한국위기관리논집 제8권 제5호 2012. 10 101~122쪽

# 종합환경지수에 관한 실증적 연구*,**

## - 2012 환경성과지수(EPI) 모형검증 -

차용진

본 연구의 목적은 2012년 1월에 발표된 환경성과지수(EPI)에 초점을 맞춰 타당도 및 신뢰도를 분석하여 문제점을 도출하고 개선방안을 검토하고자 한다. 2012 EPI의 구성개념 타당도 분석결과에서 2012 EPI의 구성개념인 환경보건, 대기보건, 물보건, 대기오염, 수질/수량, 생물다양성, 농업, 삼림, 어업, 기후변화는 집중타당성과 판별타당성 등의 구성개념 타당성, 기준타당성이 매우 낮게 나타나고 있다. 또한 신뢰도 분석결과에서 대기보건, 생물다양성, 농업, 삼림, 어업의 신뢰도는 낮게 나타나고 있어 내적일관성에 문제가 있음을 보여주고 있다. 2012 EPI 모형검증을 위한 고차요인분석결과에서 2012 EPI 모형적합도가 매우 낮게 나타나고 있고 측정모형의 평가에서 영유아사망률, 실내공기오염, 미세먼지, 식수접근성, 물위생, 일인당 SO2, GDP당 SO2, 수량변화, 생물군보호, 해양보호, 주요서식처보호, 농업보조금, 농약규제, 임목축적변화, 삼림지역, 산림손실, 어업강도, 초과어획량, 일인당 CO2 배출량, KWH당 CO2 배출량, GDP당 CO2 배출량, 재생에너지 등의 측정오차가 매우 높게 나타나고 있어 2012 EPI 모형과 자료가 잘 부합되지 않음을 보여주고 있다. 이러한 분석결과를 기초로 본 연구는 보다 개선된 EPI 개발을 위한 고려사항을 검토한다.

**주제어**: 2012 환경성과지수, 타당도, 신뢰도, 고차요인분석

## Ⅰ. 연구목적

전 세계적으로 지속가능발전(Sustainable Development: SD)에 대한 관심이 높아짐에 따라 지속가능발전을 평가하기 위한 환경정보통합에 대한 관심도 증대되고 있다. 실제적으로 환경정보통합에 대한 접근은 환경지표 계량화 및 지수화 접근으로 진행되고 있으며 최근 국제적으로 대두되고 있는 환경과 지속가능발전에 관한 지수들은 환경압력과 환경상태의 전체적인 구도를 파악할 수 있는 중요한 정책수단이 된다. 국가차원의 종합환경지수(Composite Environmental Index; 이하 CEI)의 개발은 정책결정 및 집행뿐만 아니라 평가단계에서 그 결과를 종합적으로 반영·제시할 수 있다는 측면에서 국가차원에서 유용한 의사결정수단이다.

* 본 연구는 숙명여자대학교 2012학년도 교내연구비 지원에 의해 수행되었다.

** 본 연구를 위해 2012 EPI 원시자료를 제공해준 2012 EPI 연구진에 감사드린다.

www.kci.go.kr

반면 종합환경지수를 개발하는 작업은 환경 및 사회현상의 복잡성으로 인해 매우 어려운 작업이다. 근본적으로 종합환경지수 작성에 포함되어야 할 기초 환경자료들이 제대로 구축되어 있지 않아 체계화되고 신뢰성 있는 종합환경지수 개발에 많은 어려움이 있고, 특히 개별 환경지표들을 환경지수로 통합하는 방법론이 다양하게 개발되지 못하고 있는 실정이다. 더욱이 환경성과의 개념 및 방법론에 대한 학계의 논란에도 불구하고 UN, OECD, EC, WEF 등의 국제기관에서는 정기적으로 각국의 종합환경지수를 평가·발표하고 있으나 이러한 종합환경지수들은 완성된 지수 보다는 계속적 연구를 통한 개선과정에 있으며 지수구성체계, 방법론상의 문제점, 지표들의 신뢰성 및 타당성의 한계, 자료의 취약성 등이 계속적으로 지적되고 있다.

이러한 관점에서 본 연구는 종합환경지수 개발 현황을 검토하고 각국의 환경성과를 평가하기 위해 개발된 대표적인 종합환경지수인 WEF의 환경성과지수(Environmental Performance Index: 이하 EPI)를 분석하고자 한다. 최근 2012년 1월에 발표된 2012 EPI는 기존의 2010 EPI와 비교하여 지수구성체계 및 측정지표들의 수정·보완을 통해 EPI의 신뢰성 및 타당성을 개선하고 있으나 평가결과의 많은 차이로 인해 계속적으로 비판적인 논의가 진행되고 있다. 따라서 본 연구는 2012 EPI에 초점을 맞춰 EPI의 구성체계 및 평가결과를 검토하고 2012 EPI 모형의 타당도 및 신뢰도 분석을 통해 문제점을 도출하고 향후 EPI 모형의 타당도 및 신뢰도 제고를 위한 고려사항을 검토하고자 한다.

## Ⅱ. 환경성과 평가지수

### 1. 종합환경지수(CEI)[1)]

현재 환경 분야에서의 지수화 작업은 다양하게 추진되고 있지만 아직 환경성과를 평가할 수 있는 표준화된 지수체계는 미비한 실정이다. 이러한 상황에서 종합환경지수 개발의 초기 국내외 선행연구들은 Hope & Parker(1992; 1995), Jesinghause(1995; 1997), 강상목 외(2000), Kang(2002), 곽승준 외(2003) 등이 있다(차용진, 2008). Hope & Parker(1992; 1995)는 종합환경을 대기, 수질, 경관 세 부분으로 구분하고 환경지표를 선정하여 종합환경지수를 작성하였으나 환경문제의 우선순위나 환경문제에 관한 과학적 신뢰성보다는 현실여건을 반영하여 자료 비교성 및 이용가능성을 강조하였다. Jesinghause(1995; 1997)는 종합환경지수 작성에 있어서 환경문제와 환경을 구성하는 환경지표를 열거하여 환경문제별 접근을 시도하였다. 강상목 외(2000)는 지구온난화를 포함한 9개 부문의 환경문제별 접근을 통하여 종합환경지수를 작성하였다. Kang(2002)은 한국의 종합환경지수의 함수형태에 따른 민감도 분석을 시도하였다. 곽승준 외(2003)는 다속성 효용이론(Multi-Attribute Utility Theory: MAUT)을 적용하여 해양환경 종합지수를 도출하였다.

1) 종합환경지수에 대한 선행연구 논의부분은 차용진(2008)을 수정·보완하여 정리하였다.

www.kci.go.kr

최근 환경지속성 개념이 도입된 이후에 국제기구, 국내외 민간단체에서 다양한 형태의 종합환경지수들이 개발·제안되고 있으며 대표적인 종합환경지수들은 녹색경쟁력지수(Green Competitiveness Index: GCI), 산업계 기후변화 경쟁력지수(Korea Climate Change Index: KCCI), 지속가능경영 환경성과지수(Sustainable Management Environmental Performance Index: SMEPI), 환경지속성지수(Environmental Sustainability Index: ESI) 등이 있다. 녹색경쟁력지수(GCI)는 예일·컬럼비아 대학 연구팀이 녹색경쟁력평가를 목적으로 개발한 지수로 저탄소화와 녹색산업화로 구성되어 저탄소화에서는 CO2 배출량, CO2원단위, 에너지원단위, 신생에너지 전력사용량 등의 지표로 구성되어 있고, 녹색산업화에서는 정책 일관성, 환경정책의 효율성, Local Agenda 21 Initiative, 과학기술수준, 환경기술혁신, EcoValue 21, ISO14001 등으로 구성되어 있다(유의선, 2009). 산업계 기후변화 경쟁력지수(KCCI)는 대한상공회의소 지속가능경영원와 에너지관리공단(2008)에서 국내 매출상위 120개 기업을 대상으로 설문조사한 자료를 기초로 비교·평가를 목적으로 개발한 지수로 기후위험에 대한 기업의 취약성, 기후변화 대응노력 및 투자, 새로운 사업기회 및 전략수립, 탄소관련 정보공개 및 정책당국의 협력 등으로 구성되어 있다. 지속가능경영 환경성과지수(SMEPI)는 최근 기업의 사회적 책임이 강조되면서 UN환경계획(United Nations Environmental Program)이 출범시킨 Global Reporting Initiative가 개발한 지수로 G3 가이드라인 79개의 지표로 구성된 지속가능 환경성과지수이다. 최근에 개발된 위 지수들은 완성된 환경지수 보다는 계속인 연구를 통해 개발되는 과정에 있으며 위 지수들 또한 지수구성체계, 방법론상의 문제점, 지표들의 신뢰성 및 타당성의 한계, 자료의 취약성 등이 계속적으로 지적되고 있다.

환경지속성지수(ESI)는 현재의 환경, 사회, 경제적 조건을 바탕으로 지속가능한 성장을 위한 국가역량 비교를 목적으로 개발되어 WEF(2002; 2005)에서 지표별 현재수준을 산출하고 이를 국가별로 지수화하여 상대적으로 비교·평가하여 발표하였으나 지속가능성에 대한 개념, 지표의 신뢰성 및 타당성에 대한 문제점으로 WEF에서는 2006년 이후 환경성과목표에 초점을 맞춘 환경성과지수(EPI)를 개발하여 2년마다 평가결과를 발표하고 있다(차용진, 2005).

Yale Center for Environmental Law & Policy(YCELP)와 Center for International Earth Science Information Network(CIESIN)의 공동연구에 의해 2006년부터 계속적으로 개발·발표된 환경성과지수(EPI)는 다년간의 보완을 통해 종합환경지수 분야에서 큰 발전을 가져왔으며 특히 2012년 1월 26일 WEF에서 발표된 2012 EPI는 각국의 환경성과를 측정하는 대표적인 종합환경지수로서 평가되고 있다. 반면 발표이후에 국제적으로 2012 EPI의 지수화 방법론, 타당성 및 신뢰성 등에 대한 많은 비판 및 지속적인 논의가 제기되고 있다(Hsu, 2012).

## 2. 환경성과지수(EPI)

YCELP와 CIESIN 공동연구팀은 2002년도에 시험적으로 EPI를 발표한 이후에 계속적인 EPI의 수

www.kci.go.kr

정·보완을 통해 2006~2012년도까지 2년마다 전 세계국가의 환경성과를 비교·평가한 EPI를 발표하고 있다(WEF, 2002; WEF, 2006; WEF, 2008; WEF, 2010; WEF, 2012). EPI 개발 프로젝트의 목적은 전 세계국가들이 환경적으로 지속가능한 발전을 달성하기 위한 각국의 현재 정책성과를 비교·분석하는데 있다. 이러한 EPI는 종합환경지수로서의 큰 발전을 가져왔으며 특히 정책분야에서 자료위주 및 경험적 접근에 기초한 효과적인 환경정책결정수단으로 평가되고 있다.

2002년에 발표된 시험적 환경성과지수인 2002 EPI는 대기질, 수질, 기후변화, 국토보전의 4개의 정책지표로 구성되어 있고 13개의 측정변수로 23개국을 대상으로 환경성과를 제시하고 있다. 평가방법으로는 1990년도를 기준으로 1997년도까지의 환경개선 정도를 평가하고 있다. 이후 YCELP와 CIESIN은 환경성과지수의 보완·개발을 통해 2006 EPI를 발표했으며 2006 EPI는 환경보건, 대기질, 수자원, 생물다양성, 자연자원, 지속가능에너지 등 6개의 정책지표를 설정하고 16개의 측정변수로 133개국을 대상으로 평가하고 있다. 2006 EPI부터는 평가방법으로 정책목표를 설정하고 목표근접접근 방법론(proximity-to-target methodology)을 적용하고 있다. 2008 EPI는 정책집행과 관련이 높은 정책지표들을 보완하여 환경보전, 대기질, 수자원, 생물다양성, 자연자원, 기후변화 등 6개의 정책지표를 설정하고 25개의 측정변수로 149개국을 대상으로 환경성과를 평가하고 있다.

<표 1> 2002~2010 EPI 비교

| 구분 | 2002 EPI | 2006 EPI | 2008 EPI | 2010 EPI | 2012 EPI |
|---|---|---|---|---|---|
| 목적 | 현재의 환경보건 및 생태계 건전성 평가 | | | | |
| 정책지표 | 4개 정책지표<br>-대기질<br>-수질<br>-기후변화<br>-국토보전 | 6개 정책지표<br>-환경보건<br>-대기질<br>-수자원<br>-생물다양성<br>-자연자원<br>-지속가능 에너지 | 6개 정책지표<br>-환경보건<br>-대기질<br>-수자원<br>-생물다양성<br>-자연자원<br>-기후변화 | 10개 정책지표<br>-환경성 질병부담<br>-물보건<br>-대기보건<br>-대기오염<br>-수질/수량<br>-생물다양성<br>-산림<br>-해양/어업<br>-농업<br>-기후변화 | 10개 정책지표<br>-환경보건<br>-물보건<br>-대기보건<br>-대기오염<br>-수질/수량<br>-생물다양성<br>-산림<br>-해양/어업<br>-농업<br>-기후변화 |
| 측정변수 | 13개 | 16개 | 25개 | 25개 | 22개 |
| 평가방법 | 1990년도를 기준으로 1997년도까지 환경개선의 정도 평가 | 정책목표 기준을 설정하고 성과평가 | | | |
| 평가대상 | 23개국 | 133개국 | 149개국 | 163개국 | 132개국 |

※ 자료: WEF 보고서(2002~2012) 요약정리.

이후 2010 EPI는 환경성 질병부담, 물보건, 대기보건, 대기오염, 수질/수량, 생물다양성, 산림, 해양/

www.kci.go.kr

어업, 농업, 기후변화 등 보다 확장된 10개의 정책지표, 25개의 측정변수를 적용하여 목표근접접근 방법으로 163개국을 대상으로 환경성과를 평가하고 있다. 2012 EPI는 환경보건, 물보건, 대기보건, 대기오염, 수질/수량, 생물다양성, 삼림, 어업, 농업, 기후변화 등 10개의 정책지표 및 22개의 측정변수를 적용하여 132개국의 환경성과를 평가하고 있다. <표 1>은 2002~2012 EPI의 목적, 정책지표, 측정변수, 평가방법, 평가대상을 비교하고 있다.

2002~2012 EPI는 국가차원의 환경보전노력의 효과성, 즉 환경성과 측정을 목적으로 개발되었으며 각국의 환경성과는 각국의 환경정책의 핵심적인 구성요소(목적)들의 성과로 측정될 수 있다고 정의하고 있다. 2012 EPI는 핵심구성요소로서 환경보건(environmental health)과 생태계 건전성(ecosystem vitality) 2개의 구성요소를 제시하고 환경성과는 지속적으로 각 핵심구성요소에서 높은 수준의 성과를 산출하는 능력이라고 정의하고 있다(Emerson *et. al.,* 2012).

2012 EPI는 기존연구검토, 전문가 자문 그리고 EPI에 대한 비판 등을 반영하고 2010 EPI의 측정변수를 수정·보완하여 22개의 측정변수를 선정하였다. 2012 EPI의 22개 측정변수들 중 10개의 측정변수들이 새로 대체되었다(<표 2>). 2012 EPI 측정변수는 경험적 측정을 위한 변수들로 구성되어 있으며 선정기준으로 적절성, 성과지향성, 투명성, 자료의 질이 고려되었다(Emerson, *et. al.,* 2012).

2012 EPI의 기본 구성체계는 환경보건, 생태계 건전성의 2개의 핵심구성요소로 구성되어 있고, 각각의 핵심구성요소는 3~7개 정책지표로 세분화되어 총 10개 정책지표로 구성되어 있다(<표 2>). 환경보건의 경우 환경보건, 물보건, 대기보건의 3개 정책지표들로 구성되어 있고, 생태계 건전성은 대기오염, 수질/수량, 생물다양성, 농업, 산림, 어업, 기후변화의 7개 정책지표들로 구성되어 있고 각각의 정책지표는 1~4개의 측정변수로 측정되고 있다. 각각의 측정변수는 정책목표를 설정하고 현재 상태 측정치와 정책목표 간의 차이를 기초로 목표근접접근을 적용하여 환경성과를 산정한다. 정책목표 기준은 국제협약/합의, 국제기구에서 설정한 환경/보건기준, 국가규제요구, 과학적 합의, 전문가 의견 등에 의하여 설정하고 장기적 환경성과를 측정한다. 측정변수에 대한 각국의 목표 근접치는 정책목표에 대한 각국의 현재 상태를 기초로 0~100 척도로 산정하고 있다.

2012 EPI는 22개 측정변수들의 측정을 위해 다양한 자료를 활용하고 있으며 주요 자료원으로 WHO, WDI, EDGAR, UNFCCC, REAS, MOZART, UNEP, GEMS, FAO, IUCN, CIESIN, UBC, OECD, UNEP-Chemicals, CAIT, WRI-CAIT 등 국제기구들의 통계자료를 직접 수집·활용하고 있다. 평가대상의 선정기준으로 2012 EPI에서는 우선적으로 자료의 유효성을 고려하여 132개국으로 축소·선정하여 분석하였다. 결측자료 문제는 높은 상관관계를 갖고 있는 다른 변수를 통해 추정하는 전가방법론(imputation methodology)을 활용하여 추정하고 있다. 또한 측정변수들 간의 비교를 가능하게 하기 위해서 정규분포에서 크게 벗어나는 변수는 Winsorization 기법을 적용하여 극단치를 처리하였다. 지수산정방법에 있어서 각국의 환경성과는 각각의 핵심구성요소를 구성하는 정책지표들의 측정변수 자료의 합계화 방법을 적용하여 환경보건을 구성하는 3개의 정책지표, 생태계 건전성을 구성하는 7개의 정책지표의 평균값을 산출하고 환경보건과 생태계 건전성 측정치에 가중치(30% : 70%)를 적용·산

www.kci.go.kr

정하여 국가 간의 비교를 가능하게 하고 있다(Emerson *et. al.*, 2012).

<표 2> 2012 EPI의 핵심구성요소·정책지표·측정변수

| 핵심 구성요소 | 정책지표 | 2010 측정변수 | 2012 측정변수 |
|---|---|---|---|
| 환경보건 | 환경보건 | 환경성 질병부담 | 영유아사망률 |
| | 대기보건 | 실내공기오염 | 실내공기오염 |
| | | 실외공기오염 | - |
| | | - | 미세먼지 |
| | 물보건 | 식수 접근성 | 식수 접근성 |
| | | 물위생 | 물위생 |
| 생태계 건전성 | 대기오염 | SO2 | 일인당 SO2 |
| | | | GDP당 SO2 |
| | | NOx | - |
| | | NMVOC | - |
| | | 오존 | - |
| | 수질/수량 | 수질지수 | - |
| | | 수자원압력지수 | - |
| | | 수자원희소성지수 | |
| | | - | 수량변화 |
| | 생물다양성 | 생물군보호 | 생물군보호 |
| | | 해양보호 | 해양보호 |
| | | 주요서식처보호 | 주요서식처보호 |
| | 농업 | 농업용수집약도 | - |
| | | 농업보조금 | 농업보조금 |
| | | 농약규제 | 농약규제 |
| | 삼림 | 입목축적변화 | 입목축적변화 |
| | | 심림지역 | 삼림지역 |
| | | - | 산림손실 |
| | 어업 | 해양생태계 | - |
| | | 어업강도 | 어업강도 |
| | | - | 초과어획량 |
| | 기후변화 | 1인당 CO2 배출량 | 1인당 CO2 배출량 |
| | | 발전부문온실가스집약도 | KWH당 CO2 배출량 |
| | | 산업부문온실가스집약도 | GDP당 CO2 배출량 |
| | | - | 재생에너지 |

※ 자료: WEF 보고서(2010; 2012) 재구성.

## 3. 2012 EPI 결과

2012 EPI 평가결과는 <표 3>과 같다. 국가별 순위에서 스위스(76.7), 라트비아(70.4), 노르웨이(69.9), 룩셈부르크(69.9), 코스타리카(69.0) 등이 최상위 그룹으로 평가되고 있으며, 남아프리카 공화국(34.5), 카자흐스탄(32.9), 우즈베키스탄(32.2), 투르크메니스탄(31.8), 이라크(25.3) 등이 최하위 그룹으로 평가되고 있다.

www.kci.go.kr

<표 3> 2012 EPI 평가결과: 국가별 순위

| 순위 | 국가 | 순위 | 국가 | 순위 | 국가 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 스위스 | 45 | 헝가리 | 89 | 모잠비크 |
| 2 | 라트비아 | 46 | 우루과이 | 90 | 앙골라 |
| 3 | 노르웨이 | 47 | 그루지아 | 91 | 가나 |
| 4 | 룩셈부르크 | 48 | 호주 | 92 | 콩고민주공화국 |
| 5 | 코스타리카 | 49 | 미국 | 93 | 아르메니아 |
| 6 | 프랑스 | 50 | 아르헨티나 | 94 | 레바논 |
| 7 | 오스트리아 | 51 | 쿠바 | 95 | 콩고 |
| 8 | 이탈리아 | 52 | 싱가포르 | 96 | 트리니다드토바고 |
| 9 | 영국 | 53 | 불가리아 | 97 | 마케도니아 |
| 10 | 스웨덴 | 54 | 에스토니아 | 98 | 세네갈 |
| 11 | 독일 | 55 | 스리랑카 | 99 | 튀니지 |
| 12 | 슬로바키아 | 56 | 베네수엘라 | 100 | 카타르 |
| 13 | 아이슬란드 | 57 | 잠비아 | 101 | 키르기스스탄 |
| 14 | 뉴질랜드 | 58 | 칠레 | 102 | 우크라이나 |
| 15 | 알바니아 | 59 | 캄보디아 | 103 | 세르비아 |
| 16 | 네덜란드 | 60 | 이집트 | 104 | 수단 |
| 17 | 리투아니아 | 61 | 이스라엘 | 105 | 모로코 |
| 18 | 체코 공화국 | 62 | 볼리비아 | 106 | 러시아 |
| 19 | 핀란드 | 63 | 자메이카 | 107 | 몽골 |
| 20 | 크로아티아 | 64 | 탄자니아 | 108 | 몰도바 |
| 21 | 덴마크 | 65 | 벨라루스 | 109 | 터키 |
| 22 | 폴란드 | 66 | 보츠와나 | 110 | 오만 |
| 23 | 일본 | 67 | 아이보리 코스트 | 111 | 아제르바이잔 |
| 24 | 벨기에 | 68 | 짐바브웨 | 112 | 카메룬 |
| 25 | 말레이시아 | 69 | 미얀마 | 113 | 시리아 |
| 26 | 브루나이 | 70 | 에티오피아 | 114 | 이란 |
| 27 | 콜롬비아 | 71 | 온두라스 | 115 | 방글라데시 |
| 28 | 슬로베니아 | 72 | 도미니카 공화국 | 116 | 중국 |
| 29 | 대만 | 73 | 파라과이 | 117 | 요르단 |
| 30 | 브라질 | 74 | 인도네시아 | 118 | 아이티 |
| 31 | 에콰도르 | 75 | 엘살바도르 | 119 | 나이지리아 |
| 32 | 스페인 | 76 | 과테말라 | 120 | 파키스탄 |
| 33 | 그리스 | 77 | 아랍에미리트 | 121 | 타지키스탄 |
| 34 | 태국 | 78 | 나미비아 | 122 | 에리트레아 |
| 35 | 나이지리아 | 79 | 베트남 | 123 | 리비아 |
| 36 | 아일랜드 | 80 | 베냉 | 124 | 보스니아 헤르체코비나 |
| 37 | 캐나다 | 81 | 페루 | 125 | 인도 |
| 38 | 네팔 | 82 | 사우디아라비아 | 126 | 쿠웨이트 |
| 39 | 파나마 | 83 | 케냐 | 127 | 예멘 |
| 40 | 가봉 | 84 | 멕시코 | 128 | 남아프리카공화국 |
| 41 | 포르투갈 | 85 | 토고 | 129 | 카자흐스탄 |
| 42 | 필리핀 | 86 | 알제리 | 130 | 우즈베키스탄 |
| 43 | 대한민국 | 87 | 몰타 | 131 | 투르크메니스탄 |
| 44 | 키프로스 | 88 | 루마니아 | 132 | 이라크 |

※ 자료: WEF 보고서(2012) 재구성.

www.kci.go.kr

한국은 43위(57.0)로 평가되어 132개국 중 중상위그룹을 형성하고 있다. 핵심구성요소별 한국의 순위는 환경보건 32위(91.3), 생태계 건전성 87위(42.6)로 나타나고 있다. 정책지표별로는 환경보건(23위; 94.5), 물보건(38위; 87.5), 대기오염(40위; 53.7) 등은 상대적으로 강점을 가지고 있다고 평가된 반면 어업(101위; 13.7), 농업(104위; 36.6), 기후변화(112위; 22.7) 등은 다른 부문에 비해 매우 취약한 것으로 평가되고 있다. (<표 4>).

**<표 4> 2012 EPI 핵심구성요소·정책지표·측정변수별 한국의 순위 및 점수**

| 핵심구성요소 | | | 정책지표 | | | 측정변수 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 요소 | 순위 | 점수 | 지표 | 순위 | 점수 | 변수 | 순위 | 점수 |
| 환경보건 | 32 | 91.3 | 환경보건 | 23 | 94.5 | 영유아사망률 | 23 | 94.5 |
| | | | 물보건 | 38 | 87.5 | 실내공기오염 | 1 | 100.0 |
| | | | | | | 미세먼지 | 95 | 78.0 |
| | | | 대기보건 | 51 | 89.0 | 식수접근성 | 50 | 100.0 |
| | | | | | | 물위생 | 1 | 74.9 |
| 생태계 건전성 | 87 | 42.6 | 대기오염 | 40 | 53.7 | 일인당SO2 | 58 | 42.3 |
| | | | | | | GDP당SO2 | 17 | 65.0 |
| | | | 수질/수량 | 84 | 22.8 | 수량변화 | 84 | 22.8 |
| | | | 생물다양성 | 58 | 64.8 | 생물군보호 | 96 | 34.2 |
| | | | | | | 해양보호 | 42 | 77.4 |
| | | | | | | 주요서식지보호 | N.A. | N.A. |
| | | | 삼림 | 63 | 83.2 | 입목축적변화 | 1 | 70.1 |
| | | | | | | 삼림지역 | 79 | 100.0 |
| | | | | | | 삼림손실 | 53 | 79.7 |
| | | | 어업 | 101 | 13.7 | 어업강도 | 95 | 7.0 |
| | | | | | | 초과어획량 | 71 | 20.4 |
| | | | 농업 | 104 | 36.6 | 농업보조금 | 120 | 7.2 |
| | | | | | | 농약규제 | 1 | 95.5 |
| | | | 기후변화 | 112 | 22.7 | 일인당CO2배출량 | 116 | 22.4 |
| | | | | | | KWHCO2배출량 | 77 | 9.2 |
| | | | | | | GDP당CO2배출량 | 91 | 38.1 |
| | | | | | | 재생에너지 | 110 | 1.0 |

※ 자료: WEF 보고서(2012) 재구성.

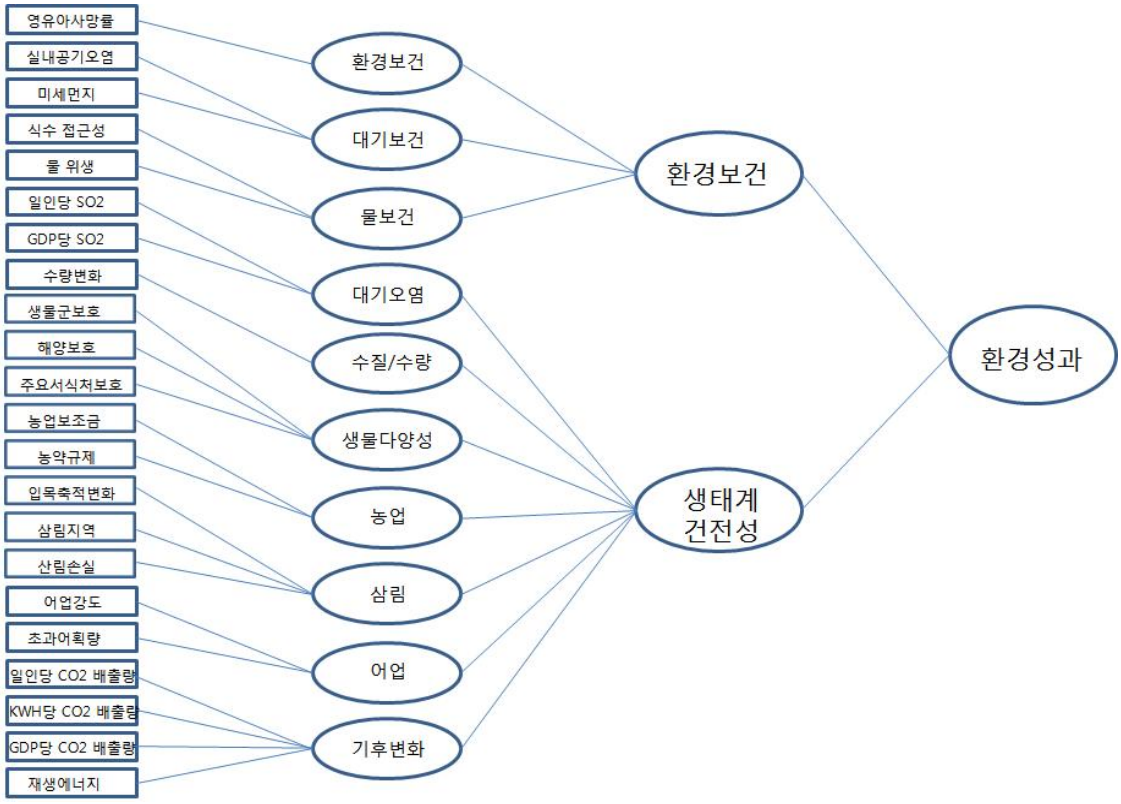
## Ⅲ. 연구방법

### 1. 분석모형

2012 EPI의 구성체계를 근거로 본 연구에서는 <그림 1>과 같은 2012 EPI 분석모형을 구축하였다. 환경성과는 환경보건, 생태계 건전성의 2개의 요인으로 구성되어 있고 EPI의 정의와 같이 본 2012 EPI 분석모형에서는 각각의 요인의 성과가 높을수록 한 국가의 환경성과는 높아진다고 가정한다. 또

www.kci.go.kr

한 각 요인들은 10개의 정책지표들로 구성되어 있다. 환경보건은 환경보건, 대기보건, 물보건, 생태계 건전성은 대기오염, 수질/수량, 생물다양성, 농업, 삼림, 어업, 기후변화로 구성되어 있다. 10개의 정책지표는 22개의 측정변수로 측정된다. 환경보건은 영유아사망률, 대기보건은 실내공기오염, 미세먼지, 물보건은 물위생, 일인당 대기오염은 일인당 SO2, GDP당 SO2, 수질/수량은 수량변화, 생물다양성은 생물군보호, 해양보호, 주요서식처보호, 농업은 농업보조금, 농약규제, 삼림은 입목축적변화, 삼림지역, 산림손실, 어업은 어업강도, 초과어획량, 일인당 CO2 배출량, KWH당 CO2 배출량, GDP당 CO2 배출량, 재생에너지로 측정된다.




<그림 1> 2012 EPI 분석모형

## 2. 분석방법

본 연구는 EPI연구진에 의해 개발된 2012 환경성과 측정변수의 타당도 및 신뢰도를 분석하고 위에서 제시한 2012 EPI 분석모형을 검증하고자 한다. 2012 EPI 분석모형 검증에서는 22개의 측정변수를 설명하는 각각의 10개의 정책지표 모형, 10개 정책지표를 설명하는 각각의 2개의 구성요인(환경보건, 생태계 건전성) 모형, 2개의 구성요인을 설명하는 환경성과 모형을 검증하고자 한다. 분석방법으로는

www.kci.go.kr

확인적 요인분석(confirmatory factor analysis), 주성분분석(principal component analysis), 고차요인분석(higher order factor analysis) 등의 통계분석을 수행하였다.[2] 분석자료는 2012 EPI 연구진에서 제공한 22개의 측정변수에 대한 132개국의 원시자료를 활용하였다.

## Ⅳ. 분석결과

### 1. 타당도 및 신뢰도 분석

2012 EPI 연구진에 의해 개발된 측정변수들에 대한 타당도 분석을 위해 단일차원의 각 구성개념의 내용타당성, 구성개념타당성 검증을 실시하였다. 내용타당성에서 본 연구의 측정변수들은 2012 EPI 보고서에서 제시된 2012 EPI 구성체계에 관한 설명 및 논리에 의해 내용타당성이 인정된다고 판단할 수 있다. 또한 본 연구에서는 구성개념의 집중타당성과 판별타당성 검증을 위한 확인적 요인분석을 실시하여(채서일, 2005) 각 구성개념의 단일차원에 대한 구성개념타당성을 검증하였다. 구체적으로 확인적 요인분석에서는 공분산행렬을 사용하여 각 구성개념의 측정모형을 검증하였다.[3] 또한 확인적 요인분석에서 구성개념을 측정하기 위한 개별 측정지표 구성의 최적 상태를 도출하기 위한 평가기준으로는 $\chi^2$ 통계량, $\chi^2$에 대한 p-값, 적합지수(goodness of fit index: GFI), 잔차평균자승이중근(root mean square residual: RMR), 근사오차평균자승의 이중근(root mean square error of approximation: RMSEA), 비표준적합지수(non-normed fit index: NNFI), 표준적합지수(normed for index: NFI), 조정적합지수(adjusted goodness of fit index: AGFI) 같은 적합도 지수를 사용하였다.

10개의 정책지표(구성개념)들 중에서 3개 이상의 측정변수들로 구성된 생물다양성, 삼림, 기후변화를 대상으로 확인적 요인분석을 실시하였다. 분석결과(<표 5>), 삼림은 완벽한 적합도를 보여주고 있는 반면 생물다양성, 기후변화는 $\chi^2$ 통계량, $\chi^2$에 대한 p-값, GFI, RMR, RMSEA, NNFI, NFI, AGFI의 권고기준에 충족하지 못하는 것으로 나타나고 있다. 따라서 단일차원에서의 각 구성개념에 대한 확인요인분석을 통해 삼림은 구성개념타당성이 확보되었다고 할 수 있는 반면 생물다양성, 기후변화는 단일차원성과 집중타당성, 그리고 판별타당성과 같은 구성개념타당성이 낮게 나타나고 있다.

**<표 5> 구성개념별 확인적 요인분석 결과**

2) 고차요인분석은 고차의 잠재변수와 저차의 잠재변수 간의 구조적 관계를 설명하기 위한 통계분석방법으로 지표들 간의 관계, 지수구조 등을 설명하기 위한 방법으로 적용되고 있다(Gerbing & Anderson, 1984).

3) 확인적 요인분석에서는 모든 요인들의 고유값은 허용치인 1.0으로 설정함(Hair *et. al.,* 2006).

www.kci.go.kr

| 구성개념 | $\chi^2$ | p-값 | GFI | RMR | RMSEA | NNFI | NFI | AGFI |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 생물다양성 | 108.97 | 0.000 | 0.800 | 63.032 | 0.430 | 0.670 | 0.400 | 0.520 |
| 삼림 | 0.000 | 1.000 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 기후변화 | 33.100 | 0.000 | 0.890 | 67.480 | 0.340 | 0.520 | 0.840 | 0.440 |

환경보건, 대기보건, 물보건, 대기오염, 수질/수량, 농업, 어업은 각각 1~2개의 측정변수로 구성되어 있어 확인적 요인분석 검증이 방법론적으로 어려워 본 연구에서는 주성분분석을 통해 22개의 측정변수들에 대한 10개의 정책지표(구성요인)들의 구성개념 타당성을 추가적으로 검증하였다. 주성분분석에서는 각 구성요인 간의 상관성을 가정하고 지표를 검증하기 위해 사각회전(oblique, oblimin rotation) 방식을 적용하였고, 요인분석 평가기준으로 고유치(eigenvalue)를 1이상으로 설정하였다(Hair *et. al.,* 2006).

요인분석결과(<표 6>), 22개 측정변수들은 7개의 요인으로 묶이는 것을 확인할 수 있으며 요인1은 전체변량의 35.031%, 요인2는 12.742%, 요인3은 10.176%, 요인4는 7.784%, 요인5는 5.621%, 요인6은 5.224%, 요인7은 4.729%를 설명하고 있다. 각 요인에 대한 측정변수들의 요인적재량 분석결과, 환경보건, 대기보건, 물보건, 대기오염, 수질/수량, 생물다양성, 농업, 삼림, 어업, 기후변화를 구성하는 측정변수들의 경우 집중 타당성과 판별타당성 등의 구성개념 타당성이 매우 낮음을 보여주고 있다.

**<표 6> 요인분석결과(사각회전, 고유치≥1)**

www.kci.go.kr

| 측정변수 | 요인1 | 요인2 | 요인3 | 요인4 | 요인5 | 요인6 | 요인7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 영유아사망률 | -0.881 | -0.261 | 7.317E-02 | -7.974E-02 | 0.440 | -0.172 | -0.309 |
| 실내공기오염 | -0.926 | -0.176 | 6.817E-02 | 9.936E-02 | 0.227 | -0.265 | -0.193 |
| 미세먼지 | -0.446 | 0.145 | -0.145 | -0.543 | 0.364 | 0.209 | 0.358 |
| 식수접근성 | -0.912 | -0.218 | 0.168 | 5.265E-02 | 0.327 | -0.378 | -0.193 |
| 물위생 | -0.945 | -0.118 | 7.108E-02 | -9.985E-02 | 0.212 | -0.289 | -0.251 |
| 일인당 SO2 | 0.646 | 0.483 | -0.341 | 4.251E-02 | -0.658 | 0.193 | 0.443 |
| GDP당 SO2 | -7.367E-02 | 0.445 | -0.252 | 0.144 | -0.639 | 1.701E-02 | 0.530 |
| 수량변화 | 0.265 | 0.390 | -8.540E-02 | 6.387E-03 | -0.171 | 0.181 | 0.881 |
| 생물군보호 | 0.194 | 0.256 | -0.244 | -0.231 | -0.133 | -0.245 | 0.770 |
| 해양보호 | -0.339 | -1.406E-03 | 0.284 | -9.144E-02 | 0.812 | -0.110 | -6.386E-02 |
| 주요서식처보호 | -0.327 | -0.122 | -0.211 | -0.135 | 7.005E-02 | -0.795 | 4.732E-02 |
| 농업보조금 | 0.261 | -0.248 | -0.521 | -9.195E-02 | -0.384 | 0.321 | 0.502 |
| 농약규제 | -0.682 | -0.260 | -8.999E-02 | 9.831E-02 | 0.561 | 2.806E-02 | -0.274 |
| 입목축적변화 | 0.579 | 9.108E-02 | 0.281 | -0.155 | -0.537 | 0.398 | 0.190 |
| 삼림지역 | -0.447 | -0.355 | 0.656 | -9.352E-02 | 0.137 | -5.816E-02 | -0.468 |
| 산림손실 | -3.687E-03 | 7.769E-02 | 0.857 | -4.476E-02 | 0.274 | 0.104 | -0.117 |
| 어업강도 | 0.207 | 0.100 | -0.145 | -0.899 | 9.371E-03 | 6.220E-02 | -0.185 |
| 초과어획량 | 0.213 | -8.944E-02 | -0.351 | 0.799 | -7.901E-02 | 0.207 | 8.240E-02 |
| 일인당CO2배출량 | 0.795 | 0.333 | -0.265 | -8.373E-02 | -0.367 | 0.502 | 0.328 |
| KWH당CO2배출량 | 0.356 | 0.686 | -0.285 | -0.131 | -0.420 | 0.533 | 0.264 |
| GDP당CO2배출량 | 0.127 | 0.886 | 6.496E-02 | -0.120 | 4.628E-03 | 8.132E-02 | 0.224 |
| 재생에너지 | 0.258 | 0.885 | -9.726E-02 | -0.117 | -0.234 | 0.111 | 0.437 |
| 고유치 | 7.707 | 2.803 | 2.239 | 1.713 | 1.235 | 1.149 | 1.040 |
| 분산설명률(%) | 35.031 | 12.742 | 10.176 | 7.784 | 5.612 | 5.224 | 4.729 |

기준타당성(criteria-related validity)은 하나의 속성이나 개념의 상태에 대한 측정이 미래시점에 있어서 다른 속성이나 개념의 상태변화를 예측하는 능력을 의미한다. 본 연구의 경우 기준타당성은 10개의 구성요인(정책지표)들의 연관성 검증을 통해 분석할 수 있다(이군희, 2008; 김계수, 2010). 따라서 상관관계 분석결과가 유의한 경우 기준타당성을 만족한다고 할 수 있다(Pedhazur & Schmelkin, 1991) 본 연구에서는 산술평균값을 활용하여 구성개념 간 상관관계 분석을 수행하였다. 산술평균값을 사용하는 목적은 측정오차를 줄이고 단일차원으로 구성개념의 대표성을 높이는데 있다. 평균점수가 높을수록 구성개념에 더 많이 동의한다는 것을 의미한다. 각 구성요인들 간의 상관관계 분석결과, 환경보건과 수질/수량, 생물다양성, 농업, 대기보건과 대기오염, 수질/수량, 농업, 삼림, 물보건과 대기오염, 수질/수량, 농업, 대기오염과 생물다양성, 농업, 삼림, 어업, 수질/수량과 생물다양성, 농업, 삼림, 어업, 생물다양성과 농업, 삼림, 어업, 기후변화, 농업과 삼림, 어업, 기후변화, 삼림과 어업, 기후변화 등 상관관계는 유의미하지 않게 나타나고 있어 구성요인(정책지표)들 간의 기준타당성은 매우 낮다고 판단할 수 있다(<표 7>).

<표 7> 각 구성개념의 상관행렬

www.kci.go.kr

| 구성요인 | 환경 보건 | 대기 보건 | 물 보건 | 대기 오염 | 수질/ 수량 | 생물 다양성 | 농업 | 삼림 | 어업 | 기후 변화 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 환경보건 | 1.000 | | | | | | | | | |
| 대기보건 | 0.746** | 1.000 | | | | | | | | |
| 물보건 | 0.878** | 0.738** | 1.000 | | | | | | | |
| 대기오염 | -0.188* | -0.084 | -0.166 | 1.000 | | | | | | |
| 수질/수량 | -0.168 | -0.082 | -0.168 | 0.347** | 1.000 | | | | | |
| 생물다양성 | 0.285 | 0.337* | 0.324* | -0.088 | 0.111 | 1.000 | | | | |
| 농업 | 0.137 | 0.126 | 0.032 | 0.059 | -0.005 | 0.028 | 1.000 | | | |
| 삼림 | 0.299** | 0.163 | 0.335** | -0.180 | -0.077 | -0.213 | -0.072 | 1.000 | | |
| 어업 | 0.212* | -0.224* | -0.300** | 0.053 | -0.101 | -0.120 | 0.081 | -0.091 | 1.000 | |
| 기후변화 | -0.473** | -0.466** | -0.466** | 0.463** | 0.382** | -0.171 | 0.025 | -0.184 | 0.046 | 1.000 |

각 구성요인의 측정변수들의 일관성 및 정확도, 즉 확률오차로부터의 영향정도를 검증하기 위해 측정변수의 신뢰도를 분석하였다. 본 연구에서는 측정변수들의 측정값들의 분산을 활용하여 측정변수의 신뢰도를 분석하였고 구체적인 측정방법으로 각 구성요인의 측정변수들에 대한 내적일관성 신뢰도(internal consistency reliability) 측정을 위한 Cronbach's α 및 개념 신뢰도(construct reliability: CR), 각 구성요인에 대해 측정변수가 설명할 수 있는 분산의 정도를 측정하는 평균분산추출(average variance extracted: AVE)을 실시하였다.[4] <표 8>은 단일차원에서의 각 구성개념에 대한 측정변수들의 신뢰도를 보여주고 있다. 물보건, 대기오염, 기후변화의 Cronbach's α, CR, AVE는 모두 기준치 이상으로 단일차원에서의 각 구성개념의 측정변수들의 신뢰도가 높음을 보여주고 있는 반면 대기보건, 생물다양성, 농업, 삼림, 어업의 측정변수들의 신뢰도는 낮게 나타나고 있다.

**<표 8> 신뢰성 분석결과**

| 구성개념 | Cronbach's α | CR | AVE |
|---|---|---|---|
| 대기보건 | 0.3604 | 0.3797 | 0.3395 |
| 물보건 | 0.9104 | 0.9321 | 0.8898 |
| 대기오염 | 0.7478 | 0.7701 | 0.7302 |
| 생물다양성 | 0.4909 | 0.5097 | 0.4689 |
| 농업 | -1.1558 | -1.1343 | -1.1745 |
| 삼림 | 0.5079 | 0.5289 | 0.4887 |
| 어업 | -0.6657 | -0.6369 | -0.6775 |
| 기후변화 | 0.7905 | 0.8101 | 0.7796 |

## 2. 2012 EPI 모형검증

4) 일반적으로 내적 일관성 신뢰도 측정의 경우, 측정지표의 수와 개인차의 범위가 신뢰도 계수의 크기에 영향을 미친다. 측정지표의 수가 많은 측정치는 적은 항목의 측정치보다 신뢰도가 높은 경향이 있고, 또한 신뢰도 계수는 상관관계를 반영하기 때문에 개별사례의 점수 차이 범위가 크면 신뢰도가 높게 나타나는 경향이 있다(배병렬, 2006). 따라서 본 연구의 신뢰도 분석에서는 분산추출지수 분석을 추가적으로 수행하였다.

www.kci.go.kr

본 연구는 환경성과의 이론적 배경을 근거로 제시된 2012 EPI 분석모형을 검증하기 위해 고차요인분석을 수행하였다. 본 연구에서 검증하고자 하는 요인분석모형은 22개의 측정변수를 설명하는 10개의 1차 구성요인(환경보건, 대기보건, 물보건, 대기오염, 수질/수량, 생물다양성, 농업, 삼림, 어업, 기후변화)의 1차 요인모형(first-order factor analysis), 1차 구성요인을 설명하는 2차 구성요인(환경보건, 생태계 건전성)의 2차 요인모형(second-order factor analysis), 2차 구성요인을 설명하는 3차 구성요인(환경성과)의 3차 요인모형(third-order factor analysis)으로 구성되어 있다.

고차요인분석을 수행하기 위해 LISREL 8.8을 이용하여 고차요인분석을 실시하였고 측정방법은 최대우도법(maximum likelihood: ML)을 적용하였다. 고차요인분석은 2012 EPI 모형에서 제시하고 있는 가정에 모형이 얼마나 적합한가를 평가하는 절차이다. 공분산행렬을 활용하여 분석한 측정변수와 구성요인 간의 고차요인분석 결과는 다음과 같다(<표 9>).

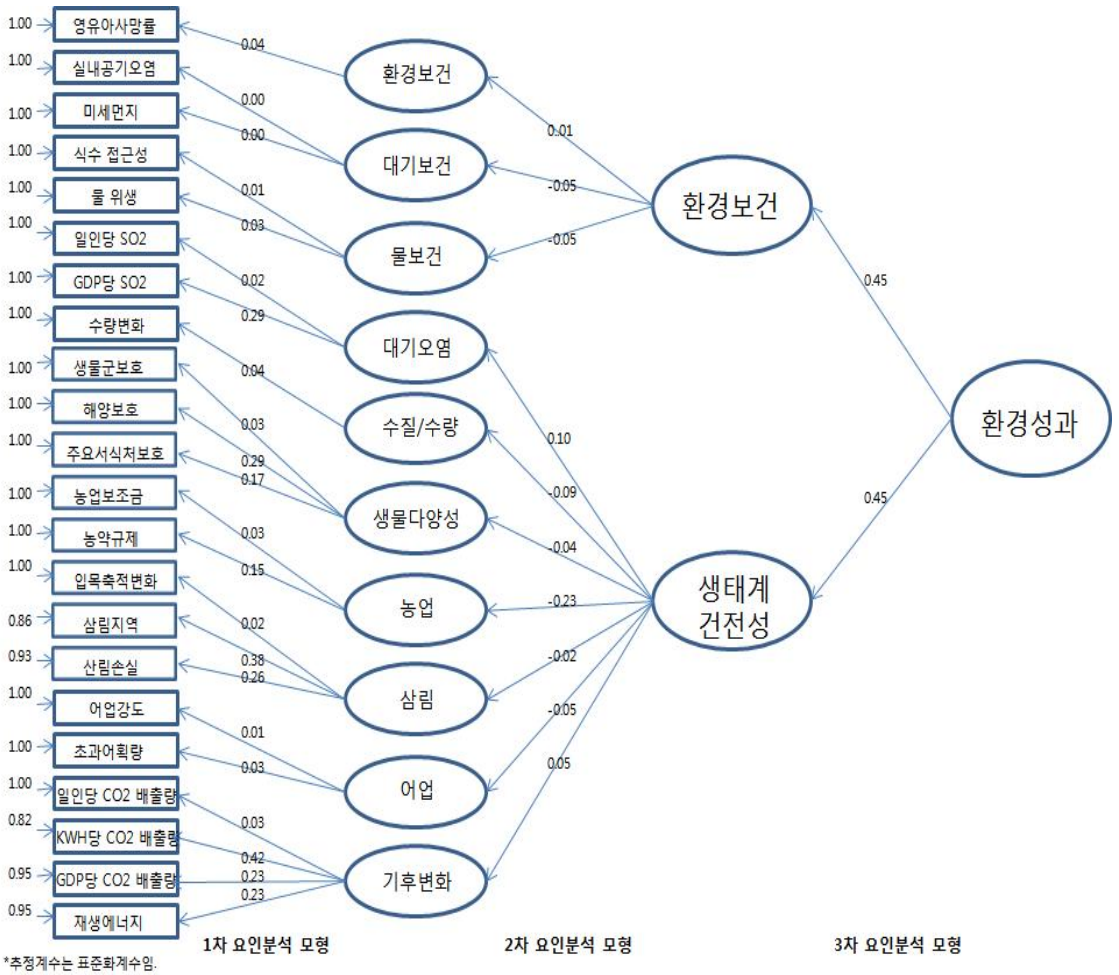
**<표 9> 2012 EPI 모형 적합도 결과**

| 적합도 지수 | 절대적합지수[5] | | | | 증분적합지수[6] | | | 간명적합지수[7] | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\chi^2$ | GFI | RMR | RMSEA | NNFI | NFI | CFI | AGFI | PNFI | PGFI |
| 값 | 853.83<br>df=197<br>p=0.00 | 0.48 | 221.87 | 0.21 | 0.23 | 0.0083 | 0.00 | 0.33 | 0.0071 | 0.37 |

2012 EPI모형의 $\chi^2$는 853.83(df=197)이고 p-값은 0.00으로 나타났으며 절대적합지수에서 GFI=0.48, RMR=221.87, RMSEA=0.21, 증분적합지수에서 NNFI=0.23, NFI=0.0083, CFI=0.00, 간명적합지수에서 AGFI=0.33, PNFI=0.0071, PGFI=0.37로 나타내고 있어 본 연구의 2012 EPI 모형과 자료가 잘 부합되지 않음을 나타내고 있다. 표준화잔차(standardized residuals)[8]에 의한 2012 EPI모형의 세부평가에서 22개 측정변수들의 표준화 잔차는 기준치보다 높게 나타나고 있어 2012 EPI 모형이 측정지표들 간의 관계를 과대 또는 과소 설명하는 것으로 나타나고 있다(<부록1> 참조).

5) 절대적합지수는 제안모델이 관찰된 상관/공분산행렬을 예측하는 정도를 나타내는 지수이다.
6) 증분적합지수는 제안모델을 기초모델(제약모델)과 비교한 지수를 나타낸다.
7) 간명적합지수는 모델이 적합수준에 도달하기 필요한 추정모수의 수를 고려한 지수를 나타낸다.
8) 표준화잔차는 잔차행렬의 각 원소들을 표준화시킨 값이며 표준화잔차가 높을수록 추정변수에 이상이 있음을 의미한다(Jorekog & Sorbom, 1989).

www.kci.go.kr




<그림 2> 고차요인분석결과

측정모형의 평가에서 환경보건의 측정변수인 영유아사망률(1.00), 대기보건의 실내공기오염(1.00), 미세먼지(1.00), 물보건의 식수접근성(1.00), 물위생(1.00), 대기오염의 일인당 SO2(1.00), GDP당 SO2(1.00), 수질/수량의 수량변화(1.00), 생물다양성의 생물군보호(1.00), 해양보호(1.00), 주요서식처보호(1.00), 농업의 농업보조금(1.00), 농약규제(1.00), 삼림의 입목축적변화(1.00), 삼림지역(0.86), 산림손실(0.93), 어업의 어업강도(1.00), 초과어획량(1.00), 기후변화의 일인당 CO2 배출량(1.00), KWH당 CO2 배출량(0.82), GDP당 CO2 배출량(0.95), 재생에너지(0.95) 등의 측정오차가 매우 높게 나타나고 있고 이러한 높은 측정오차가 전체적으로 2012 EPI 모형이 적합도를 좋지 않게 만들고 있음을 보여주고 있다(<그림 2>). 즉 이론적으로 이러한 높은 측정오차의 고유분산(unique variance)은 앞에서 신뢰도 계수에 의해 추정된 확률오차와 측정지표가 잠재변수들과 상관하고 있는 체계적 오차로 구성되어 있음을 추론할 수 있다. 따라서 다차원적 구성개념의 2012 EPI 모형에서 측정모형의 신뢰성 및 타당성의 문제점이 지적된다.

www.kci.go.kr

## Ⅴ. 결론 및 논의

2012 EPI는 기본적으로 환경정책 목표 대비 상대적 현재의 수준평가를 위한 목표근접접근 적용을 통해 환경성과에 기초한 환경성과 평가시스템을 구축하였다. 2012 EPI의 산정자료인 22개 측정변수에 대한 132개국의 행렬자료는 다차원적인 데이터베이스를 나타내고 있어 매우 효과적인 환경정책결정수단으로서의 기능을 할 수 있다. 즉 2012 EPI의 정책지표에 대한 국가 간의 자료는 각 국가의 환경적 장점 및 단점을 비교·분석해서 벤치마킹을 위한 환경성과 파악, 목표설정, 현황 및 변화추적 등이 가능하다. 더욱이 2012 EPI와 환경자료는 정부차원에서 광범위하게 적용될 수 있고 정부는 중요한 환경자원 현황, 바람직한 오염억제 정책수립, 다른 지역에서 성공한 전략에 대한 중요한 정책정보를 제공한다.

반면 2012 EPI 분석결과, 2012 EPI 모형은 타당성 및 신뢰성 측면에서 심각한 문제를 나타내고 있다. 각 구성개념의 타당도 및 신뢰도 분석결과에서 2012 EPI의 구성개념인 환경보건, 대기보건, 물보건, 대기오염, 수질/수량, 생물다양성, 농업, 삼림, 어업, 기후변화는 집중타당성과 판별타당성 등의 구성개념 타당성, 기준타당성이 매우 낮게 나타나고 있다. 또한 신뢰도 분석결과에서 대기보건, 생물다양성, 농업, 삼림, 어업의 신뢰도는 낮게 나타나고 있어 내적일관성에 문제가 있음을 보여주고 있다.

2012 EPI 모형검증을 위한 고차요인분석결과에서 2012 EPI 모형적합도가 매우 낮게 나타나고 있고 측정모형의 평가에서 환경보건의 측정변수인 영유아사망률, 대기보건의 실내공기오염, 미세먼지, 물보건의 식수접근성, 물위생, 대기오염의 일인당 SO2, GDP당 SO2, 수질/수량의 수량변화, 생물다양성의 생물군보호, 해양보호, 주요서식처보호, 농업의 농업보조금, 농약규제, 삼림의 임목축적변화, 삼림지역, 산림손실, 어업의 어업강도, 초과어획량, 기후변화의 일인당 CO2 배출량, KWH당 CO2 배출량, GDP당 CO2 배출량, 재생에너지 등의 측정오차가 매우 높게 나타나고 있어 2012 EPI 모형과 자료가 잘 부합되지 않음을 보여주고 있다. 따라서 본 연구의 분석결과를 기초로 2012 EPI의 문제점과 향후 보다 개선된 EPI 개발을 위한 고려사항을 검토하면 다음과 같다.

환경성과 개념의 불명확성: Commission for Environmental Cooperation(2000), Global Environmental Management Initiative(1998), Schultz(1999), Segnastam(1999), United Nations Economic Commission for Europe(2006) 등의 기존연구들은 다양한 환경성과의 개념 및 정의들을 제시하고 있다. 이러한 기존연구들의 공통적인 환경성과 개념은 환경정책 및 목표에 대한 시스템의 성과, 즉 환경정책의 효과성으로 정의하고 있는 반면 측정대상인 환경시스템 및 영역들(boundaries)에 대해서는 많은 차이를 보여주고 있다. 2012 EPI는 국가차원의 환경성과 측정을 목적으로 환경성과는 지속적으로 높은 수준의 성과를 생산할 수 있는 능력이라고 정의하고 각국의 환경성과는 환경정책의 환경보전 및 생태계 건전성 성과로 측정될 수 있다고 주장하고 있다(Emerson *et. al.,* 2012). 반면 이

www.kci.go.kr

러한 2012 EPI 환경성과 정의는 이론적 근거 및 논리적 설명이 미흡하고 특히 환경성과에 대한 불명확한 개념정의 및 자의적인 핵심구성요소들의 설정으로 인한 문제점이 지적되고 있다. 따라서 타당성 및 신뢰성이 높은 환경성과 측정을 위해서는 환경성과에 대한 기존의 다양한 개념들에 대한 이론적 검토를 통해 환경성과의 명확한 개념정의 및 이론적 틀의 정립이 필요하다.

지표구성체계의 미정립: 환경평가에서 논리적인 지표선정 및 구성을 위해 보편적으로 제시되고 있는 구성체계는 Press-State-Response(PSR), Driving force-State-Ressponse(DSR), Driving force-Pressure-State-Impact-Response (DPSIR) 등이 있고(Hammond *et. al.,* 1995; OECD, 1998; 2001; Smeets & Weterings, 1999), 이러한 구성체계는 환경평가의 관점에 따라 논리적 지표구성을 위한 인과관계의 틀을 제공한다. 반면 2012 EPI 지표구성의 경우 DSPIR 구조에 따라 지표들을 구성한 것으로 판단되나 이에 대한 명확한 논리 및 설명이 미흡하여 문제점으로 지적된다. 특히 2012 EPI 지표구성에서 성과지표와 비성과지표 간의 상호연계성이 문제점으로 지적되고 있고, 또한 지표구성체계에서 서로 다른 성격의 지표들의 단순 산술적 합계화에 의한 지수도출은 지표들 간의 연계성 및 상호영향관계를 전혀 고려하지 않아 문제점으로 지적된다. 이러한 문제점은 2006~2012 EPI 결과에서 많은 차이점을 보여주고 있고 임의적 지표구성 변화에 따른 평가결과의 비일관성이 심각한 문제로 지적된다. 따라서 기존연구에서 제시하고 있는 지표구성체계를 체계적으로 검토하여 지표들의 성격 및 상호연계성을 반영할 수 있는 지표구성체계의 정립이 필요하다.

방법론적 한계: 첫째 2012 EPI는 가능한 지구적 차원의 환경성과 자료를 기초로 산정하고 있으나 자료의 질 및 유효성의 한계가 지적되고 이러한 한계는 측정지표의 심각한 측정오차를 야기하고 있다. 특히 측정지표들 중에서 주요서식처보호의 경우 유효국가 수가 132개국 중 53개국으로 심각한 결측치를 보여주고 있고 전체 132개 분석대상 국가들 중에서 22개의 측정지표에 대한 전체 자료가 유효한 국가가 35개국에 불과하여 자료의 유효성이 심각한 문제로 지적된다. 또한 2012 EPI의 분석수준이 국가차원이고 대부분 측정지표들의 분석자료가 국가적 수준으로 합계된 표준화된 자료를 활용하고 있는 반면 2012 EPI를 측정하는데 국가별 환경성과와 연관된 사회·경제적 특수성이 반영되지 않아 국가별 EPI의 타당성 저해요인으로 지적될 수 있다. 따라서 국가별 사회·경제적 변수를 고려할 수 있는 접근방법, 자료의 질 및 유효성을 제고할 수 있는 방안이 고려되어야 한다.

둘째 2012 EPI는 국가 간 상대적 비교를 위해 모든 지표 측정값을 표준화하고 가중치를 부여하여 산정하고 있으나 지수산정의 타당성 및 현실성이 문제로 지적된다. 표준화의 경우 2012 EPI에서 적용하고 있는 단순 정규화 $I=(x-xm/\sigma)$ 방법은 국가 간 비교를 위해 현실적이지 못한 문제점이 지적된다. 따라서 기존 방법론에서 제시하고 있는 서열화 I=Rank(x), 최소-최대 I=[x-Min(x)]/[Max(x)-Min(x)], 참고점(reference point)로부터 거리, 범주별 점수화, 평균이상과 이하의 점수화 등의 다양한 표준화 방법의 적용이 필요하다(OECD, 2008). 또한 2010 EPI에서는 핵심구성요소인 환경보건과 생태계 건전성 측정치에 대해 동일 가중치(50% : 50%)를 적용하여 EPI를 산정하였으나 2010 EPI 결과가 환경보건에 의해 상대적으로 보다 높은 영향력을 받는다는 비판이 지속적 지적되었다(Michaela & Andrea, 2010).

www.kci.go.kr

따라서 2012 EPI에서는 핵심구성요소인 환경보건과 생태계 건전성 측정치에 대한 가중치를 재조정하여(30% : 70%) 2012 EPI를 산정하고 있지만 보편적으로 공유되지 않은 우선순위 및 가치체계에 의해 2012 EPI결과가 왜곡되는 경향이 있다. 즉 가중치 결정에 대한 이론적 근거가 부족하고 전체 환경성과 수준을 나타내는데 편견 및 해석상의 문제가 발생할 가능성이 있다(Mayer, 2008). 더욱이 2010 EPI와 2012 EPI 결과를 비교하면 상이한 결과를 보여주고 있는데 이러한 결과는 지표구성 변화에 따른 결과로 추정할 수 있어 지표구성 및 가중치 변화에 따른 EPI의 민감성도 문제점으로 지적될 수 있다. 따라서 이론적 근거가 부족한 임의적 가중치 적용보다는 일반적으로 가중치 산정에 활용되는 통계적 방법, 전문가 판단방법 등의 다양한 방법을 적용하여 보다 현실적인 가중치를 산정·적용해야 한다.

셋째, 2012 EPI에서의 목표근접방법을 적용하여 22개 측정지표에 정책목표를 설정하여 환경성과를 측정하고 있으나 객관적이고 명확한 목표기준 설정보다는 과학적 불확실성으로 인한 한계로 대부분이 국제기구 기준 및 협약, 전문가판단을 기초로 정책목표기준을 설정하여 환경성과를 측정하고 있다. 이러한 정책목표설정은 과학적 기준보다는 주관적, 정치적 타협 수준에 의존하고 있어 환경성과 평가 및 측정의 타당성 문제가 지적된다. 또한 2012 EPI의 목표근접방법은 전체 국가들의 통계적 변량을 반영하지 못하고 점진적인 향상 및 악화를 파악할 수 없는 방법론적 한계가 지적된다. 따라서 보다 객관적 정책목표기준 설정 및 각 국가의 EPI의 추세를 파악할 수 있는 방법론의 고려가 필요하다.

마지막으로 2012 EPI는 신뢰성 및 타당성 측면에서 심각한 문제를 나타내고 있으며 정량적 국가환경성과평가의 한계를 보여주고 있어 개선이 요구되고 있다. 따라서 2년마다 발표되는 EPI 순위가 반드시 국가 환경성과를 보장하지 않고 실질적으로 국가 환경성과 수준이 단기적으로 향상되지 않기 때문에 EPI 순위에 과민반응을 하거나 맹목적으로 받아들이는 정책적 대응을 지양하고 중장기적이고 체계적인 접근이 필요하다. 또한 본 연구의 2012 EPI 신뢰성 및 타당성 분석에 기초한 개선방안은 한계가 있으며 보다 체계적인 분석을 위해서는 2006~2012 EPI의 구성요소 및 지표변화에 따른 다년간의 변화추세 분석이 향후 연구로 수행되어야 한다.

## 참고문헌

강상목·이명헌. 2000. 한국의 종합환경지수 산정에 대한 고찰. 자원환경경제연구. 9(3): 461-488.
곽승준·유승훈·장정인. 2003. 해양환경종합지수의 개발. 자원환경경제연구. 12(3): 487-513.
김계수. 2010. AMOS 구조방정식 모형분석. 서울: SPSS 아카데미.
남궁근. 2009. 행정조사방법론. 서울: 법문사.
대한상공회의소 지속가능경영원. 2008. 산업계 기후변화 경쟁력지수. 서울 대한상공회의소.
배병렬. 2006. LISREL 구조방정식모델. 서울: 청람.

www.kci.go.kr

유의선. 2009. 저탄소 녹색성장 종합평가지수 개발. 서울: 과학기술정책연구원.

이군희. 2008. 사회과학연구방법론. 서울: 법문사.

차용진. 2005. 2005 환경지속성지수에 대한 비판적 고찰. 한국행정연구. 14(3): 129-154.

차용진. 2008. 2008 환경성과지수에 대한 비판적 고찰. 정책분석평가학회보. 18(3): 75-94.

채서일. 2005. 사회조사방법론. 서울: 법문사.

Commission for Environmental Cooperation. 2000. *Guidance Document: Improving Environmental Performance and Compliance*. Commission for Environmental Cooperation.

Emerson, J., A. Hsu, M. A. Levy, A. de Sherbinin, V. Mara, D. C. Esty, & M. Jaiteh. 2012. *2012 Environmental Performance Index and Pilot Trend Environmental Performance Index*. New Haven: Yale Center for Environmental Law and Policy.

Emerson, J., D. Esty, M. Levy, C. Kim, A. de Sherbinin, V. Mara, & T. Srebotnjak. 2010. *2010 Environmental Performance Index*. New Heaven: Yale Center for Environmental Law and Policy.

Esty, D., M. Levy, C. Kim, A. de Sherbinin, T. Srebontnjak & V. Mara. 2008. 2008 *Environmental Performance Index*. New Haven: Yale Center for Environmental Law and Policy.

Gerbing, D. W. & J. C. Anderson. 1984. On the Measuring of Within Factor Correlated Measurement Errors. *Journal of Consumer Research*. 11: 572-580.

Global Environmental Management Initiative. 1998. *Measuring Environmental Performance: A Primer and Survey of Metrics in Use*. Global Environmental Performance Measurement Initiative. Washington, DC.

Hair, J. F., R. E. Anderson, R. E. Tatham & W. C. Black. 2006. *Multivariate Data Analysis with Readings*. Englewood Cliffs, NJ: Pretice Hall.

Hammond, A., A. Adriaanse, E. Rodenburg, D. Bryant, R. Woodward. 1995. *Environmental Indicators. World resources Institute*. Washington, DC.

Hope, C. & J. Parker. 1995. Environmental Indices for France, Italy and the UK. *European Environment*. 5: 13-19

Hope, C., J. Parker & S. Peake. 1992. A Pilot Environmental Index for the United Kingdom in the 1980s. *Energy Policy*. April.

Hope, C., J. Parker & S. Peake. 1995. Environmental Indices for France, Italy and the United Kingdom. *European Environment*. 5: 13-19.

Hsu, A. 2012. Measuring Environmental Performance: The Art and Science Quantification. *Researching the Intersection of Information and Environment*. Feb. 12.

Institute for International and European Environmental Policy. 2009. *Analysis of the Yale*

www.kci.go.kr

*Environmental Performance Index (EPI)*. IIEEP: Berlin.

Jesinghause, J. 1995. *The Pressure Indices Project: Theory and Structure*. Working Paper. Eurostat.

Jesinghause, J. 1997. *Pressure Indicators and Indices*. Internal Working Document. Eurostat.

Joreskog, K. G. & D. Sorbom. 1989. LISREL 7: *A Guide to the Program and Applications*. Chicago: Scientific Software International Inc.

Joreskog, K. G. & D. Sorbom. 1993. *Structural Equation Modeling with the SIMPLIS Command Language*. Chicago: Scientific Software International Inc.

Joreskog, K. G. & D. Sorbom. 1996. *LISREL 8 User's Reference Guide*. Chicago: Scientific Software International Inc.

Kang, S. M. 2002. A Sensitivity Analysis of the Korean Composite Environmental Index. *Ecological Economics*. 43: 159-174

Leamer, E. E. 1978. *Specification Searches: Ad Hoc Inference with Nonexterimental Data*. New York: Wiley.

Lewis-Bwck, M. S., A. Bryman & T. F. Lao. 2004. *The Sage Encyclopedia of Social Science Research Methods*. Thousands Oaks CA: Sage.

Mayer, A. 2008. Strengths and Weaknesses of Common Sustainability Indices for Multidimensional Systems. *Environmental International*. 34: 277-291.

OECD. 2008. *Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide*. Paris: France.

OECD. 1988. *Toward Sustainable Development: Environmental Indicators*. OECD, Paris.

OECD. 2001. *OECD Environmental Indicators: Toward Sustainable Development*. OECD. Paris.

Pedhazur, E. J. & L. P. Schmelkin. 1991. *Measurment, Design and Analysis: An Integrated Approach*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.

Saisana, M. & Andrea S. 2010. *Uncertainty and Sensitivity Analysis of the 2010 Environmental Performance Index*. European Commission: Luxembourg.

Schultz, P. C. 1999. *Measures of Environmental Performance and Ecosystem Condition*. The National Academy Press.

Schumacker, R. E. & R. G. Lomax. 1996. *A Beginner's Guide to Structural Equation Modeling*. Lawrence Erlbaum Associates.

Segnestam, L. 1999. *Environmental Performance Indicators*. Environment Department Papers. no. 71. World Bank: Washington, DC.

Smeets, E. & R. Wetering. 1999. *Environmental Indicators: Typology and Overview*. European

www.kci.go.kr

Environmental Agency: Copenhagen.

United Nations Economic Commission for Europe. 2006. *Environmental Performance Review*. UN: NY.

WEF. 2002. *2002 Environmental Sustainability Index*. Geneva: Switzerland

WEF. 2002. *Pilot 2002 Environmental Performance Index*. Geneva: Switzerland

WEF. 2005. *2005 Environmental Sustainability Index*. Geneva: Switzerland

WEF. 2006. *2006 Environmental Performance Index*. Geneva: Switzerland

WEF. 2008. *2008 Environmental Performance Index*. Geneva: Switzerland

WEF. 2010. *2010 Environmental Performance Index*. Geneva: Switzerland

WEF. 2012. *2012 Environmental Performance Index*. Geneva: Switzerland

www.bisd.or.kr/KCCI

www.globalreporting.org/SMEPI

www.greengrowth.go.kr

www.greengrowth.go.kr

www.iso14000.com

www.kemco.or.kr

www.samsung.co.kr/GCI

www.un.org

www.unece.org

www.weforum.org

---

**車溶振**: 미국 New York 주립대학교에서 행정학 박사학위를 취득하고, 현재 숙명여자대학교 행정학과 교수로 재직하고 있다. 주요 관심분야는 환경정책, 정책분석, 위험분석 등이다. 최근 주요 논문으로 “위험인식모형과 원자력위험(2012)”, “원자력위험인식 변화추세 및 정책적 함의(2012)”, “교통안전지수 모형의 타당도 및 신뢰도 분석(2012)” 등이 있다(yjcha209@gmail.com).

투 고 일: 2012년 09월 09일
수 정 일: 2012년 09월 24일
게재확정일: 2012년 10월 02일

www.kci.go.kr

부록 1: 측정변수의 표준화잔차 행렬

| 측정변수 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. 영유아사망률 | - | | | | | |
| 2. 실내공기오염 | 797.90 | - | | | | |
| 3. 미세먼지 | 192.95 | 178.62 | - | | | |
| 4. 식수접근성 | 685.09 | 942.46 | 225.14 | - | | |
| 5. 물위생 | 616.02 | 884.65 | 210.00 | 698.45 | - | |
| 6. 일인당SO2 | -222.79 | -319.59 | -49.48 | -253.91 | -303.75 | - |
| 7. GDP당SO2 | 40.15 | 18.00 | 38.10 | 10.18 | 212.57 | 197.98 |
| 8. 수량변화 | 43.92 | 180.20 | 81.97 | 99.28 | -127.02 | 152.08 |
| 9. 생물군보호 | -35.41 | -61.74 | 63.65 | 98.48 | -137.39 | 58.55 |
| 10. 해양보호 | -16.29 | -34.75 | 17.58 | -13.43 | 4.68 | -131.12 |
| 11. 주요서식처보호 | -50.59 | -208.04 | -161.60 | -30.28 | -157.43 | 148.98 |
| 12. 농업보조금 | 254.66 | 492.26 | 227.29 | 271.73 | 377.13 | -38.37 |
| 13. 농약규제 | 381.49 | 529.86 | 55.71 | 335.48 | 406.30 | -174.97 |
| 14. 입목축적변화 | 127.31 | 29.40 | 40.64 | 147.00 | 279.01 | -45.96 |
| 15. 삼림지역 | 104.15 | -76.73 | -34.03 | 77.82 | 283.75 | -124.52 |
| 16. 산림손실 | -138.83 | -348.01 | 124.44 | -189.66 | -208.73 | -16.00 |
| 17. 어업강도 | -139.31 | -264.11 | -31.62 | -199.36 | -129.76 | 197.37 |
| 18. 초과어획량 | -280.11 | -565.55 | -136.49 | -298.05 | -333.81 | 268.53 |
| 19. 일인당CO2배출량 | -393.36 | -804.59 | 66.28 | -386.52 | -299.09 | 279.20 |
| 20. KWH당CO2배출량 | -61.37 | 99.64 | 58.17 | -87.94 | -26.65 | 123.34 |
| 21. GDP당CO2배출량 | 113.65 | 209.24 | 123.68 | 113.69 | -27.31 | 59.60 |
| 22. 재생에너지 | 23.23 | 179.23 | -17.32 | 59.14 | 94.70 | 74.59 |
| **측정변수** | **7** | **8** | **9** | **10** | **11** | **12** |
| 7. GDP당SO2 | - | | | | | |
| 8. 수량변화 | 71.36 | - | | | | |
| 9. 생물군보호 | 84.02 | 282.43 | - | | | |
| 10. 해양보호 | -147.76 | -136.74 | 186.98 | - | | |
| 11. 주요서식처보호 | 42.22 | -44.37 | 117.58 | -122.18 | - | |
| 12. 농업보조금 | 96.82 | 170.81 | -23.19 | -366.14 | -143.36 | - |
| 13. 농약규제 | -94.62 | -217.48 | -306.65 | 51.53 | 112.84 | -51.18 |
| 14. 입목축적변화 | 290.29 | 65.89 | -7.62 | 31.08 | -218.68 | 344.70 |
| 15. 삼림지역 | 161.35 | -89.12 | -274.99 | 64.16 | -188.74 | 77.00 |
| 16. 산림손실 | -9.43 | -76.97 | 23.40 | -8.62 | -150.45 | -242.68 |
| 17. 어업강도 | 43.52 | -3.08 | 31.78 | -43.87 | 124.71 | -125.30 |
| 18. 초과어획량 | -2.78 | -86.92 | -145.60 | 27.63 | 298.72 | -424.09 |
| 19. 일인당CO2배출량 | 151.86 | -3.38 | 141.82 | -35.78 | 95.89 | 34.60 |
| 20. KWH당CO2배출량 | 41.13 | 61.14 | 35.42 | -111.06 | -189.30 | 99.79 |
| 21. GDP당CO2배출량 | -3.16 | 230.21 | -84.40 | -322.30 | 67.64 | 70.09 |
| 22. 재생에너지 | 127.35 | 105.45 | 37.36 | -131.75 | -118.15 | 102.59 |
| **측정변수** | **13** | **14** | **15** | **16** | **17** | **18** |
| 13. 농약규제 | - | | | | | |
| 14. 입목축적변화 | -162.27 | - | | | | |
| 15. 삼림지역 | 101.32 | 577.53 | - | | | |
| 16. 산림손실 | -274.00 | 4.33 | 89.10 | - | | |
| 17. 어업강도 | -52.71 | -8.76 | -1.03 | -100.32 | - | |
| 18. 초과어획량 | 184.84 | -352.58 | -169.87 | -285.68 | 226.09 | - |
| 19. 일인당CO2배출량 | -477.86 | 146.19 | -54.50 | 354.37 | 134.81 | 148.99 |
| 20. KWH당CO2배출량 | -101.56 | -274.60 | -329.86 | 307.29 | 60.46 | -252.70 |
| 21. GDP당CO2배출량 | 214.25 | -83.83 | -285.16 | -195.19 | 61.73 | 26.89 |
| 22. 재생에너지 | 74.96 | 126.77 | -26.66 | -255.61 | 71.96 | -184.50 |
| **측정변수** | **19** | **20** | **21** | **22** | | |
| 19. 일인당CO2배출량 | - | | | | | |
| 20. KWH당CO2배출량 | 276.97 | - | | | | |
| 21. GDP당CO2배출량 | -190.00 | 162.10 | - | | | |
| 22. 재생에너지 | -71.31 | 48.16 | 409.20 | - | | |

www.kci.go.kr

# An Empirical Study on the Composite Environmental Index

## - A Test of 2012 EPI Model -

Yong Jin Cha

The purposes of this study are to examine the validity and reliability of the 2012 Environmental Performance Index (EPI) and to make suggestions for improving the EPI. The confirmatory factor analyses reveal that the constructs of environmental health, air (effects on human health), water (effects on human health), air (ecosystem effects), water resources (ecosystem effects), biodiversity & habitat, agriculture, forests, fisheries, climate change & energy have low convergent and discriminant validity. The internal consistencies of air (effects on human health), biodiversity & habitat, agriculture, forests, fisheries are also very low. Furthermore, the higher order factor analyses indicate that the fit indices of the EPI model are low. In the measurement model, child mortality, particulate matter, indoor air pollution, access to sanitation, access to drinking water, SO2 per Capita, SO2 per GDP, change in water quantity, critical habitat protection, biome protection, marine protected areas, agricultural subsidies, pesticide regulation, forest growing stock, change in forest cover, forest loss, coastal shelf fishing pressure, fish stocks overexploited, CO2 per Capita, CO2 per GDP, CO2 per KWH, renewable electricity have high measurement errors. The results suggest a bad fit to the data. Based on these findings, this study discusses some considerations to improve the EPI.

**Key words**: 2012 EPI, validity, reliability, higher order factor analysis

www.kci.go.kr