

적용 가능한 유니소재화 대상제품 발굴 및 사례 연구

주흥신*, 윤혜리, 연성모[†], 고관태[†]

한국생산기술연구원

135-918 서울특별시 강남구 역삼동 707-34 한신인터밸리24 동관 18층

[†](주)웨코스

153-719 서울특별시 금천구 가산동 543-1 대성디폴리스 A동 903호

(2013년 2월 22일 접수; 2013년 4월 18일 수정본 접수; 2013년 4월 18일 채택)

Case Study on the Target Products for Applicable Uni-materialization

Hong-Shin Ju*, Hye-Ri Yun, Seong-Mo Yeon[†], and Kwan-Tae Ko[†]

Korea Institute of Industrial Technology

Hanshin Intervalley24 East B/D 18F, 707-34, Yeoksam-dong, Gangnam-gu, Seoul 135-918, Korea

[†]WECOS, CO., LTD

A-903, D-Polis, Daesung D-Polis, 543-1, Gasan-dong, Geumcheon-gu, Seoul 153-719, Korea

(Received for review February 22, 2013; Revision received April 18, 2013; Accepted April 18, 2013)

요 약

전 세계적으로 자원순환 효율성 증대 및 에너지 절감을 위해 친환경제품 설계, 재활용, 재제조 등 다양한 방법론이 제시되고 있다. 본 논문은 하나의 방안으로 유니소재화에 대해서 제시하고 있다. 유니소재화는 제품 재활용이 용이하고 유해물질 사용을 저감하기 위해 설계, 생산, 수거, 재활용 등을 고려한 기존 제품의 소재의 단일화(단순화)로 정의한다. 본 연구에서는 적용 가능한 유니소재화 대상제품을 평가할 수 있는 정성적, 정량적 평가 항목을 개발하였다. 평가항목은 경제성, 기술성, 환경성을 고려하여 총 9가지로 구성되어 있으며 평가항목을 적용하여 4가지 대상제품에 대해 사례를 연구했다. 연구 결과, 블라인드형 창문을 제외한 3가지 대상제품은 유니소재화 제품으로 적용이 가능하며 평가항목의 객관성을 높이기 위해서는 유니소재화의 개념을 구체화하고 산업별 특성을 고려하여 평가할 필요가 있다.

주제어 : 유니소재화, 소재의 단일화, 소재의 단순화, 에코디자인, 친환경제품

Abstract : A various methodologies like eco product design, recycling, remanufacturing have been proposed for the increase of resource recirculation and energy saving worldwide. Uni-materialization in this paper, one of measures is presented. Uni-materialization is defined as the unification or simplification of material that is easy resource recycling and reduce waste generation at source during product design, manufacturing, delivery, use and disposal. This study developed calculates the qualitative and quantitative of assessment index for evaluating target products applicable uni-materialization. There are 9 assessment articles considered economic performance, technological property and environmental property and a study on target product applied assessment indexes. As a result it is possible for 3 target products to apply uni-materialization product except for a window blind, and the concrete concept of uni-materialization for improving objectivity of assessment index and the consideration of industrial distinct character are needed.

Keywords : Uni-materialization, Unification of material, Simplification of material, Eco design, Eco product

1. 서 론

현대 사회에서 자원부족 및 환경문제를 제품관점에서 여러 가지 해결책을 제시할 수 있지만 제품 폐기단계에서 폐기물을 자원으로 다시 사용할 수 있는 시스템을 구축하는 것이 필요하며 이 시스템을 추진하기 위해서는 제품에 사용하는 소재 및

재질의 단순화가 필요하다. 제품에 사용되는 소재를 단순화 및 단일화(유니소재화: Uni-materialization)하면 제품 폐기단계에서 소재의 분리 및 해체가 용이해지며 재활용 가능성을 높일 수 있기 때문이다.

제품을 개발하는 단계에서 부품, 포장재, 원료 등에 사용되는 소재를 단일화하면 폐기물의 자원화가 용이할 것이다. 즉, 폐제품을 재활용하여 자원을 지속적으로 순환시킬 수 있는 가장 효과적인 방법일 수 있다. 물론, 기업에서 제품에 사용된 다양한 소재의 수를 저감하거나 부품수 또는 제조공정의 단순화도

* To whom correspondence should be addressed.

E-mail: juhs@kncpc.re.kr

doi:10.7464/ksct.2013.19.2.173

넓은 의미에서 유니소재화 범주에 포함할 수도 있을 것이다.

기업에서 유니소재화를 제품 개발단계에서 적용할 경우 가장 문제가 되는 부분이 평가 방법과 기준이다. 이러한 방법과 기준은 환경적 측면뿐만 아니라 기술과 경제적 측면을 고려할 수 있도록 해야 하며 제품 폐기단계에서 폐기물을 경제적인 자원으로 다시 투입하고 환경영향을 최소화할 수 있도록 해야 한다.

유니소재화 제품 개발과 같이 새로운 기술에 대한 평가는 일반적으로 무형의 기술을 대상으로 함으로 기술성, 사업성, 시장성 등을 검토하여 금액, 등급, 점수, 의견 등으로 표시하는 평가 활동일 수 있다. 이런 평가방법론은 목적과 주관기관에 따라 다양한 평가방법이 존재하고 있지만 정확한 평가를 위해서는 그 시간과 비용이 많이 소요된다.

특히 소재와 관련된 기술은 모든 산업에서 없어서는 안 되는 유형의 산물임과 동시에 산업의 기반을 담당한다. 그러나 이러한 소재를 평가하는 방법은 다른 기술평가보다 소재가 가지는 특성이 다양하게 전개되는데 최근 국제적 이슈가 되고 있는 환경영향의 평가는 필수로 간주되고 있다.

그러므로 유니소재화 제품의 확산을 위해서는 기존의 평가 범위를 확대할 필요가 있으며 환경성, 경제성, 기술을 평가할 수 있도록 해야 한다.

2. 문헌연구

2.1. 유니소재화(Uni-materialization)의 개념

유니소재화(Uni-materialization)는 제품 재활용이 용이하고 유해물질 사용을 저감하기 위해 설계, 생산, 수거, 재활용 등을 고려한 기존 제품의 재질 단일화 및 단순화를 지칭한다.

또한, 통합성(unity)을 통한 소재의 단일화와 최소화로 환경성 및 자원순환성을 향상하고 보편화(universalization*)를 통한 소재의 범용성을 높여 경제성과 타당성을 확보하며 독창성(uniquness)을 통한 소재 기술성을 선도할 수 있는 미래형 소재로 제시하는 것으로 원칙으로 하고 있다.

유니소재화 제품 개발은 소재의 성능, 기능 및 공정의 한계를 극복해야 하며 동시에 지속가능성을 포괄적으로 구현할 수 있는 원천소재 기술개발을 추진해야 가능할 것이다. 그 결과에 따라 자원순환 효율성 증대를 위한 설계단계에서의 소재, 부품의 단일화, 최소화 등을 실현할 수 있다.

2.2. 유니소재화 관련 사업 정부지원 현황

정부는 2008년도 14대 산업원천기술개발사업 청정기반의 R&D 기획을 통해 유니소재화(Uni-materialization)의 용어를 처음 사용했다. 연구개발은 산업원천기술개발사업의 대표 브랜드를 시작으로 글로벌전문기술개발사업의 청정생산기반전문 기술개발 내에 녹색제품생산기술 분야로 지원하고 있으며 기반구축사업은 2009년도부터 산업기술정보화 및 정책지원사업으로 지원하고 있다.

이에 유니소재화 관련 사업은 환경친화적 산업구조로의 전환촉진에 관한 법률 제7조 2항 청정생산지원센터 사업 및 제6

조 기술개발사업에 대한 지원을 근거로 국가청정생산지원센터에서 R&D 기획, 유니소재화 제품 발굴 등 활성화를 위한 연구개발을 진행하고 있다[1].

지금까지 주요 산업별 유니소재화로 적용 가능한 제품을 총 51건 발굴했으며 2010년도부터 3회에 걸쳐 개최한 유니소재 아이디어 공모전을 통해 다양한 아이디어 및 우수제품 사례를 발굴하여 지식경제부 장관상 등을 수여했으며 우수한 수상작에 한해 기술료사업으로 지원하여 실제 시제품 제작을 위한 연구개발비 지원 및 국내외 전시회 출품을 하여 대내외적으로 유니소재화 제품의 인식 제고를 마련하였다.

유니소재화 제품은 녹색제품 중 대표적인 사례로 청정생산 강화 및 자원순환 효율성 증대를 위해 지원하고 있으며 유니소재화 제품 개발을 통해 친환경적이며 지속가능제품을 발굴하고 나아가 국제환경규제를 선도할 수 있는 신시장 마련이 가능한 미래지향적 브랜드로 인식하고 있다[2].

2.3. 유니소재화의 필요성

EU, 미국, 일본 등 선진국에서는 전 산업에 걸쳐 친환경제품의 에코디자인 및 자원순환성 향상을 요구하는 다양한 제도와 법률의 제·개정이 확대 및 강화되고 있다. 이에 유니소재화 제품 개발을 통해 자원순환성을 확보하고 친환경적이며 지속가능한 제품 발굴이 필요성이 제기되고 있다.

물론, 유니소재화도 제품의 설계단계가 재활용 개선효과 등 전과정에 걸쳐 발생하는 환경영향의 80%를 결정하므로 제품의 개발 단계에 적용해야 그 의미가 있다[3].

유엔환경프로그램(United Nations Environment Program, UNEP)의 지속가능한 제품 디자인 중 제품의 환경설계의 예를 다음과 같이 언급하고 있다. 재활용가능성, 내구성의 향상, 이용밀도의 향상, 물질·에너지 집약도의 저감 등으로 분류하고 있으며 세부 내용으로는 구조의 단순화, 부품수의 삭감, 부품수의 경량화 등을 통해 지속가능한 제품 설계를 제시하고 있다[4].

보다 적은 종류의 소재 선택과 사용은 제품의 친환경 설계 전략 및 원칙의 중요성으로도 부각되고 있으며 Gregory[5]는 제품의 지속가능성의 원칙으로 단순한 소재를 사용한 팔레트(palette)를 언급하며 적은 양의 소재 사용을 첫번째 단계로 제시하고 있다.

이는 유니소재화 제품 개발을 통해 소재, 부품의 단일화, 단순화를 지향하고 자원순환 효율성 향상을 위한 재활용률 증가, 해체 및 분리의 용이성 등을 만족하는 지속가능한 제품개발이 필요함을 의미하며 이에 유니소재화 제품 개발의 적용가능성을 평가할 수 있는 방법론과 기준을 개발하고 제품에 적용하였다.

2.4. 유니소재화 방법론

유니소재화 제품과 관련하여 다양한 방법론을 적용한 연구는 지속되고 있다. Platcheck et al.[6]은 소형 압축기(mini compressor)를 에코디자인 방법론으로 적용하여 사례 분석을

했으며 제품 개발 시 환경영향을 최소화하기 위해서는 부품 및 제조공정 수를 줄이고 원재료의 최소화를 통해 재설계하였다. 여기서 제시한 방법론은 3단계(briefing-state of art-projection)로 구성되었으며 정성적인 항목으로 접근하였으며 실제 개발에 적용하기 위해서는 추가적인 검증이 필요하다고 결과를 발표하였다.

Cerdan et al.[7]은 에코디자인(Eco-design)을 적용하기 위한 11개의 새로운 지표를 제시하고 그 중에도 환경영향 값 중 재활용 및 해체방법을 중심으로 열교환 펌프를 사례로 적용하여 기존의 전과정평가(life cycle assessment, LCA) 기법과 비교·분석했다. 11개의 지표 중에는 재활용 가능한 소재, 재사용할 수 있는 부품, 해체시간 등에 대해서 제시하고 있으며, 이 지표는 재활용률을 향상시킬 수 있는 방안으로 유니소재화 제품 개발에 적용한 것과 유사한 것으로 보인다.

Allwood et al.[8]은 소재의 효율성을 적은 양의 소재를 생산하여 제조 공정에 투입하는 것으로 정의하고 자원 및 에너지 절감을 위한 하나의 방안으로 소재의 효율성을 4가지 전략으로 접근했다. 제품의 사용수명의 연장, 수리, 중고품의 판매, 제품의 업그레이드, 재구성 및 재제조, 제품의 재사용, 마지막으로 유니소재화 제품과 관련성이 높은 전략으로 물질의 수를 적게 사용하는 것을 언급했다.

기존에 연구된 다양한 방법론들을 언급하고 사례를 제시하였으며, 기존에 평가방법에서 보완된 방법론을 본 연구에 적용하여 적용 가능한 유니소재화 대상제품 발굴에 도입하였다. 또한 다양한 사례 연구를 통해 나온 결과를 바탕으로 한계점을 보완, 수정하려고 한다.

3. 연구목적 및 방법

3.1. 연구목적

이 연구목적은 유니소재화 개념과 녹색제품생산기술로써 현장에서 적용 가능하도록 정성적 및 정량적 평가방법을 제안하고 세탁기 밸런스, 자동차 라디에이터 그릴 등 제품에 유니소재화 방법론을 적용하고 사례연구를 하기 위함이다.

또한, 향후에는 본 방법론을 좀 더 다양한 제품에 적용하여 계속적으로 개선하고 국가 표준으로 발전시킬 수 있도록 하는 기초 자료로 활용할 것이다.

3.2. 연구 수행 범위

적용 가능한 유니소재화 대상제품을 발굴하기 위해 4가지 주요 산업(전기전자, 자동차, 생활용품, 전자재)을 정하고, 각 산업의 전문가 의견, 기업 방문 및 공모전 등을 통해 다양한 사례를 발굴하였다. 이에, 31개의 대상제품군을 발굴하였으며, 아래 평가방법을 통해 적용 가능한 제품의 우선순위를 작성하였다. 정성적, 정량적으로 판단된 결과값은 대상제품군의 상대적 비교가 가능하도록 제시하였으며, 절대치를 나타내는 것은 아니다.

유니소재화 평가범위는 먼저 유니소재화 제품의 적용 가능

성을 진단하는 정성적 평가와 이를 세부적으로 검증하기 위한 정량적 평가로 구분된다. 정성적 평가는 유니소재화가 적용 가능한 제품에 대해 검토하며 세부적인 정량적 평가는 수행하지 않는다. 단, 개념화된 유니소재화의 가능성을 바탕으로 평가자의 정성적인 판단을 통해 수행된다. 그러나 정성적 평가의 경우 판단자료가 적은 관계로 견해의 차이를 최소화한 보정하기 위한 장치로 평가자들의 의견을 종합하여 평가항목별 가중치(또는 중요도)를 부여하여 평가를 진행하도록 하였다.

정성적 평가를 통해 유니소재화 제품 적용 가능성이 높다고 판단되면 구체적인 유니소재화 제품 적용 방법과 전략을 수립한 후 정량적 평가를 통해 유니소재화 제품의 가능성 여부를 반복하여 확인하도록 한다. 정량적 평가는 정성적 평가와 동일한 항목을 평가하지만 세분화된 평가항목, 내용 및 정량화된 기준을 통해 값을 도출하기 위해 특정 평가 도구(예: 전과정평가(LCA), 전과정비용분석(life cycle cost, LCC) 등)을 사용할 수 있도록 하였다.

3.3. 연구 수행 방법

3.3.1. 정성적 평가 방법

Figure 1은 적용 가능한 제품을 발굴하기 위한 방법으로 정성적 평가 항목은 환경성, 경제성, 기술성으로 구분되며 환경성 평가는 자원순환성 향상, 유해물질 감소, 온실가스 저감의 항목을 평가한다. 경제성 평가는 시장경쟁력 강화, 비용절감 가능성, 시장 성장성을 평가하며 마지막으로 기술성 평가는 타 산업 및 타 제품으로의 적용 가능성과 기술과 생산능력, 기술 완성도를 평가한다. 특히, Table 1에서 기술한 것처럼 평가항목별로 점수를 부여할 때 고려해야 할 내용을 참조하여 평가자가 평가를 진행하면 된다.

정성적 평가점수는 유니소재화 제품 개발 가능성에 대해 평

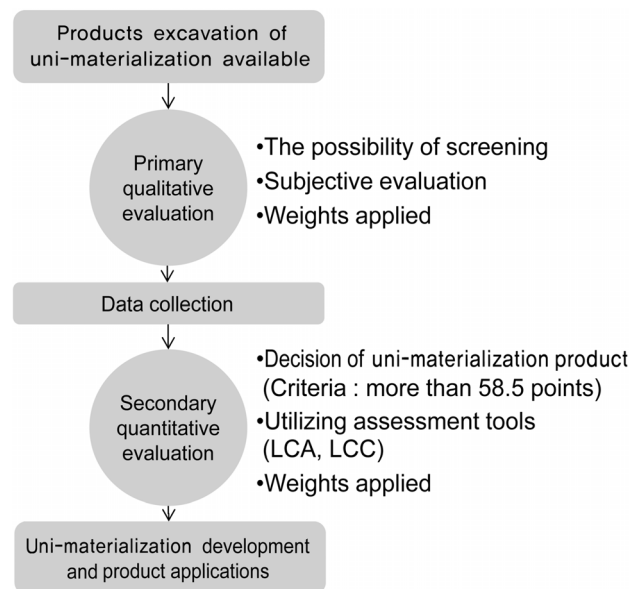


Figure 1. Uni-materialization assessment flow.

Table 1. Qualitative assessment index of uni-materialization

Cat.	Assessment index	Assessment rating	Indicators
ENI	Improvement of resource recirculation	<input type="checkbox"/> good <input type="checkbox"/> fair <input type="checkbox"/> poor	Recyclability(↑) Disassembly(↑) Variety of material(↓)
	Reduction of hazardous substances	<input type="checkbox"/> good <input type="checkbox"/> fair <input type="checkbox"/> poor	Using hazardous substances(↓)
	Reduction of greenhouse gases	<input type="checkbox"/> good <input type="checkbox"/> fair <input type="checkbox"/> poor	Using greenhouse gases(↓)
ECI	Competitiveness	<input type="checkbox"/> good <input type="checkbox"/> fair <input type="checkbox"/> poor	Patent application(↑) Technical standard(↑) Technology certification(↑)
	Cost reduction	<input type="checkbox"/> good <input type="checkbox"/> fair <input type="checkbox"/> poor	Cost of raw materials(↓) Production cost(↓) Cost of waste treatment(↓)
	Market growth	<input type="checkbox"/> good <input type="checkbox"/> fair <input type="checkbox"/> poor	Market size(↑) Market growth potentiality(↑)
TI	Technology expansion	<input type="checkbox"/> good <input type="checkbox"/> fair <input type="checkbox"/> poor	Technology expansion & application(↑)
	Technology ability & production capacity	<input type="checkbox"/> good <input type="checkbox"/> fair <input type="checkbox"/> poor	Original technology(↑) Extension of facilities(↓)
	Technology completion	<input type="checkbox"/> A Short Term (1~3years) <input type="checkbox"/> The middle Term (3~5years) <input type="checkbox"/> A long Term (5years~)	Application time(↓)

*The direction of the arrow means higher score.

가자들의 전문적인 지식을 바탕으로 진행될 수 있도록 하며 평가점수는 상, 중, 하로 구분할 수 있으며 평가자의 상황에 맞게 5점, 3점, 1점과 같이 점수를 부여할 수도 있다.

정성적 평가 결과를 단일 지수로 산출하기 위해서는 평가항목별로 가중치를 부여할 수 있다. 그러나 이 가중치는 평가기업, 목적, 지역 등에 따라 차이가 있어 별도의 가중치를 사용할 수 있다. 단, 이 평가방법에서는 별도의 가중치를 산출할 수 없을 경우에 대비하여 Table 2와 같이 평가항목별로 가중치를 제시했다. 특히, 평가 결과를 통해 유니소재화 제품의 가능성을 판단하는 기준은 평가자의 판단에 따라 그 기준을 정할 수 있으나 여기서는 그 총합계 점수가 100점 기준으로 58.6점이상일 경우로 한정했다. 이 기준은 대상 제품의 환경성, 경제성, 기술성 평가 결과를 바탕으로 국내 전문가들이 각 항목별 세부지표의 최소기준치를 가중치에 적용하여 산출된 값이다. 그러나 이 값은 연구를 수행하는 연구목적 및 효과에 따라 차이가 있을 수도 있다.

Table 2. Assessment weight and criteria of uni-materialization

Code	Cat.	Assessment index	Weighting (%)	Pass grade
A-1	ENI	Improvement of resource recirculation	15.0	0.50
A-2		Reduction of hazardous substances	5.0	0.10
A-3		Reduction of greenhouse gases	5.0	0.10
B-1	ECI	Market competitiveness	20.0	0.80
B-2		Cost reduction	15.0	0.30
B-3		Market growth	15.0	0.38
C-1	TI	Technology expansion	15.0	0.45
C-2		Technology ability & production capacity	3.0	0.09
C-3		Technology completion	7.0	0.21
Sum total			100.0	2.93 (58.6/100)

3.3.2. 정량적 평가 방법

정량적 평가는 정성적 평가와 동일하게 환경성, 경제성, 기술성 각각 3개의 대분류로 구성되며 정성적 평가와는 달리 평가내용과 점수기준이 구체적이다. 또한, 평가의 일관성을 위해서 정성적 평가와 동일한 방법으로 각 평가항목별 가중치를 고려하도록 하였다.

1) 환경성 평가 지표(environment index, ENI)

환경성 평가 지표는 자원순환성 향상, 유해물질 저감, 온실가스 배출량 저감으로 구성되며 세부기준은 Table 3과 같다.

2) 경제적 평가 지표(economy index, ECI)

경제성 평가 항목은 시장경쟁력, 비용 절감, 시장 성장성으로 구성되며 세부기준은 Table 4와 같다.

3) 기술적 평가 지표(technology index, TI)

기술성 평가 지표는 기술 확대 적용성, 기술 및 생산능력, 기술완성도로 구성되며 세부기준은 Table 5와 같다.

Table 3. Qualitative assessment index for environment[9,10]

1. Improvement of resource recirculation			
Score	Recyclability	Disassembly	Variety of material
5.0	Use recyclable materials	Disassemble into single material	Materials unification rate is more than 50% or single material
4.0	-	-	Materials unification rate is above 30% and under 50%
3.0	-	Impossible to disassemble into single material, but good material compatibility (but plastic material shall be composed of under 2 materials)	Materials unification rate is above 10% and under 30%

2.0	-	-	Materials unification rate is above 1% and under 10%
1.0	Use unrecyclable materials	Impossible to disassemble into single material	Materials unification rate is less than 1%

2. Reduction of hazardous substances

Score	Criterion	Notes
5.0	Not contained legal hazardous substances and authorization list (REACH Regulation)	The acceptable level of authorization list can be adjusted depending on production and/or industry
4.0	Not contained legal hazardous substances but contained one authorization list	
3.0	Not contained legal hazardous substances but contained two authorization lists	
2.0	Not contained legal hazardous substances but contained three authorization lists	
1.0	Contained legal hazardous substances	

3. Reduction of greenhouse gases

Score	Criterion
5.0	Reduction rate of greenhouse gases emissions : more than 31%
4.0	Reduction rate of greenhouse gases emissions : above 21% and under 31%
3.0	Reduction rate of greenhouse gases emissions : above 11% and under 21%
2.0	Reduction rate of greenhouse gases emissions : above 1% and under 11%
1.0	Reduction rate of greenhouse gases emissions : less than 1%

Table 4. Qualitative assessment index for economy

1. Competitiveness

Score	Criterion
5.0	Complete conformity to national certification of technology and product
4.0	Part of conformity to national certification of technology and product
3.0	Complete conformity to a third party certification of technology and product
2.0	Part of conformity to a third party certification of technology and product
1.0	No conformity to national certification of technology and production or negative effect on other technology and product certification

2. Cost Reduction

Score	Reduction rate of raw material cost	Reduction rate of production cost	Reduction rate of waste treatment cost
5.0	More than 10%	More than 10%	More than 10%

4.0	Above 7% and under 10%	Above 7% and under 10%	Above 7% and under 10%
3.0	Above 4% and under 7%	Above 4% and under 7%	Above 4% and under 7%
2.0	Above 1% and under 4%	Above 1% and under 4%	Above 1% and under 4%
1.0	Under 1%	Under 1%	Under 1%

3. Market Growth

Score	Market size	Market growth potentiality
5.0	More than 10% of the entire industrial scale	More than 10% of average annual growth rate
4.0	Above 7% and under 10% of the entire industrial scale	Above 10% and under 20% of average annual growth rate
3.0	Above 4% and under 7% of the entire industrial scale	Above 1% and under 10% of average annual growth rate
2.0	Above 1% and under 4% of the entire industrial scale	Under 1% of average annual growth rate
1.0	Under 10% of the entire industrial scale	Negative growth

Table 5. Qualitative assessment index for technology[11,12]

1. Technology Expansion

Score	Criterion
5.0	Technology expanded to other manufacturing industry
4.0	Technology expanded to similar manufacturing industry
3.0	Technology expanded to products with similar features
2.0	Technology expanded to similar products
1.0	Technology applied to specific model

2. Technology Ability & Production Capacity

Score	Technology ability	Production capacity
5.0	All materials and processing technologies are their own original technology and Patent registration is available.	Existing facilities can be completely used.
4.0	Most of materials and processing technologies are their own original technology and available to the rest of the domestic technology.	Little complement or expand existing facilities is required.
3.0	All materials and processing technologies are available to the rest of the domestic technology.	Little complement or expand existing facilities is required and some new facilities are needed.
2.0	Some materials and processing technologies are dependent on the foreign technology introduction.	Little complement or expand existing facilities is required and most of new facilities are needed.
1.0	All materials and processing technologies are dependent on the foreign technology introduction.	Existing facilities cannot be completely used and all new facilities are needed.

3. Technology Completion	
Score	Criterion
5.0	• Production and commercialization stage
4.5	• Production-ready stage
4.0	• Prototype standardization and certification steps
3.5	• Prototype fabrication and performance evaluation • Excellent prototype developed in more than one without considering the economic efficiency (productivity) • Securing production technology, system integration technology • Most of R&D projects determined to be successful
3.0	• Prototype fabrication and performance evaluation with considering the economic efficiency (productivity) • Evaluating the performance of prototype production facility with conformity of a third certification authority • Prototype performance evaluation
2.5	• Prototype of reliability assessment • Performance verification test in a real environment
2.0	• Part or system performance evaluation in the lab scale • Selecting the optimal technology through computer simulation • Securing core technology for practical use
1.5	• Basic performance verification in the lab scale • Basic design drawings steps • Securing modeling / design technology
1.0	• Conception of ideas, patents
0.0	• Basic theory formulation steps

4. 연구결과

4.1. 정성적 평가

유니소재화 제품 개발 적용 가능성 평가를 위한 선행 업무로 우선 전기전자, 자동차, 건자재, 생활용품으로 구분하여 유니소재화 적용 가능 제품을 발굴했으며 각 분야 전문가의 의견을 종합하여 총 31개를 아래 Table 6~9에 제시하였으며 정성적 평가 결과를 바탕으로 15개 선별했다. Table 6은 전기전자 제품을 Table 7은 생활용품, Table 8은 자동차부품, Table 9는 건자재분야의 대상제품을 정성적으로 평가한 결과이다.

Table 6. Result of qualitative assessment for electrical and electronic equipments

No.	Contents	ENI	ECI	TI	Sum total
1	Discharge grille in air controller	0.70	1.40	0.65	2.75
2	Matte screen	0.75	1.28	0.47	2.49
3	Blender	0.83	1.55	0.73	3.11
4	Balancer in washing machine	1.10	2.18	0.97	4.24
5	Water bottle in water purifier	1.03	1.98	0.87	3.87
6	PCB Cover	0.93	1.20	0.64	2.77
7	Part inserted metal	0.80	1.55	0.89	3.24
8	Reinforced glass in copier	0.78	1.65	0.85	3.27

Table 7. Result of qualitative assessment for household items

No.	Contents	ENI	ECI	TI	Sum total
1	Wet tissue	0.88	1.43	0.77	3.07
2	Pump cap	1.05	2.10	0.99	4.14
3	House wrap	0.80	1.40	0.60	2.80
4	Paper pack	0.80	1.53	0.54	2.87
5	Window of envelope	0.78	1.25	0.87	2.89
6	Disposable razor	0.85	1.75	0.83	3.43
7	Calendar, spring notes, binder	0.85	1.40	0.61	2.86
8	One touch mosquito nets	0.70	1.10	0.53	2.33
9	Disposable glasses	0.75	1.35	0.50	2.60
10	Plastic knives and scissors	0.68	1.13	0.80	2.60

Table 8. Result of qualitative assessment for automobiles

No.	Contents	ENI	ECI	TI	Sum total
1	Head lamps	0.88	1.55	0.77	3.19
2	Side mirror	0.85	1.63	0.73	3.20
3	Rear lamps	0.90	1.53	0.77	3.19
4	Radiator grille	1.05	2.03	0.95	4.03
5	Windshield wiper	0.93	1.78	0.81	3.51
6	Bicycle tire	1.08	1.33	0.78	3.18

Table 9. Result of qualitative assessment for building materials

No.	Contents	ENI	ECI	TI	Sum total
1	Glass sheet	0.60	0.98	0.63	2.20
2	Silicon for window	0.73	1.33	0.44	2.49
3	Anti-skid pad on stair	0.55	0.93	0.47	1.94
4	Built-in closet	0.68	1.30	0.66	2.63
5	Sliding door	0.70	0.88	0.44	2.01
6	Sink, drawers	0.78	0.88	0.64	2.29
7	Built-in blind polarized windows	0.85	1.75	0.99	3.59

Table 10은 정성적 평가 결과 유니소재화 제품 적용 가능성이 높다고 선별된 15개 제품 평가 결과를 요약한 것이다. 또한, 각 산업분류에서 가장 높은 점수를 받은 것을 주석으로 표시했으며, 표시된 제품은 세탁기 밸런스, 펌프캡, 일체형 블라인드 편광창문, 라디에이터 그릴로 4개 제품에 대해 정량적 평가를 수행하였다.

Table 10. Result of qualitative assessment for applicable products

Cat.	Contents	Sum total	On the basis of 100 points
Electrical and electronic equipment	Blender	3.11	62.10

Electrical and electronic equipment*	Discharge grille in air controller	4.24	84.80
Electrical and electronic equipment	Water bottle in water purifier	3.87	77.40
Electrical and electronic equipment	Part inserted metal	3.24	64.80
Electrical and electronic equipment	Reinforced glass in copier	3.27	65.40
Household items	Wet tissue	3.07	61.40
Household items*	Pump cap	4.14	82.80
Household items	Disposable razor	3.43	68.50
Building materials*	Built-in blind polarized windows	3.59	71.80
Automobiles	Head lamps	3.19	63.80
Automobiles	Side mirror	3.20	64.00
Automobiles	Rear lamps	3.19	63.80
Automobiles*	Radiator grille	4.03	80.50
Automobiles	Windshield wiper	3.51	70.10
Automobiles	Bicycle tire	3.18	63.50

*High priority products by industry

4.2. 정량적 평가

정성적 평가에서 유니소재화 제품 적용 가능성이 가장 높은 각 산업별 제품 1개 품목에 대해 정량적 평가방법에 따라 환경성, 경제성, 기술성 평가를 실시하여 유니소재화 제품 적용 가능성 여부를 최종적으로 판단했다.

[사례 I] 세탁기 밸런스의 유니소재화

Figure 2와 Table 11은 세탁기 밸런스의 유니소재화를 나타내며, 탈수 시 원심력을 받을 경우 발생하는 편심력과 기기의

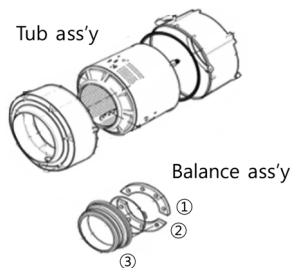


Figure 2. Applicable part in washing machine (balance).

Table 11. Uni-materialization strategy for washing machine

No	Before	After
①	Ferrous	General plastic
②	PVC	
③	Plastic + Concrete	

Table 12. Result of quantitative assessment for washing machine

Cat.	Assessment index	Assessment content	Result
ENI	Recycling of resource improvement	Recyclability	75.0
		Disassemblability	
		Variety of materials	
	Reduction of hazardous substance	Reduction of Hazardous Substance	25.0
	Reduction of greenhouse gases	Reduction of Greenhouse Gases	15.0
ECI	Market competitiveness	Competitiveness	100.0
	Cost reduction	Reduction rate of raw material cost	35.0
		Reduction rate of production cost	
		Reduction rate of waste treatment cost	
	Market growth	Market size	22.5
		Market growth potentiality	
TI	Technology application and expansion	Technology expansion & application	45.0
	Technology expansion	Technology ability	6.0
		Production capacity	
	Technology completion	Technology completion	7.0
Sum total			330.5
Result (on the basis of 100 points)			66.1

진동을 감소시키기 위해 무게 중심을 바로잡을 수 있도록 비교적 밀도가 높은 염수, 시멘트, 주철 등을 사용하며 이 중 드럼형 세탁기는 시멘트가 주로 사용된다. 여기서의 유니소재화 제품 전략은 시멘트와 그것을 덮는 플라스틱으로 성형된 드럼형 세탁기의 밸런스를 재활용된 소재를 통해 단일소재화 하는 것을 목적으로 한다.

유니소재화를 통해 기존에 재활용이 불가능하여 매립 처리된 세탁기 밸런스는 재활용이 가능해질 수 있으며 이로 인한 세탁기의 단위무게 당 재활용 가능성이 높아져 재활용 관련 법규의 요구기준을 만족할 수 있으며 재활용 소재를 통한 환경오염을 줄일 수 있다.

Table 12에서의 세탁기 평가점수는 66.1점으로 기준점수(58.6점) 이상으로 유니소재화 제품 적용 가능성은 있는 것으로 판단된다. 이 사례에 있어 가장 점수가 높게 나온 항목은 환경성으로 90점 이상으로 나타났으며 이러한 이유는 현재 밸런스의 폐기처리가 매립으로 이루어지고 있는 현실 반영이 주요하다고 보여진다.

그러나 상대적으로 기술과 경제성 분야에서는 유니소재화

제품 적용 가능성은 현실성이 없다고 판단되며 밀도가 높은 소재를 사용하여야만 기능을 발휘하는 제품의 고유특성상 밀도가 상대적으로 크게 작으면서 원재료 비용이 높은 플라스틱 소재를 사용하는 것은 경제적 측면과 기술 가능성에서 좋지 않기 때문에 분석된다. 또한 재활용 플라스틱이 고밀도화가 되어도 밸런스의 역할을 하기 위한 밀도가 20 g/cm³ 이상이라고 한다면 현실적으로 어렵다고 보여진다.

따라서 세탁기 총 중량의 10% 이상을 차지하는 부품의 재활용과 그 이점을 고려한다면 플라스틱이 아니라 경제적이며 재활용이 손쉽게 될 수 있는 주철 및 고철 소재를 사용하거나 구조적인 개선을 통해 기존의 밸런스의 단위 중량을 감소하도록 하는 것이 유니소재화 전략으로 더 적합하다고 보인다.

[사례 II] 펌프캡의 유니소재화

일반적인 디스펜서 펌프캡의 구조는 노즐, 개스킷, 하우징, 피스톤, 스프링, 밸브, 컨테이너 캡으로 구성되며 대부분 구성품의 재질은 폴리프로필렌(PP)이지만 피스톤과 피스톤 가이드는 폴리에틸렌(PE) 계열이며 스프링은 스테인리스 스틸로 구성되어 있다.

Figure 3과 Table 13을 통해 이 사례의 경우 피스톤과 피스

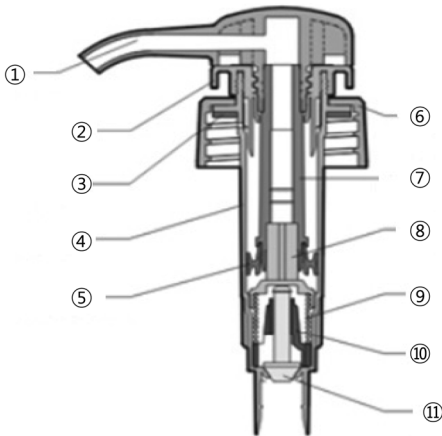


Figure 3. Applicable part in pump cap.

Table 13. Uni-materialization strategy for pump cap

No	Before	After
①	Polypropylene	Polypropylene
②	Polypropylene	Polypropylene
③	Polypropylene	Polypropylene
④	Polypropylene	Polypropylene
⑤	LD-polypropylene	Polypropylene
⑥	Polypropylene	Polypropylene
⑦	HD-polypropylene	Polypropylene
⑧	Polypropylene	Polypropylene
⑨	Stainless steel	Polyoxymethylene
⑩	Polypropylene	Polypropylene
⑪	Polyoxymethylene	Polyoxymethylene

Table 14. Result of quantitative assessment for pump cap

Cat.	Assessment index	Assessment content	Result
ENI	Recycling of resource improvement	Recyclability	75.0
		Disassembibility	
		Variety of materials	
	Reduction of hazardous substance	Reduction of hazardous substance	25.0
	Reduction of greenhouse gases	Reduction of greenhouse gases	8.8
ECI	Market competitiveness	Competitiveness	80.0
	Cost reduction	Reduction rate of raw material cost	40.1
		Reduction rate of production cost	
		Reduction rate of waste treatment cost	
Market growth	Market size	15.0	
	Market growth potentiality		
TI	Technology application and expansion	Technology expansion & application	30.0
	Technology expansion	Technology ability	12.0
		Production capacity	
	Technology completion	Technology completion	35.0
Sum total			320.8
Result (on the basis of 100 points)			64.2

톤 가이드의 폴리에틸렌(PE)계열 수지를 밸브와 동일한 소재인 폴리아세탈(POM)로 변경하고 스테인리스 스틸로 만든 스프링을 폴리아세탈(POM) 소재의 활자형 플라스틱 스프링으로 제작하고 노즐부위와 결합하여 소재를 단순화 하는 것을 주요 전략으로 하였다.

Table 14에서의 펌프캡의 평가점수는 64.2점으로 기준점수(58.6점)는 넘어 유니소재화 제품 적용 가능성이 있는 것으로 나타났다. 그러나 경제적인 측면에서의 평가는 좋지 않은 것으로 나타나 유니소재화로 인한 제품 기술, 비용 경쟁력 등 제품 실현화 가능성은 낮을 것으로 예상된다.

가장 높은 점수를 보인 환경성 분야는 87.0점으로 개선 전의 펌프캡의 환경적인 특성이 크게 나쁘지 않다는 것을 고려해 볼 때 환경개선 사항은 크지 않을 것으로 판단된다.

경제적 측면에서는 트리거 시스템을 통한 플라스틱 스프링 사례가 이미 기술적으로 상용화 되어 있고 원천기술로 인한 특허는 적어 오히려 기술적으로 내용물의 분사 형태가 효과적이지 못할 수 있거나 금속 스프링이 가진 제품의 내구성이 떨어질 수 있다고 보여진다. 또한 기술 적용 가능성도 동일 제품군 이외에는 확대 적용 가능성이 떨어진다고 보인다.

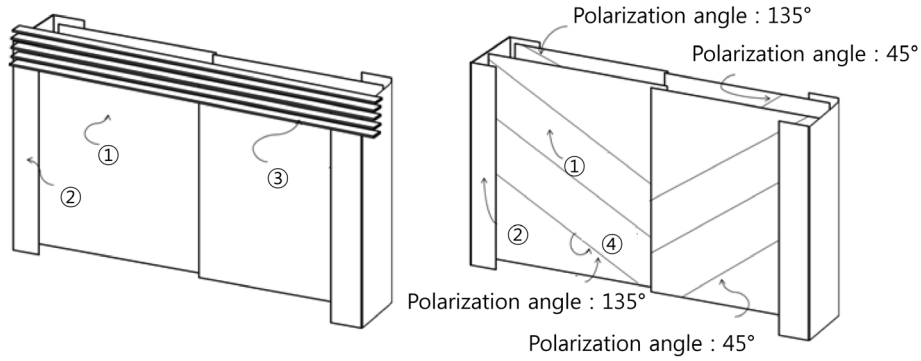


Figure 4. Applicable part in window blind.

Table 15. Uni-materialization strategy for window blind

No	Before	After
①	Glass	Polycarbonate
②	Ferrous materials	Ferrous materials
③	Various materials	-
④	-	Polycarbonate

[사례 III] 블라인드형 창문의 유니소재화

빛을 막아주는 날개(slat)와 날개를 연결하는 줄, 상하부 레일, 샤프트, 틸트 기어 및 코드 등으로 구성되며 날개의 재질은 제품마다 다양하게 사용되나 일반적으로 열반사율이 높은 알루미늄 합금 또는 인테리어 효과가 높은 목재를 사용한다.

최근에는 블라인드를 새시 내에 삽입하는 방식의 창문과 광학 제어를 창문자체가 제어할 수 있는 포토그래픽, 서모크로믹, 일렉트로크로믹 유리 등 지능형 유리가 개발되었으나 비용 효율성, 내구성, 상용성 등의 문제와 재활용에 있어서도 효과적이지 못하다.

Figure 4와 Table 15에서 설명하는 유니소재화 제품 적용 방법은 투명 아크릴 수지, 투명 폴리카보네이트 수지 또는 섬유 강화 플라스틱으로 제품 전체를 플라스틱 소재를 사용하여 재활용이 용이하도록 하며 동일계열 또는 호환가능성 소재를 가진 편광필름을 내부 및 외부 유리창에 부착하도록 한다. 외부 유리 창틀에는 세로 및 가로방향 편광필름이 설치되고 내부 유리 창틀에는 외부 유리 창틀과 90°가 되도록 편광필름을 설치하여 창의 배치에 따라 편광효과를 통해 채광을 조절하도록 한다.

Table 16에서의 블라인드형 창문의 평가점수는 53.8점으로 기준점수(58.6점)를 넘지 못해 유니소재화 제품 적용 가능성 여부는 낮은 것으로 판단된다.

유니소재를 플라스틱으로 할 경우 발생하는 비용 및 고가의 편광필름으로 인해 원가절감 효과는 없을 것으로 예상되며 일반 블라인드 체결(locking)보다도 제조 공정의 비용과 폐기물에서의 저감 효과도 없을 것으로 보인다. 또한 편광필름을 채광 조절을 위한 수단으로는 적용이 쉽지 않으며 채광을 자유자재로 조절하지 못하는 품질 문제 등의 단점으로 인해 기술 실

Table 16. Result of quantitative assessment for window blind

Cat.	Assessment index	Assessment content	Result
ENI	Recycling of resource improvement	Recyclability	55.0
		Disassemblability	
		Variety of materials	
	Reduction of hazardous substance	Reduction of hazardous substance	25.0
	Reduction of greenhouse gases	Reduction of greenhouse gases	15.0
ECI	Market competitiveness	Competitiveness	20.0
	Cost reduction	Reduction rate of raw material cost	15.0
		Reduction rate of production cost	
		Reduction rate of waste treatment cost	
Market growth	Market size	45.0	
	Market growth potentiality		
TI	Technology application and expansion	Technology expansion & application	75.0
	Technology expansion	Technology ability	12.0
		Production capacity	
	Technology completion	Technology completion	7.0
Sum total			269.0
Result (on the basis of 100 points)			53.8

용화가 힘들 것으로 보인다.

[사례 IV] 라디에이터 그릴의 유니소재화

라디에이터 그릴은 초기에 기능적인 부품이었으나 도로포장 및 자동차 기술의 발전으로 자동차의 존재감을 나타내는 상징적인 부품으로 발전하게 되었으며 이를 위해 독특한 형태의 라디에이터 그릴의 디자인을 만들기 시작하였다. 일반

적으로 사용되는 라디에이터 그릴은 고급스러운 금속 느낌을 주기 위해 크롬(Cr)으로 도금처리하고 있으며 도금이 잘되는 (acrylonitrile-butadiene-styrene, ABS) 재질을 기본적인 본체 소재로 사용하고 있다.

Figure 5와 Table 17에서 유니소재화 방법은 크롬(Cr) 도금을 제거한 ABS 일체성형을 부품을 제작하는 것을 전략으로 하였다.

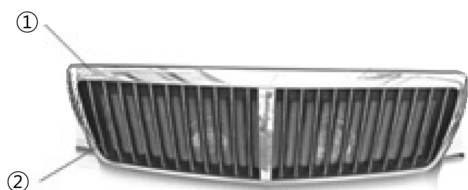


Figure 5. Applicable part in radiator grille.

Table 17. Uni-materialization strategy for radiator grille

No	Before	After
①	chrome (coated)	-
②	acrylonitrile-butadiene-styrene	

Table 18. Result of quantitative assessment for radiator grille

Cat.	Assessment index	Assessment content	Result
ENI	Recycling of resource improvement	Recyclability	75.0
		Disassembility	
		Variety of materials	
ENI	Reduction of hazardous substance	Reduction of hazardous substance	25.0
	Reduction of greenhouse gases	Reduction of greenhouse gases	10.0
ECI	Market competitiveness	Competitiveness	80.0
	Cost reduction	Reduction rate of raw material cost	55.0
		Reduction rate of production cost	
		Reduction rate of waste treatment cost	
Market growth	Market size	37.5	
	Market growth potentiality		
TI	Technology application and expansion	Technology expansion & application	75.0
	Technology expansion	Technology ability	9.0
		Production capacity	
	Technology completion	Technology completion	7.0
Sum total			373.5
Result (on the basis of 100 points)			74.7

Table 18에서의 라디에이터 그릴의 평가점수는 74.7점으로 기준점수(56.6점)를 넘어 유니소재화 제품 적용 가능성은 있는 것으로 나타났다. 재활용이 불가능한 제품을 재활용함으로써 재활용 수익을 창출했다는 점과 크롬도금에 필요한 원재료 비용을 절감했다는 점이 가장 큰 장점으로 평가되었다. 그러나 크롬도금의 감성품질 기능을 극복할 수 있는 기술개발 여부가 관건이며 아직 개념 정립단계에 머물고 있다는 점이 한계로 드러났다.

5. 결론

유니소재화란 제품 본래의 기능을 유지하면서 제품 사용 후 재활용이 용이하고 유해물질 사용을 저감하기 위해 설계 및 생산, 수거 및 재활용 등을 고려한 기존 제품의 재질 단일화 또는 단순화된 재료를 의미한다.

이러한 정의를 실현하기 위해 본 연구에서는 크게 환경성, 경제성, 기술성으로 구분하여 9가지 평가항목에 대한 기준을 개발하고 유니소재화 제품 적용 가능성이 있는 대상항목에 대한 조사 및 연구를 수행했다. 그리고 31개 대상 제품을 선정하여 유니소재화 제품 적용 가능성 여부를 시범적으로 판단해 보았다.

그 결과, 총 31개 대상 제품군 중 정성적 평가를 통해 15개 항목이 선별되었으며 산업군별로 가장 점수가 높은 최종 4개 대상 제품을 정량적으로 평가했다. 블라인드형 창문을 제외한 나머지 3개의 제품은 기준점수 이상으로 평가되어 유니소재화 제품으로 적용 가능성이 높음을 판단할 수 있었다. 블라인드형 창문의 경우는 경제적인 측면을 고려했을 때 기존제품 대비 효율성이 저조하여 유니소재화 제품 적용이 쉽지 않음을 알 수 있다. 이와 같이 제품별로 우선적으로 고려해야 하는 특성이 있으며, 이에 모든 제품이 재질의 유니소재화를 적용하기는 쉽지 않을 것이다.

마지막으로 본 연구에서는 산업별 제품이나 특성을 고려하지 않고 평가항목별 동일한 가치기준(가중치)과 그 세부기준을 적용했다. 각 산업군별 비교평가는 크게 의미가 없으나 이를 보완하기 위해서는 각 산업별로 상이한 세부기준의 수립이 추가로 필요할 수도 있다. 그리고 유니소재화의 개념을 제품의 전 과정별로 세분화하고 체계화하여 수정하고 보완된 평가항목을 개발할 필요가 있다.

참고문헌

- Ju, H. S., Cho, B. O., and Park, J. G., "A Performance Analysis of the Cleaner Production Program ECOPROFIT for Korean Regional Industry," *Clean Tech.*, **15**(2), 137-145 (2009).
- <http://www.kncpc.or.kr/clean/material.asp>
- Charter, M., and Tischner, U., *Sustainable Product Design*, Greenleaf, Sheffield, 2001, pp. 263-281.
- The Korean Institute of Resources Recycling, *A White Paper of Recycling*, Chungmungak, Paju, 2009, pp. 67-68.
- Unruh, G. C., "The Biosphere Rules," *Harvard Business Re-*

- view, February, 2008.
6. Platcheck, E. R., Schaeffer, L., Kindlein, W. J., and Candido, L. H. A., "EcoDesing: Case of a Mini Compressor Re-design," *J. Cleaner Prod.*, **16**, 1526-1535 (2008).
 7. Cerdan, C., Gazulla, C., Raugei, M., Martinez, E., and Fullana-i-Palmer, P., "Proposal for New Quantitative Eco-design Indicators: A First Case Study," *J. Cleaner Prod.*, **17**, 1638-1643 (2009).
 8. Allwood, J. M., Ashby, M. F., Gutowski, T. G., and Worrell, E., "Material Efficiency: A White Paper," *Resour. Conserv. Recycl.*, **55**, 362-381 (2011).
 9. Ministry of Knowledge Economy, Operating Standards of New Technology Certification System, (2011).
 10. Ministry of Environment, Product Category Rules (PCRs) of Carbon Footprint Labeling, (2011).
 11. Kim, S. Y., "A Study on Valuation Framework of Technology Competitiveness for Small Medium IT Manufacturing Company," Master Dissertation, Yonsei University, Seoul, 2006.
 12. Korea Institute of Industry and Technology Information, "How to Evaluate the Valuation of Technology," June, 2000.