Journal of Korean Society of Water and Wastewater
Vol.25, No.5, pp.691-697, October, 2011

상하수도학회지, 논문
25권 5호, pp.691-697, 10월, 2011

Water Footprint 개념을 이용한 가전제품의 수자원 사용량 산정
(세탁기를 중심으로)

A Study on the Evaluation of Water Consumption in Electric Appliances using Water Footprint
– Focusing on Washing Machine –

조현정 · 김우람 · 박지형 · 황용우*

Hyunjung Jo · Wooram Kim · Jihyoung Park · Youngwoo Hwang*

인하대학교 환경공학과

(2010년 12월 16일 접수 ; 2011년 7월 6일 수정 ; 2011년 10월 11일 채택)

Abstract

In this study, by using the Water footprint technique, the water consumption by washing machines, which holds higher ranks in using water than any other electric appliances, was analyzed during their life cycle. The life cycle is defined as raw materials production step, manufacturing step, and using step. In raw materials production step, Input materials were researched by using LCI DB(Life Cycle Inventory Database) and the water consumption was calculated with consideration of approximately 65% Input materials which were based weight. In manufacturing step, the water consumption was calculated by the amount of energy used in assembly factories and components subcontractors and emission factor of energy. In using step, referring to guidelines on carbon footprint labeling, the life cycle is applied as 5 years for a washing machine and 218 cycles for annual bounds of usage. The water and power consumption for operating was calculated by referring to posted materials on the manufacture' s websites. The water consumption by nation unit was calculated with the result of water consumption by a unit of washing machine. As a result, it shows that water consumption per life cycle s 110,105 kg/unit. The water consumption of each step is 90,495 kg/unit for using, 18,603 kg for raw materials production and 1,006 kg/unit for manufacturing, which apparently shows that the using step consume the most water resource. The water consumption by nation unit is 371,269,584tons in total based on 2006, 83,385,649 tons in both steps of raw material production and manufacturing, and 287,883,935 tons in using step.

Key words : Water footprint, Washing machine, Water consumption, Life cycle, LCI DB

주제어 : Water footprint, 세탁기, 수자원 사용량, Life cycle, LCI DB

1. 서 론

물도 자원 즉, 사고팔 수 있는 재화로 인식되기 시작한 것은 20세기초 수자원이라는 개념이 생겨나면서부터이다. 급격한 산업화와 인구증가에 따른 물 사용의 증가는 물도 부족할 수 있다라는 인식과 함께 수자원 관리의 필요성을 부각시켰다. 2009년 1월 세계경제포럼 수자원 이니셔티브 보고서에서는 "이제는 1970년대 석유파동(Oil Shock)이

* Corresponding author Tel:+82-32-860-7501, Fax:+82-32-863-4267, E-mail: hwangyw@inha.ac.kr(Hwang, Y.W.)

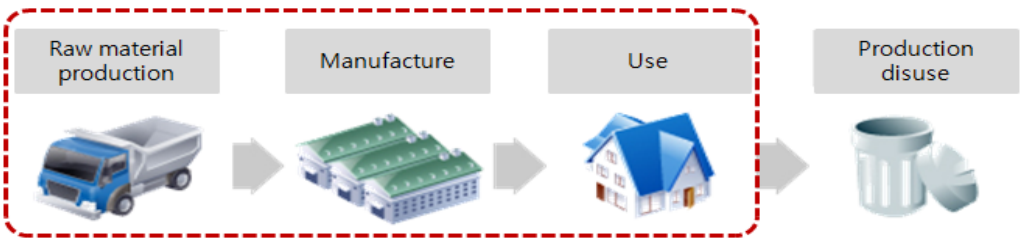

Fig. 1 Life cycle of the washing machine.

아니라 물파동(Water Shock)에 대비해야 한다." 고 언급하였으며(World Economic Forum, 2009), 미국의 경제주간지 포춘은 "21세기 물 산업은 블루골드(Blue Gold)로, 20세기의 블랙골드(Black Gold)인 석유산업 만큼 고성장 할 것" 으로 예상하였다(K-Water, 2010). 이는 물부족이 가져올 인류의 위기를 경고함과 동시에 물산업의 성장 가능성을 나타내는 것으로 이해할 수 있다.

세계시장에서 수자원의 중요성이 커지는 가운데 수자원 보호는 세계적인 관심사 중 하나가 되었으며, 산업 활동으로 인해 발생하는 폐수를 처리하는 기존의 사후처리 중심의 수자원 관리뿐만 아니라 수자원의 질적 가치를 보존·향상하기 위한 사전관리 중심의 수자원관리방식이 고려되고 있다. EU를 비롯한 선진국에서는 수자원의 중요성을 인식하고, 사후처리뿐만 아니라 사전관리를 위한 수자원 사용에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 최근 농산물, 가축의 사육, 가공제품 등에 대하여 water footprint 기법을 적용하여 다양한 산업 및 제품에 대한 수자원 사용량을 산출하고 있으며, 시설, 공정의 단계까지도 이를 확대하고 있다. 국내의 경우 2006년에 발표된 물산업 육성방안에 따라 각종 물산업 육성방안들이 추진되고 있다(환경부, 2006). 또한 저탄소 수돗물 생산에 대한 연구 등 다양한 분야에서 수자원의 대한 연구가 진행되고 있지만, 사전관리를 위한 수자원 사용량 산출 연구는 현재까지 미흡한 상황이다.

본 연구에서는 사후처리 중심의 수자원 관리가 아닌 사전관리 중심의 수자원관리 정보제공을 위하여 water footprint 기법을 이용하여 수자원 사용량을 산정하였다. 평가대상은 가전제품 중 사용단계에서 수자원 소비가 이루어지는 세탁기를 대상으로 선정하였으며, 세탁기의 life cycle 동안의 수자원 사용량을 산정하였다. 또한, 제품단위 수자원 사용량을 바탕으로 세탁기로 인한 국가단위 수자원 사용량을 산정하였다.

2. 제품단위의 수자원 사용량 산정

2.1 목적 및 범위설정

본 연구에서는 가전제품 중 사용단계에서 수자원 사용량이 비교적 많은 세탁기를 대상으로 water footprint 개념을 이용하여 life cycle 동안의 수자원 사용량을 산정하였다. 평가대상은 A사의 드럼세탁기(2009년 제조, 세탁용량 12kg, 제품무게 89.07kg)를 선정하였으며, 세탁기 1대를 기준으로 설정하였다. 세탁기의 life cycle 중 평가범위는 Fig. 1과 같이 세탁기를 생산하기 위한 원료취득부터 제조, 사용단계로 설정하였으며, 관련자료 수집의 어려움으로 제품수송과 폐기단계는 본 연구에서 제외하였다.

2.2 목록분석

(1) 원료취득 및 제조단계

제품제조단계에서의 수자원 사용량은 제품을 생산하기 위해 직접 또는 간접적으로 소모된 수자원량을 의미하며, 제품의 원료취득부터 제품제조를 거쳐 제품이 완성되기까지의 수자원 사용량으로 산정한다. 제품의 수자원 사용량 산정에서는 가상수(Virtual-water content) 개념을 사용한다(Hoekstra A.Y. et al., 2009). 가상수란 농산물, 가공식품 또는 제품을 만들기 위해 필요한 수자원의 총량을 의미한다(유 외, 2009). 제품이 타지역에서 대상지역으로 유입될 때 실질적으로 수자원의 유입은 없지만 유입되는 제품을 생산하기 위해 사용된 수자원이 해당지역으로 유입되는 것으로 가정하여 산정한다. 가상수가 유입되는 것은 지역내의 수자원이 절약되는 것을 의미하며, 가상수가 유출되는 것은 해당 지역 밖의 수자원 사용량에 반영되어야 한다(Chapagain A.K. and Hoekstra A.Y., 2004).

생산 시스템에서 최종제품의 수자원 사용량을 계산하기 위해서는 제품의 원료취득단계부터 단계별로 중간제품과 최종제품까지 수자원사용량을 계산하는 것이 최선의 방법이다. 최초의 원료취득단계에서 제품 생산을 위한 원료 생산 시 소비된 수자원 사용량이 포함되어야 하며, 이러한 모든 구성요소가 최종제품의 수자원 사용량에 반영되어야 한다(Hoekstra A.Y. et al., 2009).

원료취득단계의 경우 세탁기 제조 시 투입되는 원료들의 수량을 파악하기 위하여 대상 세탁기의 BOM(Bill of Material)을 참고하여 중량대비 약 65%에 해당되는 투입물질을 조사하였으며, 그 중 일부를 사용한 LCI DB명에 맞

상하수도학회지, 논문
25권 5호, pp.691-697, 10월, 2011

Table 1 Input materials of a washing machine

Materials	Weight(g)	Rate(%)
EPDM(Ethylene-Propylenediene Rubber)	2.99E+03	3.35
HIPE(High Impact Polyethylene)	4.31E+01	0.05
Cu	5.41E+02	0.61
Lead Ingot	1.00E-01	0.00
HIPS(HighImpactPolystyrene)	3.03E+02	0.34
DIODE	8.93E+00	0.01
Stainless steel	4.40E+03	4.94
Zinc Ingot	1.20E-01	0.00
Hot-dipped galvanized steel sheet	2.67E+03	2.99
LDPE(Low-Density polyethylene)	1.51E+02	0.17
Electronic galvanized steel sheet	1.71E+04	19.20
Carbon steel	1.22E+03	1.37
Phenol(C_6H_5OH)	1.84E+01	0.02
:	:	:

Table 2 Input utility in a manufacturing step

Utility	Weight	Unit
Industrial water(Jeonnam)	8.69E+02	kg
Electricity	4.99E+01	kWh
Argon	4.00E-02	kg
Punching oil	4.05E-03	L
Hydraulic fluid	2.02E-01	L
Thinner	5.00E-02	L
Air	1.55E+00	m^3
Natural gas(LNG)	1.30E+00	m^3

추어서 Table 1에 제시하였다.

제조단계의 경우 부품조립을 위해 에너지가 사용되었으며, Table 2와 같이 조사하였다.

(2) 사용단계

사용단계의 수자원 사용량은 소비자에 의해 소비된 제품과 서비스로 인하여 소모되거나 오염된 수자원의 수양으로 정의되며, 아래와 같이 직접사용량과 간접사용량으로 구분된다.

$$WF_{cons} = WF_{cons,dir} + WF_{cons,indir}$$

세탁기 사용단계에서 직접사용량은 세탁과 헹굼에 투입되는 수자원 사용량으로 설정하였으며, 간접사용량은 세탁에 투입되는 세제와 섬유 유연제 등의 소모성 제품 생산과 세탁기 사용기간 동안 사용하는 전력의 생산을 위해 소비되는 수자원량으로 설정하였다.

세탁기 수명, 사용주기 등과 관련된 자료는 국내 탄소성적표지제도의 가정용 세탁기 탄소배출량 작성지침상의 내용과 해당 제품의 제조사 홈페이지 게재자료를 참고하여 설정하였다(한국환경산업기술원, 2009). 세탁기 수명동안의 사용에 따른 총 전력사용량(kWh)은 다음의 계산 방법으로 산정하였다.

총전력사용량(kWh) = {(표준 기능 연간 사용횟수 × 1회 표준 기능 사용시 소비전력량) + (대기시간 × 대기시 소비전력)} × 제품수명

대기시간이란 대기상태로 전력이 소모되는 시간을 의미하며 다음과 같이 산정할 수 있다.

총대기시간 = {(365일 × 24시간) − 연간사용시간} × 제품수명

탄소성적표지제도의 가정용 세탁기 탄소배출량 작성지침을 참고하여 세탁기 수명은 5년, 사용횟수는 연간 218회 사용하는 것으로 설정하였다. 1회 사용에 소비되는 수자원의 양, 투입되는 세제의 양, 작동시간 및 소비전력은 A사의 홈페이지에 게재된 자료를 이용하여, 1회 작동에 71 kg의 수자원과 203Wh의 전력을 소비하고, 30 g의 세제가 투입되며, 작동시간은 1시간으로 나타났다.

2.3 수자원 사용량 산정 결과

세탁기 제품 원료취득단계의 투입물별 수자원 사용량을 산정하기 위하여 국가 LCI DB 및 국외 LCI DB를 이용하여 투입물량에 투입물별 수자원 원단위를, 제조단계의 수자원 사용량은 에너지 사용량에 에너지원별 수자원 사용량 원단위를 고려하여 산정하였다. 사용단계의 수자원 사용량은 앞서 설정한 직접사용량과 간접사용량으로 구분하여 산정하였다. 직접사용량은 세탁기의 수명과 연간 사용횟수 및 세탁기 1회 작동에 소모되는 수자원의 양을 곱한 후 상수 생산에 대한 원단위를 곱하여 산정하였다. 간접 수자원 사용량은 세탁기의 수명 5년 동안 세탁기 작동에 소비되는 전력과 대기시간동안 소모되는 전력을 생산하기 위해 소비한 수자원 사용량을 합산하여 산정하였다. 대기전력은 국내 전기전자 기기의 평균 대기전력(3.66 W)을 사용하였으며(김 등, 2009), 세탁세제의 경우 세제의 종류와 성분이 광범위하기 때문에 연구의 범위에서 제외하였다.

세탁기의 life cycle 동안 1대의 수자원 사용량 산정결과 110,104 kg water/대로 나타났으며, Table 4에 나타내었다. 세탁기 life cycle에서의 수자원 사용량은 사용기간 동안 직접적인 수자원을 사용하는 제품 특성상 사용단계에서 약 82%로 가장 큰 비중을 차지하는 것으로 나타났다.

3. 국가단위의 수자원 사용량 산정

세탁기 1대의 원료취득부터 제조, 사용단계까지 전과정에서의 수자원 사용량 산정결과를 이용하여 국가단위의 수자원 사용량을 산정하였다.

특정 지역안의 수자원 사용량은 지역경계 안에서 소비되거나 오염된 수자원의 총량으로 정의된다. 지역적인 범위의 수자원 사용량을 산정할 때에는 지역의 경계를 명확하게 하는 것이 가장 중요하다. 지역경계 내에서의 수자원 사용량(WF_{area})은 지역 내의 모든 수자원소비 공정의 수자원 사용량의 합으로 계산되나 본 연구에서는 세탁기 제품을 그 대상으로 하고 있기 때문에 세탁기를 생산하는 공정에서의 수자원 사용량과 사용단계에서의 수자원 사용량을 산정하였으며, 지역적 범위는 국가단위로 설정하였다.

3.1 원료취득 및 제조단계

기존의 국가단위의 수자원 사용량은 단지 국가내에서 사용되는 직접적인 수자원 사용량을 고려하여 산정되었을 뿐, 국가내에서 소비되는 제품을 생산하기 위한 수자원 사용량과 수출되는 제품을 생산하기 위한 수자원 사용량을 구별하여 산정하지 않았다. 또한 제품 수입에 따른 가상수의 수자

Table 3 Function and Value of product

Function	Value	Function	Value
Life Cycle	5 years	A synthetic detergent consumption	30 g
Use the number of years	218 times	Operate time	1 hour
Water consumption	71 kg/time	Electric power consumption	203 Wh

Table 4 Result of water consumption for a washing machine

Life cycle	Water consumption(kg)	Rate(%)
Raw material production	18,602.85	16.90
Manufacture	1,006.29	0.91
Use	90,495.39	82.19
Total	110,104.53	100

상하수도학회지, 논문
25권 5호, pp.691-697, 10월, 2011

원 사용량은 고려되지 않았다. 따라서 포괄적인 국가단위의 수자원 사용량을 산정하기 위해 국가 내부에서의 수자원 사용량과 국가 외부에서의 수자원 사용량을 고려하여 산정해야 한다. Fig. 2는 Hoekstra와 Chapagain(2008)에 의해 제안된 국가단위의 수자원 사용량 산정 개념을 나타내었다(Aldaya M.M. et al., 2010).

국가단위의 수자원 사용량($WF_{cons,nat}$) 산정시 내부의 수자원 사용량과 외부의 수자원 사용량으로 구분하여 산정하였다.

$$WF_{cons,nat} = WF_{cons,nat,int} + WF_{cons,nat,ext}$$

(1) 국가 내부의 수자원 사용량

국가 내부의 수자원 사용량($WF_{cons,nat,int}$)은 국가의 인구에 의해 사용되는 상품 또는 서비스를 생산하기 위해 국내에서 소모되는 수자원의 양으로 정의된다. 이것은 국가 내 수자원 사용량($WF_{area,nat}$)의 합에서 국내의 수자원을 이용하여 생산한 제품의 수출량에 대한 가상수량($V_{e,d}$)을 뺀 것이다.

$$WF_{cons,nat,int} = WF_{area,nat} - V_{e,d}$$

국가 범위에서의 수자원 사용량($WF_{area,nat}$, 부피/시간)은 국가의 영토 내에서 소모되거나 오염된 수자원의 총합으로 정의되며, 이것은 지역적 경계에서와 동일하게 산출된다.

$$WF_{area,nat} = \sum_{q} WF_{proc}[q]$$

세탁기의 경우 국내생산에 따른 국가범위의 수자원 사용량과 가상수 수출량의 차로 산정할 수 있다. 국내생산에 따른 국가범위 수자원 사용량 산정의 경우 원료취득단계와 제조단계의 수자원 사용량으로 범위를 설정하였다.

국가범위에서의 세탁기 국내생산에 따른 수자원 사용량을 산정하기 위하여 통계청의 광공업통계 상의 세탁기 생산량을 조사하였다(통계청, 2006). 2006년 기준 세탁기 생산량은 5,248,022대로 나타났으며, 생산량에 세탁기 1대의 수자원 사용량을 곱하여 국가범위의 수자원 사용량을 산정하였다.

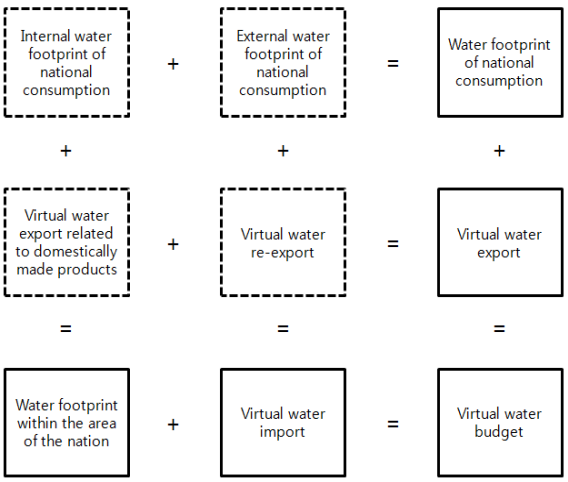

Fig. 2 The national water footprint accounting scheme.

세탁기 수입과 수출로 인한 가상수량 산정을 위하여 한국무역협회의 세탁기(HS Code : 8450.20.0000) 수출입 자료를 이용하였다(한국무역협회, 2006). 무역통계의 경우 수출입 자료가 무게(kg) 단위로 표시되기 때문에 앞절의 평가 대상 세탁기를 기준으로 1대 무게를 89.07 kg으로 적용하여 수량으로 환산하였다. 제품단위에서 원료취득 및 제조단계의 세탁기에 대한 수자원 사용량 산정결과를 이용하여 Table 5와 같이 세탁기 수입 및 수출량에 대한 수자원 사용량을 산정하였다.

국내 세탁기 생산량과 수입 및 수출량에 따른 국가 내부의 수자원 사용량은 83,301,685 ton으로 나타났다.

(2) 국가 외부의 수자원 사용량

국가단위의 수자원 사용량에서 국가 외부의 수자원 사용량은 국가의 인구에 의해 소모되는 제품과 서비스를 생산하기 위해 다른 나라에서 소모되는 모든 수자원의 양의 합으로 정의된다. 이것은 대상 국가로의 가상수 수입량(V_i)에서 수입된 제품의 재수출에 따른 가상수량($V_{e,r}$)을 뺀 것으로 산정한다(van Oel. P.R. et al., 2009).

Table 5 The exports and imports for the washing machine

Unit	Exports	Imports
Weight(kg)	89,062,610	381,388
Quantity(EA)	999,917	4,282
Water consumption(ton)	19,607,513	83,964

$$WF_{cons,nat,ext} = V_i - V_{e,r}$$

국가로부터 가상수의 수출량(V_e)은 국내 생산 제품의 수출에 따른 가상수량($V_{e,d}$)과 수입제품의 재수출에 따른 가상수량($V_{e,r}$)의 합으로 산정한다.

$$V_e = V_{e,d} + V_{e,r}$$

국가로 수입되는 가상수(V_i)는 국가 외부의 수자원 사용량과 재수출로 구성되어 있다.

$$V_i = WF_{cons,nat,ext} + V_{e,r}$$

가상수 수입량과 재수출에 따른 가상수 수출량을 고려한 국가 외부 수자원 사용량 산정시 세탁기 재수출에 따른 가상수 재수출량은 없는 것으로 가정하였으며, 그 결과 가상수 수입량과 동일한 83,964 ton으로 산정되었다.

3.2 사용단계

사용단계에서의 세탁기의 국가단위 수자원 사용량 산정을 위하여 통계청의 가전기기 총 보급대수(2006)와 세탁기 한대의 연간 사용 시 수자원 사용량 결과를 이용하였으며, 그 결과를 Table 6에 나타내었다. 산정 결과 세탁기의 보급 대수가 가장 높은 경기도와 서울이 가장 많은 수자원을 사용하는 것으로 나타났다.

3.3 수자원 사용량 산정 결과

국가단위의 수자원 사용량은 2006년 기준으로 세탁기 생산량과 사용에서의 산정결과를 합산하여 산정하였으며, 그 결과 수자원 사용량은 371,269,584 ton water/year으로 나타났다. 국가단위에서의 수자원 사용량 또한 사용기간 동안 많은 수자원을 이용하는 제품의 특성상 사용단계가 높은 비중을 차지하는 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 Water footprint 개념을 이용하여 세탁기의 원료취득 및 제조, 사용단계에서의 수자원 사용량을 산정하였으며, 이를 활용하여 국가단위에서 세탁기 제조 및 사용에 따른 수자원 사용량을 산정하였다. 다음은 본 연구를 통해서 얻어진 결론이다.

(1) 세탁기 원료취득 및 제조단계의 경우 세탁기에 투입되는 원재료 중 약 65%에 해당하는 투입물질을 반영하여 수자원 사용량을 산정하였으며, 생산된 부품을 세탁기 제조공장으로 수송하는 단계의 수자원 사용량은 본 연구의 범위에서 제외한 산정 결과 원료취득 단계가 18,603 kg/대, 제조단계가 1,006 kg/대의 수자원을

Table 6 Result of water consumption in the use stage of nation

	Washing machine (1000 unit)	Water consumption(ton)	Rate (%)
Seoul	3,372	61,030,091	21.20
Busan	1,177	21,302,615	7.40
Daegu	814	14,732,649	5.12
Incheon	832	15,058,433	5.23
Gwangju	441	7,981,693	2.77
Daejeon	488	8,832,350	3.07
Ulsan	350	6,334,677	2.20
Kyonggi	3,405	61,627,361	21.41
Kangwon	499	9,031,440	3.14
Jeonbuk	603	10,913,744	3.79
Jeonnam	664	12,017,788	4.17
Chungbuk	496	8,977,143	3.12
Chungnam	638	11,547,212	4.01
Gyeongbuk	922	16,687,350	5.80
Gyeongnam	1,022	18,497,258	6.43
Jeju	183	3,312,131	1.15
country	15,906	287,883,935	100.00

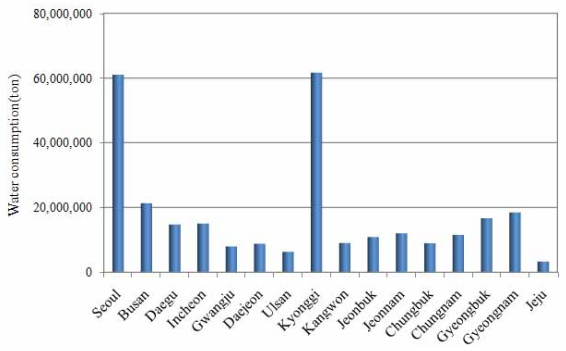

Fig. 3 Water consumption of geographically delineated area.

Table 7 Water consumption rate in each step of nation

Step	Water consumption(ton)	Rate(%)
Production	83,385,649	22.46
Use	287,883,935	77.54
Total	371,268,584	100

상하수도학회지, 논문
25권 5호, pp.691-697, 10월, 2011

사용하는 것으로 나타났다.

(2) 사용단계에서 세탁기의 수명과 연간 사용횟수 등은 국내 탄소성적표지제도의 가정용 세탁기 탄소배출량 작성지침상의 값을 동일하게 적용하였으며, 1회 사용 시 수자원 사용량, 소비전력 등은 제조사의 홈페이지 게재 자료를 참고하여 수자원 사용량을 산정한 결과 5년 동안 90,495 kg/대의 수자원을 사용하는 것으로 나타났다. 세탁기의 원료취득, 제조 및 사용단계를 포함한 life cycle에서의 수자원 사용량은 110,105 kg/대로 나타났다.

(3) 세탁기 한 대의 수자원 사용량을 바탕으로 2006년 기준 국가단위에서의 수자원 사용량 산정 결과 세탁기 생산과 사용에 의한 수자원 사용량은 각각 83,385,649 및 287,883,935 ton/year로 나타났다.

지금까지 국내 waterfoot print 개념을 적용하여 수자원 사용량을 산정한 연구사례가 많지 않은 상황에서, 본 논문에서는 전자제품에 waterfoot print 개념을 적용하여 수자원 사용량을 산정하였다는 점에서 의미를 갖는다고 판단된다. 보다 명확한 연구 수행을 위하여, 국가단위의 수자원 사용량 산정 부분에서 전국민이 본 연구에서 대상제품으로 선정한 드럼세탁기를 사용하였다는 가정과, 세탁기의 생산년도와 세탁기 보급률 통계자료에 있어 시간적인 차이가 존재하기 때문에 수자원 사용량 산정 결과에 차이가 발생할 것으로 예상되며, 이에 대한 검토가 필요할 것으로 사료된다.

5. 참고문헌

UN (2003) The UN World Water Development Report.

World Economic Forum (2009) World Economic Forum Water Initiative.

K-Water (2010) Journal Water Policy & Economy, 14.

환경부 (2006) 「물산업」 육성방안.

Hoekstra A.Y., Chapagain A.k., Aldaya M.M. and Mekonnen M.M., (2009) Water Footprint Manual State of the Art 2009, Water Footprint Network.

유승환, 최진용, 김태곤, 임정빈, 전창후 (2009) 한국의 농산물 가상수 산정, *한국수자원학회논문집*, 42(11), pp. 911~920.

Gerbens-Leenes P.W. and Hoekstra A.Y. (2008) Business Water Footprint Accounting, UNESCO-IHE Institute for Water Education, *Value of Water Research Report Series*, 27, pp. 13~31.

Hoekstra A.Y., Gerbens-Leenes P.W. and Van der Meer T.H. (2009) Water Footprint Accounting, Impact Assessment, and Life-Cycle Assessment, *Proceeding on The National Academy of Sciences*, 106(40), pp. 114.

Chapagain A.K. and Hoekstra A.Y. (2004) Water Footprint of Nations, UNESCO-IHE Institute for Water Education, *Value of Water Research Report Series*, 16(1), pp. 52~57.

Chapagain A.K. and Hoekstra A.Y. (2003) Virtual Water Flows Between Nations in Relation to Trade in Livestock and Livestock products, UNESCO-IHE Institute for Water Education, *Value of Water Research Report Series*, 13, pp. 11~20.

Aldaya M.M., Munoz G. and Hoekstra A.Y. (2010) Water Footprint of Cotton, Wheat and Rice Production in Central Asia, Unesco-IHE Institute for Water Education, *Value of Water Research Report Series*, 41, pp. 13~22.

Van Oel. P.R., Mekonnen M.M. and Hoekstra A.Y. (2009) The external water footprint of the Netherlands: Geographically-explicit quantification and impact assessment, *Ecological Economics*, pp. 82~92.

KEITI 한국환경산업기술원 (2009) 탄소성적표 작성지침, 사용시나리오 기준(작성지침 3) COOL 003. 가정용세탁기.

김남균, 김상철, 서길수, 김은동 (2004) 한국의 가정용 대기전력 소모현황 조사연구, *전기학회논문지*, 53(8), pp. 472~476.

통계청 (2000~2006) 광공업 통태조사[품목별].

한국무역협회 Homepage http://www.kita.net.