

터널시공중 화상처리 시스템에 의한 암반평가 기법에 관한 연구

김 영근*¹, 김 용일*², 김 태영*², 장정범*²

*1 : (주) 대우 건설기술연구소, 선임연구원, 공학박사

*2 : (주) 대우 건설기술연구소, 주임연구원

1. 서 론

터널굴착중 막장조사관찰은 막장의 안전성, 암질판정, 풍화 및 변질정도, 용수상태, 절리의 특성을 파악함으로써 시공의 합리성을 달성할 수 있는 매우 중요한 조사항목이다. 그러나 이러한 작업은 시공상 시간적제약을 받고, 조사자의 경험과 지식의 부족으로 암반에 대한 공학적 평가가 부족한 실정이다. 이러한 문제점을 극복하고, 지반조건변화에 능동적으로 대응한 터널시공을 위해서는 정확한 암반평가가 필수적이라 할 수 있다.

본 연구의 목적은 화상처리시스템을 개발하고 터널시공중 이를 적용하여 체계적으로 암반을 평가함으로써 터널의 합리화시공을 달성하고자 하는 것이다.

본 연구에서는 화상처리시스템에 의한 암반불연속면 및 암종분석, 시공중 정량적인 암반 분류, GeoCAD에 의한 지반구조의 3차원 모델링에 대하여 기술하고자 한다.

2. 화상처리 시스템의 개요 및 구성

화상처리 시스템의 개요는 Fig. 1에 나타난 바와 같다. 본 시스템은 터널막장을 사진기를 이용하여 촬영하고 이를 스캐너(Scanner)로 컴퓨터에 입력하며, 이의 화상처리(Image processing)를 통하여 불연속면 및 암종을 구분하고 막장관찰도를 작성한다. 그리고 막장조사 관찰결과를 바탕으로 암반을 분류하고 보다 정량적이고 체계적으로 암반을 평가하는 시스템이다. 이와같은 터널막장의 암반평가를 통하여 터널주변 지반구조의 모델화, 막장전방 지질의 예측이 가능하고, 적합한 지보를 선택할 수 있어 시공관리가 가능하리라 판단된다.

본 시스템의 구성은 Fig.2 에 나타나 있다. 터널현장에서 일정한 빈도로 측정된 화상데이터를 모뎀과 전화선을 통하여 연구소로 전송하고, 수집된 데이터는 화상처리·분석되어 암반을 평가함으로써 설계시의 암반분류와 비교검토하여 설계와 다르게 암반이 평가되면, 설계 변경대책을 수립하고 그 결과를 모뎀을 통하여 터널현장에 직법 전송, Feed Back 함으로써 합리적이고 안전하게 터널을 시공할 수 있는 시스템이다.

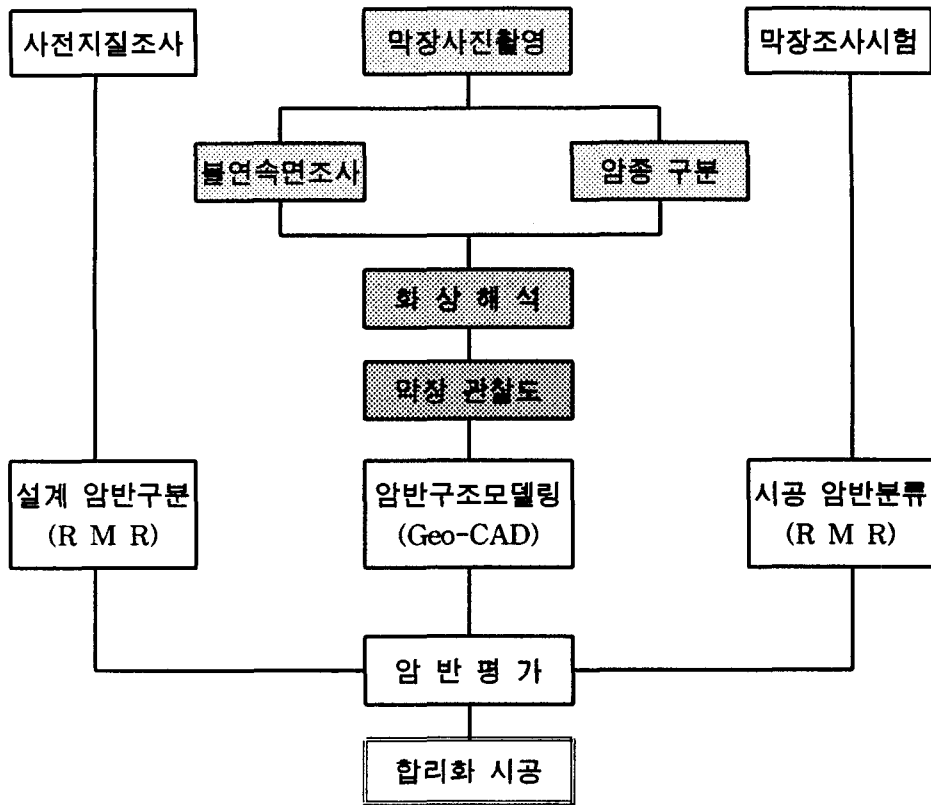


Fig. 1 화상처리 시스템의 개요

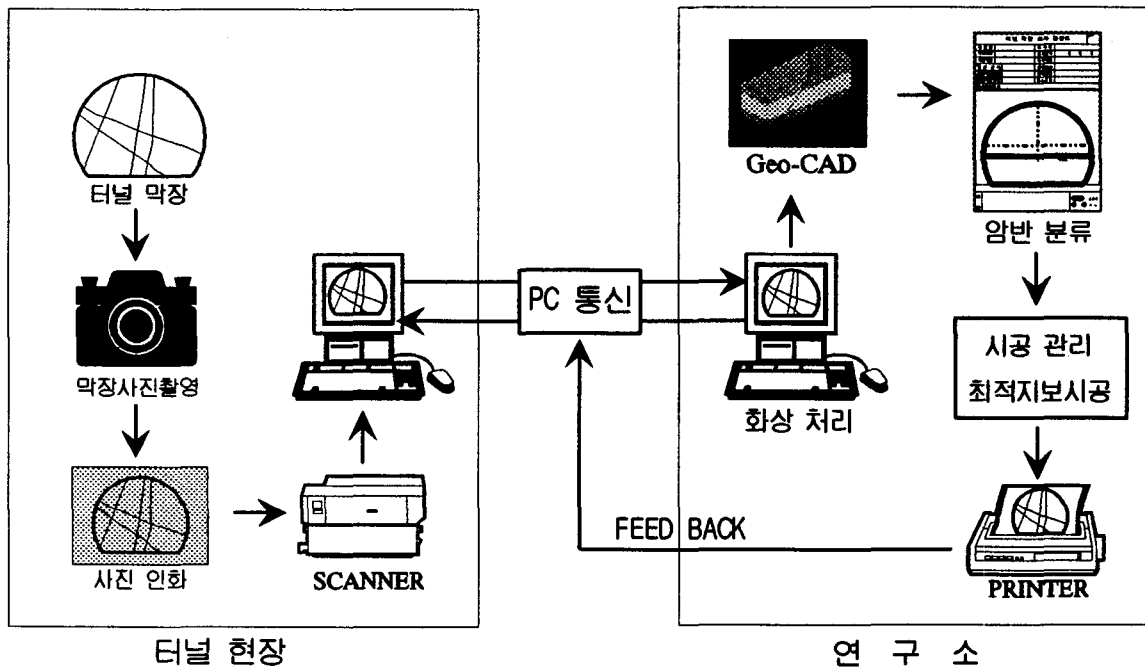


Fig. 2 화상처리 시스템 구성도

3. 터널막장 화상처리기법

터널막장 화상처리기법은 먼저 막장면을 사진촬영하여 이를 입력하고, 화상처리 S/W에서 불연속면 및 암층을 분석하여 객관적인 막장관찰도를 작성함으로써 보다 정확하고 체계적으로 암반을 평가하는 것이다.

3.1 터널막장 사진촬영

터널은 지하구조물이므로 사진촬영에 필요한 빛이 상대적으로 부족하다. 따라서 적절한 광원을 인위적으로 제공해야 한다. 특히 대단면 터널에서는 여러개의 라이트가 필요하므로 점보드릴의 불빛을 이용하는 것이 좋으며 가능한 많은 광원을 확보해 사진의 질을 높여야만 한다. 그리고 터널막장을 한장의 사진에 찍는 것이 좋으나 거리가 멀어지게 되면, 사진의 질이 떨어지므로 대단면 터널의 경우 여러개로 분할촬영해야한다. 이 때 촬영각도 및 거리에 의한 오차를 최소화하도록 주의를 해야한다. 촬영후 사진을 현상하여 스캐너에 입력한다.

3.2 불연속면 및 암층분석

스캐너를 통해 입력된 터널막장사진은 화상처리용 S/W에서 RGB 칼라의 각성분으로 나뉘고, 256단계의 농도차에 의해 변환이 이루어진다. 이 때 화상의 농도차, 색 연속성에 의하여 주요 불연속면을 분석한다. Fig. 3은 화상처리에 의한 불연속면 분석결과의 한예이다. 그림에서 보는바와 같이 좌측에 풍화변질된 절리가 3개 보이고, 중앙에는 변성도가 심한 지역이 나타나며 우측에는 흑녹색 편마암의 관입이 뚜렷하게 보임을 알 수 있다.

또한 터널막장사진으로 부터 화상처리용 S/W를 이용하여 암층 및 풍화정도를 구분할 수 있다. 층리면과 풍화지역은 불연속면에 비해서 농도차가 뚜렷하게 나타나기 때문에 색상의 차이를 이용하여 해석한다. Fig. 4는 화상처리에 의한 암층 분석결과의 한예이다. 그림에서 보는바와 같이 좌측에 편암질 Gneiss, 중앙에는 띠모양의 Gneiss 가 보이는데 좌측의 경우 풍화가 심한 것을 구별할 수 있다. 우측하부에는 Graphite Schist가 보인다.

이와같이 막장의 화상처리가 불연속면을 분석하고 암층과 풍화정도를 구별하는데 유효한 수단임을 알 수 있다.

3.3 암반평가

불연속면과 암층 및 풍화정도 분석을 통하여 막장관찰도를 작성한다. 관찰도에는 암종이나 암석의 특징, 불연속면의 방향, 불연속면의 상태, 용수상황특징등을 기록하여 암반을 평가한다. 또한 미굴착부의 지질상태를 추정하기 위해 GeoCAD의 입력자료로 활용된다.

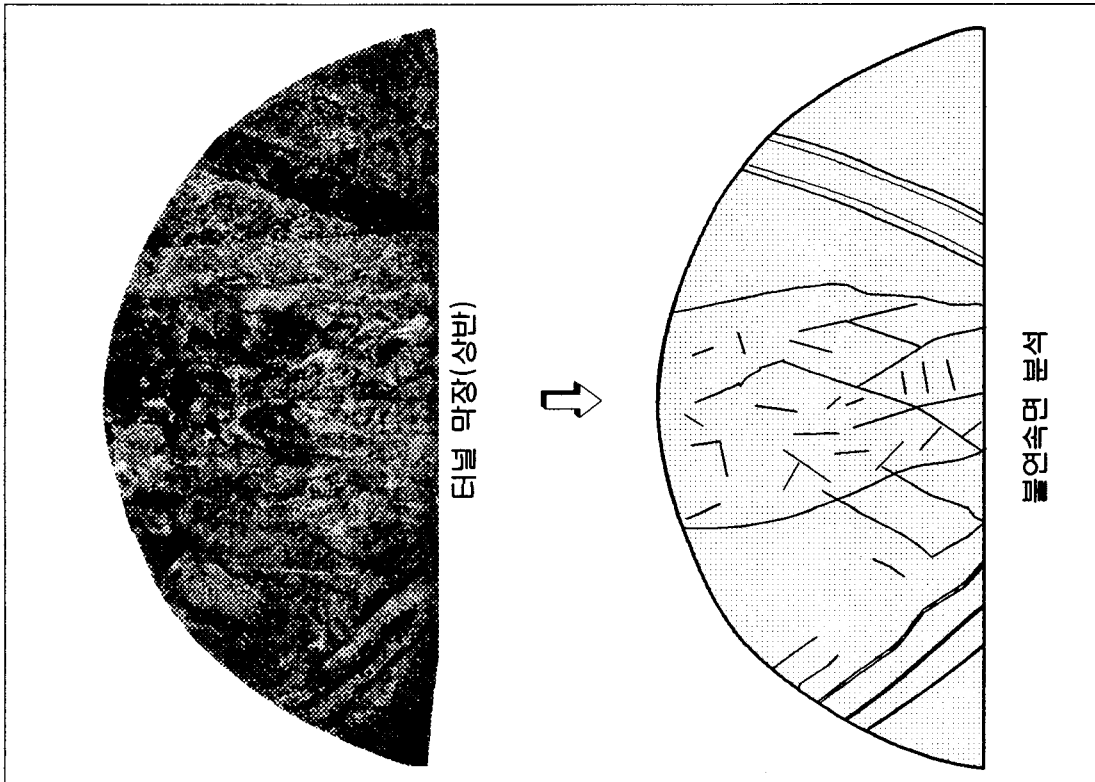


Fig. 3 화상치리에 의한 불연속면 분석결과

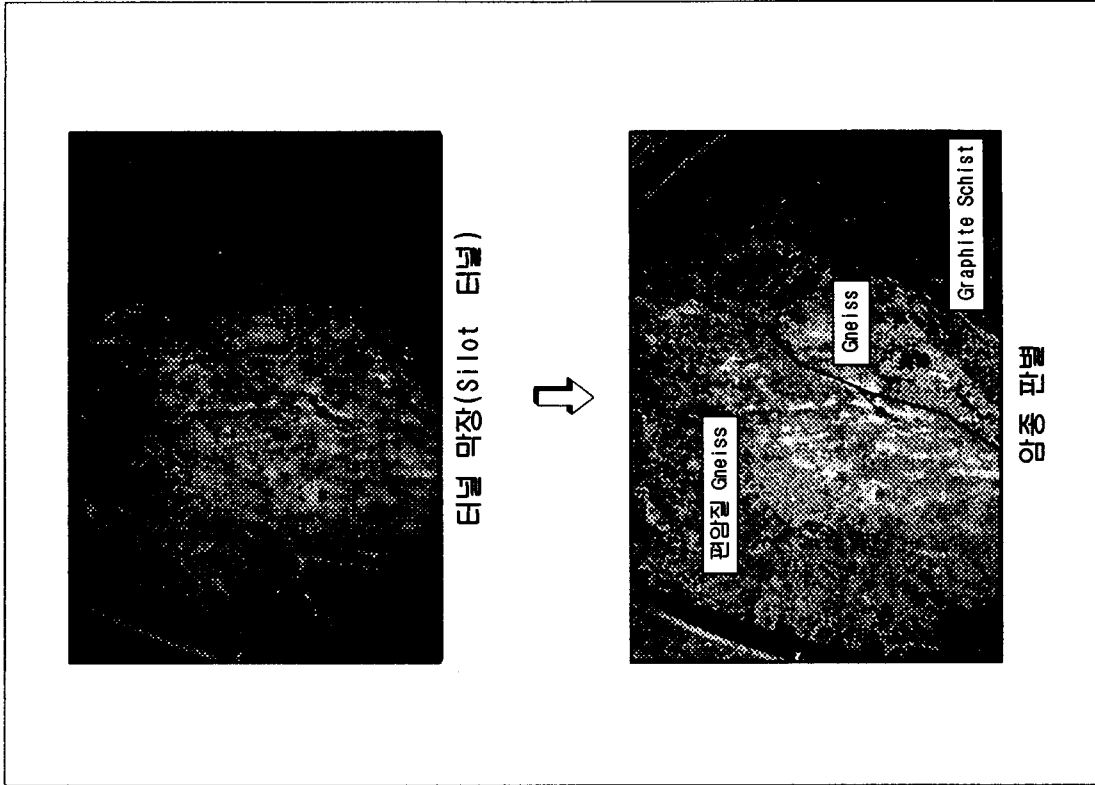


Fig. 4 화상치리에 의한 암중판별 해석결과

4. Geo-CAD에 의한 터널주변 지반구조 분석

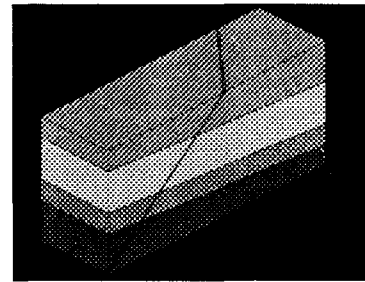
Geo-CAD 는 Auto-CAD 환경에서 AutoLisp 언어를 사용하여 개발된 3차원 그래픽 프로그램으로서 지질구조, 지반의 횡 종단면 구조, 터널굴착과정, 지보 패턴 등을 모델링할 수 있으며, 또한 설계와 시공시 나타나는 모든 지질정보 및 시공정보를 입력하여 터널공사에 필요한 정보를 제공하고 보여주는 종합적인 터널 정보시스템이다.

Geo-CAD 는 7개의 부프로그램으로 구성되어 있으며(표 1), Fig.5 에 나타난 바와 같이 3단계로 모델링 한다.

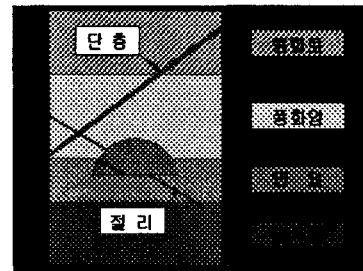
- ① 단계 : 각종지질조사, 보어링조사 등의 자료에 의하여 터널주변의 지층, 단층, 파쇄대 등의 지질구조를 3차원적으로 구현하여 지반구조를 모델링한다.
- ② 단계 : 터널 시공중 막장 화상처리를 통한 불연속면 분석결과를 이용하여 시공중인 터널주변 지반구조를 모델링한다.
- ③ 단계 : 암반평가에 의하여 최적지보패턴을 선정하고, 굴착상황, 지보패턴, 계측에 관한 모든 정보를 입력하여 모델링한다.

표 1. Geo-CAD의 구성

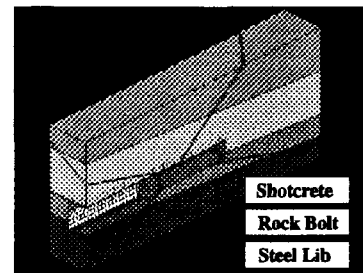
PROGRAM	내 용
1. G-Str	원지반의 지질구조 (지층, 단층, 파쇄대 등)
2. G-Exc	터널 굴착(상반, 하반)
3. G-Dis	불연속면(주절리 방향)
4. G-Cut	지반의 횡·종단면
5. G-SC	Shotcrete 타설과정
6. G-SR	Steel Rib 설치과정
7. G-RB	Rock Bolt 설치과정



(a)지질구조 모델링



(b)터널주변 및 막장모델링



(c)터널 굴착 모델링

Fig. 5 모델링 결과

5. 터널시공중 암반분류·평가

막장관찰은 지질성상의 파악, 지보효과의 확인 및 지보결정의 자료로 하기 위해 실시하는 것이며, 중요한 것은 어떤 요인에 의해 터널 주변암반의 거동의 특성이 나타나는지를 규명하는 것이다. 또한 관찰을 실시할 때, 데이터는 가능한한 정확하고 객관성이 있어야 한다.

시공중에 암반을 평가할 때는 관찰요소 마다 점수를 주고(Rating), 이의 합이나 계산에 의해 암반을 정량적으로 분류하는(Grouping) 방법을 이용한다. 이들 기법으로는 Q-시스템, RMR 분류법 등이 있다. 본 연구에서는 RMR분류법을 적용하였다. 이 방법은 암반을 6가지 요소, 즉 암석의 단축압축강도, RQD, 불연속면의 상태와 간격, 지하수 상태, 불연속면의 방향에 의해 암반을 분류하는 것이다.

본연구에서는 암반의 강도를 측정하기 위해서 Schmidt Hammer 시험을 실시하였다. 이 방법은 암반에 대한 반발계수로 암반의 강도를 측정하는방법으로 막장암반에 수직방향으로 타격하였으며 Muller에 의해 의해 얻어진 단축압축강도 환산표에 의해 암반의 강도를 계산하였다. 또한 막장에서 Clinometer를 이용하여 불연속면의 주향, 경사를 측정하여 불연속면 해석프로그램을 이용하여 주절리군을 분석하였다. 불연속면의 간격을 측정하기 위해서 스테프와 줄자를 이용한 조사선방법(Scanline Sampling)을 적용하고 막장 사진을 활용하였다. 측정은 연직방향과 수평방향에서 실시하였다. 그리고 막장에서의 RQD는 구할 수 없으므로 불연속면의 간격과 RQD와의 상관관계를 나타낸 Chart로 부터 최대 및 평균RQD값을 추정하였다.

측정치로부터의 RMR계산은 일반적인 도표(RMR)와 급격한 점수의 변화를 보정할 수 있는 Bieniawski가 제안한 Chart를 이용(RMR*)하여 그 값을 서로 비교하였다.

표 2. 터널시공중 암반분류·평가 예 (경부고속철도 운주터널)

분류 요소	측정값		평균값	RMR	RMR*	암반평가 II 양호한 암반 (Good)
암 반 강 도	반발계수	55,58,54,60,48,50,47,58 (53.8)	1430	12	12.3	
절 리 간 격	수평방향(cm)	135,42,99,104,47,16,26,109,26,78,114, 47,52,73,78,16,156,161	77	15	11.7	
	연직방향(cm)	54,60,36,48,90,48,48,78,18,30,54,36	46			
RQD (추정)	수평방향(cm)	최대: 69 평균 : 36	최대:52 평균:23	13 (8)	10.5 (5.7)	
	연직방향(cm)	최대: 35 평균 : 10				
절 리 상 태	약간거침, 틈새 <1mm, 약간풍화			25	25	
지하수 상태	습 운(damp)			10	10	
절 리 방 향	주향 : N 30°W , 경사:40° 양 호(favorable)			-5	-5	
터 널 방 향 : N 56° W 암종 : 편마암				70(65)	65(60)	

6. 결론

본 연구에서는 터널막장의 화상처리를 통하여 불연속면 및 암종을 구분하고 이를 바탕으로 정량적인 암반평가를 시도하였으며, GeoCAD를 이용하여 터널주변의 지반구조를 3차원적으로 구현하였다. 본 시스템은 (주)대우/건설에서 시공중인 경부고속철도 운주터널에 시험적용을 통하여 현장적용성을 검토하였다.

이상의 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 화상처리방법은 터널막장에서의 불연속면 및 암종 분석에 유용한 방법이었으며, 이를 통해서 보다 객관적으로 암반을 평가하였다.
- 2) 터널막장의 불연속면 조사에서 조사선방법이 적용됨으로써, 보다 정량적인 암반분류가 가능하리라 판단된다.
- 3) 개발된 GeoCAD를 이용하여, 경부고속철도 운주터널을 모델링하여 터널주변 지반구조를 분석하였으며, 터널주변 및 전방지질구조 예측이 가능하리라 판단된다.
- 4) 터널현장과 연구소와의 On-Line 시스템에 의하여 각종 데이터를 전송받는 즉시 분석 처리하여, 시공에 반영하는 Feed Back 정보화 시공시스템의 구축을 통하여 터널의 합리화 및 안전시공이 가능하리라 판단된다.

참고 문헌

1. Bienawski, Z.T., *Engineering Rock Mass Classifications*, pp.51~72, 1989
2. Priest, S.D., *Discontinuity Analysis for Rock Engineering*, pp.25~149, 1993
3. 吉中龍之進, 櫻井 春輔, 菊之 宏吉, 岩盤分類とその適用, pp.62~89, 1989
4. 村田 均, 岩井孝幸, 川越 健, 御手洗良夫, “畫像解析による岩盤評價 システムの研究”, 第25回 岩盤力學に関するシンポジウム 講演論文集, pp.1~ 5, 1993
5. McClay, K.R., *The Mapping of Geological Structures*, pp.1~44, 1987
6. (주) 대우 건설기술연구소, 지하철 5-45공구 지하굴착공사 종합계측보고서(곡선부터널), 1994
7. 한국고속철도건설공단, 서울-부산간 경부고속철도 제4공구 실시설계 기타 지질조사 보고서(I), 1992