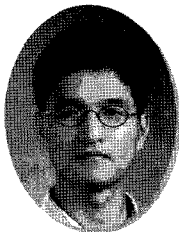
# 고속도로 시공중 퇴적암(shale, sandstone) 구간에서 지질특성 분석



**김덕용**  
한국도로공사  
구조물센터  
차장



**김주연**  
한국도로공사  
강원지역본부 도로팀  
팀장



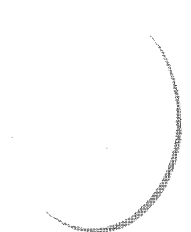
**박용식**  
한국도로공사  
남원전주건설사업단  
차장



**이동호**  
한국도로공사  
남원전주건설사업단  
차장



**김낙영**  
한국도로공사  
도로교통연구원  
수석연구원



**전철영**  
한국도로공사  
남원전주건설사업단  
감리

## 1. 개요

본 내용은 전주-남원간 고속도로 구간 중 제 3, 4, 5공구에 분포하는 퇴적암(셰일과 사암)의 시간 경과에 따른 강도특성과 노출된 퇴적암의 지질특성, 보강공법을 파악 및 분석하였고 향후 유사지층의 사면안정성 검토시 풍화 정도에 따른 보강 및 보호공법의 적용을 위한 기초자료

제공, 절토부 암 판정의 객관적인 자료 확보 및 참고자료로 활용하고자 한다.

## 2. 강도 및 내구성 특성(일축압축강도시험, 점하중시험, 슬래킹시험)

표 1. 시험법

암석강도 시험	점하중 시험	슬래킹 시험
시편을 규벽몰드(5cm입방체)로 가공 후 압축강도시험기에 하중 가하여 파괴시 내압강도 측정하는 시험	임의시료에 점하중을 가하여 시료내에 인장응력이 발생하게 하여 암석의 일축압축강도를 추정하는 시험	건조와 침수의 반복에 의한 짧은 시간에 걸친 풍화에 대한 암석의 내구성을 측정하는 시험

가. 시험법

표 1과 같다.

나. 시험조건

표 2와 같다.

표 2. 시험조건

암석강도시험	절취 암석 채취 → 시험실 앞 야외노출 → 일정기간 경과 후 실내시험
점하중시험	
슬래킹시험	시료 샘플 채취 → 공인기관 시험의뢰 → 공인기관 실내시험

다. 시료채취, 시험 및 시간경과에 따른 상태변화

1) 시료채취 및 암시편 시험실시



2) 시간경과에 따른 세일 및 사암 상태 변화

① 암석시편 상태



사진 1. 암석별 시간경과에 따른 사진(계속)

고속도로 시공중 퇴적암(shale, sandstone) 구간에서 지질특성 분석

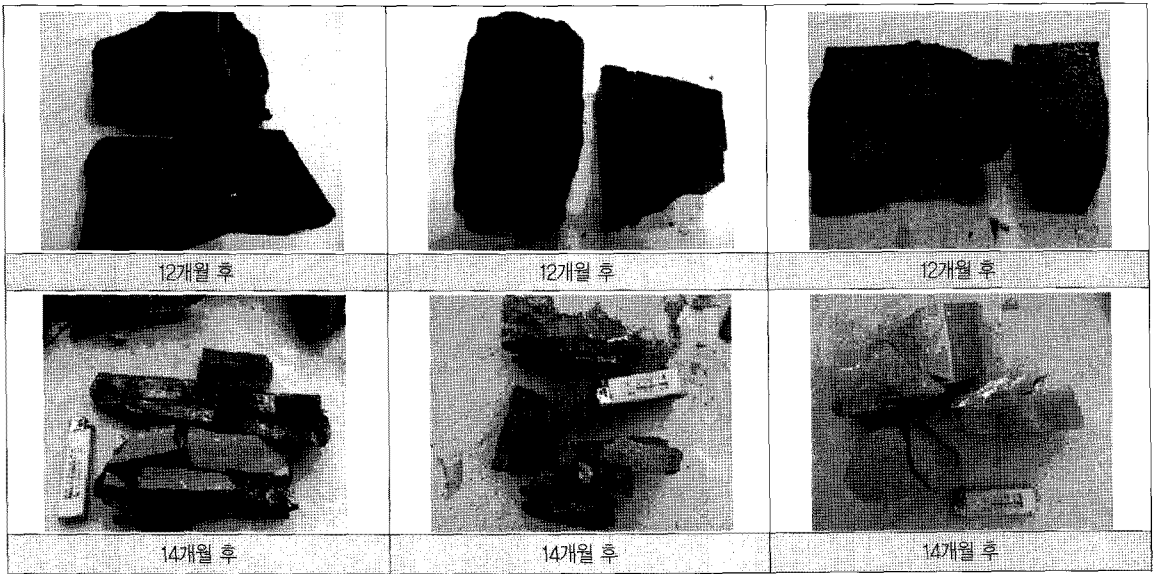
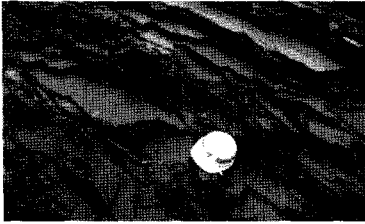
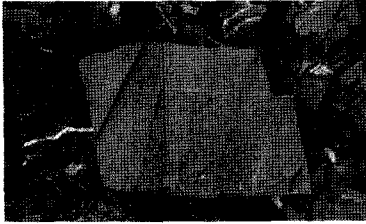


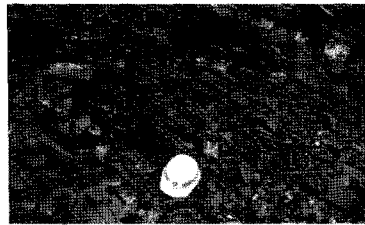



사진 1. 암석별 시간경과에 따른 사진

② 노출표면 상태

노출면 전경 및 시편 사진		조사내용
		얇은 판상의 층리 발달. 층리면은 다소 매끄러우며, 점토질충진물은 부분적으로 미세하게 협착됨
STA 3+560~3+700 : 흑색 셰일 (최초 : 2010년 1월 16일)		
		시간경과 및 풍화에 따라 얇은 판상(5~10cm)의 셰일이 더욱 세밀한 판상(1cm내외)으로 갈라짐
STA 3+560~3+700 : 흑색 셰일 (3개월 후 : 2010년 4월 16일)		
		건습반복 및 풍화진행에 따라 얇은 판상으로 갈라진 셰일이 망사형으로 쪼개짐. 손으로 눌러서 바스러지는 상태임
STA 3+560~3+700 : 흑색 셰일 (5개월 후 : 2010년 6월 18일)		

노출면 전경 및 시편 사진		조사내용
		시간 경과에 따른 건습반복 및 풍화진행에 따라 슬래킹 가속화됨
STA 3+560~3+700 : 흑색 세일 (6.5개월 후 : 2010년 7월 30일)		

## 라. 강도 및 내구성 시험

### 1) 점하중 시험(10회 평균값)

- 사암(sandstone) (5공구)

위치	시기	'09.06.10	-	'09.09.18	-	'09.12.04	-	'10.05.19	비고(감소율)
관촌 휴게소	회색	638	-	596	-	621	-	613	①/3.9
	진회색	893	-	794	-	925	-	886	②/1.0

위치	시기	'10.01.16	'10.02.14	'10.03.16	'10.04.16	'10.05.17	'10.06.18	비고(감소율)
3+790~	회색	644	627	636	623	624	618	③/4.0
4+000	진회색	902	883	901	894	870	882	④/2.2

- 혈암(shale) (5공구)

위치	시기	'09.06.10	-	'09.09.18	-	'09.12.04	-	'10.05.19	비고(감소율)
관촌 휴게소	흑색(내부)	1152	-	1095	-	892	-	866	⑤/24.8
	흑색(표면)	955	-	803	-	493	-	435	⑥/54.4

위치	시기	'10.01.16	'10.02.14	'10.03.16	'10.04.16	'10.05.17	'10.06.18	비고(감소율)
3+560~ 3+700	흑색(사면상부)	960	795	605	352	98	시험불가	⑦/-
	흑색(사면내)	952	907	867	802	632	474	⑧/50.2
	흑색(사면선단)	1020	981	950	929	892	855	⑨/16.2

### 2) 일축압축강도 (3공구)

- 사암(sandstone, 담갈색)

위치	'09.07.24	-	'09.09.03	-	'09.11.26	비고(감소율)
R-A 0+240	1017.9	-	901.3	-	874.4	⑩/14.0
3+440	1023.7	-	887.1	-	784.9	⑪/23.3
4+000	904.1	-	771.3	-	707.6	⑫/21.7

고속도로 시공중 퇴적암(shale, sandstone) 구간에서 지질특성 분석

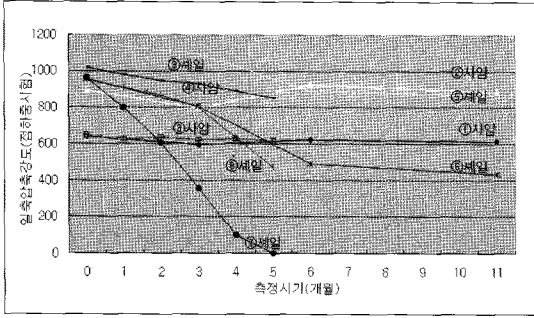


사진 1. 5공구-일축압축강도 시험결과(사암, 셰일)

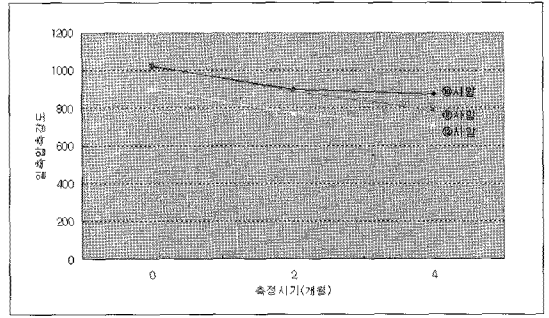


사진 2. 3공구-일축압축강도 시험결과(사암)

3) 슬래킹 시험

- 3공구 사암

Slake Durability Test					
위 치	초기 건조중량 (g)	1사이클 후 건조중량 (g)	2사이클 후 건조중량 (g)	Slake Durability index I <sub>sl1</sub> (%)	Slake Durability index I <sub>sl2</sub> (%)
3+440	421.6	395.1	382.9	93.7	90.8

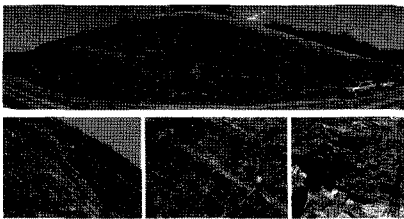
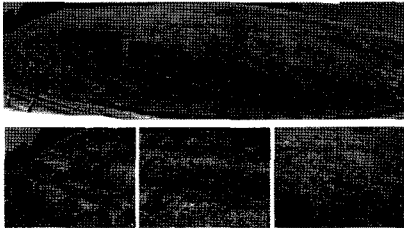
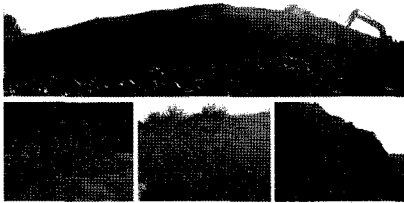
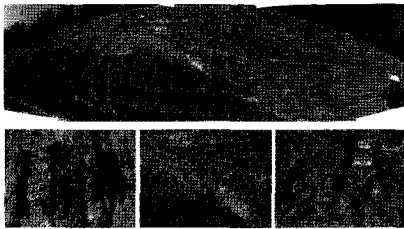

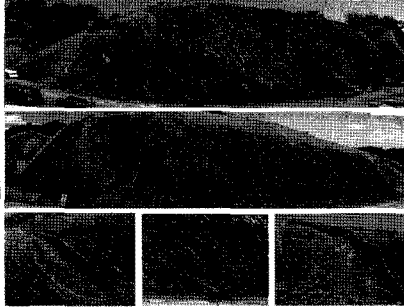
- 5공구 셰일

Slake Durability Test					
위 치	초기 건조중량	1사이클 후 건조중량	2사이클 후 건조중량	Slake Durability index I <sub>sl1</sub> (%)	Slake Durability index I <sub>sl2</sub> (%)
3+640(상부)	485.9	455.8	442.7	93.8	91.1
3+640(하부)	497.5	479.3	461.7	96.3	92.8

3. 지질특성

가. 공구별 세부 지질특성 및 보강공법 요약

공구	위치	전경 및 상세사진	지질특성 및 보강공법
5	STA 1+000~1+280 (공양)		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사암과 셰일 호층 사면이며, 단층과 습곡(항사)의 지질구조를 보임</li> <li>• 절취 작업 중 절취면 소단부와 상단부에서 다수의 인장균열 및 소규모의 탈락현상이 발생함</li> <li>• 사면보강 : 경사원화 1:1.7</li> <li>- 단층면은 앵커 추가 보강</li> </ul>

공구	위치	전경 및 상세사진	지질특성 및 보강공법
5	STA.1+020~1+260 (전주)		<ul style="list-style-type: none"> <li>퇴적암 지대로 층리면이 매우 발달되어 있으며, 사면방향과 반대방향으로 발달하고 있으나, 단층이 사면방향으로 발달하고 단층면이 매우 불량하여 붕괴 가능성이 있음.</li> <li>사면보강 : Nailing</li> <li>- 간격 : 1.5x1.5m, 길이 : 6.0m(7단)</li> </ul>
5	STA.1+500~1+640 (전주)		<ul style="list-style-type: none"> <li>퇴적암 지대로 층리면이 매우 발달되어 있으며, 층리면이 사면방향과 비슷하게 발달하고 점토가 충전되어 있어, 붕괴 가능성이 있음.</li> <li>사면보강 : Nailing</li> <li>- 간격 : 1.5 x 1.5m</li> <li>- 길이 : 6~8m(4단)</li> </ul>
5	STA.2+120~2+260 (광양)		<ul style="list-style-type: none"> <li>퇴적암 사면으로 암질이 매우 불량하고 층리면이 발달하며, 층리면의 방향이 사면방향과 비슷한 방향으로 발달함</li> <li>블록형태의 붕괴가 많이 발생하고 있음.</li> <li>사면보강 : 경사완화</li> <li>- 발파암 : 1:0.5 → 1:1.0</li> </ul>
5	STA.2+440~2+600 (전주)		<ul style="list-style-type: none"> <li>퇴적암 사면으로 암질이 매우 불량하고 층리면이 발달하며, 층리면의 방향이 사면방향과 비슷하나, 층리의 경사가 매우 완만하게 발달되어 있는 상태임.</li> <li>빼기양상의 파괴 가능성 있음.</li> <li>사면보강 : 경사완화</li> <li>- 발파암 : 1:0.5 → 1:1.0</li> </ul>
5	STA.3+100~3+200 (전주)		<ul style="list-style-type: none"> <li>기반암은 퇴적암(세일 및 사암)으로 차별풍화에 의한 표면 풍화가 많이 진행된 상태이며 습곡형태의 절리가 발달함.</li> <li>층상 및 판상의 절리가 발달, 차별풍화에 의한 토사화 구간 분포</li> <li>사면보강 : Nailing</li> <li>- 간격 : 1.5x1.5m, 길이 : 6~8m(5단)</li> </ul>
5	STA.3+520~3+760 (전주)		<ul style="list-style-type: none"> <li>기반암은 퇴적암(세일 및 사암)으로 차별풍화, 층상 및 판상의 절리가 발달함</li> <li>STA.3+730~750구간에서 중규모 붕괴발생 및 국부적 빼기 및 평면파괴, 암편탈락이 다수 발생함</li> <li>사면보강 : FRP 보강</li> <li>- 간격 : 2.5V x 2.0H, 2.5Hm</li> <li>- 길이 : 6.0m(5~6단)</li> <li>- 붕괴구간 : 계단식옹벽 +앵커</li> </ul>

고속도로 시공중 퇴적암(shale, sandstone) 구간에서 지질특성 분석

공구	위치	전경 및 상세사진	지질특성 및 보강공법
5	STA.3+820~4+020 (전주)		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기반암은 퇴적암(셰일 및 사암)이며 화산암류(안산암 및 유문암)가 관입상으로 분포함.</li> <li>• STA. 3+980 상부 암반층에서 평면파괴 및 썩기파괴가 발생함</li> <li>• 사면보강 : FRP 보강(퇴적암 구간)                         <ul style="list-style-type: none"> <li>- 간격 : 2.0V x 2.5Hm</li> <li>- 길이 : 6.0~8.0m(7~13단)</li> </ul> </li> </ul>
5	STA.5+700~6+180 (광양) 관촌휴게소		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 퇴적암 지대로 층리면이 매우 발달되어 있고, 사면방향과 반대방향으로 발달하고 있으나, 단층이 사면방향으로 발달하고 단층면이 매우 불량하여 붕괴 가능성이 있음.</li> <li>• 사면보강 : Nailing                         <ul style="list-style-type: none"> <li>- 간격 : 1.5 x 1.5m</li> <li>- 길이 : 4~8m(7단)</li> </ul> </li> </ul>
5	STA.6+040~6+180 (전주) 관촌휴게소		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 퇴적암 사면(사암 및 셰일)으로 부분적으로 탄질셰일이 분포함</li> <li>• 사면 절토 작업 중 STA.6+100 구간에 균열, 썩기 및 원호파괴가 발생함</li> <li>• 사면보강                         <ul style="list-style-type: none"> <li>- 경사완화 1:1.6</li> <li>- 붕괴구간 : 네일+앵커(계단식 옹벽)</li> <li>· 네일 : 1.5x1.5m, 12m(2단) · 앵커 : 3.0Vx2.5Hm, 10~15m(5단)</li> </ul> </li> </ul>
5	STA.6+780~4공구 0+040(전주)		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 셰일과 사암이 혼재하나 사암은 사면 중간부에 약2m 두께로 협재되어 있고 셰일이 주종을 이루고 있음.</li> <li>• 층리면 점토질 충전, 심한 풍화상태이며, 사암층 하부 일부구간에서 평면파괴가 발생한 상태임</li> <li>• 사면보강 : Nailing                         <ul style="list-style-type: none"> <li>- 간격 : 1.5V x 1.8Hm</li> <li>- 길이 : 8.0m(4단)</li> </ul> </li> </ul>

4. 분석

가. 퇴적암 강도특성

1) 점하중 시험

- 5공구 셰일(표면, 내부)과 사암(회색, 진회색)을 위치별, 사면부위별, 색상별 시험함
- 시간 경과에 따른 점하중 시험의 재시험 결과, 자연 상태로 노출되어 풍화될수록 흑색셰일에서의 강도 손실이 특히 큰 것으로 나타남. 따라서, 흑색셰일(표층채취) > 흑색셰일(내부채취) > 진회색사암 > 회색사암 순으로 강도 손실이 큰 것으로 나타남.

- 노출된 흑색셰일은 시간경과에 따라 50% 이상의 강도손실을 보이며, 사면내부 흑색셰일은 15~25% 강도손실을 보임.
- 사암은 강도손실이 5% 내외로 시간경과에 따른 강도변화가 적음
- 12개월간 자연 상태로 노출시킨 후 점하중 시험을 시행한 결과 6개월 경과시 시험한 결과와 비교하여 대체적으로 강도가 감소하였으나 근소한 차이를 보이고 있으며 암시편의 형상 또한 6개월 경과시와 비교하여 거의 변화가 없음.
- 따라서 흑색셰일은 시료가 자연 상태에 노출되었을 때 초기(6개월 미만)에 급격하게 풍화가 진행되며 시

간이 경과함에 따라 점차 그 정도가 감소하는 것으로 판단할 수 있음.

### 2) 압축강도 시험

- 3공구 위치별(3+440, 4+000, R-A) 사암을 시험함
- 사암의 초기강도는 5공구보다 상대적으로 다소 큰 1000kgf/cm<sup>2</sup> 내외이며, 4개월 후 강도감소율은 15~25%로 크게 나타남

### 3) 슬래킹 시험

- 3공구 사암은(3+440) 슬래킹지수(I<sub>sl</sub>) 90.8%로 내구성이 우수한 것으로 나타남
- 5공구 셰일은(3+640) 상부 채취시료는 슬래킹지수(I<sub>sl</sub>) 91.1%, 하부 채취시료는 슬래킹지수(I<sub>sl</sub>) 92.8%로 모두 내구성이 우수한 것으로 나타남
- 암노출 후 시간경과 없이 시편 채취하여 시험한 슬래킹 시험 결과는 모두 내구성이 양호한 것으로 나타남

## 나. 퇴적암 지질특성

### 1) 공통 지질특성

- 단층 발달부는 대체로 점토 충전물 분포하며 점성은 큰 편임
- 셰일 층리간격은 대체로 조밀하나 사암 층리간격은 대체로 느슨하며 사암 층리 사이는 국부적으로 공극

분포함

- 흑색셰일의 경우 건설에 의한 풍화진행 속도가 매우 빠르며, 노출사면의 경우 6개월 이상 경과시 강도저하(부분적으로 손가락으로 눌렀을 시 바스러지는 상태) 매우 큼

### 2) 공구별 지질특성

표 3과 같다.

### 3) 공구별 보강특성

표 4와 같다.

## 5. 결론

### 가. 강도특성

- 1) 퇴적암 중 사암은 점하중 및 암석강도 시험결과 시간 경과에 따른 강도변화는 암색상에 따라 차이가 있으며(5공구 회색사암 1~4%, 3공구 담갈색사암 14~23%), slaking 시험결과 I<sub>sl</sub>(슬래킹지수) 90.8%로 비교적 내구성이 양호함.
- 2) 셰일의 경우 점하중 및 암석강도 시험결과 분포 위치에 따라 강도변화 차이(표층부에 위치한 셰일에 한하여 급격한 강도손실이 발생하는 것으로 판단)가 있으며, 시간

표 3. 공구별 지질특성

구분	3공구	4공구	5공구
개요	- 총연장 : 4.01km - 교량 : 9개소, 1,281m - 터널 : 4개소, 1,586m	- 총연장 : 4.87 km - 교량 : 1개소, 210m - 터널 : 5개소, 3,613m	- 총연장 : 6.90 km - 교량 : 6개소, 1,355m - 터널 : 2개소, 893m
지층구성	- 기반암은 퇴적암 - 사암과 셰일의 호층, 사암, 응회질사암으로 구성	- 응회암, 응회질사암, 혈암(셰일)등 이 호층 이룸	- 주요 기반암은 퇴적암 - 단층경계부는 화강암과 접촉
지질특성	- 담갈색사암이 기반암 - 부분적으로 사암과 셰일이 교호 - 전체적으로 층리 및 수직 절리 발달	- 담갈색사암이 기반암 - 부분적으로 사암과 셰일이 교호 - 전체적으로 층리 및 수직 절리 발달	- 흑색셰일이 기반암 - 셰일과 사암 교호 - 전체적으로 층리 발달하며 국부적으로 수직절리 발달 - 노선 중앙부 화성암 분포(유문암, 안산암)



표 4. 공구별 보강특성

구분	3공구	4공구	5공구
보강공법	- 경사완화 1개소 - 앵커 3개소 - 네일링 3개소	- 앵커 1개소 - 네일링 3개소 - FRP 1개소	- 경사완화 4개소 - 앵커 2개소 - 네일링 5개소 - FRP 2개소
보호공법	- 식생공 3개소 - 쇼크리트 2개소	- 식생공 6개소	- 식생공 11개소
원설계	- 네일링 1개소 - 식생공 3개소	- 경사완화 5개소	- 경사완화 2개소
특성	- 보강공법은 대규모 붕괴 및 균열발생시 경사완화로 최종 검토하였으며, 무한사면, 편측터널 등 특수한 경우는 앵커공법 적용함. 그리고 파괴, 활동규모 및 지질특성에 따라 네일링, FRP, 앵커공 적용함. - 보호공법은 앵커공 구간 외에는 풍화방지 위해 식생취부공 적용함 - 원설계 발파암부는 평사투영 검토 후 일부 구간만 록볼트 처리함. 대체로 보강공 적용이 미흡하며, 보호공법 적용도 퇴적암 지질특성 반영하지 못함		

경과에 따른 강도변화도 크게(5공구 흑색셰일의 분포 위치에 따라 내부는 5~25%, 노출면 50% 이상) 나타남.

- 3) 또한 셰일의 slaking 시험결과와  $I_{d2}$ (슬래킹지수) 91.1%, 92.8%로 내구성이 양호하게 나타나나 이는 시간경과 없이 수침상태에서 시험한 결과이며, 실제 현장조건은 노출된 셰일의 경우 시간경과에 따른 건습의 반복으로 내구성이 크게 저하되므로, 암종에 따라 slaking 시험 적용성을 구분하여야 함.
- 4) 셰일의 경우 콘크리트용 골재, 혼합석용 골재 등 골재로 사용시 반드시 관련 골재시험을 실시하여 사용 적부를 판단해야 함.(5공구 퇴적암을 도로교통연구원에 기술자문을 의뢰한 결과 셰일의 경우는 도로교통연구원 기술자문 결과 콘크리트용 골재로 부적합 판정을 받아 현재 혼합골재로 사용함. 절토부 표층의 셰일을 제외하 나머지 시료들에 대한 시험 결과는 장기간 풍화가 진행되어도 연암 등급 이상의 강도를 유지하고 있는 것으로 나타남.)

#### 나. 지질특성

- 1) 퇴적암 특성상 대부분 층리가 발달하고 있으며, 수직 절리 발달시 불력화하여 탈락 발생함.
- 2) 특히 셰일의 경우 풍화진행속도가 매우 빨라 사암과

셰일이 교호시 차별풍화 나타나고 있으며 이로 인해 파괴, 탈락 가능성 큼.

- 3) 퇴적암 경우 발달한 단층면 사이 점토 충전물이 분포하며 점성 또한 매우 커서 우수 및 유수 유입으로 인하여 파괴, 탈락 나타남.
- 4) 사암의 경우는 셰일에 비해 풍화에 다소 강하지만 발달한 층리 및 수직절리와 점토성분의 충전물로 인해 우수, 유수 등과 접촉시 파괴, 탈락 현상 나타남.
- 5) 층리가 발달한 퇴적암의 경우 층리면이 조밀하고 거친 경우에도 사면안정검토를 수행해야 하며, 안정검토시 지반 물성치 등을 다소 보수적으로 적용해야 함. 또한 사면안전을 저하 방지를 위하여 식생공 등 사면보호공법을 필히 적용 검토해야 함.

#### 참 고 문 헌

1. 지반조사 결과의 해석 및 이용, 한국지반공학회, 2005. 8, p529~6252. 토목기술자를 위한 암반역학, 정형식, 2005. 3, p13~2053. 구조물 기초 설계기준 해설, 국토해양부, 2009. 3, p110~1204. 지반기술자를 위한 지질 및 암반공학, 한국지반공학회, 2009. 3, p259~4205. 건설공사 비탈면 설계기준, 국토해양부, 2009. 12, p62~86