

炭鉱作業員が信頼して避難できる ポータブル・ユニット

ピラー・イノベーションズ社

ウェスト・バージニア州のサゴ鉱山（Sago Mine）で爆発事故が起きた際、充満した一酸化炭素やメタン・ガスにより炭鉱作業員 13 名が退路を絶たれました。作業員たちは一時的に退避できる場所に逃れ、防護幕を吊り救助を待ちましたが、作業員の緊急酸素マスクの内のいくつかは、正常に機能しないような状況でした。彼らは 2 日間近く閉じ込められ、救助されて生還したのは 1 名のみでした。もしも避難シェルターがあれば全員の命を救うことができたのかもしれない。

2006 年 1 月 2 日に発生したサゴ鉱山事故を受けて、ウェスト・バージニア州は地下鉱山に対して、96 時間まで避難可能なシェルターの設置を義務付ける条例を制定しました。シェルターは、採掘作業場の近くに設置すること、防災用品一式を完備すること、そしてなによりも高い信頼性が要求されました。ウェスト・バージニア州は、シェルターの候補から 5 種類を選んで認証しましたが、その中の一つがピラー・イノベーションズ（Pillar Innovations LLC）社が製造し、ストラタ・プロダクツ（Strata Products Inc.）社が販売するフレッシュ・エアー・ベイ（FAB）シェルターです。ストラタ社の FAB は、膨らませて使用するチャンバーを特徴とする避難シェルターですが、認証対象の 5 種類のシェルターに対して、安全衛生研究所（NIOSH）が実施した検査のすべてに適合したのは、このストラタ社のシェルターのみでした。

認証に際しては、評価基準としていくつかの重要な項目のほか、FAB のエアー・システムに使用されている Swagelok® コンポーネントに対する高い信頼性も決め手となりました。また Swagelok コンポーネントは、FAB の注文数の増加へも貢献しました。FAB の需要が増加したことを受け、ピラー社はシェルターの要であるエアー・システムの改良を目指し、スウェージロックの指定販売会社であるピッツバーグ・バルブ・フィッティング（Pittsburgh Valve & Fitting Company）を訪ねました。

安全な避難場所の構築

坑内で火災や爆発事故が発生した場合、作業員は有毒ガスが発生する環境から速やかに避難、もしくは隔離された場所へ退避し救助を待たなければなりません。作業員は汚染された空気をブロックし、呼吸可能な環境を確保するために、そのとき身の周りにある資材を使用してバリケードを構築するように訓練を受けています。しかし安全衛生研究所（NIOSH）は次のように語ります。「バリケードの構築が避難対策として必ずしも最善の策とは言えません。チャンバーや現場シェルターの方がより望ましいでしょう」

現場シェルターはチャンバーにくらべ、一人当たりに対して、環境、衛生状態ともに優れています。しかし現場シェルターを頻繁に移動させることは、現実的には困難です。移設が難しいことはつまり、緊急時に作業員がシェルターに到達するまでの時間が増大することを意味します。

その点、ストラタ社の FAB のような内蔵型ポータブル・チャンバーは採掘作業に合わせて、現場近くへ運搬することが可能です。FAB を作業現場付近へ計画的に設置することにより、作業員が安全な場所に避難するまでにかかる時間と距離が短縮できます。

FAB は「ベイ」と呼ばれるテント構造状の避難シェルターを特徴としていますが、これは飛行機の緊急脱出用スライドと同じように空気で膨らまして使用します。膨らます前のシェルターと、サバイバルに必要なその他さまざまなアイテムは、防爆スチール製の「コンテナ（FAB スキッド）」に格納されています。スキッドは最長 16 フィート、最大高さ 45 インチです。ベイは実際に膨らませた後は、高さ 66 インチになります。スキッドには、応急処置用の救急用品、非常用装置、簡易トイレ、二酸化炭素スクラバー、また食料、飲料水、酸素が 96 時間分格納されています。すべての備蓄品は、チャンバー（ベイ）を膨らませた後、内部からのアクセスが可能です。

スキッドには、FAB が安全で効果的に機能するために必須である圧縮ガス・ボンベや高機能のエアー供給サブアセンブリーも付属しています。

「爆発の際、作業員は最寄りのフレッシュ・エアー・ベイ（FAB）を探し、シェルターの展開場所を確保してから圧縮エアー・システムを稼働しなければなりません」とピラー・イノベーションズ社のノーザン・ガレット支社部長であるジェリー・マウスト（Jerry Maust）氏が説明します。「FAB スキッドは普段から鉱山中のあちらこちらへ運搬され、その途中で衝撃を多々受けています。製造やテストの時点だけでなく、実際に使用するとき、つまり緊急時にこそ漏れずに確実に運用できるエアー供給コンポーネントが必要なのです」

ピラー社は従来から取引のあるピッツバーグ・バルブ・フィッティングに対し、FAB スキッドに内蔵される4種類のエア・システム・コンポーネントに適したソリューションの提案を依頼しました。ピッツバーグ・バルブ・フィッティングは Swagelok チューブ継手、VCO® O リング式面シール継手、またチューブのいくつかをソリューションとして提案しました。

「高圧用途下で5年間、漏れを最小限に抑えることが必要なため、スウェッジロック製品の漏れのないシール性能は、とりわけ重要です。製品が許容最小限の圧力の下で正常に機能するためには、リーク・レートが理想的には 10^{-6} 、時には 10^{-7} [std cm³/s] を保つことが重要であり、スウェッジロック製品はこの条件を満たしています」とピラー・イノベーションズ社の専門技術、メカニカル・エンジニアを務めるマイケル・ビショフ (Michael Bishoff) 氏は説明します。

FAB の高圧エア・システム 4 点：

1. 空気注入：41.3 MPa の圧縮エア・システムは、鉱山事故で閉じ込められた作業員の避難所となるテント状の耐久シェルターを急速に膨らまします。作業員は FAB の扉を開き、シェルターを広げてからコードを引き、エア・システムを起動します。気密シェルターは約5分で膨らみます。必要なときに迅速に展開できるように、シェルターの空気注入システムは起動時に必要な加圧状態が維持されています。他のシステム3点は、緊急時にマスター・コントロール・バルブを開くことによって起動します。
2. パージ：41.3 MPa パージ・システムは、作業員が避難所に入る前の一次予防に使用されます。空気注入式シェルターは、密閉された入り口が特徴です。作業員はシェルターに入る前に、高圧エアによってできるだけ汚染物質を除去してから入室します。このシステムは、空気の汚染物質がメイン・チャンバーに入り込む可能性を低減します。
3. 酸素：31.0 MPa に設定された医療グレード酸素ボンベは、シェルター内で呼吸可能な空気を96時間供給します。作業員は避難員数に合わせて流量計をセットし、適切な酸素量を調節します。シェルター内では着席した状態で普通に呼吸することができます。
4. ファン（換気）：41.3 MPa のエア・システムは、活性ソーダ石灰 CO₂ 除去システムの電源供給源となり、チャンバー内の CO₂ を吸収して換気を行い、呼吸可能な環境を維持します。シェルター内部から密閉された開口部を通してアクセス可能な FAB スキッドには、最大収容人数において96時間強のあいだ交換可能な活性ソーダ石灰カートリッジが保管されています。

安全と信頼性のお届け

ウェスト・バージニア州の方針や NIOSH テストの影響を受け FAB の需要が高まったことにより、ピラー社はストラタ社の注文に迅速に対応する必要に迫られました。その結果、ピッツバーグ・バルブ・フィッティングは今までの単なるコンポーネント・サプライヤーの立場から、製造面においてより大きな役割を果たすことになりました。

ピッツバーグ・バルブ・フィッティングは近年、カスタム製造およびアセンブリーを提供するカスタム・ソリューションズ部門を設立しています。このサービスを通して、ピッツバーグ・バルブ・フィッティングはお客さまの仕様に合わせたアセンブリーの制作から、現場への出荷、最終的な据え付けまでを提供できるようになりました。小型のアセンブリー制作から大きなスキッド、パネル、キャビネット、また特殊なチューブ・ベンディングや円周溶接サービスまでを網羅しています。この種のサービスは、ピラー社がまさしく求めていたものでした。

「法律の施行により、鉱山業者はシェルターに関して、導入までの時間枠を含む計画を立てることが必要となりました。そのため、納品可能な製造スケジュールを提出することが重要となってきております」とビショフ氏は説明します。「スウェッジロックの製品コンポーネントを使用して、システムの一部を構成するレギュレーターや圧力計、バルブの組み立てを行ってくれるサプライヤーが存在するかどうか不安でした。ところがピッツバーグ・バルブ・フィッティングを通して、システムの主要部品をリーク・テスト済みの状態で購入することができるようになりました」

ピラー・イノベーションズ社はピッツバーグ・バルブ・フィッティングに対して、380個以上のエア・システムのサブアセンブリーを、緊急注文しました。またその後、さらに63個を追加注文しました。注文を処理するには合計でチューブ継手が4,873個、VCO継手が1,772個、またチューブの注文は25,251フィートに及ぶものになりました。

ピッツバーグ・バルブ・フィッティングは大口の注文を受けたものの、スウェーヂロックに在庫があるかどうか心配でした。中でも FAB の酸素システムに使用する部品については特に気がかりでした。ほかのエア・システム 3 点はステンレス鋼製のコンポーネントを使用していますが、酸素システムは合金 400 製の部品を使用しています。合金 400 は純酸素に耐火性がある材質です。「合金 400 製品は業界内の普及品とはいえませんが、スウェーヂロックには製品の在庫がありました」とビショフ氏は語ります。

ピッツバーグ・バルブ・フィッティングは、複数階の床面積合計、2,500 平方フィートに及ぶ建物において、エア・システムのサブアセンブリーの組み立ておよびテストを行っています。チューブは仕様に合わせてファーストカットの後、クリーニングしてからバリ取り、曲げ加工されます。その後、組み立て作業まで保管されます。サブアセンブリーの製造スピードを上げ、適切で均一な製品をピラー社へ納入するために、ピッツバーグ・バルブ・フィッティングはカスタム・アセンブリー用の独自の装置を作成しました。装置には 4 つのエア用にそれぞれ別個のプレートが付属しています。各システムの仕様に合わせてチューブを正確な角度に曲げられるように、すべての目盛りは鮮明にマークされています。

ピッツバーグ・バルブ・フィッティングはピラー社に対して、サブアセンブリーを一度に 30 個まで納入可能です。またトラックでの運送用に特別に作成した保護仕切りを使用して、1 台につき 12 ユニット出荷することができます。需要が特に多い時期には、ピッツバーグ・バルブ・フィッティングはピラー社の製造スケジュールに合わせるため、毎週出荷していました。

漏れのないパフォーマンス

エア・サブアセンブリーはピッツバーグ・バルブ・フィッティングから出荷される前に、テストを実施し漏れないことが確かめられています。技術者が一度に 4 つのサブアセンブリーまでテストできるように、独自の装置を製造しています。20 分弱でサブアセンブリー 4 つを、一端はガス・ラインへ、反対の一端は排気ホースへ取り付けることができます。ピッツバーグ・バルブ・フィッティングの部門マネージャーを務めるジム・サルヴァトーレ (Jim Salvatore) 氏は、エアで各サブアセンブリーをパージしてから、ヘリウム 30%、圧縮エア 70% の混合ガスを注入します。

31.0 MPa および 41.3 MPa の圧力でテストを実施しているため、安全性は特に重要です。パージや加圧の際には、サルヴァトーレ氏は透明で大きなブラスト・シールドの背後に退避します。

ラインが充填されるとサルヴァトーレは排気バルブを閉じ、ラインの高圧力を維持します。その後、すべての継手部分やバルブ、コネクション部を、漏れ検出液を用いながら注意深く検査していきます。

ピラー社は FAB の製造中にも最終リーク・テストを実施します。エア・システム 4 点が組み込まれた後、ユニットの梱包の前に、ピラー社の技術者はシステムを加圧状態にして、テストに使用されたのと同じヘリウム/圧縮空気の混合ガスで接続部の漏れをチェックします。

「鉱山の避難チャンバーは、安全性、信頼性、またシステムとしての整合性がすべてです。スウェーヂロック社とピラー社が協同してプロジェクト・パートナーになれたのは、この点です」とビショフ氏は振り返ります。

結論

現在はウェスト・バージニア州が唯一、活動中の地下探鉱事業に対して避難対策を課しています。しかし州内の探鉱事業者は、他州で展開している事業に関しても FAB を導入し始めています。ストラタ社は今後、多州において、また北米以外でも、石炭採掘業以外の採掘、建設業界に対してシェルターを展開していく計画です。

ストラタ社の FAB ユニットのような避難対策には、鉱山作業員の命を救うための有効性がありますが、NIOSH はその他にも作業員の安全を確保するために、鉱山事業者に対して、包括的な避難や救助プランを実施することを推奨しています。

注：

1. “Research Report on Refuge Alternatives for Underground Coal Mines,” National Institute of Safety and Health. (「地下鉱山における避難対策研究レポート」安全衛生研究所) 2007 年 12 月