

< 15장. 물질흐름분석을 통한 자원순환정책 >

1. 물질흐름분석의 정의 및 분류

가. 분류방식

1) 물질흐름분석(Material Flow Analysis)의 의미

물질흐름 및 자원생산성에 관한 OECD 가이드(OECD, 2008)에 따르면, 물질흐름분석이란 특정 체계를 관통하는 자연자원 및 물질의 흐름에 대한 연구를 의미한다. 물질흐름분석에는 물질흐름, 인간 활동, 환경변화 사이의 관계를 분석하기 위한 물질수지(mass balance) 원리가 적용되며, 관심 이슈 및 대상에 따라 다양한 범위에서 그리고 상이한 분석수단(SFA, MSA, LCA 등)을 이용해서 분석하는 것이 가능하다.

2) 물질흐름분석의 분류

가) OECD 가이드 분류방식

물질흐름 및 자원생산성에 관한 OECD 가이드(2008)에 따르면 다음과 같은 6개 유형의 물질흐름분석이 있다. 이와 같이 물질흐름분석을 분류하는 방식은 다양하며, 분류기준으로는 분석유형, 관심이슈, 정밀도 및 적용 규모 등이 있다.

- SFA(Substance Flow Analysis)
- MSA(Material System Analysis)
- LCA(Life Cycle Assessments)
- Business level 물질흐름분석
- IOA(Input-Output Analysis)
- EW-MFA(Economy-wide Material Flow Analysis)

(1) 관심이슈에 따른 분류

물질흐름분석은 관심이슈를 기준으로 분류할 수 있는데, 이러한 방식에 따르면 두 가지로 그룹으로 구분 가능하다. ([표 II-1] 참조) 하나의 그룹은 SFA, MSA, LCA 등과 같이 환경영향, 공급안정성, 기술개발 등과 관련된 특정한 사안에 초점을 맞추는 분석이며, 다른 하나의 그룹은 Business level 물질흐름분석, IOA, EW-MFA 등과 같이 일반적인 환경적, 경제적 사안에 초점을 맞추는 분석이다

[표 II-1] 관심이슈에 따른 물질흐름분석 유형

| Issues of concern        | Specific concerns related to environmental impacts, supply security, technology development<br>within certain businesses, economic activities, countries, regions<br>associated with |   |   | General environmental and economic concerns related to the throughput of substances, materials, manufactured goods<br>at the level of |   |   |
|--------------------------|--|---|---|---|---|---|
|                          | Substances   | Materials   | Manufactured goods                      | Businesses  | Economic activities   | Countries, regions  |
|                          | chemical elements or compounds<br>e.g. Cd, Cl, Pb, Zn, Hg, N, P, C, CO <sub>2</sub> , CFC  | raw materials and semi-finished goods<br>e.g. energy carriers, metals (ferrous, non-ferrous), sand and gravel, timber, plastics | e.g. batteries, cars, computers         | e.g. firms, companies, plants, medium sized and big enterprises, MNEs   | e.g. production sectors, chemical industry, iron and steel industry, construction, mining | e.g. aggregate mass of materials (& related materials mix), groups of materials, selected materials |
| Type of analysis         | Ia Substance Flow Analysis   | Ib Material System Analysis   | Ic Life Cycle Analysis and Assessment   | Ila Business level MF analysis  | Ilb Input-Output Analysis   | Ilc Economy-wide MF Analysis  |
| Type of measurement tool | Substance Flow Accounts  | Individual Material Flow Accounts Ⓢ   | Life Cycle Inventories (MF Inventories) | Business Material flow accounts   | Physical Input-Output Tables Ⓢ, Ⓣ, NAMEA-type approaches Ⓢ                                | Economy-wide Material Flow Accounts Ⓢ   |

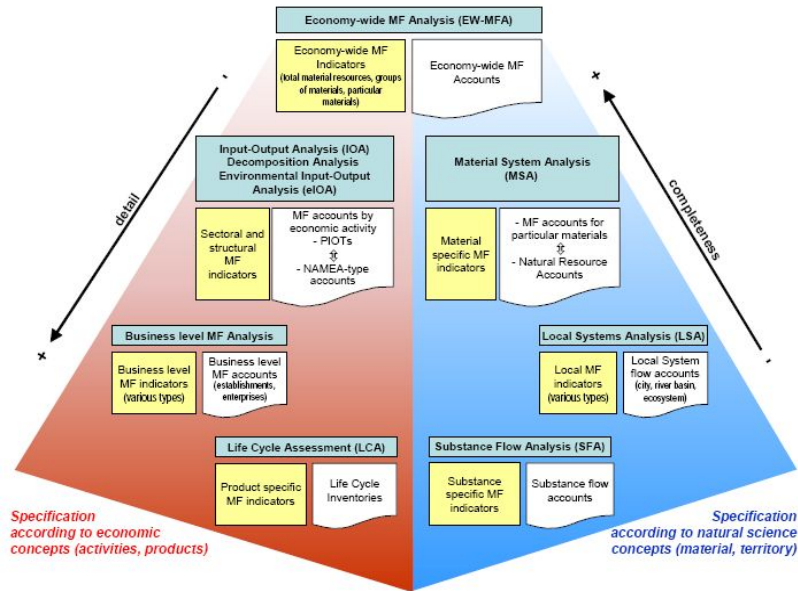
Ⓢ: MFA tools using the materials balance principle. Ⓣ: MFA tools using national accounting principles fully in line with the SEEA.

자료: OECD(2008a).

(2) 시스템경제 및 물질범위에 따른 분류방식

물질흐름분석의 유형을 분류하는 또 다른 기준은 ‘분석대상 시스템의 경계’와 ‘분석대상 물질의 범위’이다. ‘시스템 경계’는 국민경제, 산업, 기업/제품으로 구분되며, ‘물질의 범위’는 전체 물질, 물질그룹, 특정물질(substance)로 구분될 수 있다. 이 두 가지 기준의 조합에 의해 다양한 종류의 물질흐름분석을 유형화하는 것이 가능하며, 이를 보여주는 것이 [그림 II-1]이다. [그림 II-1]의 좌하 방향은 경제활동 부문별 세분화를, 우하 방향은 물질별 세분화를 의미한다. 경제활동과 물질 측면에서 가장 집계된 수준에 있는 것이 범경제물질흐름분석이며, 경제활동 부문 측면에서 가장 세분화된 것이 전과정평가(LCA), 물질 측면에서 가장 세분화된 것이 SFA이다.

[그림 II-1] 시스템경제 및 물질범위에 따른 물질흐름분석 유형



자료: OECD(2008a).

#### 나) 기타 분류방식

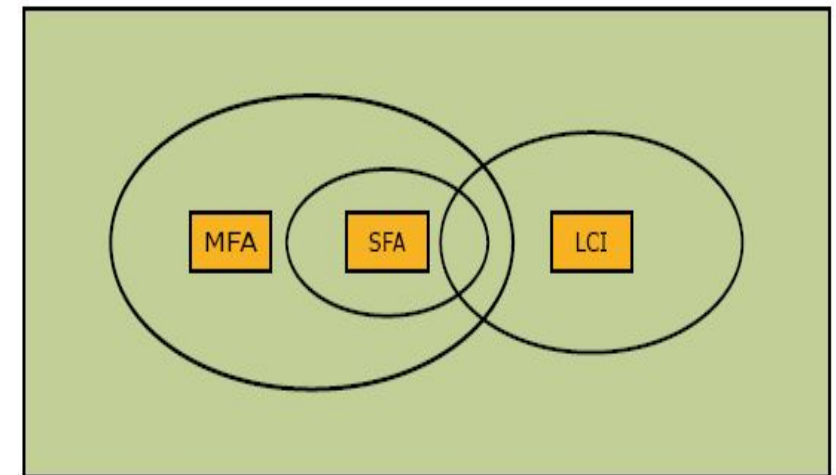
물질흐름분석에 관한 기존 연구를 조사한 Daniels & Moore(2002) 역시 OECD가이드의 분류방식과 유사한 방식으로 물질흐름분석 기법을 구분하고 있다. 즉 여기에서는 경제시스템의 범위와 물질흐름 포괄 범위를 기준으로 물질흐름분석 기법을 구분하고 있다. EEA(European Environmental Agency)의 SFA의 적용가능성 연구(EEA, 2007)에서는 OECD 가이드의 구분방식과는 달리 물질흐름분석과 LCI(LCA)를 상이한 방법으로 분류하고 있기도 하다.

[표 II-2] 물질흐름분석의 유형과 종류\_Daniels & Moore(2002)

|          |               | 흐름유형과 포괄범위                           |   |   |
|----------|---------------|--------------------------------------|---|---|
|          |               | 특정물질                                 | 물질그룹  | 전체물질  |
|          | 제품별<br>기업별    |                                      |   | <b>Micro 물질흐름분석</b><br>(제품, 기업총성, LCA, 공정별 물질투입량, company-level 물질흐름분석)           |
| 경제시스템 범위 | 부문별,<br>활동분야별 |                                      |   | <b>Meso 물질흐름분석</b><br>(국민경제 위주의 물질흐름균형연구; 건설, 식품, 위생, 운송; product chain analyses) |
|          | 전체<br>경제활동/지역 | <b>Partial macro<br/>물질흐름분석(SFA)</b> | <b>Partial macro<br/>물질흐름분석</b><br>(바이오매스 물질흐름분석) | <b>Macro-물질흐름분석</b><br>(TMRO, 물질흐름분석-BIF IFF variant)                             |

자료: Daniels & Moore(2002)

[그림 II-2] 물질흐름분석, SFA, LCI의 관계\_EEA(2007)



자료: EEA(2007)

#### 나. 분류방식별 특징

1) EW-MFA(Economy-wide Material Flow Accounts)

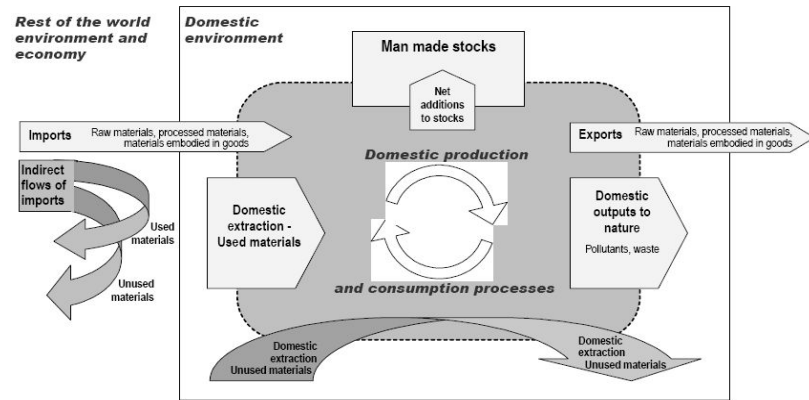
가) 개발과정

ConAccount 그룹 및 세계자원연구소(WRI: World Resources Institute)의 작업을 통해 EW-MFA의 적용 가능성 검토가 이루어졌다. 이러한 작업에 기초하여 2001년 유럽통계청(Eurostat)에서 방법론적 가이드를 발간한 바 있다.

나) 기본구조

EW-MFA는 여러 종류의 물질흐름분석 중 국제표준화가 가장 진전된 분석기법이다. EW-MFA에서는 환경에서 경제로 유입되는 물질과 경제에서 환경으로 유출되는 물질을 몇 가지 기준에 따라 범주화(국내채취, 수입, 수출, 환경배출, 비사용국내채취, 수입관련간접흐름 등)하고 있다. ([그림 II-3] 참조)

[그림 II-3] EW-MFA의 기본구조



자료 : OECD(2008a).

다) 도출 지표

EW-MFA에서는 여러 가지 종류의 물질사용 지표가 도출된다. 도출지표는 투입지표, 소비지표, 유출지표, 수지지표 등으로 구분된다. [표 II-3]은 EW-MFA 도출지표의 종류, 계산 방법, 의미를 보여 주며, 이 중 효율성 지표는 EW-MFA 도출지표와 경제지표(GD)를 결합한 지표이다. [그림 II-4]는 EW-MFA 도출지표와 기본구조가 어떻게 연결되는지를 보여 준다.

[표 II-3] EW-MFA 도출지표의 종류와 의미

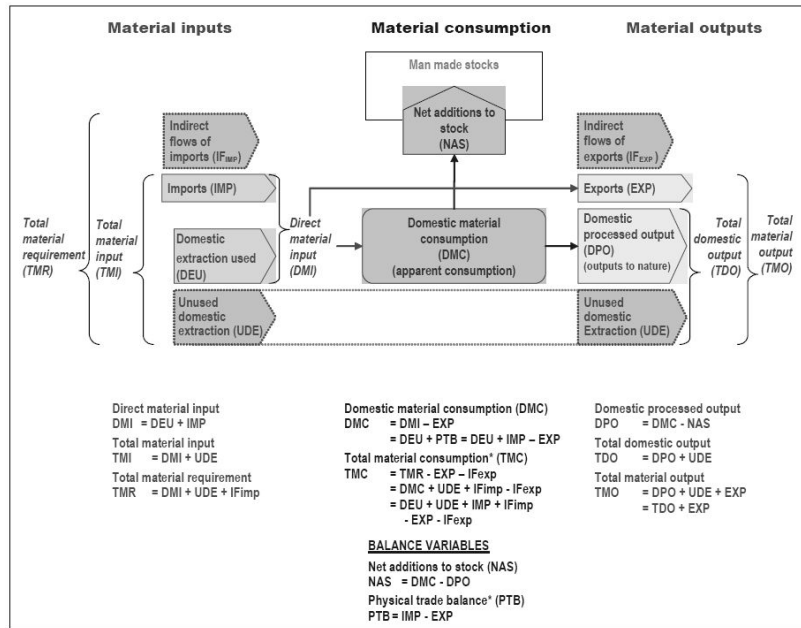
| 지 표 | 약 자   | Full name                  | 의 미                           |
|-----|-------|----------------------------|-------------------------------|
| 투 입 | DE(U) | Domestic Extraction (Used) | 국내의 환경자원 추출량<br>(향후 원료 추출 방향) |
|     | DMI   | Direct Material Input      | 환경자원의 국내 생산에의 사용량<br>(수입 포함)  |

|     |         |  |  |
|-----|---------|--|--|
|     | TMR     | Total Material Requirement<br>$TMR = DMI + \text{Indirect flows (Domestic and Imports)}$                 | 국내생산과 소비로 인한 1차 물질의 전체적인 필요량(비사용채취 포함) |
| 유 출 | DPO     | Domestic Process Output<br>$DPO = \text{Emission} + \text{Waste}$  | 국내경제에서 사용된 이후 환경으로 배출된 물질의 양           |
|     | TDO     | Total Domestic Output<br>$TDO = DPO + \text{Disposal of unused extraction}$                              | 국내 환경이 수용할 수 있는 물질의 총량 (비사용채취 포함)      |
|     | TMO     | Total Material Output<br>$TMO = TDO + \text{Export}$   | 경제에서 방출되는 물질의 총량 (비사용채취와 수출 포함)        |
| 소 비 | DMC     | Domestic Material Consumption<br>$DMC = DMI - \text{Export}$   | 국내소비를 위한 자연자원 사용량 (수출 및 비사용채취 제외)      |
|     | TMC     | Total Material Consumption<br>$TMC = TMR - \text{Export} - \text{Indirect flows associated with Export}$ | 국내 소비와 관련된 전체적인 1차 물질의 필요량             |
| 수 지 | NAS     | Net Addition to Stock<br>$NAS = DMI - DPO - \text{Export}$   | 국내 경제 내에 축적된 물질의 양(경제의 물질 성장률)         |
|     | PTB     | Physical Trade Balance<br>(indirect flows associated with Import/Export)                                 | 수입 및 수출시의 자원추출과 관련된 잠재적 환경부하           |
| 효율성 | GDP/TMR | Total Resource Productivity  | 경제성장과 필요자원의 연계차단                       |
|     | GDP/DMI | Materials Productivity   | 경제성장과 사용된 자원의 연계차단                     |
|     | GDP/TDO | Environmental Productivity   | 환경악화와 관련된 경제적 성과                       |

자료 : OECD(2006).

[그림 II-4] EW-MFA 도출지표

## 친환경적 자원순환형 정책



자료 : OECD(2008a).

### 라) 적용 사례

많은 선진국들이 EW-MFA를 주기적으로 편제하고 있으며, 유럽통계청은 EU 회원국의 EW-MFA 데이터를 수집하여 분석한다. 그 외 미국, 일본, 호주, 한국 등 많은 국가들이 EW-MFA를 작성하고 있다.

### 2) IOA(Input-Output Analysis)

#### 가) 개요

투입산출분석(IOA)은 국민계정(특히 투입산출표(산업연관표))의 편제 원리를 환경데이터에 적용한 것을 통칭한다. 투입산출분석도 범경제물질흐름분석의 경우와 마찬가지로 환경계정 작성과 연계되며, 여기에는 물적투입산출표(PIOT)와 NAMEA 두 가지 종류가 있다.

#### 나) PIOT(Physical Input-Output Tables)

물적투입산출표는 국민계정의 화폐투입산출표(MIOT: Monetary Input-Output Tables)와 동일한 구조를 갖는 물량단위 계정체계이며, 독일, 덴마크, 핀란드 등 일부 유럽 선진국에서 편제한 바 있다.

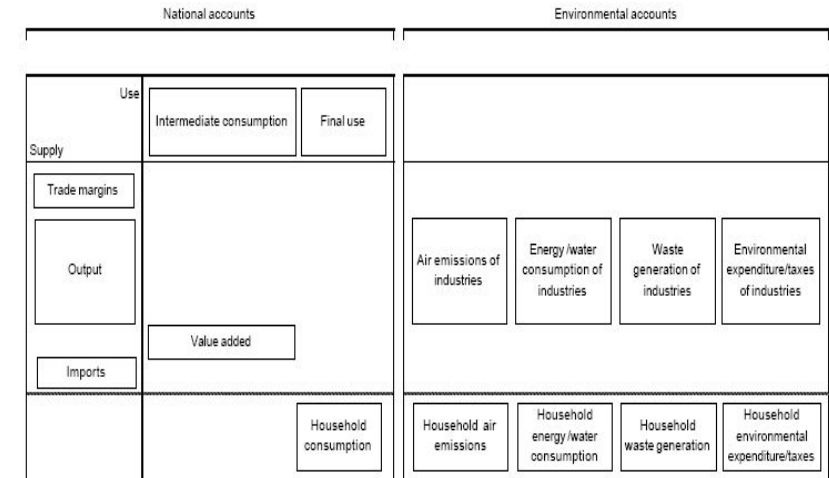
#### 다) NAMEA (National Accounting Matrix including Environmental Accounts)

NAMEA는 1990년대 중반에 네덜란드 통계청이 처음으로 개발하였다. 2000년 이후 유럽통

## 친환경적 자원순환형 정책

계청이 표준화 작업을 수행하였으며, NAMEA-air는 표준화 완료 단계에 있다. 현재 다수의 유럽 선진국이 NAMEA(특히 대기분야)를 주기적으로 편제하고 있다.

[그림 II-5] NAMEA 개요



자료: Eurostat(2007).

### 3) MSA(Material System Analysis)

MSA는 특정 물질(예: 시멘트, 종이, 철강, 구리, 플라스틱, 목재, 물 등) 흐름에 대한 분석을 통칭하며, 표준화된 방법은 정립되어 있지 않다. 다만 자연자원계정(NRA)과 관련된 자원 흐름은 환경경제통합계정(SEEA)의 일부로 UN에서 자연자원별로 표준화된 계정체계를 개발하고 있다.

### 4) LCA(Life-Cycle Assessment)

LCA는 전과정목록(Life-Cycle Inventories)에 기초하여 특정 제품(예: 전지, 자동차, 컴퓨터, 바이오연료, 섬유 등)의 생산 및 사용과 관련된 물질을 분석하고, 대상 제품의 물질소비 및 환경부하를 분석한다. LCA는 IOS 14040 시리즈를 통해 방법론적 측면에서의 표준화가 이루어져 있는 상태이다.

### 5) SFA(Substance Flow Analysis)

SFA는 주로 환경 및 건강 관점에서 중요한 개별 화학물질(예: 카드뮴, 납, 질소 등)의 흐름을 분석하는 데에 적용되며, 이 흐름분석도 아직 표준화된 방법론이 정립되어 있지는 않다. 오스트리아, 덴마크, 노르웨이, 스위스 등에서 SFA를 지속적으로 수행하고 있는 것으로 알

려져 있다.

## 2. 외국의 물질흐름분석과 자원생산성 연계정책

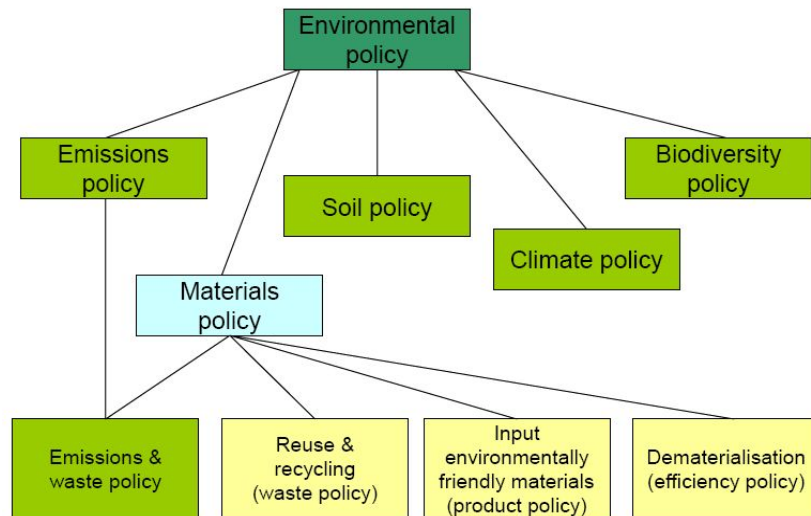
가. 물질흐름분석과 환경정책

1) 물질흐름정보와 환경정책

물질흐름정보는 특정한 환경정책보다는 여러 분야의 환경정책과 관련이 있다. 물질흐름분석은 포괄적인 환경쟁점(예: 자원생산성, 탈물질화 등), 매체별 관리(예: 폐기물관리), 특정 산업(예: 산림자원, 온실가스배출) 등과 관련된 유용한 정보를 제공한다.([그림 III-1] 참조) 분석대상 물질의 특성에 따라 관련 환경정책 영역이 상이할 수 있으며, 일반적으로 물질흐름의 양과 환경영향은 반비례 관계에 있다.([그림 III-2] 참조)

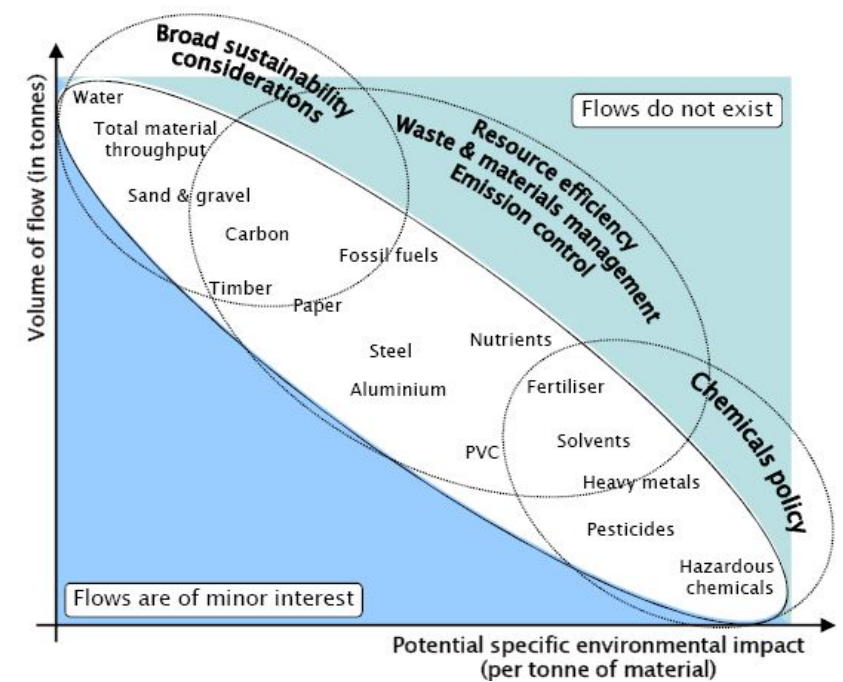
[그림 III-1] 환경정책과 물질정책

Status of material flow policy in the broader environmental policy context



자료 : De Bruyn et al.(2004).

[그림 III-2] 물질흐름, 환경영향, 정책영역



자료 : OECD(2008b).

2) 물질흐름분석의 정책적 활용

가) 정책영역별 구분([표 III-1])

물질흐름분석은 다음과 같이 경제, 자연자원관리 및 환경정책에서 활용될 수 있다.

- 경제정책 : 일반적인 경제정책이나 무역의 경우 주로 EW-MFA와 PIOT가 활용. 기술 개발의 경우에는 MSA나 LCA가 유용한 정보를 제공할 수 있음
- 자연자원관리정책 : MSA가 가장 적합한 분석수단임
- 환경정책 : 대부분의 물질흐름분석 기법들이 특정한 환경정책과 관련 있음

나) 물질흐름분석 유형별 활용([표 III-2])

EW-MFA, PIOT, NAMEA 등은 거시 및 산업 수준의 정책과 관련 있으며, MSA는 자연자원관리, LCA는 통합제품정책(IPP), SFA는 유해물질관리나 위해성평가 등과 주로 관련이 있다.



## 친환경적 자원순환형 정책

[표 III-1] 정책영역 구분과 관련 물질흐름분석 기법

| 정책영역            | 물질흐름분석 관련기능   | 물질흐름분석 적정기법  | 적용사례   |
|-----------------|---|--|--|
| 경제, 무역, 기술발전 정책 | 경제관련 계량지표 측정<br>건설, 재건축, 구조물 철거와 관련된 물질 분석<br>오염, 폐기물, 주요자원 공급 등 환경적 측면과 경제발전 측면의 관계 설명   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Economy-wide 물질흐름분석</li> <li>Physical I-O analysis</li> <li>생산성 측정 지표</li> <li>경제모델링</li> <li>에너지 수급분석</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>영국: 철, 철강, 알루미늄 산업 흐름분석</li> <li>미국: WRI 연구</li> <li>오스트리아: 자원보유량과 경제·고용 관계 연구</li> <li>독일: PIOTs</li> <li>EU: Mosus project</li> <li>일본: 원활한 자원흐름사회설립 정무기초계획을 위한 자원생산성 지표제시</li> </ul> |
|                 | 세계경제 구조분석: 대외 물질흐름에 대한 세계화영향: 국내 수입원료, 생산소비 패턴 분석<br>세계 무역 시장과 환경의 구조적 영향 파악 및 환경적 중요성물질 흐름파악 (유해물질, 2차 원료물질, 재활용물질)<br>세계 물질흐름변화의 환경적 영향 파악 (무역관련 환경영향, 수입품의 환경영향) | <ul style="list-style-type: none"> <li>Economy-wide 물질흐름 분석 covering trade flows by origin/destination)</li> <li>Physical I-O analysis</li> <li>Environmental I-O analysis</li> <li>Monetary I-O tables</li> <li>국제무역지표</li> <li>국제운송지표</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>일본: 일본 주변 국가의 세계 자원흐름 (이산화탄소 배출과 관련한 알루미늄 흐름 분석)</li> <li>이탈리아: 수입과 관련된 가공물질 흐름분석</li> <li>EU: EU로의 자연자원 무역흐름 파악, 환경적 영향 연구</li> </ul>  |
|                 | 신기술 발전 가이드 및 변형물질의 환경압력 규명<br>물질 하부구조 연구를 위한 잠재영역 규명 및 신기술 발전을 위한 물질 영향 규명<br>효율적 에너지 사용을 위한 신기술 개발 기회 마련, 재활용을 증가, 대체물질 사용 증가방안 제시                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>Material system analysis and material specific accounts</li> <li>Life cycle analysis of products</li> <li>Value chain analysis</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>일본: 자동차, 철강, 시멘트, 화학, 제지, 건설, 가전제품 산업에 적용</li> <li>영국: 산업부문의 다양한 물질흐름분석 (Biffaward, Mass Balance 프로그램)</li> </ul>   |
| 자연자원 관리정책       | 국가 자연자원 흐름추세 및 현재수준 측정, 지속가능한 생산수준 검토(상림자원) 및 관리계획 구성<br>전체물질순환을 기초로 한 수요량, 부족량 측정 및 생산가격과 생산추세의 시계열적 변화 측정   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Material system analysis and resource specific accounts</li> <li>자연자원량 측정</li> <li>자원개발 및 보존에 대한 정보 제공</li> <li>에너지량과 통계자료</li> <li>모델링</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>호주: 수자원 할당협상 관련 정보제공</li> <li>미국: 세계 금속흐름 (아연, 은, 니켈 등), 스톡(stock)과 흐름 분석</li> <li>일본: 목재물질과 탄소 흐름</li> <li>캐나다: 물질과 에너지 흐름</li> </ul>  |

## 친환경적 자원순환형 정책

[표 III-1] 정책영역 구분과 관련 물질흐름분석 기법(계속)

자료 : OECD(2008), MEASURING MATERIAL FLOWS AND RESOURCE

| 정책영역 | 물질흐름분석 관련기능 | 물질흐름분석 적정기법  | 적용사례   |
|------|-------------|--|--|
| 환경정책 | 오염 방지 및 규제  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Economy-wide 물질흐름분석 with detailed breakdown of materials</li> <li>Substance flow analysis</li> <li>Material system analysis and material specific accounts</li> <li>폐기물 통계</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>스웨덴: 스톡홀름 지역의 납, 구리, 수은 흐름 연구 및 화학제품 산업 연구</li> <li>덴마크: 수은 물질 흐름 분석</li> <li>미국: 뉴욕/뉴저지 항구의중금속 및 유해물질 연구, 미시시피 유역의 질소 흐름설계, 염소흐름 연구</li> </ul>   |
|      | 폐기물관리       | <ul style="list-style-type: none"> <li>폐기물 발생 추세분석, 자원생산재활용 빈도 연구</li> <li>유동물질흐름내 물질보존 비용과 경제적 이익 측정평가 및 재정적 손해 최소화 방안 모색</li> <li>에너지보존, 재활용, 대체물질, 신기술 연구를 위한 영역 제시</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>원재료와 가공제품 및 재활용품 사이의 다양한 물질흐름분석 기법</li> <li>폐기물 통계</li> <li>비용효과분석</li> <li>모델링</li> <li>일본: 원활한 물질순환사회 건립을 위한 국가기본계획의 폐기물 재활용 지표 제시</li> <li>오스트리아: Material balance와 life-cycle analysis를 통해 물질보존을 위한 제품 재사용 효과 분석(전기제품 및 가전제품에 적용)</li> <li>노르웨이: 폐기물량</li> <li>영국 산업별 연구(Offward, Mass Balance 프로그램)</li> </ul> |
|      | 생산          | <ul style="list-style-type: none"> <li>생산시 원료절감, 대체물질개발, 재활용 용이성 등을 조사</li> <li>독성재료를 사용한 생산제품의 환경영향 평가(납성분 페인트, 아스팔트 지붕, 카드뮴 건전지)</li> <li>제품수명 소멸단계의 환경영향, 환경오염방지 시스템 효율성 제고, 정책활용도 증진 (특정제품에 특정물질 사용금지)</li> </ul>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Life cycle assessments</li> <li>많은 적용사례가 있음 (산업부문, 연구부문, 정부부처 활용 부문)</li> </ul>   |
|      | 기타          | <ul style="list-style-type: none"> <li>물질흐름과 물질순환공급에 대한 환경정책 영향분석</li> <li>재활용 제품에 대한 정부소비정책의 이익 분석, 이에 대한 물질흐름 영향 분석</li> <li>산업과 정부정책에 부응하는 환경 성과측정</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>다양한 물질흐름분석 기법</li> <li>비용효과분석</li> <li>모델링</li> <li>EMS</li> </ul>  |

PRODUCTIVITY : Synthesis report

## 친환경적 자원순환형 정책

[표 III-2] 물질흐름분석 유형별 활용영역

| 특징과 적용수준   | 목적   | 한계점   | 공동 활용기법  | 설명가능범위   | 활용영역  |
|--|--|---|--|--|---|
| <b>Economy-wide material flow accounts(EW-MFAcc), other complete national 물질흐름분석cc, and related analyses ◎</b> |  |   |  |  |   |
| National macro-economic level<br>↓<br>시스템 경계에 있는 모든 물질<br>물질그룹이나 물질흐름 데이터 연구<br>meso와 micro level에도 적용가능       | <ul style="list-style-type: none"> <li>물리적 자원 기초와 전체물질 수급, 자원효율성 등에 대한 전반적이고 시스템적검토</li> <li>발생문제관련, 장기간 발전 방안 제고</li> <li>MF와 RP 종합지표에 대한 기초정보 제공</li> <li>자료수집 용이</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>중간단계 소비와 최종소비 경계의 불명확성</li> <li>물질의 근원지와 흐름 최종목적지의 불명확성</li> <li>경제활동간 불명확성</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>PIOTs 또는 NAMEA-type table</li> <li>무역통계</li> <li>폐기물 발생량</li> <li>물리적 자산 설명</li> <li>modelling work</li> <li>주요 경제활동지표</li> <li>근원지 및 최종목적지의 지역별 무역흐름</li> <li>폐기물 흐름도</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>국민경제의 물리적 기본물질은 무엇인가, 물질의 국내수요 구성은 어떠한가</li> <li>경제적측면의 물질생산성은 얼마이며 노동과 자본생산성과 관련하여 어떻게 설명할 수 있는가</li> <li>물질투입량과 산출량 및 폐기물 발생량을 이용해 어느 범위까지 설명할 수 있는가</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>경제정책과 환경정책의 통합</li> <li>무역과 공급안정성</li> <li>지속가능한 개발전략</li> <li>국가 폐기물관리와 자원보존정책</li> <li>정보통신 정책</li> </ul>  |
| <b>Physical supply-use and input-output tables(PIOTs), and related analyse ◎ ○</b>                             |  |   |  |  |   |
| National meso level<br>↓<br>매개수단물질을 포함한 경제영역별 전체 혹은 일부 물질<br>global level에도 적용가능                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>macro-and global 수준에서 구조변화 추적</li> <li>자원생산성과 산업부문의 환경성과 측정</li> <li>폐기물, 오염물질 측정 및 특정 영역의 효율성 증대</li> </ul>                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>고난이도</li> <li>간접흐름의 적용 어려움</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>EW-MFA</li> <li>monetary I-O tables and analysis</li> <li>value chain analysis</li> <li>MSA</li> <li>LCA</li> <li>PRTRs</li> <li>modelling work</li> <li>decomposition analysis</li> <li>environmental input-output analysis</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>얼마나 많은 양의 물질이 개별 산업에 흐르고 있는가, 이러한 물질은 국내수요를 어떻게 충족시키고 있는가</li> <li>특정산업에 공급되는 특정물질은 무엇인가</li> <li>원재료와 중간제품을 얼마나 효율적으로 최종제품으로 만드는가 산업수준에서 어떻게 자원생산성을 증가 시키는가</li> <li>물질의 어떤 부분이 어떠한 형태로 국민경제와 최종 소비자에 도달하며 잔여물로 남게 되는가</li> <li>특정물질을 소비자에게 제공하는 산업은 무엇인가, 어떠한 산업에 의하여 얼마나 많이 수출되는가, 얼마나 많은 재고량이 축적되어 있으며, 내구성제품을 공급하는 산업은 무엇인가</li> <li>물질자원사용의 경제적 결정요소는 무엇인가</li> <li>경제적 측면의 물질흐름에서 볼 수 있는 구조적 변화는 무엇인가</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>경제정책</li> <li>경제정책과 환경정책의 통합</li> <li>기술개발과 기술혁신</li> <li>산업정책</li> <li>지속가능한 생산과 제조</li> <li>폐기물 통합관리</li> <li>지속가능한 물질관리</li> <li>환경적 실행과 관련된 모든 정책구조</li> </ul> |

Copyright@ 2010 All right reserved.



13

## 친환경적 자원순환형 정책

| 특징과 적용수준  | 목적  | 한계점   | 공동 활용기법  | 설명가능범위   | 활용영역   |
|---|---|---|--|--|--|
| <b>NAMEA-type tables for physical flows, and related analyses ○</b>                     |   |   |  |  |  |
| National meso-level<br>↓<br>자연경제수준 혹은 중간단계의 경제영역별 선별물질흐름                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>부분적으로 PIOTs와 중복</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>고난이도</li> <li>direct and unused flow에 대한 불완전 적용범위</li> <li>물질수자원리 사용의 어려움</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>EW-MFA</li> <li>MSA</li> <li>LCA</li> <li>PRTRs</li> <li>modelling work</li> <li>decomposition analysis</li> <li>environmental input-output analysis</li> <li>hybrid input-output analysis</li> <li>indirect and unused flow에도 확대적용 가능</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>자원 및 집약적 잔여물이 어떻게 산업 및 제품 그룹으로 되는가, 잔여물을 생성하는 산업의 차이는 무엇인가? 경제적 측면에서 이러한 산업들이 얼마나 중요한가, 잔여물 발생에 가장 큰 영향을 주는 최종제품은 무엇인가</li> <li>자원 및 잔여물이 어떻게 국내소비, 투자물, 수출품으로 되는가</li> <li>자연자원에서 물질을 추출하는 산업은 무엇인가, 물질 추출에 가장 영향을 많이 주는 최종제품 수요는 무엇인가</li> <li>소비, 투자, 수출패턴 변화와 경제발전, 기술향상은 물질소비와 수입품, 잔여물 생성에 어떠한 영향을 주는가</li> <li>특정상황 아래서 물질소비와 잔여물은 어떻게 개발될 수 있는가</li> <li>국가간 물질소비, 수입제품, 잔여물발생 차이점은 무엇인가</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>경제정책</li> <li>경제정책과 환경정책의 통합</li> <li>기술개발과 기술혁신</li> <li>산업정책</li> <li>지속가능한 생산과 제조</li> <li>폐기물 관리의 통합</li> <li>지속가능한 물질관리</li> </ul> |
| <b>Physical flow parts of Natural Resource Accounts (NRAcc), and related analyses ○</b> |   |   |  |  |  |
| Meso level<br>↓<br>자연자원의 활용 설명  | <ul style="list-style-type: none"> <li>자연자원 사용과 흐름 검토</li> <li>발생문제위주 분석, 개별 자연자원의 목적에 맞춰 자연자원 관리·보존에 활용</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>물질흐름의 부분적 측면 조명</li> <li>물질수자원리 사용의 어려움</li> <li>부분적으로 MSA와 SU/IO 테이블 간과</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>EW-MFA</li> <li>NR physical asset accounts</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>제한된 시간동안 얼마나 많은 양의 한정자원을 사용하였는가</li> <li>자원을 사용하는 산업은 어떤 것이 있는가</li> <li>자연자원개발에 의한 제품은 무엇인가</li> <li>변형 생산가능한 잔여물은 무엇인가</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>자연자원관리(물, 삼림, 어류, 토지)</li> <li>자원보존</li> <li>지속가능한 물질관리</li> </ul>  |

Copyright@ 2010 All right reserved.



14

## 친환경적 자원순환형 정책

| 특징과 적용수준  | 목적  | 한계점  | 공동 활용기법  | 설명가능범위   | 활용영역   |
|---|---|--|--|--|--|
| <b>Individual material flow accounts and Materials System Analysis-MSA ©</b>                                  |   |  |  |  |  |
| <p>Meso level<br/>↓<br/>산업물질의 전과정, 진행과정</p>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 한정물질흐름의 대규모 분석, 경제적, 환경적 결과 분석</li> <li>• 공급문제 측정</li> <li>• 한정물질의 사용과 폐기물에 대한 경제적, 환경적 연구</li> <li>• 재활용의 잠재성 제고</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 비표준화 방법</li> </ul>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• EW-MFA</li> <li>• LCA</li> <li>• Physical asset accounts</li> <li>• Value chain analysis</li> <li>• modelling work</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 한정물질 수요수준은 어떠한가</li> <li>• 물질의 근원은 무엇이며, 얼마나 많은 양이 국내에서 생산되는가, 얼마나 많은 양이 수입되고 있으며 전세계지역으로의 물질흐름은 어떠한가, 공급불충분성 문제는 존재하는가</li> <li>• 물질사용의 전체순환 중 원재료수요는 얼마나 되는가, 제품에 들어가는 투입량은 얼마나 되는가, 다음 제품을 위한 추가 필요량은 얼마인가</li> <li>• 현재의 시스템 하에서 효율적으로 물질을 쓸 수 있는 방안은 무엇인가, 얼마나 많이 사용되고 있으며, 재고량과 폐기물량, 재활용량, 최종폐기처분량은 얼마인가</li> <li>• 자연환경으로 되돌아가는 물질은 무엇인가, 이러한 물질은 환경에 어떠한 영향을 주는가, 현재의 관리시스템으로 환경영향을 줄일 수 있는가</li> <li>• 물질적출이 환경적으로 의미하는 것은 무엇인가</li> <li>• 물질순환과정 중 중요한 '중재점'은 어디인가, 물질들 사이의 대체범위가 있는가</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 자연자원관리(광물시스템, 에너지 시스템)</li> <li>• 지속가능한 물질관리</li> <li>• 폐기물관리</li> <li>• 자원보존</li> <li>• 재활용 시장</li> <li>• 무역·공급 안정성</li> <li>• IPPC</li> </ul> |
| <b>Material life cycle inventories(LCI) compiled in the framework of products Life Cycle Assessments(LCA)</b> |   |  |  |  |  |
| <p>Micro level<br/>↓<br/>제품의 전과정 설명 및 시스템 과정 설명</p>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 발생문제위주 분석, 개별 자연자원의 목적에 맞춰 자연자원 관리·보존에 활용</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 물질수지원리 사용의 어려움</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 많은 다 물질 흐름 분석 기법과 공동 활용 가능</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 물질 전과정(추출, 가공, 사용, 폐기)에 따라 어떠한 환경영향 결과가 발생하는가</li> <li>• 물질 전과정 중 가장 효율적으로 관리하고 통제할 수 있는 단계는 어디인가</li> <li>• 제품A와 제품B의 life-cycle-wide 환경영향은 어떻게 다른가</li> <li>• 제품의 대체구성물질은 있는가</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 제품통합관리 및 통제</li> <li>• 제품설계, 친환경 설계</li> <li>• Eco labelling</li> <li>• IPPC</li> <li>• 정부구매정책</li> </ul>                                       |

Copyright@ 2010 All right reserved.



15

## 친환경적 자원순환형 정책

| 특징과 적용수준  | 목적  | 한계점 | 공동 활용기법 | 설명가능범위   | 활용영역   |
|---|---|-----|---------|--|--|
| <b>Substance Flow Analysis(SFA) ©</b>               |   |     |         |  |  |
| <p>Micro level<br/>↓<br/>개별화학물질 전과정 및 시스템 과정 설명</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 발생문제위주 분석, 개별자원의 목적에 맞춰 구체적 물질결정·관리에 활용</li> </ul> |     |         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 일정시스템에 의해 흐르고 있는 특정물질 X는 얼마나 되며, 어디에 있는가, 어느 단계가 마지막인가, 얼마나 많은 양의 특정물질 X가 영구적제품에 함유되어 있으며, 얼마나 많은 양이 폐기처분 되는가</li> <li>• 특정물질 X를 좀 더 효율적으로 사용하기 위한 기술적 잠재단계는 어디인가</li> <li>• 유해물질을 대체할 수 있는 선택가능한 물질은 무엇인가</li> <li>• 물질 전과정 중 환경적으로 "hot spot"에 해당되는 부분은 어디인가</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 화학물질 통제</li> <li>• 위험성 평가</li> <li>• 환경보건</li> <li>• 특정 IPPC</li> <li>• 유해폐기물 관리</li> </ul> |

자료 : OECD(2008b).

Copyright@ 2010 All right reserved.



16



나. 물질흐름분석과 정책지표

1) 집계지표의 의의와 한계

물질흐름분석에서 도출되는 지표 중에서 현재 국제적으로 가장 많이 활용되는 것은 것이 EW-MFA 지표이다. 물질흐름 집계지표는 [표 III-3]에서 보이는 바와 같이 고유한 강점과 한계를 지니고 있다. 분석력 측면에서의 강점은 중량 단위에 기초한 표준화에 기초하고 있기 때문에 계산하거나 이해하는 것이 쉽다는 점이며, 단점은 물질의 질적 특성을 반영하기 어렵다는 점이다. 활용성 측면에서 강점은 일반인의 관심을 쉽게 끌 수 있다는 점이며, 단점은 환경영향을 모니터링하거나 사안별 의사결정을 지원하기 어렵다는 점을 들 수 있다.

[표 III-3] 물질흐름 집계지표의 강점과 한계

| 강점   | 한계   |
|--|--|
| <b>분석타당성 및 측정관점</b>  | <b>분석타당성 및 측정관점</b>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>계량수치에 의한 충분한 이해</li> <li>일반적으로 통용되는 체제에 기초</li> <li>물질그룹별로 세분화된 정보를 요약한 계정 체계 근거</li> <li>이론적 타당성</li> <li>계량수치의 간결성, 알려지지 않은 물질에 대한 주관적 판단 배제</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>데이터 오차 등 물질흐름 집계지표 구성의 불안정성</li> <li>중요한 잠재적 경향을 간과할 수 있는 구성 인자의 상충성</li> <li>총계에서 간과될 수 있는 여러 가지 잠재적 특성</li> </ul> |
| <b>유용성과 적절성</b>  | <b>유용성과 적절성</b>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>전반적인 정책목표를 위한 모니터링 및 인식도 상승</li> <li>향후 분석경향에 대한 조망</li> <li>잠재적으로 환경에 영향을 주는 자원사용량 및 범위에 대한 지표활용</li> <li>향후 주요경제 추세 예측</li> </ul>                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>모든 물질흐름과 환경밸런스 관계의 논쟁여지</li> <li>환경영향평가의 부적절성</li> <li>세부사안에 대한 의사결정 지원 부적합</li> </ul>                              |

자료: OECD(2008).자료: OECD(2008a).

2) 정책영역별 관련 지표

가) 국민경제의 물질토대

EW-MFA 도출지표 자체가 국민경제 차원의 물질흐름을 파악하기 위한 것이기 때문에, EW-MFA 도출지표는 그대로 활용할 수 있다.

나) 국민경제 및 산업의 물질생산성

국민경제 차원에서는 국민계정 데이터(예: GDP, 총부가가치)와 EW-MFA 지표를 결합하여 생산성이나 집약도를 측정하기도 한다. ([표 III-4] 참조) 지표에서 경제데이터가 분자에 위치하면 생산성이 되고, 분모에 위치하면 집약도가 된다. 산업의 물질생산성 분석을 위해서는 PIOT 또는 환경투입산출표 등과 같은 산업별 물질흐름계정 작성이 필요하다.

[표 III-4] 물질생산성 및 집약도 측정방법

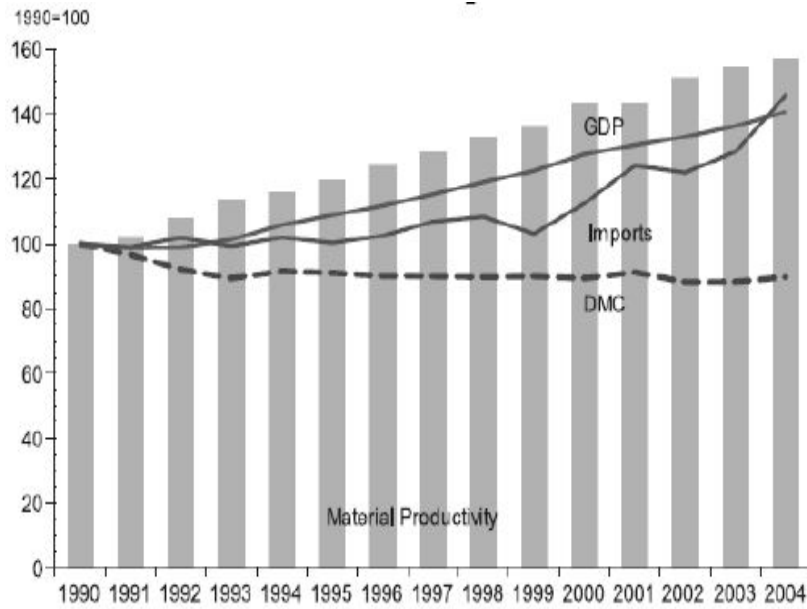
| 투입 측<br>정 유형<br>산출측정 유형   | 직접물질투입<br>또는<br>원재료 투입                         | 총 물질 수요<br>(incl.indirect<br>flows) | 국내물질 소비<br>또는<br>원재료 소비                   | 총 물질 수요<br>(incl.indirect<br>flows) |
|---|--|-------------------------------------|---|-------------------------------------|
| GDP, Value added  | 직접물질 생산성<br>GDP/DMI<br>직접원재료<br>생산성<br>GDP/RMI | 총 물질생산성<br>GDP/TMR                  | 국내물질생산성<br>GDP/DMC<br>국내원재료생산성<br>GDP/RMC | 총<br>국내물질생산성<br>GDP/TMC             |
| DPO, Domestic<br>Processed Output<br>(emissions&waste)                  | DPO/DMI  | DPO/TMR                             | DPO/DMC<br>DPO/RMC                        | DPO/TMC                             |
| TDO, Total Domestic<br>Output<br>(emission,waste,<br>unused extraction) |  | TDO/TMR                             | TDO/DMC<br>TDO/RMC                        | TDO/TMC                             |

주: 투입·산출측정 방법은 투입과 산출간의 계량적 연계성이 있어야 함. 경제변수는 MF 변수에 의해 조정될 수 있음

자료: OECD(2008)

[그림 III-3] ~ [그림 III-4]은 물질생산성 측정과 관련한 실제 적용 사례를 보여 준다. [그림 III-3]은 1990~2004년 동안의 영국의 물질생산성의 변화를 보여 준다. 동 기간 동안 국내물질소비량(DMC)이 대체로 일정한 수준을 유지하고 있으나 GDP는 지속적으로 상승하였으며, 따라서 막대그래프로 표시된 물질생산성은 지속적으로 향상되는 모습을 보이고 있다. [그림 III-4]는 2004년의 독일의 경제활동 부문별 물질집약도를 보여준다. 그림에서 알 수 있듯이, 유리, 세라믹, 건설물질을 생산하는 부문의 물질집약도가 압도적으로 높은 편이며, 서비스 부문의 물질집약도가 가장 낮은 편이다.

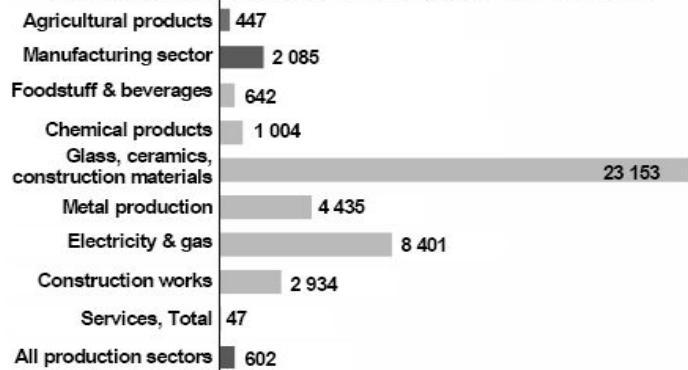
[그림 III-3] 물질생산성\_영국 1990~2004



자료: OECD(2008a).

[그림 III-4] 부문별 물질집약도\_독일 2004

#### Material intensity by sector, 2004, Germany



\* kg material input/1000 EUR gross value added (at respective prices)

자료: OECD(2008a).

다) 무역 및 세계화

물적교역수지(PTB)나 해외물질의존도(수입/DMI 또는 수입/DMC) 지표를 이용하여 생태적 부채(ecological debt) 등을 측정하는 것이 가능하다.

[표 III-5]는 EU의 2000년의 물적교역수지와 1976~2000년 동안의 증감을 보여 준다. 이 표에서 직접흐름만을 고려할 경우(PTB in DMReq) EU의 2000년 물적교역수지는 약 1억톤인데 이는 물질유입량이 물질유출량보다 더 많다는 것을 말한다. 물적교역수지가 플러스인 것은 환경부하의 역외 지역으로의 전이를 의미한다. 여기에서 간접흐름까지 고려할 경우(PTB in TMReq) EU의 물적교역수지는 6배 이상 증가하게 되는데, 이는 주로 비사용채취를 많이 야기하게 되는 화석연료 및 광물자원 수입의 증가 때문이다.

[표 III-5] 물적교역수지(PTB)\_EU

|                            | PTB in DMReq                   |                       | PTB in TMReq                   |                       |
|----------------------------|--------------------------------|-----------------------|--------------------------------|-----------------------|
|                            | 10 <sup>6</sup> tonnes<br>2000 | % change<br>1976-2000 | 10 <sup>6</sup> tonnes<br>2000 | % change<br>1976-2000 |
| Biomass from               |                                |                       |                                |                       |
| -- agriculture             | 25,4                           | -61%                  | 245,7                          | -57%                  |
| -- forestry                | 40,3                           | 8%                    | 107,7                          | 8%                    |
| -- fishing/hunting         | 2,0                            | 268%                  | 2,6                            | 270%                  |
| Fossil fuels               | 704,1                          | 30%                   | 1821,5                         | 106%                  |
| Metals, metal products     | 146,1                          | 30%                   | 3829,1                         | 194%                  |
| Minerals, mineral products | 22,7                           | 121%                  | 254,1                          | 221%                  |
| Other products             | 65,8                           | -1.141%               | 65,8                           | -1.141%               |
| <b>TOTAL</b>               | <b>1006,4</b>                  | <b>32%</b>            | <b>6326,6</b>                  | <b>114%</b>           |
| Renewable materials        | 67,7                           | -35%                  | 356,0                          | -47%                  |
| Non-renewable materials    | 872,9                          | 32%                   | 5904,8                         | 161%                  |

DMReq: PTB = Imports - Exports (considers only direct flows);

TMReq: PTB = TMReq - TMReq (considers direct, indirect and unused flows)

Source: Schütz et al., 2003

자료: OECD(2008a).

라) 특정 자원 및 물질 관리

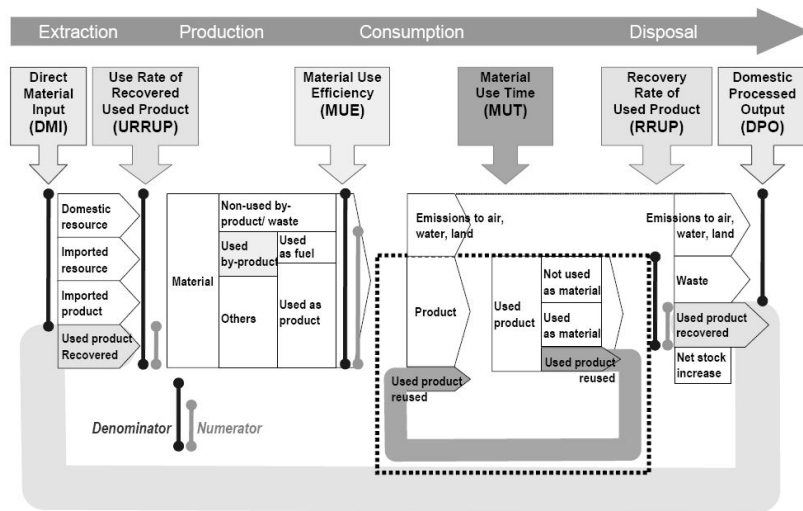
특정 자원이나 물질 관리와 관련하여 일반적으로 이용하는 지표가 있는 것은 아니나, 자연 자원 사용 집약도(=자연자원 스톡(stock) 대비 자연자원채취 비율)나 재활용 관련 지표 등을 사용하는 것은 가능하다. [그림 III-5]는 특정물질의 흐름 및 순환과 관련하여 도출 가능한 6개의 지표를 보여 주는데, 일본 연구자들이 제안했던 지표이다. 6개 지표는 다음과 같은 의미를 갖는다.

- DMI : 해당 자원(물질)의 투입량. 국내생산+수입

## 친환경적 자원순환형 정책

- URRUP : 'DMI+ 재활용물질'(=경제에 투입되는 물질 총량) 대비 재활용물질의 비율
- MUE : 'DMI+ 재활용물질' 중 연료나 제품으로 사용되는 물질의 비율. 해당 물질의 사용효율을 의미
- MUT : 해당 물질이 경제 내에 머무는 시간. 물질 또는 제품 특성에 따라 중요성 상이
- RRUP : 일종의 재활용률에 해당
- DPO : 해당 물질의 생산·소비와 관련되는 오염배출 총량

[그림 III-5] 물질흐름분석에서 도출되는 물질순환지표



자료: OECD(2008a).

[그림 III-6]은 일본 목재자원을 대상으로 물질순환지표를 적용한 결과(MUT 제외)를 보여 준다. 1960~1973년 동안 목재자원의 DMI와 DPO는 뚜렷한 증가 경향을 보였으나, 그 후 증가율이 둔화되면서 일정 수준에서 증감하는 패턴을 보이고 있다. 동 기간 동안 MUE는 일정 수준을 유지, 즉 목재자원의 물질효율성에는 거의 변화가 없었으나, URRUP와 RRUP는 지속적으로 증가하였다. 이는 재활용률이 높아지고 있고 또한 재활용자원의 비중도 높아지고 있음을 의미한다.

## 친환경적 자원순환형 정책

[그림 III-6] 일본의 목재자원 물질순환지표



자료: OECD(2008a).

마) 물질사용의 환경영향

일반적으로 물질흐름분석을 통해 환경영향을 직접적으로 분석하기는 어렵지만 다음과 같은 세 가지 방법을 통해 환경영향에 대한 정보 제공이 가능하다.

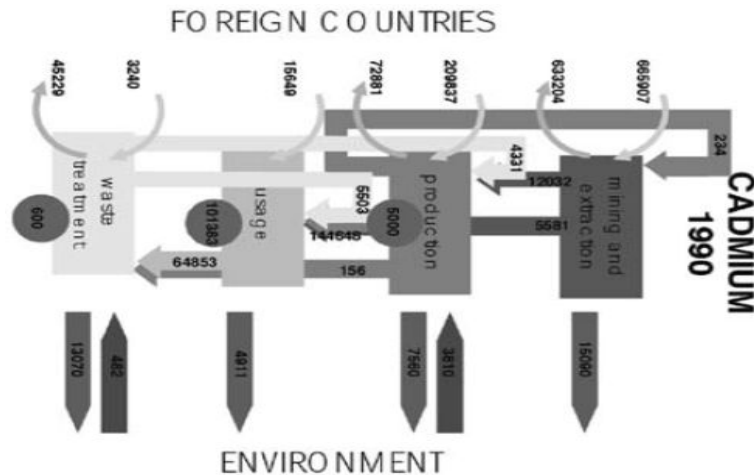
- 물질유형 구분 : 독성흐름과 벌크(bulk)흐름을 구분 → 전자는 SFA를 통해 후자는 EW-MFA를 통해 분석

## 친환경적 자원순환형 정책

- 물질흐름사이클 또는 공급사슬의 단계 구분 : 채취, 가공 및 소비, 폐기물 처리 및 재활용, 운송 → EW-MFA(proxy), LCA, SFA, 환경가중치표 등 이용
- 내부영향과 외부영향을 구분 : EW-MFA 지표 및 MSA를 이용(비사용 및 간접 흐름)

[그림 III-7]은 SFA를 이용한 카드뮴 흐름에 대한 분석 사례이다. 카드뮴 자체가 독성물질이기 때문에 카드뮴의 사용량이나 배출량 정보 자체가 직접 환경영향에 대한 정보가 될 수 있다.

[그림 III-7] 카드뮴 SFA\_네덜란드



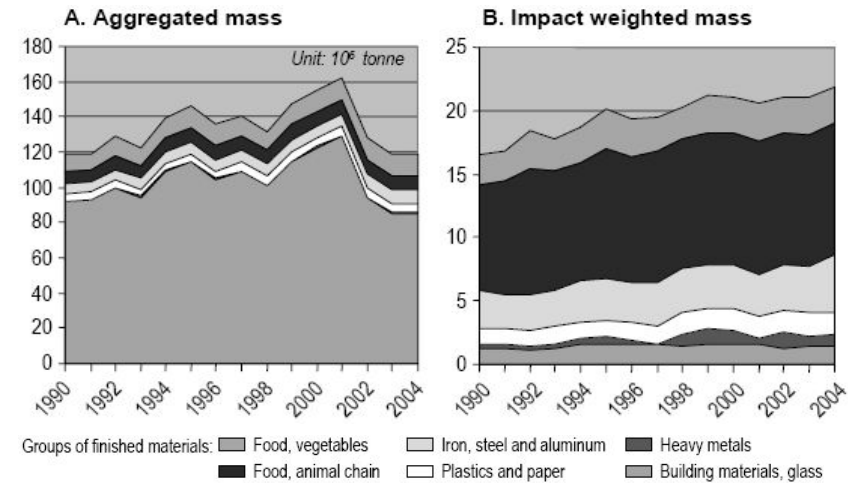
자료: OECD(2008a).

물질흐름의 환경영향 분석과 관련하여 새로운 접근법 중 하나가 환경가중물질소비(EMC: environmentally weighted material consumption)이다. EMC는 LCA의 영향계수와 물질흐름분석의 물질흐름 정보를 결합함으로써, 중량 단위의 물질흐름 정보를 환경영향지수로 환산하려는 시도이다.

[그림 III-8]은 네덜란드의 EMC 적용 사례이다. 그림에서 A는 환경영향이 큰 6개 물질그룹의 소비량 변화를 표시하며, 2001년 이후 뚜렷하게 감소하는 경향을 보이고 있다. B는 환경영향을 가중치로 반영한 물질소비량 변화를 표시하며, A와 비교할 때 가장 큰 특징은 환경가중물질소비가 지속적인 증가 추세에 있다는 점이다. 또한 물질그룹별 비중도 확연하게 상이함을 알 수 있다.

[그림 III-8] EMC 추세\_네덜란드

## 친환경적 자원순환형 정책



자료: OECD(2008a).

다. 자원생산성 향상 전략

1) OECD

가) 개요

2003년 이후 OECD는 물질흐름 및 자원생산성 관련 작업을 적극 추진하고 있으며, 2004년 물질흐름 및 자원생산성에 관한 OECD 이사회권고안을, 2008년 3월에는 자원생산성에 관한 OECD 이사회권고안을 채택하였다.

나) 물질흐름 및 자원생산성에 관한 이사회권고안(2004년)

물질흐름 및 자원생산성에 관한 이사회권고안에서는 물질흐름 및 자원생산성에 관한 지침서 발간, 국제회의 개최, 이행평가 보고 등을 3년 이내에 한다는 내용을 포함하고 있다.

[표 III-6] 물질흐름 및 자원생산성에 관한 이사회 권고안(2004년) 주요 내용

- 회원국 이행 사항
  - 물질흐름 정보 개선
  - 환경-경제를 통합하고 환경성표를 측정하기 위한 지표의 개발 및 사용
  - 거시 및 미시 수준에서 물질흐름분석 및 도출지표를 개발하고 사용
  - 물질흐름, 환경지출 등에 대한 작업을 통해 환경정보와 경제정보를 연계
  - 물질흐름에 관한 공통의 방법론 및 측정체계를 개발하기 위해 협력
- 환경정책위원회에 대한 지시 사항
  - 물질흐름 및 관련 지표에 대한 정보를 개선하기 위한 회원국의 노력을 지원
  - 주요 영역에서 물질사용의 효율성 평가를 위한 방법 및 지표를 개선하기 위해 지속적으로 노력
  - 회원국들이 공통의 물질흐름계정을 작성하고 활용할 수 있도록 안내책자(guidance documents)를 개발
  - 이상의 과제를 수행하기 위해 여타 OECD 부서 및 국제기구와 협력
  - 본 권고안의 이행과 관련한 성과를 3년 내에 이사회에 보고

다) 자원생산성에 관한 이사회권고안(2008년)

자원생산성에 관한 이사회권고안은 물질흐름 및 환경영향 분석, 자원생산성 향상 정책, 환경정책위원회 지시사항으로 구성되며, 2004년 권고안에 비해 자원생산성 향상 정책의 적극적인 추진을 강조하고 있다.

[표 III-7] 자원생산성에 관한 이사회권고안(2008년) 주요 내용

1. 물질흐름 및 환경영향 분석 관련 회원국 권고 사항
 

물질흐름 및 환경영향 분석 능력의 강화를 통해 자원생산성을 촉진하고, 물질흐름 및 자원생산성의 측정 및 분석에 관한 OECD 가이드와 경험 그리고 국제적 작업에 근거하여 물질흐름 및 자원생산성 측정시스템을 개선해야 한다. 그리고 이를 위해

  1. 물질 및 제품의 전체 생애주기에 걸쳐 환경영향 및 자원사용 비용에 관한 과학적 지식을 개선해야 한다.
  2. 물질흐름 및 환경영향 데이터의 범위와 품질을 향상시켜야 한다. 이와 관련하여 물적교역흐름 데이터의 가용성 및 국제적 비교가능성에 특히 관심을 기울일 필요가 있다.
  3. 자연자원 스톡 및 흐름을 파악하여 이를 주요 환경순환과 연계시키는, 국제적으로 비교가능한 적절한 형태의 물질흐름계정을 사용하고 개선하기 위한 작업이 필요하다.
  4. 자원사용의 효율성 평가지표를 개발하고 적극적으로 사용해야 한다.
    - 거시, 부문, 미시 차원에서 자원생산성 측정 지표 및 자원사용과 경제성장의 연계차단 측정 지표. 다음 두 가지를 고려. 첫째, 자연자원 사용, 자원생산성 및 관련된 환경영향에 관한 개관지표. 둘째, 특정 자원, 물질 또는 활동과 관련된 자원사용, 자원생산성, 3R 관련 흐름 및 환경영향을 모니터링하기 위한 세부지표
    - 자연자원스톡(특히 재생가능자원스톡)의 가용성, 품질, 고갈에 관한 정보를 제공하는 지표
    - 자연자원 채취에서 제조 및 최종처분 관리에 이르는 전체 생애주기를 고려하여, 물질의 흐름 및 환경영향을 추적하는 지표
  5. 물질흐름 및 환경영향 분석 능력의 강화를 위해 비회원국과 협력해야 한다.
  6. 모든 유관부처, 연구기관, 비정부기구, 민간부문 등과 물질흐름 및 자원생산성의 측정 및 분석에 관한 OECD 가이드와 경험을 공유한다.

## II. 자원생산성 향상 정책에 관한 회원국 권고 사항

거시, 부문, 미시 차원에서 환경적으로 효과적이고 경제적으로 효율적인 자연자원 및 물질의 사용을 촉진함으로써, 그리고 모든 유관부처, 연구기관, 비정부기구를 참여시킴으로써, 자원생산성을 향상하고 물질-제품 사용의 부정적 환경영향을 축소하기 위한 적절한 조치를 취해야 한다. 이를 위해

1. 정부정책의 계획 수립과 관련하여 물질흐름 및 환경영향에 관한 정보의 사용을 고려해야 하며(예: 물질흐름 및 환경영향 정보를 정책목표 설정에 사용), 이러한 경험을 다른 회원국과 공유해야 한다.
2. 3R(Reduce, Reuse, Recycle), 지속가능물질관리, 지속가능 제조 등과 같은 통합적인 생애주기접근법을 의사결정 및 정책간 일관성 증대를 위한 기초자료로 활용해야 한다.
3. 자원생산성 향상을 목표로 하는 신기술 사용 및 혁신을 촉진해야 한다.
4. 기업간 협력 및 우수사례 공유를 촉진해야 한다.
5. 경제적 수단을 통해 자원생산성을 향상시키는 조건의 확립에 기여해야 한다.
6. 자원생산성 향상을 위한 정책 수단이 경제적으로 효율적이고 환경적으로 효과적이며 사회적으로 공평하도록 협력해야 한다.
7. 비회원국이 자원생산성 향상 정책의 개발 및 수행 능력을 강화할 수 있도록 비회원국과 협력해야 한다.

자료: OECD(2008c).

## 2) EU

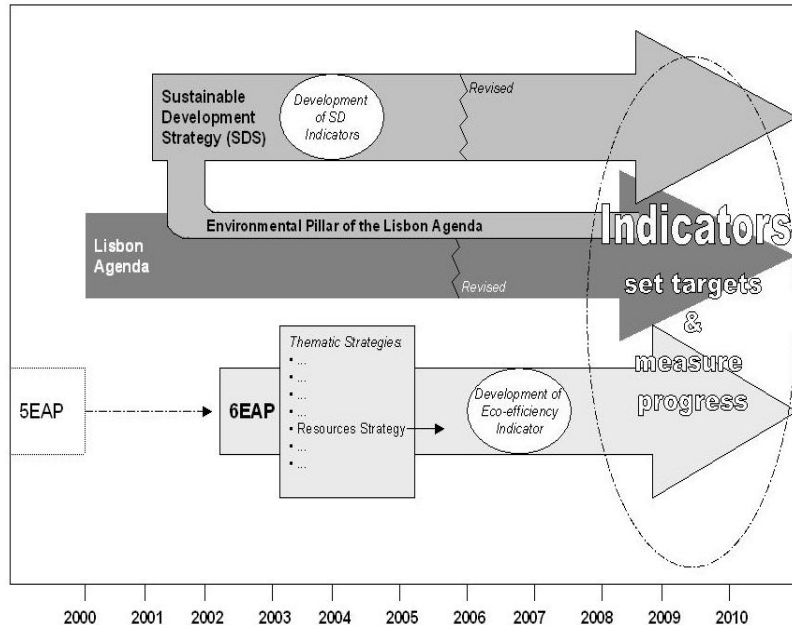
### 가) 개요

2001년 EU는 지속가능발전전략(SDS)을 수립하였다. (2006년 갱신) 2002년에는 제6차 환경행동프로그램(environment action programme)을 채택하였으며, 기후변화, 자연·생물다양성, 환경보건, 자연자원 및 폐기물의 4가지 주요 영역을 제시하였다. 제6차 환경행동프로그램에 근거하여 토양, 해양환경, 대기, 살충제, 도시환경, 자연자원, 폐기물 예방 및 재활용 등의 7개 주제에 대한 전략(thematic strategy)이 수립되었다.

- 7개 주제 :

[그림 III-9] EU의 지속가능발전전략과 환경행동프로그램





자료: Aaron et al.(2008)

#### 나) 자연자원의 지속가능한 사용 전략(자원전략)

자연자원의 지속가능한 사용 전략은 2005년 12월 채택되었으며, 주요 목적은 자원사용의 환경영향이 환경의 수용능력을 초과하지 않도록 하고, 경제성장과 자원사용 사이의 연계를 차단하는 것이다.

#### 다) 폐기물 예방 및 재활용 전략

자원전략과 밀접하게 관련이 있는 폐기물 예방 및 재활용 전략은 2005년 12월에 채택되었으며, 본 전략의 주요 목적은 폐기물 발생을 예방하고 폐기물을 자원으로 이용하는 자원순환 사회를 촉진하기 위함이다.

#### 3) 일본

일본은 순환형사회형성기본법(2001년) 제15조에 근거하여 수립한 '순환형사회형성추진기본계획'(2003년)에서 자원순환과 관련한 2010년의 3가지 정책 목표를 설정하고 있다. 제2차 '순환형사회형성추진기본계획'(2007년)에서는 제1차 기본계획의 내용을 확대·개편하였다.

제1차 순환형사회형성추진기본계획(2003년)의 정책목표는 다음과 같다.

- 투입 : 자원생산성 37만엔/톤 (2000년 대비 약 40% 향상)

- 자원생산성 = GDP/자연자원투입량(DMI)
- 순환 : 순환이용률 14% (2000년 대비 4%포인트 향상)
- 순환이용률 = 순환이용량/(순환이용량+ 자연자원투입량)
- 산출(배출) : 최종처분량 28백만톤 (2000년 대비 44% 감소)

제2차 순환형사회형성추진기본계획(2007년)의 정책목표는 다음과 같다.

- 제1차 기본계획의 3가지 물질흐름 지표를 이용한 2015년의 정책목표를 설정함
- 투입 : 자원생산성 42만엔/톤
- 순환 : 순환이용률 14~15%
- 산출(배출) : 최종처분량 23백만톤
- 목표설정 관련 보조지표 및 모니터링지표 이외에 노력지수도 제시함
- 보조지표 : 토양 및 채석을 제외한 자원생산성, 폐기물 관련 온실가스 배출량
- 모니터링지표 : 화석연료의 자원생산성, 생물자원 투입률, TMR(Total Material Requirement), 국제자원순환 관련 지표(예: TMC), 산업별 자원생산성
- 노력지수: 생활폐기물 감소, 산업폐기물 감소, 의식·행동 변화, SMC (Sound Material-Cycle) 사업 촉진(녹색구매, 환경경영 등)

#### 4) 기타

독일은 2002년에 '국가지속가능발전전략'(2002)을 수립하였다. 본 전략에서는 비생물원료물질의 자원생산성을 2020년까지 1994년 대비 2배로 높이는 것을 정책 목표로 설정하였다. 비생물원료물질은 물질흐름계정에서 도출되는 지표 중 하나인 직접물질투입량(DMI)에서 생물자원(즉재생가능자원)을 제외한 것을 말한다.

이탈리아는 2002년에 수립한 '지속가능발전을 위한 환경행동계획'(2002)에서 총물질소요량(TMR: Total Material Requirements)을 단계적으로 감축하는 정책목표를 설정한 바 있다. 연차별 감축목표는 다음과 같다.

- 2010년 25%, 2030년 75%, 2050년 90%

#### 참고문헌

환경백서, 환경부, 2008

주현수 등, 주요 자원의 물질흐름분석을 통한 자원생산성 향상방안 연구, 국립환경과학원, 2008

1) 이러한 정책목표는 OECD 회의자료(Working Group on Environmental Information and Outlooks, 2007)에 소개되어 있으며, 구체적 달성전략은 미제시되어 있음