

# 시멘트 산업과 이산화탄소 처리방법

남 성 찬, 정 순 관

(한국에너지기술연구원, 기후변화기술연구본부 책임연구원)

## 1. 시멘트 산업의 온실가스 배출 특성

교토의정서상 우리나라는 개도국의 지위(Non-Annex II 국가)를 인정받아 온실가스 감축에 대한 의무를 면제받고 있으나, 2005년 기준으로 온실가스 배출량 세계 9위, OECD 국가 중 온실가스 배출 증가율 1위의 국가이며 세계 12위권의 경제규모를 가지고 있어 2013년 이후로 예정된 포스트 교토의정서상 온실가스 감축 의무국에 해당될 것이 거의 확실시 된다. 정부는 산업체의 보호를 위하여 구체적인 온실가스 감축량을 설정하지 않고 있으나, 온실가스 감축에 대한 국내외 압력에 의하여 올해 국민적 합의를 통한 온실가스 감축량을 발표할 예정이다.

2006년 IEA에서 발표한 GHG CO<sub>2</sub> Emissions Database에 따르면 연간 10만톤 이상의 이산화탄소를 배출하는 이산화탄소 대량 배출원 배출 규모는 연 137억 9,900만톤으로 이중 시멘트 산업에서 차지하는 비율은 약 6%인 9억 3,200만톤의 이산화탄소를 배출하고 있다. 에너지 다소비 업종이 산업의 근간을 이루는 우리나라는 전체 이산화탄소 배출량 중 92개의 대량 배출원에 의한 분율이 약 54%를 차지하고 있으며, 시멘트 산업의 경우 14개 공정에서 약 4,600만톤의 이산화탄소를 배출하는 것으로 보고되고 있다.

따라서 정부에서 온실가스 감축량을 발표할 경우 시멘트 산업 분야에 대해서도 강제적인 온실가스 할

당량 부여나 자발적 감축 목표 설정과 이의 이행을 유도할 것이 예상된다. 이에 따라 시멘트 산업 전반에 영향을 최소화 할 수 있는 온실가스 저감 방안을 다각적으로 검토하는 것이 필요한 시점으로 판단된다.

시멘트 산업은 포틀랜드 시멘트 생산과정에서 약 900kg-CO<sub>2</sub>/metric ton의 이산화탄소를 배출한다. 이를 세분화하여 살펴보면 시멘트 제조공정(약 40% 배출), 운송(약 5%), 그리고 시멘트 제조공정에서 소모되는 전력생산을 위해 요구되는 화석연료의 연소에 의해서 발생한다. 시멘트 제조공정에서의 이산화탄소 배출은 초기 시멘트 생산공정인 석회석(CaCO<sub>3</sub>)을 생석회(CaO)로 전환하는 공정에서 비롯된다. 시멘트 제조시 발생하는 이산화탄소는 평균 약 1kg의 시멘트당 0.87kg의 CO<sub>2</sub>가 배출되는 것으로 알려져 있으나 우리나라는 1kg의 시멘트당 0.77kg의 CO<sub>2</sub>를 배출하며 일본에서는 0.73kg CO<sub>2</sub>, 미국에서는 0.99kg CO<sub>2</sub>를 배출하며 지역적으로 매우 다양하다.

시멘트 키른에서 배출되는 CO<sub>2</sub>의 농도는 생산공정 및 제품의 형태에 따라 달라지지만 대략 14~33% 정도이다. <표-1>은 시멘트 공정에서의 CO<sub>2</sub> 배출량 원단위를 나타내고 있다.

<표-2>는 공정으로부터 배출되는 배기가스 성분의 일례이며, CO<sub>2</sub>가 22~25%를 차지하고 나머지는 N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub> 등이다. SO<sub>x</sub>는 시멘트 중에 거의 완전

<표-1> 시멘트 제조시에 배출되는 CO<sub>2</sub> 원단위 예(2000년)

			CO <sub>2</sub> 배출량(탄소환산)	
			구성비(%)	원단위(kg-C/t-cem.)
에너지	연료	시멘트 제조용	30	64
		자가 발전용	10	20
		소계	40	84
	구입 전력		1	2
	계		41	86
석회석(원료)			59	124
합계			100	211

하게 흡수되기 때문에 거의 무시할 수 있다.

실측치로 키른(NSP 및 SP) 출구의 CO<sub>2</sub> 농도는 23~37%(평균치 약 31%), O<sub>2</sub> 농도는 1~6%(평균치 약 3%), 배기가스 중의 분진 농도는 39~172g/Nm<sup>3</sup>(평균치 89g/Nm<sup>3</sup>) 형태로 배출되고 있다.

시멘트 산업에서 배출되는 이산화탄소를 감축하는 방법은 공정개선을 통한 에너지 효율을 증가시키는 것이며, 본고에서 제시하는 이산화탄소 포집기술은 다양한 온실가스 저감 방안 중 마지막 수단으로 채택할 수 있다.

이산화탄소 포집 기술은 대부분의 연구 대상이 석탄화력발전소에 집중되어 있다. 석탄화력발전소의 경우 배기가스 중 약 12~15%의 이산화탄소를 함유하고 있어 시멘트 산업에서 배출되는 이산화탄소 농도의 약 1/2 수준으로 석탄화력발전소를 대상으로 한 이산화탄소 포집 기술을 시멘트 산업에 그대로 적용하기에는 무리가 있으나 현재까지 가장 진보된 연구 결과를 나타내고 있다.

본고에서는 대규모 배출원에서 발생하는 이산화탄소를 포집하는 기술을 간단히 소개하고자 하면 이를 통하여 시멘트 산업에 적용할 수 있는 공정을 선

정하는데 도움이 되고자 한다.

## 2. CO<sub>2</sub> 포집기술의 분류

화석연료 연소공정에서 경제적으로 CO<sub>2</sub> 배출을 줄일 수 있는 기술의 중요도는 점차 증가하고 있으며, CO<sub>2</sub>를 포집하는 기술이 대량으로 이산화탄소를 저장할 수 있는 가장 현실적인 기술로 부각되고 있다. CO<sub>2</sub>를 포집하는 방법은 크게 다음의 세가지로 구분할 수 있다.

- 연소후 포집
- 연소전 포집
- 순산소 연소

연소후 포집 : CO<sub>2</sub> 포집 중 연소후 포집공정은 다양한 연료 연소기술 만큼 여러 가지 포집기술이 있다. 석탄 연료의 연소에 의해 발생하는 CO<sub>2</sub>를 포집하기 위한 가장 대표적으로 방법은 MEA 용매를 사용하는 아민 흡수법이다. 흡수탑에서 MEA 흡수제는 배기가스 중의 CO<sub>2</sub>를 흡수하며, 탈거탑에서 스트림으로 가열되어 고순도의 CO<sub>2</sub>를 방출하고, CO<sub>2</sub> free amine은 흡수탑에서 다시 재사용 된다. 그러나, MEA CO<sub>2</sub> 포집공정의 가장 큰 단점은 용매를 재생하기 위한 많은 에너지 소모에 따른 과도한 운전비용이며 이를 줄이기 위한 많은 연구 개발이 진행 중이다.

연소전 포집 : 연료 연소가스의 저농도 CO<sub>2</sub>를 흡

<표-2> 시멘트 산업에서의 키른 배출가스 (EP 출구)의 예

성분	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>
%	22~25	7~8

수방법에 의해 제거하는 것은 대규모 장치와 높은 부대비용을 초래한다. 나아가서 저농도 CO<sub>2</sub>의 단점은 CO<sub>2</sub>를 포집하기 위한 강력한 화학 용매를 사용해야 하며, 고순도 CO<sub>2</sub>를 배출하기 위해 즉 용매의 재사용을 위해 많은 양의 에너지가 요구된다. 만약 CO<sub>2</sub>포집 장비가 훨씬 작아지고, CO<sub>2</sub>흡수제의 재사용을 위한 작은 양의 에너지의 사용과 함께 다른 물리상의 용매가 사용된다면 농도 CO<sub>2</sub>와 압력이 증가될 수 있다. 이것이 바로 연소전 포집기술로 성취될 수 있다.

연소전 포집기술은 IGCC와 같이 연료를 공기중의 산소와 반응시켜 일산화탄소와 수소를 발생시키는 합성가스 제조공정에 적용할 수 있다. 합성가스 중 일산화탄소는 Shift Converter라 불리는 촉매반응기에서 반응되어 CO<sub>2</sub>와 더 많은 수소를 발생시킨다. 이때 고농도의 CO<sub>2</sub>는 물리흡수제나 분리막을 통하여 제거되며 수소는 연료로 사용된다. 고농도의 CO<sub>2</sub>를 포집하기 때문에 동일한 연료량을 사용한 경우 연소후 포집공정보다 낮은 운전비용이 소요된다.

순산소 연소 : 순산소 연소는 연소에 필요한 산소를 공기로부터 얻는 일반 연소과정과는 달리 거의 순수한 산소를 이용하므로써, 배기가스는 대부분 CO<sub>2</sub>와 H<sub>2</sub>O로 구성되어 있어 CO<sub>2</sub> 분리 회수 비용을 획기적으로 절감할 수 있는 기술이다.

고농도(일반적으로 93% 이상)의 산소는 보통 심냉 공기분리법을 이용하고 있으며, 산소를 제조하는데 소요되는 비용을 줄이기 위하여 분리막(ITM: Ion Transfer Membrane)을 이용한 산소제조 연구가 진행중이다.

### 3. CO<sub>2</sub> 포집기술의 유형

연료 연소가스로부터 CO<sub>2</sub>를 포집하기 위한 다음 몇 가지 기술이 개발되어지고 있다.

- 화학흡수분리법(Chemical Solvent Scrubbing)
- 물리흡수법(Physical Solvent Scrubbing)

- 흡착법(Adsorption)
- 막분리법(Membranes)
- 심냉법(Cryogenics)

#### 가. 화학흡수분리법

화학흡수법은 최근에 저압력 연소배기가스로부터 CO<sub>2</sub>를 포집하는데 가장 많이 이용되는 기술이다. 화학흡수법은 CO<sub>2</sub>와 흡수제의 화학반응을 이용한 것으로 흡수제는 주로 아민류가 가장 많이 사용되고 있다. 가장 대표적인 흡수제인 MEA(Monoethanolamine)가 상용화되어 사용중이다.

CO<sub>2</sub>는 흡수탑에서 흡수제와 접촉하여 화학적 반응을 통하여 흡수된다. 흡수된 CO<sub>2</sub>를 포함한 흡수제는 탈거탑에서 부가적인 열에 의해서 고순도의 CO<sub>2</sub>로 배출되며, CO<sub>2</sub>가 탈거된 흡수제는 흡수탑으로 순환되어 재사용된다. 탈거탑에서 배출된 CO<sub>2</sub>는 이송과 저장을 위해 압축되어진다.

화학흡수법은 석유화학과 정유공정에서 연소배기가스로부터 H<sub>2</sub>S와 CO<sub>2</sub>를 제거하기 위해 60년전부터 사용된 방법으로 공정의 안정성은 있으나, 장치의 부식, 열화에 의한 흡수제의 손실, 높은 재생열 등의 단점이 있어 전체적인 이산화탄소 회수 비용이 지나치게 높은 문제점이 있다. 현재는 더 큰 CO<sub>2</sub> 흡수량과 재생에너지를 낮추는 많은 연구들이 진행중이다.

#### 나. 물리흡수법

물리흡수는 연소배기가스가 매우 높은 CO<sub>2</sub> 분압을 갖고, 공정 조건이 대기압보다 훨씬 높은 압력을 나타내는 공정에 사용될 수 있다. 이는 물리흡수제의 CO<sub>2</sub> 흡수능력이 공정압력에 비례하여 증가하는 특성을 이용한 것으로 IGCC와 같은 연소전 CO<sub>2</sub> 회수시스템에 적합하다.

사용되는 물리흡수제는 대부분 낮은 증기압과 높은 끓는 점을 갖는 유기용매로 메탄올(Rectisol) 공

정), Dimethylether of Polyethylene Glycol (Selexol 공정), Propylene Carbonate(Fluor 공정), n-methyl-2-pyrrolidone(NMP-Purisol) 등이 대표적이다. 이들 물리흡수제는 CO<sub>2</sub>와 약하게 결합하므로 탈거탑에서 약간의 감압 혹은 승온을 통하여 CO<sub>2</sub>를 쉽게 분리할 수 있어 재생에 필요한 에너지가 작게 소요되는 장점이 있다.

## 다. 흡착법

흡착은 기체상 고체상 물질간의 매우 큰 분자간의 응력으로 인해 발생한다. 활성화된 탄소와 제올라이트 같이 매우 큰 표면적을 갖는 몇몇의 고체상의 물질들은 흡착에 의해 혼합가스로부터 CO<sub>2</sub>를 분리할 수 있다. 이들 흡착성 물질들은 대부분 구형 물질의 집합인 bed로서 배열되어진다. 이 공정은 기본 흡착과 재순환 과정의 재이용 과정을 통하여 운전된다. 흡착탑이 CO<sub>2</sub>로 완전히 포화되면, 이산화탄소를 포함한 배기가스는 새로운 흡착탑으로 보내지며, 포화된 흡착탑은 재생하여 CO<sub>2</sub>를 분리한다. 흡착성능은 반응온도, 부분압, 표면장력, 흡착제의 기공크기 등에 의하여 좌우된다.

흡착과 탈착에 영향을 주는 구동인자에 의하여 압력변화에 의한 흡착(PSA: Pressure Swing Adsorption), 온도변화에 의한 흡착(TSA: Temperature Swing Adsorption), 전기변화에 의한 흡착(ESA: Electric Swing Adsorption), 진공상태 변화에 의한 흡착(VSA: Vacuum Swing Adsorption) 등이 있다. PSA, TSA, VSA 등은 수소생산, 산소의 대량 분리 및 천연가스에서 CO<sub>2</sub>를 분리하는데 널리 사용되고 있으나, 대량 고정원에서 배출되는 CO<sub>2</sub>를 분리하는 공정으로는 흡수법에 비해 많은 연구가 진행되지 않고 있는 상태이다.

## 라. 막분리법

막분리기술은 이산화탄소에 대한 선택성과 특정

투과율을 갖는 막(Membrane)을 이용하는 것으로 막 종류에 따라 다르기는 하지만 모든 CO<sub>2</sub> 회수 시스템에 적용 가능하다. 가스 분리막은 기체와 막 소재간의 물리화학적 특성 차이를 이용한 것으로 특정 성분이 기체가 다른 기체보다 빠르게 막을 통과하는 현상에 의해 가스를 분리하는 기술이다. 흡수분리법과 비교시 흡수제와 같은 CO<sub>2</sub> 분리를 위한 중간물질이 없어 재생이 필요치 않으며, 시스템이 간편하고, 모듈화된 설계가 가능하다는 장점이 있어 Porous Inorganic Membranes, Palladium Membranes, Polymeric Membranes, Zeolite 분리막 등 다양한 형태의 막 연구가 진행중이다. 그러나 대용량의 이산화탄소를 회수하기 위한 막분리공정의 적용은 값싼 소재의 개발, 대규모 공정에서의 실증 등 극복해야 될 많은 도전과제가 남아있는 분야로 판단된다.

## 마. 심냉법

심냉법은 낮은 온도의 분리기술이다. 혼합가스의 심냉분리는 연소배기가스 경우에 다른 혼합가스의 성분을 변화시키지 않고, CO<sub>2</sub>의 상변화를 위해 몇 단계를 걸쳐서 CO<sub>2</sub> rich 가스 혼합물의 압축과 냉각을 포함한다. 심냉분리는 액체 CO<sub>2</sub>를 생산할 수 있어 이를 간단하게 이송, 운반할 수 있다는 장점이 있으나 공기분리를 위해 소요되는 압축기와 열교환기에 의한 에너지 소비가 크며, 단열을 위한 에너지 손실량이 많은 단점이 있다. 또한 고체 CO<sub>2</sub> Clusters와 CO<sub>2</sub> 주입 혼합물에서 수증기의 냉각에 의해 생성된 얼음(Ice)으로 인한 관의 막힘현상이다.

심냉 분리는 이미 가지고 있는 높은 농도의 CO<sub>2</sub>(일반적으로 >90%) 처리를 통해 고순도의 CO<sub>2</sub>를 분리하는데 상업적으로 널리 사용되어지고 있다. 이것은 비록 대기압의 연소배가스로부터 CO<sub>2</sub>를 포집할 수 있다고 최근에 주장되었지만, 저농도 CO<sub>2</sub> 처리에서는 사용되어지지 않는다. 심냉법에서 가장 큰 장래성이 보이는 방법으로는 주입되는 가스에 높은 CO<sub>2</sub>의 농도를 가질 때 즉 연소전 포집공정 또는 순

산소연소법과 같이 고압가스로부터 CO<sub>2</sub>를 분리하는 것이 기대되어진다.

#### 4. CO<sub>2</sub> 이용과 저장

포집된 CO<sub>2</sub>는 이용 또는 저장할 수 있다. 공정으로 부터의 CO<sub>2</sub>포집은 다음과 같이 여러 가지 목적으로 사용될 수 있다.

- 식료품 가공 또는 탄산화
- 용매로서의 Urea, Methanol, 유무기탄산염 화학적 합성
- 연료로서의 Biomass/Algae의 성장을 통한 직접적인 Biofixation

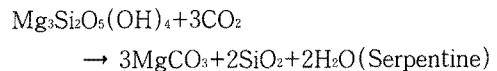
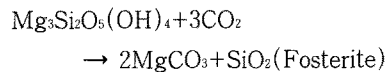
1989년 4.7Mt의 CO<sub>2</sub>를 액체 또는 고체상태로 사용하였다. 미국에서는 식료품 생산공정에서 연 2.7Mt가 소비되는 것으로 나타났다. 특히 아이스크림, 고기음식류, 냉동식품 등의 식료품의 냉각은 고체와 액체상의 CO<sub>2</sub> 양쪽이 주로 사용되었다. 음료와 맥주에 가장 많은 양이 사용되는 식료품 생산공정에는 약 0.9Mt/year의 CO<sub>2</sub>가 사용되었다. 우레아, 메탄올 그리고 다른 화학제품들은 약 매년 6.5Mt의 양이 소모된다. Dimethyl Carbonate(DMC), Alky-lene Polycarbonate, Metal 가공공정 등과 같은 다른 제품들은 매년 약 0.7Mt이 사용되었다. 최근의 자료에서는 전세계적으로 매년 89Mt의 양이 화학 합성을 위해 사용되고 있는 것으로 나타났다.

오일회수증진(EOR:Enhanced Oil Recovery)과 석탄층메탄회수증진(ECBM:Enhanced Coal Bed Methane)에 사용되는 이산화탄소는 대규모의 양이 사용되기 때문에 시멘트 산업과 같이 많은 양의 이산화탄소를 배출하는 공정에 더 매력적이다. 미국에는 74가지의 Enhanced Oil Recovery 운영 프로젝트가 있으며 매년 약 28Mt의 CO<sub>2</sub>가 1998년 CO<sub>2</sub> EOR로서 소비되었다. CO<sub>2</sub> EOR을 통하여 약 10~15%의 원유 생산을 증진시킬 수 있어 향후 화석연료의 고갈과 에너지 수요량의 증가에 따라 그동안 경제성을 이유로 사장되었던 기존 원유광구에서

추가적인 원유의 시추와 많은 양의 이산화탄소를 안정되게 저장할 수 있는 것으로 기대된다. 캐나다의 Weyburn CO<sub>2</sub> EOR Project(Saskatchewan)에서는 약 300Km 정도 떨어진 North Dakota(USA) 석탄화력발전소에서 발생한 이산화탄소를 이용하여 오일회수 증진에 이용하고 있다. 전세계적으로 EOR 프로젝트를 통하여 약 120Gt의 CO<sub>2</sub>를 저장할 수 있을 것으로 예측되고 있다.

ECMB은 사용되지 않는 석탄층에 CO<sub>2</sub>를 주입하며, 주입된 CO<sub>2</sub>는 석탄층의 메탄과 치환되어 고착된다. 탈착된 메탄은 회수하여 연료로 사용하는 방법으로 잠재적인 CO<sub>2</sub> 저장 및 사용되지 않는 에너지원의 이용 방안으로 부각되고 있으나 이에 대한 연구는 크게 진행되지 않고 있는 상태이다.

CO<sub>2</sub>를 저장하는 방법 중 또 다른 대안은 대수층 저장과 광물에 CO<sub>2</sub>를 저장하는 광물화를 들 수 있다. 대수층은 유·가스전과는 달리 전세계에 고르게 분포되어 있어 국내에서도 활용가능한 대상 지층을 찾을 수 있을 것으로 기대되고 있으며, 저장용량은 유·가스전의 10배 이상으로 평가되고 있다. 광물화는 CO<sub>2</sub>를 가장 안정되게 저장할 수 있는 방법으로 CO<sub>2</sub> 재방출의 우려가 없어 일정기간 저장된 CO<sub>2</sub>를 모니터링할 필요가 없다. 마그네슘 또는 칼슘이 포함된 광물과 CO<sub>2</sub>를 화학적으로 반응시켜 Carbonate 광물을 만들 수 있으며 이들 반응은 다음과 같이 나타낼 수 있다.



1톤의 이산화탄소를 광물화시키기 위해서는 약 1.6~3.7톤의 광물을 필요로 한다. 열역학적 관점에서 보면 광물화된 Carbonate가 CO<sub>2</sub>보다 낮은 에너지 준위를 가지고 있기 때문에 자발적인 반응이 일어난다. 그러나 반응속도가 매우 느리기 때문에 추가적인 에너지 소비가 커 1톤의 CO<sub>2</sub>를 광물화시키

는데 약 50~100달러가 소요되는 단점이 있다.

## 5. 결 론

온실가스에 의한 기후변화 현상이 가속되고 2013년 이후 시행될 포스트 교토의정서에서 온실가스 감축 의무국이 될 가능성이 높은 우리나라는 온실가스 감축에 대한 구체적인 방안을 제시할 시점이 되었다. 우리나라가 온실가스 감축 목표량을 산정할 경우 대규모 온실가스를 배출하는 시멘트 산업도 일정 부분 온실가스 감축에 대한 의무를 부여받게 될 것은 자명한 사실이다.

에너지 효율 향상을 통한 이산화탄소 배출 저감이 할당된 목표치를 만족시키지 못할 경우 이산화탄소 포집을 위한 공정을 설치하여야만 하며, 이에 따른 원가 상승에 의한 시멘트 산업의 위축은 불가피하다.

본고에서는 현재까지 연구되고 있는 이산화탄소 포집공정에 대한 내용을 간략하게 소개하였다. 화학 흡수법이 가장 상용화에 근접한 것으로 파악되고 있으나 상용화를 위한 경제성은 확보하지 못한 상태이다. 또한 대부분의 연구가 석탄화력발전소에서 배출되는 이산화탄소를 포집하기 위한 연구로 배가스에 포함된 이산화탄소의 농도가 석탄화력발전소보다 2배 높은 시멘트 산업공정에 적용하기에는 무리가 있다.

국내 산업체 특히 발전과 철강산업을 중심으로 이산화탄소를 줄이기 위한 다각도의 연구가 진행 중이다. 시멘트 산업에서도 향후 시행될 온실가스 저감에 대한 시멘트 산업의 영향 분석, 온실가스 감축 잠재 요소 파악 및 구체적인 실행 계획을 준비하여 온실가스 감축이라는 위기를 새로운 성장동력의 기회로 삼는 지혜가 필요한 시점이다. ▲

## 시사 용어 해설

### ▶ 강약기회 위협(강점, 약점, 기회, 위협, SWOT, Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats)

어떤 기업이 경영전략 수립을 위해 분석하는 내부환경과 외부환경으로부터 찾아내야 하는 기본적인 사항이다. 내부환경을 분석하여 기업의 강점과 약점을 발견하고 외부환경을 분석하여 기회와 위협을 찾아내어 이를 바탕으로 전략을 수립하게 된다. 기본적인 전략과정은 바로 기업내부의 강점과 약점을 기업 외부의 기회와 위협을 찾아내어 이를 바탕으로 전략을 수립하게 된다. 기본적인 전략과정은 바로 기업 내부의 강점과 약점을 기업 외부의 기회와 위협에 대응시킴으로써 기업의 목표를 달성하려는 것이다. 이때 사용되는 4요소를 강점, 약점, 기회, 위협(SWOT)이라 한다. 분석의 주요 내용으로는 강점(Strengths): 특정기업이 경쟁기업과 비교하여 소비자들로부터 강점으로 인식되고 있는 것은 무엇인가? 약점(Weaknesses): 특정기업이 경쟁기업과 비교하여 소비자들로부터 약점 인식되고 있는 것은 무엇인가? 기회(Opportunities): 특정기업을 둘러싸고 있는 환경에서의 주요 기회는 무엇인가? 위협(Threats): 특정기업을 둘러싸고 있는 환경에서의 주요 위협은 어떠한 것이 있는가? 등이다. 학자에 따라서는 기업 자체보다는 외부환경을 강조한다는 점에서 SWOT보다 TOWS(위협, 기회, 약점, 강점)라 부르기도 한다.