

이산화탄소 제거기술의 철강부문 적용잠재력 평가

홍종철, 신희성, 김종욱, 홍량, 김경희, 주은미
한국에너지기술연구원

Assessment of competitiveness of Carbon Dioxide Removal Technologies in Iron and Steel Sector

Hong Jong-Chul, Shin Hee-Sung, Kim Jong-Wook, Hong Ryang, Kim Kyung-Hee, Ju Eun-Mi
Korea Institute of Energy Research

1. 서론

세계적으로 발전부문에서의 이산화탄소 제거에 대해서는 많은 관심을 기울여 왔으나, 발전부문 못지 않게 많은 배출 비중을 갖고 있는 철강산업에서의 이산화탄소 배출에 관한 관심은 관련 연구나 논문발표를 통해 살펴볼 때 매우 저조한 실정이다.

세계적으로, 연간 약 420백만톤의 코크스와 석탄이 철강산업의 고로에 사용되고 있다(IEA, 2000). 이에 의해 발생하는 이산화탄소는 약 1.5Gt이 되며, 지구전체 GHG 배출량의 약 5%를 차지한다. 500MW급 석탄화력소는 연간 약 3.8Mt의 이산화탄소를 배출하고, 3Mt급 고로는 연간 약 4Mt의 이산화탄소를 배출한다. 국내의 광양제철소는 3Mt급 5기의 고로를 보유하고 있으며, 따라서 연간 20Mt(약 5.5백만TC)의 이산화탄소 배출원이다.

이상에서 살펴볼 때 철강산업은 세계적으로 최대 단일 고정 이산화탄소 배출원이라는 것을 의미한다. 그러나 발생규모가 클수록 이산화탄소 포집을 위한 규모의 경제성은 높아진다. 환경에 대한 인식이 강화될수록 특정지역에 대규모 1차 철강생산이 집중될 것이며, 서방과 유럽 선진국에서 개발도상국으로 생산지 이동이 더욱 가속화되고 있다. 특히, 중국, 한국을 비롯한 동아시아지역이 이러한 철강생산지가 될 가능성이 현재로서는 매우 크다.

연구결과(Fara, 1995)에 의하면, 철강산업에서의 이산화탄소 포집비용은 이산화탄소 1톤당 약 \$35가 될 것으로 알려져 있다. 이 비용은 발전분야의 IGCC의 경우보다 2배정도 높은 수준이다. 다른 공학분야 연구 결과들도 대개 비슷한 추세를 보이고 있으며(David, 2000), 이러한 차이가 발전분야의 이산화탄소 제거에만 관심이 집중되는 이유가 되고 있는 것으로 판단된다.

그렇지만 서로 다른 산업부문들 사이의 이산화탄소 제거 비용을 비교하는 것이 반드시 최적의 선택 기준은 아니라는 의견이 제기되고 있다. 일례로, 전력 부문에서 이산화탄소 제거는 세계적으로 많은 지역에서 상대적으로 저렴한 신재생에너지를 이용한 발전과 경쟁하여 경제성이 평가되기 때문에 경쟁 방법과 수가 매우 제한적인 철강산업에서의 회수와는 비교의 대상이 될 수 없다는 것이 문제제기의 핵심이다.

본 연구에서는 이러한 관점에서 철강부문에 적용 가능한 이산화탄소 제거기술의 특성을 몇 가지 새로운 측면에서 분석하고 이의 적용 경쟁력을 평가함으로써 향후 철강부문에서의 적용 잠재력을 살펴보고자 한다.

2. 기존 이산화탄소 제거기술에 관한 고찰

발전부문에 대한 이산화탄소 제거기술 적용과의 상대적인 경쟁과는 별도로 실제적인 비용 수준 산출에도 역시 의문이 제기된다. 앞서 연구결과(Fara, 1995)는 화학적 흡수제인

MDEA(methyldiethanolamine)의 이용을 바탕으로 고로에서의 이산화탄소 제거를 추정하였다. 화학 흡수제는 특별히 낮은 이산화탄소 농도를 갖는 가스 흐름(분압 5bar 이하)에 적합하다. 고로 가스는 약 20%의 이산화탄소를 함유하고 있으며, 또한 많은 양의 일산화탄소를 포함하고 있다(표 1). 이러한 일산화탄소는 shift reaction을 통해 이산화탄소로 쉽게 전환될 수 있으며, 결과적으로 이산화탄소 농도는 2배가 될 수 있다.

표 1. 배출가스 조성

(단위 : %)

성분	가스화기	석탄발전소	고로	COREX	CCF
수소	30	0	3	15	5
CO	64	0	21	40	40
CO ₂	1	13	20	35	45
메탄	0	0	0	1	0
질소	4	72	56	9	10
기타	1	15	0	0	0
계	100	100	100	100	100

이러한 점들을 고려할 때 철강분야의 이산화탄소 제거에는 물리적 흡착 시스템(physical absorption system)(분압 10bar 이상)이 더욱 적합하다고 판단되며, 동 시스템은 상대적으로 더 낮은 비용과 적은 에너지를 소비할 것이다. 한편 동 연구결과에서도 역시 이러한 기술선택의 가능성을 인정하였지만, shift reaction의 비용을 매우 높게 추정된 것으로 판단된다. 한편, 석탄을 사용하는 IGCC의 경우, 가장 비용효과적인 방법으로 폭넓게 사용되고 있는 shift reaction과 Selexol(dimethyether of polyethylene glycol)을 이산화탄소 제거비용 산출에 적용하였다(David, 2000).

고로가스(BFG)로부터 이산화탄소 제거로 인한 큰 이점 중의 하나는 연료의 질이 향상된다는 것이다. BFG는 천연가스의 약 1/10에 지나지 않는 3MJ/m³의 낮은 열량을 갖고 있다. 이러한 가스의 질을 가지는 가스터빈에서 높은 효율의 전력 생산을 기대할 수 없으며, 보통 코크오븐가스(COG)나 천연가스와 같은 높은 에너지 함량을 가지는 다른 가스들과 혼합되어 사용된다. 이러한 혼합가스는 복합화력발전에서 41~42%의 전환효율을 나타낸다(IISI, 1998). 그러나 최신 천연가스발전의 효율은 55~60%에 달하며, 결과적으로 BFG 혼합가스의 사용은 전기적인 효율로 14~18%의 손실이 있다.

철강산업에서는 가스의 사용과 관련하여 BFG에 대해 등급을 부여하며, 이는 같은 양의 열을 공급하기 위해서 요구되는 천연가스의 양과 같은 BFG의 양을 의미한다(GJ/GJ). 이의 범위는 재가열로의 경우 0.2~0.5이며, 보일러와 스토브의 경우 0.85~0.9 정도이다(IISI, 1998). 만일 이산화탄소가 BFG로부터 제거된다면, 가스의 발열량은 크게 증가할 것이며, 가스의 등급은 1에 가까울 것이다. 순수한 수소의 경우 열량은 10.7MJ/m³이나, 수소는 저 NO_x 버너를 가진 최신의 가스 터빈에서 연소될 수는 없다. 수소의 실제 이용을 위해서는 화염온도를 낮추기 위하여 천연가스와 같은 것과 혼합되어야 하며, 이러한 혼합가스는 천연가스와 같은 효율로 전력으로 전환될 수 있을 것이다. 이때의 이점은 이산화탄소 1톤당 전력 0.56 GJ(0.56GJe/t.CO₂)에 이른다. 결론적으로, 고로에서 이산화탄소를 포집하는 데는 많은 에너지비용이 요구되지만, 이런 에너지 비용의 일부는 증가된 전력전환 효율에 충당될 수 있을 것이다. 앞서의 연구결과들은 이런 점들을 간파했다고 판단된다.

한편, 기존 고로에서의 이산화탄소 제거비용을 산출한 선행 연구결과들은 전통적인 BFG의 조성을 바탕으로 하고 있다. 그러나 BFG의 조성은 고로에 석탄, 천연가스 그리고 폐 플라스틱 등을 투입하면서 변하고 있다. 이러한 연료들은 고로의 온도를 낮추며, 이 영향은 5

0~75kg의 산소 투입한 것에 해당한다. 결과적으로 배출가스의 질소 농도는 낮아지고 일산화탄소, 이산화탄소, 수소의 농도는 증가한다. 또한 공기대신 순수한 산소를 사용하는 철광 환원에 대해 많은 신기술들이 개발되고 있다. 산소를 사용한 경우, 일산화탄소와 이산화탄소의 농도는 IGCC의 가스 농도와 매우 유사해진다. 특히 산소주입 고로, COREX, 그리고 CCF 등에서의 배출되는 가스는 더욱 비슷한 조성을 갖는다. 기본적으로 이들 공정은 에너지의 일부가 철광 환원에 사용되는 석탄가스화 설비로서 간주될 수 있다. IGCC로부터 발생되는 이산화탄소를 제거하는 것은 발전기술중에서 가장 비용 효과적인 제거 방법으로 알려져 있고 있다(David, 2000).

이산화탄소 포집은 이미 철강 산업에서 직접환원철(DRI) 제조에 널리 적용되고 있다. 이산화탄소는 환원가스로부터 제거되고, 환원가스는 DRI 생산을 위해 재순환되어 이용된다. 세계적으로 DRI 생산은 1999년에 38.6 Mt에 이르렀으며, 이중 92%가 가스를 이용한 DRI 생산이었다. 에너지 소비는 DRI 1톤당 약 10GJ이었으며, 따라서 약 20Mt의 이산화탄소가 포집되었다. 이 기술에서의 이산화탄소 제거를 위해서는 단지 이산화탄소 압축과 저장 비용만이 필요할 뿐이다.

이산화탄소의 수송과 저장은 그 동안 널리 논의되어 왔다. 대부분의 제철소가 제품과 원료의 수송비용을 줄이기 위해서 해안에 위치하고 있으며, 이는 해양으로 쉽고 값싸게 접근할 수 있음을 나타낸다. 수송과 저장을 위한 비용은 높게는 이산화탄소 1톤당 약 \$10 정도로 추정되고 있으며, 일부 자료에서는 600 km에 달하는 수송거리에 대해 수송과 저장 비용이 이산화탄소 1톤당 \$0.5~2(Sarv, H., John, J.)밖에 소요 되지 않는다고 주장하고 있다.

1기의 IGCC 발전소에서 이산화탄소 제거를 위한 투자비용은 이산화탄소 1톤당 \$27에 달한다. 이산화탄소 배출량이 감소하지만 질소산화물은 증가한다. Selexol 플랜트에서 황화수소와 이산화탄소 분리부분의 통합은 플랜트의 에너지소비를 감소시키고 전체 효율을 증가시킬 것이다.

물리적인 흡수(physical absorption) 없이 1기의 IGCC 발전소의 에너지 소비는 석탄 2.37GJ/GJe에 달한다. 물리적인 흡수가 적용될 경우, 석탄소비는 전기 1GJ 당 2.78 GJ로 증가한다. 이는 전효율이 42.2%에서 36.1%로 떨어지는 것을 의미하며, 이산화탄소의 90%가 포집된다. 결과적으로 이산화탄소 제거를 위한 전기 소비는 이산화탄소 1톤당 0.7 GJ에 달한다. 2012년 경에는 이산화탄소 1톤당 0.5 GJ 정도로 개선될 것으로 전망되고 있다.

수송과 저장을 위해 필요한 압력은 대수층 또는 해양 등의 저장장소, 그리고 저장 깊이와 관련이 있다. 각각 1,500m와 2,600m 깊이에 있는 저장소의 경우 80~100 기압 범위의 압력이 필요하며, 각각 0.39 GJ와 0.41 GJ정도의 에너지가 소비된다. 결론적으로, 에너지 소비는 압축기의 효율(공정단계의 수, 중간냉각기 특성인자)과 수송, 저장 특성인자(최종적으로 필요한 압력)에 좌우되고, 에너지 소비는 이산화탄소 1톤당 0.27~0.41GJe의 범위가 될 것이다. 본 연구에서는 평균치인 0.34 GJ/t CO₂를 채택하였다.

IGCC 시스템에서 시동 압력이 20 기압이고 가압에 필요한 에너지(100기압까지)는 0.13 GJ/t.CO₂이다(Bolland, O. and Undrum, H, 1998). 결론적으로 IGCC의 경우와 동등하게 하려면 고로에 대해서 0.21GJe/t CO₂가 투입되어야만 한다. 다른 가스들의 함량이 높아지면 이산화탄소 1톤당 전력소비는 같이 높아질 것이다(예, 고로에서 질소의 경우, 에너지 소비는 거의 2배가 높아짐). 결론적으로 IGCC와 비교해서 전력소비는 일반 고로의 경우 0.3GJ/t CO₂로 증가하고, 산소취련 제철시스템의 경우 0.2 GJ/t CO₂로 증가한다.

전체적으로 전기 소비는 0.66 GJ/t CO₂에 달하나, 이는 고로가스로부터 에너지 회수를 반영하지 않은 것이다. 이를 반영 할 경우, 전기 소비는 0.1 GJ/t CO₂까지 내려간다. 실제로, 고로가스 일부는 공기를 예열하는데 사용되고 있다. 생산된 전기의 절반을 사용한다고 가정하면, 이산화탄소 제거를 위해 사용되는 평균 전기소비는 0.38 GJ/t CO₂에 이른다.

IGCC와 비교해서, 일산화탄소 농도가 3배 더 낮으나, 전체 가스 양은 IGCC의 가스체적보

다 1.5~3배 더 크다. 따라서 두 가지는 서로 균형으로 이루어 반응기의 투자비용은 거의 비슷해진다. Selexol 제거 공정에서는 이산화탄소 농도가 35% 더 낮지만, 규모는 5배 더 크다. 결론적으로 (scaling factor 0.7로 가정하면) 투자비용은 절반이 되며, 이산화탄소 포집 비용은 IGCC(\$25/t CO₂)와 비슷하다. 전통적인 고로에 비해 산소취련 고로를 이용하는 경우에는 25%정도의 비용이 감소될 것이다. COREX와 CCF의 경우에는 대부분 설비의 규모가 상대적으로 작기 때문에 비용이 약간 더 추가된다.

표 2.는 이상의 분석을 토대로 각각의 대안들에 대한 이산화탄소 포집과 저장 비용을 정리한 것이다. 전기의 가격을 \$15/GJe, 감가상각을 12%, 그리고 이산화탄소 포집 설비의 수명이 25년이라고 가정하면, 이산화탄소 수송 및 저장에 소요되는 총 비용을 산출한 결과 최소 DRI의 \$15/GJ로부터, 최고 COREX와 CCF의 \$27/GJ의 범위가 될 것으로 추정하였다.

표 2. 이산화탄소 포집, 수송, 저장비용

	단위	일반고로	산소취련고로	COREX	CCF	DRI
전력소비	GJe/t.CO ₂	0.38	0.7	0.7	0.7	0.21
투자비용	\$/t.CO ₂ yr	25	20	25	25	1
운영비용	\$/t.CO ₂	1.25	2	1.25	1.25	0.05
저장비용	\$/t.CO ₂	10	10	10	10	10
총 비용	\$/t.CO ₂	21.0	27.0	26.9	26.9	14.5

본 연구에서는 이상의 이산화탄소 제거기술에 대한 종합적인 고찰을 통하여 다음 4개의 제거기술을 평가에 포함하였다. 4개의 기술에 대해 적용된 비용자료는 표 2.와 같다.

- 고로(산소취련)에서 발생하는 CO₂ 제거(CO₂ Removal from BF)
- COREX에서 발생하는 CO₂ 제거(CO₂ Removal from COREX)
- CCF(Cyclon Converter Furnace)에서 발생하는 CO₂ 제거(CO₂ Removal from CCF)
- DRI(Direct Reduction Iron)에서 발생하는 CO₂ 제거(CO₂ Removal from DRI)

3. 이산화탄소 제거기술의 적용잠재력 평가

3.1. 평가방법

본 연구에서 이산화탄소 제거기술의 평가는 한국에너지기술연구원에서 MARKAL (MARKet ALlocation)모형을 이용하여 구축한 철강기술평가시스템을 이용하였다. 동 평가시스템은 재료흐름 분석(Material Flow Analysis) 기법을 활용한 철강기술시스템을 분석 결과를 토대로 구축된 것이며, 다양한 기술대안 별, 시나리오별 기술의 비용 경쟁력 및 이산화탄소 배출 저감 잠재력 평가에 적용 가능하다(한국에너지기술연구원, 2001).

MARKAL모형은 1976 - 1979년 사이 국제에너지기구(International Energy Agency, IEA)에 의해 개발되었으며, 2001년 현재 전 세계적으로 35개국 75개 이상의 기관에서 사용되고 있다(G. Goldstein, D. Hill, 1996)(T. Kram, D. Hill, 1996)

MARKAL모형은 수요에 따른 에너지시스템 분석을 위한 일반화된 에너지시스템의 다 주기 선형계획모형(Multi-Time Period Linear Programming Model)으로 개발되었으며, 최근 다양한 제품, 원료 등의 흐름을 포함하여 평가할 수 있는 재료 모델링(Material Modeling)을 위해 확장되었다. 따라서 현재 모형은 “요람에서 무덤까지” 모든 재료의 생명주기(material life cycle)를 포함할 수 있다.

따라서, 다양한 환경하에서 이산화탄소 제거기술의 기존기술과의 경쟁력, 동 기술에 의한 이산화탄소 저감잠재력 등의 평가에 매우 적절히 적용될 수 있다.

3.2. 평가시나리오

- 기준시나리오(BASE) : 기준년도인 1995, 2000년의 추세가 전체 평가기간 동안 지속된다는 가정을 바탕으로 설정된 시나리오
- 기술대안 시나리오(TECH) : 기술대안은 현재 개발되어 사용되고 있으나, 국내에서는 아직 채택하지 않고 있는 것으로 나타난 것들을 포함(모든 기술대안은 2010년부터 이용 가능한 것으로 정의)
- 이산화탄소 배출 비용 부과 시나리오 : 만일, 미래에 이산화탄소 배출에 따른 비용이 부과될 경우를 가정하여 각 기술의 경쟁력과 저감잠재력을 평가하기 위한 시나리오
 - CTAX-30 : \$30/TC
 - CTAX-60 : \$60/TC
 - CTAX-90 : \$60/TC

3.3. 주요 전제사항

3.3.1. 기준년도 및 평가기간

평가의 기준년도는 1995, 2000년을 채택하였다. 당초 2000년을 단일 기준년도로 설정하고자 하였으나, 일부 기술 및 에너지 사용 현황에 대한 통계자료가 아직 발표되지 않은 관계로 1995년과 2000년을 같이 채택하였다. 따라서 1995, 2000년도 기술의 종류 및 용량, 에너지/재료 사용 실적을 기준으로 향후 평가기간 기간 동안 기술 평가가 수행되도록 하였다.

평가기간은 대부분의 철강기술 수명이 20년 이상을 상회하는 점을 반영하여 1995년부터 2035년까지로 설정하였으며, 매 5년 단위로 평가를 수행하고 결과를 도출하도록 하였다.

3.3.2. 철강제품 수요

평가의 기준이 되는 철강제품의 수요는 기준년도인 1995, 2000년도의 경우 각 제품의 생산실적을 기준으로 정의하였다.

철강제품의 총 수요는 1995년 38,367천톤, 2000년 44,776천톤으로 정의하였다. 2000년 이후 2035년까지의 철강제품 수요(생산)는 2035년에 50,000천톤까지 시계열적으로 증가하는 것으로 정의하였다. 철강부문의 제품 생산에 대해 신뢰할만한 장기전망 자료를 접하기 어려웠기 때문에 본 연구에서는 철강제품 생산이 적은 규모이지만 꾸준히 증가할 것으로 전망한 것이다. 한편 각 제품별 구성비율은 2000년도 현재와 같은 것으로 전제하였다.

3.3.3. 자원(에너지/원료) 가격

에너지 및 자원 가격은 1995년과 2000년 실적을 기준으로 하였다. 2000년 이후는 특별한 가격 시나리오를 채택하지 않고 2000년의 가격이 유지된다고 가정하였다.

3.3.4. 이산화탄소 배출계수

이산화탄소 배출 저감 잠재력 평가는 에너지 및 원료별로 적용된 이산화탄소 배출계수에 의한 배출을 기준으로 이루어진다. 배출계수는 아직 우리나라 고유의 배출계수가 정립되지 않은 관계로 IPCC의 환산계수를 이용하였다.

3.3.5. 할인율

투자비 등 모든 비용의 평가에 적용되는 할인율은 산업부문의 투자에 일반적으로 적용되

는 12%를 적용하였다.

3.4. 평가결과

본 연구에서 산출한 이산화탄소 배출량은 새로운 기술대안의 도입과 배출비용 부과 등에 따른 상대적인 저감 잠재력 효과를 분석하는데 주목적이 있으며, 특히 이산화탄소 제거기술에 대한 평가에 중점을 두고 있다. 따라서 절대적인 배출량의 계산 또는 전망을 위한 것이 아님을 미리 밝혀둔다. 즉, 이러한 결과는 설계된 기술시스템과 주어진 배출계수를 적용하여 얻은 결과이며, 통계나 실제 배출량과는 차이가 있을 수 있다.

설계한 철강기술시스템과 평가모형을 통한 평가결과, BSAE의 경우 1995년의 이산화탄소 배출은 14.9백만TC, 2000년 16.1백만TC로 나타났으며, 철강생산의 증가와 더불어 2035년에 16.8백만TC까지 증가하는 것으로 나타났다. 그림 1.은 각 시나리오별 총 배출량을 비교한 것이다.

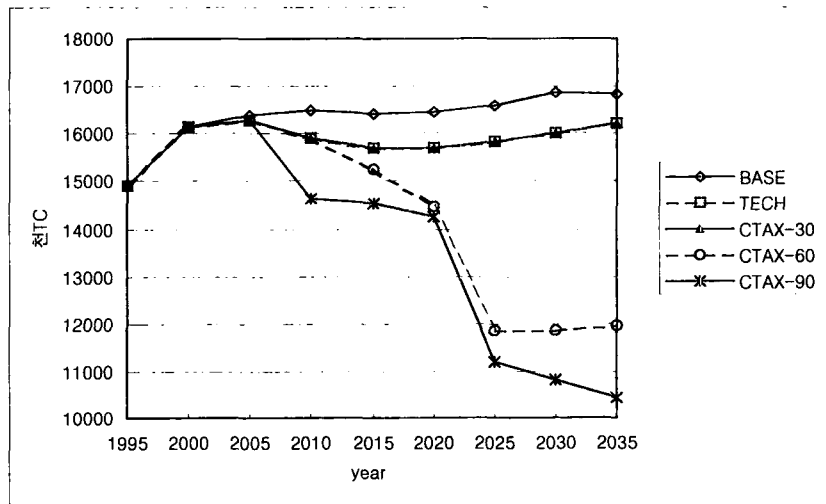


그림 1. 이산화탄소 배출 - 시나리오별 총 배출량

TECH의 경우, BASE에 비하여 2005년 0.67%로부터 2030년에 최고 5.15%까지 배출 저감 효과가 있는 것으로 평가되었다. CTAX의 경우 \$30 정도의 수준에서는 TECH에 비해 전혀 변화가 없었으며, 이는 \$30정도의 부과금은 이산화탄소 배출저감에 큰 의미를 갖지 못함을 의미한다. 이는 철강산업이 갖는 자본 집약적인 설비, 그리고 제품의 연관 생산 체제 등의 요인이 상대적으로 비용에 둔감한 변화를 보인 것으로 분석된다. \$60에서 \$90 정도의 배출 비용 부과와 경우 이산화탄소 배출과 매우 민감한 반응을 보였다. CTAX-60의 경우 2010년 3.4%부터 2035년 29.0%에 이르는 배출 저감효과를 보였으며, CTAX-90에서는 2035년에 BASE에 비해 37.9%의 저감잠재력을 나타냈다(표 3).

표 3. 시나리오별 이산화탄소 저감잠재력

(단위 : %)

	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
TECH	0	0	-0.7	-3.4	-4.4	-4.7	-4.6	-5.1	-3.7
CTAX-30	0	0	-0.7	-3.4	-4.5	-4.7	-4.6	-5.1	-3.7
CTAX-60	0	0	-0.7	-3.4	-7.2	-12.2	-28.5	-29.7	-29.0
CTAX-90	0	0	-0.7	-11.3	-11.5	-13.3	-32.5	-35.9	-37.9

CTAX-60, CTAX-90하에서 저감잠재력이 크게 나타난 주요인은 이산화탄소 제거기술의 채택과 깊은 관련이 있다. CTAX-60부터 이산화탄소 제거기술이 타 기술대안과의 경쟁에서 우위를 가지는 것을 의미한다. 표 4.는 제거기술에 의한 각 시나리오별 저감효과를 나타낸 것이다.

표 4. 제거기술에 의한 이산화탄소 저감량

(단위 : 천TC)

	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
CTAX-60	0	0	0	0	96	747	3,429	3,470	3,499
CTAX-90	0	0	0	749	749	902	4,050	4,532	5,019

결과를 종합하여 볼 때, 본 평가에 포함된 기술대안에 의한 저감잠재력은 저장기술을 제외할 경우 2020년에서 2035년 사이에 최고 7~8% 정도로 분석된다.

한편, 철강제품 톤 당 이산화탄소 배출추이를 살펴보면, 평가결과 1995년 0.39TC/T-S, 2000년 0.36TC/T-S을 나타냈다. BASE의 경우에도 2035년에 0.34TC/T-S로 지속적인 감소를 보였으며, TECH에서는 2035년 0.32TC/T-S까지 더욱 감소하였다. CTAX-90하에서는 2035년에 최고 0.21TC/T-S까지 감소를 보였으며, 이는 저장기술의 채택에 따른 결과이다. 그림 2.는 이러한 철강제품 톤 당 이산화탄소 배출 추이를 각 시나리오별로 나타내고 있다.

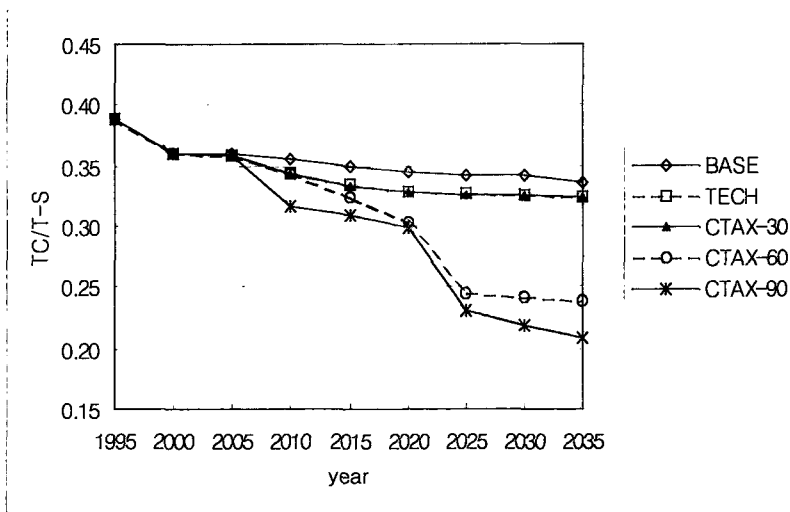


그림 2. 철강제품 톤 당 이산화탄소 배출 추이

표 5.는 본 평가에 포함된 4개의 이산화탄소 제거기술 각각의 잠재력 평가결과를 나타낸 것이다. 잠재력의 정도 판단 기준은 동일 제품을 생산하는 기술들간의 경쟁에서 특정 기술이 차지하는 생산비중을 토대로 하였다. 즉, 잠재력은 주어진 평가조건하에서 경쟁력의 정도를 나타내고 있다.

표 5. 이산화탄소 저감잠재력 - 이산화탄소 제거기술

기 술 명	BASE	TECH	CTAX-30	CTAX-60	CTAX-90
CO2 Removal from BF		•	•	●	●
CO2 Removal from COREX		•	•	•	•
CO2 Removal from CCF		•	•	•	•
CO2 Removal from DRI		•	•	●	●

- 잠재력 정도 : • 낮음(0~10%), ● 보통(10~30%), ● 높음(30% 이상)

평가결과는 각 기술 자체의 기술 및 비용 특성, 그리고 각 기술로부터의 이산화탄소 제거 비용이 종합적으로 고려되어 도출된다. 고로와 DRI에서 발생하는 이산화탄소의 제거는 이산화탄소 배출비용 부과의 경우 적용잠재력을 갖는 것으로 나타났으나, COREX와 CCF에서는 잠재력이 낮은 것으로 평가되었다.

4. 결론

현재 철강분야에서 배출되는 이산화탄소 제거기술의 경제성에는 많은 이견이 있다. 본 연구에서는 새로운 관점에서 철강부문에 적용가능한 이산화탄소 제거기술들에 대한 분석을 수행하였으며, 이를 토대로 동 기술들의 적용 잠재력을 에너지모형을 이용하여 평가하였다.

평가결과 \$60/TC 이상의 이산화탄소 배출비용 부과시 제거 저장기술의 적용이 비용 측면에서 가능한 것으로 나타났다.

물론 이러한 적용가능성에 대한 평가결과가 국내의 현장 실적자료를 충분히 반영하고 있는 못하지만, 여러 가지 관점에서 이산화탄소 제거기술에 대한 새로운 평가를 시도하였다. 이러한 이산화탄소 제거기술은 향후 기후변화협약 등과 관련하여 배출비용이 부과될 경우 비용효과적인 기술대안 중의 하나로 검토될 수 있을 것이다.

6. 참고문헌

- 1) OECD Energy Statistics, IEA, 2000
- 2) Fara, J.c., Handricks, D.A., Block, K., "Carbon Dioxide recovery from industrial processes", Climate Change 29, 1995, pp439-461
- 3) David, J. and Herzog H., "The cost of Carbon Capture", Paper presented at the fifth International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, Carirns, Australia, August 13 - August 16, 2000
- 4) Energy Use in the Steel Industry, IISI, 1998
- 5) Sarv, H., John, J. "Technical and Economical Aspects of Large-scale CO₂ Storage in Deep Oceans", paper presented at the 25th International Technical Conference on coal utilization and fuel system, march 6-9, Florida, <http://www.mtiresearch.com/>
- 6) Bolland, O. and Undrum, H., "Removal of CO₂ from gas turbine plants", paper presented at Greenhouse gas control technologies 4, Switzerland, 1998. <http://www.energy,sintef.no/publ/xergi/98/art-3- engelsk.htm>
- 7) 철강부문 기술분석 및 온실가스 저감잠재력 평가, 한국에너지기술연구원, 2001
- 8) G. Goldstein, D. Hill: Getting started with PC-MARKAL and the MARKAL User's Support System. ECN, Petten, 1996.
- 9) T. Kram, D. Hill: A multinational model for CO₂ reduction. Defining boundaries of future CO₂ emissions in nine countries. Energy Policy vol. 24, no. 1, pp. 39-51, 1996.