

一般財団法人 電力中央研究所
原子力リスク研究センター 技術諮問委員会
〒100-8126 東京都千代田区大手町 1-6-1

2015年6月6日

〒100-8126 東京都千代田区大手町 1-6-1
電力中央研究所
原子力リスク研究センター所長
ジョージ・アポストラキス博士

件名：火災研究活動

アポストラキス博士

2015年5月25日から29日に開催された原子力リスク研究センター（NRRC）技術諮問委員会の第3回会議にて、火災防護および火災リスク評価に関する調査・試験活動の一部について、NRRCの職員より説明があった。このレターは、それらの調査プログラムのスコープと方向性に関するわれわれの見解と提言を提示するものである。

提言

1. 日本の原子力発電所における火災リスクの現実的評価を策定および適用するために必要な情報を改善していくために、NRRCは、火災研究・試験プログラムにおいて、以下の領域により重点を置いて取り組むべきである。
 - 電気キャビネットの物理的特性に基づいた、火災発生頻度、火災成長速度、放熱速度の現実的な評価の実施
 - 仮置きされた可燃性物質の物理的特性に基づいた、火災発生頻度、火災成長速度、放熱速度の現実的な評価の実施
 - 原子力発電所の典型的な電気キャビネットに対して設置される初期火災検知システムの応答時間と有効性を測定する試験

背景

電力中央研究所（電中研）は、原子力発電所の安全に関わる火災の影響の低減を目指して、火災の防止、検知、抑制、伝播に関する理解を向上させるための調査・試験を実施している。われわれは、日本における火災リスク評価の策定と実施のため

のガイダンスに関連した複数の課題について説明を受けた。そして、それらの問題点について、現在米国が火災リスク評価に使用している方法やデータを定めた NUREG/CR-6850 に記述されている複数のトピックと照らし合わせて協議した。

この会議の中でわれわれは、以下の分野で電中研が実施している調査・試験の現状について説明を受けた。

- 高エネルギーアーク火災 (HEAF) 試験
- 隣接する部屋への熱と煙の伝播 (マルチルーム火災試験)
- 潤滑油による火災の試験
- ケーブル火災消火システムの試験
- 電気制御システムへの煤煙の沈着がもたらす影響
- 火災伝播解析コードの検証

議論

米国や欧州で行われた数々の詳細な火災リスク評価から、いくつかの典型的なシナリオが、火災のリスクの大部分を占めていることが明らかになっている。以下に、それらのシナリオがリスクに占める割合と火災調査・試験プログラムとの関係について、簡略に説明する。

電気キャビネット火災

多くの原子力発電所において全火災リスクの最大の要因となっているのは、電気キャビネットから発生し付近のケーブルトレイに伝播する火災である。これらの火災によって受ける損傷やその事象シーケンスは、各プラントの設計や、各火災発生区域におけるキャビネットやケーブルの配置によって異なる。しかし、これらのシナリオがプラント固有の火災リスク全体の半分以上を占めている場合が多い。

それらのシナリオ検証結果で重要なのは、それらが中間電圧の AC 電源母線やモーターコントロールセンター、AC (または DC) 低圧配電キャビネット、または計装・制御キャビネット内で発生した火事と関係していることが多い、という点である。場所によっては、高エネルギー電気故障がリスク要因となっていることもある。しかし、大部分のプラントでは、HEAF は全体の火災リスクの要因のほんの一部を占めているにすぎない。

火災リスク分析の専門家たちは、NUREG/CR-6850 に記載されている方法やデータには、保守的なリスク評価を導きがちになってしまうという点で、二つの問題があると指摘している。一つは、NUREG/CR-6850 が定義するところの「電気キャビネット」火災が幅広い種類のキャビネットを含んでいる点である。例えば、電源電圧

わずか24V DCのデジタル計装・制御キャビネットから電圧13.8kV以上のプラントレベルのAC電源スイッチギアに至るまでを含んでいる。NUREG/CR-6850では、キャビネットの種類やその構成、回路、内部エネルギー量などに関して区別が行われていない。どのようなキャビネットが発生源となったかに関係なく、全キャビネットから発生した火災をもとにプラント全体での「電気キャビネット」火災の発生頻度を算出し、それを全キャビネットの数で割っているのである。実際の火災データのとりまとめを行った経験からも、そのような均一化された想定方法は支持しがたい。

二つ目の問題は、NUREG/CR-6850ではどの「電気キャビネット」で発生した火災に対しても同じ熱放出速度（HRR）と火災成長速度を適用するよう推奨している点である。しかも、それらのHRRや火災成長速度は、それぞれに異なる研究目的のもとで実施された非常に保守的な火災試験から得られたごく限られたデータをもとに算出されている。米国原子力規制委員会の原子力規制研究局も、代表的な種類および構成の電気キャビネット毎の現実的なHRRと火災成長速度を測定するにはさらに試験を行う必要がある、としている。そして、代表的なキャビネットをサンプルとして使用した初期試験が行われ、報告書案が公表された（NUREG-2178）。

次のような調査・試験を行えば、電気キャビネットで発生する火災のリスクをより現実的に評価する際に役に立つデータや情報を得ることができるだろう。

NUREG/CR-6850の「電気キャビネット」火災を一般的な原子力発電所で実際に使用されているキャビネットの種類に従って細分類するべきである。例えば、電圧レベル、エネルギー量、回路種別（例：電源、計装、制御）によって5～6種類に分類することができる。そして、全プラントまたはプラント毎の火災発生頻度をそれらのキャビネット分類別にまとめる。各火災の深刻度、検知や抑制に要した時間、観察された損傷の程度も、できる限りデータとしてまとめる。

さまざまな種類または本数のケーブルを格納した低圧の計装・制御キャビネット、AC（またはDC）配電パネル、中間電圧のAC電源母線またはモーターコントロールセンター用回路遮断器キュービクル、高圧ACスイッチギア、といったより多くの種類の電気キャビネットについても追加の火災試験を行うべきである。これらの試験を外部の発火促進剤を使用せずに実施し、火災成長速度やHRRを測定する。できれば試験を複数回実施し、各測定パラメータの変動幅や不確実性に関する情報を集める。NUREG-2178に記載されている初期試験の報告をもとに、他国からの協力を利用してこれらの試験を実施するべきである。

仮置きされた可燃性物質による火災

仮置きされた可燃性物質から発生する火災も、全火災リスクの重要な要因であり、また実際のリスクを現実的に評価するために必要な火災モデルや分析を作成する上で欠かせない情報源である。これらの火災は、電気キャビネットや計装・制御ケーブルがある場所、時には中央制御室における最も重要なリスク要因となる場合が多い。

前述の電気キャビネット火災と同様に、火災リスク分析の専門家はこれらの火災においても、NUREG/CR-6850に記載されている方法やデータには保守的なリスク評価を導きがちになってしまうという点で二つの問題がある、と指摘している。一つは、これらの火災の発生頻度を分析する際に使用されている建物の種別や建物内で行われている活動の種類は非常に大まかにしか分類されていない点である。そして、プラントの各場所で行われている活動の種類と頻度について一般的な評価を行い、その結果に従ってプラント全体の火災発生件数をプラント内で通常出入り可能なそれぞれの場所に割り振る方法をとっている。こうした割り出し方法を推奨するNUREG/CR-6850が改善されたことにより、個々の場所での可燃性物質の仮置きを制限する管理体制の良否に関してクレジットを大きく取る必要がなくなっている。しかし、火災リスク分析の専門家たちによると、このような火災発生件数の割り出し方法は依然として、実際の火災時の経験と合致していないという。

もう一つの問題は、NUREG/CR-6850では仮置きされた可燃性物質から発生する火災に対して適用できるHRRや火災成長速度の値をいくつかの特定の数値に制限している点である。これらのHRRや火災成長速度は、ある決まった種類や数量の物質を使用して行われた火災試験の一部をもとに算出されたもので、しかもそれらの物質は実際の原子力発電所に仮置きされた可燃性物質からの火災の実態を代表するものでない可能性がある。そして、われわれの知る限り、現在行われている火災試験の中で、原子力発電所内のいろいろな場所に仮置きされている可燃性物質の実態に即してHRRや火災成長速度をより精緻化しようとしている例はない。

次のような調査・試験を行えば、仮置きされた可燃性物質から発生する火災のリスクをより現実的に評価する上で役に立つデータや情報が得ることができよう。

仮置きされた可燃性物質による火災に関する全プラントまたはプラント毎のデータを集める際には、次のことを記述しておくことで、より良い分類を行うべきである。すなわち、人的要因による火災の場合は、その要因となった活動の種類は何か、機器の火災の着火源となったのかどうか、発火した物質は何か、プラント内のどこで発火したのか、その場所ではどのような火災防護措置が取られていたのか等である。また、各火災の深刻度や損傷の度合いもできる限りデータとして含めるべきである。そのようにして得られた情報は、仮置き可燃性物質による火災の頻度や原因を的確に評価する上で役に立つ。それらの情報はまた、プラント内の各場所ごとにそれらの火災の発生頻度を割り当てるための有効な根拠となる。

火災時の経験やプラント内ウォークダウンの記録をもとに原子力発電所内に実際に仮置きされている可能性の高い可燃性物質の種類や量を想定し、より現実に近い条件で追加の火災試験を行うべきである。発火源として典型的なものを使用して、火災成長速度やHRRを測定する。できれば試験を複数回実施し、各測定パラメータの変動幅や不確実性に関する情報を集める。

初期火災検知システム

米国の一部の原子力発電所では詳細な火災リスク評価の結果、高感度の初期火災検知システムの設置、あるいは設置検討を行った。このシステムは、煙や熱、火炎が

激しくなる前に差し迫った火災を早期に警告するものである。多くのプラントで電気キャビネット火災が火災リスクの一番の原因とみられていることから、これらのシステムを低圧計装・制御キャビネットや一部のAC（またはDC）配電パネルに取り付けるよう提案されていることが多い。

現状の火災リスク評価ガイダンスを前提とする限り、損傷（例：電気回路の切断）を起こすほどの発火が起きる前にプラント作業員が適切な対応をとれるだけの時間的余裕をもって警報が発動し火災源を教える、という具合に初期火災検知システムの有効性について大きなクレジットをとることは難しいと思われる。しかし、日本の原子力発電所においてこうしたシステムの導入が安全性向上につながると判断するのであれば、現実に即したキャビネット構成や発火源を使用してこうした検知システムを試験し、火災リスク評価において本当に役立つ定量的データを集めるべきである。

日本の原子力発電所においてより現実的な火災リスク評価を策定・適用するためには、**NRRC**は現行の電中研による火災調査・試験プログラムをさらに拡大し、上述のような問題に遅滞なく取り組むことを提言する。

敬具

ジョン W. ステットカー（本人署名）
委員長

参考資料
記載略