

유량 조절용 소용량 펌프의 적용

이봉주*

1. 서 론

펌프 설비를 계획할 때에 펌프의 용량 및 대수의 결정과 병행하여 유량을 조절하는 제어 방식을 검토하게 되는데 보통 밸브 제어, 대수 제어 및 회전 속도 제어가 있으며 보조적으로 필요한 시기에 임펠러를 교환하는 방법을 사용하고 있다. 현재 우리나라의 광역 상수도 설비에서는 수요자의 사용 수량의 변화에 대응하기 위한 방안으로서 회전 속도 제어와 더불어 대소용량의 대수 제어 운전 즉, 유량 조절용 소용량 펌프를 사용하는 제어 방식을 적용하고 있다.

양정의 대부분이 실양정으로 되는 실양정형 펌프 설비에서는 손실 헤드가 작기 때문에 수량 변화에 대한 펌프의 필요 압력의 변화가 작다. 따라서, 동일 성능(동일 양정)의 펌프의 대수 제어 운전으로 효과적인 소비 동력의 저감이 가능하다. 수량 변화의 분포 상향으로 볼 때에 대수량의 시간대가 길거나 소수량의 시간대가 긴 경우에는 분할 대수를 늘이던가 토출량이 다른 펌프의 대수 제어를 행함으로써 소비 동력의 저감을 꾀할 수 있다. 수도 설비의 송수 펌프와 같이 실양정형이면서 송수량이 계절이나 시각에 따라 자주 변화하는 경우에는 필요 송수량에 맞추어 동일 용량의 대용량 펌프 여러 대와 유량 조절용 소용량 펌프 1대를 조합한 병렬 운전이 효과적인 방법이다.

현재 광역 상수도에서 대용량 펌프와 소용량 펌프의 조합 운전 즉, 유량 조절용 소용량 펌프를 사용하여 제어 운전을 하고 있는 성남 정수장 3단계의 송수 펌프에 대한 2000년 1년간의 운전 기록을 분석하여 동일 용량의 대수 제어 운전과 대·소용량의 대수 제어 운전의 경우에 대하여 송수량에 따른 효율성을 분석하여 소용량 펌프의 적용 방안을 검토하여 보았다.

2. 운전 기록의 분석

현재 적용되고 있는 성남 정수장 3단계 펌프 설비에 대하여 2000년 1년간의 운전 기록을 분석하였다. 분석에 사용한 기초 자료는 다음 네 가지다.

- 1) 수처리 운전 일지
- 2) 송수량 월보
- 3) 송수 펌프 일지
- 4) 펌프 1호기, 2호기, 5호기~8호기의 성능곡선도(3호기 및 4호기의 것은 없음)

2.1 가동 펌프 설비의 현황

시설 용량은 425,000 m³/일로서 대용량 펌프 5대의 용량을 기준으로 계획된 것이고, 가동 중인 펌프 설비의 용량은 다음 표 1과 같다.

2.2 송수량 현황

송수 펌프의 송수량은 송수량 월보의 매시간 송수량을 정리하여 그림 1에 나타내었다.

- 1) 최대 1일 송수량은 393,000 m³/일로 시설 용량의 92.5%, 최소는 55,000 m³/일로 1.3%이고, 연평균 1일 송수량은 241,400 m³/일로 56.8%에 해당한다.
- 2) 월평균 1일 송수량은 최대가 3월이고 285,900 m³/일

표 1 펌프 설비 현황

호기	펌프			전동기	
	토출량 (m ³ /h)	양정 (m)	구경 (mm)	동력 (kW)	극수 (P)
1, 2	1,771	66	400×400	400	6
3, 4	3,542	66	600×600	850	10
5~8	3,542	66	600×600	850	10

* 주식회사 한들펌프 대표이사
E-mail : hdpump@kornet.net

유량 조절용 소용량 펌프의 적용

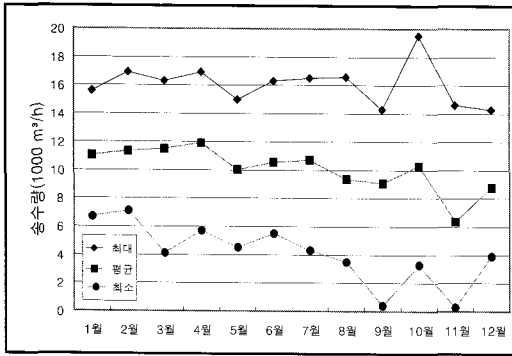


그림 1 월별 시간당 송수량 그래프

로 시설 용량의 67.3%, 최소가 11월이며 152,500 m³/일로 35.9%에 해당하여 1일 수요 수량의 변화가 상당히 심한 편이다.

- 3) 월별 시간당 송수량 그래프에서 알 수 있듯이 매일의 시간 송수량도 변화가 심하며, 그 정도는 1년 중 하반기에 극심하다.

2.3 펌프의 운전 모드

매일의 송수량의 변화가 심한 편이기 때문에 이에 대응하기 위해서는 대수 운전 모드의 심한 변화가 필연적이다. 그 구체적인 내용은 수치리 운전 일지의 송수 펌프 가동 현황, 송수량 월보 및 송수 펌프 일지를 분석하기 좋게 정리한 송수 펌프 일일 운전 모드 그림으로 잘 알 수 있다. 데이터는 1년 중 매4분기의 첫 달인 1월, 4월, 7월 및 10월의 4개월 동안과 11월 24일의 것에 대하여 분석이 가능한 내용을 정리하여 사용하였다.

2.3.1 운전 현황의 분석

운전 현황을 분석한 결과는 다음과 같다.

- 1) 연평균 1시간 당 송수량은 10,100 m³/h로서 대용량 펌프 3대를 운전하는 경우의 송수량에 해당하며 최대는 19,500 m³/h로서 대용량 펌프 5대를 운전하는 경우에 해당한다.
- 2) 펌프의 가동 시간은 그림 2 및 그림 3에 나타나 있다. 소용량 펌프 1대의 1일 평균 가동 시간은 5시간 31.5분, 대용량 펌프는 9시간 49.5분이다. 소용량 펌프 2대의 가동 시간은 펌프 8대 전체 가동 시간의 15.8%에 해당하고, 1대 당 가동 시간은 대용량 펌프의 56.2%에 해당한다. 각 펌프의 가동 시간이 중

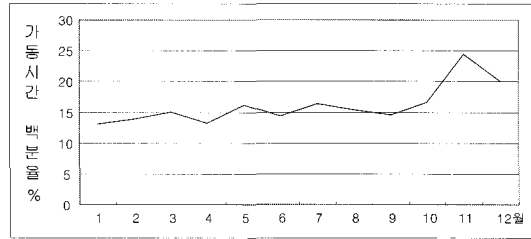


그림 2 소용량 펌프의 가동 시간

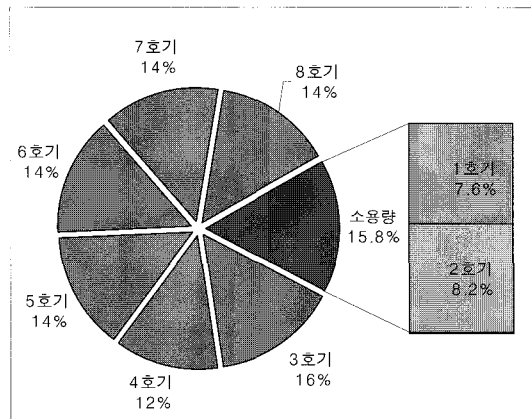


그림 3 소용량 펌프의 가동 시간 구성비

표 2 펌프의 1일 기동 횟수

구분	1월			4월			7월			10월			전체		
	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균
소용량	7	3	4.8	8	2	4.9	6	1	3.5	5	1	3.0	8	1	4.0
대용량	7	1	3.3	8	1	3.3	6	0	2.7	4	1	2.0	8	0	2.8

류별로 고른 것으로 보아 사용하는 모든 펌프의 운전 시간을 균등하게 하여 마모 등 열화를 고르게 하는 것이 좋다고 알려진 관행에 충실한 것 같다.

- 3) 운전 모드는 대수 제어, 온-오프 운전이다.
- 4) 펌프의 1일 기동 횟수는 표 2의 내용과 같다. 평균적으로 소용량 펌프는 2대가 4회, 대용량 펌프는 6대가 2.8회이므로, 각각 1대 당으로는 소용량 펌프가 하루 2회, 대용량 펌프가 이틀에 1회 기동한 꼴이고, 소용량 펌프가 수요 수량을 맞추기 위하여 빈번히 기동하였음을 알 수 있다. 1회 기동하여 운전한 가장 짧은 시간은 10분이었다.
- 5) 펌프의 성능은 수치가 구체적으로 기록된 성능 시험 성적표가 없어 펌프 제조사가 제출했던 성능곡선도만 파악할 수 있는데, 소용량 펌프 및 대용량

펌프로 정리해 본 결과, 호기별 성능의 산포가 꽤 커서 문제가 있음을 알 수 있었다. 이러한 펌프들을 사용하는 경우에는 같은 성능의 펌프라고 보기 어려우므로 각각의 펌프의 성능을 합성하여 병렬 운전의 분석에 필요한 합성 성능 곡선을 작성하는 번거로움이 뒤따른다.

특히 소용량 펌프 중 1호기는 최고 효율점의 토출량이 1,500 m³/h로서, 운전점은 제쳐놓더라도 정격 토출량(1,771 m³/h)이 최고 효율점의 118%나 되기 때문에 근본적으로 부적합한 펌프가 설치된 경우라고 생각된다.

2.3.2 일일 운전 모드

각 펌프의 운전 기록으로부터 하루 24시간 동안의 운전 모드의 변화 및 기동 상황을 정리한 그림의 대표적인 보기를 들면 4월 25일의 자료인 그림 4와 같다. 그림에서 운전 모드 난에 나타난 기호는 대수 조합 방식을 나타낸 것이다. 하루 중 운전 모드의 변화가 무려 26회나 된다. 수요에 대응하여 대수 운전의 변화가 빈번히 이루어졌음을 알 수 있다. 이를 위해 소용량 펌프는 1호기가 1회, 2호기가 7회 기동을 하였다. 대용량 펌프 1대와 소용량 펌프 1대의 조합에서부터 대용

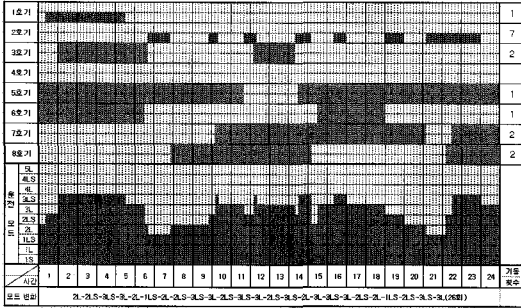


그림 4 펌프 일일 운전 모드 그림-보기

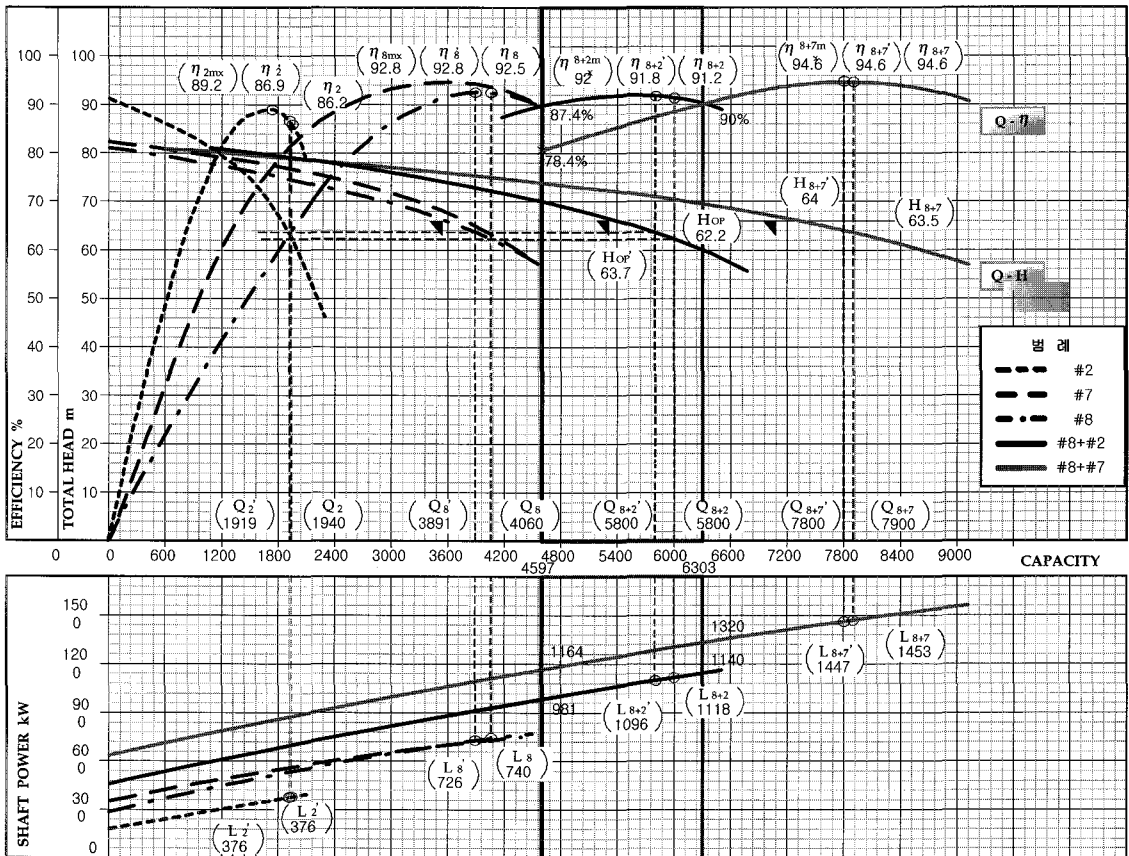


그림 5 펌프 2대의 합성 성능 곡선도

유량 조절용 소용량 펌프의 적용

량 펌프 3대와 소용량 펌프 1대의 조합에 이르는 병렬 운전이 행해졌다.

대로 운전하고 있다.

2.4 병렬 운전의 분석

1) 대수 운전은 대용량 펌프 5대와 소용량 펌프 1대의 조합인데, 운전 대수는 최소 소용량 펌프 1대이고 최대 대용량 펌프 5대의 병렬 조합이며, 소용량 펌프는 펌프의 토출량이 대용량 펌프의 반 정도로서 대용량 펌프 1대부터 4대까지에 1대를 조합하는 형

2) 소용량 펌프는 1대로서만 역할을 수행하며, 수요 수량 변화에 따라 대용량 펌프와 대소 펌프 병렬 운전의 형태를 이루어 대용량 펌프로 이행되기 전의 증감 용량(대용량 펌프의 50% 정도)을 감당한다.

3) 그림 5는 송수 펌프 일일 운전 모드 그림들로부터 실제 소비 동력 분석에 사용할 수 있는 펌프인 2호기, 7호기 및 8호기에 대한 2대 병렬 운전의 경우

표 3 운전 동력 계산서-대용량 펌프 1대+소용량 펌프 1대(1L5)

(a) 운전기록

날짜	시간	유량(cmh)	8호기			2호기			입력(kW)
			흡입압력	토출압력	양정(m)	흡입압력	토출압력	양정(m)	
10.26	4	5800	0.02	6.30	62.80	0.12	6.60	64.80	1250
	9	6000	0.12	6.20	60.80	0.28	6.60	63.20	1250
10.29	20	6000	0.10	6.30	62.00	0.30	6.40	61.00	1100
	21	6000	0.10	6.30	62.00	0.30	6.40	61.00	1100

(b) 소비 동력 계산

날짜	시간	유량(cmh)	양정		8호기				2호기				소비동력합계(kWh)
			측정값 평균	성능 곡선도	유량 (cmh)	펌프효 율(%)	전동기 효율(%)	입력 (kW)	유량 (cmh)	펌프효 율(%)	전동기 효율(%)	입력 (kW)	
10.26	4	5800	63.8	63.7	3891	92.8	96.4	755	1919	86.9	96.0	400	1155
	9	6000	62.0	62.2	4060	92.5	96.4	768	1940	86.2	96.0	396	1164
10.29	20	6000	61.5	62.2	4060	92.5	96.4	762	1940	86.2	96.0	392	1155
	21	6000	61.5	62.2	4060	92.5	96.4	762	1940	86.2	96.0	392	1155

표 4 운전 동력 계산서-대용량 펌프 2대(2L)

(a) 운전 기록

날짜	시간	유량(cmh)	8호기			2호기			입력(kW)
			흡입압력	토출압력	양정(m)	흡입압력	토출압력	양정(m)	
4.27	18	7800	0	6.70	67.0	0.10	6.3	62.0	1550
	19	7900	0	6.70	67.0	0.12	6.3	61.8	1550
	20	7900	0	6.60	66.0	0.10	6.2	62.0	1500

(b) 소비 동력 계산

날짜	시간	유량(cmh)	양정		8호기				2호기				소비동력합계(kWh)
			측정값 평균	성능 곡선도	유량 (cmh)	펌프효 율(%)	전동기 효율(%)	입력 (kW)	유량 (cmh)	펌프효 율(%)	전동기 효율(%)	입력 (kW)	
4.27	18	7800	64.5	64.0	3948	93.6	96.3	769	3852	92.8	96.4	756	1525
	19	7900	64.4	63.5	3990	93.6	96.3	776	3910	92.8	96.4	766	1542
	20	7900	64.0	63.5	3990	93.6	96.3	771	3910	92.8	96.4	761	1533

를 그래프로 나타낸 것으로서, 에너지 절감 차원에서 소용량 펌프의 효율 가치를 분석하기 위해 대용량 펌프를 사용할 때의 효율과 비교되도록 나타내었다. 에너지 절감 즉, 펌프의 효율 면에서는 유량이 6,300 m³/h 이하가 될 때에 조절용 소용량 펌프를 사용하는 것이 대용량 펌프만 2대를 운전하는 것보다 유리하고, 유량이 4,600 m³/h일 때에는 효율이 9% 포인트나 높은 것으로 나타난다. 물론, 그 유량에서 운전될 때에 각 펌프에 캐비테이션이나 진동의 발생 문제가 없어야 함은 당연하다.

- 4) 여러 가지 병렬 운전의 경우 중에서 3)항의 경우에 대하여 단위 시간 당 소비 동력을 분석한 결과를 표 3 및 표 4에 나타내었다.

2.5 분석상의 문제점

- 1) 펌프 및 전동기의 시험성적표와 같은 사용 설비에 관한 자료가 미비하였다. 그나마 있는 자료도 신빙성이 없다고 보이며, 펌프의 경우 필요 유효흡입헤드 곡선이 없어 캐비테이션과 관련된 검토는 불가능하였다.
- 2) 여러 가지 일지에 기록된 데이터는 운전자가 현장에 설치된 감시용 계측기기로 한 것이기 때문에 분석 결과가 정밀한 것이라 하기 어렵다. 송수량은 측정 단위가 적산 유량으로 100 m³/h로서 소용량 펌프의 정격 토출량의 5.6%에 이르며, 입력(kW)은 측정 단위가 50 kW나 되어 소용량 펌프의 구동 전동기의 정격 출력 400 kW의 12.5%나 되는 등 소비 동력 분석의 의미는 거의 없다고 할 수 있다. 계측기의 정밀도를 떠나서도 비슷해야 될 압력이 큰 차이를 보인다는지, 실제 기록된 현장의 데이터가 여러 경우에 있어서 이치에 맞지 않는 경우가 많이 나타났다.
- 3) 여러 가지 자료가 부정확하고 미흡하기 때문에 실제로 운전 실적의 분석 자료를 활용하는 데에는 의미를 크게 부여할 수가 없었다.

3. 결 론

- 1) 송수량의 변화가 심하므로 소용량 펌프의 적용은 매우 유용하다. 용량 즉, 정격 토출량이 대용량 펌

프의 50%로 된 것은 적절하다. 그러나 펌프의 최고 효율점 토출량이 정격 토출량보다 조금 큰 것이 유리하나 현재의 상태는 그 반대다. 펌프의 대수도 적당하다고 판단된다. 최대 송수량일 때를 보면, 대용량 펌프 5대가 운전되어 대용량 펌프 1대 및 소용량 펌프 1대가 예비 펌프로 남아 있게 된다.

- 2) 운전 동력 분석표에 따르면 소용량 펌프는 토출량 1,700~1,940m³/h로 운전되어 계획 용량의 96~110%를, 대용량 펌프는 3,900~4,000m³/h로 계획 용량의 110~113%를 감당했다. 계획 용량이 최고 효율점 근방이므로, 모든 펌프가 약간 과대 유량 범위에서 운전되고 있다고 볼 수 있어 캐비테이션이나 진동 발생의 문제는 없는지 유의할 필요가 있다. 특히, 소용량 펌프인 1호기는 최고 효율점 토출량이 1,500 m³/h로서 130%나 되는 과대 토출량에서 운전되어 연속 운전이 될 때에는 폐해의 가능성이 크다.
- 3) 펌프를 몇 대로 분할하는 것이 좋은가를 알기 위해서는 사용 조건, 설치 조건 및 운전 관리 조건 등 여러 가지 요소를 검토하여야 한다. 펌프는 운전 빈도나 운전 시간이 긴 기간의 펌프 효율을 중시하면서 펌프의 용량과 대수의 조합을 결정한다. 종래는 가) 펌프 설비의 저감, 나) 보수 관리의 용이성, 다) 예비품의 공통성 등을 중시하여 동일 용량의 펌프 대수 안이 많이 채용되었지만, 요즘은 장래의 유지 관리비의 저감을 목적으로 대소 펌프의 조합에 대하여도 그 운전 효율을 구체적으로 비교한 다음에 대수 결정이 행해지고 있다. 운전 효율 면에서는 각 송수량에서의 운전 시간으로부터 송수에 필요한 총전력량과 그 때의 전기 요금을 계산하여 소비 전력비를 비교하는 것이 필요하다.

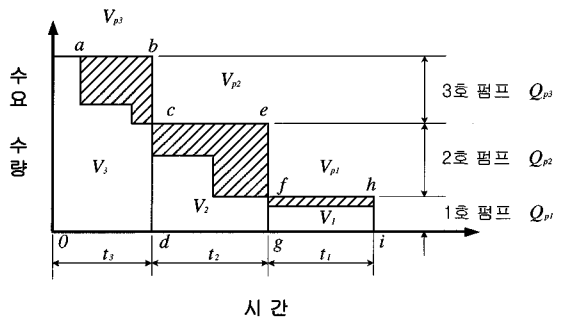


그림 6 펌프 대수의 대응도

4) 여기서 분석한 송수 펌프와 같은 경우에는 송수량이 하루에도 시간에 따라 심하게 변하는 때가 많으므로, 이것을 수작업으로 시간별로 데이터화하여 그래프로 만드는 것은 매우 방대한 작업이다. 그림 4와 같은 송수 펌프 일일 운전 모드 그림을 송수량 크기 순서로 다시 배열한 그림을 1년간에 대하여 정리하고 대응도를 분석하여야 한다. 따라서, 이러한 분석을 하기 위해서는 데이터 수집 단계부터 전산화의 실시를 검토할 필요가 있다.

5) 펌프 대수의 대응도를 분석하는 방법을 제시해 본다. 그림 6의 계단 모양의 직선 A는 일정 시간 분의 수요 수량을 큰 순서로 늘어놓은 그래프다. 이 그림에서 V_1, V_2, V_3 은 각 펌프의 대수가 대응할 때의 수요 수량의 총합계(m^3)다. 또, V_{p1}, V_{p2}, V_{p3} 은 각 펌프의 대수가 운전된 경우의 총합계 유량(m^3)이 되고 있다. 이 그림에서 빗금 부분은 수요 수량에 대하여 펌프 설비가 갖고 있는 송수 능력의 여유분을 나타내고 있다. 즉, 이 빗금부의 면적이 작은 만큼 펌프 설비의 대수가 수요 수량에 대하여 적절히 대응하고 있는 것을 나타내고 있다. 이것은 펌프 대수의 대응도(α)라 말하는 식 (1) 및 (2)로 표시할 수 있다. 각 운전 기간 t_1, t_2, t_3 의 펌프 대수의 대응도를 구하면 식 (1)과 같이 된다.

$$\alpha_1 = \frac{V_1}{V_{p1}}, \alpha_2 = \frac{V_2}{V_{p2}}, \alpha_3 = \frac{V_3}{V_{p3}} \quad (1)$$

여기서, V_1, V_2, V_3 : 각 수요 수량

V_{p1}, V_{p2}, V_{p3} : 각 펌프의 송수량 (m^3)

펌프 설비 전체의 대응도는 식 (2)로부터 구할 수 있다.

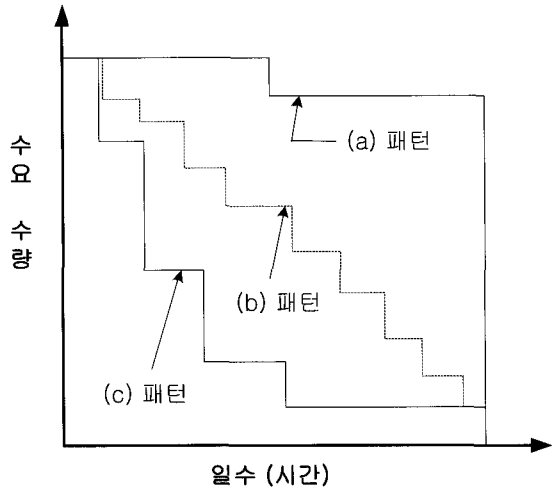


그림 7 수요 수량의 패턴

$$\alpha = \frac{\alpha_1 V_{p1} + \alpha_2 V_{p2} + \alpha_3 V_{p3}}{V_T} \quad (2)$$

여기서, $V_T = V_{p1} + V_{p2} + V_{p3}$

보통 펌프 설비 대수를 증가시키면 수요 수량에의 대응도가 높아지지만, 수요 수량의 패턴에 의해서는 설비 대수를 증가시켜도 대응도가 별로 변하지 않는 경우가 있기 때문에 펌프 대수와 대응도의 관계를 미리 조사해 볼 필요가 있다. 일반적으로 그림 7의 (c)패턴과 같이 수요 수량의 변화가 큰 경우에는 대소 펌프의 조합이 대응도를 높이기 위한 유력한 수단이 된다.

참고문헌

- (1) 환경부, 1997, 상수도 시설 기준, 한국수도협회.
- (2) 農業土木事業協會, 最新ポンプ設備工學ハンドブック.