번호			NATM 터널 막장면 붕괴 원인과 방지대책
2			제139회 제4교시 5번, 학습용 답안 예시
			1. 개요
			· NATM은 굴착 직후 숏크리트·록볼트·강지보로 원지반 아칭을 활용하는
			공법이며, 지보 설치 전 막장면과 무지보 구간이 가장 취약함
			· 막장면 붕괴는 지질 불량에 지하수가 겹치고 시공·관리 결함이 더해질 때
			발생하므로 원인을 3가지로 구분하고 원인별 대책을 대응시켜야 함
			2. 막장면 붕괴 형태
			· 천단 낙반(크라운 붕락): 절리·파쇄대 쐐기 블록의 낙하
			· 막장 전면 유동: 토사·풍화 지반이 용수와 함께 막장 밖으로 밀려 나옴
			· 토사 유출·공동 발생: 세립분 유출로 지보 배면 공동 형성 후 지표 침하로
			확대
			3. 지질학적 원인
			· 단층·파쇄대 및 절리 밀집 구간의 낮은 자립성
			· 불리한 절리 방향(터널 축과 평행, 천단부 쐐기 형성)
			· 풍화대·저토피 구간의 아칭 효과 부족
			· 점토 충전 절리, 팽창성 암반, 암반과 토사의 혼재 구간
			4. 수문학적 원인
			· 높은 지하수위·피압수에 따른 침투력 증가와 유효응력 감소
			· 용수와 함께 세립분 유출(파이핑), 지보 배면 공동 형성
			· 강우 시 지표수 유입으로 함수비 증가와 지반 연화

번호			· 배수 처리 미흡에 따른 숏크리트 부착 불량
2			5. 시공 및 관리적 원인
			· 1회 굴진장 과다, 굴착 후 숏크리트·록볼트 설치 지연
			· 과발파·과굴착에 따른 여굴과 이완 영역 확대
			· 지반 등급 변화에도 기존 지보패턴 유지, 보조공법 미적용
			· 선진조사·막장 관찰·일상계측 미실시 또는 분석 지연
			· 보조공법(그라우팅)의 시험시공 없는 적용과 주입압 관리 미흡
			· 균열·용수 증가 등 이상징후 발생 후 작업 지속
			6. 지질학적 원인 대책
			· 사전조사(기준규칙 제38조·별표 4) 시 보링 등으로 지질·지층 상태 확인
			· 선진수평보링·탄성파 탐사 등 선진조사로 단층·파쇄대 위치 사전 파악
			· 막장 관찰 결과로 지반 등급 재평가 후 지보패턴 즉시 변경
			· 천단 보강(포어폴링, 강관다단그라우팅)과 막장 보강(막장
			숏크리트·록볼트, 지지코어) 적용
			7. 수문학적 원인 대책
			· 선진보링으로 용수량·수압 확인 후 수평 배수공으로 막장 전방 수압 저감
			· 웰포인트·딥웰 배수 또는 차수 그라우팅으로 유입량 억제
			· 그라우팅은 시험시공으로 주입압·주입량 결정, 주변 구조물 영향 검토
			· 용수 탁도·유출량 상시 확인, 토사 유출 시 막장 실링 숏크리트 즉시 타설
			8. 시공 및 관리적 원인 대책
			· 지반 등급에 맞는 굴진장 단축과 분할굴착(벤치컷·중벽분할) 적용

번호			· 굴착 직후 숏크리트 적기 타설과 록볼트 설치(제351조), 강지보는
2			조립도에 따라 조립(제363조·제364조)
			· 제어발파로 여굴·이완 최소화, 굴착 후 부석 제거(제351조)
			· 막장 관찰·내공변위·천단침하·지표침하 일상계측과 관리기준 초과 시
			단계별 대응
			· 터널 지보공 손상·변형·긴압·기둥침하 수시 점검 후 즉시 보강(제366조)
			9. 이상징후 대응 체계
			· 징후: 부석 낙하 증가, 숏크리트 균열, 용수·탁수 급증, 변위 속도 증가
			· 낙반·출수의 급박한 위험 시 즉시 작업중지와 근로자 대피, 비상벨 등
			통신설비 설치(제360조)
			· 원인 분석 전 추가 굴착·반복 그라우팅 금지, 감리·설계자 협의 후 보강
			방안 확정
			· 보강 완료 후 계측 수렴 확인을 거쳐 작업 재개
			10. 결론
			· 막장면 붕괴는 지질·지하수 조건을 사전에 모두 알 수 없다는 점에서 굴착
			중 관찰·계측으로 설계를 수정하는 관리가 핵심임
			· 원인별 대책과 함께 이상징후 시 작업중지 기준을 작업계획서에 명시하고
			전원에게 주지해야 함
			※ 공식 정답·채점기준이 아닌 학습용 예시임