

NDC 및 Wide Space 혼합공법을 통한 발파효율 개선 사례연구

노상림^{1)*}, 노승환¹⁾, 이상필¹⁾, 이훈연¹⁾, 이태노²⁾

A Case Study of Combining NDC Blasting Method and Wide Space Blasting Method to Increase Blast Efficiency

Sang-Lim No, Seung-Hwan Noh, Sang-Pil Lee, Hoon-Yeon Lee and Tai-Ro Lee

Abstract This paper introduces the combination of two blasting methods applied to reduce blast-vibration and increase blast efficiency. NDC (New Deck Charge) blasting method using air deck effect with separation tube made of paper was effective to reduce blast-vibration, while blast efficiency was decreased a little in the bottom of a blasthole. Wide Space blasting method has an advantage to control the fragmentation and to increase blast efficiency over conventional blasting methods. In this study new blasting method combining NDC blasting method and Wide Space blasting method was applied to the field, it was confirmed to reduce blast-vibration and increase blast efficiency. It is expected to make useful blasting method to cover the public complaints and to shorten construction time by accumulating blasting data using new method with various conditions.

Key words NDC blasting, Wide space blasting, Blast-vibration, Blast efficiency

초 록 본 연구는 발파 시 발생하는 진동을 저감시키고 발파효율을 증진시키기 위하여 NDC(New Deck Charge) 공법 및 Wide space 공법을 혼합하여 발파를 실시한 사례연구이다. NDC 공법은 종이분리봉을 이용하여 분산장약을 실시하는 공법으로 발파 시 진동은 저감시키나 공저부에서 발파효과가 저감되는 경향을 보인다. Wide Space 공법은 기존의 일반적인 발파공법에 비해 파쇄입도를 조절하고 발파효율을 높이는데 유리한 공법이다. 본 사례 연구에서는 두 가지 공법을 혼합하여 현장 적용성을 검토한 결과, 진동속도가 감소되고 발파효율이 증가하는 결과를 확인하였으며, 향후 다양한 조건에서 발파를 실시하여 자료를 축적한다면 민원저감 및 공기단축에 기여할 수 있는 유용한 발파패턴을 정립할 수 있을 것으로 사료된다.

핵심어 NDC 공법, Wide space 공법, 발파진동, 발파효율

1. 서 론

최근 들어 국도확장, 고속도로건설 등의 대규모 국책사업과 더불어 도심지내 아파트, 고층 건물 신축 등의 부지공사로 인하여 불가피하게 굴착을 위한 발파작업이 증대하고 있다. 또한 발파작업 시 발생하는 진동, 소음 등의 발파공해에 대한 피해보상을 요구하는 민원도 크게 증가하여 공사 현장에서는 공사비 증가와 공기 지연 등의 문제가 빈번히 발생하고 있다. 이에 대한 대책

으로 정밀진동제어발파 또는 암파쇄굴착공법 등의 미진동 및 무진동 공법을 적용하고 있으나 공기가 매우 중요한 공사 현장에서는 현실적으로 적용하는데 많은 어려움이 따른다.

본 사례 연구에서는 두 가지 발파공법을 혼합 적용하여 발파작업 시 발생하는 상기의 문제들을 해결하고자 하였다. 첫 번째 공법은 종이 분리봉을 이용하여 분산장약을 실시하고, 장약밀도를 조정하여 발파진동을 저감시키는 NDC 공법이고, 두 번째 공법은 최소화항선을 줄이고, 공간격을 늘려 발파효율을 증가시키는 Wide space 공법이다. NDC 및 Wide space의 혼합공법을 현장의 노천 발파에 적용하여 진동의 저감 및 발파효율의 향상 효과를 확인하였으며, 본 고에서는 이에 대해 소개하고자 한다.

¹⁾ GS건설(주) 기술본부

²⁾ (주)성보지오택

* 교신저자 : slno@gconst.co.kr

접수일 : 2006년 8월 3일

심사 완료일 : 2006년 10월 12일

2. NDC(New Deck Charge) 공법

NDC 발파공법은 두 가지 원리를 이용한다. 첫째, 화약의 공내 순폭(Sympathetic detonation in hole)을 이용하여 화약과 화약 사이의 거리를 띄움으로써 장약밀도를 조정하는 원리이다. 일반적으로 화약의 순폭상태를 평가하기 위한 순폭도는 일반적으로 모래 위에서 실험하는 사상 순폭시험을 통해 측정하게 되는데, 순폭거리가 보통 화약 직경의 2~4배 정도로 알려져 있다. 그러나 보통 암반에 천공된 공내에서의 순폭도는 밀폐된 공간에서 폭발이 이루어지기 때문에 사상 순폭도보다 10~20배 이상 커진다. 이러한 화약의 순폭도를 이용하여 공내 장약밀도를 조절할 수 있다. 둘째는 Air Deck 효과에 의해 폭약의 전압력을 기존의 발파공법보다 넓게 분포시키는 원리로 암석의 고른 파쇄와 디커플링을 통해 진동 저감 효과를 얻을 수 있다.

발파공 내에서 적정 장약밀도를 유지하고 시공을 용이하게 하기 위해서, 화약과 화약 사이의 공간을 띄우

는 방법으로 종이 분리봉을 개발하였다. 이 분리봉은 종이 재질로 제작되어 비용이 저렴하며, 가벼운 관형(管形)으로 이루어져 있기 때문에 설치가 간편하고 화약간의 간격을 유지할 수 있다. 또한 분리봉의 중심이 빈 공간으로 되어 있기 때문에 폭발압력이 화약에 직접 전달되어 순폭도를 유지할 수 있다. Fig. 1은 종이 분리봉을 이용한 NDC 발파공법의 개념도이다.

본 연구를 통해 개발된 분리봉의 성능과 화약의 순폭상태를 파악하기 위해서 (주)한화화공동으로 인천공장에서 2차에 걸친 순폭시험을 실시하였다. 시험방법은 암반의 천공상태와 유사한 조건으로 맞추기 위해 직경 43 mm, 두께 2 mm인 한쪽이 밀폐된 철판을 사용하였다. 철판 내부에 화약과 종이 분리봉을 Fig. 2와 같이 장약하고, 10회에 걸친 순폭시험을 통해 Table 1과 같이 분리봉의 사양을 설정하였다. 또한 종이 분리봉을 사용하여 화약간 거리가 50 cm일 경우에도 화약이 완전히 순폭되는 것을 확인하였다. Fig. 3은 현장 실험 사진이다.

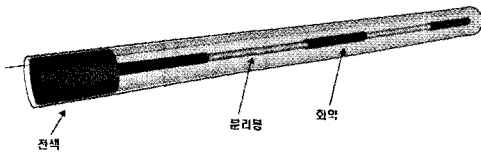


Fig. 1. Concept of NDC blasting method

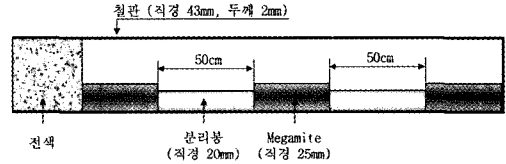


Fig. 2. Layout for sympathetic detonation test using separation tube

Table 1. Specification of separation tube

형 태	재 질	외 경	내 경	내수성
관 형	기름종이	20 mm	19.5 mm	5시간 가능



(a) 현장 Setting



(b) 파손된 철판

Fig. 3. Field view of sympathetic detonation test

3. Wide space 공법

Wide space 공법은 천공간격을 넓히고 반대로 저항선을 작게 함으로써 파쇄버력을 작게 또는 균일하게 하는 발파 공법이다. 일반적인 벤치발파의 경우 천공간격은 저항선 길이의 1.0~1.5배를 취한다. Wide space 공법의 경우, 평면적으로는 1공당 담당하는 파쇄면적은 일반적인 발파공법과 동일하나 최소저항선의 길이에 비해서 천공 간격의 비율을 4~8배로 적용하여 최소저항선의 길이를 매우 짧게 하는 공법이다. 벤치 컷과 같은 주상(柱狀)장약의 경우 폭약이 폭굉하면 폭원 인접구간에 발생하는 반경방향응력은 주로 압축응력으로 작용하고 그에 직각인 접선방향에서는 주로 인장응력이 작용한다. 이때의 인장응력이 암석의 인장강도를 상회하면 그곳에 균열이 발생하여 폭원을 중심으로 방사선 상태의 균열이 발생하게 된다. 그러나 이것은 한공이 발파할 경우의 현상이며, 천공 간격이 좁은 경우에는 두공 사이를 연결하는 직선상의 접선방향의 인장응력이 가장 크게 되며 이것에 따른 균열이 먼저 발생함으로써 주변 응력이 해방되어 폭원사이를 연결하는 절단면으로부터 내부로 향하는 균열이 작게 된다. 반대로 천공 간격이 크게 되면 각각의 폭원에서 발생하는 균열이 방사 상태로 발달하여 내부로 향하여 상당히 많은 균열이 발생하게 된다. 이러한 원리에 의해 Wide space 공법이 일반적인 벤치 발파공법에 비해 파쇄효과를 높일 수 있다.

4. 현장 시험

4.1 현장 개요 및 지질현황

NDC 및 Wide space의 혼합공법에 대한 시험발파를 실시한 현장은 서울의곽순환고속도로 4공구의 의정부방면 중점부로 북한산 국립공원의 경계부에 위치하고 있으며, Fig. 4에서 보는 바와 같이 발파구간 인근(50~100 m)에 보육원 및 사찰 등의 보안물건이 있어 발파시 진동제어가 필요한 현장이다. 본 지역에 분포하는 지질은 선 캄브리아기의 편마암류와 중생대 쥐라기에 이를 관입한 흑운모 화강암으로 대별할 수 있으며, 그 외 암맥류와 층적층 등으로 구분될 수 있다. 시험발파구간의 암질은 서울화강암이 주종을 이루고 있다.

4.2 일반적인 발파공법과 NDC 발파공법의 비교

본 연구에서는 집중장약을 하는 일반적인 발파공법과 분산장약을 하는 NDC발파 공법의 진동을 비교하기 위하여 시험발파를 실시하였으며, 그 결과는 Table 2와 같다. 지발당 장약량은 2.4 kg으로 모두 동일하게 하였고, 발파진동은 40~220 m의 거리에서 같은 조건으로 측정하였으며, 일반발파의 경우 1회, NDC공법의 경우 3회를 실시하였다. 일반발파와 분산장약을 실시한 NDC 발파를 비교한 결과 일반발파에 비하여 NDC 발파의 진동속도가 거리별로 약 18.0~41.4%정도가 감소하였으며, 평균 26.6%정도 감소하였다.

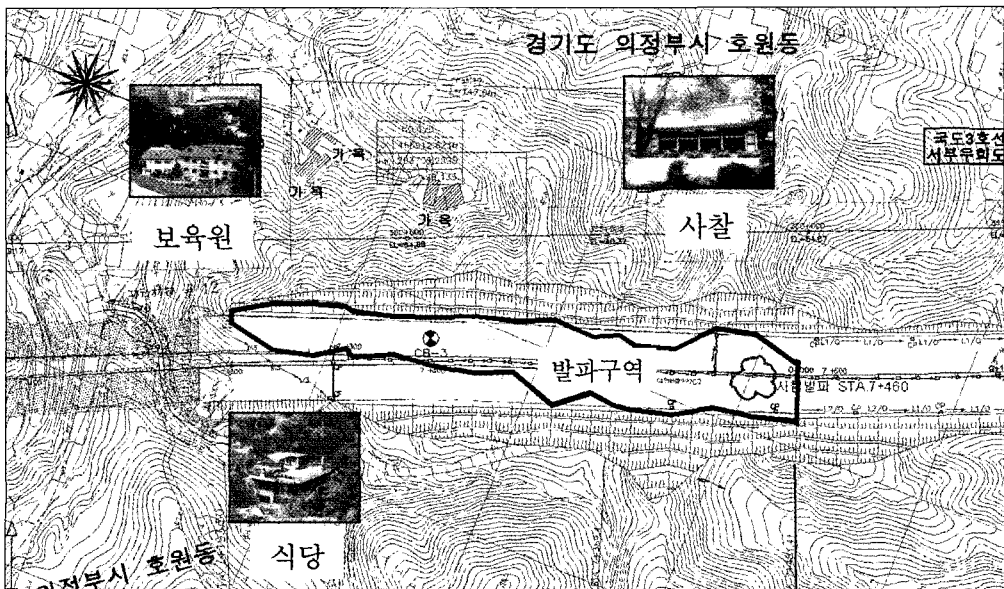


Fig. 4. Location for test blasting

Table 2. Blast-vibration comparison of conventional blasting and NDC blasting

방법	거리 (m)	진동속도 (cm/sec)				진동감소 효과 (%)
		T	V	L	Sum	
일반 발파	40	0.614	0.451	0.311	0.638	-
	60	0.337	0.286	0.230	0.432	
	80	0.195	0.238	0.256	0.333	
	220	0.019	0.019	0.057	0.061	
NDC 발파	40	0.403	0.443	0.306	0.523	22.7
		0.268	0.262	0.211	0.373	
		0.354	0.498	0.36	0.582	
		3회 측정 결과의 평균			0.493	
	60	0.283	0.151	0.189	0.320	41.4
		0.144	0.117	0.151	0.198	
		0.132	0.171	0.171	0.241	
		3회 측정 결과의 평균			0.253	
	80	0.192	0.164	0.138	0.240	24.3
		0.198	0.133	0.083	0.210	
		0.227	0.211	0.103	0.305	
		3회 측정 결과의 평균			0.252	
	220	0.032	0.018	0.041	0.044	18.0
		0.022	0.018	0.056	0.056	
		0.021	0.016	0.046	0.050	
		3회 측정 결과의 평균			0.050	

Table 3. Blast efficiency comparison of conventional blasting and wide space blasting

구 분	일반 벤치발파	Wide Space 발파공법
천공장 (m)	2.0	2.0
굴진장 (m)	1.5~1.8	2.0
발파효율 (%)	75~90	100
파쇄용적 (m ³)	9.21	10.40
비장약량 (kg/m ³)	0.40	0.36
비천공장 (m/m ³)	2.17	1.92

4.3 일반적인 발파공법과 Wide Space 발파공법의 비교

NDC공법이 기존 공법에 비하여 진동속도 저감이라는 점에서는 매우 유리하나, 공저부에 밀장약이 되지 않아 공저부의 암반이 강할 경우 발파효과가 저감될 우려가 있다. 이에 대한 해결책으로 최소저항선을 줄이고, 공간격을 늘리는 Wide space 발파공법의 적용을 검토하였다. NDC 및 Wide space의 혼합공법을 적용하기에 앞서, Wide Space 발파공법과 일반적인 발파공법의 비교를 위한 시험발파를 실시하였고, 그 결과는 Table 3과 같다. 동일한 조건에서의 시험발파 결과, Wide Space 발파공법이 일반적인 발파공법에 비하여 발파효율이 약

10~25% 정도 증가하였다. 또한 Wide space 발파공법이 발파비용에 직접적 영향을 주는 비장약량 및 비천공장이 작아 일반적인 발파공법보다 더욱 경제적임을 확인하였다.

4.4 NDC + Wide space 공법

NDC공법과 Wide space공법의 각각에 대한 효율성을 확인한 후 NDC 및 Wide space의 혼합공법에 대한 검증을 위하여 Table 4 및 Table 5와 같이 발파패턴을 설계하여 동일한 조건하에서 시험발파를 실시하였다. 적용된 발파공법은 NDC 발파공법, Wide space 발파공법, NDC 및 Wide spae 혼합공법의 3가지이며, 각각의

Table 4. Design for test blasting of NDC and Wide space methods

구 분	NDC 발파공법	Wide Space 발파공법	NDC + Wide Space
천공장 (m)	2.7	2.7	2.7
천공경 (mm)	45	45	45
최소저항선 (m)	1.0	0.6	0.6
공간격 (m)	1.2	2.1	2.1
천공수(공)	10	10	10
공당(지발당) 장약량 (kg)	1.0	1.0	1.0
중이 분리봉	사용(30 cm)	미사용	사용(30 cm)
장약 방법	0.5 kg + 분리봉 + 0.25 kg + 분리봉 + 0.25 kg + 전색	1.0 Kg + 전색	0.5 kg + 분리봉 + 0.25 kg + 분리봉 + 0.25 kg + 전색

Table 5. Patterns of each blasting method

발파공법	발파패턴도	사용 화약 및 뇌관
NDC 발파공법		<ul style="list-style-type: none"> • 화약(Emulsion(φ32)) : 10 kg(40EA) • 뇌관(MS1 ~ MS10) : 10EA • 분리봉 : 20EA
Wide Space 발파공법		<ul style="list-style-type: none"> • 화약(Emulsion(φ32)) : 10 kg(40EA) • 뇌관(MS1 ~ MS10) : 10 EA
NDC + Wide Space 발파공법		<ul style="list-style-type: none"> • 화약(Emulsion(φ32)) : 10 kg(40EA) • 뇌관(MS1 ~ MS10) : 10EA • 분리봉 : 20EA

발파공법에 대해서 진동 및 파쇄효율(굴진장/천공장)에 대해 분석하였다. 시험발파 결과 Table 6과 같이 NDC 및 Wide spac 혼합공법은 각 공법의 장점을 모두 반영

하여 발파효율이 증가하고 진동속도가 감소하는 결과를 확인하였다.

Table 6. Results of test blasting

구 분	NDC 공법	Wide Space 공법	NDC + Wide space 공법
천공장 (m)	2.7	2.7	2.7
굴진장 (m)	2.1	2.5	2.5
발파효율 (%)	81	93	93
진동속도 (cm/sec) (50 m 거리 측정값)	0.401	0.502	0.379

5. 결 론

본 사례연구에서는 분산장약을 실시하는 NDC(New Deck Charge) 공법과 최소저항선을 줄이고 공간격을 늘리는 Wide space공법을 혼합 적용하여 발파진동을 저감시키고, 발파효율을 향상시키고자 하였다. 이 연구에서 얻은 결론을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 발파공 내에서 적정 장약밀도를 유지하고 시공을 용이하게 하기 위해서, 화약과 화약 사이의 공간을 띄우는 방법으로 30~40 cm 종이 관형 분리봉을 개발하여 NDC공법에 적용한 결과, 일반적인 발파공법에 비해 NDC발파공법의 발파진동이 거리별로 약 18.0~41.4%정도가 감소하였으며, 평균 26.6%정도 감소하였다.
- 2) Wide space 발파공법은 일반적인 발파공법과 비교하여 발파효율이 약 10~25% 정도 증가하였다.
- 3) NDC 및 Wide space 혼합공법은 각 공법의 장점을

모두 반영하여 발파효율이 증가하고 진동속도가 감소하는 결과를 확인하였다.

- 4) 본 개선사례에서 개발한 NDC공법과 Wide space 혼합공법의 경우 기존의 발파공법에 비해 적은 진동으로 발파효율을 확보하며 굴착이 가능한 공법이기에 때문에 도심지 굴착 혹은 민원이 강하게 제기되는 현장에 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 이태노, 김동현, 서영화, 2002, 터널 굴착면 여굴최소화를 위한 발파압 분류(안) 및 공법 개발 연구, 한국지반공학회, pp. 303~310
2. 윤지선, 최신발파기술, 1992, 최신발파기술, 구미서관, pp. 64~74
3. Gustafsson, R., 1981, Blasting technique, Dynamit nobel wien, pp. 75~76
4. Persson, P., Holmberg, R. and Lee, J., 1994, Rock blasting and explosives engineering, pp. 252~253



노 상 립

1996 인하대학교 공과대학 자원공학과
공학사
1998 인하대학교 공과대학 자원공학과
공학석사
2002 인하대학교 공과대학 자원공학과
공학박사

Tel: 02-2005-9223
E-mail: slno@gsconst.co.kr
현재 GS건설(주) 기술본부 지하공간팀
과장



노 승 환

1999 서울대학교 공과대학 자원공학과
공학사
2004 서울대학교 공과대학 지구환경시
스템공학부 공학석사

Tel: 02-2005-9227
E-mail: shnoh@gsconst.co.kr
현재 GS건설(주) 기술본부 지하공간팀
사원



이 상 필

1988 서울대학교 공과대학 자원공학과
공학사
1990 서울대학교 공과대학 자원공학과
공학석사
2006 서울대학교 공과대학 지구환경시스
템공학부 공학박사

Tel: 02-2005-9220
E-mail: splee@gsconst.co.kr
현재 GS건설(주) 기술본부 지하공간팀
팀장



이 훈 연

1981 연세대학교 공과대학 토목공학과
공학사

Tel: 02-2005-9180
E-mail: hylee@gsconst.co.kr
현재 GS건설(주) 기술본부 토목기술담당



이 태 노

1985 전북대학교 공과대학 자원공학과
공학사
1992 강원대학교 공과대학 자원공학과
공학석사

Tel: 02-2215-9793
E-mail: trlee@sbgeo.co.kr
현재 (주)성보지오텍 대표이사