

방사선照射의 공업이용에 있어서의 안전 확보(下)

綿貫孝司(Takashi Watanuki)

일본원자력연구소 高崎연구소

안 전 관 리 과 장

방사선 화학 또는 식품 방사선 照射 등에 사용되는 線源으로서 1960년대에 계획된 照射用 大出力 X선 발생장치 (200kVp, 1000mA)의 개요와, 건설중에 야기된 기술적 문제들 및 현재에 있어서의 개발동향을 기술한다. 또한 「照射 액체질소 중에 있어서의 오존의 폭발 위험성」 및 「방사선 照射 작업자에게 나타난 피부장해 사례」에서 방사성 照射利用에 있어서의 안전 확보 강구에 대해 논한다.

3. 照射 액체질소 중에 있어서의 오존의 폭발 위험성

1975년 원자력 연구소 高崎연구소가 共振 변압기형 전자가속기 (2MeV, 5mA)를 사용하여 액체질소를 冷媒로 하는 低溫照射 실험 중에 갑자기 加速管 안의 眞空度가 저하하여, 가속기 운전이 불가능하게 된 사고가 발생했다.

그 이전에도 코발트 60이나 원자로를 이용하는 액체질소를 사용한 방사선 照射 실험 중에 글라스 앰플의 파손이나 試料의 손상이 있었다고 하는 보고를 접한 적이 있고, 高崎

연구소에 있어서도 방사선 조사를 장시간 입은 액체질소를 마루에 버리면, 증발소실하기 직전에 작은 폭발을 일으키는 적이 종종 있었다.

그러나 이러한 사고의 경험 자체는 학술보고 대상으로는 되기가 어렵고, 또한 일반적으로 폭발의 규모가 작아 인신사고나 중대한 機器손상까지 미치지 않았기 때문에 폭발에 이르는 과정·조건 등에 대해서는 밝혀지지 않았다.

이 사고는 照射室 안에서의 사고이기 때문에 다행히도 인적피해가 없고, 現象적으로는 「가속기의 손상」이라는 물적피해에 머물렀지만, 그 피해가 크다는 점, 같은 사고의 재발 방지의 필요성이 있다는 점, 인적피해와 연결될 염려가 있다는 점 등의 이유에서, 사고원인의 규명 및 사고의 재발방지책의 검토를 위해 일련의 조사, 실험을 실시하였다. 여기서는 지면상 주요한 조사결과만을 기술하기로 한다.

가속기의 전자선 꺼내는 창 (調査窓은 전자선을 통과하기 쉽게 하기 위한 두께 0.18mm의 티탄 薄膜製인데, 사고 후에 照射窓에는

열 몇군데의 傷痕이 있었다. 가속관의 眞空度 저하는 이 照射窓의 상측부분에서 外氣가 스며들었기 때문이었다. 照射窓의 손상원인은 被照射용기 안의 오존 폭발에 기인한 것으로 被照射 試料의 가륨안티몬 (Ga Sb)과 받침용 1mmt 베리리어板(BeO의 燒結板)이 날렸기 때문이었다. 오존의 생성, 농축현상, 유기물과의 반응, 폭발위험성 등에 대해 조사 및 실험을 한 결과 Fig. 7에 제시한 과정에 의해 오존이 폭발한 것으로 추정되었다. 또한 오존의 폭발 위험성에 관해 다음 사항이 뚜렷이 밝혀지게 되었다.

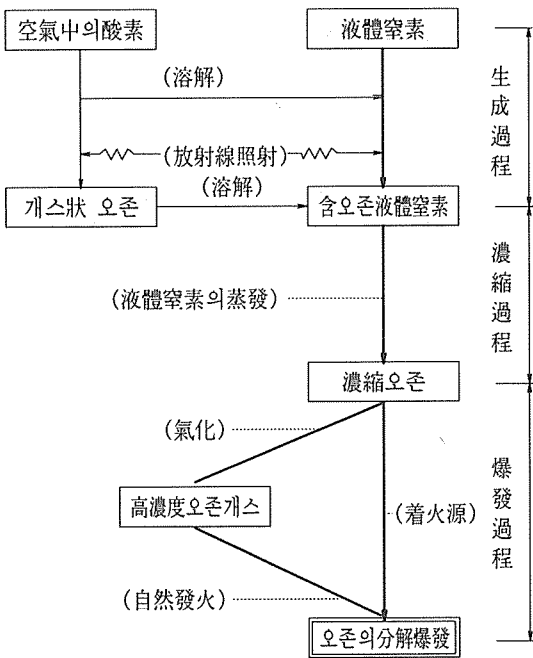


Fig. 7 오존의 分解爆發과정

(오존의 생성)

- ① 통상의 액체질소의 방사선조사에는 반드시 오존이 생성한다.
- ② 액체질소 뿐만 아니라 산소를 용해하는 冷媒의 방사선조사에 있어서도 오존이 생성한다고 생각해야 한다.

(오존의 농축에 대해)

- ① 액체질소의 증발에 따라 오존은 농축된다.
- ② 오존의 농축은 容器 등의 氣液界面 등 액체질소의 증발이 심한 부분에서 생기기 쉽다.
- ③ 적당한 온도의 多孔質體나 물체 사이의 틈에는 오존이 생성하기가 쉽다.
- ④ 액체질소의 증발에 의한 것뿐만 아니라 相分離에 의해서도 고농도 액체 오존이 생성한다. 특히 저농도 오존용액에 있어서도 온도의 저하에 따라 고농도의 오존相이 생기는 가능성이 있다.
- ⑤ 물리적인 농축뿐 아니라, 오조니드의 생성 등에 의한 화학적인 축적에도 주의를 기울일 필요가 있다.

(오존의 폭발 위험성에 대해)

- ① 오존은 支燒性的의 가스가 없더라도 단독으로 분해폭발을 일으킨다.
- ② 액체질소 안의 오존은 비교적 안정한 상태이지만 액체질소를 포함한 고농도 오존은 放電 불꽃, 가열 등으로 폭발을 일으켜 그 폭발력은 매우 크다.
- ③ 개스狀의 오존은 적당한 농도하에서는 着火源이 없더라도 쉽게 발화·폭발한다.
- ④ 유기물 등의 불순물을 포함하고 있지 않은 개스狀 오존의 폭발한계는 9mole % 정도이지만 통상은 불순물이 혼입되어 있는 것으로 생각해야 하며, 이 경우의 폭발한계치는 더욱 낮은 것으로 생각해야 한다.
- ⑤ 개스狀 오존에 대해서는 유기물은 폭발을 촉진하는 것으로 생각해야 한다.
- ⑥ 오존을 포함한 액체질소일지라도 알코올類, 에테르類, 비닐모노머類, 셀로테이프, 점착테이프類와의 접촉은 피해야 한다.

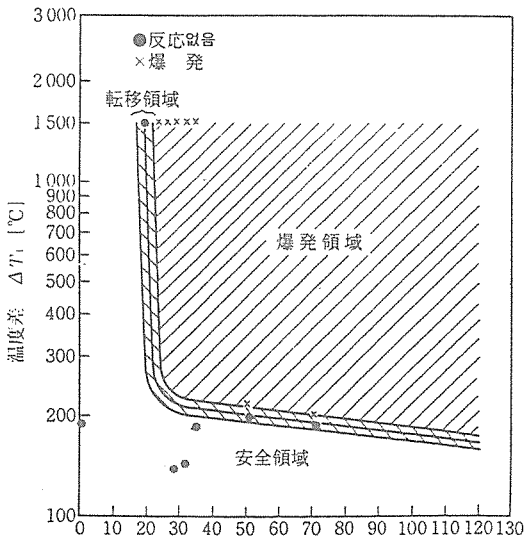
(안전대책에 대해)

방사선조사에 의해 오존의 생성을 피할 수 없는 한, 만전의 대책을 강구하기가 어렵지만 다음 두 단계에 걸친 대책을 취하는 것을 기본으로 하여 안전확보에 힘쓰기로 했다.

① 오존이 관여하는 폭발의 요인을 될 수 있는대로 제거할 것.

② 실령 폭발이 일어난 경우에도 그 영향이 실험자, 가속관 등의 線源, 그 밖의 것에 피해가 가지 않도록 防護를 실시할 것.

이런 방침을 보다 뚜렷이 하기 위해 실험에 사용하는 被照射 용기의 구조, 액체질소液面의 제어, 장치의 재료, 실험방법 및 실험자·加速管 등의 보호에 대한 구체적인 제안을 하여 안전확보를 도모했다. 그 결과 오늘에 이르기까지 액체질소를 사용한 조사실험에 있어 오존이 관여한 재해의 발생은 없다.



有機性不純物濃度(CO₂로 인한濃度) [ppm]

Fig. 8 大氣壓下の100% 개스狀 오존의 反応性에 미치는 不純物濃도와 에너지 付加速도와의 効果

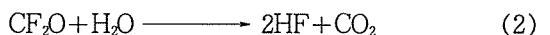
4. 방사선조사 작업자에서 나타난 피부 장애 사례

방사선화학을 실제로 응용한 사업으로 폴리테트라플로오르에티렌 (PTFE, 상품명의 한 예로 테트론이 있다)의 폐기물을 방사선에 의해 붕괴시켜 열안정성이 좋은 미분말 왁스로서 재자원화 하는 일이 이루어지고 있다. 1980년 방사선조사를 위탁받은 H사업소에서 방사선조사 업무에 종사한 26세의 남성의 사례이다.

방사선조사를 위탁받은 폐기 PTFE 20kg를 金網에 넣어 이것을 신문지에 포장한 후 폴리에틸렌製の 자루 안에 넣고 자루 입구를 점착테이프로 막았다. 이렇게 포장한 PTFE를 Co-60으로 200kGy (MR/hr×20hr) 照射하였다. 照射 후 폴리에틸렌 자루를 개봉하여 약 3시간 방치한 후 폴리에틸렌 자루와 신문지를 제거했다. 이때 작업용 장갑을 착용하여 작업을 했지만, 신문지 및 폴리에틸렌 자루에 부착한 물방울이 장갑을 통해 손에 묻었다. 포장 제거작업 시간은 20~30분이었다. 증상은 묻은 당일에는 이상이 없었고, 2일째에 오른 손 약지에 현저한 水素酸 腐食의 증상(쑤시는 통증, 수포, 손톱 아래쪽의 출혈 손톱의 하얀 반점)이 나타났으나 3일째에는 화상 후의 경과가 매우 좋아 회복이 되어 아픔도 사라졌다. 손톱의 변화는 손톱이 자라남에 따라 약 3개월 후에 없어졌다. 치료는 개업에서 받아 2일째에 스테로이드 연고를 발랐을 뿐이었다.

(원인)

PTFE에 γ 선을 照射하면 다음 반응에 의해 불소화수소가 발생한다는 것이 보고되어 있다.



또한 반응(2)의 H₂O는 공기중의 수분이다. 이때 1kg의 PTFE가 10kGy 부근에서 발생하는 HF량은 5.2×10^{-5} mole이라고 되어 있고 10kg의 PTFE에 200kGy 照射한 경우에는 약 250ml(25°C)의 불소화 수소가스를 발생시키는 것으로 추정된다. 照射時에 발생하는 불소화 수소는 이 장해 사례가 발생하기까지 PTFE를 포장하지 않고 照射하고 있었기 때문에 실내 공기 중에 확산되어 있었다. 그러나 이 불소화 수소는 照射室의 차폐창을 부식하는 가능성이 있기 때문에 폴리에틸렌 자루로 포장하여 照射 후에 실외에서 개봉하게 되었다. 그리하여 포장에 의해 照射時의 고온으로 발생된 수증기가 물방울이 되어 이 물방울에 불소화 수소가 용해하여 불소화 水素酸이 되어 이 피부장해는 불소화 水素酸에 접촉하여 발생된 것으로 생각되었다. 또한 불소화 水素酸의 부착량 및 농도는 측정할 수 없었지만 부착 당일에는 썩시는 아픔을 보이지 않았다는 점, 화상의 정도가 가볍고 경과가 좋은 점으로 미루어보아 접촉한 불소화 수소산의 농도가 낮았다고 사료된다.

(예방대책)

불소화 水素酸은 가스·도자기나 전자공업에 널리 사용되고 있으며, 강한 부식성이 있어 백금·금 이외의 모든 금속이 침해될 뿐만 아니라 유리를 잘 부식한다. 인체에의 영향은 눈, 코, 목을 강하게 刺激하여 증기를 흡입하는 肺水腫, 기관지염을 일으킨다. 눈, 피부에 장해를 주어 썩시고 매우 아파 藥火傷을 자아낸다. 1~2%의 水溶液이 부착할 경우 당장의 아픔은 없으나 수시간 후에 장해가 나타난다고 보고되어 있다.

예방대책으로는 PTFE를 포장하지 않고 照射하여 발생하는 불소화 수소가스를 局所 배기장치 설치에 의해 照射室內에서 제거하도록 했다. 이렇게 하여 현재까지 같은 사례의 발생은 볼 수가 없다.

5. 방사선조사 이용에 있어서의 안전확보

방사선조사의 공업이용에 있어 발생하는 위험·유해의 두 사례에 대해 소개했다.

방사선조사에 따른 안전성에 관해서는 사례에 나타났듯이 照射에 의해 야기되는 화학반응이 위험·유해한 물질을 생성할 것인지, 또한 이것이 환경에 위험·유해한 작용을 하고 있는지 어떤지를 고려해 보는 것이 좋으며, 일반 산업안전에 있어서의 처리법의 경우와 기본적인 차이가 없다. 이러한 문제는 개개의 피조사체에 대해 검토해야 할 문제이다.

방사선조사 이용에 있어서의 안전확보는 방사선에 대한 엄중한 사고방식을 갖는 것과 동시에 안전·위생의 관점에서 충분한 대책을 강구하는 것에 의해 달성될 것이다.

文 獻

- 3) 渡邊博正, 綿貫孝司, 菊池榮助: 安全工學 Vol. 15 No.5 (1976)
- 4) 綿貫孝司: JAERI-M6696 (1976)
- 5) 松井壽夫, 綿貫孝司, 和田攻: 産業醫學 25卷 5號 (1983)

