

수압식 충전의 효율 향상을 위한 선단장치 개발에 관한 연구

유성곤, 김태혁*, 신동춘

Development of Tip Device for Hydraulic Filling
Efficiency Improvements

Sung-Kon Yu, Tae-Heok Kim*, Dong-Chun Shin

Abstract In recent, the using of the hydraulic filling method has increased on the underground reinforcement of the abandoned mine in Korea, however it is the lack of research on the efficient filling method. In this study, tank model tests and field tests were conducted for development of tip device for filling efficiency improvements on the hydraulic filling method. In tank model experiments, the filling efficiency was evaluated according to the form and angle of the nozzle on tip device in the same condition. Then tip device model designed by tank model tests was applied to the field experiment. As a result, the amount of filling of nozzle 90° tube is increased by approximately 18% compared to the common vertical injection pipe. The angle of repose was 30.82°. Filling hole spacing in the field is usually designed from 5m up to 10m assumed to be 40° of the angle of repose. According to the results of this study, it is possible that the filling hole spacing expands at least 10m up to 15m applied to be 30°~35° of the angle of repose. Therefore, it is expected to be economical and efficient mine filling.

Key words Hydraulic filling, Filling efficiency, Tip device, Filling hole spacing

초 록 최근 국내에서는 폐광산 지반보강공사를 실시함에 있어 수압식 충전법을 적용하는 사례가 증가하고 있으나 효율적인 충전법 적용을 위해 현장 특성을 고려한 다양한 연구가 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 수압식 충전공법의 충전효율 개선을 위한 선단장치 개발을 위하여 수조 모형실험 및 현장실험을 실시하였다. 수조 모형 실험을 통해 동일조건 하에서 선단장치 노즐각도 및 노즐형태 변화에 따른 충전효율을 평가하고, 이로부터 고안된 선단장치 모델을 현장실험에 적용한 결과, 노즐각 90°관을 사용한 경우 일반적인 수직관을 사용한 경우에 비해 충전량이 약 18% 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 이때 안식각은 30.82°였다. 현장에서는 일반적으로 안식각을 40°로 가정하고 충전공 간격을 5m에서 최대 10m 이내로 설계하였지만, 본 연구 결과에 따라 안식각을 30°~35°로 적용하면 충전공 간격을 최소 10m에서 최대 15m까지 넓히는 것이 가능하여 경제적이고 효율적인 채굴적 충전이 가능할 것으로 기대된다.

핵심어 수압식 충전, 충전효율, 선단장치, 충전공 간격

1. 서 론

1990년대 이후 광해복구 사업의 일환으로 지반침하

위험지역에 대한 보강이 이루어졌으며, 대부분 지반침하를 방지하여 재산 및 인명피해를 막고, 경제적으로 구조물의 안정성을 확보할 수 있는 범위 내에서 국부적으로 수행되고 있다. 공동에 의한 지반침하 우려지역의 보강공법은 장래 침하에 따른 구조물 및 인명 피해가 크게 예상되는 지역을 선정하여 경제성, 시공성, 공동상태, 지표상태 등을 종합적으로 검토하여 적용된다.

지반침하 방지를 위한 수압식 충전은 입자형 재료와 물을 일정 비율로 혼합하여 슬러리 형태로 만든 후, 관을 통해 이송시켜 공동을 충전하는 공법이다. 이 공법

Received: Oct. 23, 2012

Revised: Dec. 5, 2012

Accepted: Dec. 5, 2012

***Corresponding Author:** Tae-Heok Kim

Tel) +82419017921, Fax) +82419017970

E-Mail) shykth@mireco.or.kr

Institute of Mine Reclamation Technology, MIRECO, Yeonamyulgeum-ro, Seonghwan-eup, Seobuk-gu, Cheonan-si, Chungcheongnam-do, 331-803, Korea

은 많은 양의 재료를 단기간에 충전 가능하나 충전재의 관리가 곤란하고 충전의 정도는 충전물질의 안식각에 좌우된다. 또한 경사가 심한 곳에서는 충전재의 유출을 방지하기 위해 차단벽이 필요하며, 유입되는 물로 인하여 공동 주변 모암이 물을 흡수하고 취약해져 붕괴되고 유입된 물의 배수처리를 해야 하는 등의 단점이 있다 (Kwon & Nam, 2007).

국내에서 수행된 수압식 충전 사례는 상동광산(Korea Tungsten Co., 1989)과 부평광산을 들 수 있다. 관련 연구로는 Chang et al.(2001)이 한성탄광 수갱 충전 방안으로 암석과 모탈을 사용한 복합 충전법을 제시하였고, Ma et al.(2005)은 석분토에 고결재료 및 속성 경화제 등을 첨가하여 충전재료로서의 타당성을 평가한 바 있다. Song et al.(2007)은 상동광산 광물찌꺼기의 특성을 분석하고 고액 비율을 결정하여 경도 모형실험을 수행한 바 있다.

그러나 국내 연구는 주로 충전 재료로서의 적합성 평가에 대한 실험적 연구 외에 효율적인 충전법 적용을 위한 다양한 연구가 미흡한 실정이다.

캐나다에서는 수력충전 기술이 고도로 발전하였음에도 불구하고 55%를 넘는 실패 요인이 파이프라인 및 시추공 막힘, 파이프라인 파열 등 수송시스템에서 기인하는 것으로 나타났다. 그 이유는 충전재의 흐름특성과 파이프라인 내에서 수리거동 특성에 대한 이해가 부족하기 때문인 것으로 보고되었다(Cook, 2007).

이에 본 연구에서는 수압식 충전공법의 충전효율 향상을 위해 충전관의 선단장치 개발에 초점을 맞추고, 수조 모형실험 및 현장실험을 통해 다양한 선단장치 모델의 충전 효율을 비교·분석하였다.

2. 수조 모형실험

2.1 실험방법

충전효율 개선을 위한 선단장치 개발을 위해 노즐각도 또는 노즐형태를 변형하며 실험을 실시하고 그 효과

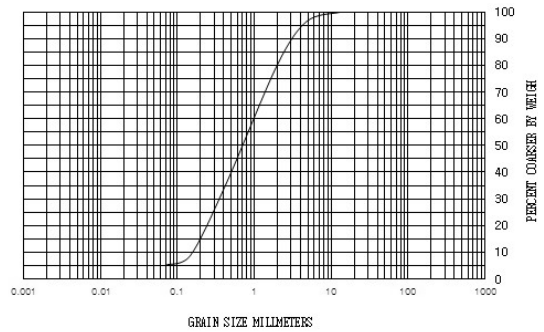


Fig. 1. Particle size distribution of the sand used in tank model experiments

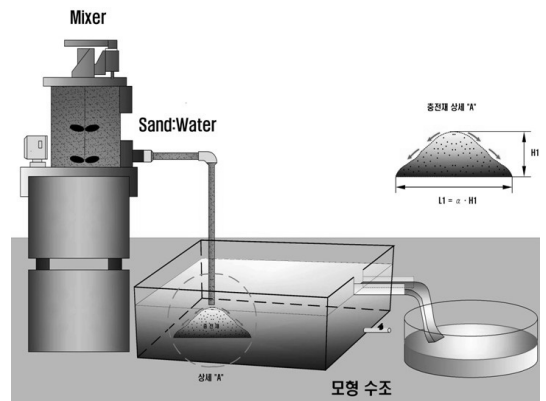


Fig. 2. Schematic diagram of the tank model experiments

를 비교·검토하였다. 수조는 충전 양상을 확인하기 위해 L:2,040 mm, W:850 mm, H:560 mm 크기의 투명한 아크릴로 제작하였다. 충전재는 Fig. 1와 같이 No.100 체 통과율이 8.7%인 모래를 사용하였으며, 모래의 투입량과 물의 투입량을 일정하게 유지하기 위하여 유량계를 설치하였다. 물과 모래의 중량비는 70%:30%이다. 낙하높이는 물과 모래가 혼합되는 높이에서 토출구까지 95 cm이며 토출깊이는 수조바닥에서 33cm이다. 수조바닥에서 40 cm의 물을 채워 지하수위가 있는 조건을

Table 1. Conditions of tank model experiments

Items	Conditions
Size of tank	• L : 2,040 mm, W : 850 mm, H : 560 mm
Sand	• 7 kg unit packaging - 15 kg filling/min (2 pack + 1 kg) • Containing 8.7% fine-grained sand passing No.100 sieve
Flow rate	• 0.02 m ³ /min - measured by the flow meter and the beaker (20 L)
Water : Sand	• Water (70) : Sand (30)
Height of fall	• 95 cm of height from the position at which a mixture of water and sand to the discharge port
Discharge depth	• 33 cm of depth from the bottom of the tank
Groundwater level	• 40 cm of level from the bottom of the tank

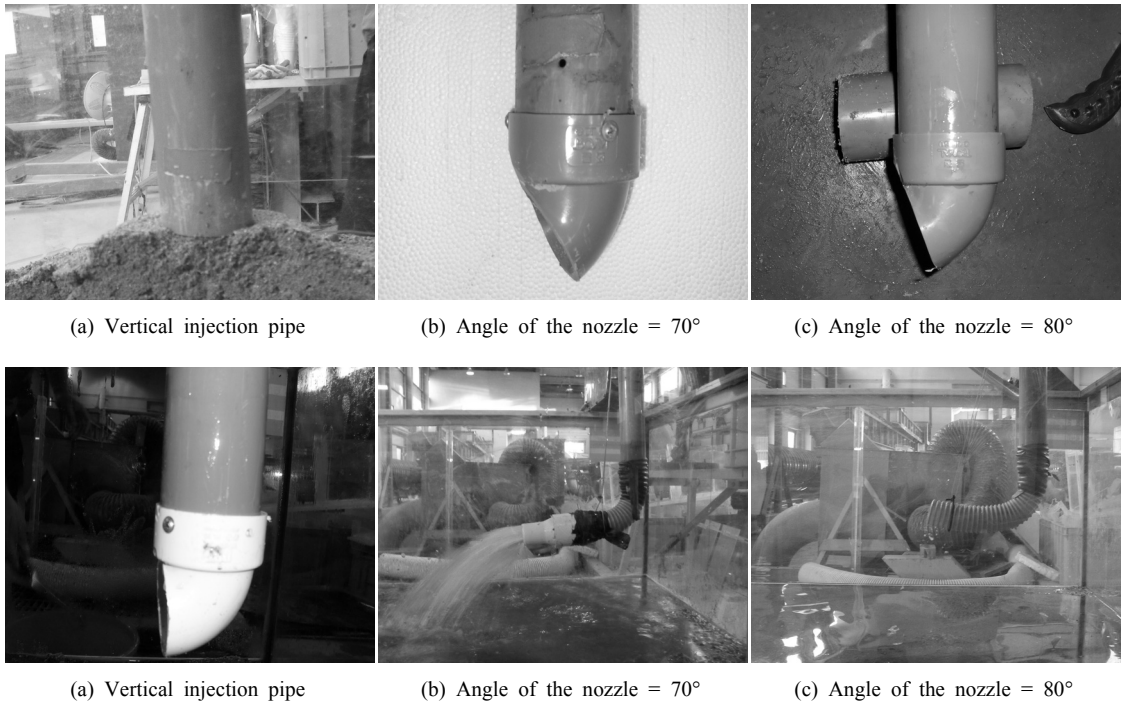


Fig. 3. Tip device models for filling efficiency comparison

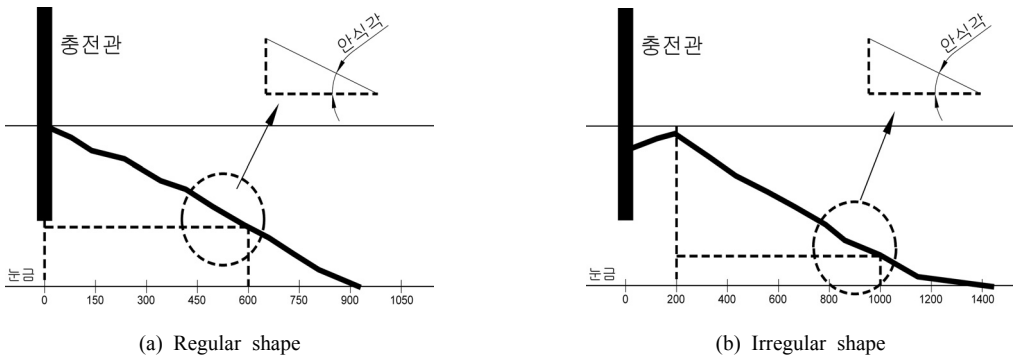


Fig. 4. Calculation of the angle of repose

구현하였다(Fig. 2, Table 1). 선단장치의 형태는 Fig. 3과 같이 수직관(a)과 노즐각도가 70°(b), 80°(c), 90°(d)인 경우와 노즐형태를 토출경을 축소하거나(c), 토출길이를 추가(20 cm)하는 경우(f)의 조건을 설정하였다.

물은 유량계를 이용하여 일정하게 하고 모래는 마대단위(7 kg)로 무게를 측정하여 물과 모래의 투입량을 일정하게 유지하며 중력식으로 투입하였다. 이때 분당 모래 투입량은 물을 20 L/min로 유지하였을 때 물과 모래의 비율(7:3)에 따라 약 15 kg으로 계산된다.

토출구가 막힐 때까지 모래를 충전한 후 부유물이 완

전히 침강한 다음 충전형상을 확인하고 물빼기 작업을 실시하였다. 격자눈금을 이용하여 각 지점에서의 충전 높이를 측정하고 대표 안식각을 계산하였다.

안식각은 Fig. 4(a)와 같이 안식각을 이루는 형상이 규칙적인 경우에는 토출구의 최고 높이와 일정한 수평거리를 기준으로 하여 계산하였다, Fig. 4(b)와 같이 토출구가 분화구처럼 패인 형태를 하고 있는 경우는 토출구가 아닌 충전 최고 높이와 일정한 수평거리를 기준으로 하여 계산하였다.

Table 2. Results of tank model experiments

Tip device models	Amount of filling		Calculation of the representative angle of repose		Representative angle of repose (°)	Filling time (min)
	Water (m ³)	Sand (kg)	Height (cm)	Length (cm)		
Vertical injection pipe	0.38	266	(367-30)=337	600	29.32	19.0
Angle of the nozzle = 70°	1.05	733	(527-20)=507	800	32.36	52.4
Angle of the nozzle = 80°	1.12	783	(495-60)=435	700	31.86	55.9
Angle of the nozzle = 90°	1.14	801	(491-10)=481	800	31.02	57.2
Reduce the discharge port diameter	1.06	743	(544-48)=496	800	31.80	53.1
Add the discharge port length (20cm)	1.04	729	(450-35)=415	700	30.66	52.1

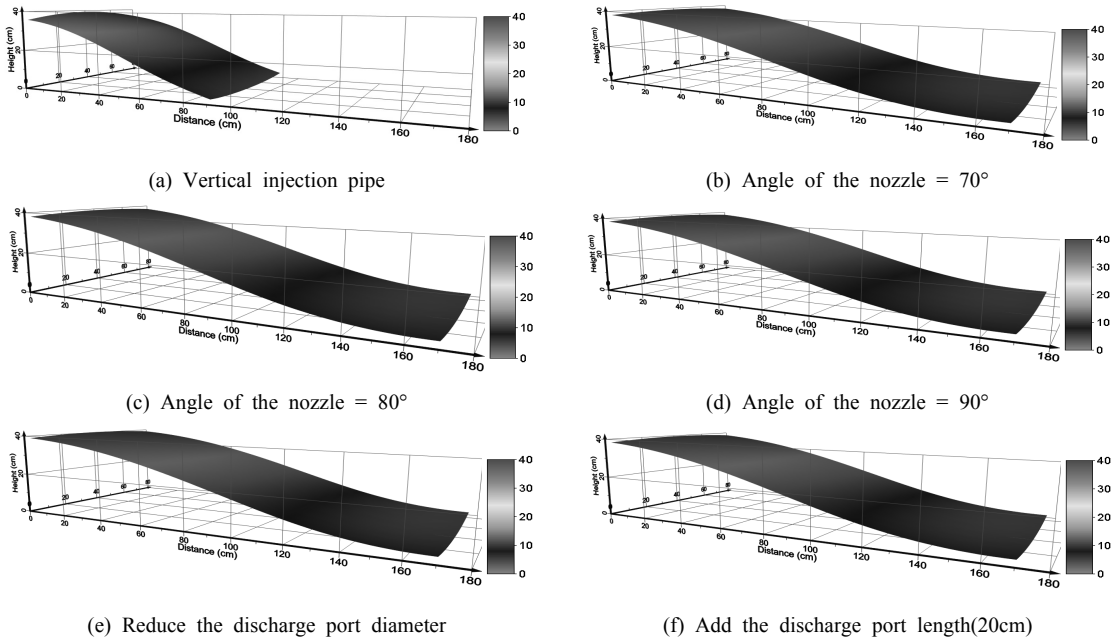


Fig. 5. 3D filling shape of tip device models

2.2 실험결과

수직관을 비롯하여 설정한 조건에 따른 각 선단장치 모델에 대하여 충전실험을 실시하고 충전량과 대표 안식각을 확인하였다. Table 2와 같이 수직관은 모래가 266 kg 충전된 반면, 개선된 모델은 모두 700 kg 이상 충전되었고, 그 중 노즐각이 90°인 경우가 801 kg으로 가장 좋은 충전효율을 보였다. 대표 안식각은 30°~32°를 나타내었으며, 모델별 충전된 형상은 Fig. 5와 같다.

3. 현장실험

3.1 실험방법

일반적으로 사용되고 있는 수직관의 충전효과와 앞의

수조 모형실험에서 고안된 다양한 선단장치의 충전효과를 비교·검토하기 위해 현장실험을 실시하였다.

충전 실험은 채굴적의 충전 효율을 육안으로 직접 확인하고자 지표 위에 가설 구조물(L:20.0 m, W:2.4 m, H:1.8 m)을 설치하고 이를 채굴적으로 가정하여 실험하였다(Fig. 6). 실제 현장에서 사용되고 있는 Sand Pump 및 충전플랜트, 양수기, 발전기 등의 장비를 사용하였으며, 펌프 제원은 Table 3과 같다.

실험을 위하여 Fig. 7과 같이 일반적인 수직관을 이용한 경우(a), 90° 관을 이용한 경우(b), 와이어를 이용하여 토출길이를 수직으로 2 m 추가한 경우(c), 천막 재질의 호스로 토출길이를 2 m 추가한 경우(d)의 모델을 설계하였다. 충전 효율을 비교·검증함으로써 효율적인

선단장치의 개발에 주안점을 두고 있어 각 모델별 조건 (Table 4)을 동일하게 하고 선단장치만 변경하여 실험을 실시하였다.

3.2 실험 결과

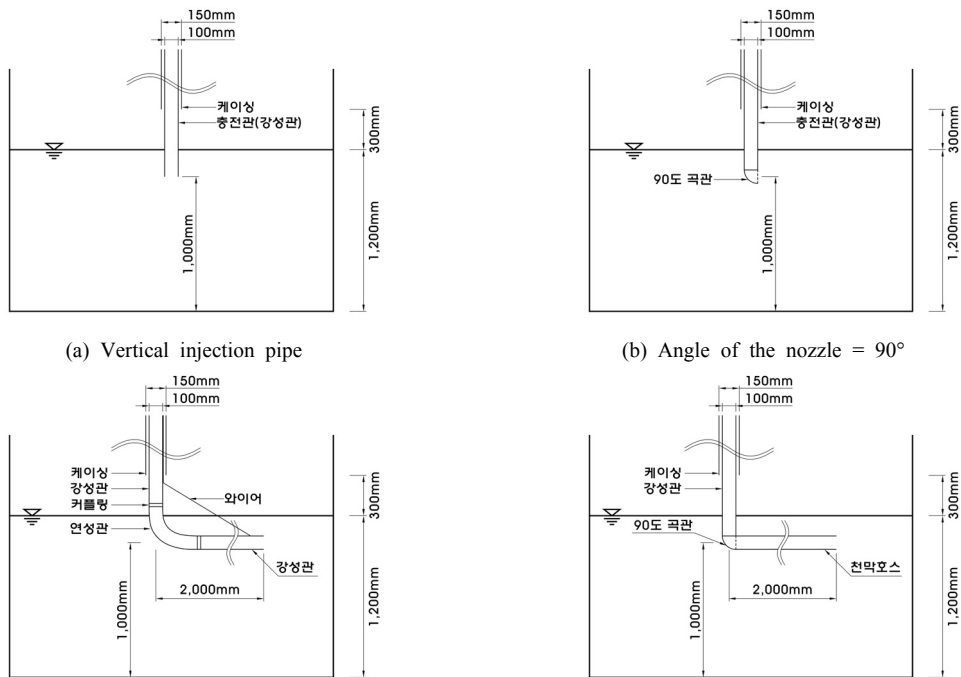
각 모델별 선단장치에 따라 변화하는 충전량 및 안식각을 확인하였으며, 그 결과를 요약하면 Table 5와 같다. 일반적인 충전법(수직관)을 사용하여 충전한 경우 모래 충전량이 41.6 ton인데 비해 90° 충전관을 사용하여 충전한 경우 모래 충전량이 49.1 ton으로 약 18.0% 증가하였으나, 와이어를 이용하여 토출길이를 2 m 추



Fig. 6. Structures for the field experiments

Table 3. Sand pump specifications

Items	Pump specifications
Motor Capacity	50 HP
Discharge rate	Q = 1.2 m ³ /min
Lift height	H = 50 m
Frequency	60 Hz
Generator	380 V
Impeller Type	Open Type
Impeller Material	Rubber type
Transmission	Manual



(c) Add the discharge port length (2m) using a wire

(d) Add the discharge port length (2m) using a hose

Fig. 7. Tip device model design for the field experiments

Table 4. Conditions of field experiments

Items	Conditions
Size of structures	• L : 20.0 m, W : 2.4 m, H : 1.8 m
Water : Sand	• Water (70) : Sand (30)
Flow rate	• 0.7 m ³ /min
Sand	• Containing 1.6% fine-grained sand passing No.100 sieve
Height of fall	• 5 m of height from the discharge port of sand pump to the top of the filling pipe
Discharge depth	• 1 m of depth from the bottom of structures
Groundwater level	• 1.2 m of level from the bottom of structures

Table 5. Results of field experiments

Tip device models	Amount of filling		Calculation of the representative angle of repose		Representative angle of repose (°)
	Water (m ³)	Sand (ton)	Height (m)	Length (m)	
Vertical injection pipe	72.0	41.6	1.415	2.4	30.52
Angle of the nozzle = 90°	72.0	49.1	1.432	2.4	30.82
Add the discharge port length (2 m) using a wire	72.0	40.6	1.422	2.4	30.65
Add the discharge port length (2 m) using a hose	Because the connection of steel pipe and hose are damaged, experiments were impossible				

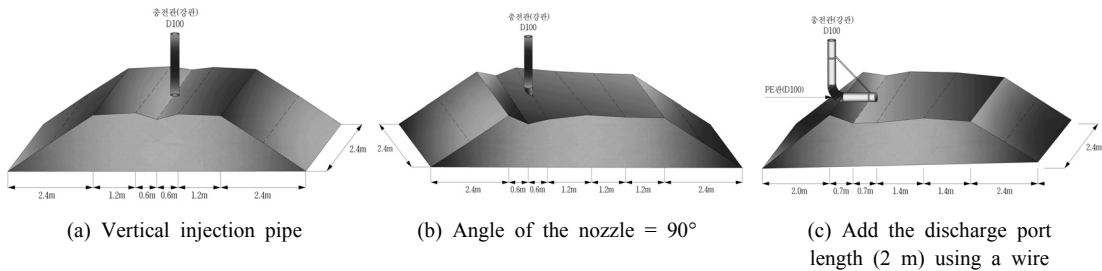


Fig. 8. 3D filling shape of tip device models

가한 경우는 40.6 ton으로 약 5% 감소하여 90° 충전관이 가장 좋은 결과를 보였다. 안식각은 각각 30.52°, 30.82°, 30.65°로 선단장치 모델에 따라 거의 비슷한 결과를 보였으며, 모델별 충전결과는 Fig. 8에 3D로 묘사하였다. 호스를 이용하여 토출길이를 2 m 추가한 경우는 천막호스와 강관의 접합부에서 파손이 발생하여 실험을 진행할 수 없었다.

90°관을 180°로 회전하여 충전한다고 가정하면 모래 충전량은 66.1 ton으로 수직관에 비해 충전율이 약 58.9% 이상 증가하는 것으로 계산된다.

3.3 모식도를 이용한 안식각과 천공간격에 따른 충전 효율 분석

최근 폐광산 지반보강공사 설계보고서에 의하면, 수직관을 이용하여 모래를 주입할 경우 보통 안식각이 40°이므로 가로 40 m, 세로 20 m의 2D 모식도를 이용

하여 충전율을 계산하면 천공간격이 5 m일 때 충전율은 94.8%(Fig. 9a)이고, 천공간격이 10 m일 경우에도 충전율은 89.5%(Fig. 9b)로 양호한 편으로 나타났다. 그러나 채굴적에 대한 정확한 위치 규명 및 시추 수행의 어려움 등으로 일반적으로 천공간격을 5 m로 하여 수압식 충전을 실시하고 나머지 미충전 구간은 시멘트 몰탈 충전 및 밀크 그라우팅으로 100%에 가까운 충전으로 설계하였다(MIRECO, 2010a, 2010b, 2011).

90°관을 이용한 경우의 안식각과 천공간격에 따른 충전율을 비교하기 위하여 앞의 실험 결과에 따라 안식각을 30°~35° 사이로 적용하고 Fig. 10과 같이 2D 모식도를 이용하여 계산하였다. 그 결과 안식각이 30°이고 천공간격이 10 m인 경우 97.4%로 가장 높은 충전율을 보였고(Fig. 10a), 이어서 안식각이 35°이고 천공간격이 10 m인 경우 95.5%(Fig. 10b), 안식각이 30°이고 천공간격이 15 m인 경우 95.0%(Fig. 10c), 안식각이 35°이

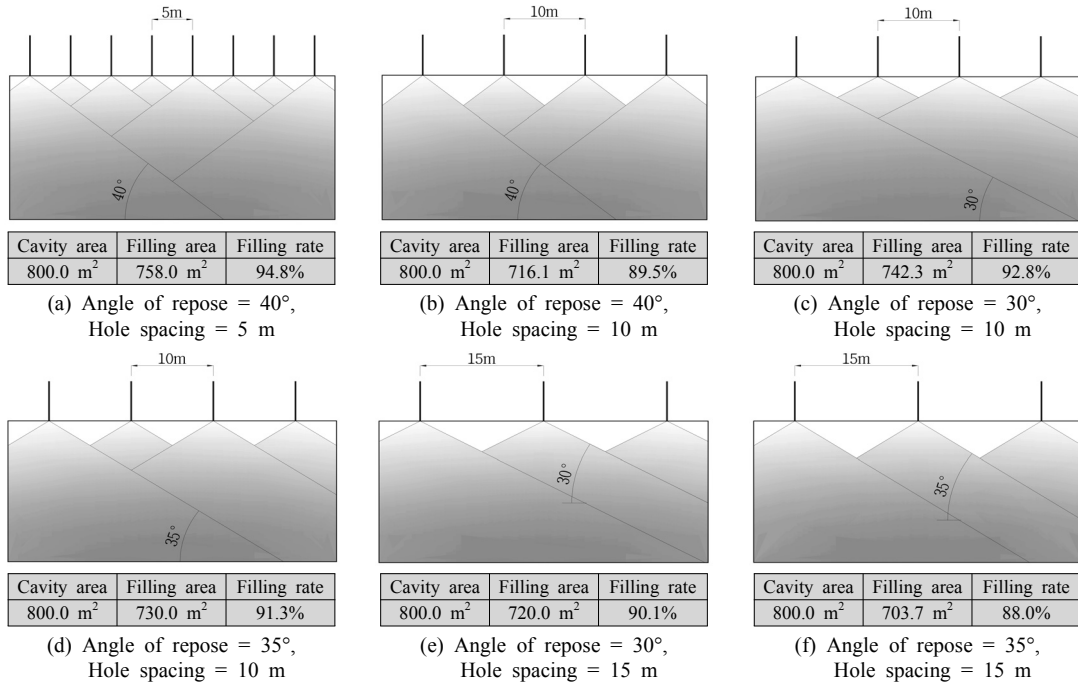


Fig. 9. Calculate the filling rate when using a vertical fill pipe with a schematic diagram according to the angle of repose and hole spacing

Table 6. Comparison of the filling rate according to the angle of repose and hole spacing when using the vertical fill pipe

Angle of repose / Hole spacing	40°/5 m	40°/10 m	30°/10 m	35°/10 m	30°/15 m	35°/15 m
Filling rate	94.8%	89.5%	92.8%	91.3%	90.1%	88.0%

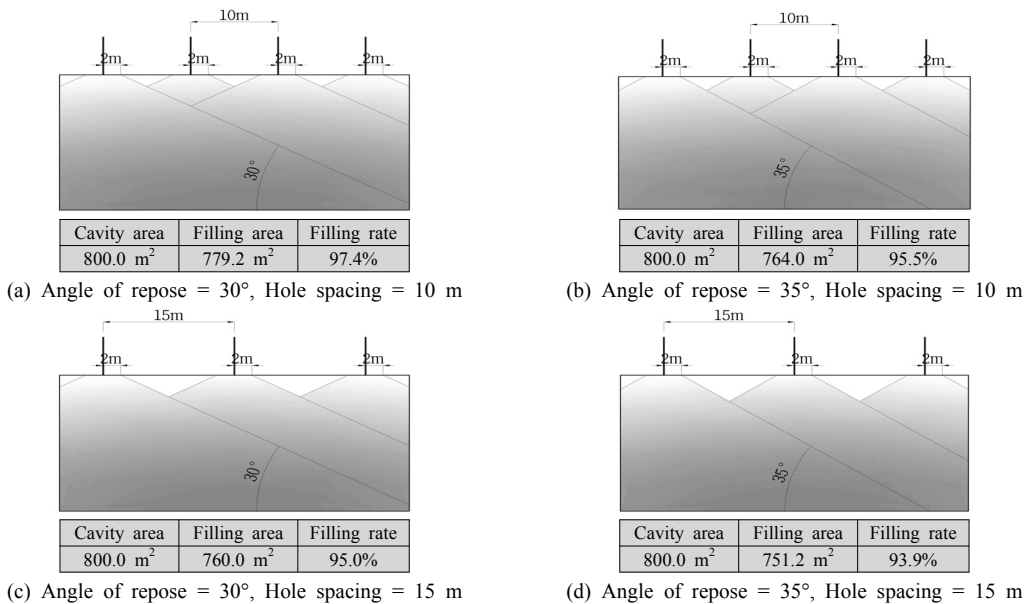


Fig. 10. Calculate the filling rate when using a pipe of the angle of the nozzle is 90° with a schematic diagram according to the angle of repose and hole spacing

Table 7. Compare the filling rate according to the angle of repose and hole spacing when using the pipe of the angle of the nozzle is 90°

Angle of repose / Hole spacing	30°/10 m	35°/10 m	30°/15 m	35°/15 m
Filling rate	97.4%	95.5%	95.0%	93.9%

고 천공간격이 15 m인 경우 93.9%(Fig. 10d) 순으로 나타났으며 Table 7에 정리하였다. 이 경우 수직관을 이용한 각각의 경우(Fig. 9c~9f, Table 6)와 비교해도 상대적으로 높은 충전율을 보였다. 따라서 90°관을 이용할 경우 높은 충전율을 유지하면서 천공 간격을 최소 10 m에서 최대 15 m까지 조정 가능할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 수압식 충전공법의 충전효율 개선을 위한 선단장치 개발을 위하여 수조 모형실험 및 현장실험을 실시하였다. 수조 모형실험을 통해 동일조건 하에서 선단장치 노즐각도 및 노즐형태 변화에 따른 충전효율을 평가하였으며, 수조 모형실험으로부터 고안된 다양한 선단장치의 충전효율을 비교·검토하기 위하여 현장실험을 실시하였다. 이상의 연구결과를 종합하면 다음과 같다.

1. 수조 모형실험 결과, 수직관을 사용하여 충전한 경우 모래 충전량이 266 kg이었고, 노즐각 90°관이 801 kg으로 충전효율이 가장 좋은 결과를 보였으며, 이때 안식각은 31.02°이었다. 노즐각 70°와 80°, 토출경을 축소하거나 토출길이를 증가시킨 경우에도 각각 733 kg, 783 kg, 743 kg, 729 kg으로 일반적으로 사용되어 온 수직관에 비해 상당한 충전량 향상 효과를 확인할 수 있었다.
2. 현장실험 결과, 수직관을 사용하여 충전한 경우 모래 충전량이 41.6 ton, 90°관의 경우 모래 충전량이 49.1 ton으로 약 18.0% 증가하였으나, 와이어를 이용하여 토출길이를 2 m 증가시킨 경우는 모래 충전량이 40.6 ton으로 약 5% 감소하여 실용 가능한 이상적인 충전관은 90°관으로 평가되었다. 또한, 90°관을 180°로 회전하여 충전한다고 가정할 경우 모래 충전량은 66.1 ton으로 수직관에 비해 약 58.9%이상 증가하는 것으로 계산되어 충전 효과를 극대화할 수 있을 것으로 기대된다. 한편, 각각의 경우 안

식각은 31.09°, 30.82°, 30.65°로 나타나 선단장치 형태에 따른 지하수위 아래에서의 충전된 모래의 안식각은 거의 변화가 없는 것으로 분석되었다.

3. 충전시공 현장에서 수직관을 이용하여 모래를 주입할 경우 일반적으로 안식각을 40°로 하고 충전공 간격을 5 m에서 최대 10 m 이내로 설계하지만, 본 연구 결과에 따라 90°관을 사용할 경우 안식각을 30°~35°로 적용하면 충전공 간격을 최소 10 m에서 최대 15 m까지 넓힐 수 있어 경제적이고 효율적인 채굴적 충전이 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Kwon, H.H., K.S. Nam, 2007, Mine Reclamation Engineering, Donghwa Technology Publishing Co., pp. 169-171
2. Korea Tungsten Co., 1989, Korea Tungsten Seventy Year History, pp. 209-213.
3. Chang, Y.H. et al., 2001, Increase causes and remedies of Dogye Coal Mine drainage quantity and filling plans of Hansung Coal Mine shafts, Coal Industry Promotion Board (CIPB), pp. 83-108
4. Ma, S.J. et al., 2005, Development of Reinforcement Method and filling for Underground Cavities using the Rock-dust, Korea Institute of Construction Technology (KICT) Research Report, pp. 173-280.
5. Song, W.K. et al., 2007, A study on the permanent treatment method of Sangdong Mine tailings, Mine Reclamation Corporation (MIRECO) Technical Report 2007-48, pp. 137-215.
6. MIRECO, 2010a, Design report for Geumgok Mine ground reinforcement, pp. 94-127.
7. MIRECO, 2010b, Design report for Samsanjeil Mine ground reinforcement, pp. 76-88.
8. MIRECO, 2011, Design (1 region) report for Mugeuk Mine ground reinforcement, pp. 155-164.
9. Cooke, R, 2007, Backfill Pipeline Distribution Systems - Design Methodology Review, MINEFILL 2007, 9th International Symposium on Mining with Backfill, Montreal, QC, Canada.
10. Povin, Y., Thomas, E., Fourie, A., 2005, Handbook on Mine Fill, ACG.



유성곤

1997년 전북대학교 공과대학 자원공학과
학사
1999년 전북대학교 대학원 자원공학과
석사

Tel: 041-901-7922
E-mail: skryu@mireco.or.kr
현재 한국광해관리공단 광해기술연구소
암반공학연구팀 선임연구원



김태혁

1992년 서울대학교 공과대학 자원공학과
학사
1994년 서울대학교 대학원 자원공학과
석사
1999년 서울대학교 대학원 자원공학과
박사

Tel: 041-901-7921
E-mail: shykth@mireco.or.kr
현재 한국광해관리공단 광해기술연구소
암반공학연구팀장



신동춘

1985년 고려대학교 지질학과 학사

Tel: 02-767-5486
E-mail: dcshin@bseng.co.kr
현재 벽산엔지니어링(주) 지반사업부 전문
