

# 반도체 가격 하락, 끝은 어디인가

김창욱 · 현대경제사회연구원 주임연구원

반도체 가격 하락이 어디까지 진행될 것인가. 이를 전망하기 위해서는 반도체 단위 비용의 추이를 추정해야 한다. 반도체 산업의 속성장 경기 하강 국면에는 단위 비용까지 떨어지는 것이 보통이다. 단위 비용의 추정에 의하면 16M DRAM은 1996년 말까지 6 달러까지 떨어질 전망이다. 이러한 가격 하락은 1985년의 반도체 경기 하락에 비견될 수 있는 것으로, 또 한차례 업계의 재편을 불러올 전망이다.

## 6개월만에 1/4로

**반**

도체 가격 하락이 계속 이어지고 있다. 애초에 일시적인 현상일 것이라는 분석이 지배적이었는데, 이제는 그렇지 않다는 것이 분명해졌다.

가격 하락이 6개월 이상 계속되어왔기 때문이다. 뿐만 아니라 그 하락 속도는 너더욱 우리를 놀라게 하고 있다. 작년 말에 50 달러 이상이던 16M DRAM이 6월 말 현재 14 달러선에서 거래되고 있고, 현물 시장에서는 10 달러에 팔리기도 하는 것으로 알려지고 있다. 4M DRAM은 12 달러에서 3 달러까지 떨어졌다.

가장 최근의 하강 국면이었던 1989년 말~90년 시기의 가격 하락 속도도 지금보다 훨씬 완만했다. 당시 주도 제품이던 1M DRAM의 가격이 13 달러선에서 1년만에 5 달러선으로 떨어지는 정도였다.

지금의 상황은 과거 최악의 반도체 경기 하강 국면이었던 1984년 말부터 1985년의 시기에

비견될 만한 것이라고 할 수 있다. 1984년 말~85년의 하강 국면에서는 이때 막 시장이 형성되어가던 256K DRAM의 가격이 30 달러에서 1년여만에 3 달러로 폭락하였다. 그야말로 최악의 반도체 경기 하강이었다. DRAM 시장을 주도하고 있던 미국 업체들이 가격 압박을 견디지 못해 DRAM 시장에서 퇴출당하고, 주도권이 일본 업체들에게 넘어가는 구조 변화가 이 시기에 일어났다.

그런데 지금까지의 하락 속도로 보면 그당시를 능가하는, 보다 심각한 상황이 전개될지도 모른다는 우려를 낳기에 충분하다. 이제 누구도 지금의 가격 하락이 일시적인 것이라고 하면서 여유를 부릴 수 없게 되었다. 의심의 여지없이 본격적인 실리곤 사이클의 하강 국면에 접어든 것이다. 사람들의 관심은 이제 이 하강 국면이 어느 정도로, 얼마나 지속될 것인가에 모아지고 있다. 과연 이번에는 가격이 얼마나, 언제까지 떨어질 것인가.

그동안 반도체 가격에 대한 논의는 수요 전망이 어떠한가, 공급 능력은 어떠한가에 대해서만 이루어져왔다. 그러나 이러한 논의는 가격이 어느 수준에서 안정화될 것인가 하는 문제에 대해서는 아무런 해답도 주지 못했다. 단지 가격이 회복될 것인가 아니면 계속 떨어질 것인가에 대해서만 이야기할 뿐이었다.

반도체 가격이 어느 수준에서 안정화될 것인가라는 문제에 대해 답하기 위해서는 반도체 단위 비용(한계 비용)의 추이를 분석해야만 한다. 가격은 궁극적으로는 단위 비용에 수렴할 수밖에 없기 때문이다.

이 글에서는 반도체의 단위 비용을 추정하여, 반도체 가격이 언제 어느 수준까지 떨어질 것인가를 전망해보고자 한다. 여기에는 현재 이미 경기 하강 국면 즉, 초과 공급 상태라는 것이 전제되어 있다. 이 초과 공급이 왜 일어났는지, 앞으로 수요는 늘 것인지, 아닌지 등의 문제는 이 글에서는 다루지 않기로 한다.

### 과거의 개별 DRAM 가격 추이

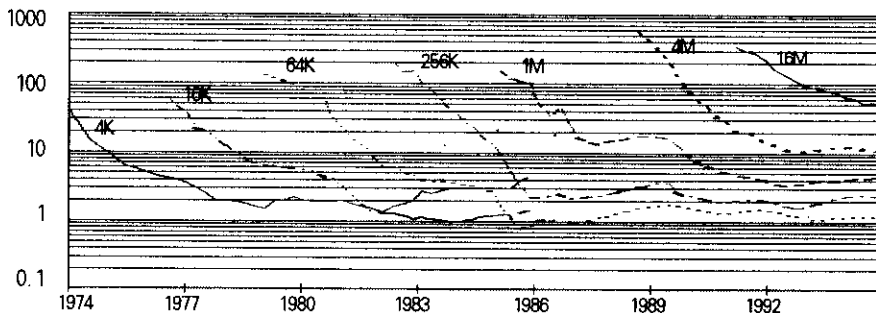
과거 DRAM의 각 세대별 가격 추이를 그래프로 나타내면 아래 <그림 1>과 같다. 그림을 보면 개별 DRAM 가격이 모두 비슷한 경로를 따라 변하고 있는 것을 알 수 있다. 즉, 개별 가격들은 모두 높은 가격으로 시장에 진입

해서는 급격한 가격 하락을 겪은 후 점차 안정되어가는 양상을 띤다. 그리고 그 하락 속도는 시간이 흐를수록 줄어드는데, 대개 5~6년 후면 하락이 멈추고 안정화된다.

개별 DRAM이 이와 같은 가격 추이를 보이는 이유는 무엇인가. 그것은 단위 비용(한계 비용)이 처음에는 높다가 급격히 하락한 후 점차 안정화되어가기 때문이다. 즉, 가격 변화의 이면에는 단위 비용의 변화가 존재하는 것이다. 이러한 비용 하락 추이는 반도체 산업의 고유한 특성과 관련이 있다.

반도체 제조 공정은 마이크로 이하 단위의 정밀도를 요구하기 때문에 아주 미세한 먼지나 불순물, 혹은 진동 등에 의해 제조 공정이 커다란 영향을 받는다. 따라서 초기 생산 공정이 안정화되지 않았을 때에는 수많은 불량품들을 낳게 된다. 그러나 누적 생산량이 늘어감에 따라 경험이 쌓이며, 이러한 학습 과정을 거쳐서 제대로 작동되는 양품의 비율이 급속

<그림 1> 각 세대 DRAM의 가격 추이



자료: 「데이터퀘스트」.

히 증가해간다.

한 장의 웨이퍼에서 양품의 칩이 나오는 비율을 수율(yield)이라고 하는데, 보통 최신 세대를 개발해서 양산에 돌입한 초기에는 수율이 5% 정도에 불과하다가 기술이 안정되면 수율은 90%까지 높아진다. 바로 이 수율에 의해 단위 비용이 결정되며 수율이 높아짐에 따라 단위 비용은 하락하는 것이다.

가격 추이는 이러한 단위 비용의 추이를 반영한 것으로, 기본적으로는 단위 비용 하락 추세를 따라 하락하면서 경기에 따라 부침을 하는 양상을 나타낸다고 할 수 있다. 가격을 규정하는 단위 비용은 이론적으로는 한계 기업 즉, 가장 수율이 낮은 기업의 단위 비용이다. 따라서 보다 먼저 양산에 들어가 평균 이상의 수율을 달성한 기업은 상당한 이익을 얻을 수 있는 것이다.

### ' $\pi$ 불'인가, 'bi- $\pi$ 불'인가

이들 개별 가격들이 안정화되는 수준을 보면 그것이 거의 비슷한 것을 알 수 있다. 세대가 바뀔 때마다 용량은 4 배씩 커지는데도 가격은 비슷한 수준까지 떨어지는 것이다. 이것은 왜 그런가.

또한 그림을 보면 1M 이후에는 가격이 세대가 바뀔 때마다 보다 높은 수준에서 안정화되는 것처럼 나타나 있다. 과연 1M 이후에는 가격의 안정화 수준이 높아진 것일까. 256K 이전과 1M 이후에는 차별성이 존재하는 것일까.

안정화된 이후의 가격이 동일하다는 것은 모든 기업들에서 수율이 안정화되었을 때의 단위 비용이 DRAM의 세대가 바뀌어도 변하지 않고 일정하다는 것을 의미한다. 이 역시 반도체 산업의 고유한 특성과 관련이 있는데, 그것은 '스케일링'이 가능하다는 특성이다. 스케일링이란 모양은 변하지 않은 채 크기만을 변화시키는 것을 가리킨다. 반도체 세계에서 이것은, 칩이 구성 요소인 트랜지스터의 크기를 축소시켜도 그 전기적인 기능이 동일하게 유지되는 것을 말한다.

반도체 제조는 리소그래피(lithograph) 기술을 이용하기 때문에 비용의 큰 변화없이 '스케일링'을 해낼 수 있다. 즉, 인화지에 사진을 찍듯이, 실리콘 웨이퍼에 칩을 축소해서 찍어내기 때문에 축소율을 높일 수 있는 기술만 개발되면 별다른 비용의 증가없이 고용량화가 가능해지는 것이다. 이 때문에 용량이 4 배나 증가되었어도 전세대 제품과 동일한 수준까지 가격이 하락할 수 있는 것이다.

한편, 경기 변동에 따른 가격의 부침을 무시한 채 가격 하락 추이를 보면, 급격한 가격 하락은 대개 3 달러선까지 이루어지고, 이후 하락 속도가 크게 줄어든 채 바닥에 접근해가는데, 이 '바닥'에 해당하는 가격은 대략 1.5 달러선인 것으로 관찰된다. 이 전환점이  $\pi = 3.14$ 와 비슷하다고 해서, 미국의 Lepselter는 1985년에 '뉴 불'이라는 것을 제창하였다. 세대가 바뀌어도 DRAM의 가격은 동일한 수

준에서 안정화되는데, 그 안정화의 전환점은  $\pi$ , 가격의 바닥은  $\pi/2$ 라는 것이다.

그런데 1987년에 일본 와세다대학의 垂井康夫 교수는  $\pi$  률을 고쳐서 새로운 'bi- $\pi$  률'을 제창하였다. 이는 1M 이후에는 세대가 바뀔 때마다 '바닥 가격'이 2 배씩 높아진다는 주장이다('bi- $\pi$  률'에서 'bi'는 2배를 의미한다). 그는 메가시대 이후 공정 수의 증대, 제조 기기의 고가격화, 칩 면적의 증대 등으로 인해 각 세대의 제조 비용이 배로 증가할 것이라고 하였다. 그에 따르면 1M는 3 달러, 4M는 6 달러, 16M는 12 달러에서 가격이 바닥에 도달하는 것이다.

그러나 과연 단위 비용이 2 배씩 늘어난다는 것이 타당한가. 위에서 열거한 근거 중 기기의 고가격화 문제는 단위 비용과는 관계가 없는 이야기이다. 이는 투자 비용을 상승시키겠지만 단위 비용(=한계 비용)에는 영향을 미치지 않기 때문이다. 한편 칩 크기나 공정 수에 대해서는 단정적으로 이야기할 수 없다. 급속한 기술 개발 속에서 칩 크기의 축소가 결코 어려운 문제가 아니며, 웨이퍼의 크기가 6인치에서 8인치, 12인치로 계속 확대될 전망이다. 공정 수에 대해서도 새로운 기술의 개발은 공정 수의 대폭적인 감소를 가능하게 하고 있다. 따라서 세대가 바뀔 때마다 단위 비용이 2 배씩 늘어난다는 것은 그다지 설득력이 없어 보인다.

그러면 실제 가격이 왜 점점 높은 수준에서 평행선을 긋는가. 이는 1993년 이후 반도체 초호황의 영향때문인 것으로 짐작된다. 즉, 호경기의 영향으로 가격이 바닥에 도달하지 못한 것이다. 그러나 최근 상황이 하강 국면으로 바뀌자 1M DRAM 가격은 거의 과거 세대들의 도달했던 수준과 비슷한 수준으로 떨어지고 있다. 4M DRAM 역시 그에 근접해 가고 있다. 16M DRAM 역시 장기적으로 1.5 달러 내지 3 달러까지 떨어지지 말라는 보장은 없는 것이다.

#### 학습 곡선의 추정

위에서 개별 DRAM 가격의 하락은, 기본적으로 누적 생산량이 늘어남에 따라 단위 비용이 하락하기 때문에 일어나는 것이라고 하였다. 일반적으로 어떤 제품의 누적 생산량(혹은 경과 시간)과 단위 비용간의 관계를 나타낸 곡선을 학습 곡선(learning curve)라고 한다. 일반적으로 이는 우하향하는 모양을 갖는다. 왜냐하면 누적 생산량이 늘어날수록 경험의 축적에 의해 비용이 감소되기 때문이다. 만약 우리가 이 학습 곡선을 알 수 있다면, 반도체 가격의 변화를 예측하는 데 큰 도움을 얻게 된다. 가격은 단위 비용 수준에서 크게 벗어날 수 없기 때문이다. 그동안 반도체 산업에서 이 학습 곡선을 추정하기 위한 노력이 몇차례 있어왔는데 가장 최근의 작업은 D.A.Irwin과 P.J.Klenow가 1994년에 한

<표> 학습 효과의 추정

세대	b의 추정치	학습 속도
4K	-0.329	20.4
16K	-0.396	24.0
16K-5	-0.291	18.3
64K	-0.376	22.9
256K	-0.332	20.6
1M	-0.260	16.5
4M	-0.325	20.2
16M	-0.251	16.0

주: 추정식  $C = aV^b$  (C: 한계 비용 V: 누적 생산량 a: 최초 한 단위의 생산 비용 b: 학습 탄력성).

것이다.

이들은 위 <표>와 같은 추정 결과를 얻었다. 여기서 학습 속도는 누적 생산량이 두 배로 될 때 단위 비용이 얼마나 감소하는가를 가리키는 것으로, 예를 들어 학습 속도가 20.4%라고 할 때 누적 생산량이 두 배로 되면 단위 비용 20.4%가 감소한다는 의미이다.

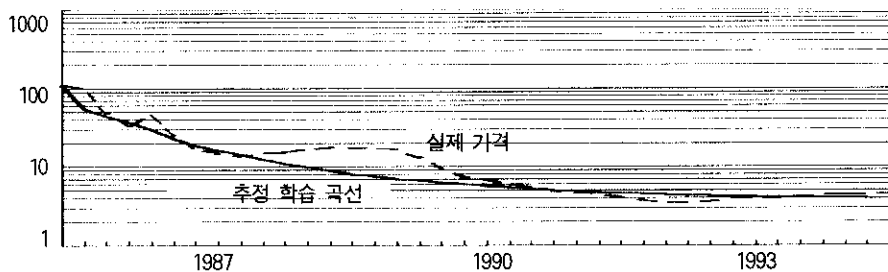
우리는 이 추정 결과에 따라 각 세대 DRAM의 추정 학습 곡선을 그려볼 수 있다. <그림 2>는 1M에 대해, 실제 가격 추이와 추정 학

습 곡선을 그려본 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 실제 가격은 추정 학습 곡선을 중심으로 부침을 하고 있다.

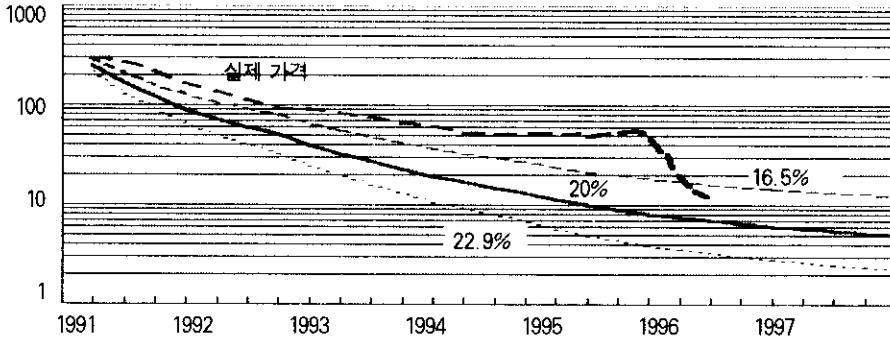
이 추정치를 이용하여 16M DRAM의 가격도 전망해볼 수 있을 것이다. <표>에서 16M DRAM에 대한 직접적인 추정치는, 출시된 지 얼마되지 않은 상태에서의 추정치인 데다, 그 추정의 기초가 된 시기가 1993~94년으로 반도체 호황기여서 장래 전망에 그대로 이용하기에는 적합하지가 않다. 따라서 과거 DRAM들과 비슷한 학습 곡선을 가질 것이라는 전제 하에, 우선 그것들의 평균치인 학습 속도 20%인 경우를 채택하여 전망하는 데 이용해보고자 한다. 여기서 추가로 16M DRAM이 4M DRAM과 같은 속도로 생산량이 증대해간다고 가정하자. 이러한 가정 하에 16M DRAM의 학습 곡선을 추정한 것이 <그림 3>에서 20% 경우의 학습 곡선이다.

그림에서는 학습 속도가 20%일 경우만이 아니라, 과거 DRAM 중 최고와 최저를 제외하

<그림 2> 실제 가격과 추정 학습 곡선(1M의 경우)



〈그림 3〉 16M DRAM의 학습 곡선의 추정



고 그 다음의 수치들인 22.9%와 16.5%일 경우도 함께 그려보았다. 그림에서 알 수 있듯이 실제 가격치는 1995년까지 어느 추정 학습 곡선보다도 위에 있었다. 따라서 초과 수요 상태만 해소된다면 언제든지 하락할 상황에 처해 있었다. 그런데 드디어 1996년 그 시기가 찾아왔던 것이다. 이제 가격은 학습 곡선을 향해 내려가고 있는 중이다.

그러면 앞으로 얼마까지 떨어질 것인가. 20% 학습 속도의 경우를 중심으로 살펴본다면 1996년 말까지 단위 비용은 6 달러선까지 떨어지는 것으로 나타나 있다. 일단은 이 경우가 현실에 근접해 있을 가능성이 가장 높다고 할 수 있을 것이다. 이는 반도체 업계의 종사자들도 동의하는 수치이다. 주의해야 할 점은 이 수치는 비용에 대한 추정이므로 실제 가격은 이보다 더 떨어질 수도, 아니면 이보다 높은 수준에서 안정화될 수도 있는 것이다. 그

러나 경쟁을 통해서 가격은 이 단위 비용의 추세선에 근접하려는 압력을 받을 것이다. 물론 그밖의 경우도 배제할 수는 없는데 그림에서 보듯이 1996년 말의 단위 비용이 낮은 경우(학습 속도 22.9%)에는 3 달러에서, 높은 경우(학습 속도 16.5%)에는 14 달러까지 될 수 있다고 할 수 있다.

### 실제 가격의 움직임

그런데 위에서 보듯이 실제 가격이 상당 기간 동안 단위 비용을 벗어나서 있을 수 있는 것은 무엇때문인가. 그것은 반도체 산업에서 공급의 경직성때문이다.

반도체 산업은 대규모 설비를 필요로 하며, 세대별로 새로운 설비 투자가 이루어져야 한다. 따라서 한 제품의 수명 주기 내에 대규모 투자 비용을 회수하여야 하며, 따라서 가능한 가동률을 높이려는 유인을 갖게 된다.

뿐만 아니라 반도체 생산 라인의 경우, 투자를 개시하여 설비를 갖춘 다음 양산에 들어가기까지 보통 2년 이상이라는 오랜 시간이 걸린다. 또한 투자가 라인 단위로 이루어지는데 한 라인이 공급할 수 있는 물량이 세계 DRAM 수요의 약 5% 정도를 차지한다. 이러한 요인들때문에 공급 능력 즉, 생산 설비를 시장 상황에 맞추어 그때그때 조정하기가 매우 어렵다.

따라서 만약 시장이 초과 수요 상태에 돌입하면 가격은 단위 비용을 벗어나 지속적으로 고 가격을 유지하고, 상황이 조금이라도 초과 공급인 상태로 되면 가격은 급격히 떨어지는 것이다. 초과 공급 상태는 그것이 단위 비용 이하로 떨어져서 부득이 생산을 줄이지 않으면 안될 때까지 유지된다. 즉, 실제 가격은 한번 떨어지기 시작하면 단위 비용 이하로까지 떨어지게 되는 것이다.

이상의 논의를 종합하여 16M DRAM 가격에 대해 전망을 해보면, 16M DRAM의 가격은 1996년 말까지는 6 달러 이하로 떨어질 가능성이 높다고 할 수 있다. 이는 과거 개별 DRAM들의 평균 학습 속도인 20%를 가정했을 때의 추정 학습 곡선에 따른 결론이다. 나아가 'π 물'에 따르면, 장기적으로는 3 달러 이하까지 떨어질 것이라는 전망도 가능하다. 16M DRAM도 과거 세대 DRAM들이 밟았던 전철을 그대로 밟을 것이다.

이는 물론 현재의 공급 과잉 상태가 계속 이

어진다는 전제 하에서만 성립할 수 있다. 만약 반도체 업체들간에 자율적인 생산량 억제에 대한 합의와 실천이 이루어진다면 상황은 다르게 전개될 수도 있다. 또한 갑자기 수요가 회복되어 다시 초과 수요 상황이 도래한다고 해도 가격 하락은 억제될 수 있다.

그러나 양자 중 어느 경우도 현실화될 가능성은 그다지 높지 않은 것으로 보인다. 앞에서도 지적했듯이 반도체 산업의 속성상 가동률을 줄여가면서까지 생산량을 줄인다는 것은 현실과는 동떨어진 이야기이다. 또한 16M DRAM 공장이 속속 완공되고 있는 상황에서 16M DRAM에 대한 수요가 이를 조만간 앞지르게 될 것이라는 기대도 갖기 어렵다.

결국 급격한 가격 하락과 치열한 경쟁의 시기가 도래할 가능성이 높다. 그리고 이 하강 국면을 통해 과거 1985년에 그랬던 것처럼 반도체 업계의 구조 변화가 일어날 가능성이 높다. 누군가는 이 가격 경쟁 속에서 희생당할 것이다. 그것이 누가 될지는 아직 모른다. 이전부터 우리 반도체 기업들은 자신있다고 큰 소리쳐왔다. 오히려 이런 시기가 한 번 오기를 기다려왔다고 했다. 그러나 막상 이런 상황이 닥치자, 모두들 당황하고 있는 모습이다. 과연 우리가 승자가 될 수 있다고 자신할 수 있을까. 어쨌든 우리 반도체 업계가 험한 시련의 시기를 거쳐야 한다는 것은 분명한 사실이다. **HR**