

정수기용 입상활성탄소 필터의 흡착특성에 관한 고찰

백영만 · 박제철 · 김형진*

금오공과대학교 환경공학과, *한국환경수도연구소
(2008년 6월 4일 접수; 2008년 7월 24일 채택)

Adsorption Characteristics of Granular Activated Carbon Filter Used for Drinking Water Purifier

Young Man Baek, Je Chul Park and Hyung Jin Kim*

Department of Environmental Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gyeongbuk 730-701, Korea

**Korea Environment and Water Works Institute, Seoul 150-106, Korea*

(Manuscript received 4 June, 2008; accepted 24 July, 2008)

Abstract

Quality test for activated carbon(AC) filter used for drinking water purifier is now an obligatory test and the standard material for valid purifying amount in water purifier performance test has been changed from residual chlorine to chloroform according to the notice of Ministry of Environment in 2006. Therefore, this study aimed to compare the ingredients of AC filters by confirming chloroform removal rate of AC filter and conducting 4 adsorption tests (Iodine, methylene blue decolorization, phenol value, ABS value) for AC filters provided by manufacturers. With water pressure of 1 kgf/cm², 1,500 liters of prepared inflow went through to check chloroform removal rate. As a result, product with removal rate of below 60% from all products. On the other hand, 4 adsorption tests were conducted for filters in the market and filters from manufacturers. None of the products satisfied all 4 tests. In particular, they showed great shortage to the standard in phenol value and ABS value test. However, manufacturers' filter showed much better performance than filters in the market. Also, the result of valid purifying amount test for each of five products of appropriate product and inappropriate product based on filter quality test showed average 4,440 liters for appropriate product and average 2,620 liters for inappropriate product. According to the result, it is shown that the filter with good adsorption also had good chloroform removal efficiency and adsorption efficiency. Therefore, it is expected that customers can screen good quality product through obligatory conduct of filter quality test. However, it is considered that complementation in system is required for future inspection.

Key Words : Drinking water purifier, Activated carbon, Chloroform

1. 서 론

1990년 낙동강 폐놀사고는 수돗물에 대한 불신감

을 가짐과 동시에 마시는 물에 대한 안전성을 세삼 인식하게 되는 중대한 변환기가 되었으며 이 시점을 기준으로 수돗물을 대체하기 위한 먹는물 기기, 그 중에서도 정수기 산업이 성장하게 된 계기가 되었다.

최근까지도 환경부를 비롯한 각종 시민단체 및 여론조사기관에서 먹는 물에 대한 선호도를 조사한

결과에 따르면 정수기를 사용하는 비율은 이미 40%를 넘고 있으며 전체 시장규모는 약 1조원에 육박하는 반면 수도물을 그대로 마시는 비율은 1~2%에 불과하고 끓여 먹는 비율도 정수기 사용비율보다 낮은 것으로 조사되고 있어 정수기는 이미 보편적인 생활가전으로 자리매김한 상태이다. 그러나 이러한 높은 음용율에도 불구하고 그동안 정수기는 유사모델의 난립과 품질검사방식의 취약성 등으로 인하여 품질적인 측면에서 많은 문제점을 내포하여 왔으며, 특히 유효정수량을 판단하는 기준물질로 흡착이 잘되는 잔류염소를 적용하여 왔고, 정수기에 반드시 장착되는 활성탄 필터의 경우 필터재질 검사규정이 없어 정수기를 통해 먹는물을 마시는 소비자가 그 안전성 및 품질을 확인할 방법이 없었다. 이에 환경부는 2006년 9월 15일 관련 고시의 개정을 통하여 유효정수량 기준물질로 소독부산물인 클로로포름을 정하고, 정수기에 사용되는 활성탄 필터의 재질시험을 의무화하여 품질 및 안전성을 강화하고 있다^{1,2)}.

따라서 본 연구는 정수성능검사방법의 개정에 따라 유효정수량 기준물질로 변경된 클로로포름을 이용하여 활성탄 필터를 대상으로 한 흡착성능시험을 실시하였고, 가정용 정수기에 사용되는 활성탄 필터에 대해 수처리제의 기준과 규격 및 표시기준에 따른 요오드흡착력 등 4가지 흡착력 시험을 실시하는 한편 필터재질시험을 실시한 활성탄 필터가 장착된 정수기의 유효정수량 시험을 병행하므로써 활성탄 필터의 흡착력시험과 유효정수량과의 관계를 검토하고 활성탄 필터의 품질과 안전성을 확인하여 향후 제도개선방안을 도출하고자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험재료

활성탄 필터의 클로로포름 흡착성능을 확인하기 위한 시험은 시중에 판매되는 활성탄 필터 45개 제품을 수거하여 검체로 선정하였다. 필터재질시험은 2차에 걸쳐 실시하였는데 1차 시험용 검체는 시중에서 판매되고 있는 GAC 필터 56개 제품을 대상으로 하였으며 2차 시험용 검체는 정수기 성능검사를 위해 제조업체에서 제공한 GAC 필터 49개 제품을 대상으로 하였다³⁾.

필터재질시험용 활성탄 필터는 가정용 정수기에 장착되는 필터가운데 먹는 물을 2차적으로 정수하는 기구인 정수기의 특성에 따라 반드시 장착되는데 여러 종류가 있으나 그 중에서 GAC만을 대상으로 하였다⁴⁾.

이는 GAC(Granular Activated Carbon)와 PAC(Powered Activated Carbon)만을 대상으로 필터재질 시험을 하도록 규정되어 있고 대부분의 필터가 미분발생방지 및 소독부산물 흡착성능을 위해 GAC을 사용하고 있기 때문이다³⁾.

한편 필터재질시험을 실시한 활성탄 필터가 장착된 필터여과식 정수기 9종 및 역삼투압식 정수기 1종 등 10종에 대하여 유효정수량 시험을 실시하였다.

2.2. 실험방법

클로로포름 흡착성능시험은 클로로포름을 0.25±0.01 mg/L의 농도로 조제한 유입수를 수압 1 kgf/cm²로 하여 1,500리터까지 통수시킨 뒤 유입수와 유출수를 분석하고 클로로포름의 제거성능을 확인하였다²⁾. 또한 활성탄 필터의 클로로포름 제거율을 구한 후 필터의 등급을 각각 1~4등급으로 나누어 비교하였으며 1등급은 80% 이상, 2등급은 60~79%, 3등급은 50~59%, 4등급은 50% 미만을 제거율 기준으로 설정하였다⁵⁾.

필터재질시험용 시료는 활성탄 필터를 절개한 뒤 절개과정에서 발생한 이물질을 완전히 제거하여 흡착성능에 미치는 영향을 방지하고 파쇄 및 체거름한 후 이용하였다.

정수기의 유효정수량 시험은 필터여과식의 경우 수압 1 kgf/cm², 역삼투압식의 경우 3 kgf/cm²로 하여 클로로포름 조제수를 통수시켜 제거율이 80%에 미달되는 시점까지 100~300리터 단위로 유입수와 유출수를 채취하여 비교한 뒤 80%에 적합한 시점을 유효정수량으로 판단하였다.

클로로포름 흡착성능시험의 항목은 클로로포름을 대상으로 하였고 필터재질시험은 요오드흡착력(Iodine Adsorption), 메틸렌블루탈색력(Methylene blue decolorization), 페놀가(Phenol value) 및 ABS가(ABS value) 등 수처리제고시에서 정하고 있는 14개 항목 가운데 흡착력과 관련된 4개 항목을 선정하였으며 시험방법은 각각 먹는물 수질공정시험방법과 환경부 고시인 수처리제의 기준과 규격에 따라 실시하였다¹⁾.

3. 결과 및 고찰

3.1. 활성탄의 흡착 특성

최근 2년간 PAC와 GAC에 대한 특성을 분석한 결과를 요약하면 Table 1과 같다. 본 자료는 Carbon 가운데 신탄을 대상으로 한 것으로 대부분 야자계 또는 석탄계를 이용한 활성탄이다^{4,6)}.

수처리제고시에 의한 PAC 분석결과에 따르면 요오드흡착력이나 메틸렌블루탈색력은 대부분 기준농도 이상으로 양호한 결과를 나타내고 있으며, 특히 메틸렌블루탈색력의 경우 기준농도인 150 ml/g 보다 매우 높게 나타나고 있다.

또한 페놀가와 ABS가의 경우 Carbon의 원료에 따라 많은 영향을 받는 것으로 알려져 있으나⁶⁾ 본 조사결과 Carbon의 원료와 페놀가, ABS가 등은 상관관계가 낮은 것으로 나타났다.

한편 GAC의 경우 요오드흡착력과 메틸렌블루탈색력은 PAC와 마찬가지로 기준농도보다 높게 나타나고 있어 대부분 적합한 것으로 파악되고 있다. 그러나 페놀가와 ABS가의 경우 우리나라 활성탄 제조업체에서 생산, 납품하는 제품은 사용처의 구매 사양에 맞춘 것으로써 대부분 적합하나, 외국에서

수입하는 제품의 경우에는 우리나라 기준에 부적합한 제품이 많은 것으로 나타나 외국에서 수입시 우리나라 기준에 맞는 제품으로 제조하는 것이 필요할 것으로 판단되었다³⁾.

3.2. 클로로포름 흡착제거성능 시험결과

시판중인 활성탄 필터 45개를 대상으로 하여 유입수의 클로로포름 농도를 0.25±0.01 mg/L로 조제한 유입수를 수압 1 kgf/cm²로 1,500리터까지 통수시킨 후 제거성능을 비교하여 활성탄 필터의 등급을 분류한 결과는 Table 2와 같다.

총 45개 제품가운데 1등급으로 분류한 80% 이상의 제품은 21개로 전체의 46.7%를 차지하였으며 2등급인 60~79%는 13개로 28.9%였고 3등급인 50~59%는 1개 제품이었다. 또한 3등급 이하인 경우는 10개 제품으로 23.2%를 차지하였다. 이와 같이 활성

Table 1. Characteristics of PAC and GAC adsorption by method, notice of ministry of environment in 2006

Items		Criteria	Max.	Min.	Avg.	No. of Samples
P A C	Iodine adsorptivity (mg/g)	950>	1,142	749	979	62
	MB decolorization (ml/g)	150>	300	143	183	48
	Phenol value*	25<	51	13	26	65
	ABS value*	50<	81	24	41	62
G A C	Iodine adsorption (mg/g)	950>	1,206	736	1,090	103
	MB decolorization (ml/g)	150>	300	86	185	128
	Phenol value*	25<	145	14	27	148
	ABS value*	50<	280	19	54	142

*has no unit.

Table 2. Removal efficiency of chloroform by AC filter

No.	Non-filtrate (mg/L)	Filtrate (mg/L)	R.E.* (%)	No.	Non-filtrate (mg/L)	Filtrate (mg/L)	R.E.* (%)
1	0.2497	0.1127	54.9	24	0.2423	0.0047	98.1
2	0.2497	0.1574	37.0	25	0.2423	0.0915	62.2
3	0.2497	0.0458	81.7	26	0.2423	0.2343	3.3
4	0.2497	0.0876	64.9	27	0.2554	0.0023	99.1
5	0.2497	0.0204	91.8	28	0.2554	0.1484	41.9
6	0.2423	0.0057	97.6	29	0.2554	0.1647	35.5
7	0.2423	0.0672	72.3	30	0.2554	0.1459	42.9
8	0.2423	0.0083	96.6	31	0.2554	0.0254	90.1
9	0.2423	0.0739	69.5	32	0.2554	0.098	61.6
10	0.2423	0.2229	8.0	33	0.2406	0.0135	94
11	0.2554	0.0259	89.9	34	0.2406	0.0004	100
12	0.2554	0.0599	76.5	35	0.2406	0.0127	95
13	0.2554	0.1382	45.9	36	0.2406	0.0453	81
14	0.2554	0.1505	41.1	37	0.2406	0.0791	67
15	0.2554	0.0808	68.4	38	0.2406	0.0661	73
16	0.2554	0.0637	75.1	39	0.2406	0.0436	82
17	0.2497	0.1433	42.6	40	0.2406	0.094	61
18	0.2497	0.1617	35.2	41	0.2406	0.0009	100
19	0.2497	0.0308	87.7	42	0.2406	0.117	95
20	0.2497	0.0706	71.7	43	0.2406	0.016	93
21	0.2497	0.0839	66.4	44	0.2406	0.0194	92
22	0.2423	0.0057	97.6	45	0.2406	0.008	97
23	0.2423	0	100.0				

*Removal Efficiency.

탄 필터의 클로로포름 제거성능이 예상외로 낮았던 이유는 흡착성능이 떨어지는 활성탄이 시중에 유통되었거나, 활성탄의 충전량이 적었을 가능성, 잔류염소의 제거성능을 염두에 두고 활성탄이 제조됨에 따라 잔류염소에 비해 상대적으로 고분자량인 클로로포름의 흡착성능이 떨어졌을 가능성 등이 원인으로 나타났다³⁾.

3.3. 활성탄 필터의 재질시험결과

시중에 시판중인 GAC 필터 56개를 대상으로 하여 “수처리제의 기준과 규격”에 따른 활성탄 시험항목중 흡착력 시험항목인 요오드흡착력, 메틸렌블루탈색력, 페놀가 및 ABS가 등 4가지 항목에 대한 시험을 실시하였다²⁾.

56개 검체의 종류를 살펴 보면 Pre-Carbon 필터가 27개로 가장 많고 Post-Carbon 필터는 25개이며 기타 4개 검체는 하나의 필터 카트리지에 안에 세라믹볼이나 이온교환수지, 은카본 등이 함께 내장된 제품으로 일종의 복합 필터의 개념인 것으로 조사되었다.

조사결과 56개 검체가운데 4가지 흡착력 시험항목이 모두 기준에 적합한 제품은 없는 것으로 나타났다. 이러한 원인은 그동안 활성탄 필터의 재질시험과 관련한 의무규정이 없었기 때문에 단순히 잔류염소 또는 소독부산물만 흡착, 제거하였기 때문인 것으로 판단되었다.

항목별로 보면 요오드흡착력은 5개 제품을 제외하고는 모두 기준치인 950 mg/g에 적합한 것으로 나타나 요오드흡착력은 우수한 것으로 조사되었다. 그러나 메틸렌블루탈색력의 경우 56개 제품중 25개 제품이 기준치인 150 ml/g에 부적합한 것으로 나타나 45% 정도의 부적합율을 보였다. 또한 페놀가와 ABS가는 각각 33개 제품과 48개 제품이 기준치인 25와 50에 미달되는 것으로 나타나 부적합율이 59%와 86%를 나타냈다(Fig. 1). 이와 같이 페놀가와 ABS가의 부적합율이 높은 것은 그동안 우리나라 가정용 정수기에 사용되는 Carbon 필터의 대부분이 미국이나 일본 등 외국에서 수입되어 왔기 때문에 이들 국가에서는 페놀가와 ABS가가 구매자의 선택 사양으로 정해져 있어 우리나라에서 수입시 필터재질검사가 거의 이루어지지 않아 기준에 부적합한 제품들이 유통되었기 때문인 것으로 추정되었다.

한편 정수기 성능검사용 필터 49개 제품은 Pre-

Carbon 필터가 39개, Post-Carbon 필터가 9개, TCR (Toxic Compound Removal) 필터가 1개였는데 성능 검사용으로 입고된 활성탄 필터의 흡착시험결과는 시판중인 필터의 결과와 큰 차이를 보였다. 먼저 요오드흡착력의 경우 49개 모두 기준에 적합하였고 특히, 1,100 mg/g 이상으로 우수한 요오드흡착력을 가진 제품이 80%에 달하였다. 또한 메틸렌블루탈색력의 경우도 시판중인 필터의 부적합율이 55%에 비해 단 1개의 제품만이 부적합한 것으로 나타났으며 페놀가도 부적합율이 10.2%로 시판중인 필터의 부적합율인 59%에 비해 현저히 낮았다. ABS가도 27%의 부적합율로 시판 제품의 부적합율인 86%에 비해 1/3수준에 불과하였다(Fig. 2). 이와 같이 시판중인 활성탄 필터와 재질시험용 Carbon 필터의 흡착력이 현저한 차이를 보인 것은 정수성능검사 및 필터재질시험에 사용되는 필터와 시판되는 필터가 동일한 필터라고는 볼 수 없는 점과 필터재질시험이 의무화됨에 따라 제조업체에서 품질관리에 많은 노력을 한 점을 감안하더라도 활성탄 필터의 품질관리에 상당한 문제가 있는 것으로 나타났다.

특히, 시판중인 필터와 동일한 조제업체에서 재질시험을 실시하여 중복되는 필터도 여러 개가 있었던 점을 고려할 때 시판되는 필터의 품질관리가 매우 시급한 것으로 판단되었다.

3.4. 유효정수량 시험결과

필터재질시험을 실시한 활성탄 필터가 장착된 필터여과식 정수기 9종 및 역삼투압식 정수기 1종 등 10

Table 3. Adsorption capacity and effective water quantity for commercial AC filters

No. of samples	Iodine adsorptivity	MB decolorization	Phenol value	ABS value	Effective water quantity
1	1,110	180	23	39	4,000
2	1,221	250	24	33	4,700
3	1,239	250	25	34	7,500
4	1,173	210	25	37	3,300
5	1,162	220	25	44	2,700
6	1,164	200	23	62	2,800
7	959	150	38	49	1,100
8	1,107	160	19	78	2,100
9	1,129	170	21	80	3,300
10	1,166	170	21	56	3,800

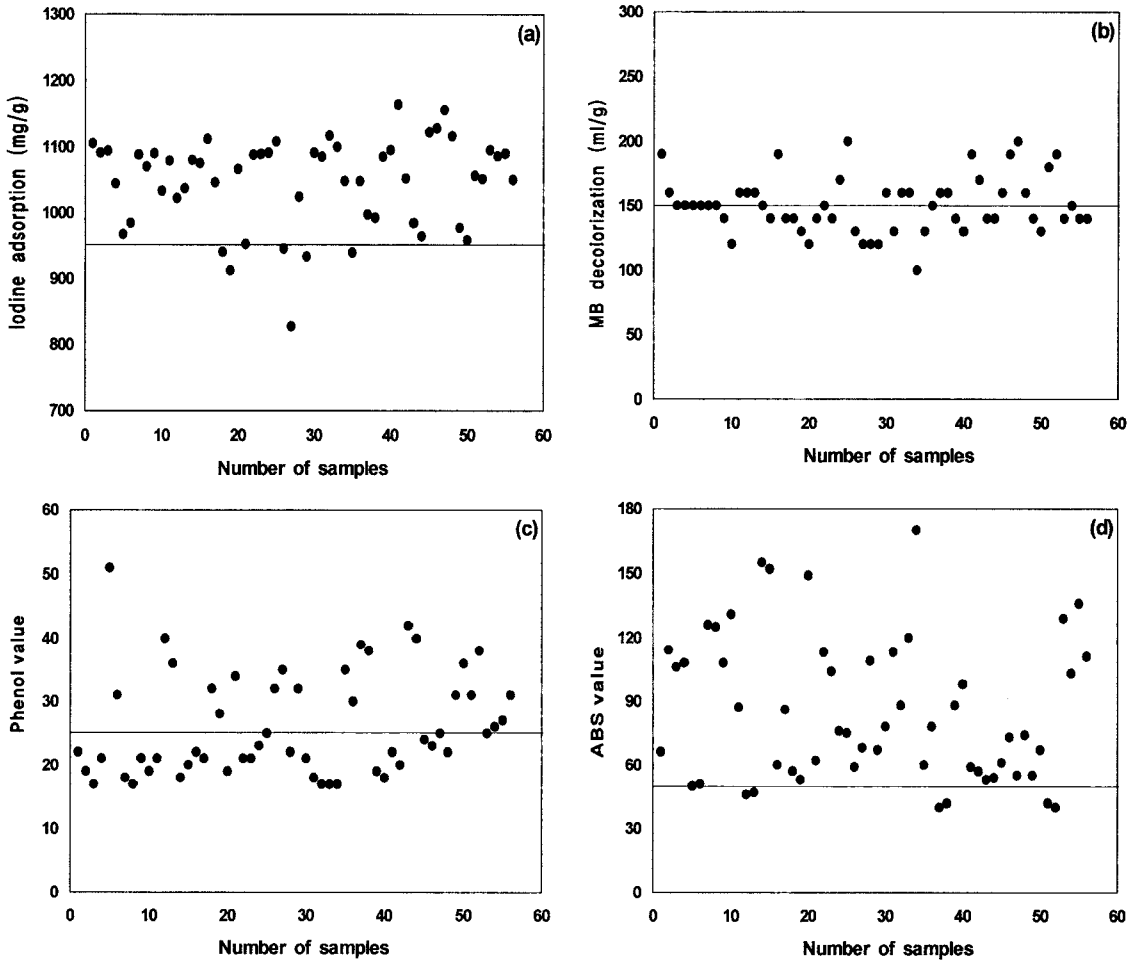


Fig. 1. Evaluation of (a) removal efficiency of iodine, (b) MB decolorization, (c) phenol value, and (d) ABS value by commercial AC filters. Solid lines indicate criteria.

종의 정수기에 조제한 클로로포름을 통과시켜 유효정수량을 조사한 결과는 Table 3과 같다. 정수기는 일반적인 4단계 정수방식으로 Sediment 필터, Pre-Carbon 필터, Main 필터(UF 또는 RO)와 Post-Carbon 필터로 구성되어 있다. 이 중에서 5개의 검체는 흡착력 시험결과가 모두 적합하였고, 4개 검체는 ABS가 부적합하였으며 1개 검체는 페놀가도 부적합하였다.

흡착력 시험결과가 적합하였던 5개 검체의 유효정수량은 2,700~7,500리터로 평균 4,440리터였으며, 부적합하였던 5개의 검체는 1,100~3,800리터로 평균 2,620리터를 나타내어 흡착력 시험결과가 우수한 제품이 클로로포름 제거성능 또한 좋은 것으로

나타났으며, 활성탄의 흡착성능도 오래 지속되는 것으로 조사되었다.

다만, 모집단의 수가 다소 적기 때문에 이 결과가 모든 필터 및 정수기에 적용된다고 보기는 어려우므로 향후 추가적인 연구조사가 필요할 것으로 판단되었다.

4. 결 론

정수성능검사방법의 개정에 따라 유효정수량 기준물질로 변경된 클로로포름을 이용하여 활성탄 필터를 대상으로 한 흡착성능시험을 실시하였고, 가

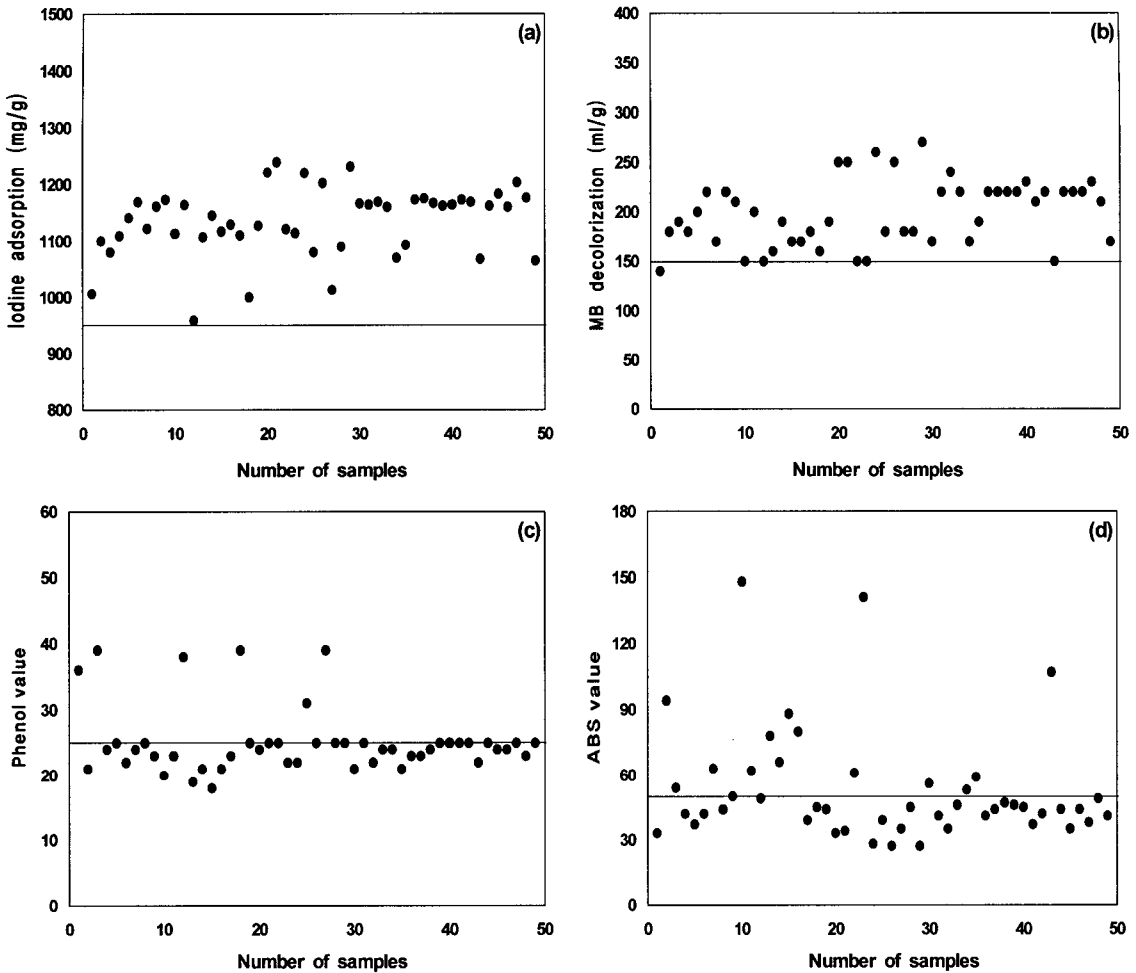


Fig. 2. Evaluation of (a) removal efficiency of iodine, (b) MB decolorization, (c) phenol value, (d) ABS value by test-purpose AC filters. Solid lines indicate criteria.

정용 정수기에 사용되는 활성탄 필터에 대해 수처리제의 기준과 규격 및 표시기준에 따른 요오드흡착력 등 4가지 흡착력 시험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 정수기 성능검사중 유효정수량 시험의 기준물질이 변경됨에 따라 활성탄 필터의 클로로포름 흡착성능을 확인한 결과 80%이상의 제거율을 나타낸 제품은 21개 제품인 약 47%였던 반면 50%이하의 제거율을 보인 제품은 10개 제품인 23.2%로 나타나 Carbon 필터에 의한 흡착성능은 잔류염소에 비해 고분자량을 가진 물질일수록 낮은 것으로 확인되었다.

2) 수처리제고시에 의한 흡착력시험을 실시한 결

과 시판중인 제품은 4가지 흡착력시험을 모두 만족하는 제품이 없었으며 특히, 페놀가와 ABS가 기준에 크게 미달되는 것으로 나타났으나 재질시험용 제품은 시판중인 제품에 비해 훨씬 좋은 결과가 나타났다.

3) 가정용 정수기에 사용되는 활성탄 필터의 대부분은 외국 수입제품을 사용하여 왔기 때문에 외국의 활성탄 규격에 있어 페놀가와 ABS가 등의 흡착력 시험항목이 구매자의 구매사양에 따라 선택 가능한 것으로 되어 있고, 그동안 관련 법령에서 필터재질시험이 의무화되어 있지 않아 가정용 정수기 활성탄 필터의 사전 및 사후품질을 확인할 수 있는

제도적인 장치가 마련되어 있지 않았기 때문에 흡착력이 떨어지는 것으로 평가되었다.

4) 필터재질시험과 유효정수량 시험을 함께 실시하여 비교한 결과 흡착력 시험결과가 적합하였던 5개 검체의 유효정수량은 평균 4,440리터, 부적합하였던 5개의 검체는 평균 2,620리터를 나타내어 흡착력 시험결과가 우수한 제품이 클로로포름 제거성능 또한 좋은 것으로 판단되며, 활성탄의 흡착성능도 오래 지속되는 것으로 추정 되었다.

5) 따라서 필터재질시험이 의무화 되면 활성탄 필터의 품질에 대한 사전 검증은 소비자들에게 매우 유효한 결과를 제공할 수 있을 것으로 판단되나, 소비자가 직접 필터를 교환하거나 관리자에 의해 교환되는 점을 고려할 때 사후 검증에 대한 제도적인 뒷받침이 이루어져야 할 것으로 판단된다. 이를 위해 정수기 관련 고시에서 정하고 있는 수거검사시 필터재질시험을 포함하거나 자가품질검사 규정에도 4대 흡착력 시험을 의무화하는 등의 개선을 통해 소비자가 보다 안전하게 정수기를 사용할 수 있을 것으로 판단되었다.

6) 현행 규정은 PAC와 GAC만을 필터재질시험 대상으로 정하고 있어 Silver Carbon, Activated Carbon Fiber, Block Carbon 등은 검사가 이루어지지 않고 있으므로 이에 대한 시험방법의 정립이나 기준의

조정 등을 통해 사용되는 모든 활성탄 필터의 검사가 필요하고, 앞으로는 활성탄 필터의 종류와 특성에 맞는 시험방법, 폐놀가와 ABS가에 영향을 미치는 특성인자의 도출, 흡착력 시험항목과 유효정수량과의 상관관계 등의 향후 연구과제가 필요할 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 2006년도 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 연구된 논문임.

참고 문헌

- 1) 한국활성탄공업협동조합, 2003, 정수용 식물성 활성탄소와 석탄 활성탄소의 특성 연구, 2-26.
- 2) 한국정수기공업협동조합, 2005, 정수기의 성능기준 및 검사방법 등 종합분석, 75-106.
- 3) 한국환경수도연구소, 1996, 가정용 정수기의 구조와 특성, 77-80.
- 4) 한국환경수도연구소, 2006, 가정용 정수기 활성탄 필터의 부적합실태 및 대처방안, 17-101.
- 5) 국립환경과학원, 2005, 수처리제의 시험방법 개선 및 수도용기자재 관리방안 연구, 68-69.
- 6) 환경부, 2006, 정수기의 기준·규격 및 검사기관 지정고시.