

GUIDE TO GROUTING WITH SILICA SOL

– for sealing in hard rock

By: Johan Funehag

Lời người dịch: Khoan phụt Silicate là một vấn đề mới đối với Việt Nam, với thế giới cũng không phải là vấn đề cũ. Từ trước đến nay, việc xây dựng đường hầm trong nền đá, gặp nước rò hoặc vùng đập vỡ chúng ta thường sử dụng khoan phụt xi măng để xử lý. Tuy nhiên, nếu trong nền có nước ngầm có áp thì khoan phụt xi măng gặp nhiều khó khăn hoặc không hiệu quả.

Hiện nay, các dự án đào tuynel cho tàu điện ngầm ở Việt Nam đã bắt đầu áp dụng khoan phụt Silicate để xử lý chống sập khi đào bằng máy TBM. Các tài liệu bằng tiếng Việt về lĩnh vực này còn rất ít. Mặt khác, các trường phái công nghệ và vật liệu của châu Âu và Nhật cũng có những chỗ khác biệt. Các ứng dụng cũng rất phong phú. Khó có thể trình bày trong một bài tổng quan như thế này.

Chúng tôi chọn phần đầu của tài liệu, dịch để tặng các kỹ sư trẻ bước đầu tiếp cận công nghệ mới mẻ này vì nó trình bày những vấn đề rất cơ bản, cho chúng ta có khái niệm về vật liệu Silica Sol. Đây như là một quà gửi tới các bạn trẻ để chúc vượt qua những ngày dịch bệnh Covid-19.

Người dịch: GS.TS Nguyễn Quốc Dũng. ĐT: 0913 225 184

Hội đập lớn và phát triển nguồn nước Việt Nam

STIFTELSEN BERGTEKNISK FORSKNING
ROCK ENGINEERING RESEARCH FOUNDATION

GUIDE TO GROUTING WITH SILICA SOL - for sealing in hard rock

Johan Funehag

Chalmers University of Technology

BeFo Report 118

Stockholm 2012
ISSN 1104 – 1773
ISRN BEFO-R—118—SE

Mở đầu

Phụt vữa là công việc thường gặp khi thi công trong nền đá. Nghiên cứu phụt vữa là chương trình nghiên cứu của tập đoàn BeFo trong 30 năm qua và là một công việc quan trọng khi xây dựng công trình trong nền đá ở Scandinavi. Các quy định nghiêm ngặt gần đây khi áp dụng khoan phụt áp lực đã đẩy chi phí phụt vữa lên cao và làm cho giá thành tăng lên. Tuy nhiên khoan phụt vữa nếu được thực hiện cẩn thận sẽ rẻ hơn là việc hàn gắn vỏ hầm.

Độ bền của vữa bị ảnh hưởng của nước ngầm, của việc không chế ứng suất khi phụt, của vật liệu được sử dụng và thiết kế được phê duyệt. Nhiều yếu tố có thể bị ảnh hưởng khi phụt và đặt ra yêu cầu là phải dự đoán trước được và việc giảm giá thành cũng là vấn đề cần thiết. Vữa nếu không cứng hóa được sẽ làm nước chảy ngược vào hầm, lâu dần có thể làm xói mòn trôi vữa và làm giảm chất lượng xử lý. Độ bền của vữa cũng có liên quan đến áp lực nước ngầm và hình dạng màn chống thấm.

Để đáp ứng yêu cầu ngày càng cao về việc chống nước xâm nhập vào các đường hầm không có vỏ lót, các nghiên cứu trong những năm gần đây đã cho ra đời một loại vữa phụt mới là silica sol.

Vữa Silica Sol du nhập vào thị trường Thụy Điển áp dụng trong thi công đường hầm trong đá cứng vào năm 2002 và kể từ đó nó đã được sử dụng trong rất nhiều đường hầm. Vữa Silica Sol là một bổ sung kịp thời cho vữa xi măng truyền thống để đáp ứng được các quy định nghiêm ngặt trong việc hạn chế nước rò vào trong các đường hầm không vỏ.

Mục đích của Dự án này là cung cấp một hướng dẫn phụt vữa bằng silica sol, nhằm vào đối tượng là các nhà thầu, nhà tư vấn thiết kế và khách hàng. Mục đích nữa là: cung cấp cho các hãng sản xuất các yêu cầu về thiết kế và chế tạo, để họ hiểu các vấn đề có thể phát sinh trong quá trình thi công và đưa ra các biện pháp khắc phục các vấn đề đó.

Hướng dẫn này tóm tắt các nghiên cứu đã được thực hiện, đặc biệt là tại Đại học Công nghệ Chalmers, cũng như các dự án mà Trường đã tham gia.

Một nhóm nghiên cứu đã được phân công để thực hiện Dự án này bao gồm: Gunnar Gustafson, Đại học Công nghệ Chalmers, Bjarne Liljestrand, STRABAG, Magnus Zetterlund, Vattenfall, Kenneth Rosell, Cơ quan quản lý vận tải Thụy Điển, Hans-Olov Hognestad, BASF, Inger Jansson

Summary

Báo cáo này tóm tắt về kiến thức mới nhất về cách thức phụt vữa trong đá cứng bằng silica sol. Nó bao gồm các kết quả nghiên cứu lý thuyết và kinh nghiệm thu được từ các dự án đường hầm đã được sử dụng silica sol. Báo cáo có thể được coi là một hướng dẫn cho các khách hàng, chuyên gia tư vấn và nhà thầu làm thế nào để phụt vữa silica sol. Nó mô tả các giai đoạn thiết kế, thi công, chỉ đạo và kiểm soát quá trình thi công tại hiện trường. Các vấn đề gặp phải trong quá trình phụt vữa vốn là vấn đề chưa được đề cập trong các báo cáo trước đây. Vấn đề này sẽ được nêu bật trong báo cáo này để nhà thầu lựa chọn và thực hiện.

Trong những thập kỷ gần đây, các quy định liên quan đến việc hạn chế nước xâm nhập vào các đường hầm đã trở nên nghiêm ngặt hơn. Các quy định này, ở một số công trình yêu cầu ít hơn một lít mỗi phút trên một trăm mét đường hầm, thậm chí một số khách hàng yêu cầu về số lượng nhỏ giọt cho phép, dẫn đến việc sử dụng vữa xi măng truyền thống sẽ không đáp ứng được. Ví dụ, nếu độ rộng của vết nứt xuống dưới 30 μm là đã cần phải được hàn gắn để đáp ứng các quy định, một loại vữa khác với vữa xi măng cần được áp dụng hoặc sử dụng như một giải pháp bổ sung.

Để đáp ứng các quy định nghiêm ngặt về hạn chế sự xâm nhập, rò rỉ của nước nhưng lại đáp ứng tiêu chuẩn về môi trường hiện chỉ có phụt silica keo huyền phù, tức là silica sol. Silica sol là hỗn hợp huyền phù gồm các hạt silica tan trong nước. Khi silica sol được trộn với một loại chất gốc muối, ví dụ như sodium chloride hoặc muối ăn (NaCl), phản ứng sinh ra và liên kết giữa các hạt bắt đầu. Silica sol ứng xử theo một cách hoàn toàn khác với vữa xi măng. Nghiên cứu đã chỉ ra - cũng tương tự như vữa xi măng - rằng độ rộng khe nứt, áp suất bơm vữa và thời gian phụt vữa đều ảnh hưởng đến kết quả phụt. Ngoài ra, thời gian keo hóa ảnh hưởng trực tiếp đến công tác thi công và kết quả phụt. Lợi thế lớn nhất của phụt silica sol, ngoài khả năng xâm nhập tuyệt vời, nó còn cho khả năng kiểm soát thời gian keo hóa, bán kính phụt và thời gian phụt. Việc keo hóa và tăng độ nhớt trên đường xâm nhập có liên quan đến bán kính xâm nhập (thông qua độ nứt danh nghĩa), áp lực phụt và thời gian keo hóa của vữa. Từ kết quả khảo sát chiều rộng vết nứt cho vùng cần xử lý, người thiết kế có thể tính toán được thời gian phụt.

Để đạt được hiệu quả phụt vữa, thiết bị và thi công cũng cần phải phù hợp. Trong các dự án đã thực hiện, về cơ bản thiết bị phụt vữa xi măng theo tuyên thông cũng có thể sử dụng được.

Các vấn đề gặp phải cần để ý trong quá trình phụt vữa silica sol là khi phụt với khối lượng lớn, dòng chảy ngược (backflow) hoặc rò rỉ trên bề mặt hầm. Thách thức nằm ở chỗ quá trình thiết kế làm sao để đề cập đến và cập nhật điều chỉnh ngay trong quá trình thi công.

Trong hướng dẫn này đưa ra một số gợi ý về cách cập nhật điều chỉnh thiết kế, chủ yếu là cách điều chỉnh áp suất và thời gian keo hóa.

Keywords: Design, guide, tunnel, hard rock, grouting, silica sol

Ký hiệu

Description	Designation	Unit
Bán kính xử lý (penetration length)	I	M
Bán kính xử lý lớn nhất	I_{max}	m
Bán kính xử lý quy ước (Relative penetration length)	I_D	-
Hệ số thẩm ban đầu (Estimated conductivity, ungrouted)	K_0	m/s

Hệ số thấm sau khi xử lý (Estimated conductivity, grouted)	K_{inj}	m/s
Chiều dài xử lý (Section length)	L	m
Lưu lượng rò (Inflow)	Q	m ³ /s
Hệ số dẫn nước trước khi xử lý (Transmissivity, ungrouted)	T_o	m ² /s
Hệ số dẫn nước sau khi xử lý Transmissivity, grouted	T_{inj}	m ² /s
Chiều rộng khe nứt (Fracture aperture)	b	μm
Hệ số bề rộng khe nứt (không thứ nguyên) (Fracture aperture, dimensioned)	b_{dim}, b_{crit}	μm
Hydraulic fracture aperture	b_{hyd}	μm
Chiều dày đá phủ (Rock cover)	d	m
Gia tốc trọng trường (Earth's acceleration)	g	m/s ²
Mức độ rò nước trước khi xử lý (Ingression before grouting)	q	m ³ /s, m
Bán kính tuynel (Tunnel radius)	r_t	m
Bán kính lỗ khoan (Borehole radius)	r_w	m
Hệ số thời gian (Time, dimensionless)	t_D	-
Thời gian hữu dụng (Time, relative grouting time)	t_0	s
Thời gian keo hóa lý thuyết (Gel time)	T_G	min
Thời gian keo hóa thiết kế (Gel induction time)	t_G	s, min
Chiều dày khu vực xử lý (Thickness of grouted zone)	t	m
Độ dốc thủy lực (Hydraulic gradient)	dh/dr	-
Tỷ trọng của đá (Density, rock)	ρ_b	kg/m ³
Tỷ trọng của nước (Density, water)	ρ_w	kg/m ³
Áp lực giới hạn khi phụt (Grouting overpressure)	Dp	Pa
Áp lực nước dưới đất (Groundwater pressure)	Dh	Pa
Giới hạn dòng vữa (Flow limit, grout)	t_0	Pa
Tạo vỏ bọc (Skin factor)	χ	-
Độ nhớt của nước (Viscosity, water)	μ	Pas
Độ nhớt ban đầu của vữa silica sol (Initial viscosity, silica sol)	μ_0	Pas



1 Tổng quan

Các quy định về hạn chế rò trong quá trình xây dựng đường hầm đã trở nên nghiêm ngặt hơn trong những năm gần đây. Lý do cơ bản là việc hạ thấp mực nước ngầm xung quanh các đường hầm thường dẫn đến thiệt hại cho các tòa nhà.

Các quy định gần đây yêu cầu lượng rò nước ít hơn một lít mỗi phút trên 100 mét đường hầm, cũng như quy định nhỏ giọt cho phép cho thấy việc phụt vữa thông thường (sử dụng vữa xi măng) không đáp ứng được.

Một nghiên cứu được phát triển tại Đại học Công nghệ Chalmers (Gustafson et al, 2004) cho ra đời một phương pháp thiết kế phụt vữa có thể dự đoán trước được kết quả và chi phí cần thiết.

Nguyên tắc thiết kế này dựa trên các độ rộng vết nứt danh nghĩa (hydraulic fracture apertures) dọc theo đường hầm và mức độ rò nước vào đường hầm đã được khảo sát.

Bằng cách hàn gắn tất cả các vết nứt xuống đến một vết nứt danh nghĩa nhất định, giới hạn yêu cầu về mức độ rò nước có thể đạt được. Nếu chiều rộng vết nứt danh nghĩa cần xuống dưới $30\mu\text{m}$, thì vữa xi măng cần phải được thay thế (hoặc cải tiến) bằng một loại vữa đặc biệt để đáp ứng các yêu cầu đề ra. Tuy nhiên, để các lỗ rò lớn vẫn phải dùng vữa bằng xi măng kết hợp, còn các lỗ rò lớn vẫn có thể sử dụng silica sol. Ngưỡng rò rỉ cho phép là áp dụng cho tất cả các đường hầm và phụ thuộc vào một số yếu tố, bao gồm áp lực nước ngầm và sự phân bố của vết nứt. Hướng dẫn này sẽ trình bày cách thức phụt vữa bằng silica sol và thiết kế cơ sở cần chuẩn bị khi quyết định sử dụng silica sol để phụt nhằm đáp ứng tiêu chuẩn xâm nhập nước nghiêm ngặt gần đây.

Để đáp ứng các quy định nghiêm ngặt về hạn chế sự xâm nhập, rò rỉ của nước vào đường hầm nhưng lại đáp ứng tiêu chuẩn về môi trường thì khoan phụt silica sol là sự lựa chọn tốt nhất hiện nay. Silica sol là hỗn hợp huyền phù gồm các hạt silica tan trong nước. Khi silica sol được trộn với một loại chất gốc muối, ví dụ như sodium chloride hoặc muối ăn (NaCl), phản ứng sinh ra và liên kết giữa các hạt bắt đầu. Silica sol ứng xử theo một cách hoàn toàn khác với vữa xi măng. Tỷ lệ giữa silica và lượng muối đưa vào sẽ quyết định thời gian keo hóa. Cơ chế keo hóa và làm thế nào để các hạt liên kết với nhau cũng chưa được nghiên cứu đầy đủ. Tuy nhiên, ảnh hưởng của keo hóa đến bán kính xâm nhập trong đá nứt nẻ sẽ được miêu tả trong báo cáo này. Ứng xử của silica sol hoàn toàn khác với xi măng, và quy trình phụt sẽ phải phù hợp với vật liệu này. Nghiên cứu đã chỉ ra rằng- cũng giống như xi măng-rằng độ rộng khe nứt, áp suất bơm vữa và thời gian phụt vữa đều ảnh hưởng đến kết quả phụt.

1.1 Mục đích của nghiên cứu

Mục đích của hướng dẫn này là để mô tả các công việc có liên quan đến việc thiết kế, lập kế hoạch và thi công phụt vữa silica sol. Điều này bao gồm việc xác định thời gian keo hóa và áp lực phụt vữa để đạt được bán kính xâm nhập và chiều rộng vết nứt. Các yêu cầu về nguồn lực và thiết bị và quy trình thi công cũng đề cập. Thiết bị bơm, trộn vữa và phụt vữa cũng được trình bày. Tài liệu cũng trình bày quá trình vữa xuất phát từ bơm và các kỹ thuật để kiểm soát nó cho đến khi vữa xâm nhập được vào khe nứt.

Chúng tôi tin rằng, trong thời gian tới, phụt vữa silica sol sẽ được sử dụng như là một giải pháp bổ sung cho phụt vữa gốc xi măng. Do đó, cần có sự trao đổi kinh nghiệm từ dự án này sang dự án khác.

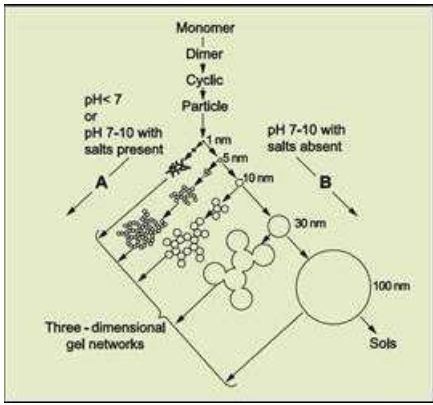
Silica sol vẫn chưa được thử nghiệm để xử lý các lỗ rò lớn trong đá nứt nẻ và không được đề cập trong hướng dẫn này. Hướng dẫn áp dụng khi xử lý đá với các vết nứt nhỏ, theo định nghĩa ở đây là đá có chiều rộng vết nứt danh nghĩa (thủy lực) nhỏ hơn khoảng 200 mm.

Hướng dẫn này được chia thành 3 phần. Phần 1 miêu tả về Silica sol; Phần II chủ yếu về thi công; Phần 3 trình bày việc thiết kế và công tác chuẩn bị. Mỗi phần sẽ có ích cho các đối tượng cụ thể, là khách hàng, nhà thầu thi công hay là chủ đầu tư.

2. Vật liệu

2.1 Colloidal Silica là gì?

Colloidal Silica là tên gọi một dung dịch gồm các hạt dioxide SiO_2 dưới dạng huyền phù hòa tan trong nước. Kích thước của các hạt lớn nhất chỉ khoảng 500 nm (nano mét). Silica sol là dung dịch chứa các hạt Colloidal silica có mật độ tập trung nhưng kích thước của các hạt vẫn giữ trong mức giới hạn. Thông thường Silica có mật độ chừng 40% và kích thước các hạt chừng 20 nm. Chúng ổn định trong dung dịch chứa nước nhờ có các cation Na_2O . Việc tạo ra Silica Sol bằng cách trộn Sodium Silicate với nước và với một acid. Khi đó dung dịch sẽ bắt đầu quá trình trao đổi ion và tính kiềm trong dung dịch sẽ giảm xuống nhanh chóng. Ở trạng thái này, các phân tử acid sẽ tóm bắt các nanomer ion silicate. Chúng sẽ tiếp tục liên kết, biến đổi (kết nối các hạt lại với nhau) để tạo ra dung dịch Silica sol khi độ pH, nhiệt độ và áp suất thay đổi. Có thể điều khiển quá trình polyme hóa của chúng để tạo ra sản phẩm Silica sol theo yêu cầu sử dụng như Hình 2-1 dưới đây.



Hình 2-1. Quá trình Polyme hóa để thành Silica Sol. Với việc cho thêm acid hoặc muối, các hạt huyền phù sẽ kết nối tạo thành Gel (A). Còn trong môi trường alkali (kiềm), các hạt sẽ kết nối và tạo ra các hạt to hơn nhưng không tạo Gel được (B).
[from Iler, 1979]

Một phân tử monomer SiO_4 bắt đầu bắt đầu tiến về phía các phân tử khác tạo ra hạt kép (dimer) tức là monomer có 2 phần tử giống nhau. Quá trình kết hợp tiếp diễn sau đó tạo ra chuỗi liên kết và hình thành các hạt. Sau khi hình thành các hạt, có 2 khả năng tạo ra sản phẩm mới khác nhau.

Khi mật độ các hạt monomer cao, trường hợp pH nhỏ hơn 7 hoặc trường hợp pH = 7 ÷ 10 nhưng không có muối thì các hạt kết nối và to ra về kích thước (B).

Còn nếu trong môi trường có muối và pH = 7 ÷ 10 thì các hạt sẽ không hình thành được và tạo keo (A).

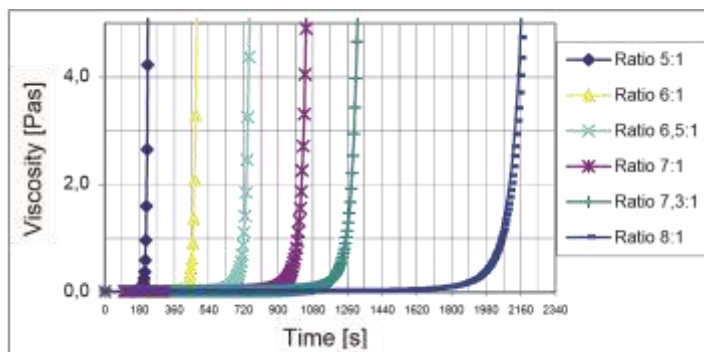
Quá trình (A) là quá trình mà chúng ta tạo ra vữa phụt như mong muốn, tức là chúng ta phải thêm muối vào dung dịch. Nhưng muốn sản phẩm có độ bền bề mặt cao thì các hạt tạo keo phải nhỏ và ngược lại.

Thông thường, kích thước các hạt vào khoảng 16-20 nm là phù hợp, nó còn tùy thuộc vào nguyên liệu đầu vào. Cần chú ý rằng, trong điều kiện tự nhiên bình thường Silica Sol ở dạng dung dịch, và có thời hạn sử dụng. Đến một lúc nào đó chất lượng sẽ thay đổi so với lúc ban đầu. Vì vậy, cần phải luôn luôn kiểm tra chất lượng trước khi sử dụng.

Ưu điểm thực hành của Silica Sol, ngoài khả năng xâm nhập, còn là khả năng kiểm soát được thời gian keo hóa. Với các công nghệ khoan phụt truyền thống trước đây, khi muốn áp đặt các thông số áp lực phụt và vật liệu phụt, chủ yếu dựa vào kinh nghiệm hoặc thực nghiệm. Thời gian dự kiến phụt cũng không thể dự đoán trước. Với Silica Sol, thời gian keo hóa có thể kiểm soát, thời gian phụt tại một lỗ có thể thay đổi từ một vài phút đến vài giờ. Thời gian keo hóa sẽ tác động đến bán kính xâm nhập, thời gian keo hóa ngắn thì bán kính xâm nhập ngắn và ngược lại. Ở một khía cạnh khác, nhờ giảm được bán kính xâm nhập sẽ làm giảm được tổn thất vữa do thoát lên mặt đất, hoặc cho phép phụt nhiều lần. Hình 2-2 cho thấy, độ nhớt sẽ khác nhau ứng với tỷ lệ pha trộn muối. Đầu tiên, silica sol có độ nhớt nhỏ (khoảng 10 mPas; nước = 1 mPas). Sau một thời gian, độ nhớt tăng và silica sol bắt đầu tạo ra màng keo.

Hình 2-2. Độ nhớt của silica với các tỷ lệ trộn (theo khối lượng) với dung dịch muối ở nhiệt độ 8°C

Figure 2-2. Viscosity curves for a silica salt product at different mixing ratios (based on weight) for the saline solution at a temperature of 8°C.



2.1 Các sản phẩm có trên thị trường

Các sản phẩm silica sol thương mại ở Thụy Điển có loại Meyco MP320 và Meyco MP320T. Trong gia đoạn trước còn có loại Myco MP320C, loại này không chứa biocide và loại dùng trong nghiên cứu này, như là 'Eka Gel Exp 36' và 'Cembinder U22'.

Meco MP320 là loại thông dụng nhất hiện nay được sản xuất ở Thụy Điển. MP320T thì được sản xuất ở Đức, nó có hàm lượng hạt 30%, trong khi đó của Thụy Điển là 35-40%. Hiện nay còn có loại Meyco MP325 với hàm lượng chỉ 15%.

2.2 Silica Sol, tính xâm nhập và gắn kết

Tính chất của Silica sol liên quan đến phụt vữa

- Xâm nhập vào các kẽ nứt nhỏ;
- Có đặc điểm như chất lỏng/ lưu biến: có độ nhớt thay đổi và keo hóa theo thời gian
- Có thể keo hóa
- Độ bền theo thời gian
- Gắn kết tại chỗ để chặn nước.

Khả năng xâm nhập phụ thuộc lớn vào kích thước hạt. Kích thước hạt của silica sol vào khoảng 5 ~100 nm, do đó ngay khi bơm vào nó có khả năng xâm nhập các khe nứt rất nhỏ. Khả năng xâm nhập giảm dần khi các hạt bắt đầu hình thành một hệ thống liên kết, keo hóa. Kết quả là quá trình phản ứng bắt đầu ngay sau khi trộn thêm muối, thúc đẩy quá trình keo hóa nhằm mục đích xử lý.

Bản chất của chất lỏng, có tính lưu biến là điểm đặc biệt của vữa silica sol. Nó ứng xử như chất lỏng Newton trong phần lớn quá trình phụt, thể hiện qua thông số độ nhớt. Trong khi đó, vữa xi măng ứng xử theo mô hình chất lỏng Bingham.

Ngay khi bắt đầu keo hóa, vữa sẽ có tính chất như chất lỏng Bingham, nghĩa là các đặc trưng về độ nhớt và tính lỏng sẽ giảm. Giai đoạn chuyển tiếp từ trạng thái chất lỏng Newton sang trạng thái chất lỏng Bingham rất khó xác định và chủ yếu dựa trên cảm tính. Trong thực tế thi công thì điều này cũng không quan trọng. Hình 2-3 miêu tả sự khác nhau giữa chất lỏng Bingham và chất lỏng Newton.

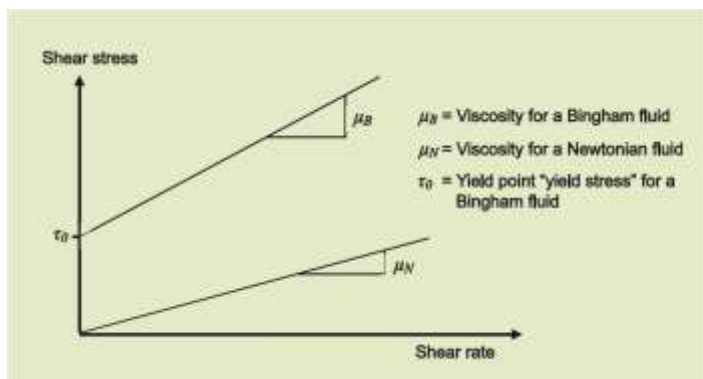
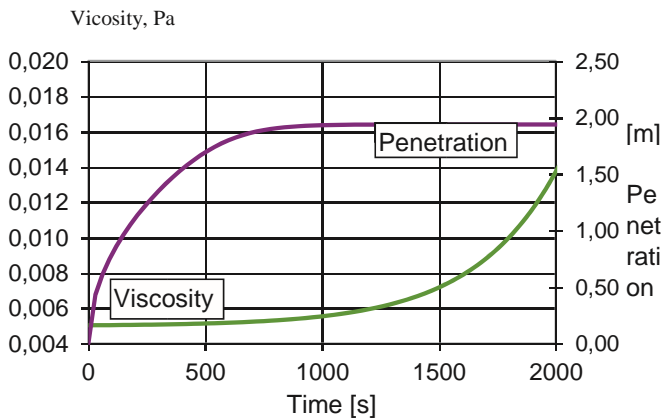


Figure 2-3. A schematic graph to illustrate a Newtonian fluid and a Bingham fluid as well as their rheological difference.

Hình 2-3. Sơ đồ miêu tả sự khác nhau về tính lưu biến của chất lỏng Bingham và Newton

Sự khác nhau giữa chất lỏng Newton (vữa silica sol) và chất lỏng Bingham (vữa xi măng) là: vữa Silica sol sẽ chuyển động ngay khi lực cắt được huy động (nghĩa là khi bắt đầu bơm). Trong khi đó, vữa xi măng chỉ chuyển động khi lực cắt huy động (do bơm) lớn vượt quá sức chống cắt của vữa (còn được gọi là giới hạn lỏng của vữa- flow limit). Như vậy, với vữa Xi măng, khi áp lực bơm nhỏ hơn giới hạn lỏng của vữa thì vật liệu sẽ dừng, không đi tiếp. Với vữa silica sol, vật liệu vẫn tiếp tục chuyển động mỗi khi có áp lực bơm. Hình 2-3 mô tả độ nhớt của 2 loại vữa thay đổi khi có áp lực bơm. Vật liệu có độ nhớt cao có độ ì và chậm so với vữa có độ nhớt nhỏ khi áp đặt cùng một áp lực bơm. Với chất lỏng có tính hóa keo, sức cản dọc đường sẽ cân bằng với áp lực bơm. Quá trình xâm nhập của nó được mô tả trên hình 2-4.



Hình 2-4. Khả năng xâm nhập của silica sol theo thời gian, đồng thời độ nhớt cũng tăng theo

Như hình 2-4, tốc độ xâm nhập ban đầu tăng rất nhanh, bán kính xâm nhập cũng tăng nhanh, sau đó dần chậm lại. Cuối cùng, lực cản chuyển động (mobilised shearing stresses) – là hậu quả của việc độ nhớt tăng và bán kính xâm nhập giảm – tăng cao dẫn đến quá trình xâm nhập dừng lại. Bán kính xâm nhập có thể kiểm soát bằng áp lực bơm và giảm độ nhớt. Quá trình keo hóa nhanh thì bán kính xâm nhập giảm và ngược lại. Tỷ lệ này cần phải chú ý trong thiết kế khoan phụt và lập thành bảng tra trong tài liệu này

2.2.1 Quan điểm lựa chọn

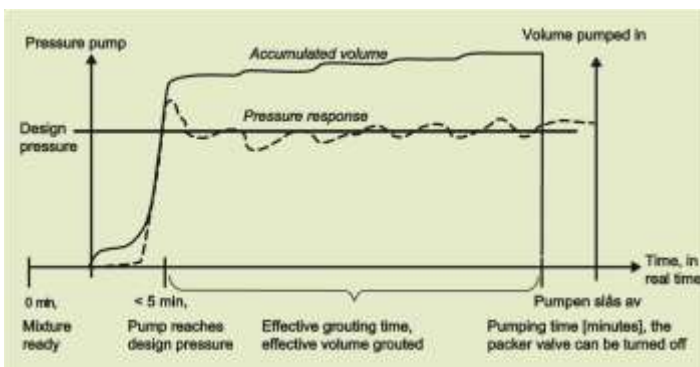
Thời gian keo hóa (Gel time- T_G) là thời gian khi mà silica sol và muối bắt đầu trộn với nhau cho đến khi dung dịch hóa keo. Hỗn hợp được gọi là hóa keo khi ta lật ngược cốc thử mà hỗn hợp không chảy xuống thành dòng. Đơn vị: phút (m).

Độ nhớt ban đầu (Initial Viscosity- μ_0) là độ nhớt của vữa sau khi trộn, đo bằng nhớt kế. Đơn vị: Pas

Thời gian keo hóa hữu dụng (Gel induction time- t_G) là thời gian để vữa đạt độ nhớt gấp đôi độ nhớt ban đầu. Đơn vị: phút

Thời gian phụt (Grouting time): là thời gian duy trì áp lực phụt ở đầu mũi (khoan) phun cho đến khi máy bơm tự động tắt (vì vượt quá áp lực thiết kế). Đơn vị: phút

Thời gian phụt hữu dụng: là thời gian bắt đầu từ khi vữa đến mũi phun, đạt đến áp lực bơm thiết kế và duy trì ở đó. Xem hình 2-5.



Hình 2-5: Mô tả thông số phụt thay đổi theo thời gian phụt

Figure 2-5. Illustration of the grouting time generally and the effective grouting time and pumping time specifically.

2.2.1 Thời gian keo hóa và bán kính phụt

Thời gian keo hóa, thời gian keo hóa hữu dụng và độ nhớt theo thời gian diễn biến như hình 2-6.

Sự xâm nhập vào các kẽ nứt có liên quan đến đường cong phát triển độ nhớt, qua đó cho thấy vữa xâm nhập gần như cho đến cuối quãng đường cho đến khi thời gian keo hóa kết thúc như hình 2-7.

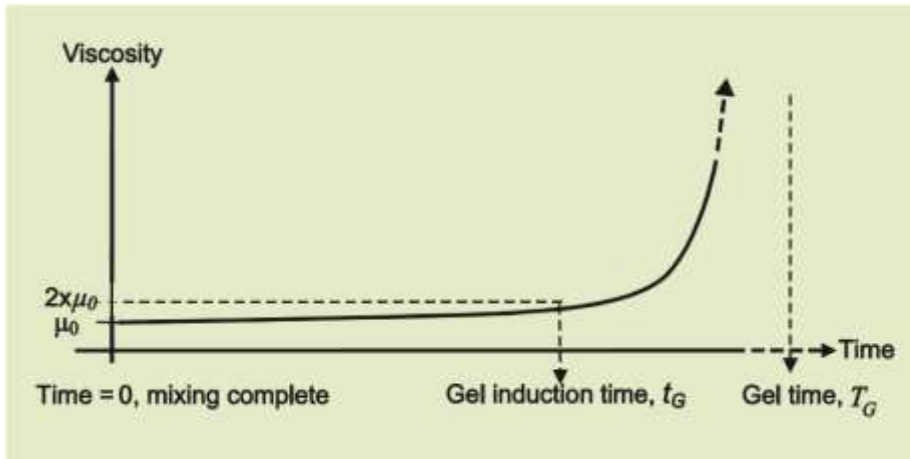


Figure 2-6. Schematic illustration of the terms 'gel induction time' and 'gel time'.

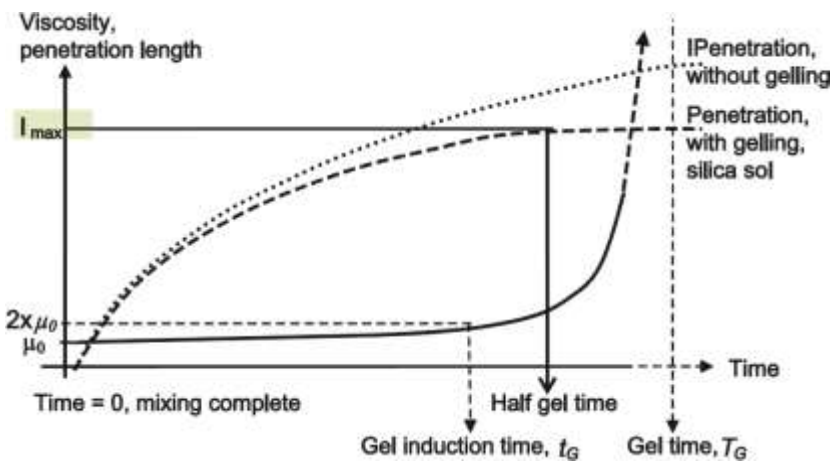


Figure 2-7. Penetration in relation to viscosity. The unbroken line is the viscosity curve for a silica sol. The broken line is the penetration for silica sol and for comparison purposes the dotted line is for a non-gelling silica sol (consistently low viscosity).

Trong phòng thí nghiệm đã tiến hành nhiều nghiên cứu nhằm xác định quá trình xâm nhập diễn ra như thế nào khi quá trình keo hóa đang diễn ra. Kết quả chỉ ra rằng, bán kính phụt lớn nhất I_{max} đạt được ở thời điểm $\frac{1}{2}$ Gel time (T_G). Dung dịch tại thời điểm này vẫn đang rất linh động (như nước). Mặc dù quá trình keo hóa đang diễn ra, nhưng vẫn tiếp tục xâm nhập nếu như vẫn duy trì áp lực phụt. Độ nhớt chỉ ảnh hưởng đến tốc độ phụt; độ nhớt của vữa càng thấp thì bán kính phụt càng nhỏ và ngược lại. Đến thời điểm keo hóa, quá trình xâm nhập bị dừng lại một cách đột ngột và cương độ tăng lên. Thời gian phải ngừng bơm là vào quãng $\frac{1}{2} T_G$, tùy thuộc vào điều kiện địa chất thủy văn, độ dốc (gradient) thủy lực của dòng thấm/rò, và bảo vệ quá tải cho thiết bị. Tại những tuy nennels nằm sâu, các nguy cơ hư hỏng thiết bị càng cao, và thời gian phụt nên lớn hơn $\frac{1}{2} T_G$. trong khi đó với các tunnel nằm nông dưới 100m, và nếu gradient thủy lực nhỏ, nguy cơ sẽ giảm thì thời gian phụt sẽ ngắn hơn, và bằng T_G .

Bán kính phụt silica sol cho dòng 2 chiều (two-dimensional flow (2-D)) có thể tính theo công thức sau (Gustafson and Funehag, 2008a and 2008b):

$$I_{max,2-D} = 0.45 \cdot b \cdot \sqrt{\frac{\Delta p t_G}{6\eta_0}} \quad (2-1)$$

Trong đó, b là chiều rộng khe nứt danh nghĩa, Δp là áp lực bơm giới hạn (hydraulic fracture aperture), t_G là thời gian phụt hữu dụng, μ_0 là độ nhớt ban đầu của silica sol. Thời gian phụt hữu dụng là thời gian kể từ khi vữa có độ nhớt ban đầu cho đến khi vữa có độ nhớt tăng gấp đôi. Kể từ sau thời gian phụt hữu dụng, độ nhớt tăng lên nhanh chóng, khả năng xâm nhập giảm nhanh chóng.

Có một bí quyết là tG chỉ bằng 1/3 TG (thời gian keo hóa) (theo Funehag, 2007). Không nhầm lẫn giữ thời gian gian phụt hữu dụng và thời gian keo hóa.

Cường độ của silica sol có thể xác định dựa trên kích thước hạt (sức căng mặt ngoài), phân bố cỡ hạt và mật độ hạt. Nếu vật liệu có cùng tính chất thì thời gian keo hóa mới giống nhau. Nói một cách đơn giản, cường độ của silica sol tăng lên khi dung dịch có mật độ cao. Tuy nhiên, cũng có cách để tạo ra cường độ cao hơn khi sử dụng dung dịch có mật độ thấp bằng cách tạo ra cấp phối hạt rộng, nghĩa là tạo ra một ma trận hạt. Tuy nhiên, cách này không phổ biến và khó thực hiện.

Các dự án đã thực hiện tại hiện trường đã được chứng minh rất rõ khả năng chống thấm của silica sol. Bằng cách thử nghiệm bơm nước vào các đá nứt nẻ được xử lý bằng silica sol cho thấy rò nước giảm cơ bản. Silica sol đã bịt được các mạng lưới kẽ nứt trong đá. Các thí nghiệm với vữa Eka và Exp 36 cho thấy rằng, hệ số thấm K chỉ còn 10-10 đến 10-11 m/s (Butron và nnk, 2007). Vật liệu silica sol có kích thước hạt cỡ 16 nm và chiếm tỷ lệ 35%.

2.3 Silica sol: các tính chất khác

Đề thi công, vữa silica cần và đạt được một số tính chất như sau:

Về cơ tính

Cường độ của silica sol thấp so với vữa xi măng. Các nghiên cứu (Axelsson, 2009) đã cho thấy rằng, ngay sau khi keo hóa, vữa đạt được lực cắt khoảng 60-80 Pa. Sau đó cường độ phát triển nhanh chóng. Sau 6 tháng, đo lại thì tỷ lệ tăng của cường độ vẫn không đổi, đạt khoảng 45-60 kPa (Butron et.al 2007 and Axelsson, 2006) (lưu ý là Butron chỉ dùng đơn thuần silica sol).

Các nghiên cứu khác (ví dụ như Yonekura 1997, Persoff et.al 1999) đã bơm silica sol vào trong các loại đất hạt cát ở Nhật thu được kết quả: cường độ ở tháng tuổi thứ 6 lên đến 500 kPa.

Co ngót và phồng (trương nở-ND)

Trước đây đã có nghiên cứu (ví dụ như của Andersson (1998), cho thấy rằng, silicate và đặc biệt là sodium silicate có tính co ngót nhất định. Nhưng cần chú ý rằng, silica sol không phải là sodium silicate, vì trong sodium silicate chỉ có một phần nhỏ bazơ (Na_2O) và nó gồm các hạt riêng rẽ, chứ không phải dạng liên kết chuỗi (chains). Silica sol bị co ngót khi khô. Ở độ ẩm 98%, co ngót rất nhỏ và hầu như không xảy ra tại 100%RH hoặc ngâm trực tiếp trong nước (đây là kết quả nghiên cứu lâu dài, trên 6 năm do hãng Eka Chemical tại Bohus thực hiện). Sau khi để khô và co ngót đã xảy ra thì silica sol không thể trở lại dạng keo được nữa, thay vào đó mẫu sẽ bị vỡ vụn ra khi cho vào nước. Ngoài ra, các thí nghiệm tại Chalmers University of Technology chỉ ra rằng, dòng chảy qua mẫu silica bị giảm dần và chấm dứt hoàn toàn sau một thời gian nhất định. Những nghiên cứu này cho thấy rằng, nhưng nếu mẫu không bị làm khô thì tính chống thấm không bị ảnh hưởng.

Độ bền theo thời gian

Độ bền theo thời gian vẫn đang là vấn đề chưa được nghiên cứu đủ lâu. Các nghiên cứu lý thuyết tại Khoa Địa kỹ thuật của Chalmers University of Technology (tài liệu nội bộ, chưa công bố) chỉ ra rằng, Silica sol cũng có độ bền như các phân tử SiO_2 tồn tại trong nước ngâm đã phát hiện ra trong đá phiến kỷ băng hà. Tại Nhật, silica sol được xem như là có độ bền lâu dài, và nó là loại vữa duy nhất (ngoài vữa xi măng) được cho phép ứng dụng để hàn gắn, bịt nước trong các tunnels. Giáo sư Yonekura đã dẫn ra rất nhiều bài báo trong lĩnh vực này bài báo công bố của ông năm 1977 (Yonekura, 1977). Cần nhấn mạnh rằng, công việc nghiên cứu vẫn tiếp tục để có được sự hiểu sâu sắc hơn về sự suy giảm theo thời gian.

Tác động đến môi trường và sức khỏe

Chưa có báo cáo nào về việc ảnh hưởng đến sức khỏe. Cần nhớ rằng, silica sol có tính kiềm nhẹ (pH=9 đến 10) và nó có thể gây rát khi tiếp xúc với da và mắt.

Việc sử dụng colloidal silica trong đời sống xã hội rất phổ biến, như là trong y tế, đồ uống, mỹ phẩm, v.v. và ảnh hưởng lâu dài đến môi trường vẫn chưa nhận thấy, ngoài trừ nó có thể làm đục nước tạm thời.

Lưu giữ và hạn sử dụng

Silica sol có chứa nước trong đó, vì thế không nên để hở ra ngoài không khí và môi trường có nhiệt độ cao. Nhiệt độ lưu giữ thích hợp là 5-35 độ C. Nếu lưu giữ cẩn thận, nó có thể sử dụng trong thời hạn 18 tháng.

Các vấn đề cần biết và đặt ra yêu cầu khi thiết kế

- Nồng độ Silica;
- Kích thước hạt và tổng diện tích mặt ngoài (specific surface area).
- Cường độ khi keo hóa;
- Cường độ sau một thời gian phụ xạ;
- Loại chất xúc tác (NaCl hoặc CaCl ...) và nồng độ.