

생산자 책임재활용 제도를 위한 혼입비율 조사에서 Judgement Post-Stratification의 활용[†]

최완석¹⁾, 임요한²⁾, 임중호¹⁾, 김현중³⁾

요약

환경부가 2003년 이후 생산자 책임 재활용 제도를 시행함에 있어 각 기업의 처리 대상 재활용 실적(양)을 측정하는 것이 중요한 문제가 되었다. 이때 각 기업의 처리 적의 중요한 변수가 비 대상품목의 혼입비율이고 이를 매년 기업 단위로 12회 이상 조사해 오고 있다. 하지만 혼입 비율을 조사함에 있어 조사자의 안전성, 악취, 정확한 비대상품 식별의 어려움 등등 여러 가지 문제가 발생함에 따라 적은 조사 회수로도 정확한 혼입비율을 측정할 수 있는 방법에 대한 현장 조사자들의 요구가 있어 왔다. 이에 본 논문은 최근 통계학 분야에서 활발하게 연구되어 지고 있는 Judgement Post-stratification (이후 JPS)라는 특별한 표본조사 방법을 적용해 볼 것을 제안한다. 본 논문에서는 JPS 방법의 효율성을 모의실험을 통하여 현재 사용되고 있는 Simple Random Sampling (이후 SRS)방법과 비교, 표본수가 같은 경우 그 우수성을 이야기 하였고, 이를 실제 2004년 환경자원공사에서 수행한 실제 조사 자료에 적용하여 JPS를 이용한 방법이 기존의 방법을 적은 조사 회수로도 충분히 대체 할 수 있음을 보였다.

주요용어: 생산자 책임 재활용 제도(Extended Producer Responsibility); 혼입 비율; Judgement Post-Stratification.

1. 서론

환경부는 폐기물 재활용에 있어 그 책임을 단순히 소비자의 책임만이 아닌 생산자의 영역으로까지 확대하여 법적의무의 단위를 넓히고 있다. 이것은 2003년부

[†] 김현중 교수의 연구는 연세대학교 상경대학 기초학문 연구기금에 의해 지원 되었습니다.

1) (120-749) 서울시 서대문구 신촌동 134, 연세대학교 응용통계학과, 대학원생.

2) (120-749) 서울시 서대문구 신촌동 134, 연세대학교 응용통계학과, 조교수.

Correspondence: johanlim@yonsei.ac.kr

3) (120-749) 서울시 서대문구 신촌동 134, 연세대학교 응용통계학과, 부교수.

터 시행하고 있는 EPR(Extended Producer Responsibility, 생산자 책임 재활용 제도)를 근본으로 하여 시행되고 있다. 여기서 EPR(Extended Producer Responsibility)의 개념에 대해 설명하자면, 종전의 생산자들은 재활용이 쉬운 재질 구조의 제품을 생산하여 이를 판매하는 시점까지만 책임을 지고, 사용 후 발생된 폐기물은 소비자의 책임이었으나, 이 제도 아래에서는 사용 후 발생하는 폐기물의 재활용까지 생산자의 책임으로 범위를 확대한다는 의미이다.

EPR의 시행에 있어서 처리 대상 품목 (금속 캔, 합성수지 포장재, 유리병, 종이팩, 윤활유, 타이어, 전지류, 전자제품 등등) 이외 물질의 혼입비율 측정이 중요한 문제이다. 폐기물의 처리 실적 양이 폐기물 처리 사업체의 이윤에 직결되는 중요한 사항으로 평가되는데 위에서 언급한 품목의 폐기물에 있어서 기타 물질들의 혼입으로 인한 비율(즉, 혼입비율)에 따라 실적이 매겨지기 때문이다. 예를 들어 종이팩 재활용 사업장의 경우 종이팩을 제외한 다른 물품들은 모두 혼입물품으로 간주된다. 이 사업장의 혼입비율이 40%로 조사된 경우 이 업체가 100Kg의 재활용 처리 실적을 신고하더라도 실제 환경부로부터 이전 되는 실적은,

$$\begin{aligned} \text{실제 재활용 실적} &= \text{총 처리 실적} \cdot (1 - \text{혼입비율}) \\ &= 100\text{Kg} \cdot (1 - 0.4) = 60\text{Kg} \end{aligned}$$

이 된다.

혼입비율의 측정에 있어 정확성과 동시에 고려해야 될 사항이 조사의 효율성이다. 현재 행해지고 있는 조사 방식은 사진 1에서와 같이 환경자원공사의 직원이 재활용 처리업체의 현장을 찾아 직접 재활용품의 표본을 추출하여 표본의 중량을 측정 한 뒤에 수작업을 통해 실적대상품목과 혼입품목을 골라내는 형식이다. 이러한 현장 조사는 각 업체별로 연 4회를 원칙으로 하고 1회 방문 시 3번-5번의 조사가 행하여지는데 조사대상 업체가 100여 곳을 넘는다는 점에서 실사에 많은 시간적 어려움이 존재한다. 또, 포장재 분야에 있어서 혼입비율 측정을 위한 기존의 표본 추출과 조사 방법은 악취 및 수작업의 어려움으로 인하여 조사 횟수는 줄이면서도 측정값의 정확성(통계적 효율성)을 유지 할 수 있는 표본 조사 방법의 제안이 요구되어져 왔다.

본 논문에서는 위에서 언급된 EPR제도를 위한 혼입비율 조사에서 발생하는 어려움을 해결하기 위하여 Judgement Post-Stratification (이하 JPS) 방법을 이용한 조사 방법을 제안 한다. JPS는 Ranked Set Sampling(이하 RSS)이라는 고전적인 표본 추출 방법의 변형된 형태로 MacEachern 등 (2004)에 의하여 처음 제안되었고 최근 여러 연구자들에 의하여 연구되어지고 있다 (Wang 등, 2006b; Ozturk, 2006; Wang 등, 2006a). 특히 JPS 방법은 재활용 처리대상의 혼입비율 계산 시



그림 1.1: 폐기물 업체에 대한 포장재 혼입비율 실사 현장

유용하게 사용될 수 있다. 이는 재활용 업체 조사시 그림 1.1의 비파손 포장재의 경우에서 보듯이 포장재의 외관을 통하여 비대상품에 대한 대략적이 판단이 가능하다. 따라서, 위의 3-5회에 걸쳐 반복 수집된 포장재 더미의 비대상품 혼입비율에 대한 대략적인 순위를 큰 어려움 없이 계산할 수 있다. 이 경우 계산된 순위는 imprecise ranking이고 본 논문에서는 처음 MacEchaern 등 (2004)에서 소개되었던 imprecise ranking이 주어진 경우의 JPS에 대하여만 고려한다.

분석 대상이 되는 표본은 환경자원공사가 2004년에 혼입비율계산을 위해 사용한 PET병 품목에 대한 4회 조사 혼입비율이다. 여기서 4회 조사는 분기별로 총 4번의 조사를 실시하였음을 의미하며 각 횟수의 조사에는 3회의 표본추출이 존재하여 총 12회의 표본을 추출함을 가리킨다. 연간 12회의 이러한 작업은 환경자원 공사입장에서나 재활용사업자의 입장에서도 현실적인 어려움이 존재하는 바, 표본 횟수를 줄이면서도 그로 인한 정보의 손실을 줄이고자 하는 방법에 대한 논의가 필요하게 되었으며 이것이 본 연구논문을 통해 알아보하고자 하는 바이다. 만약 JPS 방법을 사용하게 되면 연간 12회의 조사중에서 혼입비율을 직접 계산해야 하는 회수는 4회에 불과하므로 조사의 효율성이 매우 증대된다. 또한, 혼입비율의 추정값도 단순임의추출 방법의 결과와 크게 다르지 않음을 보이고자 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성 되어 있다. 2절에서는 JPS 방법을 소개하고 대표

	환경자원 공사의 기존 방식	연구에서 제안하는 방안
표본추출 방법	1년 총 12회의 조사를 통한 단순표본 추출	Judgement Post-Stratification
특징	년 12회의 조사는 비 효율성 및 조사실행과정의 어려움이 존재함	적은 표본조사 회수로도 정확성을 보장할 수 있음

적인 평균 추정량에 대하여 소개한다. 3절에서는 여러 가지 분포로부터 생성된 자료를 이용하여 제안된 JPS 방법과 기존의 단순임의추출 (이하 SRS) 방법을 평균 추정량의 상대 효율성을 이용하여 비교하였다. 4절에서는 실제 사례적용을 통해 JPS 방법이 실제 얼마나 유용하게 사용 될 수 있는지를 보여주었고, 마지막으로 5절에서는 본문에서 언급하지 못한 multiple ranker를 이용한 보다 효율적인 JPS 방법을 잠시 언급하면서 이 논문을 마친다.

2. JPS의 소개

1회 조사에 M 개의 표본이 관찰되는 실험이 N 회 조사되는 상황을 가정해 보자. JPS 방법이란 1회 조사의 M 개 표본중에서 한 표본에 대한 측정값(여기서는 혼입비율)을 먼저 구하고, 다른 표본에 대해서는 측정값을 구하는 것 대신 M 개 표본 내에서의 순위를 기록하는 방법을 일컫는다. JPS 방법은 다음의 절차를 따르게 된다. 우선 $N \times M$ 꼴의 표본행렬을 생각해 보자. 첫째 행에서 하나의 표본에 대한 측정값을 계산하여 y_1 이라고 명하고 나머지 $M - 1$ 개의 표본과 시각적으로 비교하여 구한 상대순위 r_1 을 구하도록 한다. 즉, 1회 조사의 M 개 표본중 혼입비율을 단 한차례만 계산하고, 그 값이 M 개 표본중에서 위치하는 순위를 정하여 (y_1, r_1) 이라고 지정하는 것으로, $M - 1$ 개의 표본에 대해서는 측정값을 계산할 필요가 없다. 이와 같은 과정을 N 개의 행에 모두 적용하여 N 개의 (y_i, r_i) 쌍을 갖도록 하자. 이 상에서 설명한 방법을 그림으로 도식하면 그림 2.1와 같다.

위와 같이 Judgement post-stratified된 자료에서 평균 추정은 정확한 순위 정보가 주어진 경우는 ranked set sampling에서의 추정과 정확히 일치하고 이에 관

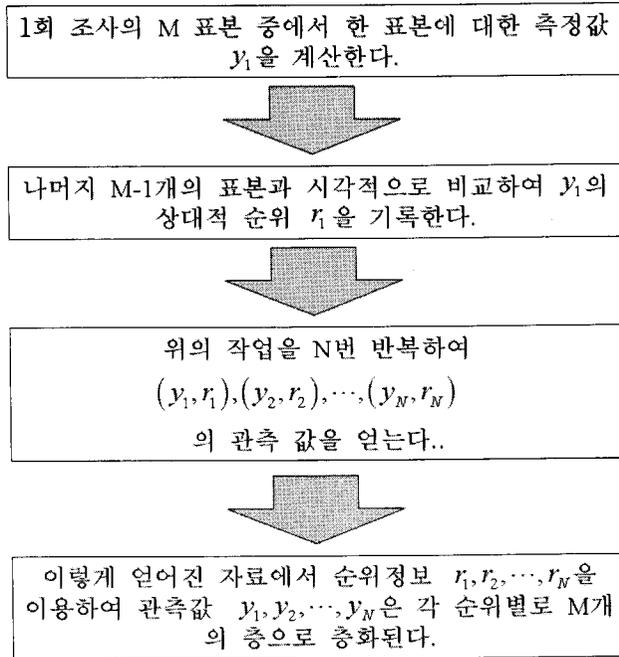


그림 2.1: JPS방법의 절차도

련하여 1950년대 이후 많은 연구가 이루어져 왔다. 이러한 연구들의 자세한 요약은 최근 출간된 Chen 등 (2003)에서 살펴 볼 수 있다. 이를 좀 더 구체적으로 살펴보면 다음과 같다. JPS을 이용하여 $(y_1, r_1), \dots, (y_N, r_N)$ 의 관측 값을 얻었다 하자. 여기서 순위 정보를 이용하여 $r_i = k$ 인 y_i 값들을 k 번째 ($k = 1, 2, \dots, M$)층의 관찰값으로 분류한다. 같은 방식으로 모든 y_i 값들을 M 개의 층으로 나눌 수 있다. 여기서, k 번째 층에 대하여 다음의 값들을 정의하자. 우선 n_k 는 k 번째 층에 해당 되는 관측값 y_i 값들의 수, $\bar{y}_{[k]}$ 는 k 번째 층의 관측값들의 표본평균, $\mu_{[k]}$ 는 k 번째 층의 모평균, 그리고 $\sigma_{[k]}^2$ 은 k 번째 층의 모분산으로 정의한다. 이 때 n_1, n_2, \dots, n_M 은 다항분포 $(N, 1/M, 1/M, \dots, 1/M)$ 을 따르는 확률 변수가 되고, 평균 추정량으로

$$\hat{\mu} = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M \bar{y}_{[k]} \quad (2.1)$$

이 가장 대중적으로 사용되고 연구되어 왔다. 여기서, 특별한 경우로 만일 k 번째 층의 관측 값이 없는 경우 k 번째 층을 제외한 $M - 1$ 개의 사후 층을 가지고 위의 추정량을 계산하게 된다.

MacEachern 등 (2004)는 위의 RSS에서의 평균 추정량을 부정확한 순위가 주어진 JPS 자료로 확장 적용할 것을 제안 하였고, 이어서 Stokes 등 (2006)은 이 추정량이 일반적으로 많은 장점을 가지고 있음을 수치적으로 보였다. 특히 순위가 아주 부정확한 경우, 다시 말하면, 관측 값 y 와 무관하게 순위가 주어진 경우라 할지라도 단순임의추출에 비하여 상대효율성이 나빠지지 않음을 보였다. 실제로 이 경우 단순임의추출과 효율성이 같다.

본 연구는 위에서 제안된 추정량의 통계적 성질을 규명하기 위하여 먼저 모의실험 (simulation study)을 이용하여 제안된 추정량과 기존에 환경자원공사에서 행하여 오던 방식인 SRS 방법과의 상대 효율성을 비교하기로 한다. 이를 위한 JPS의 분산은 다음을 이용하여 추정하고자 한다.

$$\begin{aligned} \text{var}(\hat{\mu}) &= \text{var}\left(\frac{1}{M} \sum_{k=1}^M \bar{y}_{[k]}\right) \\ &\approx \frac{1}{N} \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M \sigma_{[k]}^2 \left(1 + \frac{M-1}{N}\right), \end{aligned} \quad (2.2)$$

이에 대응하는 SRS의 평균 및 분산 추정량은 표본의 개수가 n 개인 경우

$$\bar{\mu} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i, \quad (2.3)$$

$$\text{var}(\bar{\mu}) = \frac{\sigma^2}{N} \quad (2.4)$$

이 된다.

3. 모의실험

이번 장에서는 모의실험을 통해 각 실험에서의 모집단 분포를 각각 정규분포와 감마분포 그리고 t -분포로 정하고, 순위(M)와 Cycle 횟수(N)를 변화시켜 가면서 JPS 방법을 SRS 방법과 상대 효율성 (relative efficiency) 관점에서 비교해 보고자 한다. 여기서 상대 효율성은

$$\text{상대효율성} = \frac{\text{SRS를 통해 얻은 평균 추정량의 분산}}{\text{JPS를 통해 얻은 평균 추정량의 분산}}$$

으로 정의된다. 이후의 모의실험을 위하여 우리는 평균이 10이고 분산이 2 인 정규 분포를; 평균이 2이고 분산은 4인 감마 분포를; 그리고 자유도가 10인 t -분포를

표 3.1: 모의실험을 통한 상대 효율성 비교

분포	(M, N)	상대효율성			
		$n = N$	$n = 2N$	$n = 3N$	$n = 4N$
정규분포	(4,10)	1.36	0.73	0.49	0.38
	(4,100)	2.32	1.10	0.72	0.60
	(4,1000)	2.26	1.15	0.74	0.53
	(8,10)	1.29	0.69	0.46	0.35
	(8,100)	3.75	1.74	1.22	0.94
	(8,1000)	3.99	2.06	1.26	1.00
	(12,10)	1.25	0.64	0.40	0.28
	(12,100)	3.54	2.41	1.69	1.20
	(12,1000)	5.38	2.94	2.08	1.27
감마분포	(4,10)	1.33	0.71	0.48	0.36
	(4,100)	1.82	1.09	0.72	0.56
	(4,1000)	1.82	1.19	0.81	0.58
	(8,10)	2.07	0.70	0.40	0.36
	(8,100)	2.70	1.60	1.11	0.87
	(8,1000)	2.73	1.87	1.22	0.90
	(12,10)	2.93	0.66	0.41	0.30
	(12,100)	3.51	2.37	1.47	1.06
	(12,1000)	3.49	2.50	1.77	1.22
t -분포	(4,10)	1.69	< 0.01	< 0.01	< 0.01
	(4,100)	2.17	0.25	0.18	0.13
	(4,1000)	2.21	0.28	0.19	0.13
	(8,10)	1.69	< 0.01	< 0.01	< 0.01
	(8,100)	2.41	0.40	0.28	0.20
	(8,1000)	3.78	0.45	0.31	0.24
	(12,10)	4.06	< 0.01	< 0.01	< 0.01
	(12,100)	4.45	0.47	0.34	0.25
	(12,1000)	4.98	0.60	0.38	0.32

설정하였다. 여기서 정규분포 보다는 감마 분포가, 감마 분포보다는 t -분포가 두터운 꼬리를 갖는다.

모의실험의 결과는 표 3.1에 제시 되었다. 표 3.1에서 n 은 SRS에서 사용한 표본 관찰값의 개수이다. 표 3.1에서 볼 수 있듯이 모집단의 분포에 상관없이 JPS 방법에 의한 추정량은 같은 크기의 표본에 대한 SRS 조사 방법에 의한 추정량보다도 높은 효율성을 갖는 것으로(작은 분산 추정량을 갖는 것으로) 나타났다. 또한 SRS 방법의 표본 크기가 JPS 방법의 표본 크기보 2배 이상 되는 경우도 더 높은 효율성을 보이는 경우가 많았다. SRS 방법의 표본 크기가 JPS 방법의 표본 크기보다 3배 이상 많은 경우도 정규분포와 감마분포인 경우 효율성이 그리 많이 나빠지는 않았다. 하지만 꼬리가 가장 두터운 t -분포의 경우는 상대적으로 JPS 방법

은 동수의 SRS보다는 효율적이지만 표본의 수가 더 많은 SRS보다는 그리하지 못함을 보았다. 종합적으로 JPS 방법에서 우리가 부가적으로 얻은 순위 정보를 잘 활용함으로써 SRS 방법을 효율적으로 대체 할 수 있음을 알았다.

4. 실제 사례에의 적용

이번 절에서는 2절에서 소개된 JPS 방법을 실제 자료에 적용함으로써 그 유용성에 대하여 이야기 하고자 한다. 우리가 이 장에서 사용할 실제 자료는 환경 자원 공사가 2004년에 실시한 PET병에 대한 혼입비율 조사로 1년간 24개 업체에 대하여 각 업체별 4회 방문하고 각 방문시 3회 조사한 자료이다. 우선 실제 조사에서 JPS 방법이 어떻게 사용 되는지를 설명해보자. 각 방문에 있어 3회 조사 분량을 준비하고 (이 작업은 약간은 기계화 되어 있어 그리 어렵지는 않다) 1회분에

표 4.1: 실제 사례에서 JPS와 SRS의 평균 추정값 비교

Company	SRS ($n = 12$) (s.e.)	JPS ($N = 4, M = 3$)
A	0.03 (0.02)	0.00
B	0.21 (0.07)	0.15
C	0.57 (0.20)	0.57
D	1.34 (0.54)	0.74
E	0.33 (0.10)	0.46
F	0.46 (0.06)	0.50
G	0.22 (0.10)	0.35
H	0.49 (0.13)	0.65
I	0.29 (0.29)	0.00
J	3.95 (0.76)	4.54
K	4.40 (1.14)	4.27
L	0.32 (0.07)	0.38
M	0.74 (0.04)	0.77
N	1.35 (0.26)	1.84
O	0.02 (0.01)	0.04
P	0.00 (0.24)	0.00
Q	4.30 (1.40)	3.34
R	0.89 (0.43)	0.22
S	1.47 (0.28)	1.93
T	0.66 (0.16)	0.43
U	0.77 (0.12)	0.94
V	0.27 (0.05)	0.29
W	0.96 (0.26)	0.96
X	1.22 (0.41)	1.25
Y	0.94 (0.20)	1.25

대해서는 정확한 혼입비율을 수작업을 통하여 계산한다. 그리고 나머지 2회 조사 분량과 비교하여 실제 계산된 혼입비율의 순위를 눈으로 가늠하여 기록한다 (즉, 나머지 2회분에 대하여는 수작업에 의한 정확한 혼입비율 조사를 하지 않는다). 여기서 눈으로 매기는 순위는 imprecise ranking이 되고 이 때에 2절에서 소개된 MacEachern 등 (2004) 등에 의해 제안된 추정량의 성질은 잘 연구되어져 있다.

환경 자원 공사의 조사 자료를 이용하여 가상으로 JPS 조사의 결과를 다음과 같이 만들었다. 각 방문에 있어 첫 1회 조사 분에 대해 실제 혼입비율 계산값을 기록하고 나머지 두 회분의 조사 분량과 비교하여 그 순위를 기록하였다. 따라서 JPS방법에서 N 과 M 의 값은 각각 4와 3이 된다.

아래의 표 4.1는 실제 자료에 있어서 12회의 SRS 방법 조사를 이용한 평균 추정량과 4회의 JPS 방법을 이용한 평균 추정량을 비교 하였다. 모든 업체에 있어서 JPS 방법에 의한 추정량이 SRS방법에 의한 추정량의 2배의 표본오차범위 (± 2 standard error)안에 있음을 알 수 있고 따라서 본 표본 ($n = 12$)의 1/3에 해당하는 ($N = 4$) 표본계측 값만으로도 비교적 정확한 추정을 할 수 있는 조사의 효율성을 확인할 수 있다.

5. 결론 및 제언

본 논문에서는 EPR 제도 시행에 있어 핵심이 되는 혼입비율의 조사에 있어 기존의 SRS 방법에 의한 조사의 효율적 대안으로 JPS 방법에 의한 조사를 제안 하였다. 우선 본 논문에서는 모의실험을 통하여 제안된 JPS 방법이 SRS 방법에 비하여 우수함을 보였고, 또한 2004년 환경자원공사의 조사 예를 통하여 실제적 유용성을 보였다.

실제 조사에 있어 눈에 의한 순위 책정은 부정확하게 되고 이를 보완 할 수 있는 방법으로 multiple ranker에 의한 JPS 방법을 소개함으로써 본 논문을 마치려 한다. Multiple ranker에 의한 JPS 방법이란 순위를 한 사람만이 부여 하는 게 아니라 여러 사람이 서로 독립적으로 순위를 부여 하는 것을 의미한다. 이 경우에 평균 추정량에 대한 여러 연구가 진행 되어 왔고 2절에서 소개 된 MacEachern 등 (2004) 등에 의해 제안된 추정량은 여전히 좋은 추정량임이 최근 Stokes 등 (2006)에 의하여 증명되었다.

참고문헌

- Chen, Z., Bai, Z. and Sinha, B. K. (2003). *Ranked Set Sampling: Theory and Applications*. Springer-Verlag, New York.
- MacEachern, S. N., Stasny E. A. and Wolfe, D. A. (2004). Judgement post-stratification with multiple rankers. *Biometrics*, **60**, 207–215.
- Ozturk, O. (2006). Statistical inference under a stochastic ordering constraint in ranked set sampling. Technical report, Department of Statistics, The Ohio State University.
- Stokes, S. L., Wang, X. and Chen, M. (2006). Judgment post-stratification with multiple rankers. To appear in *Journal of Statistical Theory and Applications*. Available from <http://www.smu.edu/statistics/TechReports/TR341.pdf>.
- Wang, X., Lim, J. and Stokes, S. L. (2006a). A nonparametric mean estimator for judgment post-stratified data. To appear in *Biometrics*, Available from <http://eclass.yonsei.ac.kr/johanlim/JPS-IS0.pdf>.
- Wang, X., Stokes, S. L., Lim, J. and Chen, M. (2006b). Concomitant of multivariate order statistics with application to judgment post-stratification. *Journal of the American Statistical Association*, **101**, 1693–1704.

[2007년 9월 접수, 2007년 12월 채택]

Application of Judgement Post-Stratification to Extended Producer Responsibility System[†]

Wansuk Choi¹⁾, Johan Lim²⁾, Jong-Ho Lim¹⁾, Hyunjoong Kim³⁾

Abstract

Judgement post-stratification is a new sampling method developed by MacEachern *et al.* (2004). This article suggests that the judgement post-stratification method can be a good alternative for the simple random sampling when analyzing real-world environmental data. It becomes an important task to accurately measure the output of a recycling facility since the EPR (Extended Producer Responsibility) system takes effect on 2003. However, the total weight of materials processed in the recycling facility may not be a proper measure because the materials are frequently mingled with other non-recycling materials. Therefore, it is necessary to estimate the mixture ratio of non-recycling materials among the total materials admitted in the facility. Unfortunately, the size of sample in a recycling facility is restricted due to the inconvenience of sampling procedure such as safety, odor, time and classification of non-recycling materials. In this article, we showed the relative efficiency of the judgement post-stratification method over the simple random sampling method for equal sample sizes using Monte Carlo simulation. Furthermore, we applied the judgement post-stratification method on the 2004 recycling data and showed that it can replace the simple random sampling even with smaller observations.

Keywords: Extended producer responsibility; mixture ratio; judgement post-stratification; simple random sampling.

[†] Hyunjoong Kim's work was supported by the Basic Research Fund of the College of Business and Economics, Yonsei University.

1) Graduate Student, Department of Applied Statistics, Yonsei University, 134 Shinchondong, Seodaemun-gu, Seoul 120-749, Korea.

2) Assistant Professor, Department of Applied Statistics, Yonsei University, 134 Shinchondong, Seodaemun-gu, Seoul 120-749, Korea. Correspondence: johanlim@yonsei.ac.kr

3) Associate Professor, Department of Applied Statistics, Yonsei University, 134 Shinchondong, Seodaemun-gu, Seoul 120-749, Korea.