

우리나라 水道管路用 밸브의 故障原因과 對策

The Trouble Cause and Counterplan of Valves for Waterservice Pipelines in Our Country

유재익 (한국수자원공사 낙동강사업본부 건설처 기계과장)

고석구 (한국수자원공사 낙동강사업본부 본부장)

1. 서론

수도사업에서 운영관리하고 있는 관로는 크게 나누어 도수관로와 송수관로로 분류되며, 도수관로는 취수지점으로부터 정수장까지 원수를 도수하는 시설, 송수관로는 정수장에서 배수지까지 정수를 송수하는 관을 말한다.

관로에는 유량조절, 제수, 이토 및 공기 배기용, 수충압안전(표 1. 참조) 등으로 많은 밸브가 설치되며, 밸브류 결함시 관로사고 및 단수를 초래하는 중요 설비이다.

현재 설치 운영되고 있는 상수도시설의 관로사고중 20% 정도를 차지하고 있는 밸브에 의한 고장사례를 분석하여 도출된 문제점을 개선, 시행하고 밸브의 올바른 설계, 시공 및 제작을 통하여 안정적인 용수공급과 관로운영을 기하고자 한다.

2. 사고분석대상선정

수도법에 의하면 수도사업 종류는 크게 일반수도, 공업용수도, 전용수도, 중수도로 분류되며, 사업자로는 국가, 지자체, 한국수자원공사 등으로 구분되어 있다.

이에 따라 전국의 수도시설 (21,843 천톤/일)은 대부분 지자체와 한국수자원공사에서 운영관리하고 있다. 그러나, 많은 지자체에서의 관로사고현황을 발췌하여 이를 체계적으로 정리하는데 상당한 어려움이 있어, 통일된 사고보고를 통해 이를 체계적으로 관리하고 있는 한국수자원공사를 조사대상으로 선정하였다.

특히, 한국수자원공사는 전국시설용량의 50.7%(11,082 천톤/일)을 운영관리하고 있을 뿐만 아니라, 여러 지자체에 용수를 공급하는 17개 광역상수도를 운영관리하므로써 관경이 다양하고 크며, 관로길이가 1,964 Km에 달하는 등 관로사고시 여러 지자체에 용수공급을 중단해야 하는등 관로상 밸브의 중요성을 인식하는데 도움이 될 것이다.

또한, 한국수자원공사에서 운영관리하고 있는 변실과 밸브류는 각각 6,738개, 8,445개로 표 2.와 같다.

표 1. 수도관로에 사용되는 밸브종류와 관련KS규격

구분	용도	KS 규격	
		기호 및 호칭	최고사용압력
버터플라이밸브 (BF)	유량조절 및 제수밸브	KS B2333 수도용 버터플라이밸브 ($\phi 200 \sim \phi 2000$)	4.5kg/cm ² 이하(1종) 7.5kg/cm ² 이하(2종) 10.kg/cm ² 이하(3종)
제수밸브 (GV)	이토 및 제수밸브	KS B2332 수도용 제수밸브 플랜지형(수직): $\phi 50 \sim \phi 1200$ 플랜지형(수평): $\phi 400 \sim \phi 1500$	7.5kg/cm ² 이하
공기밸브 (AV)	관내 공기 배기용	KS B2340 수도용 공기밸브 단일구멍형: $\phi 13 \sim \phi 25$ 쌍 구멍형: $\phi 50 \sim \phi 250$	7.5kg/cm ² 이하

3. 관로사고사례 분석

3.1 사고유형별 분류

관로사고는 사고원인을 분류하기에는 상당한 어려움이 있으나, 크게

표 2. 한국수자원공사의 밸브실 및 밸브현황(1996.4 월)

사무소별	밸브실					밸브류						
	제수변	공기변	이토변	신축관	기타	계	제수변	공기변	이토변	신축관	기타	계
전국	1,443	2,154	1,470	1,610	61	6,738	2,142	2,731	1,607	1,911	54	8,445
한강본부	454	613	445	636	13	2,161	535	875	513	732	20	2,675
팔당	86	117	91	177	0	471	128	228	122	244	0	722
성남	111	123	119	186	0	539	116	172	119	186	0	593
과천	159	254	179	142	0	734	191	352	208	168	0	919
태백	77	59	28	76	13	253	79	61	36	77	20	273
일산	21	60	28	55	0	164	21	62	28	57	0	168
낙동강본부	562	756	499	317	42	2,176	647	884	662	461	28	2,682
울산	151	216	157	62	2	588	158	250	157	136	2	703
포항	40	37	15	0	2	94	48	58	29	3	0	138
창원	140	146	87	20	12	405	170	146	87	20	0	423
거제	29	65	10	0	5	109	37	70	34	0	5	146
구미	83	91	63	36	5	278	83	91	63	36	5	278
남강	54	122	90	153	0	419	75	176	215	194	0	660
운문댐	65	79	77	46	16	283	76	93	77	72	16	334
금,삼본부	427	785	526	657	6	2,401	960	972	432	718	6	3,088
여천	65	142	43	63	0	313	71	155	85	70	0	381
청주	80	139	84	77	0	380	92	145	84	77	0	398
금강	127	241	117	244	6	735	130	307	118	252	6	813
삼진강	52	130	128	44	0	354	52	130	128	44	0	354
주암	80	100	137	196	0	513	588	201	0	239	0	1,028
군산	23	33	17	33	0	106	27	34	17	6	0	114

나누어 장기간 사용으로 인한 관 및 밸브류의 시설노후, 관망설계압 이상의 수충압에 의한 사고, 관 및 밸브류의 재질 불량에 의한 사고, 중차량통행, 온도변화, 연약지반 침하등 외적요인에 의한 사고, 타공사 관련으로 인한 시설파손, 관 및 밸브의 재질불량에 의한 사고 등으로 분류하였다.

이를 좀더 세분하여 원인을 규명하고자 표 3.과 같이 사고유형별 분류표를 작성하였다.

3.2 관로사고 현황 및 분석

한국수자원공사에서 광역상수도 운영관리를 시작한 1980년부터 1996년 4월말까지의 관로 사고현황을 표 3.의 사고유형별 분류표에 의해 분류한 결과 표 4.와같이 나타났다.

이를 분석한 결과 그림 1,2에서 보는바와 같이 전

체관로사고 662건중 중차량통행, 온도변화에 의한 신축작용, 연약지반, 동파등 외적요인에 의한 원인(E)이 21%로 가장 크며, 타공사에 의한 시설파손등 타공사 관련으로 인한 사고(G) 17%, 시설노후에 의한 사고(A) 14%, 시공불량에 의한 사고(H) 13%, 수충격에 의한 사고(C) 10%, 시설개량 및 기술진단등에 의한 보수(F) 9%, 기타원인에 의한 사고 및 단수(J) 8%, 다음으로 재질불량(D), 국부적 부식(B), 재해(I) 순으로 나타났다.

이를 크게 재분류해보면 외적요인 및 타공사 관련으로 인한 운영관리측면의 사고가 38%, 시설노후, 시설개량, 기술진단 및 시공불량에 의한 내부적인 원인에 의한 사고가 36%, 설계미비, 재질불량 및 기타원인에 의한 사고가 26%로 나타났다.

표 3. 관로사고 유형별 분류표

사 고 유 형	분류코드	비 고	사 고 유 형	분류코드	비 고
◦ 시설의 노후 - 관부식 - 관접합부, 밸브후렌지부 이탈 - 밸브류, 볼트, 너트, 기타부속물 부식	A a1 a2 a3		◦ 일상보수, 시설개량, 기술진단, 안전진단등 - 누수보수 - 노후시설 교체 개량 - 시설개량, 시설보완 - 기술진단, 안전진단	F f1 f2 f3 f4	
◦ 전식 및 토양에 의한 핀홀등 국부적부식	B		◦ 타공사등 외적요인	G	
◦ 수충압에 의한 원인 - 관파열 - 접합부 이탈 - 밸브류 파손	C c1 c2 c3		- 타공사 관련으로 시설파손 - 타공사 관련 지장시설 이설 및 변경	g1 g2	
◦ 재질불량 - 관재질불량 - 밸브류 재질 불량 - 기타 재질 불량	D d1 d2 d3		◦ 시공하자(재료, 시공등) 및 시공 불량 - 관로부설 부분하자 및 시공불량 - 밸브류 부설부분하자 및 시공 불량	H h1 h2	
◦ 외적요인에 의한 분류 - 중차량 통행에 의한 관 파열 - 온도변화에 의한 신축작용 불량	E e1 e2		- 기타 재질, 시설하자 및 시공 불량	h3	
- 연약지반 침하에 의한 접합부 이격 - 동파에 의한 파열	e3 e4		◦ 태풍 또는 홍수 등에 의한 재해 ◦ 기타 원인에 의한 사고, 단수 - 관에 의한 사고, 단수 - 밸브류에 의한 사고, 단수 - 기타원인에 의한 사고, 단수	I J j1 j2 j3	

이를 살펴보면 장기간 사용에 따라 밸브 및 배관부속물 부식에 의한 사고, 수충격에 의한 사고, 밸브의 재질불량, 밸브의 시공불량, 중차량 통행, 온도변화, 연약지반 침하, 동파등에 의한 고장으로 분류하였다.

4.2 밸브고장현황 및 분석

전체 관로사고(662건)에 대한 사고보고를 토대로 밸브고장으로 인한 관로사고를 표 5.의 분류표에 의해 재분류한 결과 표 6.에서 보는바와같이 133건으로 나타났다. 그 비율은 20%이다.

그림3, 4에서와 같이 이를 자세히 살펴보면 시공하자에 의한 사고가 가장 많은 38%, 기타 원인에 의한 사고가 23%, 수충격에 의한 사고가 14%, 시설노후 및 밸브의 재질불량에 의한 사고가 각각 10% 순으로 나타났다.

표 4. 관로사고분석결과

분류 기호	사고유형	년도				계
		'80~'84	'85~'89	'90~'94	'95~'96	
계		104	241	248	69	662
A	시설의 노후	19	36	37	2	94
B	전식및 토양에의한 핀홀등 국부적부식	2	10	6	2	20
C	수충격에의한 원인	10	26	31	2	69
D	재질불량	8	9	9	2	28
E	외적요인에의한 분류	39	55	32	6	132
F	일상보수, 시설개량, 기술진단, 안전진단	5	6	23	25	59
G	타공사등 외적요인	8	18	69	13	108
H	시공하자 및 시공불량	11	59	18		88
I	태풍 또는 홍수등에의한 재해	2	4	1	1	8
J	기타원인에의한 사고, 단수		18	22	16	56

4. 관로사고중 밸브에 의한 고장분석

4.1 밸브고장 유형별 분류

관로사고중 밸브고장에의한 관로사고를 발체하여 이를 보다 자세히 고장원인을 파악, 분석하기위해 밸브고장에 대한 원인을 표 5.와 같이 분류표를 작성하였다.

그 원인을 자세히 살펴보면

1) 시공하자

◦ 밸브 반입후 설치시 기 시공된 배관과의 무리한 센터링작업을 하므로써 밸브연결 후랜지 부위에 편차중이 발생하여 국부적인 파손 및 가스켓 누수현상이 많이 발생하였다.

일반기사

우리나라 수도관리용 밸브의 고장원인과 대책

표 5. 밸브고장 유형별 분류

구분	내용	분류기호	비고
시설노후	밸브류 및 배관부속물 부식에 의한 사고	A	
수충격에의한 원인	수충격에의해 발생된 사고	C	
재질불량	밸브축, 디스크등 밸브 재질불량에의한 사고	D	
외적요인	중차량동행, 온도변화, 연약지반침하, 동파에의한 사고	E	
시공불량	밸브 및 관로부설하자 및 시공불량에 의한 사고	H	
기타	타공사, 기술진단, 기타원인에의한 사고	J	

표 6. 밸브고장 분석결과

분류기호	본부	본부			계	비고
		한강본부	낙동강본부	금.섬본부		
A	시설노후	3	6	4	13	
C	수충격	2	12	4	18	
D	재질불량	5	3	5	13	
E	외적요인	4	2	1	7	
H	시공불량	7	1	43	51	
J	기타	10	14	7	31	
	계	31	38	64	133	

구분	년도	년도				계	비고
		'80~'84	'85~'89	'90~'94	'95~'96		
A	시설노후	1	5	7		13	
C	수충격	1	6	10	1	18	
D	재질불량	1	3	7	2	13	
E	외적요인	1	4		2	7	
H	시공불량	2	45	4		51	
J	기타	7	13	11	31		
	계	6	70	41	16	133	

○ 관로공사중 관내 이물질 제거가 필수적이나 이를 소홀히 하므로써 밸브 고무시트 손상을 초래하여 밸브의 차수가 불가능하며, 공기밸브의 경우 불사이에 이물질이 끼여 누수현상이 발생하였다.

2) 수충격

갑작스런 정전이나 다른사고에 의해 펌프가동을 갑작히 정지시킬 경우 관내 수충격에 의해 밸브설계하중 이상의 과다 또는 피로하중이 작용하여 밸브후랜지와 몸체측 보호 스테어링박스등 취약부를 변형 또는 파손시켰다.

3) 시설노후

밸브의 내용년수는 주철인 경우 40년, 강인 경우는

25년이나, 대부분이 다습한 변실내에 설치운영 되고 있어 부식발생율이 심하다.

또한, 사용빈도가 매우 적으므로 밸브 고착현상이 발생하는 등 악조건 하에서 운영 관리되므로 사고발생이 많은 것으로 판단되며, 이를 방지하기 위해서는 변실침수가 되지 않도록 완벽한 시공이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

4) 재질불량

주조 및 가공결함으로 인한 고장발생이 대부분을 차지하며 이는 구매자가 공장검사를 발견하기가 매우 어려운 것이 현실이다.

그러므로 이를 방지하기 위해서는 엄격한 품질관리와 공정관리가 이루어지고 있는 밸브업체를 선정하여 제작 구매하는 것이 무엇보다도 중요하다고 판단된다.

5) 기타

변실상부 중차량이동, 지반침하, 동계운휴시 동파 등으로 이상하중이 발생하여 밸브변형이나 파손이 이루어지고 있으며, 경미한 보수라 할지라도 단수조치후 시행해야 하는 등 관리상의 어려움으로 발생한 경우도 많이 있다.

5. 밸브 제작 및 구매의 문제점

• 제작사의 제작공정 및 품질관리 능력부족

수도용 밸브류의 제작구매 계약은 중소기업육성을 위한 단체수의계약 물품으로 협회와 계약체결후 업체를 배정하는 방식으로 추진된다.

또한, 대부분 제작사는 영세업체로써 기술수준이 낮고, 제작공정 및 품질관리가 완벽하지 못하며, 특히 품질검사를 위한 시험장비의 부족 및 미비로 완성검사를 위한 완벽한 검사가 이루어지지 못하고 있는 실정이다.

• KS 규격의 적용한계

밸브류의 KS 규격에는 최고 사용압력을 7.5 kg/cm², 10 kg/cm²이하로 규정되어 있으나, 한국수자원공사와 같이 대단위 광역상수도사업인 경우에는 사용압력이 KS 규정압을 초과하는 경우가 많다.

이 경우에는 KS규격을 적용하지 못하고 해당 밸브의 KS규격을 준용하여 제작사 자체기준을 따르므로 품질관리에 어려움이 있다.

• 구매자의 인식부족

기존 밸브류는 대부분의 구매자가 KS규격으로 생산되는 단순 물품으로 취급하여 별도의 제작, 감독없이 검사자만 임명, 납품전 공장검사만 시행한다.

또한, 공장검사시 구매밸브 전량에 대한 검사는 현실적으로 불가능한바, 제작전 도면, 설계계산서 등을 제작자로 하여금 제출하도록하여 구매자 측의 제작, 감독자의 사전 승인과정을 거치는 것이 바람직하다고 판단된다.

6. 개선방향

밸브고장에 의한 관로사고를 줄이기 위해서는 아래와 같이 구매자와 제작자의 꾸준한 품질 향상 노력이 필요하며, 시공자의 완벽한 시공, 관리자의 주기적인 점검을 통한 변실운영, 설계자의 철저한 검토 등 사업참여자 모두의 노력이 필요하다고 하겠다.

• 완벽한 시공

- 관의 정확한 센터링 작업
- 배관후 관내 이물질 제거 철저
- 변실침수가 되지 않도록 관과 변실 콘크리트 접합부의 완벽시공 및 설계필요

• 수충격최소화

- 예측 불가능한 정전사고 등

에 의해 발생하는 수충격을 최소화하기 위한 설비(Air Chamber 나 수충압 밸브등)추가 필요

• 변실운영관리 철저

- 변실의 주기적인 점검을 통한 체계적인 운영관리 필요
- 밸브의 부식방지를 위한 특수도료(분체도장)적용 방안 검토 필요

• 제품의 품질향상 노력

- 구매자 제작구매업무처리방식 개선

현 재 : 수요량 결정 ⇒ 구매의뢰 ⇒ 계약 ⇒ 제작 ⇒ 공장검사 ⇒ 납품(계약완료)

개 선 : 수요량 결정 ⇒ 구매의뢰 및 계약 ⇒ 승인 도서 제출 ⇒ 감독자 검토, 승인 ⇒ 제작도서 제출 ⇒ 제작 ⇒ 공장검사 ⇒ 납품 및 현장 설치차 교육 ⇒ 시운전시 및 성능확인(필요 밸브류에 대해서) ⇒ 준공도서 제출(계약완료)

품 명	항 목	KS규격	추천시방	비 고
버터플라이 밸브 (KSB2333)	- 밸브설계	주요부품에 대한 치수를 규격화 함으로써 설계 계산서 없음	밸브축 강도 및 몸통 두께 등 설계 계산서 제출 및 검토, 승인	
	- 주요부품재질	GC200 이상	GCD500이상	부품재질강화
	몸체	공 통: GC200 이상	관 로: GCD500	
	디스크	STS304, STS420J2	STS420J2	
	- 축	섬유팩킹, V팩킹	V패킹, O링	지수효과 우수
게이트밸브 (KSB2332)	- 밸브설계	상 동	상 동	
	- 주요부품재질			재질강화
	몸체	GC200	GCD450	
	디스크	GC200	GCD450	
	축	STS304	STS420J2	
	- 개도지시계	없음	개폐대에 부착	개도상태확인
	- 셸링	섬유	V패킹, O링	지수효과 우수

※참고 : 주요재질 비교표

재 질 명	재료기호 및 등급	인장강도 (kg/mm ²)	허용강도 (kg/mm ²)	연신율 (%)	경도 (HB)	비 고
회주철	GC200	20이상	-	-	223이상	
구상흑연주철 (덕타일)	GCD500	51이상	35이상	7이상	170~241	
도복장강관	STWW400	41이상	23이상	18이상	-	
스테인레스강	STS304	53이상	21이상	40이상	90이상	
스테인레스강	STS420J2	75이상	55이상	12이상	217이상	

* 덕타일 주철은 강도면에서 일반주철(회주철)의 2배 이상 월등할 뿐만 아니라 도복장 강관(일반탄소강)보다 우수하고 주조 및 가공성이 좋아, 일본에서는 1980년 중반부터 우리나라에서는 1990년 초부터 일부밸브류 소재로 제작되고 있음.

- 구매자의 제작시방 상향조정 필요
- 우수 제작사 선정

밸브제작사의 P.Q 심사를 통한 우수업체를 4~5 개 선정하여 밸브의 제작구매 계약시 선정된 업체간 경쟁입찰을 통해 밸브의 품질관리 향상을 유도하므로써 국내밸브의 품질향상을 추구하는 것이 바람직하다고 판단된다.

7. 결론

이상의 검토결과와 같이 관로사고의 밸브고장에 의한 사고는 전체 관로사고의 20% 이상을 차지하고 있다.

다른 관로사고와 마찬가지로 밸브를 보수 및 교체하기 위해서는 단수조치를 해야 하는 등 안정적인 용

수공급에 많은 지장을 초래하는바, 이를 줄이기 위해 구매자, 제작자, 운영관리자, 설계자등 사업관련 자들의 꾸준한 노력이 필요하다 하겠다.

밸브사고를 미연에 방지 하기 위해서는

첫째, 관의 정확한 센터링, 배관후 관내 이물질제거 및 변질방지를 위한 관로 및 변질의 완벽한 시공이 무엇보다도 중요하며,

둘째, 관로 수층격의 정확한 해석을 통한 수층격 완화설비 설치가 필요하고,

셋째, 운영관리 측면에서 지속적이고 주기적인 점검을 통한 유지관리가 필요하고,

넷째, 밸브 제작사와 구매자의 인식변화를 통한 제품의 품질향상 노력 등이 밸브사고를 방지하는데 큰 도움이 될 것으로 판단된다. ●

〈참 고 문 헌〉

1. 상수도시설기준, 건설교통부, 1992, 86 page	2332, 1994, KSB 2340, 1991, KSD 4302, 1994
2. 수도분야 교육용 CD 자료의 전국상수도 지역별보급현황, 한국수자원공사, 1997	6. 정부투자기관 회계관리 규정, 재정경제원, 1996, 제185조 10항
3. 한국수자원공사 운영관리 시설현황 자료, 한국수자원공사, 1997	7. 기계설계 도표편람, 대광서림, 1990
4. 관로사고보고 자료, 한국수자원공사, 1980~1996.4	8. 수도법, 법제처, 1991, 제3조 6항,7항,10항,11항,14항
5. KS 규격집, 공업진흥청, KSB 2333, 1994, KSB	