

# 심부작업장의 가스용출량 예측을 위한 인공신경망 개발

유용호<sup>1)</sup>, 김진<sup>2)</sup>

## 1. 서론

채탄 작업이 이루어지는 지하 심부 막장의 경우, 높은 온도와 습도로 인한 환경 악화적인 문제와 더불어 폭발사고등 대형 사고를 유발할 수 있는 용출가스에 대한 대책 마련은 매우 중요하다. 특히 폭발의 위험성이 큰 메탄의 경우는 자칫 대형사고로 연결될 수 있는 위험성을 가지기 때문에 연속적인 모니터링이 요구된다. 본 연구에서는 용출가스 농도와 석탄의 체산성간의 관계를 규명하기 위하여 이에 적용 가능한 인공신경망(Artificial neural network)를 이용하고자 한다. 이러한 용출가스 농도 및 분포에 관한 연구는 작업원에게 보다 나은 작업환경의 부여와 동시에 심리적 안정감을 주게 되어 채탄성 향상에도 많은 기여를 할 것으로 기대 된다.

## 2. 가스 용출량 예측을 위한 인공신경망

### 2-1. 방출 가스량 예측을 위한 인자

가스 방출에 대한 예측에 관계한 문제 중의 하나는 그것의 방출에 원인이 되는 인자들의 수이며, 이러한 인자들에 대한 양질의 Data 획득이 필요하다. 메탄 Source층에서부터의 어떤 지층(strata) gas의 방출 및 그 이후의 작업 지역으로의 가스 이동은 다음과 같은 요소들의 물리적, 지질학적 요소들에 관계하는 것으로 판단하여 다음의 9가지 인자를 이용하였다.

- ① 작업장의 심도
- ② 탄층 두께
- ③ 1일 채굴량
- ④ 1일 굴진 길이
- ⑤ 작업장 온도
- ⑥ 환기량
- ⑦ 탄층 주변의 지질조건
- ⑧ 막장 압력
- ⑨ 탄층의 투과도

### 2-2. Neural Network 프로그램

본 연구에서 개발된 프로그램은 Back-Propagation Algorithm을 기본으로 광산 현장의 사용자들이 용이하게 사용하도록 하기 위하여 Windows 기반을 둔 Visual C++로 작업을 하였다. 또한 사용자의 편의를 위해 간단한 인터페이스(버튼조작)로 결과를 한눈에 쉽게 알아볼 수 있도록 하였고, 현장의 실측 데이터를 이용하여 계속적인 학습이 가능하도록 하였으며, 보다 현실적으로 적용 가능한 프로그램을 만드는 데 초점을 두었다. 개발된 인공신경망은 9개의 인자를 받아들이는 Input layer와 5개와 3개의 element를 가지는 두 개의 Hidden layer로 구성되어 있다.

### 2-3. 학습(Training)

개발된 인공신경망에 지능을 부과하기 위해서는 입력 인자들을 이용한 반복적인 학습과정이 필요하다. 인자들의 수치적 차이에서 오는 영향성을 배제시키기 위해서 각 인자들의 실제 값을 10~1000으로 나누어 준 값을 이용하여 학습 시켰다 (Normalization). 예를 들어 작업장의 심도가 -300ML일 경우 지표와의 심도를 고려하면 900ML이 되나 이를 100으로 나누어준 '9'라는 심도 수치를 입력하는 것이다. 이는 다른 인자의 변화폭과 심도와 같이 변화가 많은 것을 일반화 시켜주기 위한 작업이다. 학습을 위한 Learning rate는 0.5를 이용하였으며, 9개의 인자를 가지는 12개소의 가스량 용출 데이터를 입력하여 반복적인 학습을 시켜 인공 지능을 부과하였다. 그 결과 메탄 가스 용출 예측 네트워크의 경우 50,000 번의 반복 학습을 시킨 결과 에러치(Ep)는  $7.325 \times 10^{-5}$ , 이산화탄소 예측 네트워크 100,000번 반복에 에러치(Ep)  $5.000 \times 10^{-5}$  을 보임으로써 충분히 학습되었음을 입증하였다. 이러한 반복적인 학습을 통하여 학습된 네트워크를 이용하여 장성광업소 현장 적용성을 검토하여 보았다(그림 2). 문곡 지역을 인공지능을 가진 네트워크로 예측해 본 결과 실제 측정치 메탄 0.3%, 이산화탄소 0.009%과 거의 동일한 0.297%, 0.0086%을 나타내었다. 장성지역의 경우 메탄 0.2%, 이산화탄소 0.007%과 거의 동일한 0.193%, 0.0068%을 나타내었다. 이는 오차 범위 5% 이내에 포함되는 것으로 검증결과 95% 이상의 높은 신뢰도를 나타낼 것으로 판단되었다.

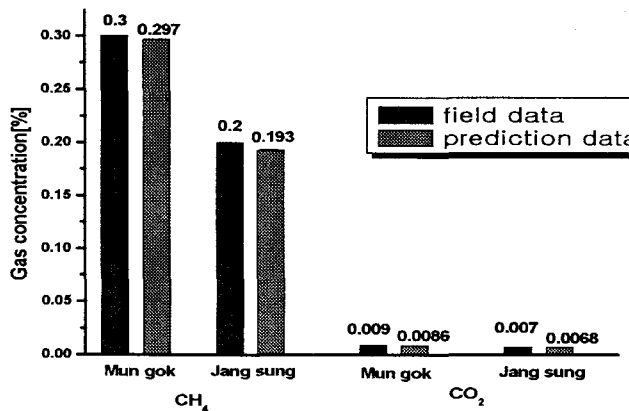


Fig. 1. Testing results of learned neural network

### 3. 예측 결과

인공이 부과된 네트워크를 이용하여 문곡 지역과 철암 지역의 가스 용출량을 예측하여 보았다. 지하 작업장에서의 가스 용출량 예측은 -375 ML 과 -450 ML이 개발될 경우로 나누어 이루어졌으며, 각 지역의 채탄량, 환기량, 탄층 두께, 주변 지역 지층, 투과도의 변화에 따른 용출량을 메탄과 이산화탄소 각각에 대하여 비교해 보았다. 채탄량, 환기량, 탄층 두께, 주변 지역 지층은 기존의 막장에서 실측되어진 데이터의 변화 범위를 산정하여 그 범위 내에서의 변화에 대한 가스 용출량을 예측하였으며, 심부에서의 온도는 심도증가에 의한 지열 등의 상승을 고려하여 CLIMSIM을 통하여 얻어진 갱내 온도 변화 예측을 통하여 얻어진 수치를 이용하였다. 모든 경우에 있어서 대부분 인자들의 변화에 따라 동일한 예측 가스량의 변위 양상을 보였다.

### 3-1. 메탄 가스 용출량 예측

문곡 지역 -375ML 개발시에 대한 메탄 가스 용출량 예측 결과를 보이고 있다. 예측 결과 -375ML 주변 지층 sand shale 인 경우, 채탄량이 50ton/day ~ 200ton/day 로 증가함에 따라 메탄 가스 용출량 역시 0.19% ~ 0.32%로 증가할 것으로 판단되었으며, 탄층의 두께 역시 2.5m~5.0m로 증가함에 따라 메탄 가스 용출량이 0.13% ~ 0.37%로 증가할 것으로 예측되었다. 또한, 투과도의 경우는 0.4md ~ 1.2md로 증가함에 따라 0.23% ~ 0.25% 로 매우 미세한 증가를 보였다. 반면, 환기량의 경우는  $0\text{m}^3/\text{sec}$  ~  $5\text{m}^3/\text{sec}$ 로 증가함에 따라 가스 용출량은 0.31%~0.11%로 감소시킨다. 주변 지층이 sand stone일 경우, 채탄량이 50ton/day ~ 200ton/day 로 증가함에 따라 메탄 가스 용출량 0.18%~ 0.32%로, 탄층의 두께 2.5m~5.0m로 증가함에 따라 0.1% ~ 0.37%로 증가할 것으로 예측되어졌으며, 투과도의 경우는 0.4md ~ 1.2md로 증가함에 따라 0.22% ~ 0.24% 로 매우 미세한 증가를 보였다. 또한, 환기량의 경우는  $0\text{m}^3/\text{sec}$  ~  $5\text{m}^3/\text{sec}$ 로 증가함에 따라 가스 용출량은 0.3%~0.1%로 감소시켰다. 즉, 주변 지층과 메탄 가스 용출량에 큰 영향을 주지는 못하는 것으로 예상된다. 또한, 메탄 가스 용출량의 증감폭에 있어서 탄층 두께와 환기량이 메탄 가스 용출량에 가장 큰 영향을 주는 것으로 판단되었으며, 심도가 증가할 경우 가스 용출량은 거의 변동이 없어 가스 용출량은 작업심도에 큰 영향을 받지 않음을 확인하였다. 철암 지역 -375ML 과 -450ML 개발시에 대한 메탄 가스 용출량 예측 결과, 수치적인 차이가 보이기는 하나 문곡 지역과 동일한 경향을 보인다. 진술한 바와 같이 채탄량과 탄층 두께가 증가할수록 메탄 가스 용출량은 증가할 것으로 예측되었으며, 환기량의 증가는 가스량을 감소시킬 것으로 예상되어진다. 작업 심도의 증가는 그리 큰 영향을 주지 않을 것으로 판단되어지며, 가장 큰 영향을 주는 인자는 탄층 두께, 채탄량, 환기량의 변화 일 것으로 예상되었다.

### 3-2. 이산화탄소 용출량 예측

문곡 지역 -375ML과 -450ML 개발시에 대한 이산화탄소 용출량 예측 결과이다. 예측 결과 -375ML 주변 지층 sand shale 인 경우, 채탄량이 50ton/day ~ 200ton/day 로 증가함에 따라 0.0162%~ 0.0433%로 증가할 것으로 판단되었으며, 탄층의 두께 역시 2.5m~5.0m로 증가함에 따라 가스 용출량이 0.011% ~ 0.069%로 증가할 것으로 예측되었다. 또한, 투과도의 경우는 0.4md ~ 1.2md로 증가함에 따라 0.024% ~ 0.021% 로 매우 미세한 감소를 보였다. 반면, 환기량의 경우는  $0\text{m}^3/\text{sec}$  ~  $5\text{m}^3/\text{sec}$ 로 증가함에 따라 가스 용출량은 0.008%~0.328%로 매우 큰 폭의 상승을 나타내었다. 이는 네트워크에 인공지능을 부과하기 위한 현장 측정 데이터에 의한 결과로, 환기량이 많은 작업장일 경우 그만큼 압축공기를 막장으로 불러 넣어주기 위한 콤푸레샤등 장비가 많이 이용되고 있었으며 이에 따른 디젤 연료 사용에 따른 이산화탄소의 증가되었고, 또한 활발한 작업으로 인한 작업원으로부터 나오는 이산화탄소의 영향으로 환기량이 많은 지역이 높은 이산화탄소가 측정되었기 때문이다. 주변 지층이 sand stone일 경우, 채탄량이 50ton/day ~ 200ton/day 로 증가함에 따라 메탄 가스 용출량 0.017%~ 0.047%로, 탄층의 두께 2.5m~5.0m로 증가함에 따라 0.012% ~ 0.076%로 증가할 것으로 예측되어졌으며, 환기량의 경우는  $0\text{m}^3/\text{sec}$  ~  $5\text{m}^3/\text{sec}$ 로 증가함에 따라 가스 용출량은 0.008%~0.329%로 증가하였다 주변 지층은 메탄 가스 용출량에 큰 영향을 주지는 못하는 것으로 예상되었으며, 가스 용출량의 증감폭에 있어서 탄층 두께와 환기량이 메탄 가스 용출량에 가장 큰 영향을 주는 것으로 판단되었으며, 심도가 증가할 경우 가스 용출량은 거의 변동이 없어 가스 용출량은 작업 심도에 큰 영향을 받지 않음을 확인하였다. 철암 지역 -375ML 과 -450ML 개발시에 대한 이산화탄소 용출량 예측 결과 역시 문곡 지역과 동일한 경향을 보인다. 채탄량과 탄층 두께, 환기량이 증가 할수

록 가스 용출량은 증가할 것으로 예측 되었으며, 작업 심도의 증가는 그리 큰 영향을 주지 않을 것으로 판단 되어진다. 이산화탄소 발생량에 가장 큰 영향을 주는 인자는 탄층 두께, 채탄량, 환기량일 것으로 예상된다.

#### 4. 결론 및 논의

본 연구는 Back-Propagation 알고리즘을 이용한 인공신경망을 개발함으로써 심부 광산의 작업장에서 발생하는 유해 가스량을 예측하고자 하였으며, 이를 통하여 얻어낸 결론을 요약하면 다음과 같다.

- ① 개발되어진 인공신경망을 이용하여 2개소에 대하여 검증한 결과 오차율 5% 정도를 나타내어 심부 광산에서의 가스 예측에 적용이 가능하다고 판단되었다.
- ② 문곡과 철암 지역에 대하여 가스 용출을 예측한 결과 -375ML과 -450ML의 개발시를 메탄과 이산화탄소 모두 채탄량과 탄층 두께가 증가할수록 가스의 발생량은 증가할 것으로 예상 되었다. 또한, 메탄 가스의 경우 환기가 이루어지지 않을 경우 가장 많은 가스가 용출될 것으로 예상 되었으나, 이산화탄소의 경우는 환기량이 증가 할수록 이산화탄소 예측치도 증가하였다. 이는 환기를 위하여 이용되는 장비등에 의한 이산화탄소 발생이나 작업이 활발하게 이루어지고 있는 곳이 환기량이 많았던 것으로 미루어 보아 작업원에 의한 이산화탄소의 발생으로 인한 것으로 판단된다.
- ③ 인공신경망을 이용한 신뢰도 높은 가스 예측을 위해서 보다 많은 양질의 데이터 수집은 필수적이며, 이를 위한 지속적인 지하 작업장에서의 여러 인자들에 대한 모니터링과 데이터 베이스화가 요구되어진다.

본 연구는 지하 작업장에서 이루어지고 있는 채탄 작업시 발생하는 가스량 예측을 위한 프로그램 개발의 초기 단계로 앞으로 수집되는 막장과 관련된 자료의 입력이 가능하도록 되어 있다. 따라서, 지속적인 학습 데이터를 수집하여 네트워크의 학습이 이루어진다면 현재의 네트워크에 보다 진보된 인공 지능 부여될 수 있으며 향상된 신뢰도를 가지는 지하 작업장 가스 용출량을 예측이 가능하여 안전한 작업이 이루어질 수 있을 것이다.

#### 5. 참고문헌

- 김진 외, 2000, "심부 석탄광산의 냉각방법에 관한 연구", 대한석탄공사  
이상원, 1998, "학습하는 기계 신경망", Ohm 사  
D.W.Dixon, C.S. Özveren, A.T.Sapulek & M.A.Tuck, "The application of neural networks to underground methane prediction"  
James A. Freeman, David M. Skapura, 1992, "Neural networks algorithms, applications, and Programming techniques", Addison-Wesley publishing company  
Simon Haykin, 1994, "Neural networks - A comprehensive foundation", Macmillan publishing company

---

주요어: 가스예측, 인공신경망, Back propagation algorithm

- 1) 인하대학교 지구환경공학부
- 2) 인하대학교 지구환경공학부 교수