

빗물펌프장 펌프시방의 최적결정에 관한 연구 (1)

김성원*, 김민호**

Key Words : 빗물펌프장, 내/외수위, 전양정, 안전운전영역, 캐비테이션, 볼텍스, 정밀진동분석

1. 서론

빗물펌프장의 안전한 운영의 기본은 무엇보다도 적절한 시방의 펌프를 선정하는 것이라고 할 수 있으며, 최적의 시방선정을 위해서는 배수가동시 내/외수위 범위, 상시/최대 운전양정, 펌프특성 등에 대한 종합적인 고려가 필요하다. 이와같은 합리적인 펌프선정이 이루어져야만 펌프별로 한정되어 있는 안전운전영역내에서의 펌프가동이 가능하게 되고 과대·과소유량 운전으로 인한 캐비테이션 등에 따른 펌프/모터 손상 및 급작스러운 배수불능의 불상사를 방지할 수 있는 것이다.

이에 본 연구에서는 서울의 A빗물펌프장 4호기 펌프에 대한 성능시험, 운전일지분석 및 정밀진동분석 결과를 토대로 펌프의 수력학적/기계적 안전성을 평가하고 펌프시방의 적합성 여부를 검토함으로써 최적의 시방개선을 제안하고자 한다. 아울러 국내 기존의 빗물펌프장 펌프시방 결정기준, 즉 실제 배수가동시의 내/외수위를 고려한 상시 운전양정을 위주로 하기보다는 단순히 최저내수위와 최고외수위(계획홍수위)를 감안한 시방양정 결정의 문제점에 관해 논하고자 한다.

2. 본론

2.1 A빗물펌프장의 개요

A빗물펌프장은 1976년도에 건설되었으며, 물리면적 60.7ha, 물리세대 4,271, 유수지 저수용량 168,000m³ 규모이다. 표1은 A빗물펌프장의 펌프설비 현황이다.

2.2 펌프의 운전범위 및 수력학적 안전성 분석

2.2.1 분석대상 펌프 및 특성곡선

본 연구의 대상인 A빗물펌프장 4호기 펌프는 1997년 설치된 토출구경 1000mm의 입축사류펌프로써, 시방점은 전양정 11m, 토출량 140m³/min, 회전수 445, 동력 450hp이다.

표1. A빗물펌프장 펌프설비 현황

형식-구경 [mm]	전양정 [m]	동력×대 [hp]	토출량 [m ³ /min]	설치년도
입축사류-1,200	11	650×1	190	1987
입축사류-1,000	11	450×2	140	1991
입축사류-1,200	11	650×2	190	1996
입축사류-1,000	11	450×2	140	1997
입축사류-1,000	11	450×2	140	1998
계	-	650×3 450×6	1,410	-

그림1에는 4호기의 2002년 7월 현재 실측 성능과 설치 당시 제조업체 성적서상의 성능을 비교·제시하였다. 4호기의 현재 성능 및 효율은 공히 성적서에 비해 크게 저하된 결과를 보이는데, 동일 양정에서 대략 40m³/min의 토출량 감소가 평가된다. 이는 시방점 유량 140m³/min을 기준으로 본다면 약 28%의 배수량 감소를 의미한다. 또한 펌프의 최고효율은 최초 83%에서 현재 50% 미만으로 저하된 결과를 보인다. 설치된지 5년, 운전시간이 연간 30시간을 넘지 않는 빗물펌프라는 점을 감안할 때 납품당시 성적서 결과 대비 토출량 및 효율의 저하폭은 매우 큰 편이라고 할 수 있다.

2.2.2 펌프의 운전양정 범위

펌프의 운전안전성 평가를 위해서는 우선적으로 운전양정 범위의 분석이 필요하다. 이에 A펌프장의 2001년도 펌프가동현황 및 내/외수위기록을 근거로 4호기의 실제 운전양정 범위를 추정분석한 결과를 표2에 정리하였다. 표2에는 2001년 연중 실양정 최대 및 최소의 경우, 즉 극한 가동조건에 대한 결과와 함께 연간평균 결과를 제시하였다. 여기서 실양정은 내/외수위 실측기록을 이용해 산출하고, 이 실양정에 관로계의 배관손실 계산치를 더하여 전양정을 추산하였다. 배관손실은 4호기의 연간평균 토출량 160~180m³/min 범위에서 토출량에 따른 미미한 차이를 무시하고 적절한 여유를 두어 1.3m의 일정한 값으로 처리하였다.

* 중소기업진흥공단 펌프에너지기술실

** (주)나다에스엔브이

E-mail : * pump@sbc.or.kr

** kmh@nadasnv.co.kr

표2. 2001년도 4호기 펌프 가동시 수위 및 추정 전양정

일시	내수위 [EL. m]	외수위 [EL. m]	실양정 [m]	전양정 [m]
2001. 8. 15 1:56~2:45	5.8~5.6	9.4~8.4	3.5~2.8 (최대시)	4.9~4.1
2001. 6. 29 15:01~15:05	6.5~6.4	7.0~6.9	2.1~2.2 (최소시)	3.4~3.5
연간 평균	6.1	7.6	2.5	3.8
2001. 7. 15 2:02~9:18 (50년빈도초과)	6.7~10.6	10.3~12.2	3.6~1.6	4.9~2.9

표2에서 보듯이 2001년 4호기 펌프가 운전된 전양정은 최대 4.9m, 최소 2.9m이며, 평균 3.8m로 평가된다. 이와같은 운전양정은 4호기 납품당시의 시방양정 11m 대비 35% 미만이며, 현재의 최고효율점(BEP) 추정양정 7.5m에 비해서도 50% 정도의 저양정이다.

물론 2001년 한해만의 자료로써 펌프의 운전양정 범위를 단정지을 수는 없겠으나, 과거 수년간의 내/외수위를 검토한 결과 2001년 이전의 운전양정도 표2의 결과에서 크게 벗어나지 않을 것으로 판단된다.

이러한 판단의 근거로서 표2의 마지막 단에 표시한 2001년 7월 15일, 시간당 최대강우량 102mm로서 50년 빈도를 초과한 기록적인 집중호우시에도 실양정은 최대 3.6m에 불과하여 결국 운전전양정은 4.9m 이하였음을 짐작할 수 있으며, 이는 2001년 연간 최대운전양정 4.9m(당시 내수위 5.8m)와 동일한 값이라는 점으로부터 4호기의 최대운전양정은 5m 이하임을 재확인할 수 있는 것이다. 이러한 결과는 강우량과 무관하게 내/외수위는 동반상승하므로 실양정은 큰 변화가 없음에 기인하는 것이다. 따라서 이와같은 운전양정 범위는 국내 대부분의 빗물펌프장에서 유사하게 나타날 것임을 유의할 필요가 있다.

단, A펌프장에서 외수위는 계획홍수위 EL15.74m에 이르고 내수위는 유수지 최저수위 EL6.0m에 머물게 되는 특수한 조건 - 비록 그럴 가능성은 극히 희박하다 할지라도 - 에서도 안전한 배수가동을 위해서는 전양정이 최대 11m까지 요구됨을 염두에 두어야 한다.

2.2.3 펌프의 토출량 범위

그림1에는 성능곡선과 함께 시스템양정곡선(system head curve)을 도시하여 펌프의 운전범위를 더욱 명확히 알 수 있도록 하였다. 시스템양정곡선은 펌프흡입에서 배출까지 전체 관로계를 통과하기 위해 요구되는 양정을 유량별로 표시한 곡선이다. 그림1에서 y축 절

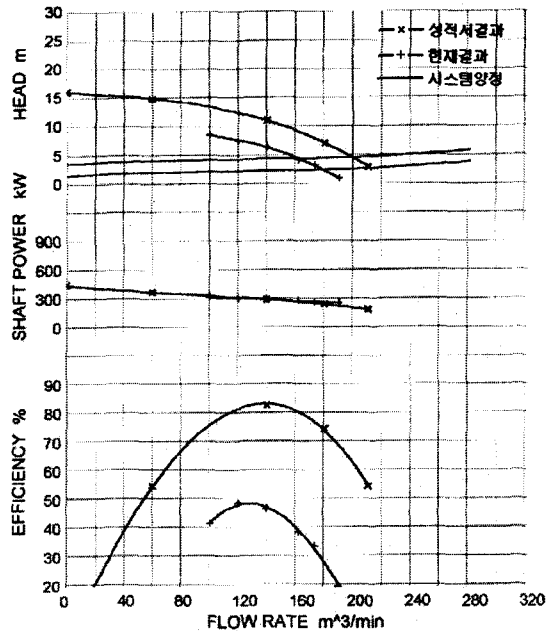


그림1. 펌프의 성능곡선 및 시스템양정곡선

편으로 표시된 실양정은 연간 최저 1.6m와 최고 3.6m(표2 참조)로 구분해 도시하였으므로, y축 방향으로 그 크기만큼 차이를 둔 2개의 시스템양정곡선이 나타난다. 성능곡선과 시스템양정곡선의 교점이 펌프의 운전점이 되므로 설치 당시로부터 현재까지 4호기 펌프의 운전 전양정 및 토출량 범위를 추정할 수 있게 된다.

설치 당시 4호기가 성적서상의 성능을 제대로 나타냈으며, 펌프가동시 내/외수위 정도 및 배관손실이 현재와 거의 같았다고 가정할 때 토출량 범위는 200~215m³/min으로서 시방토출량 140m³/min의 무려 143~154%에 달했을 것으로 짐작할 수 있다.

일반적으로 펌프의 안전운전 최대유량한계가 BEP 유량의 120~130%임을 감안할 때 엄청난 과대유량운전이 이루어진 것이다. 2001년도 토출량 역시 160~180m³/min으로서 4호기 펌프의 현재 BEP 토출량 120m³/min 대비 133~150% 과대유량으로서 안전운전 영역을 벗어난 상황임을 확인할 수 있다.

이와같은 불안전영역에서의 지속적인 펌프운전은 펌프/모터의 여러가지 손상을 유발하는 캐비테이션 및 토출량감소, 효율저하의 직접적인 원인으로 작용하게 된다. 특히 심각한 정도의 캐비테이션 발생은 다음절의 수력학적 안전성 분석 및 정밀진동분석 결과에서 분명히 확인되고 있다.

2.2.4 펌프의 수력학적 안전성 분석

(1) 캐비테이션(Cavitation)

펌프에서의 캐비테이션은 소음/진동의 증가, 토출량/효율 저하, 회전차·안내기등 침식/파괴, 베어링/시일 손상 및 모터손상까지 유발하는 펌프에는 치명적인 현상 중의 하나이다. 캐비테이션 발생정도를 파악하기 위해서는 NPSHA와 NPSHR의 비교 평가가 요구된다.

1) NPSHR 추정

NPSHR은 원칙적으로 실제 시험을 통해서만 구할 수 있는 값이지만, 시험이 불가능할 경우 대부분 아래의 경험식(1)을 이용해 BEP 토출량에서만 NPSHR 값을 추정하고 있다. 그리고 BEP 토출량이 아닌 경우의 NPSHR은 그림2에 표시한 계수를 BEP의 NPSHR 값에 곱하여 산정한다. 아래 식(1)로부터 4호기 펌프의 현재 BEP에서의 NPSHR은 5.8m 정도로 추정된다.

$$NPSHR = \left(\frac{N\sqrt{Q}}{N_{ss}} \right)^{4/3} \quad (1)$$

여기서 N[rpm]은 회전수, Q[m³/min]는 BEP 토출량, 그리고 N_{ss}는 흡입비속도를 나타내며, 그 값은 각각, 445rpm, 120m³/min, 그리고 1,300으로 하였다.

2) NPSHA 계산

NPSHA값은 흡입배관계 조건 및 내수위에 따라 결정되는 값으로서 다음 식에 의해 구할 수 있다.

$$NPSHA = \frac{P_s - P_v}{\gamma} \pm h_s - h_{sl} \quad (2)$$

여기서, P_s[kgf/m²abs]는 내수위 표면의 작용압력, P_v[kgf/m²abs]는 포화증기압, γ[kgf/m³]는 물의 비중량, h_s[m]는 내수위 표면과 회전차 중심까지의 수직거리, 그리고 h_{sl}[m]는 흡입관로 마찰손실을 나타낸다.

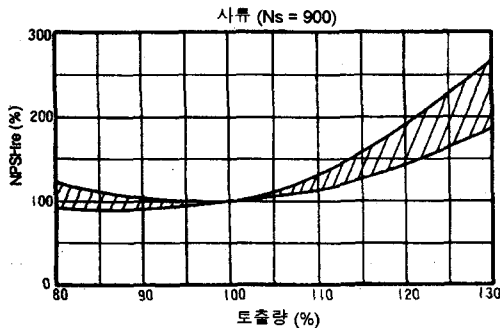


그림2. 토출량에 따른 NPSHR 증가계수[1]

3) NPSH 여유 및 캐비테이션

캐비테이션으로 인한 성능저하 및 과도한 펌프손상을 방지하기 위한 최소한의 요구 운전조건으로서 NPSHA와 NPAHR의 관계를 일반적으로 아래와 같이 규정하고 있으며, 'NPSH 여유'라고 부르기도 한다.

$$NPSHA \geq NPSHR \times 1.3 \quad \text{또는} \\ NPSHA \geq NPSHR + 3m \quad (3)$$

다시말해 NPSHA/NPSHR ≥ 1.3 또는 NPSHA값이 NPSHR값보다 최소 3m 이상 크게 유지되어야 캐비테이션으로 인한 심각한 성능저하 및 부품손상의 피해를 최소화할 수 있다는 것이다. 그런데, NPSHA는 그 특성상 토출량이 증가할수록 감소하고, 반대로 NPSHR은 토출량이 증가할수록 기하급수적으로 증가하는 경향을 갖는다. 그러므로 BEP 토출량 대비 운전 토출량이 증가할수록 NPSH 여유는 감소하게 되고 결국 캐비테이션 정도 및 그 피해가 증대된다. 결론적으로 캐비테이션의 폐해는 과대토출량으로 심화되고, 이러한 과대토출량은 근본적으로 과대 시방양정 결정에 따른 과도한 저양정운전에서 비롯되는 것이다.

4) 캐비테이션 검토

표3에는 2001년도 4호기 펌프 가동시 평균 내수위/전양정 경우 및 최고 내수위/전양정 경우에 캐비테이션 정도를 평가해 제시하였다.

표3에서 알 수 있듯이 본 펌프장에서는 2001년 4호기 펌프 가동시 항상 NPSHA가 NPSHR보다 도리어 작게 나타남으로써 NPSH 여유가 전혀 없는 흡입 압 조건이 형성된 것으로 추정되며, 결국 4호기 펌프는 중전의 내/외수위 및 가동상황을 고려할 때 최초설치 이후 현재까지 언제나 심각한 정도의 캐비테이션을 동반했을 것으로 판단할 수 있다. 이러한 결과는 앞서 언급한 바와 같이 과도한 저양정운전으로 인해 실제 운전토출량이 165~180m³/min으로서 BEP 대비 138~150%에 달함으로써 NPSHR값이 크게 증가한 때문으로 해석할 수 있다. 4호기 운전시의 캐비테이션 발생은 정밀진동분석결과에서도 명확히 확인되고 있다.

표3. 운전양정에 따른 캐비테이션 정도

전양정 [m]	토출량 [m ³ /min]	NPSHA [m]	NPSHR [m]	NPSH 여유[m]	캐비테이션
3.8	165	11.4	14.5	-3.1	극심
2.9	180	15.9	20.4	-4.5	극심



그림3. 축류형 회전차의 캐비테이션 침식

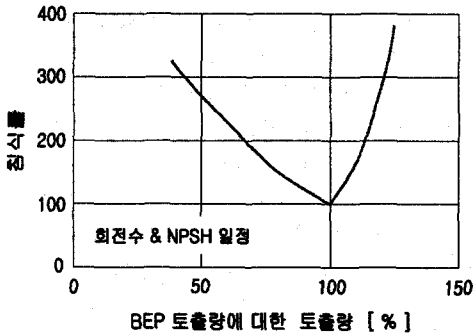


그림4. 토출량에 따른 펌프내부 침식률 변화

반복하거나 본 4호기 펌프에서의 캐비테이션 발생은 펌프시방 결정시 실제 운전양정보다 지나친 과대양정이 선정된 때문이다. 이러한 캐비테이션 문제를 해결하는 방법은 크게 두가지로 구분할 수 있다. 첫번째는 토출밸브를 교축하여 운전양정을 높이고 토출량을 감소시키는 방법이며, 두번째는 내/외수위 범위, 펌프 특성 등을 종합적으로 고려해 적절한 시방의 펌프를 선정, 교체하는 방법이다. 첫번째 방법은 배수량을 최우선으로 하는 배수펌프장 특성상 부적합할 뿐 아니라 근본적인 해결책이라고 볼 수 없을 것으로, 현상황에서는 펌프의 시방개선 및 교체만이 4호기 펌프의 캐비테이션 문제를 완벽하게 해소할 수 있는 방법이라 할 수 있다.

물론 빗물펌프장의 펌프는 가동시간이 매우 짧으므로 상시운전 설비에 비해 캐비테이션으로 인한 회전차 등의 침식(그림3, 4 참조)을 비롯한 각종 폐해는 상대적으로 적을 것임에는 분명하나, 캐비테이션이 펌프/모터의 손상을 가속화하며 급기야 빗물펌프장의 배수불능이라는 치명적인 결과의 주요원인으로 작용할 수 있음은 어느 누구도 부인할 수 없을 것이다.

(2) 볼텍스(Vortex) 검토

1) 볼텍스의 생성과 폐해

펌프장의 집수정 수위(내수위)가 어느 기준 이하로 낮아진 경우 즉, 펌프 흡입구의 최소잠김깊이(minimum depth of submergence)가 유지되지 않는 경우에 펌프를 가동하면 펌프 흡입구 주변에서 볼텍스(그림5 참조)가 생성될 수 있다. 이와같은 볼텍스의 폐해로는 진동/소음의 증대, 펌프 흡입구의 공기유입에 따른 성능저하 및 펌프손상, 회전차 입구에서의 불안전 선회유동(swirling flow)에 의한 토출량 변동과 모터 과부하, 회전차 침식/파괴 및 베어링의 과도 마모 등이 있다.

그림6 및 그림7은 각각 미국 수력협회(Hydraulic Institute)에서 규정한 펌프의 토출량별 최소잠김깊이(그림7의 'S') 및 집수정 설계기준을 제시하고 있다.

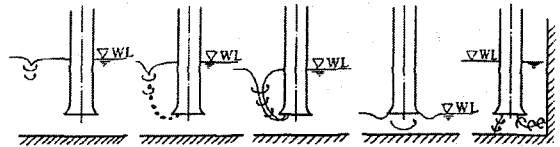


그림5. 볼텍스의 종류

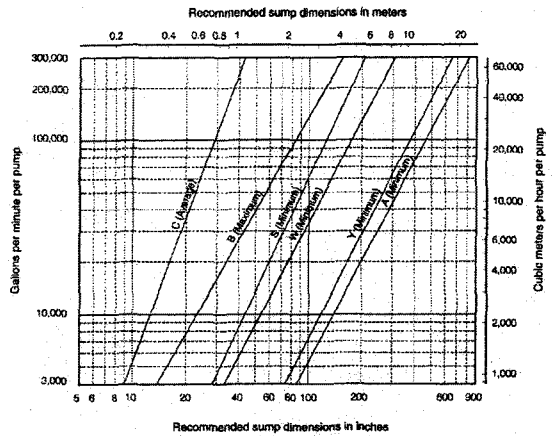


그림6. 토출량에 따른 최소잠김깊이 및 집수정 치수기준

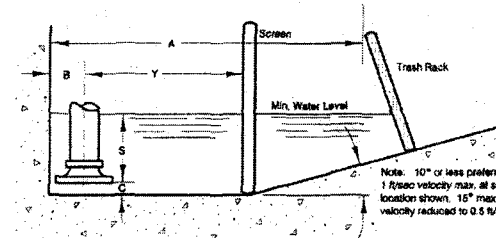


그림7. 최소잠김깊이 및 집수정 설계기준

2) 볼텍스 검토

그림6 및 그림7을 기준으로 볼 때, 상시 토출량이 약 10,000m³/hr인 4호기의 경우 볼텍스 생성을 방지하기 위한 최소잠김깊이는 약 2.3m임을 확인할 수 있다.

본 펌프장의 집수정 바닥높이는 EL2.5m, 바닥에서 펌프 흡입구까지 높이(그림 7의 'C')가 1.4m이므로, 최소잠김깊이가 2.3m가 되기 위한 집수정 수위 즉 내수위는 EL6.2m이다. 다시 말하자면 내수위 EL6.2m 이하에서 펌프를 가동할 경우 위에서 설명한 볼텍스 생성으로 인한 과도한 펌프손상 및 급작스런 펌프고장의 가능성이 높아지는 것이다. 물론 내수위가 EL6.2m를 넘어선다고 해서 볼텍스가 전혀 없는 안전한 운전이 보장된다는 의미는 아니며, 단지 볼텍스 피해를 방지하기 위해서는 내수위를 최소 EL6.2m 이상 유지해야 한다고 권고하는 것이다.

그러나 표1에서 보듯이 2001년 4호기 펌프 가동시 연평균 내수위는 EL6.1m로서 최저잠김깊이 EL6.2m에 못미치고 있어 상당한 볼텍스 피해가 우려되는 상황이다. 더욱이 펌프장의 가동기록에 의하면 한해동안 최저잠김깊이 내수위 EL6.2m 이하에서의 4호기 가동시간은 총 470분 정도로서 이는 2001년 총운전시간 909분의 무려 52%를 차지하고 있다. 즉, 4호기 펌프는 총 가동시간의 절반 이상은 볼텍스를 동반한 불안정한 운전이 이루어졌을 것으로 판단된다.

진동분석결과에서도 내수위 EL6.6m인 경우에 비해 EL5.7m의 경우에 총진동값이 더욱 크게 나타남을 확인할 수 있었으며, 이는 내수위 EL5.7m의 경우가 최저잠김깊이를 유지하는 내수위 EL6.2m에 못미쳐 볼텍스의 영향을 더욱 크게 받은 때문으로 평가할 수 있다.

그런데 이상의 볼텍스는 전철의 캐비테이션과는 달리 펌프시방에는 무관하며, 단지 가동시 내수위에 관계되는 현상이므로 펌프의 가동시점을 내수위 EL6.2m 이상으로만 유지한다면 그 피해를 크게 줄일 수 있다. 그럼에도 불구하고 유수지의 악취방지를 요구하는 주변 민원에 따라 내수위 EL6.2m 이하 저수위에서의 펌프가동을 계속한다면 볼텍스로 인한 펌프/모터손상이 가중되고 예기치 못한 급작스러운 고장발생으로 배수 불능의 사태가 나타날 수 있음을 명심해야 한다. 또한 진동분석결과에서는 볼텍스로 인한 진동증가가 펌프장 건물의 공진까지도 유발할 수 있음이 평가되고 있어 특별한 주의를 요한다. 이러한 상황에서 굳이 내수위 EL6.2m 이하에서 펌프를 가동하고자 한다면 집수정의

바닥 및 펌프의 설치 높이를 현재보다 최소 1m 이상 낮추는 공사가 우선되어야 할 것이다.

2.3 펌프의 시방개선 검토

50년 빈도를 초과하는 집중호우시의 자료를 포함한 종합적인 분석결과 A빗물펌프장 펌프의 상시 평균 운전양정은 5m 미만, 특수한 경우 최대 11m로 평가되었으며, 결국 현재 설치되어 있는 4호기 펌프(시방양정 11m, 사류형식)는 본 A빗물펌프장에서 안전한 가동을 위해서 시방개선의 필요가 있는 것으로 판단된다.

펌프최적시방 결정의 방향은 상시운전 양정 5m 미만에서 수력학적으로나 기계적으로 최상의 안전운전을 보장하되, 만일에 대비한 운전양정 최대 11m에서도 역시 안전하게 배수가능한 펌프시방을 선정하는 것이다.

결과적으로 4호기 펌프의 개선 시방점은 양정 6~7m, 토출량 160m³/min가 적합한 것으로 평가되며, 이와같은 시방개선시 동일한 토출구경/모터동력으로써 기존에 비해 훨씬 우수한 배수능력과 함께 수력학적으로나 기계적/전기적으로 한층 안전한 운전이 가능하게 될 것이다. 이러한 개선사항은 국내 대부분의 빗물펌프장에 적용되는 것이라 할 수 있다.

현재 건교부에서 지정하고 있는 종래의 시방기준은 안전성을 최우선으로 한다는 명분하에 단순히 최저내수위와 최고외수위(계획홍수위)를 감안함으로써 수십년 빈도에도 가능성이 매우 희박한 11m 이상의 고양정을 펌프시방점으로 결정하게함으로써 실제로는 앞서 언급한 바와 같이 도리어 펌프의 안전운전을 저해하고 있는 것이다. 이러한 시방기준에 대한 전면적인 개정 검토가 절실히 요구되며, 종전과 달리 배수가동시의 내/외수위, 상시/최대의 운전양정, 펌프특성 및 배수량 등을 종합적으로 고려해 개선보완되어야 할 것이다.

시방점 개선과 함께 반드시 전문적으로 심도있는 검토가 이루어져야 하는 부분은 펌프의 형식에 관한 것이다. 즉, 기존의 빗물펌프장의 90% 이상을 차지하는 사류형 대신에 축류형을 적용할 경우의 장단점을 종합적으로 분석해보아야 할 것이다. 일반인들은 흔히 축류펌프는 운전양정이 5~7m를 넘을 경우 배수가 불가능한 것으로 오해를 하고 있어 무조건 축류형은 빗물펌프장에 부적합한 것으로 단정짓는 경우가 많은데, 이는 많은 펌프관련 자료에서 축류펌프의 운전양정이 7m 이하라고 표시되어 있는 때문으로 생각된다. 여기서 운전양정 7m 이하라 함은 이 영역에서는 축류형이 다른 어떤 형식보다도 가장 안정적이고 효율적이라는

뜻으로서, 상시운전양정이 7m 이하인 경우에는 원심형이나 사류형에 비해 축류형이 더욱 적합하다는 의미인 것이다.

따라서 축류펌프의 운전가능한 최대양정이 결코 7m 이하로 제한되는 것이 아니며, 펌프의 회전수, 날개각도 등에 관계되는 사항이다. 실제로 축류펌프는 11m 이상의 고양정에서도 서징 등의 불안정 현상 없이 무난히 운전될 수 있는 것이다.

결론적으로 가동시간 대부분의 운전양정 즉 상시운전양정은 5m 이하이며, 만에 하나 전양정이 최대 11m까지 될 수도 있다는 가동조건을 지니는 빗물펌프장에서는 펌프형식면에서 사류형과 축류형 중 어느 것이 더욱 안전운전을 보장하는지는 별도의 전문적인 검토가 요구되는 부분이다.

최근 신설 또는 개보수 빗물펌프장의 경우 펌프의 시방양정은 예전의 11m 정도보다 다소 작아지기는 하였으나 여전히 대부분 국내 빗물펌프장 펌프의 시방양정은 8m 이상으로 규정되어 있어 빗물펌프장의 실제 상시운전양정 3~5m와는 큰 차이를 보이고 있다. 더욱이 시방양정은 8m를 만족하지만 펌프의 BEP 양정은 이보다 훨씬 큰 경우가 매우 많아 저양정 운전시 토출량의 과대정도는 여전히 심각하다. 따라서 BEP가 시방점과 일치하는 펌프를 선정하는 것 또한 특별히 중요한 부분이라 할 것이다.

3. 결론

본 연구에서는 빗물펌프장 펌프에 대한 정밀진단을 통해 펌프의 수력학적 안전성 분석 및 시방의 적합성을 검토하여 펌프의 개선시방을 제안함과 동시에 기존의 펌프시방 결정방식의 문제점을 살펴보았다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 펌프의 성능시험결과 및 내/외수위 기록 등 운전일지의 종합분석에 의하면 A빗물펌프장의 4호기 펌프가 운전된 전양정은 2.9~4.9m, 평균 3.8m로서 펌프장 설계시 시방양정 11m와는 매우 큰 격차를 보이는 저양정이다. 이러한 저양정운전은 펌프장 가동이래 계속된 것으로 평가된다.

2) 이와같은 저양정운전으로 말미암아 4호기 펌프의 상시 토출량은 BEP 토출량의 130~150%에 달하고, 일반적으로 규정하고 있는 운전안전범위를 크게 초과하고 있다.

3) 안전운전 범위를 벗어난 과대토출량 운전으로 인해 4호기 펌프는 NPSH 여유가 전혀 없는 흡입 약조건이 형성되고, 그 결과 현재 매우 심각한 정도의 캐비테이션이 발생하는 것으로 확인되었으며, 이 또한 최초설치 이래 계속된 것으로 평가된다.

4) 4호기 펌프는 가동시간의 절반가량이 최저잠김깊이 조건을 만족치 못하므로, 볼텍스를 동반한 불안정한 운전이 이루어지는 것으로 판단된다. 그 결과 펌프장 건물의 공진을 유발할 수 있는 위험까지 존재함이 확인되었다. 볼텍스로 인한 펌프손상 및 건물의 붕괴를 방지하기 위해서는 펌프 가동시 최저 내수위를 EL6.2m 이상으로 설정하여 최저잠김깊이를 유지하는 것이 매우 중요하다.

5) 4호기 펌프는 A빗물펌프장에서의 안전한 가동을 위해서는 시방개선이 필요하며, 최적의 시방점은 양정 6~7m, 토출량 160m³/min 정도로 판단된다. 이러한 시방개선이 실시될 경우 캐비테이션의 현격한 감소로 인한 운전안전성은 물론 배수능력도 크게 향상될 것이다.

아울러 이상의 문제점과 개선내용은 4호기 이외의 모든 펌프들에 동일하게 적용되는 사항이다.

6) 빗물펌프장 펌프에 대한 기존의 시방기준은 펌프의 안전운전에는 부적합한 면이 많은 것으로 평가되며, 종합적인 가동조건을 고려한 시방기준의 개정운용이 절실히 요구된다.

참고문헌

1. "Torishima Pump Handbook", Torishima Pump MFG.CO.,LTD, Osaka, Japan, 1990.
2. "Pumping Station Engineering Handbook", Japan Association of Agricultural Engineering Enterprises, Tokyo
3. "Hydraulic Institute Standards", Hydraulic Institute, Cleveland, Ohio, 1994.