

스타케르그 모형을 활용한 HBM 시장에서의 전략적 경쟁

분석: SK하이닉스와 삼성전자를 중심으로

최승일*

*국립공주대학교 산업공학과

e-mail:sichoi@kongju.ac.kr

Strategic Competition Analysis in the HBM Market Using the Stackelberg Model: Focusing on SK Hynix and Samsung Electronics

Seungil Choi*

*Dept. of Industrial Engineering, Kongju National University

요약

본 논문은 고대역폭 메모리(High Bandwidth Memory, HBM) 시장에서의 선도기업(SK하이닉스)과 후발기업(삼성전자) 간의 전략적 경쟁 양상을 스타케르그(Stackelberg) 게임 모형을 통해 분석하였다. 스타케르그 게임은 한 기업이 시장에서 선제적으로 전략을 선택하면, 다른 기업이 이를 고려하여 반응하는 비대칭 경쟁 구조를 설명하는 데 유효하다. 본 연구는 시장 수요 함수와 비용 구조를 기반으로 양사의 최적 생산전략과 이윤을 도출하였으며, 그 결과 SK하이닉스의 선도전략이 시장 지배력 강화에 유리함을 확인하였다.

1. 서론

HBM은 고성능 컴퓨팅과 인공지능 기술의 발전과 함께 급부상하고 있는 메모리 기술로, 기존 DRAM 대비 높은 대역폭과 에너지 효율을 제공한다. 시장은 기술 장벽이 높아 제한된 소수 기업에 의해 주도되고 있으며, 특히 SK하이닉스는 HBM 기술 개발 초기부터 선도적인 입지를 구축하였다[1]. 본 연구는 이러한 시장 구조에서 기업간의 전략적 상호작용을 설명하기 위해 스타케르그 모형을 도입하며, 이를 통해 각 기업의 경쟁 전략이 시장 결과에 어떤 영향을 미치는지를 분석하고자 한다.

2. 연구 모형 및 분석 결과

2.1 연구 모형

스타케르그 모형은 시장에서의 순차적 의사결정을 모델링하는 전략 게임 이론으로, 선도기업은 먼저 전략을 결정하고 후발기업은 이를 관찰한 뒤 최적 반응을 결정한다[2]. 스타케르그 모형은 반도체와 같은 기술 주도형 산업에서 적절한 분석 도구로 활용되며, 공급망과 품질 전략 분석에도 적용되고 있다[3]. 이에 최근 주목받고 있는 HBM 시장에 대해 품질비용을 반영하여 기업 간 전략 분석에 적용하고자 한다.

본 연구에서 전략 변수인 제품 품질(q), 가격(p)에 대해 선도기업(SK하이닉스)과 후발기업(삼성전자)의 수요함수는 다음과 같다.

$$D_H = \alpha + \lambda q_H - \mu p_H + \theta (p_S - p_H) + \phi (q_H - q_S)$$

$$D_S = \alpha + \lambda q_S - \mu p_S + \theta (p_H - p_S) + \phi (q_S - q_H)$$

(단, α : 기본 수요, λ : 품질 민감도, μ : 가격민감도,

θ : 가격 간 대체성 계수,

ϕ : 품질 간 대체성 계수)

또한 HBM 고정비용을 품질무관 고정비용과 품질 수준에 따른 가변비용으로 구분하면,

$$C_i = c_0 + c_1 q_i^2$$

(단, c_0 : 품질무관 고정비용, c_1 : 품질비용계수).

따라서, 각 기업의 이윤은 $\pi_i = (p_i - c)D_i - C_i$ (단, c : 단위 변동비)이다.

스타케르그 모형의 최적해는 다음 2단계를 거쳐 구한다.

Step 1. 후발기업은 선도기업의 전략을 관찰한 후, 자신의 전략을 최적화한다.

$$\max_{p_S, q_S} \pi_S (p_S, q_S; p_H, q_H)$$

Step 2. 선도기업은 후발기업의 반응 함수를 고려하여

자신의 최적 전략을 선택한다.

$$\max_{p_H, q_H} \pi_H(p_H, q_H; p_S^*(p_H, q_H), q_S^*(p_H, q_H))$$

2.2 분석 결과

스타케르그 모형은 역진귀납법을 통해 해를 찾는다. 후발기업이 선도기업의 전략을 관찰한 뒤 최적 반응을 결정하고, 선도기업은 이러한 후발기업의 전략을 고려하여 전략적 선택을 함으로써 균형을 이룬다. 후발기업의 반응함수와 선도기업의 최적해를 단한 형태로 정리하면 다음과 같다.

Step 1에서 후발기업 이윤함수에 1계조건(First Order Condition, FOC)를 적용하면 다음 관계를 얻는다.

$$\frac{\partial \pi_S}{\partial q_S} = (p_S - c) \frac{\partial D_S}{\partial q_S} - 2c_1 q_S = (p_S - c) \delta - 2c_1 q_S = 0$$

$$\frac{\partial \pi_S}{\partial p_S} = D_S + (p_S - c) \frac{\partial D_S}{\partial p_S} = D_S - (p_S - c) \beta = 0$$

$$(단, \delta = \lambda + \phi, \beta = \mu + \theta, k = \delta / (2c_1))$$

위 식에서 구한 $q_S = k(p_S - c)$, $D_S = \beta(p_S - c)$ 를 이용하면, 다음 반응함수를 얻는다.

$$p_S^*(p_H, q_H) = \frac{\alpha + \theta p_H - \phi q_H + c(D - \beta)}{D}$$

$$q_S^*(p_H, q_H) = k(p_S^*(p_H, q_H) - c)$$

$$(단, D = 2\beta - \delta^2 / (2c_1))$$

후발기업에 2계조건(Second Order Condition, SOC)를 적용하면, $D > 0$ 이면 극대값을 갖는다.

Step 2에서 후발기업의 반응함수를 대입하여 선도기업의 이윤함수를 정리하면 다음 식을 얻는다.

$$D_H = (1 + \tau)\alpha + c\Gamma + (\delta - \tau\phi)q_H + (-\beta + \tau\theta)p_H$$

$$(단, \tau = (\theta - \phi k)/D, \Gamma = (\theta(D - \beta) + \phi k\beta)/D)$$

이 식을 이용하면 선도기업의 이윤은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\pi_H = (p_H - c)(A + Bq_H + Cp_H) - c_1 q_H^2 - c_0$$

$$(단, A = (1 + \tau)\alpha + c\Gamma, B = \delta - \tau\phi, C = -\beta + \tau\theta)$$

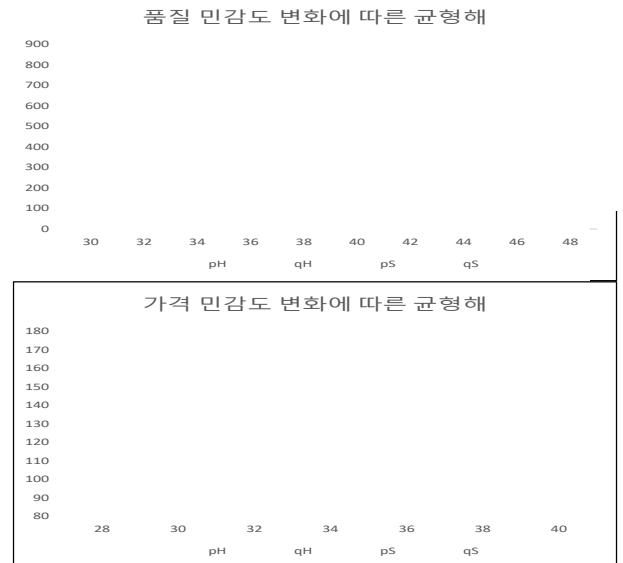
선도기업의 이윤함수에 1계조건(FOC)과 2계조건(SOC)을 적용하면, 다음 최적해와 이 값이 극대가 되기 위한 다음 조건을 유도할 수 있다.

$$p_H^* = -\frac{A - c(C + B^2 / (2c_1))}{B^2 / (2c_1) + 2C}, q_H^* = \frac{B_1}{2c_1}(p_H^* - c)$$

$$\text{극대조건 } C < 0, 4C(-c_1) - B^2 > 0$$

위 p_H^*, q_H^* 를 후발기업의 반응함수에 대입하면 스타케르그 균형해인 $(p_H^*, q_H^*, p_S^*, q_S^*)$ 을 얻는다.

최적화 조건을 충족하는 범위에서 품질 민감도와 가격 민감도 변화에 따른 스타케르그 균형해의 변화는 [그림 1]과 같이 나타난다.



[그림 1] 품질 민감도와 가격 민감도 변화에 따른 균형해

3. 결론

HBM 시장은 기술 주도형 과정 구조로서 전략적 의사결정의 중요성이 크다. 본 연구는 스타케르그 모형을 통해 선도기업이 전략적 유연성을 확보하고 시장주도권을 강화할 수 있음을 보여주었다. 기업은 기술 투자와 시장 예측 능력을 바탕으로 선제적 전략 수립이 필요하며, 후발기업은 적응 전략 및 차별화 전략을 통해 경쟁력을 유지해야 한다. 향후 연구는 다수 기업 간 경쟁, 기술 전환 비용, 정책적 요인 등을 고려하여 모형을 확장할 수 있다.

참고문헌

- [1] 정현경, 김장훈, “SK하이닉스의 동태적 경쟁우위에 관한 연구: HBM 사업을 중심으로”, 비즈니스융복합연구, 제9권 5호, pp. 77-83, 2024.
- [2] H. von Stackelberg, Market Structure and Equilibrium, Springer, 1934.
- [3] G. Xie, W. Yue, S. Wang, “Quality Improvement Policies in a Supply Chain with Stackelberg Games”, Journal of Applied Mathematics, 2014.