

초고압 SF₆ 가스절연기기(4) (GCB, GIS)

글/김 상 진 · 현 종 수(효성중공업 주식회사)

목 차

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> 1. 서 론 2. 차단기의 용도 3. 차단기의 종류 4. SF₆가스의 성질 5. 차단기의 성능 6. 시 험 | <ul style="list-style-type: none"> 7. 가스차단기의 열화현상 8. SF₆가스절연기기(GCB, GIS)의 현지작업기준 9. SF₆가스절연기기(GCB, GIS)의 보수점검기준 10. 신뢰성 향상 및 향후 진단기술 11. 맺음말 |
|---|---|

7. 가스차단기의 열화현상

차단기의 열화는 차단기 또는 그 구성기기 등이 열, 전기적 스트레스, 기계적 스트레스 또는 환경 등의 영향에 의해 그 화학적, 물리적 성질변화를 일으켜 차단기 특성 및 성능이 저하되는 것을 말하며 열적열화, 전기적열화, 기계적열화, 환경열화 4가지로 구분할 수 있다.

7-1. 열열화

열열화는 물질에 열에너지가 가해져서 물질내부의 분자구조에 불가역적인 화학적, 물리적 변화를 일으켜 특성이 저하되는 현상을 말하며 고무재 패킹, 에폭시절연물 및 차단기 접점부품의 소모로 구분할 수 있다.

(가) 패킹의 열열화

패킹의 가스기밀효과는 패킹의 압축복원력에 의해 결정되며, 압축복원력을 상실시 또는 압축영구변형

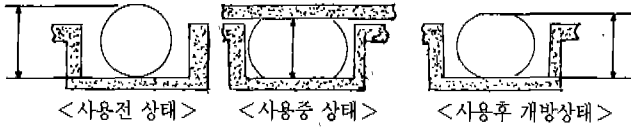
률이 일정치를 초과시 패킹의 기밀효과가 없다고 말한다.

압축복원력(압축영구변형률)은 오랜기간과 열적인 요인이 지배적이며 식(1)에 의해 수명예측이 가능하다.

$$\log t = -A + \frac{E}{2.303R} \left(\frac{1}{T} \right) \dots\dots\dots (1)$$

- t : 수명시간
- A : 정수
- E : 활성화에너지 } 패킹 재질에 따라 정해짐
- R : 기체상수
- T : 패킹의 절대온도

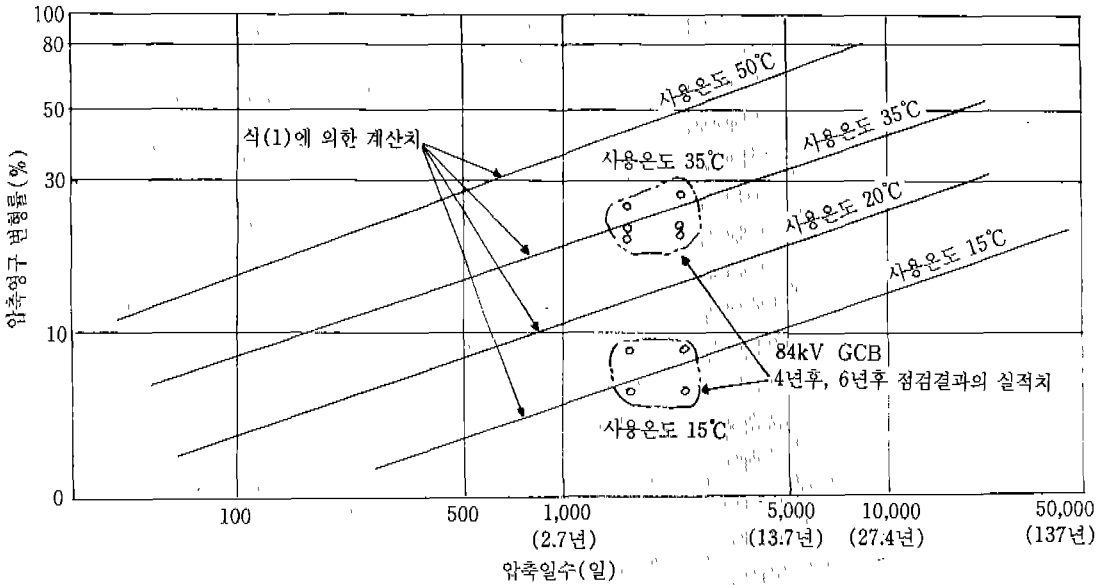
일반적으로 압축영구변형률이 80%이면 기밀의 신뢰성이 없다고 판단하며 <그림 4>에 패킹의 열열화특성을 표시하였다. 그림에 의하면 이론식과 실측치가 일치되는 것을 알 수 있으며 주위온도가 50



압축크기 : $d_1 - d_2$

압축영구크기 : $\delta = d_1 - d_3$

압축영구변형률 : $\frac{\text{압축 영구크기}}{\text{압축크기}} \times 100(\%)$



<그림 4> 패킹의 열열화특성(니트릴 고무)

°에서도 수명이 20년이상까지 가능하다고 추정할 수 있으며, 가스절연기의 패킹수명에 대해서는 향후 실적을 수집 정확한 수명설정을 할 필요가 있다.

(나) 절연물의 열열화

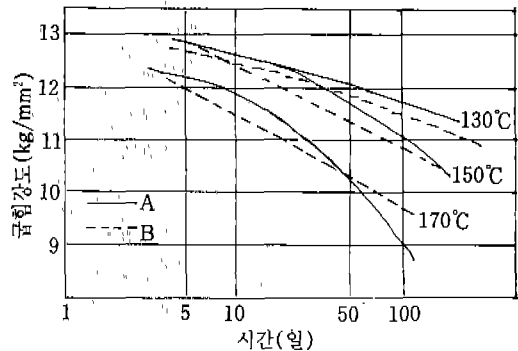
고분자재료로 된 절연물의 열에 의한 변화는 산화, 열변화, 열분해 등이 있으며 산화는 절연물이 장기간 고온 조건에서 산소와 산화반응하여 절연물의 변질, 변색, 균열수축 등이 일어나는 현상으로 어떤 온도이상에서는 급격히 일어나며 비교적 저온에서는 진행속도가 늦지만 서서히 진행하여 기계적 강도나 전기적 특성 등을 열화시키는 현상이다.

열변형은 열변형온도로서 평가하는 것으로 열변형온도가 높은 것 이외에는 단시간 내열성도 문제가 된다.

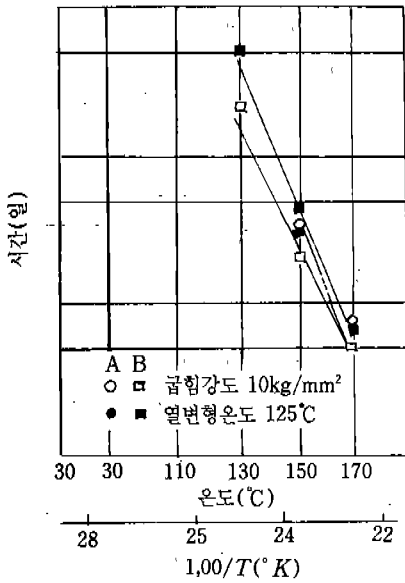
절연물이 어떤 온도이상이 되면 고분자로 되어있는 화학결합이 떨어져 분해를 일으킨다. 이때, 중량

감소가 일어나며, 중량감소가 소정의 값을 초과하는 온도로서 열분해가 일어난 것을 알 수 있다.

열분해는 절연물에 있어서는 치명적이지만 분해온도 부근까지 온도가 올라가지 않으면, 대개 문제가 없다.



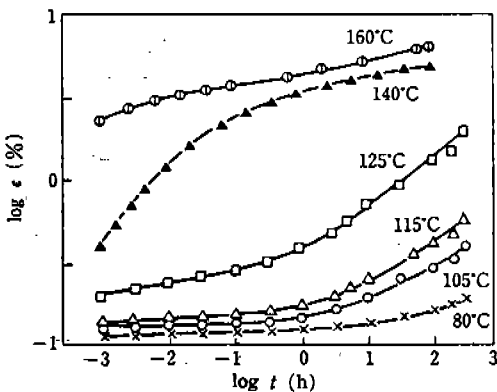
<그림 5> 에폭수 수지 열열화에 의한 굽힘강도 변화



<그림 6> 에폭수 수지 열열화 수명특성

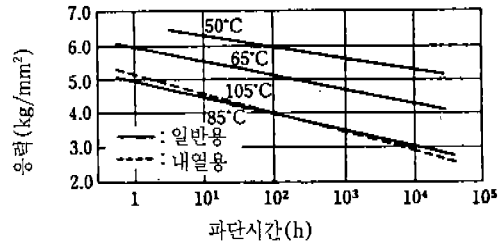
<그림 5>에 에폭수 수지 굽힘강도의 시간적 변화에 대한 열열화특성의 온도를 인자로 하여 나타내었으며 <그림 6>은 열변형온도가 얼마일 때 굽힘강도가 어떻게 변화하는지를 나타낸 것이다.

절연재료의 크리이프(재료를 일정하중 또는 일정 응력하에서 장기간 사용하면 처짐 또는 변형이 점차적으로 커지는 현상)특성변화는 일반적으로 기계적 열화로 보지만 그 특성은 온도에 의한 영향을 가장 많이 받으므로 열열화로 본다.



<그림 7> 압축변형-시간특성

<그림 7>은 에폭시 주형절연물재료의 크리이프 특성을 나타낸 것으로 고온에서 압축변형의 진전속도가 증가하는 것을 알 수 있다.



<그림 8> 알루미늄 입자 분산강화형 복합재료의 크리이프 파단특성

<그림 8>은 몰드 절연물의 크리이프 파단 수명 특성을 나타낸 것으로 열열화에 의한 수명과 온도의 관계를 화학반응속도론에 의해 식(2)로 표시할 수 있다.

$$\log t = a + \frac{E}{RT} \dots \dots \dots (2)$$

- t : 수명
- a : 정수
- E : 활성화 에너지
- R : 기체상수
- T : 기체상수

(다) 접촉자의 소모

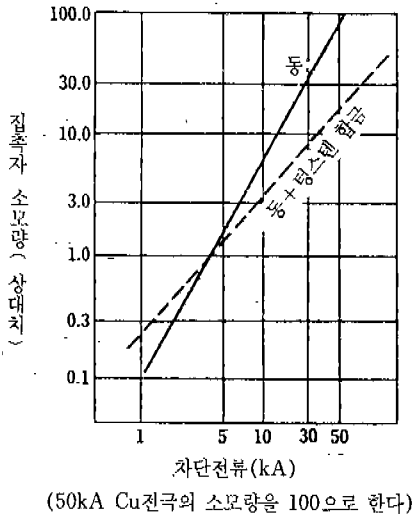
아크에 의한 접촉자 소모량은 차단전류와 차단회수, 전극재료 등에 따라 결정된다. SF₆가스중의 차단전류와 접촉자 소모량 관계는 식(3)으로 표시할 수 있으며

$$V = \alpha \cdot I^\beta \cdot t \dots \dots \dots (3)$$

- V : 소모량
 - I : 차단전류
 - t : 아크시간
 - α, β : 접촉자재료에 의해 결정정수
- 접촉자의 재료가 동, 동+텅스텐 합금인 경우를 <그림 9>로 표시하였다.

7-2. 전기적열화

절연물에 상시 운전전압을 인가하면 시간이 지남



<그림 9> 차단전류와 소모량 관계

에 따라 재료의 전기적 특성은 저하된다. 실제상 전기적 특성의 저하, 즉 절연열화의 정도가 적을 경우 큰 문제가 되지 않지만, 이것이 진전되어 절연물에 인가되는 전압을 견디지 못할 경우 절연파괴가 발생되어 대형사고를 유발시킬 수 있다.

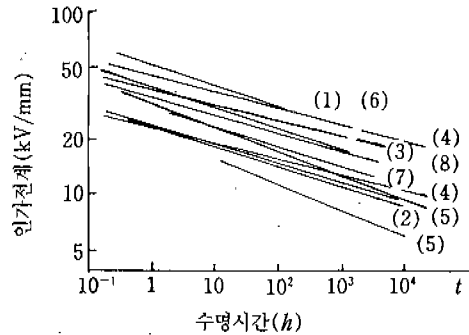
절연물내에 이물질이나 공극이 존재할 시 전압이 인가되면 부분방전이 발생한다. 부분방전은 발생형태로서 절연물 내부 Void(공극) 등에 의해 생기는 내부방전, 표면에 발생하는 표면방전 및 전극 선단에서 발생하는 코로나방전으로 분류할 수 있다.

주형절연물의 절연열화특성은 많은 시험결과에 따라 실험식(4)로 표시할 수 있다.

$$V_1/V_2 = (T_1/T_2)^{-1/n} \dots\dots\dots(4)$$

- V₁: 시험전압
- V₂: 운전전압
- T₁: 시험기간
- T₂: 동작수명

- n: 기중코로나열화: 3~4
- 유중코로나 및 Tree열화: 10~11
- 에폭시절연물의 무 Void 조건: 14~16



NO	전 원	충진제	GAP(mm)	n
(1)	반구-평판 φ50,R25	석 영	2.7	12
(2)	평판-평판 φ67	알루미나	5	13.2
				12.3
(3)	평판-평판 φ30	"	15	15
(4)	반구-반구 φ40,R20	"	3	16
	평판-평판 φ40			
(5)	평판-평판 φ25	석 영	2~4	10
	동축원통 φ22×R150		6~20	0.8
(6)	구-평판 R7	석 영	2	12
(7)	평판-평판	-	5	12
(8)	편심편반구봉-봉	-	17	14

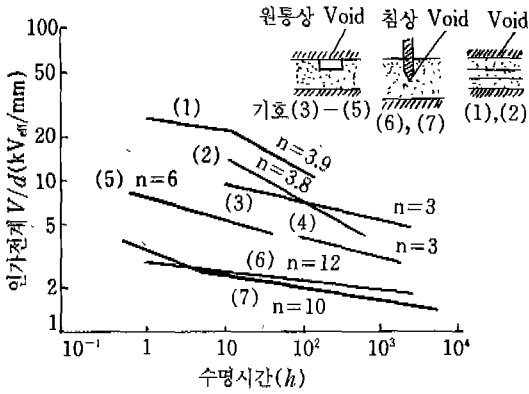
<그림 10> 무Void 주형품의 V-t특성

<그림 10>은 무공극 주형품에 대한 V-t특성을 나타낸 것이며, 절연물에 Void결함이 있는 경우에는 절연내력이 현저하게 저하된다.

<그림 11>은 3종류의 Void형상에 따라 절연물 V-t특성을 나타낸 것이다. 이와같이 불평등 전계에서 고전계를 형성 일부가 절연물의 절연파괴치를 초과하면 그 부분만 파괴되는 국부파괴현상이 생기며, 이 국부파괴는 수지상태로 Start하여 점차적으로 전체적으로 절연이 파괴되는 상태로 진전된다.

즉 일단 발생된 Tree는 비교적 저전계에서는 천천히 진전되지만 최종적으로 전극간에 교차하여 완전히 파괴된다.

개폐기기용 절연물로서는 앞에서 설명한 균일 주형 절연물 뿐만 아니라 기본재료에 에폭시 수지를 함침한 것이나 내부에 금속을 삽입하여 전계완화를



NO.	Void의 형상,치수	재료	d(mm)	n
(1)	필름을 중첩 0.1t,φ3	PE	0.1×3	3.9
(2)	" 0.2t,φ3	"	0.2×3	3.8
(3)	원통상 Void 1t,φ5	EPOXY	3	8
(4)	" 1t,φ3	"	2	8
(5)	" 1t,φ1	"	10	6
(6)	침상 Void 1t	"	15	12
(7)	침상 Void 1t	"	20	10

<그림 11> 내부방전 열화 V-t특성

행하는 것도 있으므로 이것에 대한 전기적 열화연구가 향후의 과제이다.

7-3. 기계적 열화

(가) 크리이프

크리이프란 물체에 힘을 가했을 경우 시간이 경과함에 따라 변형이 진행되는 현상을 말하며, 차단기의 사용온도 범위에 대해서는 금속류는 큰 문제가 없으므로 주형시 에폭시 수지 내부매립금구와 수지와의 열팽창 계수차에 의한 잔류응력, 기기에 조립 사용 경우 고온시의 강도, 계속 반복응력에 의한 피로 등을 고려하여 <그림 12>에 에폭시 수지 크리이프 파단특성의 예를 표시하였고, <그림 10>의 특성에서 응력과 수명의 관계는 식(5)와 같다.

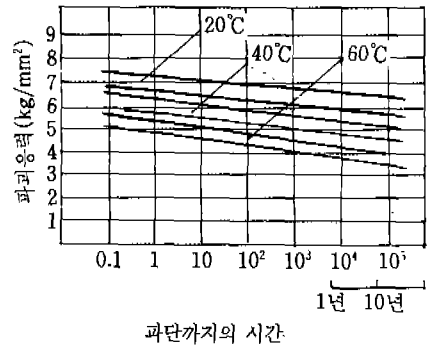
$$\sigma_1/\sigma_2 = (t_1/t_2)^{-\frac{1}{m}} \dots \dots \dots (5)$$

σ_1 : 시험응력, σ_2 : 설계응력

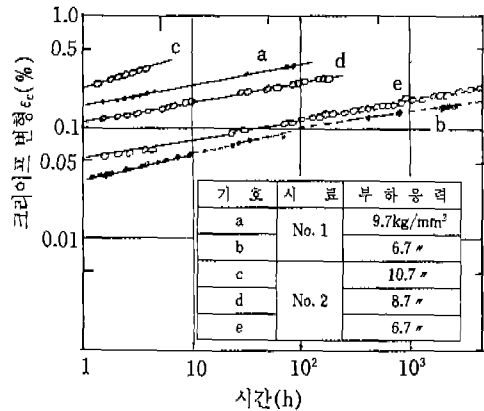
T_1 : 시험기간

T_2 : 등가기계적수명

m : 80~90(20°C~60°C)(온도에 따라 변화됨)



<그림 12> 인장크리이프 파단특성



(1) 재료의 기계적 성질

시 료	충진제	굽힘강도(kg/mm ²)	굽힘탄성률(kg/mm ²)
No.1	석 영	12.8	1,000
No.2	알루미늄	13.0	1,300

(2) 시료형상 : 6×20mm

(3) 굽힘시험조건

간격 250mm 3Point 굽힘시험

(부하응력은 40~80% 범위에서 선정)

(4) 온도 : 실온(20°C)

<그림 13> 에폭시 수지 굽힘크리이프특성

$\sigma_1/\sigma_2=1.2$ 에서 30분간 시험하면 통상 80년에 해당되므로 실용상으로 충분한 것으로 검증되고 있다.

무기질 충전재를 사용한 에폭시 수지 굽힘크리이프시험을 통해 얻어진 크리이프변형-시간특성을 <그림 13>에 표시하였다.

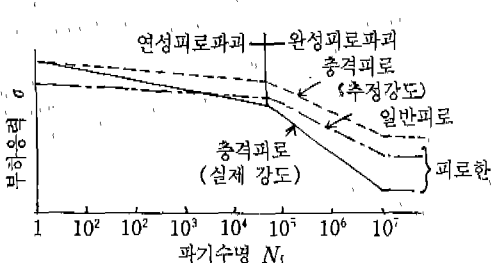
여기서 보면 크리이프변형(ϵ_c)과 시간(t)의 관계는 t 가 큰범위에서 대개 직선상으로 표시되는 것을 알 수 있다.

(나) 피로파괴

차단기부품이 피로파괴로 문제가 되는 것은 주로 충격하중시의 피로파괴이며, 계속 반복되는 충격하중하에서의 피로손상의 누적에 의한 강도열화 기율은 <그림 14>에서 보듯이 금속재료의 경우 충격피로쪽이 일반 저사이클 피로보다 강도열화의 기율기가 크며, 고수명 영역에서는 연성, 취성 피로강도의 차가 줄어들어 반전되는 경향이 있다.

연성피로 파괴영역에서 취성피로 파괴영역(고수명 영역)으로 이동되면 어떤 종류의 피로도 강도저하 기율기가 굴절하여 저사이클 피로파괴영역보다 크게 된다.

이 기율은 충격피로쪽이 일반 고사이클보다 크며 고사이클 피로 파괴영역에서는 충격피로쪽이 일반 고사이클보다 강도정도가 낮다는 것을 알 수 있다.



<그림 14> 충격피로와 일반피로 개념비교

(다) 윤활특성의 열화

(i) 장기간 정지에 따른 시동마찰 증가 습동부(점, 선, 면 등의 접촉 등을 통해 그물체가 상호 구동하는 부위)에서의 마찰은 윤활상태의 영향을 받기 때문에 장기간 정지상태후의 동작시 시동 마찰력이

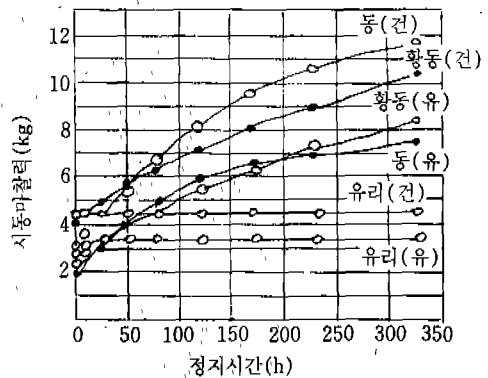
상당히 증가된다.

특히 습동 패킹부분에 있어서는 밀봉작용을 위해 항상 패킹과 습동면간에 밀봉압력이 작용하므로 상기 경향이 두드러진다.

<그림 15>는 습동기밀부분에 O-Ring을 사용하는 경우 정지시간에 의한 시동마찰력을 조사한 것으로 조건에 따라 시동마찰력이 운동마찰력의 3배이상 되는 것도 있어, 차단기의 기능상 대개 장기간 정지되어 있다고 고려한다면 증대되는 시동마찰력에 대해서는 일정시간내 동작가능토록 고려할 필요가 있다.

<그림 15>의 시동마찰력 변화에 관한 이론적 해명은 충분하게 할 수 없지만 현시점에서 타당한 사유를 생각하여 보면

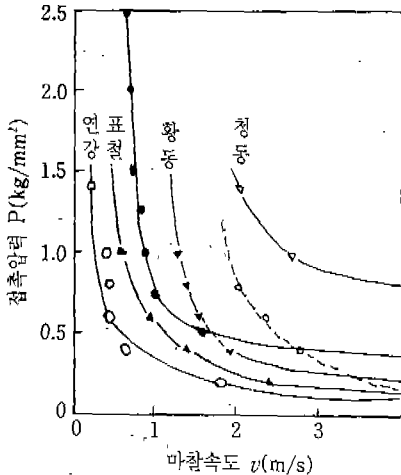
- 첫째 : 접합면의 미세한 요철부에 고무패킹이 엉켜 정착
- 둘째 : 접합면 재질과의 화학결합
- 셋째 : 접촉면으로부터 기름 등이 서서히 누유되어 유막(그리스)이 떨어진 접합면과 직접접촉



<그림 15> 시동마찰과 축재료 및 윤활유의 영향

(라) 주위환경과 마모 차단기 습동부의 마찰에 의해 습동면에 조금씩 감량이 생겨 그 정도가 심해 면의 거칠기나 치수의 변화로서 습동을 위한 기능 즉, 윤활특성이 저하되는 것을 마모라 한다.

마모는 기계구조에 따라 차이가 있지만 대개 용착 마모와 부식마모로 구분할 수 있으며 마모의 대부분이 용착마모에 해당된다.



<그림 16> 열처리강의 한계 P-v곡선

(마) 접촉압력 및 마찰속도와 마모

일반적으로 윤활상태에서는 양호하게 습윤하고 있어도, 윤활제가 없다면 건조상태하의 마찰이 문제가 되므로, 건조상태하에서의 용착마찰에 대한 접촉압력과 마찰속도의 영향을 <그림 14>에 표시하였다.

<그림 16>은 열처리강, 강 및 이종금속간의 마찰에 의한 경마모에서 중마모로 이동되는 조건을 Plot한 것으로서 압력과 속도가 마모한계에 동등하게 영향을 미치고 있다.

$$(P \times V = \text{Constant})$$

P-V선도의 좌측 하단조건의 마모형태를 경마모라 하며, 우측상단조건은 윤활불량으로 금속끼리 엉켜붙을 위험이 있는 것이다. <다음호에 계속...>

직장인 피로 목욕으로 풀어라

근육이완 혈액순환 돕고 통증도 예방 샤워, 미지근한 물→고온→냉수 순서로

업무와 스트레스에 찌든 직장인들의 심신을 따뜻한 목욕으로 풀어주는 것도 건강의 한 비결. 특히 요즘같은 때의 목욕은 단순히 몸을 깨끗이 한다는 차원을 넘어 몸의 피로를 풀어주고 통증이나 경련 등을 예방해주는 기능을 해내기도 한다.

따뜻한 물의 목욕은 체내 온도를 상승시켜 근육을 풀어주고 팔·다리 등의 신체를 유연하게 해주면서 또 혈액순환을 원활하게 하여 근육에 쌓인 젖산과 같은 분비물들을 체외로 배출시켜주기 때문에 업무에 시달릴 수밖에 없는 직장인들은 1일1회씩 목욕을 생활화해 그날의 피로는 그날에 풀어주는게 바람직하다.

우선 매일 간단한 샤워로 대기중 먼지와 체내 분비물인 피지 등으로 지근해진 몸을 깨끗이 씻어낸다.

샤워시에는 섭씨 37℃ 가량의 미지근한 물로 머리부터 가볍게 적신 후 손·발 등 심장에서 먼 부분부터 시작해 전신을 씻어낸다. 이때 모공 속에 낀 때와 각질은 보디클

렌저로 닦아야 제거된다. 이어 물의 온도를 섭씨 42~43℃로 약간 올려 신체의 혈액순환과 신진대사를 촉진시켜 준 다음에 다시 20℃ 정도의 차가운 물로 샤워해 마무리를 하는 순서로 하는 것이 좋다.

목욕 후에는 보디로션 등 보습제를 몸에 발라 피부에 영양과 수분을 보충해 주도록 해야한다. 특히 팔꿈치나 손바닥, 손가락 끝, 발뒤꿈치 등 거칠어지기 쉬운 부위는 목욕시 충분한 마사지로 부드럽게 해주고 로션을 충분히 발라준다.

목욕물의 온도와 그 소요시간은 몸의 컨디션에 따라 다르므로 유의해야 한다. 즉 ▲스트레스가 쌓였을 때는 40℃ 전후의 물로 15~20분을 하는 게 좋다. 또한 ▲식욕이 없을 때는 40℃에서 10분 전후로 ▲요통 등 통증이 있을 때는 40℃에서 10~15분을 하고 ▲어깨결림이나 류머티즘 통증이 심할 때에는 42~43℃에서 2~3분을 하는 것이 바람직하다고 한다.