

## 펄스파워 확공형 앵커용 그라우트 연구

### A Study of Cement Grout for Pulse Powered Underreamed Anchors

강금식<sup>1)</sup>, Kum-Sik Kang, 김재형<sup>1)</sup>, Jae-Hyung Kim, 조규연<sup>1)</sup>, Gyu-Yeon Cho,  
김태훈<sup>2)</sup>, Tae-Hoon Kim, 김선주<sup>2)</sup>, Sun-Ju Kim

<sup>1)</sup> (주)세원리타 연구원, Research Engineer, SEWON RITA CO.,LTD

<sup>2)</sup> 대우건설기술연구소 연구원, Research Engineer, Daewoo Research Institute of Technology

**SYNOPSIS** : The pulse powered anchor is a way to increase the capacity of ground anchor. The pulse powered anchor is an underreamed anchor by using high voltage electrokinetic pulse energy. In this study, property of cement grout for pulse powered underreamed anchor have been carried out. This study is what is the cement grout of pulse powered, for minimize seperation or sweep of cement grout when the soil layer is saturated with water.

## 1. 서론

앵커는 지반과 구조물을 하나로 묶는 역할을 담당하며 다양한 방법의 시공법이 개발되어 적용되고 있다. 그 중 2006년 11월 신기술 512호로 지정된 펄스를 이용한 현장타설 말뚝공법의 펄스방전기술(PDT: Pulse Discharge Technology)을 앵커에 적용한 확공형 앵커 공법을 개발하기 위한 연구가 현재 국책연구로 진행중이다. 이 공법에서의 핵심은 정착부에서의 펄스파워를 이용한 확공이며 그 확공의 정도는 지지력 결정에 큰 요인이 된다. 하지만 천공홀 내부의 변화를 직접적으로 확인하기는 사실상 불가능하므로 확공량을 간접적으로 확인하는 수단이 요구된다. 그 수단의 일환으로 확공이 얼마나 이루어졌는지를 현장에서 가장 빠르게 가늠할 수 있는 방법은 천공홀 내부에 충전된 그라우트가 펄스방전에 의해 하강되는 깊이이다. 펄스방전으로 인하여 발생한 압력이 천공홀 내부를 확공시키고 그 확공된 부피에 시멘트 그라우트가 채워지며 구근을 형성시킨다. 이에 따라 천공홀 내부의 그라우트는 생성된 구근의 부피만큼 깊이가 하강하게 되는 것이다. 하지만 연구를 진행함에 따라 형성된 구근의 부피만큼만 시멘트 그라우트의 하강이 이루어지지 않고, 지중에 지하수가 포화상태 일 때는 시멘트의 희석으로 일부 유실되고 일탈된다는 것을 알 수 있었다. 본 연구는 시멘트 그라우트의 하강 깊이에 의한 확공량 산정의 신뢰도를 향상시키기 위하여 지층하부에 지하수가 포화상태이고 유속이 있을 경우를 대비하여 시멘트 희석을 억제하여 유실 및 일탈이 최소화될 수 있도록 하는 펄스방전용 시멘트 그라우트에 관한 것이다.

## 2. 펄스방전확공의 이해

### 2.1 펄스방전 확공

펄스전기에너지를 이용하는 펄스장치는 1차 전원, 전기에너지 저장장치, 스위치 및 부하로 구성 된다. 1차 전원으로서 상용전원 또는 디젤 발전기와 같은 독립전원을 사용할 수 있다.

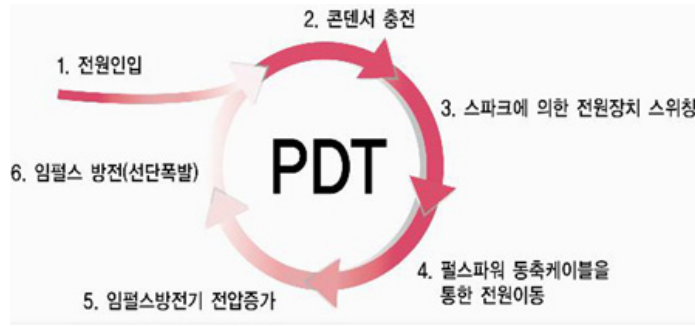


그림 1

(그림 1)에서 방전스위치 작동과 동시에 콘덴서에 축적된 고전압이 그라우트 내에 들어있는 임펄스방전 장치의 양전극에 인가된다. 전압인가 후 전기 방전이 시작되고 임펄스방전장치 주위에는 작은 공간(버블)이 형성된다. 이 버블은 내부의 높은 온도와 압력에 의해 수백  $\mu\text{sec}$ 의 빠른 속도로 그 공간이 확장되어지며 이때 충격파로 변환된다. 이때 형성되는 충격파는 유체역학적 작용을 하여 그라우트를 통해 지반으로 전해지게 된다. 그라우트를 매질로 하는 지반에 충격파가 전달되면 지반과 그라우트의 임피던스가 현저히 다르기 때문에 이 경계면에서는 반사가 일어나게 되고 이 반사에 의해 충격파가 닿은 면에 있는 지반은 순간적으로 압축되고 곧 팽창되기 때문에 부분적인 지반 다짐 현상이 일어나게 된다. 그와 동시에 이미 팽창된 공간(버블) 내부의 압력이 주위 매질 즉 그라우트의 압력보다 낮아지게 되어 공간이 줄어들고 그라우트로 채워지게 된다.

## 2.2 그라우트의 하강 깊이와 확공량과의 관계

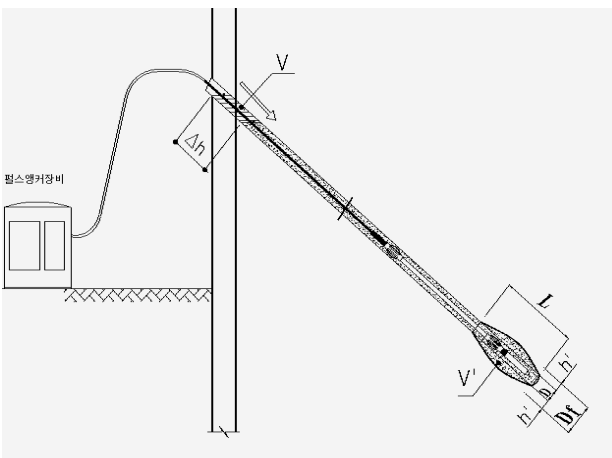


그림 2. 시공 단면도

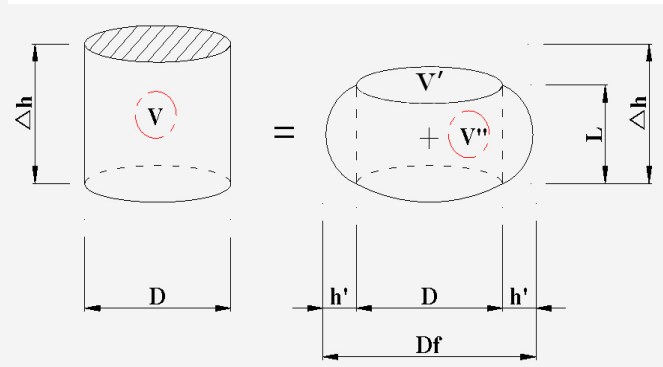


그림 3. 그라우트 하강 깊이와 확공량과의 비교도

다른 원인에 의한 그라우트의 유실 및 이탈이 발생되지 않는다면 펄스 방전으로 인하여 지반이 확공된 부피( $V''$ )에 채워진 그라우트의 양은 천공홀 상부에 가득 차있던 그라우트가 하강한 만큼의 부피( $V$ )의 그라우트 량과 같아진다. 그림 3과 그림 4의 그라우트 하강 깊이  $\Delta h$ 를 측정하여  $V$ 와  $V''$ 를 구하는 과정은 다음과 같다.((주)세원리타; 지에스이앤씨(주); (주)대우건설 (2006))

$$\text{확공후 직경}(D_f) = \sqrt{D^2 + 4 \cdot (0.19 \cdot D^2 \cdot \Delta h)^{2/3}} \quad (1)$$

표1. 확공후 직경( $D_f$ )

천공직경(D) 몰탈 하강깊이( $\Delta h$ )	$\Phi 100$	$\Phi 120$	$\Phi 150$
200mm	176mm	203mm	242mm
300mm	194mm	222mm	264mm
400mm	208mm	238mm	282mm
500mm	220mm	252mm	298mm
600mm	232mm	265mm	312mm
700mm	242mm	276mm	325mm
800mm	251mm	286mm	336mm

하강된 그라우트의 부피( $V$ ) = 확공된 부분에 채워진 그라우트의 부피( $V''$ )

$$\pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot \Delta h = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot \left(\frac{D_f}{2}\right)^2 \cdot \left(\frac{L}{2}\right) - \pi \cdot d^2 \cdot \frac{L}{4}$$

$$L = \frac{3 \cdot D^2 \cdot \Delta h}{2 \cdot D_f^2 - 3 \cdot D^2} \quad (2)$$

표2. 확공된 높이(L)

천공직경(D) 몰탈 하강깊이( $\Delta h$ )	$\Phi 100$	$\Phi 120$	$\Phi 150$
200mm	190mm	220mm	270mm
300mm	200mm	230mm	280mm
400mm	210mm	250mm	290mm
500mm	220mm	260mm	310mm
600mm	230mm	270mm	320mm
700mm	240mm	280mm	330mm
800mm	250mm	290mm	340mm

(표 1)과 (표 2)에 나온 값을 이용하여 이론적인 확공량을 가늠 할 수 있다.

### 3. 시험 개요

#### 3.1 사용재료

시멘트는 국내 H사의 제 1종 보통 포틀랜드 시멘트(KS L 5201)를 사용하였다. 본 연구에서 사용되는 혼화재료는 모두 H사 제품으로 수중불분리성 혼화제, 고유동화제 및 소포제이다. 수중불분리성 혼화제는 메틸셀룰로오스계로서 강한 점착 효과에 의하여 수중자유낙하나 유동과정에서 재료분리가 억제되는 성질이 있으며, 이는 수중에서도 안정된 강도를 발현하여 신뢰할 수 있는 콘크리트를 제작할 수 있도록 해준다. 주성분은 메틸 셀룰로오스이고 성상은 백색 미분말이며 표준 사용량은  $1.5 \sim 2.5 \text{kg/m}^3$ 이다. 고유동화제는 멜라민계 고유동화제(poly mellamin sulfor formalin condensate)이고 성상은 백색 미분말이다. 그라우트를 제조함에 있어 그라우트에 유동성을 부여할 목적으로 사용된다.

#### 3.2 실험 파라미터

혼화제와 시멘트와의 혼합비에 따른 수중에서 그라우트의 물성 변화를 확인하기 위하여 물-시멘트비

(W/C)는 50%로 고정하였으며, 수중불분리성 혼화제, 유동화제 첨가량을 변화시켜 가며 실험을 수행하였다. 이 때 수중불분리성 혼화제와 유동화제의 혼합비는 1:1을 유지하였다.

표 3. 혼화재료의 규격사항

종류	제품명	판매/제조회사	표준사용량	주성분	성상
수중불분리성 혼화제	PMC50US	H사	1.5~2.5kg/m <sup>3</sup>	메틸 셀룰로오스	백색 미분말
고유동화제	Mel-ment	H사	-	멜라민계	백색 미분말

### 3.3 실험항목 및 측정방법

#### 3.3.2 그라우트의 희석 반응 시험

500ml의 메스실린더에 물을 채우고 혼화제의 첨가비율을 시멘트와의 중량비 0.1~0.3%까지 0.1%단위로 그라우트를 제작하여 일반 시멘트 그라우트와의 수중에서의 희석 정도를 육안으로 확인하였다. 이 때의 물-시멘트비(W/C)는 50%로 유지하였다.

#### 3.3.1 압축강도 측정용 공시체 제작

5×5×5cm의 큐빅형 몰드에 각각 펄스방전용 그라우트와 일반 시멘트 그라우트를 가만히 낙하시켜 몰드에 충전하였다. 몰드의 내벽과 그라우트의 경계면으로부터 누수가 없음을 확인한 후 윗면을 평평하게 한 후 수분 증발 방지를 위하여 비닐로 덮은 후 탈형 강도가 발현될 때까지 정치해 두었다. 그동안 계속 수분을 공급하여 표면이 마르는 경우가 없도록 하였고, 탈형 강도에 이를 때 탈형한 후 수온 20±3℃의 수조에 넣고 양생을 실시하였다.

#### 3.3.3 그라우트 압축강도 시험

압축강도 시험은 재령 7일에 일반 시멘트 그라우트와 펄스방전용 그라우트 각 3개의 공시체를 기본으로 실시하였다.

## 4. 실험결과 및 고찰

### 4.1 그라우트의 희석 반응 시험

표 4. 일반 시멘트 그라우트와 펄스방전용 그라우트와의 희석 반응 비교

구분 W/C	일반 그라우트	펄스방전용 그라우트		
		시멘트의 0.1%	시멘트의 0.2%	시멘트의 0.3%
50%				
비고				시멘트 희석 억제 효과 발현

물-시멘트비(W/C)는 50%로 고정시키고 혼화제를 각각 시멘트의 중량비 0.1, 0.2, 0.3%를 첨가한 펄스방전용 그라우트 간의 희석 억제 반응 정도를 육안으로 확인하고 이를 일반 시멘트 그라우트와 비교해 보았다.

(표 4)에서 혼화제 첨가율 0.2%까지는 일반 시멘트 그라우트와 별반 차이가 없이 수중에서 바로 희석이 되는 모습을 보이지만 혼화제 첨가율 0.3%에서는 희석이 억제되어 수중에서 시멘트 그라우트가 바로 침강하는 형태임을 확인할 수 있다.

## 4.2 그라우트 압축강도 시험

그라우트에 혼화제를 첨가함으로써 가장 우려되는 점은 압축강도의 저하이다. 따라서 본 그라우트의 연구에서 혼화제를 첨가함으로써 기존 일반 시멘트 그라우트에 비하여 강도저하의 여부에 대해서 확인해 보았다. 펄스방전용 그라우트와 일반 시멘트 그라우트 채령은 7일이고 각 3개의 공시체를 사용하였다.

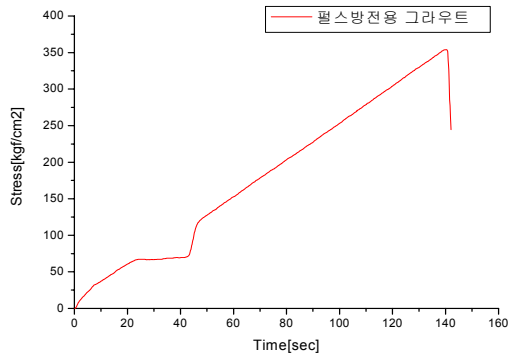


그림 8. 펄스방전용 그라우트 압축강도

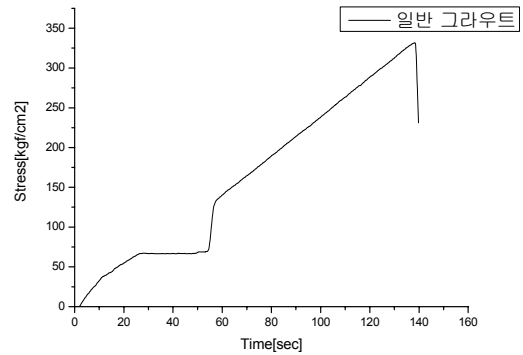


그림 9. 일반 시멘트 그라우트 압축강도

그림 8과 그림 9에는 각각 3개의 공시체의 평균 압축강도를 보여준다. 펄스방전용 그라우트의 평균 압축강도는  $350\text{kgf/cm}^2$ 가 조금 넘는 값이 나타나며, 일반 시멘트 그라우트의 평균 압축강도는  $350\text{kgf/cm}^2$ 에 조금 못 미치는 값을 나타낸다. 따라서 혼화제를 첨가로 인한 압축강도의 저하는 발생하지 않는다.

## 5. 결론

본 연구에서는 펄스방전에 의한 확공형 앵커공법용 그라우트에 관한 연구로써, 시멘트 그라우트의 하강 깊이에 의한 확공량 산정의 신뢰도를 향상시키기 위하여 지하수 및 지중의 다량의 수분에 의한 희석을 억제하여 유실 및 이탈이 최소화 된 펄스방전용 시멘트 그라우트를 개발하기 위하여 메틸 셀룰로오스와 고유동화제를 첨가한 시멘트 그라우트에 관한 시험을 수행하여 데이터를 분석하였으며, 그로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 혼화제 첨가량이 많을수록 희석 억제 효과는 양호하나, 그라우트가 고가로 경제성이 떨어진다.
2. W/C비 50%, 혼화제 첨가량을 시멘트의 0.3% 중량비로 혼합하였을 경우 가장 경제적이며 희석 억제 효과가 양호한 것으로 판단 된다.
3. 혼화제의 첨가로 인한 압축강도의 저하는 발생되지 않는다.
4. 펄스방전 확공형 앵커공법용 그라우트의 배합표는 다음과 같다.

표 5. 배합표

(1m<sup>3</sup>당)

구분	시멘트	물	메틸 셀룰로오스	고유동화제	물-시멘트비 (W/C)
중량배합	1224(kg)	612(kg)	1.85(kg)	1.85(kg)	50%
용적배합	388ℓ	612ℓ	-	-	-

## 감사의 글

본 연구는 건설교통기술연구개발사업 건설핵심기술연구개발사업 자유공모과제(C106A1000012-06A06001211)의 연구지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. (주)세원리타, 지에스이앤씨(주), (주)대우건설 (2006), “펄스방전기술과 강성체 철근망 및 고강도 모르타르를 사용한 소구경 현장타설 말뚝공법”.(신기술 지정 제 512 호)
2. 윤수동, 신병우(2007), “인발력 증대를 위한 앵커 정착부 확공장치 연구” , 한국구조물 진단학회 2007년도 봄 학술발표 논문집, pp305-310
3. 진치섭, 엄장섭, 박현재, 윤재환 (2001), “셀룰로오스계 혼화제를 사용한 수중불분리성 콘크리트의 최적 배합”, 부산대학교 생산기술연구소논문집, 제60집, pp. 7~16
4. 강수웅 (1997), “셀룰로오스계 혼화제 사용 수중불분리성 콘크리트 특성연구”, 공학박사 학위논문, 국민대학교