

# 다양한 해상도의 초음파 영상처리를 위한 매니코어 프로세서의 디자인 공간 탐색

강 성 모<sup>†</sup> · 김 종 면<sup>††</sup>

## 요 약

본 논문은 다양한 해상도에서의 초음파 영상 처리를 위한 최적의 프로세싱 엘리먼트 구조를 제안한다. 이를 위해 본 논문에서는 각 프로세싱 엘리먼트(processing element, PE)당 처리되는 영상 데이터(data-per-processing element, DPE) 수를 변화시키는 실험을 통해 시스템의 성능(system performance), 에너지 효율(energy efficiency), 면적 효율(area efficiency)을 각각 측정하고, 측정된 결과를 바탕으로 최적의 매니코어 프로세서 구조를 선택하였다. 모의실험 결과, 에너지 효율은 256x256, 768x1,024, 1,024x1,280 해상도를 갖는 영상에서 PE 개수가 각각 1,024개, 4,096개, 16,384개일 때 가장 높았다. 또한 면적 효율은 256x256 해상도의 영상에서는 PE 개수가 256개, 768x1,024와 1,024x1,280 해상도의 영상에서는 4,096개에서 가장 높은 효율을 보였다.

**키워드** : 초음파 영상 처리, 프로세싱 엘리먼트, 프로세싱 엘리먼트당 처리되는 영상 데이터, 매니코어 프로세서, 에너지 효율, 면적 효율

## Design Space Exploration of Many-Core Processors for Ultrasonic Image Processing at Different Resolutions

Sungmo Kang<sup>†</sup> · Jong-Myon Kim<sup>††</sup>

## ABSTRACT

This paper explores the optimal processing element (PE) configuration for ultrasonic image processing at different resolutions (256x256, 768x1,024, and 1,024x1,280). To determine the optimal PE configuration, this paper evaluates the impacts of a data-per-processing element (DPE) ratio that is defined as the amount of image data directly mapped to each PE on system performance and both energy and area efficiencies using architectural and workload simulations. This paper illustrates the correlation between DPE ratio and PE architecture for a target implementation in 130nm technology. To identify the most efficient PE structure, seven different PE configurations were simulated for ultrasonic image processing. Experimental results indicate that the highest energy efficiencies were achieved at PEs=1,024, 4,096, and 16,384 for ultrasonic images at 256x256, 768x1,024, 1,024x1,280 resolutions, respectively. Furthermore, the maximum area efficiencies were yielded at PEs=256 (256x256 image) and 4,096 (768x1,024 and 1,024x1,280 images), respectively.

**Keywords** : Processing Ultrasonic Images, Image Data-per-processing Element(DPE), Many-core Processors, Energy Efficiency, Area Efficiency

### 1. 서 론

최근의 프로세서 기술 방향은 동작 주파수의 향상에 따른 성능향상 보다 칩 내부에 다수의 코어를 탑재한 병렬프로세서 기술로 발전하고 있다. 프로세서의 동작주파수를 향상시키는 방법은 미세공정기술의 발전 속도 정체에 따른 물리적

한계와 동작 주파수 향상 대비 전력 소모가 지나치게 증가한다는 단점을 가지고 있다[1]. 따라서 코어의 개수를 증가시키는 방법은 동작 주파수 향상 보다 적은 전력소모로 더 높은 성능향상을 기대할 수 있기 때문에 프로세서 성능향상 방법으로 적합하다.

최근 영상처리기기들의 연산 요구량 증가로 인하여 고성능 저전력 프로세서에 관한 연구가 중요시 되고 있다. 그중에서도 초음파를 이용하여 인체의 단면 영상을 얻는 초음파 영상 진단장치의 영상 처리에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[2,3,4]. 초음파 신호의 속도는 인체 내의 매질에 따라 다르며, 이에 따른 지연시간으로 인해 동일 시점의 신호들

※ 이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2012-0004962).

† 준 회 원 : 울산대학교 전기공학부 석사과정

†† 정 회 원 : 울산대학교 전기공학부 교수(교신저자)

논문접수 : 2011년 11월 22일

수정일 : 1차 2012년 1월 31일

심사완료 : 2012년 2월 6일

이 서로 다른 시간에 도달하게 된다. 따라서 서로 다른 시간에 반사되어 되돌아오는 신호들을 포커싱(focusing) 과정을 통해 시간차이를 보정한 후 원하는 지점에 동시에 도달하도록 한다[5,6]. 이러한 정렬 과정을 빔포밍(beamforming)이라하며 빔포밍 기법은 많은 양의 연산과 입출력 처리를 요구한다. 초음파 기기에서의 빔포밍의 경우 많은 연산을 처리하기 위해 고성능적 측면과 더불어 저전력에 대한 요구를 만족시켜야한다. SIMD(Single Instruction Multiple Data) 기반의 매니코어 프로세서 아키텍처는 저비용의 처리 소자(processing element, PE)를 이용하여 고성능을 만족시키고 저장장소와 데이터 통신요구를 최소화하기 위해 PE와 데이터 입·출력을 동일위치에 배치함으로써 저전력을 만족시킨다[7,13]. 특히 빔포밍 기법이 요구하는 연산과 입출력처리는 지역성과 규칙성을 가지고 있으므로 SIMD 기반의 매니코어 프로세서에 매우 적합하다.

본 논문에서는 다양한 해상도에서 초음파 영상처리를 위한 최적의 PE 구조를 제안한다. 이를 위해 본 논문에서는 PE당 처리하는 영상 데이터 수를 달리하는 실험을 통해 시스템의 성능 변화, 에너지 효율 및 면적 효율을 측정한다. 또한 영상의 해상도에 따라 처리되는 연산량이 달라지는 점을 고려하여 본 논문에서는 영상의 해상도를 256x256, XGA와 SXGA급인 1,024x768와 1,024x1,280을 대상으로 하였다. 각 실험은 동일한 130nm 테크놀로지와 130MHz의 클럭 주파수를 사용하였으며 일곱 가지의 PE 구조(PEs=4, 16, 64, 256, 1,024, 4,096, 16,384)에 대해 실험하였다. 모의실험 결과, 에너지 효율은 256x256, 768x1,024, 1,024x1,280 해상도를 갖는 영상에서 PE 개수가 각각 1,024개, 4,096개, 16,384개일 때 가장 높았다. 또한 면적 효율은 256x256 해상도의 영상에서는 PE 개수가 256개, 768x1,024와 1,024x1,280 해상도의 영상에서는 4,096개에서 가장 높은 효율을 보였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 매니코어 프로세서의 구조 및 실험 방법론, 초음파 영상처리 알고리즘을 설명하고, 3장에서는 성능 평가 지표와 모의실험 결과를 기

술하고 분석한다. 마지막으로 4장에서 성능 분석을 통한 최적의 에너지 효율 및 시스템 면적 효율을 보이는 최적의 매니코어 프로세서 구조를 결정하며 본 논문의 결론을 맺는다.

## 2. 실험 환경

### 2.1 매니코어 프로세서 구조

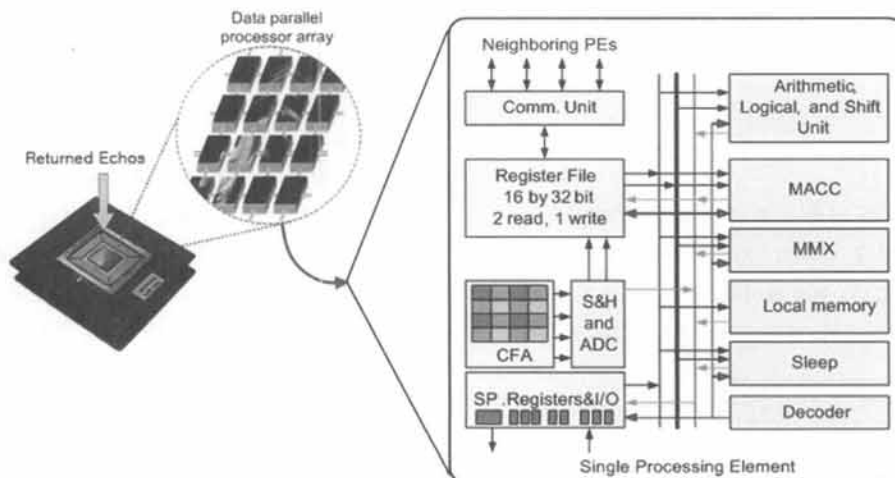
본 논문에서 사용된 SIMD 기반 매니코어 프로세서 아키텍처는 (그림 1)과 같이 2차원 격자(mesh)구조로 구성된 PE 어레이와 이를 제어하는 ACU(Array Control Unit)로 구성된다.

ACU는 명령어를 인출(fetch)하여 전체 PE에 동시에 전송(broadcasting)하며, 또한 특정 PE를 활성화(active) 또는 비활성화(sleep) 시키는 역할을 한다. ALU에 의해 데이터가 각 PE에 고르게 분배되면 PE들은 명령어를 동시에 수행하며, 각 PE는 다음과 같은 특징을 갖는다.

- 16개의 32비트 3포트 범용 레지스터
- 기본적인 산술/논리 연산을 수행하는 ALU
- 64비트 곱셈 및 누산기(MACC)
- 멀티 비트 산술/논리 시프트 연산을 수행하는 배럴 시프터(Barrel Shifter)
- 지역 정보를 이용해 각 PE들을 활성/비활성화 시키는 Sleep
- 이웃하는 PE간 데이터 통신을 위한 NEWS(North-East-West-South) 네트워크 및 직렬 입·출력

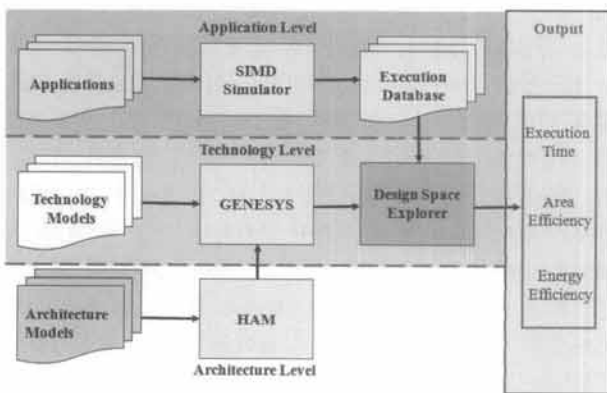
### 2.2 실험방법론

(그림 2)는 세 가지 레벨(애플리케이션, 아키텍처, 테크놀로지)로 구성되어 있는 SIMD기반 매니코어 프로세서의 실험 방법론을 보여준다. 애플리케이션 레벨에서는 명령어 레벨의 SIMD 기반 매니코어 프로세서용 정밀 사이클 시뮬레이터를 이용하여 사이클 개수, 동적 명령어 빈도, 시스템 이용률(system utilization) 등의 실행 데이터를 추출한다. 아



(그림 1) SIMD 기반 매니코어 프로세서 아키텍처와 단일 PE 구조도

텍처 레벨에서는 Chai가 제안한 SIMD 병렬 프로세서용 아키텍처 모델링 툴을 사용하여 모델링된 아키텍처의 디자인 변수들을 계산하였다[8]. 테크놀로지 레벨에서는 아키텍처 레벨에서 구해진 디자인 변수들을 Generic System Simulator (GENESYS) [9,10]의 입력으로 사용한다. GENESYS는 SIMD 어레이 및 멀티 클러스터 등의 다양한 시스템 구조를 모델링하기 위한 테크놀로지 모델링 툴로서 각 코어들은 동기 ASIC 칩으로 표현되는 계층적 모델로 구성된다. 이러한 계층적 모델은 기본요소, 재료, 디바이스, 회로, 시스템 등 5-레벨로 이루어져 있다. 처음 세 가지 레벨은 재료특성과 스위칭 디바이스 특성의 물리적 효과를 모델링하며, 회로 레벨은 신호 지연, 동적 및 정적 에너지와 같은 게이트의 특징을 모델링하며, 마지막으로 시스템 레벨은 싱글 ASIC 칩을 묘사하게 위한 아키텍처, 연결구조, 패키징 상세들을 포함한다. GENESYS는 입력된 디자인 변수를 바탕으로 각 아키텍처 모델들의 사이클 타임(cycle time), 와이어 지연(latency), 전력(power), 클록 주파수(clock frequency)와 동적 및 정적 전력 등의 테크놀로지 변수를 예측한다. 마지막으로 세 레벨에서 구해진 데이터베이스를 조합하여 3.1절 <표 2>의 성능 평가 지표를 통해 각 경우에 대한 실행시간, 에너지 효율, 시스템 면적 효율을 측정할 수 있다.



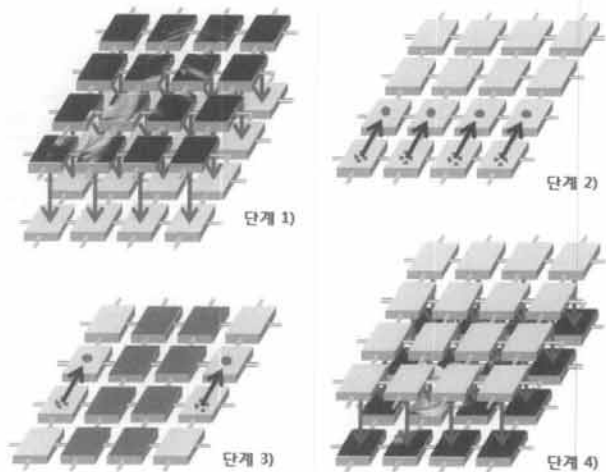
(그림 2) SIMD기반 매니코어 프로세서 실험을 위한 실험방법론

### 2.3 매니코어 프로세서의 빔포밍 기법

초음파 진단기기의 초음파영상은 서로 다른 매질로 이루어진 경계면에서 생기는 반사파를 이용하여 구성한다. 이러한 초음파는 인체를 통과하면서 매질에 따라 속도가 변하며, 또한 감쇄하는 양도 변한다. 이 때문에 같은 시점에 방출된 초음파 신호가 서로 다른 지연시간을 가지게 되어 그 지연 시간 차이를 보상하는 기법을 빔포밍이라 한다.

기존의 초음파 진단 기기에서 사용되는 신호처리 프로세서의 경우, 초음파 영상의 단면을 FIFO로 저장할 때 순차적으로 입력되는 영상 데이터를 처리한다. 반면 매니코어 프로세서의 경우 영상의 단면을 각 PE에 균등하게 나누어 저장하고 각 지연시간만큼 동시에 포커싱이 수행된다. 이와 같은 이유로 PE 개수가 늘어날수록 병렬화 비율이 높아져 보다 성능이 향상될 수 있다.

본 논문에서는 매니코어 프로세서에서 반사된 초음파 데이터의 빔포밍 기법으로 PSDF(Pipelined Sampling Delay Focusing) 기법을 사용하였다[11]. (그림 3)은 매니코어 프로세서 상에서 PSDF 기법의 빔포밍에 대한 각 PE의 동작 과정을 보여준다.



(그림 3) 매니코어 프로세서에서 PSDF 기법의 동작과정

- 단계 1) 반사된 초음파 영상 데이터를 각 PE의 로컬 메모리에 저장하고 신호별 지연시간을 각 PE의 범용 레지스터에 저장한다.
- 단계 2) 각 PE의 범용 레지스터에 저장된 지연시간만큼 자신의 Y축 위의 PE로 영상 데이터를 이동한다. 지연시간만큼 이동된 데이터는 도착한 PE의 로컬 메모리에 저장된다.
- 단계 3) 초음파 신호는 가장자리로 갈수록 지연시간이 길어지기 때문에 더 많이 이동하여야 한다. SIMD 기반에서는 다수의 PE가 동일한 명령어를 수행하기 때문에 이동이 완료된 PE들은 비활성화(sleep) 시켜 작업이 이루어지지 않도록 한다.
- 단계 4) 모든 PE에서 이동이 완료되면 각 PE의 로컬 메모리에 저장된 영상데이터를 출력한다. 이와 같은 과정은 모든 PE에서 동시에 수행되기 때문에 순차적으로 진행되는 프로세서의 포커싱 방식보다 매우 높은 성능이 향상을 보인다.

## 3. 성능 분석 및 실험 결과

### 3.1 성능평가 지표

본 논문에서는 다양한 해상도에서의 초음파 영상처리를 위한 최적의 매니코어 프로세서를 선택하기 위해 PE 수와 영상의 해상도에 따른 시스템의 성능 변화 및 전력소모를 측정하였다. 실험에 사용된 해상도는 영상처리에 일반적으로 사용되는 해상도인 256x256, 아이패드와 같은 스마트패드에서 사용되는 XGA, SXGA 급인 768x1,024와 1,024x1,280을 대상으로 선택하였다.

〈표 1〉 SIMD 기반 매니코어 프로세서 아키텍처 파라미터

Parameters		Values							
VLSI Technology		130nm							
Clock Frequency		130MHz							
Interconnection Network		Mesh							
intALU/intMUL/BarrelShifter/intMACC/Comm		1/1/1/1/1							
Number of PEs		4	16	64	256	1,024	4,096	16,384	
Resol.	256x256	DPE	16,384	4,096	1,024	256	64	16	4
		Memory/PE[word]	16,384	4,096	1,024	256	64	16	4
		Sys. Memory[KB]	256						
	768x1,024	DPE	196,608	49,152	12,288	3,072	768	192	48
		Memory/PE[word]	196,608	49,152	12,288	3,072	768	192	48
		Sys. Memory[KB]	3,272						
	1,024x1,280	DPE	327,680	81,920	20,480	5,120	1,280	320	80
		Memory/PE[word]	327,680	81,920	20,480	5,120	1,280	320	80
		Sys. Memory[KB]	5,120						

〈표 1〉은 매니코어 프로세서의 디자인 공간탐색을 위해 모델링된 일곱 가지의 PE 구조의 파라미터를 보여준다. 모델링된 PE 아키텍처는 다수의 PE를 격자구조로 구성하였으며, 각 PE는 균등하게 분배된 영상 데이터를 동시에 처리한다. 각 실험은 일곱 가지의 PE 구조(PEs=4, 16, 256, 1,024, 4,096, 16,384)와 세 가지 해상도(256x256, 768x1,024, 1,024x1,280)의 영상에 대해 동일한 130nm 테크놀로지와 130MHz 클럭 주파수를 사용하여 실험되었다.

〈표 2〉은 제안한 매니코어 프로세서의 성능 평가를 위해 사용된 세 가지 성능 평가 지표를 보여준다[12]. 실행 시간(execution time)은 빔포밍 알고리즘이 수행된 시간을, 에너지 효율(energy efficiency)은 소비된 에너지 당 처리량을, 시스템 면적효율(area efficiency)은 단위 면적당 처리량을 나타낸다.

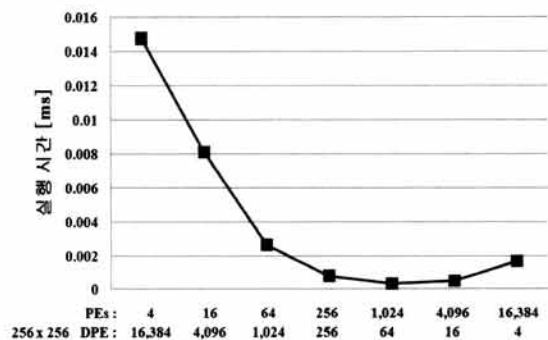
〈표 2〉 성능 평가 지표 요약

실행시간 (execution time)	$t_{exec} = \frac{C}{f_{ck}}$
에너지 효율 (energy efficiency)	$\eta_E = \frac{1}{t_{exec} \cdot Energy} \left[ \frac{1}{s \cdot Joule} \right]$
시스템 면적 효율 (area efficiency)	$\eta_A = \frac{1}{t_{exec} \cdot Area} \left[ \frac{1}{s \cdot mm^2} \right]$
<i>C</i> : 사이클 수, <i>f<sub>ck</sub></i> : 클럭 주파수, <i>Area</i> : 시스템 단위 면적(mm <sup>2</sup> ) <i>Energy</i> : 130nm 공정에서 소비된 에너지(Joules)	

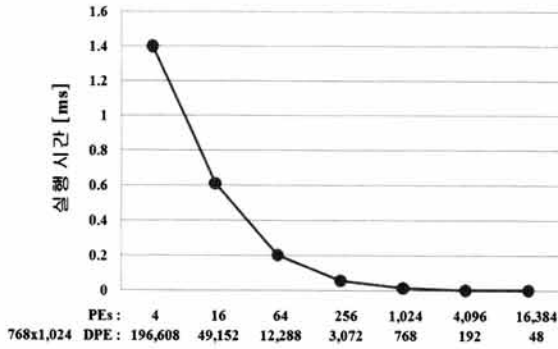
3.2 실행시간

(그림 4)는 매니코어 프로세서상에서 다양한 해상도의 영상에 대한 빔포밍 알고리즘이 실행된 실행시간을 보여주는 데, 이는 모두 PE가 256개 이하에서 실행시간이 큰 폭으로

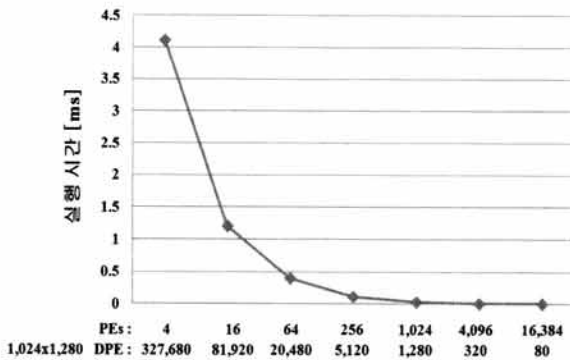
감소되지만 256개 이상부터는 감소폭이 급격히 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 이는 PE의 수가 늘어날수록 실제 빔포밍을 수행하는 명령어보다 PE간에 영상 데이터를 Y축 방향으로 이동시키는 데이터 전송 명령어의 실행빈도가 증가하기 때문이다. 또한 매니코어 프로세서 상에서의 빔포밍 기법은 가장자리 PE에서 포커싱이 진행되는 동안 중앙 부분의 PE 영상 데이터는 지연 시간만큼 이동을 완료하고 비활성화 되어 중앙에서 가장자리 쪽으로 비활성화가 이루어지기 때문이다. 하지만 (그림 4(a))에서 볼 수 있듯이 해상도가 256x256인 영상에서는 PE가 1,024개 이후에서는 PE의 개수가 늘어날수록 실행 시간이 증가한다. 이는 (그림 5(a))에서와 같이 PE 개수가 늘어날수록 sleep 명령어의 빈도가 증가하게 되고, 비활성화 되는 PE들이 늘어남에 따라 실제 포커싱을 수행하는 PE 비율이 줄어들어 전체 실행시간이 늘어나는 결과를 보인다. 또한 PE 개수가 지나치게 늘어나게 되면, 영상 데이터가 이동해야할 위치를 계산하기 위한 산술 명령어(sub 명령어)가 급격히 증가하기 때문에 단일 PE에서 실행하는 전체 명령어 수가 늘어나 오히려 실행 시간이 더 늘어나는 것을 확인할 수 있다.



(a) 해상도 256x256에서의 실행시간

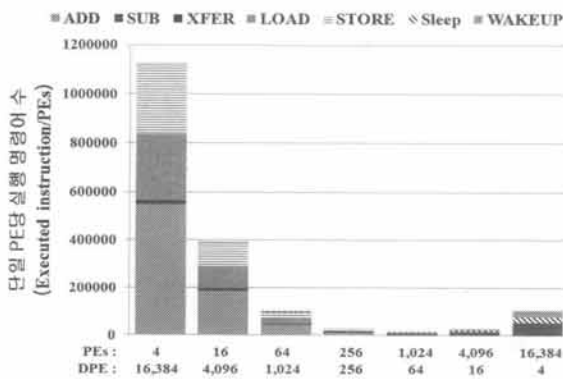


(b) 해상도 768x1,024에서의 실행시간



(c) 해상도 1,024x1,280에서의 실행시간

(그림 4) 다양한 PE 구조에 따른 실행시간

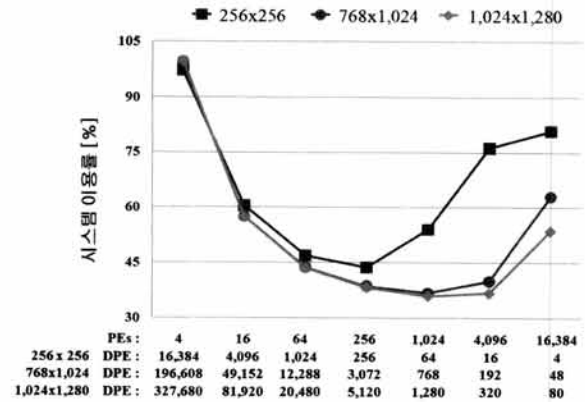


(그림 5) 해상도가 256x256인 영상에서 빔포밍 처리에 요구되는 단일 PE당 명령어 수

### 3.3 시스템 이용률

(그림 6)은 PE 구조에 따른 시스템 이용률로, 해상도에 따라 PE의 개수가 각 256, 1,024, 4,096개까지는 이용률이 감소하고 그 이상에서는 시스템 이용률이 다시 증가하기 시작한다. 이는 2.3절에서 언급하였듯이 (그림 3)의 단계 3을 처리함에 있어 가장자리 PE들의 포커싱이 수행되는 동안 가운데의 PE들은 포커싱을 완료하여 비활성화 되기 때문이다. 즉 PE가 늘어날수록 비활성화 되는 PE 비율이 늘어나게 되어 실제 연산을 수행하는 PE 개수의 비율이 줄어들므로 이용률이 감소하게 된다. 하지만 DPE의 수가 크게 감소

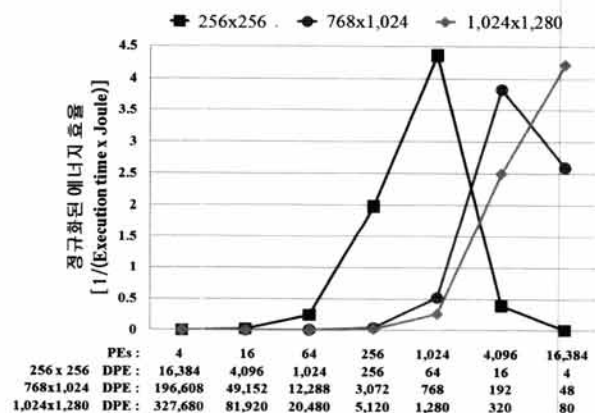
할 정도까지 PE가 늘어나게 되면 (그림 5(a))와 같이 실제 포커싱에 사용되는 명령어보다 PE간에 데이터를 이동시키는 명령어와 영상 데이터가 이동할 위치 계산을 위한 산술 명령어 증가로 인해 전체 명령어 수가 증가하게 된다. 따라서 포커싱을 위한 명령어보다 PE 제어를 위한 명령어 비율이 더 많아져 전체 명령어수가 증가하게 되므로 PE 이용률은 다시 증가하게 된다.



(그림 6) PE 구조에 따른 시스템 이용률

### 3.4 에너지 효율

에너지 효율은 소비된 단위 에너지당 수행되는 작업량을 뜻하며, (그림 7)은 PE 구조에 따른 정규화된 에너지 효율을 나타낸다. 여기서 세로축은 대상 영상의 각 해상도에서의 에너지 효율의 평균값으로 정규화 되었으므로 세로축 수치보다는 그래프가 나타내는 곡선의 모양이 중요하다.

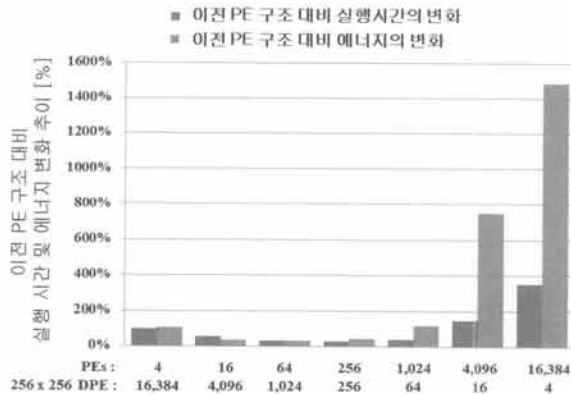


(그림 7) PE 구조에 따른 정규화된 에너지 효율

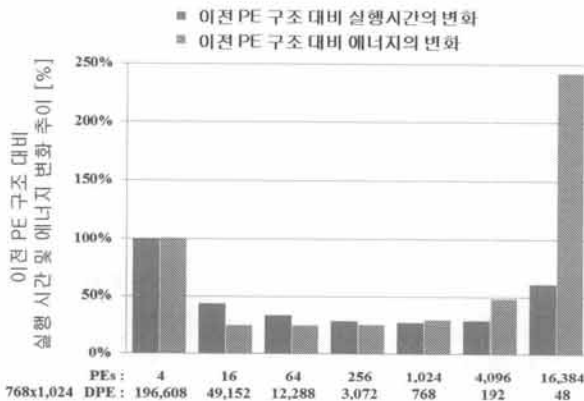
(그림 8(a))에서 볼 수 있듯이 해상도가 256x256인 영상에서는 PE가 1,024개까지는 PE 구조 대비 에너지 소비량이 평균 46% 감소하고 실행시간은 평균 64.5%감소하여 전체 에너지 효율이 증가하게 된다. 하지만 DPE 수가 급격히 줄어드는 1,024개 이상의 PE 구조 구간에서는 3.1절의 (그림 5(a))에서 보듯이 실제 포커싱 과정을 수행하는 연산보다는 PE간의 데이터전송과 비활성화 되는 PE의 증가 및 명령어



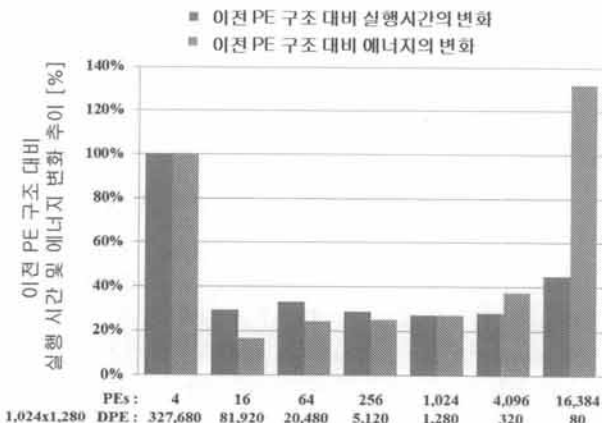
내의 분기 횟수 증가에 따라 전체 명령어 횟수가 늘어나게 되어 에너지 소비가 PE 구조 대비 평균 1,010% 증가하고 실행 시간은 평균 150% 증가하게 되어 전체 에너지 효율이 급격히 감소된다. 해상도가 768x1,024인 영상에서는 (그림 8(b))와 같이 4,096개의 PE 구조는 1,024개의 PE 구조보다 실행시간은 약 70.1% 감소하고 에너지 소비는 52.8% 감소하여 최적의 에너지 효율을 보였다. 또한 해상도가



(a) 해상도가 256x256 영상에서의 실행 시간 및 에너지의 변화



(b) 해상도가 768x1,024에서의 실행 시간 및 에너지의 변화

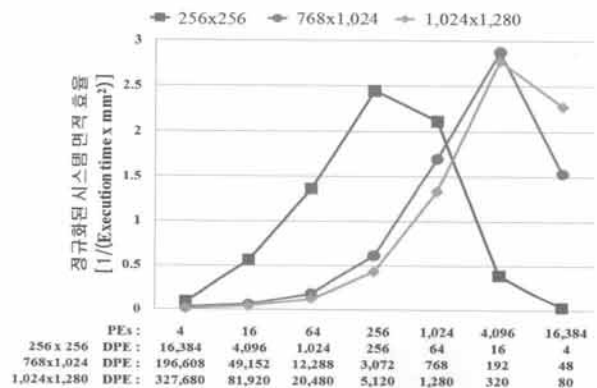


(c) 해상도가 1,024x1,280 영상에서의 실행 시간 및 에너지의 변화  
(그림 8) PE 구조에 따른 실행 시간 및 에너지 변화 추이

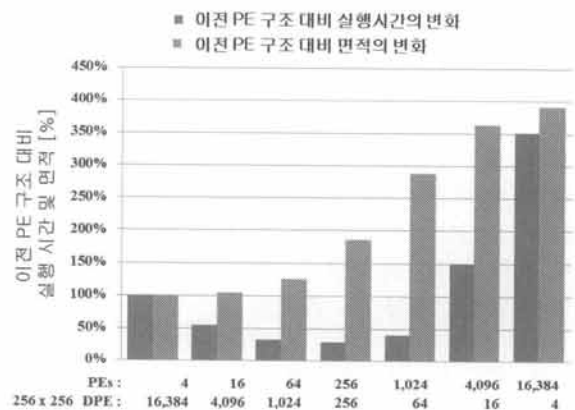
1,024x1,280인 경우 실행시간은 모든 구간에서 평균 68%씩 감소하고 에너지 소비는 PE 수가 4,096개까지는 평균 70.7% 감소하지만 PE 수가 16,384개가 되면 에너지 소비는 4,096개의 PE 구조보다 31.8% 증가하게 된다. 따라서 (그림 7)에서와 같이 최적의 에너지 효율은 영상의 해상도가 커질수록 오른쪽으로 이동하게 된다.

### 3.5 시스템 면적 효율

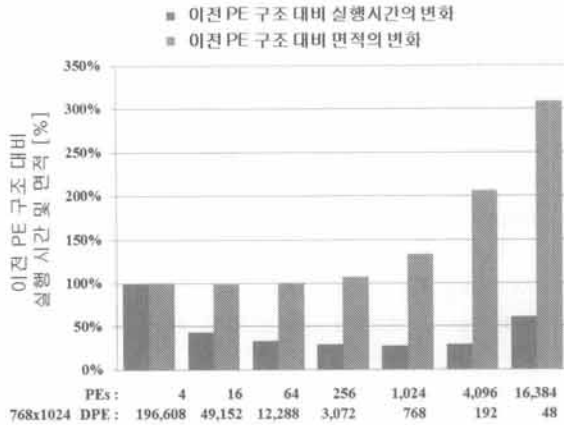
시스템 면적 효율은 단위 면적당 처리량을 뜻한다. (그림 9)는 다양한 PE 구조에서의 시스템 면적효율로 (그림 10(a))에서 보듯이 PE 개수가 1,024개인 구간까지는 실행 시간이 평균 64.5%씩 감소하고 이후 구간에서 증가하는 반면 시스템 면적 효율은 지속적으로 증가한다. 실행 시간이 감소하는 최종 구간은 1,024개의 PE 구조지만 256개의 PE 구조보다 실행시간이 감소하는 폭보다 면적이 증가하는 폭이 더 크기 때문에 최적의 면적 효율은 256개일 때 최적의 면적 효율을 보인다. 768x1,024와 1,024x1,280 해상도에서는 실행 시간이 PE 구조 대비 평균 69%씩 감소하지만 시스템 면적이 256개의 PE 구조에서부터 증가하기 시작하여 4,096개의 PE 구조에서부터 눈에 띄게 증가하기 시작한다. 이는 PE의 개수가 많아질수록 비활성화 되는 비율도 늘어나 PE 수의 증가에 따라 늘어난 면적이 실제 연산에 사용되지 않는 경우가 점차 증가하기 때문이다.



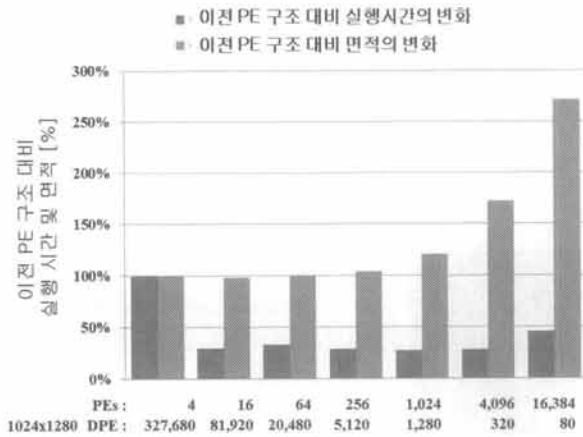
(그림 9) PE 구조에 따른 정규화된 시스템 면적 효율



(a) 해상도가 256x256 영상에서의 실행 시간 및 면적의 변화



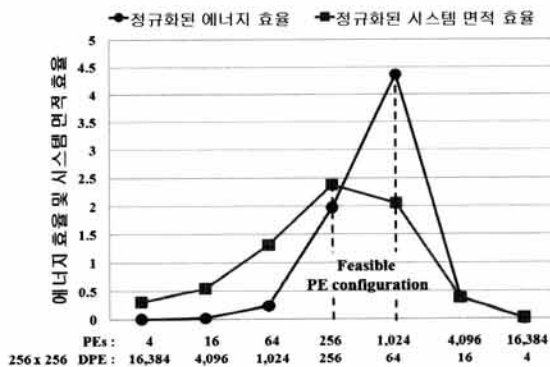
(b) 해상도가 768x1,024에서의 실행 시간 및 면적의 변화



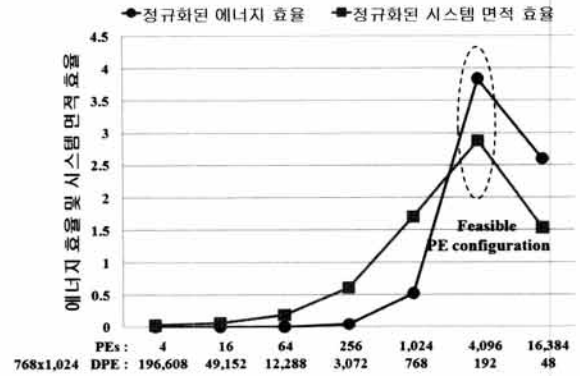
(c) 해상도가 1,024x1,280 영상에서의 실행 시간 및 면적의 변화 (그림 10) PE 구조에 따른 실행 시간 및 면적 변화 추이

### 3.6 매니코어 프로세서에서의 빔포밍 결과

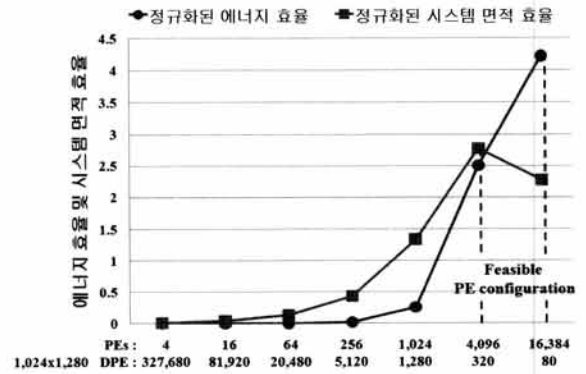
또한 (그림 11)은 다양한 해상도에서의 초음파 영상처리를 위한 최적의 매니코어 구조로 해상도가 256x256에서는 PE가 256에서 1,024개(DPE : 256에서 64)의 범위에서, 768x1,024에서는 4,096개(DPE : 192)의 PE에서, 1,024x1,280에서는 4,096에서 16,384개(DPE : 320에서 80)의 범위일 때 최적의 시스템 성능을 나타내었다.



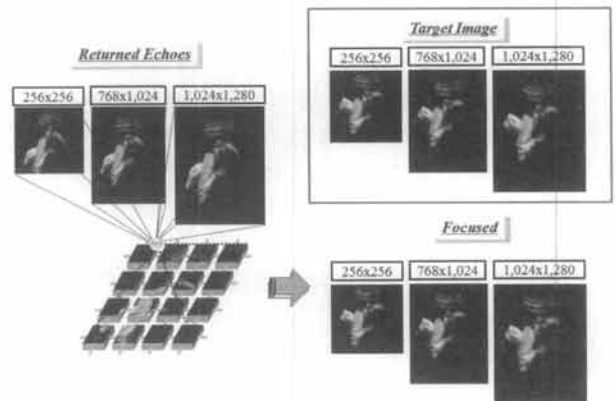
(a) 해상도가 256x256 영상에서의 최적의 매니코어



(b) 해상도가 768x1,024에서의 최적의 매니코어



(c) 해상도가 1,024x1,280 영상에서의 최적의 매니코어 구조 (그림 11) 초음파 영상처리를 위한 최적의 매니코어 구조



(그림 12) SIMD 기반 매니코어 프로세서를 이용한 빔포밍 결과

SIMD 기반의 매니코어 프로세서가 반사된 초음파 영상을 입력받아 포커싱 과정을 통해 빔포밍을 수행한 결과영상은 (그림 12)로 C언어를 이용하여 프로그래밍한 빔포밍 기법의 대상 영상과 비교하였을 때 차이를 보이지 않았다.

## 4. 결론

초음파 진단기기의 중요한 요구사항은 높은 성능과 낮은 전력 소모, 그리고 소형화를 위한 높은 시스템 면적 효율이

다. 이를 위해 본 논문에서는 다양한 해상도에서의 초음파 영상처리를 위한 최적의 매니코어 프로세서 구조를 제안하고, PE당 처리하는 데이터 수의 변화에 따른 실행시간 및 에너지 효율, 시스템 이용률 및 시스템 면적 효율을 측정하였다. 측정된 결과를 분석하여 효율의 변화 원인을 파악하고 이를 바탕으로 각 초음파 영상의 해상도에 최적인 매니코어 코어 구조를 선택하였다. 동일한 130nm 테크놀로지와 130MHz의 클럭 주파수를 사용한 결과, 에너지 효율은 해상도 256x256, 768x1,024, 1,024x1,280에서는 PE 개수가 각각 1,024개, 4,096개, 16,384개로 점차 증가해가며 최적의 에너지 효율을 보였다. 또한 시스템 면적 효율은 256x256 해상도에서는 PE 개수가 256개일 때, 768x1,024 해상도와 1,024x1,280 해상도에서는 PE 개수가 4096개일 때 최적의 시스템 면적 효율을 보였다. 따라서 256x256, 768x1,024, 1,024x1,280 해상도에서 각각 PE 개수가 256에서 1,024개 (DPE : 256에서 64), 4,096개(DPE : 192), 4096에서 16,384개 (DPE : 320에서 80)의 범위에서 가장 효율적인 시스템 성능을 보였다. 이러한 초음파 진단기기를 위한 매니코어 설계 공간 탐색 결과는 매니코어 프로세서의 코어 구조를 효율적으로 디자인 할 수 있는 해결방안이 될 것이다.

**참 고 문 헌**

[1] 정무경, 박성모, 엄낙용, “병렬 프로세서 기술 및 동향”, 전자통신 동향분석 제 24권 제 6호, pp.86-93, 2009.  
 [2] 이순훈, 최관순, 김동식, “가상 3D 그래픽을 이용한 집속형 초음파 탐측자 성능평가 방법”, 한국정보처리학회논문지, 제 14권 제 6호, pp.407/412, 2007.  
 [3] 김성학, 이원석, 신은희, 배병국, 노용래, “64 채널 Phased array 초음파 트랜스듀서의 설계 및 제작”, 한국음향학회논문지, 제 29권 제 2호, pp.608-609, 2010.  
 [4] 서현기, 송혜정, 김백섭, “초음파 영상에서 끊어진 구조 영역 연결성 향상 방법”, 정보과학회논문지, 제 37권 제 10호, pp.751-759, 2010.  
 [5] 장성호, “초음파 영상진단장치”, 대한전기학회논문지, 제 48권 제 8호, pp.11-21, 1998.  
 [6] 이후정, 이행세, 김영길, 이민화, “초음파 영상장치에서 측방향 해상도 향상에 관한 연구”, 의공학회지, 제 9권 제 1호, pp.87-92, 1988.  
 [7] Luong Van Huynh, 김철홍, 김종면, “퍼지 벡터 양자화를 위한 대규모 병렬 알고리즘”, 한국정보처리학회논문지, 제 16권 제 6호, pp.411-418, 2009.

[8] S. M. Chai, T. Taha, D. S. Wills, and J. D. Meindl, “Heterogeneous architecture models for interconnect-motivated system design,” IEEE Trans. on VLSI Systems, Vol.8, No.6, pp.660-670, 2000.  
 [9] V. Tiwari, S. Malik, and A. Wolfe, “Compilation techniques for low energy: An overview,” in Proc. IEEE International Symposium on Low Power Electronics, pp.38-39, 1994.  
 [10] L. Codrescu, S.P. Nugent, J.D. Meindl, and D.S. Wills, “Modeling Technology Impact on Cluster Microprocessor Performance,” IEEE Trans. VLSI Systems, Vol.11, No.5, pp. 909-920, Oct., 2003.  
 [11] J. H. Kim, T. K. Song and S.B. Park, “A Pipelined sampled-delay focusing in ultrasound imaging systems”, Ultrasonic Imaging, Vol.9, pp.75-91, 1987.  
 [12] A. Gentile, S. Sander, L. Wills, and D. S. Wills, “The Impact of Grain Size of the Efficiency of Embedded SIMD Image Processing Architectures”, Journal of Parallel Distributed Computing, Vol.64, pp.1318-1327, 2004.  
 [13] 최병국, 김철홍, 김종면, “효율적인 영상데이터 처리를 위한 SIMD기반 매니코어 프로세서 구현”, 한국컴퓨터정보학회논문지, Vol.16, No.1, pp.1-9, 2011년 1월.



**강 성 모**

e-mail : justiceskull@naver.com  
 2011년 울산대학교 컴퓨터정보통신공학부 (학사)  
 2011년~현 재 울산대학교 전기공학부 석사과정  
 관심분야: 임베디드 시스템, 신호처리, SoC설계



**김 종 면**

e-mail : jmkim07@ulsan.ac.kr  
 1995년 명지대학교 전기공학과(학사)  
 2000년 Electrical & Computer Engineering, University of Florida, USA(공학 석사)  
 2005년 Electrical & Computer Engineering, Georgia Institute of Technology, USA(공학박사)  
 2005년~2007년 삼성종합기술원 전문연구원  
 2007년~현 재 울산대학교 전기공학부 교수  
 관심분야: 임베디드시스템, 시스템-온-칩, 컴퓨터구조, 병렬처리, 신호처리 등