

슈퍼컴퓨터 수요분석 및 국내수요 예측

신태영

1. 국내 슈퍼컴퓨터 도입과 운영 현황

슈퍼컴퓨터는 고성능 프로세서를 고속의 네트워크에 연결한 시스템으로 일반 컴퓨터에 비해 수 백 배 이상의 용량과 성능을 가진 컴퓨터를 일컫는다. 슈퍼컴퓨터라 하더라도 성능면에서 그 편차가 매우 심하게 나타나고 있다. 일반적으로 슈퍼컴퓨터라고 지칭하나 고성능컴퓨터(high performance computer)라고도 불리운다. 오늘날 슈퍼컴퓨터는 DB(database), DC (data communication) 그리고 DP(data processing)을 연계하는 시스템의 핵심에 위치하고 있으며 지식인프라로서 중요한 역할을 하고 있다.

우리나라도 경제규모가 커지면서 슈퍼컴퓨터에 대한 수요가 최근 크게 증대해 다양한 기종이 상당수 도입 운영되고 있다. 슈퍼컴퓨터의 국내 도입은 1988년 시스템공학연구소(SERI) 슈퍼컴퓨터센터에 Cray-2S가 설치된 것이 효시이다. 국내 최초로 슈퍼컴퓨터가 도입되면서 새로운 과학기술 연구의 수행이 가능하게 되었고, 특히 산업체에서 그 활용성이 입증되면서 1990년에 자동차 3사가 독자적인 슈퍼컴퓨터를 도입하였다. 그리고 1990년대 중반 이후 수요 기관별로 다양한 성능을 갖춘 슈퍼컴퓨터들이 활발히 도입 운영되어 오고 있다. 슈퍼컴퓨터는 공공부문에서 연구지원을 위한 기초인프라, 행정서비스 인프라로서 산업계에서는 제품설계 등 신제품개발 및 각종 관리지원업무를 위해서 가장 중요한 장비로 인정받고 있다.

현재 국내 도입되어 운영되고 있는 슈퍼컴퓨터를 성능에 따라 상위 50개를 보면 <표 1>과 같다. 상위 50개를 중심으로 보면, 연구용이 16개이고 나머지는 행정·업무지원 등으로 주로 사용되고 있다. 특히 산업체에서 사용되고 있는 대부분의 슈퍼컴퓨터는 초고속 계산보다는 DB, DW(data warehouse), 및 billing과 같은 행정서비스를 지원하기 위한 서버와 증권을 포함한 데이터 정보 제공회사들의 웹서버로 활용되고 있다.

슈퍼컴퓨터 활용 측면에서 보면, 컴퓨터의 대수가 중요하지 않을 수도 있다. 슈퍼컴퓨터의 성능을 나타내는 여러 가지 변수가 있는데 그 중에서도 Rmax는 슈퍼컴퓨터의 활용과 밀접한 관련이 있다. 컴퓨터 성능을 나타내는 파라미터로서 Rpeak는 컴퓨터의 성능을 이

론적으로 얻을 수 있는 최대값을 나타낸다. 반면에 사용자가 컴퓨터에서 얻을 수 있는 최대 성능은 Linpack 벤치마크 시험의 결과를 이용한다.¹⁾ 예를 들어 국내에서 성능이 가장 우수한 것으로 알려진 기상청에 도입된 일본의 NEC의 SX-5/16A 기종의 경우, 이 기종은 16개의 프로세서를 가지고 있으며 이론적인 최대 성능(Rpeak)은 128.8 Gflops(floating-point operation per second: 초당실수연산회수)이고 Linpack 벤치마크에서의 성능은 99,840개의 선형시스템의 해를 Gauss 소거법으로 구하였을 때 최대 123.3 Gflops이고, 이것이 NEC SX-5/16A의 Rmax 값이다.²⁾ 따라서 슈퍼컴퓨터의 활용과 관련하여 이론적 최대성능을 나타내는 Rpeak보다는, 컴퓨터에서 프로그램을 사용하여 사용자가 얻을 수 있는 최대값인 Rmax를 기준으로 하는 것이 타당한 것으로 받아들여지고 있다.

활용 측면에서 보아 Rmax 값을 이용하여 국내 슈퍼컴퓨터 자원을 <표 1>에서 다시 보면, 현재 운영중인 슈퍼컴퓨터의 성능(Rmax)이 123.3 Gflops에서 10.88 Gflops까지 매우 다양함을 알 수 있다. 국내에서 운영되고 있는 50개 슈퍼컴퓨터의 전체 총 Rmax는 1188 Gflops 수준을 보이고 있다. 이 중에서 Top500에 속하는 슈퍼컴퓨터가 4대 있는데 이들의 Rmax의 합계는 455.8로서 50대의 총 Rmax의 38.4%를 점하고 있다.

제조회사별 슈퍼컴퓨터 도입현황을 보면, HP사 제품이 16개로 가장 많고, 다음이 SUN사(14개), Compaq사(10개), IBM사(6개) 등이다(<표 2> 참조). 성능면에서 Rmax 기준으로 보면 역시 HP사 전체의 26.6%를, SUN사가 20.9% 그리고 IBM사가 19.0 등을 차지하고 있다. 대체로 슈퍼컴퓨터는 미국으로부터 도입되고 있음을 알 수 있지만 기상청에서 도입한 NEC의 SX-5/16A는 일본에서 도입한 것으로서 성능은 국내 최고 수준이다.

1) 여러 개의 선형방정식의 해를 구하는데 사용하는 패키지

2) 최재영·김명호, "국내 슈퍼컴퓨터 도입 현황: Top500을 중심으로," 「지식정보인프라, 창간호(2000.4).

<표 1> 슈퍼컴퓨터 국내 도입 현황

Nkorea (Nworld)	제작회사	컴퓨터	보유기관	보유연도	응용분야	프로세 서수	Rmax	Rpeak	Nmax	N1/2
1 (73)	NEC	SX-5/16A	기상청	1999,6	연구용	16	123,3	128,8	99840	1340
2 (116)	SGI/Cray	T3E900	연구개발경 보센터	1997,7	연구용	132	82,5	118,8		
3	IBM	SP PC604e 332MHz	동원증권	1999,5	연구용	192	60,0	127,5		
4	HP	N4000 440MHz	Unitel	1999,11	연구용	64	45,6	112,6		
5 (365)	IBM	SP P2SC 160MHz	한국통신	1998	산업용 서버	89	40,3	57,0		
6 (381)	IBM	SP P2SC 200MHz	전북대	1999	연구용	64	39,9	51,2	63000	7400
7	HP	V2500 440MHz	기상연구소	2000,1	연구용	48	39,8	84,5		
8	IBM	SP PC604e 332MHz	미래에셋증 권	2000,1	연구용	120	38,1	79,9		
9	IBM	SP PC604e 332MHz	한국통신	1999,4	연구용	104	33,2	69,1		
10	HP Exemplar	X2200 200MHz	삼성종합기 슬원	1998,5	연구용	64	27,6	46,8	29956	4584
11	SUN	E10000 400MHz	조흥은행	1999,6	D/W	38	26,1	30,4	41030	2367
12	HP	N4000 440MHz	SK 텔레콤	1999,10	업무용	32	22,8	56,3		
13	Compaq	AS8400 625MHz	비씨카드	2000,1	업무용	40	22,5	50,0	28648	4570
14	SUN	HPC 10000 250MHz	KT Freetel	1997,6	업무용 (Billing)	64	21,4	32,0	15000	4200
15-17	SUN	Ultra HPC 10000	내무부	1997,7	행정	48	20,3	24,0	19968	2496
	SUN	Ultra HPC 10000	내무부	1997,7	행정	48	20,3	24,0	19968	2496
	SUN	E10000 400MHz	LG전자	1997,12	ERP	48	20,3	24,0	19968	2496
18	Compaq	GS140 525MHz	현대자동차	1999,12	연구용	32	20,2	33,6	30712	3056
19	SUN	HPC 10000 250MHz	KT Freetel	1997,6	업무용 (Billing)	58	19,8	29,0	15265	3664
20	HP	V2500 440MHz	신영증권	1999,8	업무용 (웹 서버)	19	19,5	33,4	36480	2776
21-22	Compaq	GS140 525MHz	신세기통신	1999,6	업무용	30	19,0	31,5	29737	2959
	Compaq	GS140 525MHz	한국통신	1999,12	업무용	30	19,0	31,5	29737	2959
23	HP	V2500 440MHz	삼성증권	1999,8	업무용 (웹 서버)	17	18,6	29,9	42261	1628
24	Compaq	GS140 525MHz	온세통신	1999,5	업무용	24	18,4	30,0	30712	2200
25	SUN	HPC 10000 250MHz	KT Freetel	1997,6	업무용 (고적관리)	51	17,7	25,5	15460	3710
26	HP	N2250 240MHz	삼성증권	1998,11	업무용 (웹 서버)	26	17,3	24,4	19050	1142

<표 1> 계속

Nkorea (Nworld)	제작회사	컴퓨터	보유기관	보유년도	응용분야	프로세서수	Rmax	Rpeak	Nmax	N1/2
27	Compaq	ASB400 625MHz	한국통신	1998,10	업무용	30	16.8	37.5	24810	3958
28	HP	X2200 200MHz	포항공대	1998,9	연구용	32	16.5	25.6		
29	SUN	E10000 HA 400MHz	국민건강보험공단	1999,12	업무용 (MS)	23	15.8	18.4	39079	1691
30	Compaq	GS140 625MHz	한국증권거래소	1999,11		20	15.3	25.0	28036	2200
31	Compaq	ES40 500MHz	현대차 (남양)	1999,12	연구용	24	15.3	25.0		
32-33	HP	N4000 440MHz	LG LCD	1999,10	업무용	24	15.2	42.2		
	HP	N4000 440MHz	SK C&C	1999,11	업무용	24	15.2	42.2		
34	SUN	E10000 400MHz	국민건강보험공단	1999,12	업무용 (DW)	22	15.0	17.6	38220	1654
35	HP Exemplar	X2000 180MHz	ETRI	1998,9	연구용	32	14.9	23.0		
36	IBM	SP PC604e 332MHz	키움.com	1999,10	업무용 (웹 서버)	48	14.8	30.8		
37	HP Exemplar	V2500 440MHz	서울중앙병원	1999,8	업무용	14	14.4	24.6	31314	2383
38	SUN	Ultra HPC 10000	LG전자	1997,10	산업용	40	14.1	20.0	21081	3000
39	SUN	Ultra HPC 10000	한국통신 Freetel	1997,6	산업용	36	13.9	18.0	19968	1959
40	Compaq	GS140 466MHz	삼성의료원	1997,4	업무용	24	13.7	22.4	30712	2200
41	SGI/Cray	Y-MP C916/16512	연구개발정보센터	1993,11	연구용	16	13.7	15.2	10000	650
42-43	SUN	E10000 336MHz	LG전자	1998,12	ERP	24	13.4	16.0	20352	1728
	SUN	E10000 336MHz	노동부	1999,3	행정용 (DW, DB)	24	13.4	16.0	20352	1728
44	HP Exemplar	V2500 440MHz	공업기반공사	1999,12	업무용	13	13.3	22.9	30175	2296
45	SUN	Ultra HPC 10000	한국통신 Freetel	1997,6	업무용	28	12.5	14.0	19968	1728
46	HP Exemplar	V2500 440MHz	SK 텔레콤	1999,8	업무용	12	12.3	21.1	28991	2206
47	HP Exemplar	V2500 440MHz	한국산업은행	2000,1	업무용	12	12.3	21.1	28991	2206
48	HP Exemplar	V2500 440MHz	신세기통신	1999,9	업무용	11	11.3	19.4	277572 1	12
49	Compaq	GS140 525MHz	삼성전자	1999,6	연구용	16	11.0	17.0	30712	1200
50	SGI/Cray	T916/B255	국방과학연구소	1997,9	연구용	8	10.9	14.4		

주: Nkorea=국내 설치된 고성능컴퓨터 순위, Nworld=Top500에서의 순위(1999년 11월 기준), Rmax=실제 얻어진 최대의 Linpack 성능, Rpeak=이론적인 최대 성능, Nmax=Rmax를 얻을 수 있는 행렬의 크기, N1/2=Rmax의 절반을 얻을 수 있는 행렬의 크기, 자료: 최재영·김명호(2000).

활용 측면에서 Rmax 값을 기준으로 슈퍼컴퓨터의 성능에 따라 전 세계적으로 운영되고 있는 슈퍼컴퓨터 중 상위 500개에 대한 정보가 일년에 두 번씩 제공되고 있는데 이 Top500 기종에 대한 정보는 www.top500.org 웹사이트에서 구해 볼 수 있다. 여기에는 Rmax 기준 40 Gflops 이상의 성능을 가진 슈퍼컴퓨터에 대한 제조회사, 설치장소, 성능 등에 대한 정보를 포함하고 있다. Top500을 기준으로 한 국가별 슈퍼컴퓨터 보유현황을 <표 2>에서 볼 수 있는데, OECD국가가 전체의 97%에 달하는 485대를 보유하고 있고, 기타국가에서 나머지를 보유하고 있다. 전체 500대중 미국이 259대로 51.8%를 보유하고 있고 독일이 65대(13.4%), 일본이 61대(12.6%) 그리고 영국 프랑스가 20대 이상을 보유하고 있다.

<표 2> 제작회사별 도입 현황

제작회사	대수 기준		Rmax 기준	
	대수	구성비	Rmax	구성비
HP	16	32.0	316.5	26.6
SUN	14	28.0	244.0	20.5
Compaq	10	20.0	171.1	14.4
IBM	6	12.0	226.3	19.0
SGI/Cray	3	6.0	107.1	9.0
NEC	1	2.0	123.3	10.4
계	50	100.0	1188.3	100.0

이를 Rmax 기준으로 보면, Top500 전체가 64679.9 Gflops이고 대당 평균 성능은 129 Gflops이다. 이중에서 미국이 전체의 56.0%에 해당하는 36199.2 Gflops, 일본이 15.2%에 해당하는 9812.7 Gflops, 독일이 11.0%로 7129.4 Gflops 수준을 보이고 있다. 미국과 일본은 슈퍼컴퓨터를 가장 많이 생산하는 나라로서 미국의 경우는 민간부문의 수요가 충분한 것으로 판단되나 일본의 경우는 공공부문의 구매가 절대적인 것을 볼 수 있다. 이는 일본 정부가 슈퍼컴퓨터 산업을 국가적 차원에서 전략적으로 육성하고 있음을 보여주는 단적인 예라고 할 수 있다. Top500 전체적으로 보면 비상용이 Top500 Rmax 합계에서 차지하는 비중은 70.2%이다. 이는 연구용이나 공공용으로 사용되는 슈퍼컴퓨터의 성능이 상용으로 사용되는 것들보다 성능이 월등하기 때문인 것으로 보인다. 특히 이런 현상은 유럽

의 소국을 제외한 미국, 일본, 독일, 프랑스, 영국 등에서 두드러지게 나타나고 있다.

<표 3> 국가별 슈퍼컴퓨터 보유현황

단위: 대, Gflops

국가	대수 기준			Rmax 기준			
	비상용	상용	계	비상용	상용	계	
OECD 국가	Australia	2	1	3	184.8	44.6	229.4
	Canada	5	4	9	520.8	209.0	729.8
	Denmark	0	1	1	0.0	51.1	51.1
	Finland	2	0	2	346.4	0.0	346.4
	France	13	7	20	1989.9	527.5	2171.1
	Germany	14	51	65	3544.8	3584.7	7129.4
	Greece	1	0	1	44.0	0.0	44.0
	Italy	2	4	6	272.0	183.9	455.9
	Japan	50	11	61	9139.1	673.7	9812.7
	Korea	2	2	4	304.9	150.9	455.8
	Mexico	0	4	4	0.0	224.8	224.8
	Netherlands	3	2	5	169.3	190.4	359.7
	New Zealand	1	0	1	109.3	0.0	109.3
	Poland	0	1	1	0.0	61.5	61.5
	Spain	0	2	2	0.0	89.1	89.1
	Sweden	3	2	5	230.4	164.2	394.6
	Switzerland	2	6	8	136.4	283.9	420.3
	UK	15	13	28	3152.0	768.1	3920.1
	USA	105	154	259	24903.6	11295.5	36199.2
	소계	220	265	485	45047.7	18502.9	63550.6
기타 국가	Brazil	0	1	1	0.0	79.4	79.4
	China	1	1	2	51.5	52.7	104.2
	Luxembourg	0	6	6	0.0	300.0	300.0
	Peru	0	1	1	0.0	44.6	44.6
	Saudi Arabia	0	2	2	0.0	244.1	244.1
	Singapore	0	1	1	0.0	46.2	46.2
	Taiwan	2	0	2	310.8	0.0	310.8
	소계	3	12	15	362.3	767.0	1129.3
계	223	277	500	45410.0	19269.9	64679.9	

자료: www.top500.org, (2000년 6월).

한편 우리나라는 대수기준으로 4대를 보유하고 있으며 보유국가중에서 매우 낮은 보유율을 보이고 있다. Rmax 기준으로 보면 455.8 Gflops로 6대를 보유하고 있는 이탈리아와 거의 같은 수준이다. 그러나 전체에서 차지하는 비중은 각각 0.8%, 0.7% 정도로 매우 낮은

수준이다. 국가적 차원에서 이 정도의 슈퍼컴퓨터의 설치규모가 적절한 것인지에 대해서는 다음 수요분석을 통해서 살펴보기로 한다.

2 슈퍼컴퓨터 수요분석

본 연구에서는 국내 슈퍼컴퓨터에 관한 시계열자료가 충분하지 않아 시계열분석을 통한 수요분석이 불가능하므로 Top500을 중심으로 전 세계 보유국가를 포함하여 횡단면분석을 활용한 수요분석을 시도하고자 한다. 이는 외국과 비교 분석함으로써 국내 슈퍼컴퓨터의 적정 보유규모를 추정해 보려는 시도이다. 평균적으로 외국의 슈퍼컴퓨터가 적정수준에서 보유하고 있고 활용되고 있다면 GDP, 연구개발투자, 연구원 수 등 여러 가지 변수와 함께 분석함으로써 국내 보유규모를 벤치마킹 할 수 있을 것이다.

이를 분석함에 있어서 두 가지 접근방식을 취하였다. 첫째는 슈퍼컴퓨터의 대수를 기준으로 하는 것이고, 둘째는 슈퍼컴퓨터의 활용수준을 나타내는 R_{max} 를 이용하여 슈퍼컴퓨터의 수요에 접근하는 것이다. 앞서 논의된 바와 같이 슈퍼컴퓨터의 성능은 매우 다양하므로 실제 Top500에 속한다하더라도 R_{max} 의 값이 달라 모두 동질적인 재화라고 볼 수 없다(heterogeneous products). 따라서 대수를 기준으로 할 때 상당히 무리한 가정을 세울 수밖에 없다. 반면에 실제 활용 측면에서 성능을 나타내는 R_{max} 를 기준으로 하면, R_{max} 는 동질적인 슈퍼컴퓨팅의 능력을 나타내주기 때문에 보다 현실적인 변수라 할 수 있다. 그러나 슈퍼컴퓨터의 보유기관에 따라 활용/응용분야가 다르기 때문에 이를 사용한다 하더라도 문제여지는 여전히 남는다. 실제로 모든 슈퍼컴퓨터에 누구나 접근이 가능한 것이 아니기 때문에 R_{max} 에 대한 수요를 슈퍼컴퓨터의 대수 기준으로 쉽게 전환시킬 수 없는 문제가 발생한다. 이 같은 문제점을 감안하면서 다음에서 국내 슈퍼컴퓨터 수요에 대한 분석을 시도해 보고자 한다.

슈퍼컴퓨터의 수요함수는 (식 1)과 같이 가정할 수 있다. 즉, 슈퍼컴퓨터의 수요는 가격과 항구소득에 의해 영향을 받으며, 연구개발투자, 연구원 수 등에 의해서도 영향을 받게 될 것이다.

$$(식 1) \quad SQ = f(p, y_p, RD, RDP, POP...)$$

단, p : 가격, y_p : 항구소득(permanent income), RD : 연구개발투자, RDP : 연구원 수, POP : 인구수

슈퍼컴퓨터의 가격이 수요에 영향을 주는 것은 당연하다. 다만, 단순히 구입가격에 영향을 받을 뿐만 아니라 운영에 따르는 비용에도 영향을 받을 것이다. 슈퍼컴퓨터 운영에는 많은 전문 인력과 연구개발 활동이 함께 이루어져야 하기 때문이다. 그렇다면 여기에서 말하는 가격은 이를 모두 포함하는 기회비용을 나타내는 것이라야 한다. 슈퍼컴퓨터는 내구재이기 때문에 구입/설치시기의 소득에 영향을 받는 것이 아니라 M. Friedman이 지적한 영구소득에 영향을 받을 것이다. 따라서 국가 차원에서 슈퍼컴퓨터의 수요는 어느 특정년도의 GDP에 영향을 받는 것이 아니라 영구적인 소득수준에 따라 그 수요량이 결정될 것이라는 의미이다. 다른 한편 경제사회규모를 나타내는 변수로서 인구수를 들 수 있다. 인구가 많은 사회일수록 경제사회시스템과 경제사회주체들의 활동이 복잡해지고 이 때 발생하는 문제들을 해결하기 위해서 인구가 적은 나라보다는 큰 나라에서 슈퍼컴퓨터에 대한 수요가 더 클 수 있다. 따라서 본 연구에서는 한 국가의 경제규모를 나타내는 GDP(항구소득)과 인구수를 슈퍼컴퓨터 수요의 결정요인으로 포함하기로 한다.

연구개발투자는 슈퍼컴퓨터의 수요를 결정하는데 중요한 영향을 미칠 수 있다. 이것은 슈퍼컴퓨터가 내구재로서 생산요소로서보다는 연구활동에 필요한 장비로서 더 인식되고 있기 때문이다. 물론 일부 기업체에서 도입한 슈퍼컴퓨터가 기업활동과 관련하여 연구개발이 아닌 여러 가지 형태의 업무지원에 활용되기도 한다. 그러나 한 국가의 연구개발투자는 당해연도 그 나라의 연구개발활동 규모를 나타내주며 이러한 연구개발활동의 규모가 슈퍼컴퓨터의 수요에 어느 정도 영향을 미치는 것은 당연하다. 마지막으로 연구원 수 역시 연구개발 활동의 규모를 나타내는 변수로서 슈퍼컴퓨터의 수요량에 영향을 주게 된다. 그밖에 여러 가지 결정요인들이 있을 수 있으나 위에서 언급한 변수들이 가장 중요한 수요 결정요인이라 할 수 있다. 이를 이용하여 슈퍼컴퓨터의 수요분석을 시도해 보기로 한다.

실제 사용한 데이터를 설명하면, 통화단위로 표시되는 변수는 각 국의 슈퍼컴퓨터 수요를 횡단면으로 분석하는 것이기 때문에 통화단위 문제가 발생하게 된다. 따라서 이 같은 변

수들은 PPPs(Purchasing Power Parities)로 환산하였다. 소득변수에 대해, 항구소득을 얻기 위해 편의상 5개년 도의 GDP를 평균하여 사용하였다. 마찬가지로 연구개발투자에 관한 변수도 5개년도 평균치를 사용하였다. 이러한 통계 mining은 특정년도의 통계를 이용하는 것보다 나은 수가 있다. 예를 들면 한국이 1997년 IMF 구제금융을 받게 되는 유례 없는 경우가 있었는데 수년간의 통계를 평균하여 사용할 경우 한결 안정적(stable)인 통계량을 얻을 수 있기 때문이다. 단년도에 대한 횡단면 분석일 경우 변수 사용에 있어서 인플레이션을 감안할 필요는 없지만, 여기에서는 5개년 간의 통계를 사용하였기 때문에 인플레이션을 제거해야 한다. 각 국의 GDP와 연구개발지출비는 1995년도 가격을 기준으로 산정하여 추정에 사용하였다. 그리고 1995년~1999년 기간의 통계를 사용하였다. 동기간 중 통계가 보고되지 않는 경우는 data mining, 즉 trend 분석이나 회귀분석을 이용해 추정하여 사용하였다.

다른 한편 수요함수식 추정에 사용된 표본은 Top500 보유국가를 모두 포함하지 못하였고, 통계수집이 가능한 OECD국가로 한정하였다. 이에 따라 중국, 대만, 사우디 아라비아, 페루, 싱가포르, 룩셈부르크 등이 빠졌다. 이들이 보유한 슈퍼컴퓨터의 수는 모두 15대였다. 따라서 분석 대상 국가는 한국을 포함하여 19개국이었으며 이들이 보유한 슈퍼컴퓨터 수는 총 485대였다.

위에서 언급한 슈퍼컴퓨터 수요에 대한 이론적 바탕 위에서 실증분석을 위한 수요함수를 다음과 같이 표기할 수 있다. (식 2)와 (식 3)은 슈퍼컴퓨터 대수를 종속변수로 취하였고, (식 4)와 (식 5)는 종속변수로서 슈퍼컴퓨터 성능을 나타내는 Rmax를 포함하였다. 독립변수에는 연구개발집약도를 나타내는 *대GDP 연구개발투자 비중*(총연구개발투자 ÷ GDP)과 *인구, 1인당 연구개발비*(총연구개발비 ÷ 연구원수)와 *GDP*(항구소득) 등을 포함하였다. 여기에서 슈퍼컴퓨터의 가격변수는 사실상 관찰이 불가능하므로 함수에서 생략하였다. 앞 절에서 논의한 바와 같이 Top500에 해당하는 슈퍼컴퓨터를 보유한 국가를 표본으로 하여 횡단면 통계분석을 시도할 수 있다.

$$(식 2) \quad \log SCOM_i = \beta_0 + \beta_1(GERD_i/GDP_i) + \beta_2 \log POP_i + \varepsilon_i$$

$$(식 3) \quad \log SCOM_i = \beta_0 + \beta_1 \log GDP_i + \beta_2 (GERD_i / RDP_i) + \varepsilon_i$$

$$(식 4) \quad \log RMAX_i = \beta_0 + \beta_1 (GERD_i / GDP_i) + \beta_2 \log POP_i + \varepsilon_i$$

$$(식 5) \quad \log RMAX_i = \beta_0 + \beta_1 \log GDP_i + \beta_2 (GERD_i / RDP_i) + \varepsilon_i$$

(식 2)~(식5)에서 사용된 용어의 정의는 다음과 같다.

$RMAX$ ≡ 슈퍼컴퓨터 성능 변수(Top500, 2000년 6월 기준)

$SCOM$ ≡ 슈퍼컴퓨터 대수(Top500, 2000년 6월 기준)

$GERD$ ≡ 총연구개발지출(1995~1999년 평균, 1995년 가격)

GDP ≡ 국내 총생산(1995~1999년 평균, 1995년 가격)

POP ≡ 인구수(1995~1999년 평균)

RDP ≡ 연구원수(1995~1999년 평균)

ε ≡ 통계적 잔차항

그리고 i 는 국가를 나타낸다.

(식 2)에 대한 추정결과를 보면, <표 4>과 같다. 추정계수들은 모두 1% 수준에서 모두 통계적으로 유의하였고, R^2 는 81.8%였다. <표 4>에서 인구수의 계수, 0.981은 인구에 대한 슈퍼컴퓨터 수요(대수기준) 탄력성을 나타내는데, 1.0보다 작았다. 즉, 인구가 1% 증가하면 슈퍼컴퓨터 수요가 0.981% 증가한다는 의미이다. 인구수가 경제사회규모를 나타내는 하나의 지표라고 할 때 인구수의 변화에 대해 슈퍼컴퓨터의 수요는 비탄력적이라고 말할 수 있다. 반면에 연구개발집약도를 나타내는 대GDP 연구개발투자 비율에 대해 슈퍼컴퓨터 수요는 더 민감하게 반응하는 것을 볼 수 있으나, 대체로 이 비율은 국가별로 볼 때 크게 변하지 않는 변수이다. 우리나라의 경우 2.8% 내외를 보이고 있다.³⁾

3) 대GDP 연구개발투자 비율은 비율로 나타나는 변수이기 때문에 natural logarithm을 취하지 않았다.

<표 4> (식 2)의 추정결과

Dependent Variable: LSCOM				
Method: Least Squares				
Date: 10/26/00 Time: 09:38				
Sample: 1 19				
Included observations: 19				
LSCOM=C(1)+C(2)*(GERDR/GDPR)+C(3)*LOG(POP)				
	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	-9.916983	1.488438	-6.662680	0.0000
C(2)	91.94111	18.52781	4.962330	0.0001
C(3)	0.981176	0.139747	7.021088	0.0000
R-squared	0.818105	Mean dependent var		1.827096
Adjusted R-squared	0.795369	S.D. dependent var		1.588293
S.E. of regression	0.718484	Akaike info criterion		2.320591
Sum squared resid	8.259498	Schwarz criterion		2.469713
Log likelihood	-19.04562	Durbin-Watson stat		1.489937

(식 3)의 추정결과는 <표 5>에서 보여주고 있다. 이 식에서는 독립변수가 항구소득(GDP)와 총연구개발투자 및 연구원 수가 포함되어 있다. 추정된 계수는 모두 통계적 유의성을 보였는데, 항구소득에 대한 계수는 1% 수준에서 1인당 연구개발비의 계수는 5% 수준에서 유의성을 보였다. R^2 는 83.4%였다. 이 식에서 항구소득의 계수 0.874는 소득에 대한 슈퍼컴퓨터 수요탄력성을 나타내는데 1.0보다 작았다. 즉 슈퍼컴퓨터 수요는 소득에 대해 비탄력적이라 할 수 있는데 인구수에 대한 탄력성보다 더 작게 나타났다.

<표 5> (식 3)의 추정결과

Dependent Variable: LSCOM				
Method: Least Squares				
Date: 10/26/00 Time: 09:43				
Sample: 1 19				
Included observations: 19				
LSCOM=C(1)+C(2)*LOG(GDPR)+C(3)*(GERDR/PERSON)				
	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	-10.58308	1.996127	-5.301804	0.0001
C(2)	0.873794	0.172382	5.068935	0.0001
C(3)	12.49190	5.714525	2.185992	0.0440
R-squared	0.833500	Mean dependent var		1.827096
Adjusted R-squared	0.812688	S.D. dependent var		1.588293
S.E. of regression	0.687407	Akaike info criterion		2.232159
Sum squared resid	7.560456	Schwarz criterion		2.381281
Log likelihood	-18.20551	Durbin-Watson stat		1.976672

<표 6> (식 4)의 추정결과

Dependent Variable: LRMAX				
Method: Least Squares				
Date: 10/26/00 Time: 09:35				
Sample: 1 19				
Included observations: 19				
LRMAX=C(1)+C(2)*(GERDR/GDPR)+C(3)*LOG(POP)				
	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	-7.161502	1.737559	-4.121587	0.0008
C(2)	120.1983	21.62883	5.557318	0.0000
C(3)	1.093899	0.163137	6.705414	0.0000
R-squared	0.821727	Mean dependent var		6.261969
Adjusted R-squared	0.799443	S.D. dependent var		1.872868
S.E. of regression	0.838737	Akaike info criterion		2.630100
Sum squared resid	11.25568	Schwarz criterion		2.779222
Log likelihood	-21.98595	Durbin-Watson stat		1.646724

활용 측면에서 컴퓨터의 성능에 관한 변수를 종속변수로 하여 슈퍼컴퓨터의 수요함수를 추정하였다. <표 6>은 Rmax를 대GDP 연구개발투자 비중과 인구수에 회귀하여 얻은 추정결과를 보여주고 있다. 계수는 모두 1% 수준에서 통계적으로 유의하였고, R^2 는 82.2%였다. 인구수 변수에 대한 계수는 1.09로서 Rmax의 수요탄력성을 보여주고 있는데, 대수를 기준으로 한 전자(식 2)의 경우보다 높게 나타났다. 즉, 인구에 대한 Rmax의 수요가

탄력적으로 나타났다. 이는 인구수가 1% 증가하면 Rmax 기준 슈퍼컴퓨팅에 대한 수요가 1.09% 증가함을 의미한다. 연구개발집약도를 나타내는 연구개발투자비중에 대한 계수도 전자의 경우보다도 높게 나타났다.

<표 7> (식 5)의 추정결과

Dependent Variable: LRMAX				
Method: Least Squares				
Date: 10/26/00 Time: 09:39				
Sample: 1 19				
Included observations: 19				
LRMAX=C(1)+C(2)*LOG(GDPR)+C(3)*(GERDR/PERSON)				
	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	-7.429963	2.718251	-2.733361	0.0147
C(2)	0.951245	0.234744	4.052274	0.0009
C(3)	15.92963	7.781826	2.047030	0.0574
R-squared	0.777943	Mean dependent var		6.261969
Adjusted R-squared	0.750186	S.D. dependent var		1.872868
S.E. of regression	0.936085	Akaike info criterion		2.849719
Sum squared resid	14.02009	Schwarz criterion		2.998841
Log likelihood	-24.07233	Durbin-Watson stat		2.229497

마지막으로 <표 7>은 (식 5)에 대한 추정결과를 보여주고 있다. 추정결과를 보면 소득변수에 대한 계수는 1% 수준에서 유의성이 있었고, 일인당 연구개발비 변수에 대한 계수는 유의 수준이 다소 낮았다. R^2 는 77.8%였다. 이 결과에서 우선 Rmax의 항구소득(GDP)에 대한 수요탄력성은 0.951로서 비탄력적으로 나타났고, 일인당 연구개발비 변수에 대한 계수는 대수기준 수요함수 (식 5)보다도 높게 나타났다.

대수기준 수요함수와 Rmax 기준 수요함수를 비교해 보면, Rmax 기준 수요함수의 계수들이 대체로 높게 나타났다. 그리고 전체적으로 볼 때 슈퍼컴퓨터의 소득에 대한 수요탄력성은 1.0보다 작아 비탄력적으로 나타났다. 이는 소득의 증가속도보다 슈퍼컴퓨터의 수요가 느리게 증가함을 의미한다. 인구규모에 대해서는 두 함수 사이에 엇갈린 결과가 나왔다.

추정된 결과를 이용하여 예측치를 구하고 이들을 실적치와 비교해 보았다. 이를 <표 8>에서 볼 수 있다. 이중에서 한국의 경우를 살펴보면, 실제 한국은 Top500에 속하는 슈퍼

컴퓨터를 4대 보유하고 있으나 (식 2)와 (식 3)을 이용한 예측치에 따르면 각각 18.8대, 13.7대로 나타났다. 이러한 결과의 의미는 Top500에 속하는 슈퍼컴퓨터를 보유하고 있는 19개 국가들을 대상으로 통계적 분포와 슈퍼컴퓨터의 수요결정요인들을 이용하여 분석한 결과로 미루어 볼 때 한국은 경제규모, 인구규모, 연구개발활동규모의 크기에 따라 14~18대 정도의 보유할 것으로 기대가 된다는 것이다. 즉, 현재 4대 정도의 보유규모는 매우 낮은 수준이라 할 수 있다는 것이다.

<표 8> 실적치와 예측치의 비교

	국가	대수 기준			Rmax 기준		
		실적치	예측치1 (식 2)	예측치2 (식 3)	실적치	예측치1 (식 4)	예측치2 (식5)
1	Australia	3	3.6	5.5	229.4	278.1	456.5
2	Canada	9	5.4	8.4	729.8	430.2	717.2
3	Denmark	1	1.3	1.7	51.1	91.0	128.6
4	Finland	2	3.2	1.3	346.4	296.1	95.6
5	France	20	18.6	15.2	2171.1	1894.9	1404.9
6	Germany	65	26.6	22.5	7129.4	2855.6	2183.8
7	Greece	1	0.7	1.1	44.0	34.8	69.6
8	Italy	6	5.9	13.5	455.9	422.9	1223.1
9	Japan	61	77.5	40.4	9812.7	10650.2	4229.1
10	Korea	4	18.8	13.7	455.8	2024.8	1368.1
11	Mexico	4	5.1	3.9	224.8	318.1	285.2
12	Netherlands	5	4.2	5.1	359.7	350.0	431.3
13	New Zealand	1	0.4	0.6	109.3	24.1	35.0
14	Poland	1	3.0	1.5	61.5	190.8	96.7
15	Spain	2	3.5	6.0	89.1	230.2	484.9
16	Sweden	5	8.7	3.3	394.6	1008.3	278.9
17	Switzerland	8	3.7	3.5	420.3	337.3	298.5
18	UK	28	13.1	12.4	3920.1	1208.3	1095.2
19	USA	259	126.4	274.9	36199.2	17501.4	41892.1

이를 Rmax 기준으로 다시 보면, 실적치는 455.8 Gflops로 이탈리아와 비슷한 수준이다. (식 4)와 (식 5)의 추정결과를 이용하여 예측치를 구해 보면, 각각 2024.8 Gflops, 1368.1

Gflops로 나타났다. OECD국가의 슈퍼컴퓨터 대당 평균 Rmax는 129 Gflops이고 이 평균치로 예측치를 나누면 각각 15.7대, 10.6대를 얻을 수 있다. 즉, OECD국가들이 보유하고 있는 평균 기종을 기준으로 한국이 보유해야 할 슈퍼컴퓨터는 11~16대 정도가 될 것이라는 의미이다. 따라서 이 역시 대수기준과 비슷한 상황으로 슈퍼컴퓨터 성능을 기준으로 볼 때도 우리나라의 슈퍼컴퓨터 보유규모가 매우 낮은 수준임을 알 수 있다.

인구증가율, 일인당 연구개발비 등이 안정적이라면 향후 슈퍼컴퓨터에 대한 수요는 소득탄력성에 의해 가장 큰 영향을 받게 될 것이다. 예를 들어 향상소득이 연간 5% 정도 성장한다면 슈퍼컴퓨터에 대한 수요는 대수기준으로 0.873% 증가할 것이고, Rmax 기준으로는 0.951% 증가할 것이다.

따라서 슈퍼컴퓨터의 추가 도입의 문제는 현재 보유규모가 적정한가 하는 것을 따져 보는 것이고, 적정 보유규모가 달성된 후의 추가 도입은 대체로 소득탄력성에 따르게 될 것이다. 현재 보유규모 4대는 대수로 보나 Rmax를 기준으로 하나 절대 부족한 규모로 보이며, 수요분석 결과에 따르면 현재 보유규모는 적어도 11대에서 많게는 18대 규모가 되어야 할 것으로 보인다.

더 나아가 비상용과 상용간에 슈퍼컴퓨터의 배분이 어떻게 될 것인가 하는 것이 문제인데 이는 국가정책에 크게 영향을 받기 때문에 여기에서 실증분석은 생략하였다. 예로서 일본의 경우 국가 차원에서 슈퍼컴퓨터 산업 육성을 위한 정책결과, 공공부문에서 슈퍼컴퓨터 보유규모가 타국과 비교하여 지나치게 높다는 사실을 알 수 있었다. 대수 기준으로 볼 때는 비상용과 상용 목적의 보유 규모가 비슷하게 나타나고 있으나, 성능기준으로 보면, 공공목적 또는 연구목적으로 사용되는 슈퍼컴퓨터의 성능이 월등히 높은 것을 알 수 있었다.