

터널발파 패턴설계 자동화 프로그램의 개발에 관한 연구

김광엽¹⁾ · 최영민²⁾ · 이정민³⁾

The Study on the Development of Automated Program for Tunnel Blasting

Kwang-Yeom Kim, Young-Min Choi and Chung-In Lee

1. 서 론

현재 국내에서 시공되고 있는 터널 발파 패턴의 경우 현장암반조건과 발파조건 등 발파에 영향을 미치는 제반 여건을 정량적으로 고려한 컴퓨터에 의한 자동설계가 이루어지지 않고 있다. 그러므로 경험적이고 정성적인 방법에 의하여 터널 발파 설계가 이루어짐으로써 발파설계와 시공이 불일치 하고 여굴 및 주변 손상권의 확대에 의한 터널 보강에도 영향을 미치는 등 문제점이 있다. 또한 최근에 들어와서 터널 발파 공사가 인가 근처에서 이루어 질 경우 발파진동에 의한 민원을 야기하고 있어 이를 고려한 안전 발파 설계가 절실히 요구되고 있다.

따라서 본 연구에서는 발파패턴 산정 이론 연구 및 현장 상황을 고려한 발파 패턴도 설계 자동화 프로그램의 개발을 위한 초석으로서 현장의 암반 조건을 입력 자료로 하여 발파 효과와 발파 진동을 동시에 고려할 수 있는 발파 패턴도 설계 자동화 프로그램을 제작하고자 하였다. Langefors 등에 의한 스웨덴식 설계 방법(Swedish Method)을 기초로 하여 조절 발파(Smooth Blasting) 이론을 적용한 발파패턴도 설계 프로그램을 개발하였고, 이 프로그램에서 결정된 패턴도를 기초로 현장의 상황에 적합하도록 현장 책임자가 발파공의 위치와 기폭순서 등을 수동으로 조절할 수 있도록 함으로써, 현장상황을 고려한 발파 패턴도의 데이터베이스 구축과 현장과 이론의 비교 분석이 이루어질 수 있도록 하였다.

2. 터널 발파패턴 설계 프로그램

본 연구에서 제작한 터널 발파 설계 자동화 프로그램은 크게 주 프로그램인 터널 발파패턴 설계 프로그램과 부 프로그램인 발파진동 해석 프로그램으로 나뉘어진다. 터널 발파패턴 설계 프로그램은 현장의 암석에 대한 역학적 성질을 입력하여 터널 발파패턴도와 뇌관 및 화약 사용 내역을 출력하는 기능을 가지고 있고, 발파진동 해석 프로그램에서는 시험 발파의 결과를 자료로 입력하여 발파진동식을 산출함과 동시에 발파진동식 상수와 발파가 실시된 현장의 암반 특성을 데이터베이스화 하는 기능을 가지고 있다.

본 절에서는 터널 발파패턴 설계 프로그램의 기능과 수행과정에 대하여 기술하였으며, 발파진동 해석 프로그램의 기능과 수행과정은 3장에 기술되어있다.

2.1 프로그램의 기능 및 알고리즘

프로그램이 실행되기 위해서는 우선 발파가 수행될 터널의 단면형상이 결정되어야 한다. 이를 위해 현재 국내에서 사용하고 있는 표준터널단면에 대한 정보로부터 기본단면을 선택하고 반지름이나 길이 등의 기타 변수를 입력

1) 학생회원, 서울대학교 지구환경시스템공학부
2) (주) 삼성전자
3) 정회원, 서울대학교 지구환경시스템공학부 교수

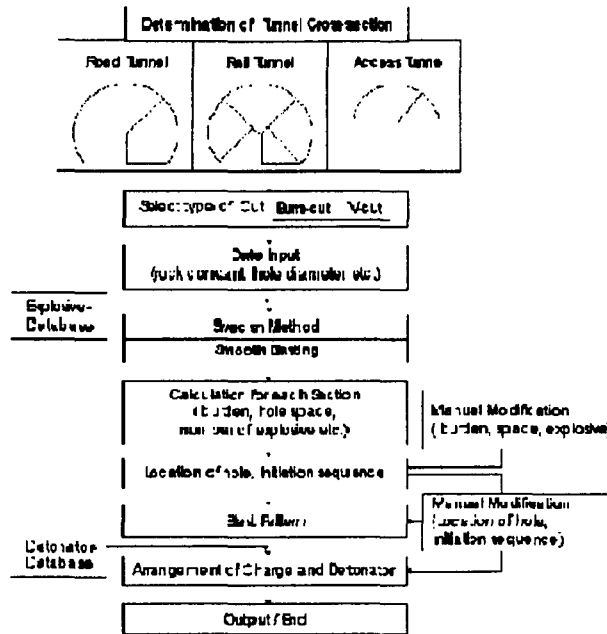


Fig. 1. Schematic flowchart of automated tunnel pattern design program

함으로써 터널단면에 대한 정보를 프로그램에 제공하게 된다. 터널단면이 결정되면 현장자료(암석계수, 사용화약, 사용뇌관 등)를 입력하게 된다. 입력된 자료를 기초로 하여 문헌에서 제시된 이론과 터널현장 데이터베이스 및 화약 데이터베이스 등을 사용하여 터널발파패턴 설계에 직접적으로 사용되는 공간격, 저항선의 길이 및 사용화약의 종류, 개수 등이 결정되어 진다. 이렇게 결정된 값들을 사용하여 터널단면상에 발파공의 위치를 지정하고, 화약의 사용 내역을 결정하게 되며, 뇌관 데이터베이스를 이용하여 각 발파공에 적절한 지연시간을 할당한다.

자동으로 설계된 발파패턴도를 프로그램상에서 수동으로 변경할 수 있는 과정을 추가하여 프로그램에서 고려하지 못한 현장상황을 사용자가 적절히 반영할 수 있도록 하였고, 이렇게 수동으로 변경되어 현장에서 적용된 발파패턴도들은 현장의 암반 특성 및 현장 조건과 관련된 변수들과 함께 데이터베이스화 되어 진다. 이 데이터베이스는 발파 패턴 설계 프로그램에서 자동으로 설계된 패턴도를 현장의 상황에 맞게 보정하는 자료로 사용될 수 있고, 국내 현장의 상황에 적합한 패턴 결정 이론 연구의 기초 자료로 사용될 수 있을 것이다.

프로그램의 터널 발파 패턴설계 흐름도가 Fig. 1에 도시되어있다.

3. 발파진동 해석 프로그램

발파진동 해석 프로그램은 발파 패턴 설계 프로그램의 보조 프로그램으로써 발파패턴 설계 프로그램에서 작성된 발파 패턴도에 따른 예상 진동값을 산출하는 기능을 수행하기 위해 제작되었다.

3.1 프로그램의 기능 및 알고리즘

발파진동 해석 프로그램의 기능은 크게 발파진동식 산출과 데이터베이스 구축 및 조회의 두 가지로 크게 나눌 수 있다. 각 기능에 대해 상설하면 다음과 같다.

- 발파진동식 산출 (진동계측 결과 처리): 진행방향, 법선방향, 수직방향, 벡터합에 대한 진동속도와 거리, 지발 당 장약량을 입력하여 노모그램과 발파진동식(n, k), 신뢰도 95% 발파진동식, 거리와 허용진동값에 따른 최대

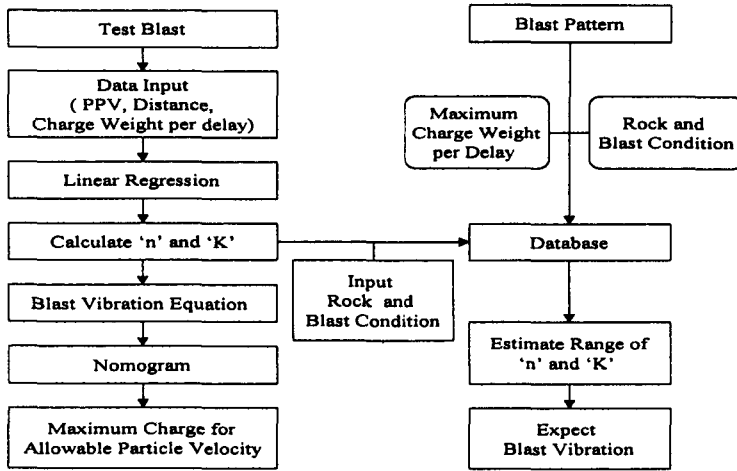


Fig. 2. Schematic flowchart of blast vibration analysis program

Table 1. Burden(B) and charge spacing(S) by three types of patterns(Kangnung)

	Blasing Efficiency		Overbreak average	
	Kangnung	Wonju	Kangnung	Wonju
Conventional method	0.94	0.91	0.360	0.115
Swedish method	0.88	0.77	-0.209	-0.250
Patterns with good results	0.96	0.91	0.179	0.040

지발당 장약량을 산출하게 된다. 시험 발파 및 작업 발파의 계측 결과 처리를 수월하게 수행할 수 있으며, 처리된 결과를 데이터베이스에 입력하는 과정을 용이하게 해주는 것이 이 기능의 목적이다.

· 데이터베이스 입력 및 조회 : 진동계측 결과 및 암반 조건을 데이터베이스에 입력하고, 입력된 암반 조건과 발파 조건에 따라 발파진동식의 범위(발파 진동식 상수의 범위)를 추정하게 된다. 또한 발파 진동식 상수와 입력 변수들(암석강도, 탄성과 속도 등)과의 관계를 사용자가 원하는 수식의 형태로 산출하는 기능을 가지고 있어 암반 조건과 발파진동식 상수의 관계식을 쉽게 알아볼 수 있다.

위와 같은 기능을 수행하기 위한 프로그램의 흐름도가 Fig. 2에 도시되어있다.

4. 프로그램에 의한 터널설계 적용

시험발파를 실시한 곳은 영동고속도로 확장공사(강릉-원주간) 제 12공구 도로터널 공사이다. 강릉방향 2차로와 원주방향 3차로에서 실시하였다. 시험결과를 Table 1과 같다.

5. 결 론

본 연구를 통하여 개발한 터널발파 패턴 설계 프로그램은 스웨덴 설계 방법을 이용하여 제작한 것으로서 현장 암반 조건을 통해 발파설계에 필요한 공간격, 저항선, 장약량 및 기폭순서 등을 자동으로 출력할 수 있는 기능을 갖추었다. 또한, 발파진동 해석프로그램에서는 진동계측 자료를 해석하여 발파 진동식을 구하고 폭원으로부터의 거리와 허용 진동속도에 따른 최대 지발당 장약량을 출력하여 안전 발파 설계가 가능하도록 하였다. 아직 국내 현장에서의 적용성에 대해서는 더 많은 시험발파를 통한 분석이 필요하나, 데이터 베이스가 충분히 갖추어진다면 많은 활용을 기대할 수 있다.

참 고 문 헌

1. U. Langefors, Kihlstrom, B., 1967, The Modern Technique of Rock Blasting, John Wiley & Sons INC.
2. Tunnplan Manual, 1996, NGI & NTNU.
3. 양형식, 1992, 역, 발파 진동학 (Blast Vibration Monitoring and Control), 구미서관.
4. 이정인, 1993, 발파진동, 발파풍압 및 비석의 조절을 통한 안전발파, 대한토목학회지, 41권 1호, pp. 99-117.