

이분위 발파에 대한 검토

Review of 4FSB-CUT

두 준 기
Joon-kee Doo
청석엔지니어링

1. 서 론

국내에서 발표되는 새로운 발파이론에 의한 특허기술이 건설신기술로 지정되어 건설공사의 암발파설계에 우선적으로 반영되고 있다. 건설신기술로 지정된 이분위 발파공법에 대하여 신기술지정을 신청한 내용과 발주처에 제출된 이분위발파설계도서 및 한국건설신기술협회에서 발간한 신기술 품셈에 대하여 공법의 메커니즘에 대한 기술적인 문제점과 설계상의 발파패턴 및 공사단가에 대한 적정성 여부를 검토함으로써 부적합한 발파기술이 실제적인 현장시공이 불가함에도 불구하고 국가정책에 반영되어 기술의 맹점을 드러내고, 건설시장의 교란을 방지하는데 그 목적이 있다.

2. 본 론

2.1. 공법에 대한 검토내용

이분위 발파공법에 대하여 공법개발자에 의해 제시된 발파메커니즘과 발주처에 제출된 발파설계도서 및 신기술협회에서 발행한 품셈에 대하여

- 1) 발파메커니즘의 매개공 및 1,2차 확장공의 기술적인 이론.
- 2) 발파설계도서의 발파패턴도 및 제원의 적정성여부.
- 3) 공사단가의 구성 및 산출내용 등을 검토하고자 한다.

2.2. 발파메커니즘

이분위 발파공법은 매개공과 1차 확장공에 의해서 완전한 자유면을 형성시켜 4개의 자유면을 이용하여 2차 확장공의 발파가 이루어져 발파효과가 양호하고 진동제어가 가능하다고 하였으나 매개공에 의해 형성된 균열은 자유면으로 역할을 할 수 없다.

이분위 발파의 설계도서에 의하면 매개공에 장전된 폭약량이 발파유형별로 미진동은 0.25kg, 편절형은 0.5kg, 리퍼병행은 0.625kg, 크롤라드릴은 3.0kg로 상이하나 모든 매개공에 장전되는 폭약량에 의해 발생되어지는 균열반경에 (미진동 0.523m, 편절암 0.723m, 리퍼병행 0.803m, 크롤라드릴 1.669m) 비하여 인접공과의 거리(미진동 1.417m, 편절암 1.9m, 리퍼병행 2.2m, 크롤라드릴 2.5m이상)가 약 2배 이상 되어 균열권 외부에는 원지반이 잔존하고 있는 상태이므로 자유면으로서의 역할을 할 수 없다.

발파매개공에 의해 형성된 공간이나 균열이 적정한 자유면의 역할을 하지 못하면 1차 확장공의 발파효과는 전혀 이루어 질 수 없다. 발파매개공에 의해 확실한 공간을 갖는 자유면이 형성되지 않은 상태의 느슨한 암반에서 1차 확장공의 발파가 진행된다면 원자유면 방향으로 매개공과 1차 확장공의 최소저항선거리가 같은 동일한 자유면을 이용하여 발파가 진행되고 매개공 방향으로 자유면방향에 비하여 최소저항선 거리가 길고 남아있는 원지반의 저항에 의해 발파효과가 낮

아지므로 1차 확장공의 폭발력은 완전한 자유면으로 개방되어있는 방향으로 폭력의 집중현상이 발생되어 원래의 자유면 방향으로 파쇄가 집중되어 일어나게 된다.

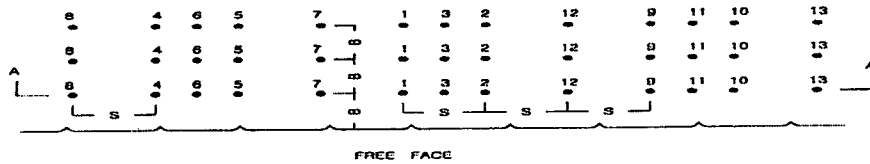
발파방법별로 지발당 장약량이 같은 경우에도 "K"값에 의해 발파진동의 크기가 상이하게 발생될 수 있으며 발파진동의 크기를 결정하는 요소는 여러 가지로 다양하게 나타난다. 동일조건에서 자유면의 수가 증가하면 필연적으로 발파진동이 감소될 수 있으나 지발당 장약량과 자유면의 수가 모두 증가하는 경우 특히 최소저항선거리가 서로 다른 자유면에서 자유면의 수와 지발당장약량에 따른 발파진동의 크기에 대한 상관관계를 규명하지 않고 지발당 장약량이 증가해도 자유면의 수가 증가하면 발파진동이 감소한다는 주장은 이해할 수 없다.

2.3. 발파패턴도 및 제원

이분위발파설계패턴은 설계된 내용에 의하여 현장시공이 불가능한 발파공법이다. 이분위발파설계의 패턴은 미진동, 편절형, 리퍼병행, 크롤라드릴의 4가지로 구분하였으며 각각의 발파패턴에 대한 공배열은 같고 천공장 및 장약량을 조정하여 발파를 설계하였다.

암발파 설계는 천공장과 장약장, 전색장을 일정한 기준에 의하여 설계해야 정상적인 발파가 가능하게 된다.

(1) 천공 패턴도

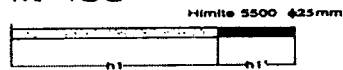


(2) A-A' 단면도



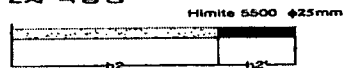
(3) 장약 상세도

1차 확장공



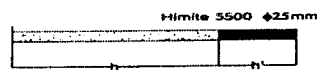
• h1 및 h1'의 경우는 장약량표를 참조하여 현장여건에 맞게 조정하도록 한다.

2차 확장공

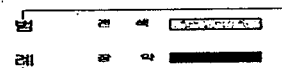


• h2 및 h2'의 경우는 장약량표를 참조하여 현장여건에 맞게 조정하도록 한다.

발파매개공



• h 및 h'의 경우는 장약량표를 참조하여 현장여건에 맞게 조정하도록 한다.



편절암발파의 2차 확장공의 천공장/장약장/전색장은 1,800/1,744/56이고 리퍼병행의 2차 확장공의 천공장/장약장/전색장은 1,800/2,792.8/-292.8로서 장약장이 너무 길고 전색장이 지나치게 적어 폭약의 낭비와 소음발생이 심하여 부적합한 발파설계가 이루어졌으며 리퍼병행의 2차 확장공은 천공장 밖으로 292.8mm 폭약이 노출된 상태에서 발파가 행해지

는 기형적인 설계가 이루어져 정상적인 발파가 불가능하다. 또한 이분위발파와 일반발파의 공당(뇌관1개당)장약량을 대비하면 미진동 발파는 0.8배로 적게 설계하고 편절암, 리퍼병행, 크롤라드릴발파는 1.8~3.9배의 지나치게 많은 기형적인 설계를 하였다. 이분위 발파의 발파패턴과 장약 및 전색장 대비는 다음과 같다.

(4) 발파패턴 제원

1) 미진동발파

구	분	연 압	보 통 압	경 압	비 고
천 공 수	발파 매개공	6공	6공	6공	총 13공 (1열기준)
	1차 확장공	3공	3공	3공	
	2차 확장공	4공	4공	4공	
공당 장약량	발파 매개공	0.250kg	0.250kg	0.250kg	
	1차 확장공	0.375kg	0.375kg	0.375kg	
	2차 확장공	0.500kg	0.500kg	0.500kg	
천공경(Ø) 및 천공장(H)		Ø38mm,1.6m	Ø38mm,1.6m	Ø38mm,1.4m	레그드릴기준
최소 저항선(B)		0.820m	0.790m	0.750m	
공 간격(S)		1.549~1.913m	1.492~1.843m	1.417~1.750m	
1회 발파시 총폭약량		2.250kg	2.250kg	2.250kg	
1회 발파시 암파쇄량		7.268m ³	6.746m ³	5.320m ³	
비 장약량		0.310kg/m ³	0.334kg/m ³	0.423kg/m ³	
사용뇌관 및 폭약		Himite5500,25mm MS뇌관	Himite5500,25mm MS뇌관	Himite5500,25mm MS뇌관	125 g/ea 218mm/ea
비 뇌관수		0.963개/m ³	1.038개/m ³	1.316개/m ³	

2) 편절형

구	분	연 압	보 통 압	경 압	비 고
천 공 수	발파 매개공	6공	6공	6공	총 13공 (1열기준)
	1차 확장공	3공	3공	3공	
	2차 확장공	4공	4공	4공	
공당 장약량	발파 매개공	0.500kg	0.500kg	0.500kg	
	1차 확장공	0.750kg	0.750kg	0.750kg	
	2차 확장공	1.000kg	1.000kg	1.000kg	
천공경(Ø) 및 천공장(H)		Ø38mm,1.8m	Ø38mm,1.8m	Ø38mm,1.8m	레그드릴기준
최소 저항선(B)		1.150m	1.100m	0.950m	
공 간격(S)		2.3~3.4m	2.2~3.3m	1.9~2.85m	
1회 발파시 총폭약량		4.500kg	4.500kg	4.500kg	
1회 발파시 암파쇄량		18.473m ³	16.901m ³	12.606m ³	

비 장약량	0.244kg/m'	0.266kg/m'	0.357kg/m'	
사용뇌관 및 폭약	Himite5500,25mm MS뇌관	Himite5500,25mm MS뇌관	Himite5500,25mm MS뇌관	125 g/ea 218mm/ea
비 뇌관수	0.379개/m'	0.414개/m'	0.555개/m'	

3) 리퍼병행

구 분		연 압	보 통 압	경 압	비 고
천 공 수	발파 매개공	6공	6공	6공	총 13공 (1열기준)
	1차 확장공	3공	3공	3공	
	2차 확장공	4공	4공	4공	
공당 장약량	발파 매개공	0.625kg	0.625kg	0.625kg	
	1차 확장공	0.875kg	0.875kg	0.875kg	
	2차 확장공	1.200kg	1.200kg	1.200kg	
천공경(Ø) 및 천공장(H)		Ø38mm,1.8m	Ø38mm,1.8m	Ø38mm,1.8m	레그드릴기준
최소 저항선(B)		1.300m	1.250m	1.000m	
공 간격(S)		2.6~3.9m	2.5~3.7m	2.2~3.3m	
1회 발파시 총폭약량		5.450kg	5.450kg	5.450kg	
1회 발파시 암파쇄량		24.336m'	22.500m'	17.424m'	
비 장약량		0.224kg/m'	0.242kg/m'	0.313kg/m'	
사용뇌관 및 폭약		Himite5500,25mm MS뇌관	Himite5500,25mm MS뇌관	Himite5500,25mm MS뇌관	125 g/ea 218mm/ea
비 뇌관수		0.288개/m'	0.311개/m'	0.402개/m'	

4) 크롤라 드릴

구 분		연 압	보 통 압	경 압	비 고
천 공 수	발파 매개공	6공	6공	6공	총 13공 (1열기준)
	1차 확장공	3공	3공	3공	
	2차 확장공	4공	4공	4공	
공당 장약량	발파 매개공	3.000kg	3.000kg	3.000kg	
	1차 확장공	4.000kg	4.000kg	4.000kg	
	2차 확장공	6.000kg	6.000kg	6.000kg	
천공경(Ø) 및 천공장(H)		Ø76mm,5.5m	Ø76mm,5.5m	Ø76mm,5.5m	크롤라드릴 기준
최소 저항선(B)		1.600m	1.400m	1.250m	
공 간격(S)		3.2~4.8m	2.8~4.2m	2.5~3.75m	

1회 발파시 총폭약량	26.000kg	26.000kg	26.000kg	
1회 발파시 암파쇄량	109.261m'	83.653m'	66.688m'	
비 장약량	0.238kg/m'	0.311kg/m'	0.390kg/m'	
사용뇌관 및 폭약	Himite5500,50mm MS뇌관	Himite5500,50mm MS뇌관	Himite5500,50mm MS뇌관	1000g/ea 400mm/ea
비 뇌관수	0.064개/m'	0.084개/m'	0.105개/m'	

5) 경암기준 천공장과 장약장 전색장 대비표(Himite 5500 기준)

구 분		천공장 (mm)	장약장 (hmm)	전색장 (hmm)	공당장약량(kg/ea)		비 고
					원가계산	설계도면	
미진동	이분위	매개공	1,400	436	964	0.321	0.250
		1차확장공	1,400	654	746		0.375
		2차확장공	1,400	872	528		0.500
	일 반		1,100	699.3	400.7	0.401	
편절암	이분위	매개공	1,800	872	928	0.643	0.500
		1차확장공	1,800	1,308	492		0.750
		2차확장공	1,800	1,744	56		1.000 ●전색장
	일 반		1,100	348.8	751.2	0.200	
리퍼 병행	이분위	매개공	1,800	1,090	710	0.777	0.625
		1차확장공	1,800	1,526	274		0.875
		2차확장공	1,800	2,092.8	-292.8		1.200 ●노출된 폭약장
	일 반		1,100	348.2	751.8	0.199	
크롤라 드릴	이분위	매개공	5,500	1,500	4,000	3.726	3.000
		1차확장공	5,500	2,000	3,500		4.000
		2차확장공	5,500	3,000	2,500		6.000
	일 반		3,000	1,000	2,000	2.000	

2.4. 이분위발파의 단가대비

이분위발파공법의 공사단가는 미진동발파는 높은 가격으로 형성되어있고 편절암, 리퍼병행, 크롤라드릴의 단가는 낮은 가격을 형성함으로써 일반적인 발파에 비하여 전체 평균 공사단가가 낮게 산출되었다. 일반발파에 비하여 공사단가가 낮은 편절암, 리퍼병행, 크롤라드릴의 원가구성에 있어서 천공장대 장약장 및 전색장을 비교 분석한 결과에 의하면 현장시험발파에 의하여 산출된 값을 단

가에 반영하지 않고 시공성과는 무관하게 천공비용과 폭약량 등을 임의로 산출하여 단가를 결정한 것으로 판단된다.

원가대비표

(단위 : 원/m³)

구 분	일반 발파	이분위 발파	증 감	비 고
미진동	27,454	31,830	△4,376	
편질압	22,704	18,728	+3,976	
리퍼 병행	18,845	17,476	+1,369	
크롤러 드릴	10,046	8,337	+1,709	
평 균	19,762.25	19,092.75	+669.5	

(미진동발파)

(단위 : 원/m³)

구 분 공 증	일반 발파공법		이분위 발파공법		증감
	적용근거	금액	적용근거	금액	
1. 암 발 파	• 암 발 파(50%) • 폭 약 : 0.225Kg	2,805	• 암발파(100%) • 폭 약 : 0.355Kg	1,354	+1,451
2. 노 무 비	• 화 약 공 : 0.070인 • 보통인부 : 0.160인 • 착 암 공 : 0.151인	10,507	• 화 약 공 : 0.123인 • 보통인부 : 0.184인 • 착 암 공 : 0.092인	19,904	△9,397
3. 기계 사용료					
1) 종 기 사 용 료	• 크롤러드릴(17m ³ /min) • 0.151hr	2,161	• 래그햄머(2,7m ³ /min) • 0.553hr	336	+1,825
2) 공기 압축기 (17m ³ /min)	0.166hr	2,662	0.184hr	4,688	△2,026
3)호 스 (3/4")	0.151hr	4	0.553hr	27	△ 23
4. 암 굴 착 (50%)	• 백호우 0.7m ³ +대형 브레이카 • Q=3.57m ³ /hr	7,732	-	-	+7,732
5. 집 토(도자 32TON)	1,583				-
6.소 할(15%적용)		-		3,938	△3,938
계		27,454		31,830	△4,376

(편 질 암)

(단위 : 원/m³)

구 분 공 종	일 반 발 파 공 법		이 분 위 발 파 공 법		증 감
	적 용 근 거	금 액	적 용 근 거	금 액	
1. 짝 기	• (연암+보통암+경암)/3 • 폭 약 : 0.160Kg	14,247	• (연암+보통암+경암)/3 • 폭 약 : 0.289Kg	10,737	+3,510
2. 공기 압축기 (10.3m ³)	(0.064+0.096+0.161)/3 = 0.127hr	2,726	(0.061+0.075+0.135)/3 = 0.090hr	2,293	+ 433
3. 착 암 기 (레그햄 2.7m ³)	(0.192+0.288+0.483)/3 = 0.321hr	195	(0.182+0.266+0.404)/3 = 0.270hr	164	+ 31
4. 에어 호 스 (3/4")	"	15	"	13	+ 2
5. 집 토 (도자32TON)	1,583				-
6. 소 할 (30%적용)	3,938				-
계		22,704		18,728	+3,976

(리 퍼 병 행)

(단위 : 원/m³)

구 분 공 종	일 반 발 파 공 법		이 분 위 발 파 공 법		증 감
	적 용 근 거	금 액	적 용 근 거	금 액	
1. 짝 기	• (연암+보통암+경암)/3 • 폭 약 : 0.113Kg	9,976	• (연암+보통암+경암)/3 • 폭 약 : 0.259Kg	7,879	+2,097
2. 공기 압축기 (10.3m ³)	(0.0416+0.0672+0.1207)/3 = 0.0765hr	1,949	(0.046+0.057+0.097)/3 = 0.0661hr	1,682	+ 267
3. 착 암 기 (레그햄 2.7m ³)	(0.1248+0.2016+0.3623)/3 = 0.229hr	139	(0.139+0.170+0.292)/3 = 0.200hr	121	+ 18
4. 에어 호 스(3/4")	"	11	"	10	+ 1
5. 리 퍼 도 자 (32TON)	0.016hr	1,249	0.029hr	2,263	△1,014
6. 집 토 (도자32TON)	1,583				-
7. 소 할(30% 적용)	3,938				-
계		18,845		17,476	+1,369

(크롤러 드릴)

구분 공종	일반 발파공법		이분위 발파공법		증감
	적용 근거	금액	적용 근거	금액	
1. 절 취	• (연암+보통암+경암)/3 • 폭 약 : 0.160Kg	3,236	• (연암+보통암+경암)/3 • 폭 약 : 0.313Kg	2,476	+ 760
2. 기계 사용료					
1) 크롤러 드릴 (17m ³ /min)	0.051hr	1,460	0.038hr	1,088	+ 372
2) 공기 압축기 (17m ³ /min)	0.056hr	1,796	"	1,219	+ 577
3) 호스 (3/4")	"	2	"	2	-
3. 집토 (도자32TON)		1,583			-
4. 소할 (15%적용)		1,969			-
계		10,046		8,337	+1,709

3. 결론

이분위 발파공법은 발파원리와 메커니즘에 대한 이론정립에 있어서 발파현상에 대한 기술적인 검증보다는 발파진동계측결과를 데이터 처리하여 발파공의 지발당장약량이 일정량 증가해도 매개공과 1차 확장공, 2차 확장공 등이 차례로 발파가 진행되면서 암반이 이완되면 자유면의 수가 증가되어 발파공에 대한 구속력이 약화되어짐으로써 발파진동의 제어가 가능한 발파공법이고 이러한 현상을 이분위 발파공법의 메커니즘이라고 설명하고 있다. 그러나 이와 같은 이론의 전개는 다분히 주관적인 해석에 의해 도출되어진 결과라 할 수 있다.

이분위 발파공법의 메커니즘을 제시함에 있어서

1) 매개공의 공당장약량에 따른 발파공 주변의 균열영역을 검토하지 않았고,

2) 매개공에 의해 발생된 균열이나 파쇄면이 자유면으로서 적절한 것인가의 여부를 기술적으로 검토하지 않았으며,

3) 새롭게 형성된 자유면이 자유면의 수에 의한 진동저감효과가 발생할 수 있도록 발파가 진행되기 위해서는 여러 개의 자유면에 대한 각각의 최소저항선거리가 어떤 값을 유지해야 진동저감효과가 유효한가를 수치로 제시하지 않음으로써 공법에 대한 객관성이 결여되어 있다.

새로운 발파공법의 발파이론이나 메커니즘이 합리적으로 잘 정립되어있는 경우라 할지라도 시공이 불가능한 경우에는 실용성이 없으므로 공법으로 인정하지 않는다. 이분위발

파공법은 개발자에 의해 제시된 발파설계도면과 품셈의 내용에 의해 정상적인 발파시공이 불가능한 상태이므로 정상적인 발파공법으로서 인정할 수 없음에도 불구하고 건설 신기술로 지정된 것은 심히 유감스러운 일이라 할 수 있다.

참 고 문 헌

1. 강대우, 심동수 편저, 1996. 건설기술자를 위한 응용발파기술. p188~189.
2. 김재극 저. 1986, 산업화학파발파공학. p163~165.
3. 윤영재 외, 1997, 신기술지정신청서, 이분위 소발파공법.
4. 사단법인 한국건설신기술협회. 2000, 건설교통부감수 건설공사표준품셈.
5. 홍천-인제간 국도확장 암발파 설계, 1999.
6. 남서울 진입도로 개설공사에 따른 발파공해(소음,진동)영향평가 및 발파설계보고서, 2000.