

일본 슬러지저류조의 폭발사고 사례

글 소마노카즈오 _ 관리계장 · 나고야시 상하수도국 시설본부 시설관리부 관리과

❖ 본 논문은 일본하수도협회(JSWA)의 협회지 2004년 7월에 게재된 논문을 발췌, 번역한 것입니다.

I. 서론

사고에는 여러 가지의 요인이 있다. 그 중에 하나인 미지, 미경험에서 발생한 나고야시의 「슬러지저류조의 폭발」을 소개 한다. 이 사건은 지금부터 2년반 전의 일로, 아츠다(熱田)하수처리장에서 발생하였다. 최근 개량갱신에 맞추어, 하수처리의 고도화, 유지관리의 효율화의 일환으로, 원거리 감시제어에 의한 무인화를 나고야시에서 처음으로 실현한 처리장이다. 당시 나는 현장 계장으로, 원거리 감시관리를 막 시작한 아츠다(熱田)하수처리장에서 안정된 하수처리의 노하우를 확립하려고하는 중에 발생한 사고로, 다음과 같이 선명하게 기억하고 있다.

II. 본론

1. 긴급전화가 울리다

2월인데도 드물게 따듯했던 오후, 아츠다(熱田)하수처리장의 슬러지저류조에서 작업 중인 직원으로부터 흥분된 목소리로 긴급전화가 왔다. 「슬러지저류조가 폭발 하였다」, 「큰 폭발음과 함께 불기둥이 치솟았다」, 「마른낙엽과 함께 연기가 10m 피어올랐다」라는 내용 이었다.

우선 상황을 파악하기 위하여, 자전거로 현장으로 달려가는 것도, 불과 몇분의 거리지만 좀처럼 나아가질 않는다. 현장에 도착하자마자 직원의 안부를 확인한다.

다행이 1명이 여름에 햇빛에 탄정도의 화상이었고, 다른 사람은 무사하여, 놀란 가슴을 쓸어내리며, 주위를 돌아보자 슬러지저류조(그림 1) 참고)의 철판덮개 6장(중량 약15~20kg)과 경량합성목 재덮개 9매(중량 약3~6kg)가 최대 10m 날아가, 일부는 저류조 펌프실의 환풍기를 크게 파손시켰다.

만일 직원을 직접 가격했다면 중대한 재해로 이어졌을 것이다. 지

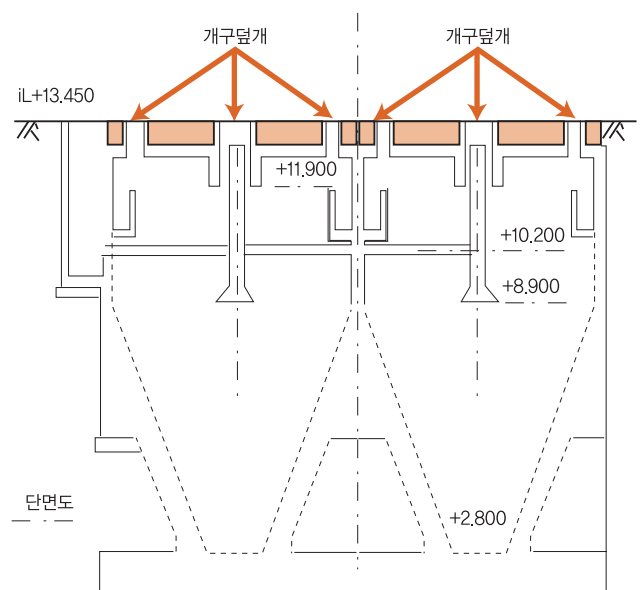
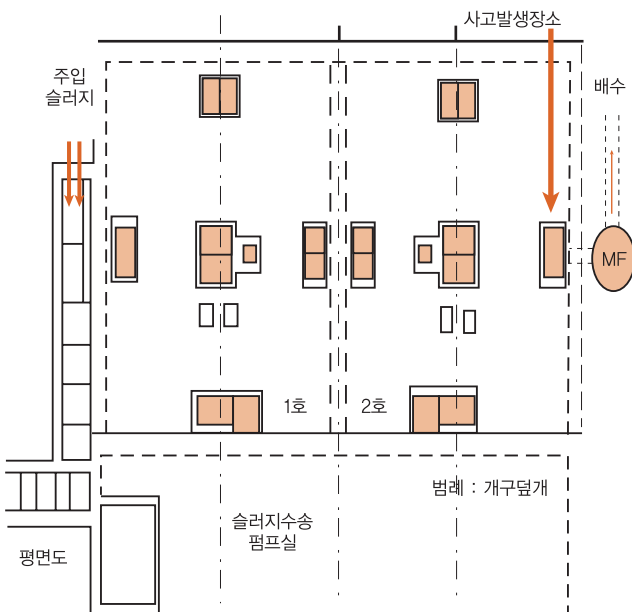


그림 1) 아츠다 하수처리장의 슬러지저류조의 개요



그림 2) 당일의 작업 및 발생상황

금생각해도 등줄기에 식은땀이 흐른다. 그리고 이 상황에서 직감적으로 원인은 슬러지저류조라고 생각하고 긴급대책으로 사고 장소의 출입금지, 슬러지저류조 부근에 화기엄금이라는 조치를 취하였다.

2. 사고당일의 상황

(1) 작업 및 사고 등의 상황

전날부터 계속된 작업으로 당일도 KYM(위험예지미팅)을 실시한 후, 슬러지저류조의 상부 점검구에서 유독가스 등(황화수소, 산소농도)를 측정하고, 안전지역임을 확인한 뒤, 직원 4명이 슬러지저류조 오버플로어 점검구 덮개를 교체하는 작업을 하고 있었다. 오후부터 덮개 올림용 SUS제 외곽을 점검구에 가설하고, 동료가 점 불임 용접을 할 때에, 슬러지저류조 내에 축적되었던 것으로 생각되는 가연성 가스에 인화되어, 열풍이 불어 올라와서, 외곽을 잡고 있던 직원이 안면에 화상을 입었다. 약 10초 후에 폭발이 일어났지만, 빨리 대피하여 큰 사고로 발전하지는 않았다(그림 2)가 작업 및 피해상황).

(2) 하수처리 등의 상황

아즈다(熱田)하수처리장은 혐기-호기활성슬러지법으로 약 26,000m³/일 를 처리하고 있다.

한편, 나고야시의 슬러지처리는 15개소의 하수처리장의 슬러지를

3개 슬러지 처리장에 집약하여, 탈수, 소각처리를 하고 있다. 그림 3)은 아즈다(熱田)하수처리장에 관계하는 슬러지 수송 루트로, 모리야마(守山), 메이쵸(名城), 호리도메(堀留), 아즈다(熱田)의 각 하수처리장의 슬러지를 중계하여 시바다(柴田), 아마사키(山崎) 슬러지 처리장에 송니하고 있다(호리도메계(堀留系)라고 부르며, 그 양은 전체 슬러지처리의 약 1/4인 5,000m³/일).

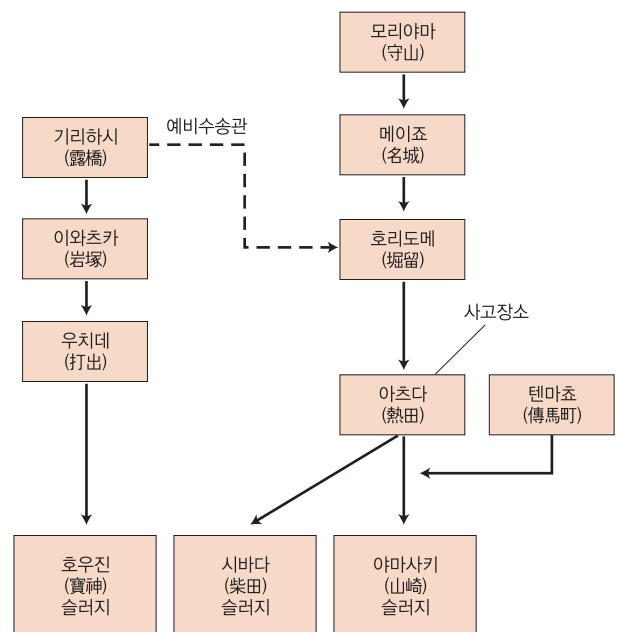


그림 3) 나고야시의 슬러지수송 루트(일부)

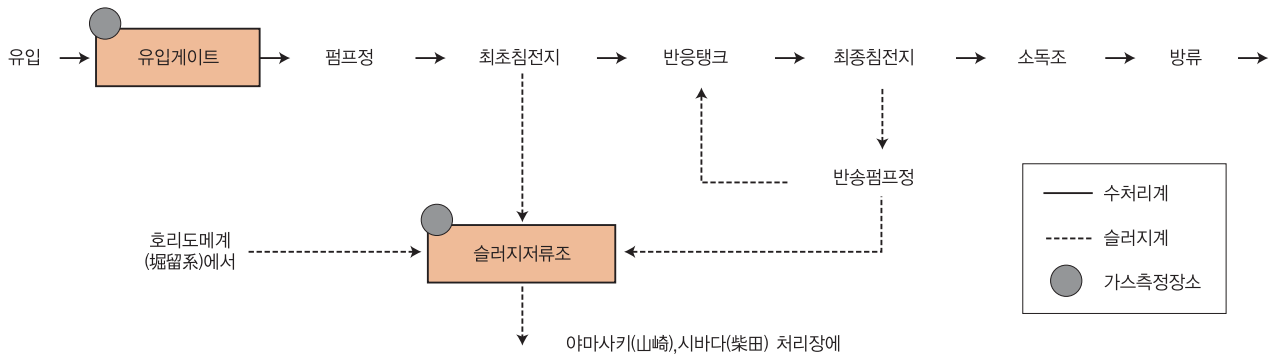


그림 4) 아츠다하수처리장의 처리흐름과 가스측정 장소

월일	12/13	12/14	12/15	12/16	12/17	12/18	12/19	12/20	12/21
CH ₄ %	3.3	1.1	0.8	3.8	4.6	5.7	3.5	2.4	※
H ₂ S ppm	124	※	※	※	※	※	※	※	142
CO ppm	-	※	※	※	※	※	※	※	※

* 측정기의 측정한계치는, CH₄ : 5%, H₂S : 300ppm CO : 150ppm이다
 * 측정결과와 ※표는 측정한계치를 넘은 것을 의미한다.
 * 12/18의 CH₄에 대해서는 전문업자에 의한 정밀분석 결과이다.
 * CH₄에 대하여 망으로 씌운 곳은 폭발범위 하한치를 넘어선 것을 의미한다.

표 1) 슬러지저류조에서의 가연성가스의 농도

가스의 종류	유입게이트	슬러지저류조	폭발범위	
CH ₄ %	0.0	5.7	5~15	
	0.0	1.0		
H ₂ S ppm	-	650	40,000~460,000	
CO ppm	0.0	16,000	125,000~740,000	
에탄 %	0.0	0.0	-	
	프로판 %	0.0	0.0	-
	I-부탄 %	0.0	0.0	-
	n-부탄 %	0.0	0.0	-
	I-펜탄 %	0.0	0.0	-
	n-펜탄 %	0.0	0.0	-

* CH₄는, 상단 12/18, 하단 12/25에 측정하였다.
 * 다른 가스는 12/25일 측정하였다.

표 2) 유입게이트 및 슬러지저류조에서의 가연성가스의 농도(정밀부석)과 폭발범위

3. 폭발의 원인은 무엇인가?

슬러지저류조 폭발사고 속보가 흘러 나왔을 때, 누구나가 귀를 의심하였다. 「지금까지 경험한 적도, 들어본 적도 없다, 「소화조에서는 일어날 수 있지만, 저류조에서는 생각할 수도 없다, 「바로 얼마 전에도 피우던 담배꽂초를 던져 넣었지만 그런 현상은 없었다」 또는, 「휘발유 등의 가연가스가 유입 된 것은 아닌지」 등의 미

경험에서 오는 여러 종류의 억측이 여러 곳에서 나왔다.

한편, 이번 사고의 피해는 경미 하였지만 슬러지저류조가 폭발하는 중대한 내용이었기 때문에, 국내에서는 안전위생위원회, 각종 사고검토위원회를 설치하여 사고처리에 임했다. 그 결과, 폭발에 관해서는 다음 사실이 확인되었다.

- (1) 가연성가스가 슬러지저류조에 있었다.
- (2) 그 가스에 「점검구 덮개의 외곽」가설 용접작업을 하는 순간, 용접불꽃에 인화되었다.
- (3) 슬러지저류조 내에는 황화수소 등의 유독가스가 존재한다는 것은 알려져 있지만, 가연성가스가 있다는 인식이 없고, 슬러지저류조 부근의 작업관리에 미지, 미경험적인 부분이 있어, 상상할 수 없는 일이었다.

4. 가연성가스의 조사

처리시설 내에서 가연성가스가 발생, 또는 체류하는 요인은, 슬러지수송을 포함한 처리계통 내에서 생성되는 경우와 처리계통 외에서 석유계 가스의 유입에 의한 것이 상정되기 때문에, 그림 4)와 같이 하수유입 및 슬러지경로의 주요장소인 유입게이트, 슬러지저류조를 조사대상으로 하였다. 슬러지저류조에 관해서는 주입구, 1호조, 2호조에서 사고다음날부터 근무자가 계속적으로 측정하였지만, 3개소 모두 거의 일정한 값이기 때문에, 주입구의 측정치를 대표하여 이후, 기술한다.

III. 결과와 고찰

사고발생 다음날부터 8일간 슬러지저류조 주입구에서의 가연성가스에 대한 측정결과를 표 1)에 나타낸다. 그리고 유입게이트 및 슬러지저류조 주입구에서의 CH₄와 석유계의 가연성가스도 포함한 정밀 시험결과를 표 2)에 표시한다.

표 1)과 표 2)에서 황화수소(H₂S), 일산화탄소(CO)는 폭발범위의 하한치를 크게 미치지 못하지만, 메탄가스(CH₄)는 폭발범위의 하한치 근처에서 자주 검출된 것과 함께, 이것을 넘어서는 값이 수차례 기록되었으며, 석유계가스가 검출되지 않은 점으로 미루어, 이번 가스폭발의 원인물질은 CH₄라고 판단하였다.

발생경로에 대해서는 석유계의 가연성가스가 검출되지 않았고, 슬러지저류조나 처리시설계 외부에서 하수도 관거를 경유하여 수처

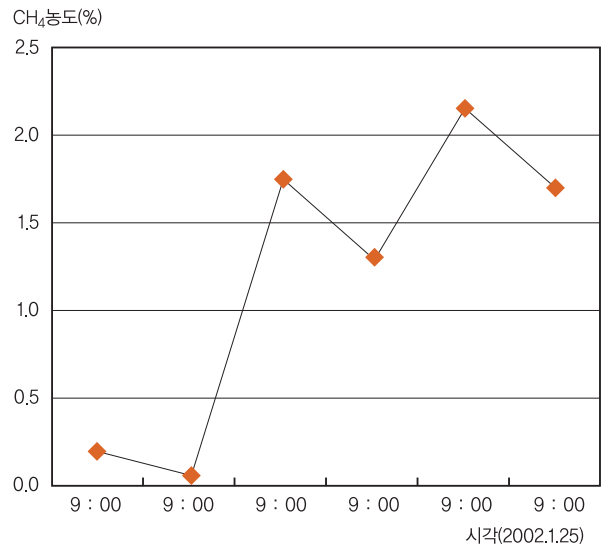


그림 5) 슬러지수송에 따른 CH₄농도변화

리시설에 유입하였다고는 생각하기 어렵기 때문에, 슬러지저류조나 슬러지수송을 포함한 처리시설계 내에서 유래한다고 추정하였다. 이것을 확인하기 위하여, 슬러지저류조를 처리수로 바꾼 상태(2002년 1월 24일 물로 채움)에서, 그림 3)의 슬러지 수송루트의 호리도메계(堀留系)를 10:00, 기리하시계(霧橋系)를 11:00에 넣기 시작하고, 이 때의 슬러지저류조 주입구의 CH₄농도를 측정한 것이 그림 5)이다. 슬러지수송 개시부터 시간의 경과함에 따라 CH₄농도가 증가하고 있는 것으로, 슬러지 중에서 생성된 CH₄가 슬러지저류조에 방출되고 있다는 것을 알 수 있다.

표 3)의 A패턴은 기리하시계(霧橋系)의 슬러지주입을 8일간 정지시킨 후, 슬러지수송을 재개하였을 때의 슬러지저류조 주입구의 CH₄농도변화이다. 이 표에 의하면, 슬러지를 수송관 내에 1주일 이상 체류시키면, CH₄농도는 5%를 넘어서 폭발한계 하한치를 초과한다는 것을 알았다. 이것으로부터 장기간에 걸쳐 슬러지수송을 정지시킨 경우, 처리수 등으로 치환하여, CH₄ 등의 발생을 억제시

패턴	수송내용	측정시간	CH ₄ (%)
A	2/1~2/7에 기리하시계(霧橋系)의 슬러지 수송을 정지한 후, 2/8에 기리하시계(霧橋系)의 주입을 개시한 후의 농도	개시 2/8 12:45	1.5
		12:50	5 이상
		14:25	5 이상
		14:39	5 이상
		14:51	5 이상
B	기리하시계(霧橋系)의 주입을 개시하고 5일 후	2/13 14:34	2.2
		14:37	2.2

표 3) 기리하시계(霧橋系)에서 슬러지수송을 재개하였을 때의 CH₄농도

킬 필요가 있다.

B패턴은 연속 송니(送泥)시의 측정결과이며, CH₄는 A패턴과 비교하면 많이 저하되어 있다. 이와 같이 통상의 슬러지수송에서는 폭발한계치에는 도달하지 않는다고 생각한다.

검체명	헤드스페이스의 CH ₄ 농도
호리도메계(堀留系)	0.49
기리하시계(霧橋系)	0.26
수송슬러지(야마사키)(山崎)	0.34

* 약취방지법에 의해 슬러지에서 유황계 약취물질의 발생 시험을 참고하였다.

표 4) 온수에 의한 CH₄발생시험

또한, 슬러지수송 중의 슬러지검체를 30℃의 온수에 30분간 정치하여, 발생한 CH₄를 측정할 것을 표 4)에 표시하였다. 비교적 신선한 슬러지를 사용하여, 온수에 담가둔 시간이 짧고, 이론상 H₂S가 발생한 후에 CH₄가 생성된다고 말하기 때문에, 폭발 한계치에는 거리가 먼 결과가 나왔지만, 밀폐된 슬러지를 장시간 방치하면 다량의 CH₄가 발생된다고 추정할 수 있다.

이상으로 이번의 슬러지저류조에서의 가스폭발사고는 기리하시계(霧橋系)의 예비슬러지 수송관에서 장시간의 슬러지체류에 의해

CH₄가 발생하여, 이것이 슬러지저류조 안으로 방출되고, 축적된 것이 원인으로 생각된다.

(1) 가연성가스 등의 대응책에 대하여

사고 발생부터 최종보고까지의 개략을 시간 순으로 나타낸 것이 표 5)이다.

이런 사고는 처음 발생한 것으로 대증요법적 대책은 안전 확보의 관점에서 리얼타임으로 대응해 왔지만, 통상의 하수처리 계통을 가동하면서 폭발원인을 찾아 대책을 세우는 일은 상당한 시간과 노력이 필요했다. 또한, 최종보고를 받아 구체적으로는 다음과 같은 대응책을 시행하기로 하였다.

- ① 슬러지저류조는 가연성가스가 발생하는 장소이며, 그 부근에서의 작업에는 주의를 환기시키는 표시판을 설치한다.
- ② CH₄ 대책으로 기리하시계(霧橋系)의 예비슬러지수송관은 관내를 처리수 등으로 바꿔야 한다.
- ③ H₂S의 가연성은 낮지만, 약취물질의 큰 원인이 되기 때문에, 향후 슬러지저류조를 대상으로 반응탱크에 의한 탈취 등으로 대응한다.

일시	내용
2001년 12월 12일	가스폭발사고 발생
	로프로 구획, 화기엄금표시의 실시
2001년 12월 13일	슬러지저류조 부근 가스 측정개시(2002년 1월 23일 까지)
	사고 검토회
2001년 12월 18일	전문업자에 의한 CH ₄ 분석
2001년 12월 25일	전문업자에 의한 CH ₄ 분석
	기리하시계(霧橋系) 수입밸브 전폐
	전 처리장의 CH ₄ 등의 조사
2001년 12월 16일	전 처리장에 슬러지저류조 등의 작업에 대한 주의 환기를 지시
2002년 1월 22일	1, 2호 호 슬러지저류조에 물을 채움
2002년 1월 23일	호리도메계(호리도메계(堀留系), 기리하시계(霧橋系) 슬러지수입 2시간 간격으로 가스 분석
2002년 1월 25일	제1회 조사결과와 대책자료 정리
2002년 2월 4일	슬러지저류조 등 가연성 가스 발생 대책에 관한 협의
2002년 2월 8일	슬러지 수입배관 개조 후의 가연성가스 등을 측정
2002년 2월 18일	슬러지중의 가연성 가스 생성량 파악의 조사위탁
2002년 2월 27일	아츠다(熱田) 하수처리장 슬러지저류조 가연성가스 발생대책 협의
2002년 4월 15일	최종보고서 작성

표 5) 폭발사고의 전말

(2) 실패한 예를 어떻게 살릴 것인가

실패에 의한 사고나 설비중단을 없애는 것이, 노동안전면, 생산성 향상, 유지관리의 효율화에 이어진다는 것은 모든 사람이 인정할 것이다. 그래서 「실패에서 배우다」, 「실패는 성공의 어머니」, 「실패 사례 개선이나 안전에 살리자」 등의 격언과 같이, 행정이나 기업 등에서는 그 대책에 부심하고 있다. 그러나 현실에서는 실패가 계속되고 있다.

유지관리의 시대라고 말한 지도 오래되었지만, 저렴한 경비로 시설을 오래 유지 관리할 수 있는 노하우의 향상이 요구되고, 지금이야말로 실패가 가지는 긍정적인 면을 살려, 아래의 사항을 시행하는 것이 필요하다.

① 실패원인을 명확하게 한다.


- (a) 같은 실패나 상태가 나뉘었던 원인은 변화하는 경우가 있기 때문에, 진정한 원인을 밝혀내는 것이 중요하다.
- (b) 미지, 미경험에 대해서는, 특히, 자세하게 조사할 필요가 있다.

② 실패정보를 살리자.

- (a) 피해가 없는 경우나 경미한 사고, 손상 또는 조직에 나쁜 영향이 미칠 경우에 감추려고 하는 경향을 극복하자.
- (b) 정보를 정리하고 공유화 한다.

③ 실패의 예를 지식화, 기능화 한다.

- (a) 지식화는, 경험으로 뒷받침 되는 것이라면, 설득력이 있다.
- (b) 실패경험과 대책을 유사업무 등에 시뮬레이션 하는 것과 동시에, 일상의 KYM 활동 등으로 같은 실패를 일으키지 않도록 기능을 확립한다.

특효약은 지금 바로 발견되지 않는다. 「우선은 작은 것부터 시작하라」는 한방적 처방의 마음가짐으로, 내일부터 계획, 설계, 공사 및 유지관리의 각 분야에서 「작은 실패」에 초점을 맞추고, 그것을 방지하는 방법이 축적되면 「큰 실패」를 피할 수 있는 지름길이라고 생각한다. 

2005년도 협회 상하수도 Cyber교육 안내

우리 협회에서는 2004년부터 상하수도 종사자를 대상으로 Cyber교육을 실시하고 있습니다. 협회가 추진하고 있는 Cyber교육은 집합교육의 문제점을 보완하여 언제, 어디서, 누구나 인터넷을 통하여 손쉽게 교육기회를 접할 수 있으며, 현업업무를 동시에 수행하면서 시·공간적인 부담 없이 수강이 가능한 장점을 가진 최신 교육방식입니다.

특히 협회의 Cyber교육과정은 상하수도 업무에 필요한 전문적이고 실무적인 지식을 습득케하여 종사자의 업무능력을 한층 배가시킬 수 있는 기회와 장이 될 것입니다.

협회는 앞으로도 다양한 교육과정을 개발하여 상하수도 종사자들의 뜨거운 교육 욕구에 부응할 수 있도록 노력하겠습니다. 여러분의 많은 참여와 관심을 부탁드립니다.

1. 일 정 : 2005년 연중 실시(3월부터)

2. 교육과정

- 상수도 과정('05. 3 ~)
- 하수도 과정('05. 7 ~)

교육
훈련

정보

행사

시험

www.kwwa.or.kr

물은 생명 그리고 미래입니다

☎ 문의처 : 교육팀 이현기 과장 (Tel : 02-384-8151~4)

※ 보다 자세한 사항은 담당자에게 유선 문의 요망