

# اثر مقاومت ژله‌ای دوغاب سیمان نفوذ گاز در جلوگیری از

## Static Gel Strength

سید محمد جواد مجتهدی، حمید سلطانیان، محمد سلیمانی، سید علیرضا مرتضوی - پژوهشگاه صنعت نفت

### مقدمه

بررسی‌ها و تحقیقات قبلی که بر روی جریان گاز در فضای حلقوی انجام گرفته نشان داده‌اند که رفتار سیمان بین حالت سیالیت و حالت بندش، عامل کنترل‌کننده ورود گاز است.

این فاز انتقالی سیمان قبلاً در طراحی دوغاب در نظر گرفته نمی‌شد زیرا اهمیت آن به‌طور کامل شناخته شده نبود و روش‌های آزمایش برای تعیین آن عرضه نشده بود. برای پیش‌بینی جریان گاز در فضای حلقوی و برای طراحی دوغاب‌های سیمانی که قادر به جلوگیری از جریان گاز در فضای حلقوی باشند، نخست بایستی مشخصات دوغاب در ابتدا و انتهای فاصله زمانی تبدیل از حالت سیالیت به جامد شدن مشخص باشد. برای مطالعه آغاز فاصله زمانی حالت انتقال، روش‌های آزمایشی مختلفی ابداع شده است. برای مشخص شدن شرایط مورد نیاز سیمان برای جلوگیری از ورود گاز نیز آزمایش‌های ویژه‌ای طراحی شده‌اند.

در این مقاله روش‌های آزمایشی ابداع شده برای شناخت این فاصله زمانی (حالت انتقالی دوغاب سیمان) توصیف شده‌اند. تاثیر عوامل

مختلفی همانند زمان پمپ‌کردن، زمان جابه‌جایی، ترکیب دوغاب و تغییرات دما و فشار بر زمان انتقال، مورد بررسی قرار گرفته‌اند و ضمناً روش استفاده از داده‌های سرعت زمان انتقال و افزایش استحکام ژله‌ای استاتیک برای کمک به پیش‌بینی جریان گاز در فضای حلقوی و ارزیابی مواد کنترل‌کننده آن مورد بحث واقع شده‌اند فهم مکانیسم جریان گاز از راه ستون سیمان و پیش‌بینی جریان گاز، به دانش بالا درباره رفتار سیمان درون چاه نیاز دارد (همچنین خواص معمول دوغاب و داده‌های چاه و فشار سازند).

به‌طور خلاصه زمان انتقال، فاصله زمانی است که دوغاب از حالت سیال هیدرولیک واقعی به توده‌ای با ویسکوزیته بالا و دارای بعضی از خواص جامدات تغییر وضعیت می‌دهد. زمان انتقال موقعی شروع می‌شود که SGS (Static Gel Strength) برای محدود کردن و کاستن فشار هیدرواستاتیک به اندازه کافی رشد نماید و زمانی پایان می‌یابد که سیمان خواص جامد را برای کنترل نفوذ گاز از طریق ستون سیمان به اندازه کافی به دست آورده باشد. با این تعریف از زمان انتقال می‌توان از جریان گاز در فضای حلقوی در صورتی که فشار

کاهش فشار مجاز برای جلوگیری از جریان گاز در فضای حلقوی باید از دو افت فشار مطابق با معادلات (۱) و (۲) کوچکتر باشد.

مثال روش پیش بینی با معادله (۱):

فرض کنید گاز منطقه در عمق ۱۰۰۰ متر (۳۲۸۰ فوت) باشد. فشار فراتعادلی هیدرواستاتیک اولیه ۳۵۰۰ kpa (۵۰۰ psi) می باشد. قطر چاه ۱۷۶ میلی متر (۷ اینچ)، قطر لوله جداری ۱۲۷ میلی متر (۵ اینچ)، SGS در زمان t معادل  $50 \text{ Pa} (10.4 \text{ lbf}/100 \text{ ft}^2)$  افت فشار حاصل از این پدیده از معادله (۱) به دست می آید:

$$P_H - P_L = 50 \times 4 \times \frac{1000}{(0.1778 - 0.127)} = 3920 \text{ KPa} (569 \text{ psi})$$

یعنی فشار تخلخل سیمان کمتر از فشار گاز منطقه است. (۵۰۰ Psi) فشار فراتعادلی = ۳۵۰۰ KPa در زمان کمتر از t می تواند داخل فضای حلقوی شود. با توجه به اطلاعات آزمایشگاهی که بعداً بحث می شود گاز می تواند به صورت آزاد میان دو غاب سیمان با یک SGS معادل  $50 \text{ Pa} (10.4 \text{ lbf}/100 \text{ ft}^2)$  نفوذ نماید. بنابراین برای مثال فوق جریان گاز در فضای حلقوی پیش بینی می شود. برای ایجاد ارتباط بین رشد استحکام ژله ای با زمان انتقال یک دو غاب سیمان، بایستی یک روش منطقی قابل اطمینان برای اندازه گیری استحکام ژله ای نمونه سیمان تحت دما و فشار وجود داشته باشد. هیچ کدام از روش های معمول آزمایشگاهی به طور کامل برای اندازه گیری SGS دو غاب تحت دما و فشار بالا مناسب نیستند. دستگاهی که در شکل (۱) نشان داده شده است به طور ویژه برای اندازه گیری SGS بعد از یک فاصله زمانی، جهت شبیه سازی عملیات سیمان کاری طراحی شده است. محدوده دما و فشار دستگاه مذکور به ترتیب  $160^\circ \text{C}$  و  $5000 \text{ psi}$  می باشد.

ستون سیمان در منطقه پر فشار گاز بزرگتر و یا معادل فشار گاز مخزن باشد ممانعت به عمل آورد (تا زمان پایان انتقال). امروزه با دستگاه های جدید حداکثر افت فشار که در ماتریکس سیمان در طول زمان انتقال رخ می دهد قابل اندازه گیری است.

می توان فشار سیمان را با فشار گاز سازند با پایان زمان انتقال مقایسه کرد. مراحل اساسی شبیه سازی ریاضی پدیده های رخ داده شده به قرار زیر است.

۱- دو غاب سیمان در جای خود پمپ می شود و میزان افت صافی از دو غاب در حال رشد است اما در افت فشار هیدرواستاتیک مشارکت نمی کند زیرا محدودیت های انتقال فشار به وجود نیامده است.

۲- زمان انتقال آغاز می شود. با رشد مقاومت ژله ای سیمان، افت فشار در امتداد ستون سیمان رخ می دهد به شرطی که هم زمان فاصله زمانی انتقال برای دو غاب آغاز شود. SGS قابل اندازه گیری، رشد می نماید و این رشد می تواند باعث افت فشار در امتداد ستون عمودی یا مایل سیمان شود به شرطی که کاهش کافی حجم برای تولید این کاهش فشار اتفاق بیفتد.

در طول دوره انتقال، هم زمان با افت فشار، کاهش در حجم آب میان ماتریکس سیمان رخ می دهد. کاهش در حجم آب از طریق هیدراتاسیون و افت صافی به وجود می آید و سبب کاهش در فشار تخلخل سیمان می شود. کاهش فشار تخلخل سیمان در برابر سازند تا زمانی که کمتر از فشار هیدرواستاتیک منتقل شده باشد تابعی از فشار هیدرواستاتیک است.

۳- افت فشار در نتیجه SGS (حداکثر افت فشاری که قبل از حرکت دو غاب می تواند اتفاق بیفتد) از افت فشار ناشی از کاهش حجم بزرگتر می شود. در این لحظه سیمان در منطقه پر فشار به طور کامل از فشار هیدرواستاتیک منفک می شود (فشار هیدرواستاتیک ستون سیمانی به سیمان منتقل نمی شود) و افت فشار تابعی از کاهش حجم آب و تراکم پذیری (فشار پذیری) دو غاب است.

۴- تغییرات فشار تا بعد از پایان زمان انتقال دو غاب ادامه می یابد. اگر فشار محاسبه شده سیمان قبل از پایان زمان انتقال به زیر فشار منطقه گاز افت کند، جریان گاز در فضای حلقوی اتفاق خواهد افتاد.

۵- معادله ذیل افت فشار در اثر SGS را نشان می دهد.

$$P_H - P_L = \text{SGS} \times 4 \frac{L}{L_d} \quad (1)$$

$$d = d_h - d_p \quad (2)$$

به عبارت ساده تر افت فشار در نتیجه افت حجم و تراکم پذیری به شرح ذیل است:

$$P_H - P_L = \frac{(V_{rf} - V_r)}{F} \quad (3)$$

معادله فوق کاهش فشار در اثر قطع کامل فشار هیدرواستاتیک را نشان می دهد.



شکل ۱- دستگاه مقاومت ژله ای استاتیکی (SGS)

### آزمایش نفوذ گاز تحت فشار پایین:

یک سری از آزمایش ها در مقیاس bench تحت شرایط ساده اتمسفریک با دستگاه نشان داده شده در شکل (۲) انجام گرفته است. آزمایش ها با این هدف انجام شده اند که تعیین کنند چه مقدار SGS می تواند از نفوذ گاز در سیمان جلوگیری و یا مقدار آن را محدود نماید.

### بررسی اطلاعات برای اندازه گیری زمان انتقال:

آغاز زمان انتقال موقعی است که دوغاب دیگر شبیه یک سیال حقیقی رفتار نمی کند و فشار هیدرواستاتیک را به طور کامل انتقال نمی دهد. معادله (۱) بیان می کند که با رشد SGS در دوغاب سیمان، افت فشار ایجاد می شود. همان گونه که در جدول شماره (۱) نشان داده شده است افت های فشار اندازه گیری شده به وسیله دستگاه شکل (۱) تطابق بسیار زیادی با اختلاف فشارهای محاسبه شده از SGS با استفاده از معادله (۱) دارند.

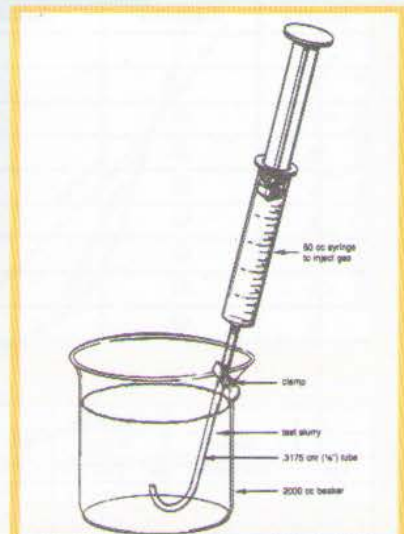
### ترکیب دوغاب:

۴۶٪ آب + ۱٪ کلرید کلسیم + ۸٪ درصد کنترل کننده افت صافی + سیمان کلاس G استاندارد API در جدول (۲) نشان داده شده است که چگونه افزایش SGS می تواند انتقال فشار را محدود کند مشروط به این که هم زمان کاهش حجم نیز صورت گیرد.

برای مثال اگر طول ستون سیمان ۹۰۰ متر (۳۰۰۰ فوت) باشد SGS معادل با ۲۰ Pa ( $41/6 \text{ lbf}/100 \text{ ft}^2$ ) می تواند فشار حلقوی را ۱۴۱۲ KPa (۲۰۸ Psi) کاهش دهد. از جهت تعریف، شروع زمان انتقال دهد. برای ایجاد

چند نقطه مینا، فرض کنید یک افت KPa ۳۴۰ (۵۰ Psi) بین یک ناحیه با پتانسیل گاز، افت فشار قابل توجهی است. به عنوان مثال با شرایط داده شده در جدول (۲) الی (۴) یک استحکام ژله ای معادل با ۱۰ Pa (۱۰ lbf) ۲۰/۸ در یک ستون سیمان در عمق ۱۳۷ متر (۴۵۰ فوت) باعث ایجاد یک کاهش فشار معادل با ۲/۵ MPa (۵۲ Psi) می گردد. در جدول (۳) و (۴) نتایج یک سری از

یک بشر ۲۰۰۰ cc با یک سرنگ تزریق ۵۰ cc متصل به یک لوله ۳ میلی متری که تا انتهای بشر فرورفته است مجهز شده اند. وقتی که SGS اندازه گیری شده به مقادیر از قبل انتخاب شده رسید، هوا به وسیله مسیر لوله ۳ میلی متری به ته بشر و داخل دوغاب تزریق می شود. اندازه گیری SGS و تزریق هوا تا زمانی که دیگر هیچ هوایی بعد از



شکل ۲- وسیله اندازه گیری نفوذ گاز بیکر

تزریق هوا به داخل دوغاب نفوذ نکند، ادامه می یابد.

زمان استاتیک	مقدار SGS	کاهش فشار اندازه گیری	افت فشار به دست آمده از
۸	۱۳	۳/۶	۴/۱
۱۰	۱۴	۴/۲	۵/۶
۱۵	۱۸	۵/۲	۵/۶
۲۰	۲۳	۶/۱	۷/۱
۲۵	۲۶	۷/۵	۸/۱
۳۰	۳۰	۸/۵	۹/۴
۳۵	۳۴	۹/۶	۱۰/۷
۴۰	۳۷	۱۱	۱۱/۳
۴۵	۴۹	۱۲/۷	۱۵/۵
۵۰	۵۶	۱۴/۸	۱۷/۵
۵۵	۶۸	۱۸/۲	۲۱/۳
۶۰	۷۹	۲۳/۴	۲۵/۱
۶۵	۱۲۲	۳۰	۳۸/۵
۷۰	۱۳۲	۳۸/۳	۴۱/۶
۷۵	۱۴۵	۴۲/۲	۴۵/۶
۸۰	۱۶۳	۴۳/۷	۵۱/۴

جدول ۱- کاهش فشار و مقاومت ژله ای استاتیکی

Cement		۱۰ Pa		۱۵ Pa		۲۰ Pa		۲۵ Pa		۳۰ Pa	
(m)	(ft)	(kPa)	(psi)	(kPa)	(psi)	(kPa)	(psi)	(kPa)	(psi)	(kPa)	(psi)
۱۵۰	۵۰۰	۱۱۸	۱۷	۱۷۶	۲۶	۲۳۵	۳۴	۲۹۴	۴۳	۲۵۳	۳۶
۳۰۰	۱۰۰۰	۲۳۵	۳۴	۳۵۳	۵۲	۴۷۰	۶۹	۵۸۸	۸۷	۷۰۶	۱۰۴
۴۵۰	۱۵۰۰	۳۵۳	۵۲	۵۲۹	۷۹	۷۰۳	۱۰۴	۸۸۲	۱۳۰	۱۰۵۸	۱۵۶
۶۰۰	۲۰۰۰	۴۷۰	۶۹	۷۰۶	۱۰۴	۹۴۱	۱۳۹	۱۱۷۶	۱۷۳	۱۴۱۱	۲۰۸
۷۵۰	۲۵۰۰	۵۸۸	۸۷	۸۸۲	۱۳۰	۱۱۷۶	۱۷۳	۱۴۷۰	۲۱۷	۱۷۶۴	۲۶۰
۹۰۰	۳۰۰۰	۷۰۶	۱۰۴	۱۰۵۸	۱۵۶	۱۴۱۲	۲۰۸	۱۷۶۴	۲۶۰	۲۱۱۷	۳۱۲

جدول ۲- افت فشار به عنوان تابعی از مقاومت ژله ای استاتیکی و طول ستون سیمان

شماره ۲۷- آبان ۱۳۸۴

Slurry	Cement	Accelerator	Fluid loss	Silica	Dispersant	Retarder	Water
۱	G	-	-	-	-	-	۴۳
۲	G	۱	-	-	-	-	۴۳
۳	G	-	۰/۱۶	-	-	-	۵۰
۴	G	۱	۰/۱۶	-	-	-	۵۰
۵	G	-	۰/۸	-	-	-	۴۶
۶	G	۱	۰/۸	-	-	-	۴۶
۷	G	-	۰/۸	۳۵	۰/۷۵	-	۴۸
۸	G	-	۰/۸	۳۵	-	۰/۲	۴۸
۹	G	-	۰/۸	۳۵	۰/۷۵	۰/۲	۴۸

جدول ۳- ترکیبات دو غاب (درصد)

Test	Slurry Composition	Mixing Water (%)	BHCT. (°C)	BHCP.. (Mpa)	Thickening Bc (hours: minutes)	SGS (Pa)		SGS Time After			Stirring Time
						initial	10-minutes	0-Pa	10-Pa	20-Pa	
۱	۱	۴۳	۳۹	۱۷/۹	۲:۲۹	-	-	-	۲۰:۱	۲:۱۵	۲:۱
۲	۲	۴۳	۳۹	۱۷/۹	۱:۲۷	۱۳	۳۶	۰:۴۰	۱:۳۱	۲:۴۱	۲:۱
۳	۳	۵۰	۴۵	۲۶/۹	۲:۲۶	۱۷	۱۳	۰:۵۹	۲:۲۰	۳:۴۰	۳:۰
۴	۴	۵۰	۴۵	۲۶/۹	۱:۳۰	۷	۷	۱:۰۶	۱:۴۰	۳:۰۰	۳:۰
۵	۵	۴۶	۶۲	۳۴/۵	۶:۱۳	۷	۶	۲:۵۰	۳:۴۰	۴:۲۴	۵:۴
۶	۶	۴۶	۶۲	۳۴/۵	۱:۵۰	۷	۲۷	۱:۱۵	۱:۵۴	۲:۳۶	۵:۴
۷	۵	۴۸	۶۲	۳۴/۵	۵:۳۳	۷	۱۳	۱:۵۰	۳:۰۴	۳:۴۵	۵:۴
۸	۶	۴۸	۶۲	۳۴/۵	۳:۱۳	۷	۷	۱:۴۰	۲:۴۴	۳:۲۴	۵:۴
۹	۵	۴۶	۷۸	۳۴/۵	۲:۵۴	۷	۷	۲:۰۵	۲:۵۳	۳:۵۴	۷:۲
۱۰	۵	۴۸	۷۸	۳۴/۵	۵:۰۵	۷	۱۳	۲:۱۳	۳:۰۲	۳:۴۴	۷:۲
۱۱	۷	۴۶	۱۱۰	۳۴/۵	۷:۱۵	۱۳	۳۴	۱:۲۵	۲:۱۴	-	۸:۴
۱۲	۸	۴۶	۱۱۰	۳۴/۵	۲:۱۸	۱۳	۲۲	۱:۵۰	۲:۲۴	۲:۳۴	۸:۴
۱۳	۸	۴۶	۱۱۰	۳۴/۵	۱:۲۲	۷	۸	۱:۵۰	۲:۲۴	۲:۵۴	۸:۴
۱۴	۹	۴۶	۱۱۰	۳۴/۵	۷:۱۵	۷	۲۷	۱:۲۵	۲:۱۴	-	۸:۴
۱۵	۷	۴۸	۱۱۰	۳۴/۵	۲:۳۰	۱۹	۳۵	۱:۴۲	۲:۲۴	۴:۱۴	۸:۴
۱۶	۸	۴۸	۱۱۰	۳۴/۵	۳:۱۱	۷	۲۱	۱:۵۰	۲:۱۴	۳:۲۴	۸:۴
۱۷	۸	۴۸	۱۱۰	۳۴/۵	۲:۱۸	۷	۱۵	۱:۵۰	۲:۱۴	۳:۲۴	۸:۴
۱۸	۹	۴۸	۱۱۰	۳۴/۵	۳:۴۰	۱۱	۲۵	۲:۰۰	۲:۱۴	۳:۲۴	۸:۴

جدول ۴- مقاومت ژله‌ای استاتیکی و زمان بندش دما و فشار بالا



شکل ۳- دستگاه اندازه‌گیری زمان نیم بندش سیمان (Consistometer)

استاتیکی اتفاق می‌افتد. بررسی دقیق‌تر رشد مقاومت ژله‌ای استاتیکی اولیه در جدول شماره (۵) نشان داده شده است.

### ترکیبات دو غاب:

دو غاب شماره ۵:

۴۶ درصد آب + ۸/۵ درصد کنترل کننده افت صافی + سیمان کلاس G (استاندارد API)

تست‌های مقاومت ژله‌ای استاتیکی دما و فشار بالا و نتایج تست‌های زمان بندش در همان شرایط برای ۱۸ نوع دو غاب مختلف مقایسه شده است. در این آزمایشات مقاومت ژله‌ای استاتیکی با استفاده از دستگاه شکل (۱) و زمان بندش به وسیله کانسیستومتر شکل (۳) دما و فشار بالا اندازه‌گیری شده است.

اطلاعات به دست آمده از این آزمایش‌ها نشان می‌دهند که حدود ۱۰ دقیقه بعد از توقف عمل پمپ‌کردن، مقاومت ژله‌ای استاتیکی برای ایجاد یک اختلاف فشار قابل توجه، معمولاً مقدار کافی رشد می‌نماید. برای زمان بندش معمولی و دو غاب‌هایی با افت صافی کم (شکل ۴) SGS در مقدار متوسط (۵۰ تا ۱۰۰ Pa) پایدار می‌شود. آنگاه به

مدت ۳ تا ۶ دقیقه قبل از زمان بندش Bc ۱۰۰ هیچ افزایش عمده‌ای را نشان نمی‌دهد. به محض این که افزایشی در SGS رخ بدهد مقدار آن معمولاً در عرض ۶ دقیقه، به ۲۰ Pa زیاد می‌شود.

شکل (۴) همچنین نشان می‌دهد که قسمت عمده‌ای از کاهش حجم هیدراسیون (HVR) به طور هم‌زمان با افزایش در مقاومت ژله‌ای

۳۴  
آرشاد و تولی  
۱۳۸۴-۲۷-آبان

زمان SGS و زمان بندش شروع به افزایش کرده و تفاوت بین زمان بندش و مقاومت ژله‌ای بیشتر می‌شود (آزمایش ۱۴ جدول ۴).

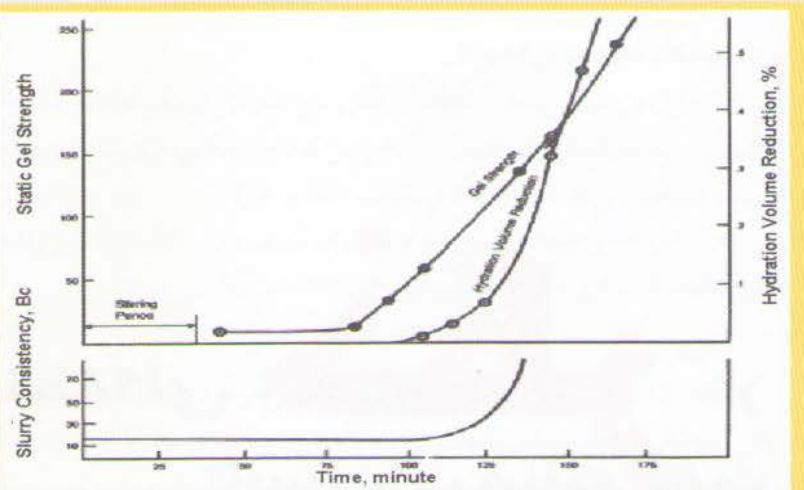
### ارزیابی اطلاعات اندازه‌گیری پایان زمان انتقال:

پایان زمان انتقال یک دوغاب سیمان زمانی است که استحکام ژله‌ای سیمان آنقدر رشد کرده باشد که از نفوذ گاز میان ستون سیمان جلوگیری به عمل آورد. تعریف شرایط دقیق دوغاب سیمان که در پایان زمان انتقال است، بدون انجام تعداد زیادی آزمایش بسیار مشکل می‌باشد.

گرچه آزمایش‌هایی که در این قسمت از مقاله توصیف شده‌اند عموماً ارتباط بین استحکام ژله‌ای سیمان و پایان زمان انتقال را نشان می‌دهند.

نتایج آزمایش‌های نفوذ در شرایط اتمسفریک در شکل (۵) نشان داده شده‌اند. این آزمایش‌ها با شش ترکیب سیمان و با استفاده از وسیله نشان داده شده در شکل (۲) انجام شده‌اند.

میزان استحکام ژله‌ای مورد نیاز برای جلوگیری از نفوذ برای تمام شش دوغاب از Pa ۱۳۰ تا Pa ۲۲۰ می‌باشد. به واسطه قطر بزرگ (۱۱۴ mm) و ارتفاع کوتاه (۱۲۷ mm) ستون به نظر می‌رسد که انجام آزمایش تحت شرایط نزدیک‌تر به شرایط چاه مورد نیاز است.



شکل ۴- مقاومت ژله‌ای استاتیکی و کاهش حجم هیدراسیون دوغاب مخصوص

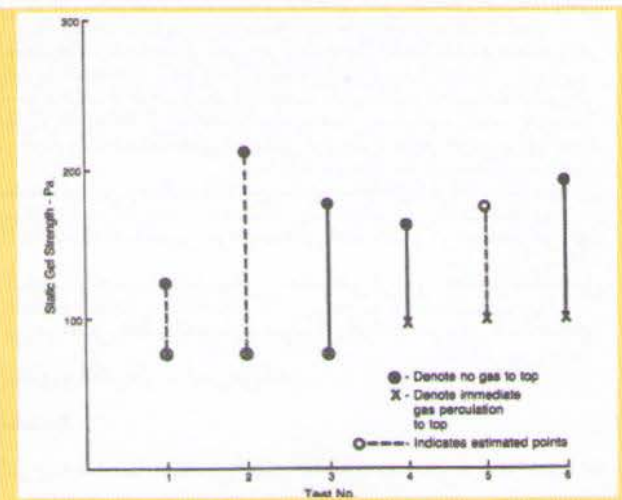
Slurry	Thickening	Stirring	SGS		Total Time		
	Time (Hours: minutes)	Time (Minutes)	Initial (Pa)	( $\gamma$ - minutes) (Pa)	0 - Pa	120 - Pa	220 - Pa
5	۲:۱۳	۵۲	۷	۷	۱۷۰	۲۲۰	۲۴۷
		۹۰	۹	۱۴	۱۳۸	۱۳۹	۱۷۵
		۱۵۰	۶	۱۷	۱۸۲	۲۰۸	۲۴۵
۷	۵:۳۳	۵۴	۶	۱۳	۱۱۰	۱۸۲	۲۲۵
		۹۰	۶	۲۰	۱۴۵	۱۸۸	۲۱۸
		۱۵۰	۱۲	۱۳	۱۶۹	۱۷۹	۲۰۰

جدول ۵- مقاومت ژله‌ای استاتیکی بر حسب زمان به هم خوردن

### نتیجه‌گیری

با ارزیابی اطلاعات به دست آمده از آزمایش‌های مختلف می‌توان به نتایج ذیل رسید (شکل ۵).

- ۱- SGS معادل Pa ۱۰ ممکن است برای بررسی یک محدوده فشار کافی باشد.
- ۲- شروع زمان انتقال مصادف است با اولین SGS قابل اندازه‌گیری.
- ۳- بر اساس آزمایش‌های انجام گرفته، شروع زمان انتقال زمانی است که ۱۰ دقیقه سیمان در جای خود ساکن شود.
- ۴- با سیمان‌های آزمایش شده پایان زمان انتقال وقتی است که SGS دوغاب سیمان متجاوز از Pa ۲۵۰ شود.
- ۵- رشد کافی SGS جهت جلوگیری از نفوذ گلو به طور مستقیم وابسته به زمان بندش نمی‌باشد. پایان زمان انتقال ۲/۵ تا ۴ ساعت بعد از عملیات سیمانکاری اتفاق می‌افتد.
- ۶- کل زمان انتقال برای دوغاب‌های آزمایش شده در محدوده ۱ تا ۴ ساعت می‌باشد.
- ۷- روش منطقی و دقیق تعیین شروع و پایان زمان انتقال دوغاب را می‌توان با استفاده از دستگاه مقاومت ژله‌ای به دست آورد. صرف نظر از نوع دوغاب آزمایش شده این وسیله نتایج واقعی را به ما می‌دهد.



شکل ۵- نتایج آزمایش نفوذ گاز در شرایط اتمسفریک

دوغاب شماره ۷:

۴۸ درصد آب + ۰/۸ درصد کنترل کننده افت صافی + سیمان کلاس G (استاندارد API)  
 آزمایش‌های فوق در شرایط چاه در درجه حرارت (۶۲ °C) و فشار (P=۳۴/۵ MPA) انجام گرفته است.  
 اطلاعات در این شکل نشان می‌دهند که مقاومت ژله‌ای استاتیکی بحرانی که قبلاً توصیف شد در عرض ۱۰ دقیقه بعد از توقف عمل پمپ کردن سیمان اتفاق می‌افتد.  
 اختلاف بین مقاومت ژله‌ای استاتیکی و زمان بندش اساساً در اثر تغییرات فشار یا دما بر روی دوغاب‌هایی با زمان بندش بین ۲/۵ تا ۴ ساعته خیلی محسوس نیست، اما موقعی که زمان بندش یک دوغاب طولانی‌تر از حد نرمال باشد (بیش از ۴ ساعت) اختلاف بین

شماره ۲۷- آبان ۱۳۸۴

منابع :  
 1. Sabins, F.L, Tinsley, J.M and Sutton, D.L (1982). Transition Time of Cement Slurries Between the fluid and set states. SPE 39279, PP. 875-881  
 2. Jennings, S.S, and Ansari, A.A.(2003). Gas Migration after Cementing Greatly Reduced. Paper SPE  
 3. Research Institute of Petroleum Industry. (Drilling Section Laboratory)-NIOC.