
韓国建設技術研究院（韓国） 研修報告書

大規模実験装置での水素-空気混合気ベント爆発における 当量比が圧力に与える影響

先進理工系科学研究科 機械工学プログラム 甘 一辰

1. はじめに

この度、韓国建設技術研究院に8月10日～8月31日の期間でインターンシップとして研修を行った。以下にインターンシップの研修について報告する。

2. 研修/共同研究課題の決定

韓国建設技術研究院を選定した理由は、研究室が以前からこの機関と協力関係にあり、研究内容が私たちの研究と類似しているためである。指導教員との相談を経て、この機関で学ぶことを決定した。今回の共同研究課題を選んだ理由は以下の通りである。水素エネルギーの利用が拡大する中で、水素ステーションの数が増加しているが、地上のスペースが限られているため、一部の水素ステーションは地下に建設され、安全性の問題が生じている。この問題を解決するために、さまざまな実験が必要である。本研究では、地下水素ステーションでのベント爆発のシミュレーション実験を行う予定であるが、広島大学では実験設備の制約により小規模な実験しかできない。現時点でいくつかの結果は得られているが、規模を拡大した場合に同じ結果が得られるかは不明であるため、KICTで大規模な実験を実施し、小規模実験の結果と比較することにした。

3. 研修/共同研究スケジュール

8.12 (月)	8.13 (火)	8.14 (水)	8.15 (木)	8.16 (金)
研究所見学	実験装置の 組み立て	リーク チェック	文献調査	文献調査
8.19 (月)	8.20 (火)	8.21 (水)	8.22 (木)	8.23 (金)
実験	実験	実験	実験	実験
8.26 (月)	8.27 (火)	8.28 (水)	8.29 (木)	8.30 (金)
実験	データ分析	データ分析	実験装置の 片付け	仁川空港へ 移動

4. 研修先/共同研究派遣先の概要

韓国建設技術研究院(KICT: Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology)は、韓国で唯一の政府出資による建設技術分野の研究機関であり、主に韓国の建設業界の発展に寄与する研究、安全基準の高精度化や国の経済成長の促進、社会福祉の向上につながる研究を行っている。特に、水素都市の実現に向けた取り組みとして、水素の安全性に関する最先端技術の研究や実験施設を整備している。私がインターンシップとして派遣されるのは、建築火災や爆発の安全性を研究する部署で、この部署は最近では水素ガスを活用した都市開発プロジェクトにも関与しており、私の所属する研究室とも共同研究を進めている。

5. 研修/共同研究の内容

爆発が発生した後、ブラストウェーブ (Blast wave) は主な損傷の原因であり、ブラストウェーブによる損害を最小限に抑えるために、通常はベント (Vent) 構造が採用される。これは、密閉空間内で爆発が発生し、圧力が急速に上昇した際に、ベント部分を開放することで圧力を迅速に解放し、内部構造を保護する設計である。しかし、ベント爆発は複雑なプロセスであり、爆発によって生じる爆風圧に影響を与える要因は数多く存在するため、各要因の影響を解析するには個別に実験を行う必要がある。本実験では、当量比 (Equivalence ratio) が爆風圧に与える影響を主に研究する。

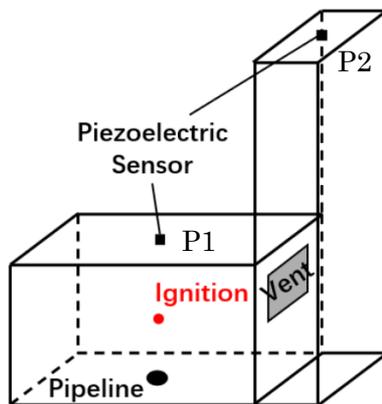


図1 実験装置図

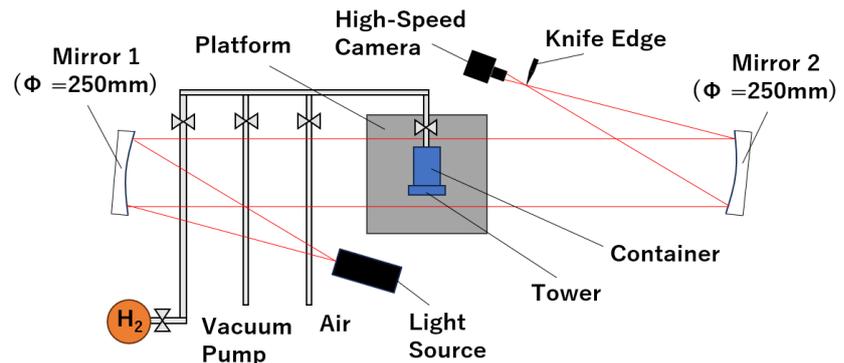


図2 シュリーレン法

大規模実験と小規模実験の装置構造は完全に同一であり、その構造は図1に示されている。図1は、地下水素ステーションにおけるベント爆発を模擬するために設計された実験装置を示しており、左側の容器 (水素貯蔵室) と右側のタワー (水素貯蔵室を地面に接続する) の2つの部分で構成されている。ベントは容器の右側の壁に設置されており、ベント面積が過圧に与える影響を調べるために、2つの異なるベント面積 ($A_v=24 \text{ cm}^2$ および 36 cm^2) を選択した。実験中、ベントは $25 \mu\text{m}$ 厚のプラスチックフィルムで密封され、高いベント破損圧 (約 200 kPa) の条件を作り出した。爆発に伴う火炎の伝播とブラストウェーブは、シュリーレンシステムと圧電式圧力センサーを用いて同時に記録された。また、爆発中に容器内 (P1) および外部 (P2) で発生する最大過圧に及ぼす当量比 (ϕ) の影響も調査した。

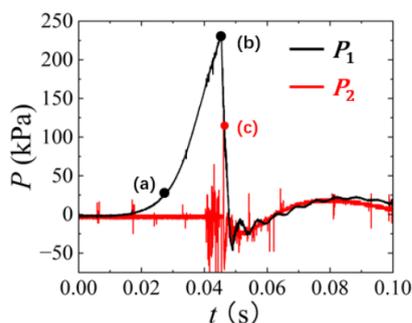


図3 内部および外部圧力の時間依存関数

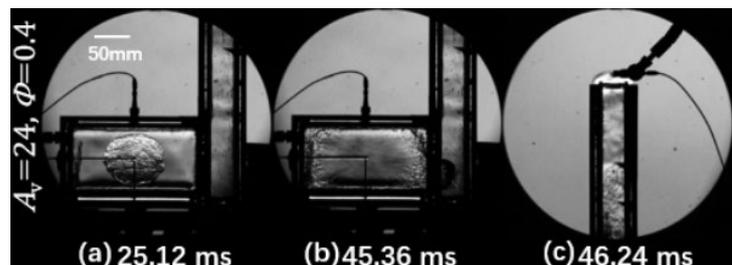


図4 ベント爆発の異なる段階における実験装置内の炎の伝播

図3は、ベント爆発プロセス中のコンテナ内部および塔の頂部での圧力-時間曲線を示している。点火後、炎はコンテナの中心から伝播する (図3および図4(a))。炎が伝播し続け、コンテナ内の圧力が上昇するにつれて、プラスチックフィルムが外向きに変形し、その場所で圧力が低下する。その結果、炎はもはや球状ではなく、ベントに向かって伸びる (図3および図4(b))。

プラスチックフィルムが限界に達して破裂すると、コンテナ内圧 P_1 は最大値 (P_{burst}) に達する。フィルムの破裂後、炎と未燃焼ガスはベントを通じて急速に外に押し出され、炎の表面積が急激に増加し、それに伴って圧力の急激な変化が発生する。その後、発生した Blast wave が塔の頂部にある圧力センサーに接触すると、ピーク圧力 (P_e) が記録される。(図 3 および図 4(c))。

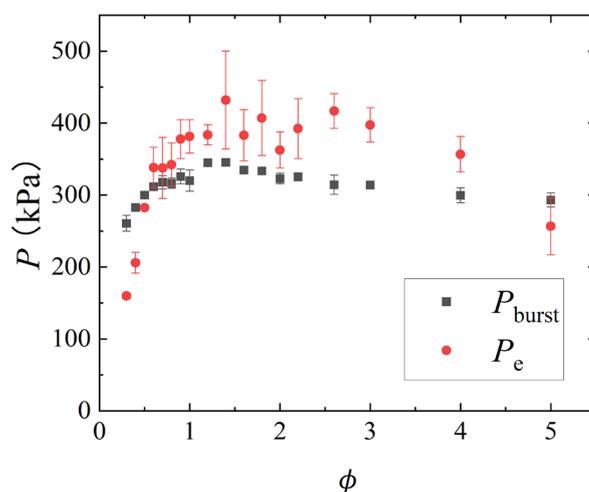


図 5 P_{burst} および P_e が ϕ に与える影響

図 5 は、異なる ϕ における P_{burst} および P_e の変動傾向を示している。 P_{burst} と P_e の両方が ϕ の増加に伴い増加した後、減少することが観察され、最大値は $\phi = 1.3 \sim 1.5$ の間で発生する。このことは、炎の伝播速度が P_{burst} および P_e の両方に影響を与えることを示している。ただし、 P_e の変化の方が顕著である。炎の伝播速度が増加すると、コンテナ内圧がより速く上昇し、フィルムが早期に破裂する。これにより、未燃焼のガスがより多くベント外に排出され、外部爆発が強くなり、爆風がより激しくなる。これが、 P_e の変動が P_{burst} の変動よりも大きい理由である。

6. まとめ

インターンシップを通じて、KICT で当量比が圧力に与える影響に関する実験を行った。実験結果によると、 P_{burst} は炎の伝播速度によって影響を受ける。一方、 P_e は炎の伝播速度だけでなく、フィルム破裂後にベント外で未燃焼ガスが引火することによって引き起こされる外部爆発にも影響される。さらに、 P_e は P_{burst} の上昇に伴って増加する。

7. 謝辞

今回のインターンシップ派遣にあたって、多大なるご指導を賜りました金佑勁准教授、山本教授、工学系総括支援室の皆様。また、韓国建設技術研究院の Yang-Kyun Kim 博士によるご指導に心から感謝するとともに、現地での生活を助けていただいた研究室の Byoung-jik Park 博士と Joon-sik Kim 氏に厚くお礼申し上げます。