

教育ノート

有機化学学生実験を安全に行うための工夫と考察

武村 裕之

日本女子大学 理学部 物質生物科学科

(2017年9月26日受理)

要旨 有機化学実験の実験実習では様々な危険が伴う。それらを最小限にとどめ、安全で、教育効果の高い実習を行うにはどうすれば良いかを、事例と学生の現状を織り交ぜながら考察した。

キーワード：化学実験、安全対策、有機化学、実習での工夫

我々の実習実験室で良くある失敗として、

1. ゴム管を冷却器と水道につないでにおいて、水道栓を勢いよく開ける。結果として圧力に耐えられずにゴム管が外れ、水道水が周囲3メートルに飛び散る。
2. 高温にしたシリコンオイルバスに水を落とす（上の例の飛び散った水が入ることもある）。
3. 吸水性のある試薬をいつまでも葉包紙の上に放置しておく。実験によっては吸湿した試薬が実験の失敗の元になる。また、放置している試薬に触れてしまい化学やけどを起こす可能性がある。
4. フラスコ内の溶液を沸騰させるのに沸騰石を入れ忘れる。結果として突沸が起こり試薬が周囲に飛び散る。
5. 分液ロートの操作を誤り、中の溶液が吹き出す。
6. 熱源によるやけど、あるいは薬品によるやけど。

など、枚挙にいとまがない。化学実験、特に有機化学実験は危険な試薬、臭いのきつい試薬を使い、長時間の作業が多いことから、特に注意して指導する必要がある。上にあげた例は学生の失敗ではあるが、基本的な操作は予めしっかりと注意を喚起して実際にやって見せるなど、かなり気を遣っているつもりである。化学（科学）実験を行う上で一番重要なことは「安全」ということであるので、実験を指導する最も根本は「安全指導」である。それらは我々の実験実習では1年生からいくつもある実験実習でかなりしっかりと繰り返し指導してきて

いるが、一度聞いたらすぐ忘れるらしく3年生の実験においても基本操作を覚えていないことが多い。そのために上に挙げるような簡単な失敗が時たま起こる。ここで指導法以前に問題なのは、最近の学生は「原因と結果」を結びつけて推測することが苦手であるように見受けられることである。「自分がどういうことをしたら、その結果どのようなことが起こりそうか」という簡単な思考訓練が決定的に欠けている。これは幼児期からの生活体験で多くの道具を使うことがなかった事が原因であるのではないだろうか。最近の水道は指を使わずに水もお湯もでるし、ネジ回しごときも使ったことがないため、例えば、実験室にある水道のカラン、ガスシリンダーのバルブ、ネジに到るまで、右に回せば栓が開くのか、左に回せば良いのか、といったことが身につけていない。これらは「進歩した現代生活による人間の退化」としか言い様がない。便利さと引き換えに生活の文明的向上は皮肉なことに人間の身体的能力、精神的直感力を衰えさせてゆく。しかし、これらの体験の未熟さはあるとはいえものの学習としての実験内容はどこまでも簡単にするわけにはゆかない。高等教育に相応しい能力と思考を養うには少々危険でも実験授業は欠かせない。実習で体験して失敗し、初めて自分が行ったことの何が悪かったかを自覚させることが大事である。ここで指導者は失敗をとがめるのではなく、なぜそうなったかを考えさせることが大切である。何しろ彼らは何も知らないのだから。安全に関連して、我々は学生の実験操作を注意深く観察し、何かが起こる前に原因と結果を推測させること

を行っている。予めどんなことが起きるかよく考えさせ、事故が起こることを防いでいる。不測の事態はいつでも起こり得るものであるが、基本を守っていれば危険をいくらかでも少なくできる。とにかく何度も言いたいのは原因とそれによって起こる結果を考えさせること、それによって安全を確保することが実験実習における我々の使命である。細かい理論などはその後で良い。実験の目的、方法、操作、観察、考察、結論、と一連の実験によって論理的考察ができることが実験実習講義の最終目的ではあるが、その前に常識的などというか、原始的な危険回避の本能のようなものを実験を通して身につけてくれば、と実習の指導に臨んでいる。

ここで、有機実験に特徴的な危険性を回避するための具体的な工夫の一つ述べておく。

有機化学の実験には加熱、冷却などの温度管理が重要である。特に学生実験で問題になるのは試薬を入れたフラスコ類を加熱して反応を進める、生成物の再結晶、蒸留、などの装置である。学生実験では大体100～150℃程度の温度までで十分となることが多い。日本女子大学理学部物質生物科学科の有機化学実験Ⅰ、Ⅱでは裸火を使うことを極力避け、ガラス細工のみ、火気を使っても安全な別の実験室でガスバーナーを使用する。問題となる、化学反応の開始、促進のための加熱、あるいは真空蒸留には、場合によってホットプレート、マントルヒーター、水浴、シリコンバスを用いているが、高温を必要とするときはシリコンオイルを用いている。フラスコについた余分のシリコンオイルはイソプロパノールを用いて除く。ところが、シリコンオイルの欠点は、水より軽いことで、加熱中温度が高いとき、もし水道水などが誤って入ったときは天ぷらよろしく激しくオイルを撥ね上げ、火傷の恐れがある。また、加熱を始めると熱くなったオイルは表面の方にたまり、下の方は冷たいままである。従って、加熱中はよくかき混ぜていないと危険なことがある。しかも、ガラス器具を浸けて加熱すると、イソプロパノールでも十分にはとれず、水で洗うとガラス面は水をはじくようになる。これでは本当にきれいになったかどうかの判断ができない。洗った後、水をはじいているガラス器具を見るのは何ともやりきれない思いをする。そこで、シリコンオイルの代わりにポリエチレングリコール400 (PEG 400) を使うことを推奨したい。実際、我々の研究室ではこれを使っている。優れた点は、水と溶け合うことで加熱中に水が飛び込んでほねないことである。さらにフラスコに付着した余分のものは水で洗い流せることである。誤って有機物が飛び込んでそのまま有機廃液に捨てられる。沸点は234℃、自然発火点305℃と学生実験での使用温度で

は危険性がない。毒性、発がん性はなく、皮膚刺激性もほとんどない。

また、医薬品の溶剤に使われていることから安全性が理解できる。ただ、目に対する有害性が指摘されているが、学生は保護めがねをかけており（これは義務としている）、実験室中において、比較的低い温度で加熱を行うのには蒸気による刺激はまず心配がない。目に入った場合でも水で洗い流せることが特徴である（林 純薬工業株式会社 安全データシート、<http://www.hpc-j.co.jp/pdf/msds/B9-07.pdf>）。

欠点は値段が少々高いことである。現在一斗缶などで市販しているところは少なく（ナカライテスクなど）、ほとんどが500gあるいは500mL瓶で買うしかないが、その場合、信越化学工業 シリコンオイル1kgが¥2,200ほどに対してポリエチレングリコール400 (500mL)が、¥1,700円（米山薬品工業株式会社）と価格が1.5倍近い。しかし、上にも書いたようにシリコンオイルを使う場面はそれほど多くなく、オイルバスも1Lほどの容量なので安全面からPEG 400を検討する余地は大いにある。他の学校、実験室では安価という理由で菜種油などをオイルバスに使用するところもあるかもしれないが、筆者の経験からすれば、すぐに変質して汚くなるし、使用しているうちに酸化して一部が樹脂状に固化して困る。また、一度火がついたら消化器の使用が必要になる、など良くない点が多い。液体のバスを使うのに変わって、ホットプレートを用いて加熱するのもクリーンで使いやすいが、最近になって丸底やナス型フラスコを加熱するのに、ホットプレートとそれに組み合わせ使うヒートブロックが販売されている。これも高価だが、フラスコが汚れる心配がなく、フラスコとの大きさが合わなければ先ほどのPEGと組み合わせでオイルバス様を使うことができる。これを使って1mLから500mL、ないしは1Lまでのフラスコに対応できる。以上、学生実験での加熱方法の改善について述べた。安全、かつクリーンな実験を目指すための工夫である。大事なことはこの設備を整えた上で、なぜある場合にはオイルバスを使い、別の時にはマントルヒーターを使うのか、裸火を使わない理由は、など、加熱のことだけでも最低限の知識と考えることを学生に認識させることである。

実験授業において、上に述べたことと共に、まず実験書を読み、計算し、反応を考え、理解し、それを行うにはどのような器具を使いどのように行うのか、実験書の世界と現実の世界を結合して考える能力を培うことがとても大切である。我々指導の側もいつもそのことを念頭に置いて指導しているつもりである。

文献 [単行本]

- 1) 「化学実験の安全指針」 日本化学会 (編集) 丸善 第4版 (1999)
- 2) 「これだけは知っておきたい化学実験セーフティガイド」 日本化学会 化学同人 (2006)
- 3) 「基礎化学実験安全オリエンテーション」 山口和也 (著), 山本 仁 (著) 東京化学同人 (2007)
- 4) 「実験を安全に行うために」 化学同人編集部 第8版 (2017)

A Study and an Invention to Perform Safe Student Experiment in Organic Chemistry

Hiroyuki Takemura

Department of Chemical and Biological Sciences,
Faculty of Science, Japan Women's University

(Received September 26, 2017)