韓國地形空間情報學會誌 第18卷 第4號 2010年 12月 pp. 21-30

연구논문

분포형 강우유출모형(K-DRUM)의 병렬화 효과 분석

The Parallelization Effectiveness Analysis of K-DRUM Model

정성영* · 박진혁** · 허영택*** · 정관수****

Chung, Sung Young · Park, Jin Hyeog · Hur, Young Teck · Jung, Kwan Sue

要 旨

본 연구에서는 기존에 개발된 GIS 기반의 분포형 강우유출모형(K-DRUM)이 대유역에서 많은 계산시간을 요구하는 단점이 있기 때문에 이를 개선하기 위하여 MPI(Message Passing Interface)기법을 적용한 병렬 K-DRUM모형을 개발하였다. K-DRUM 모형은 홍수기동안의 지표흐름과 지표하 흐름의 시간적 변화와 공간적 분포를 모의할 수 있으며, 전처리과정으로서 ArcView를 이용하여 모형에 필요한 ASCII형태의 입력 매개변수 자료들을 가공하였다. 개발된 병렬 K-DRUM 모형을 이용하여 남강댐유역에서 2006년 태풍 '에위니아' 사상을 대상으로 다양한 영역분할을 통한 유출계산 검토를 하였다. 영역분할 개수에 따른 병렬화 효과를 검토하기 위하여 분할 개수를 1개에서 25개까지 증가시키며 클러스터 시스템에서 유출모의를 수행하였다. 모의결과 영역분할 개수가 증가할수록 컴퓨터 메모리의 개수가 감소하게 되고, 이에 따라 모의수행시간 역시 감소함을 알 수 있었다. 또한 본 연구에서 영역분할 계산방식을 채택함에 따라 영역의 접합부분에서 발생 가능한 유출량 계산오차를 최소화하기 위한 기법을 제시하였다. 유출량 계산오차 발생을 최소화하기 위해서는 단위 계산시간당 영역간 정보교환과 내부유출량 계산을 최소 3회 반복하여야 함을 알 수 있었다.

핵심용어 : 병렬화, MPI, 분포형모형(K-DRUM), 남강댐 유역, GIS(geographical information system)

Abstract

In this paper, the parallel distributed rainfall runoff model(K-DRUM) using MPI(Message Passing Interface) technique was developed to solve the problem of calculation time as it is one of the demerits of the distributed model for performing physical and complicated numerical calculations for large scale watersheds. The K-DRUM model which is based on GIS can simulate temporal and spatial distribution of surface flow and sub-surface flow during flood period, and input parameters of ASCII format as pre-process can be extracted using ArcView. The comparison studies were performed with various domain divisions in Namgang Dam watershed in case of typoon 'Ewiniar' at 2006. The numerical simulation using the cluster system was performed to check a parallelization effectiveness increasing the domain divisions from 1 to 25. As a result, the computer memory size reduced and the calculation time was decreased with increase of divided domains. And also, the tool was suggested in order to decreasing the discharge error on each domain connections. The result shows that the calculation and communication times in each domain have to repeats three times at each time steps in order to minimization of discharge error.

Keywords : Parallelization, MPI, K-DRUM, Namgang Dam watershed, GIS

1. 서 론

최근 GIS 및 인공위성을 이용한 토양 및 지형에 대한 정보구축이 진행되어 유역에 대한 정확하고 상세한 각종 수문매개변수의 수집이 가능하게 되었다. 또한 컴퓨터의 기능 향상과 수치모의의 기술 향상으로 인해 강우와 지형 및 토양특성의 공간분포와 비균질성을 고려하여 유역유출을 계산할 수 있는 물리적기반의 분포형 유출모형에 대한 활용성이 증대되고 있다(박진혁과 허영택, 2008a, 2008b, 2009b). 기존의 분포형 모형들은

2010년 10월 11일 접수, 2010년 11월 6일 채택

* K-water 남강댐관리단 단장(sungyoung@kwater.or.kr)

** 정회원 · K-water 수자원연구소 책임연구원(park5103@kwater.or.kr)

*** 교신저자 · 종신회원 · K-water 물관리센터 선임연구원(korcivil@hanmail.net)

**** 충남대학교 토목공학과 교수(ksjung@cnu.ac.kr)

개념적 모형에 비해 입력자료의 구축에 많은 시간과 노력이 필요하며, 특히 유출계산시 운동역학적인 이론에 근거하여 물의 흐름을 수치해석으로 추적해 나가기 때문에 많은 컴퓨터 메모리용량이 요구되고 계산수행시간이 상대적으로 오래 걸리는 단점이 있었다. 그래서 지금까지 분포형모형의 적용유역은 비교적 소유역에 국한되어 적용되어왔으며, 대유역에 적용하기 위해서는 격자의 해상도를 낮추거나 소유역 적용과 동일한 해상도에서는 계산 시간이 많이 소요되어 실무적용을 어렵게 하는 요인이 되어왔다. 그러나 최근 다양한 수치해석 분야에서 병렬화 기법을 적용할 수 있는 클러스터 시스템 관련 연구가 활발히 진행되고 있고, 과거와는 달리 클러스터 시스템 가격이 매우 낮아져서 보다 많은 연구자들의 관심을 받고 있다. 최근에는 정성영 등(2010)이 병렬화 처리기법을 이용한 분포형 강우유출모형을 개발하여 계산시간을 획기적으로 단축시키는 등 강우유출모형 개발 분야에서도 그 적용가능성이 높은 것으로 나타나고 있다.

본 연구에서는 병렬화기법을 적용하여 물리적이고 복잡한 수치계산을 하는 분포형모형의 단점의 하나인 계산소요 문제를 해결하기 위하여 영역분할을 통하여 계산시간을 획기적으로 단축하고자 하였다. K-DRUM의 병렬화 프로그래밍 방법으로는 전체 유역을 계산 단위의 격자를 기반으로 블록을 구분하여 병렬화 하는 방법, 소유역별 병렬화 하는 방법, 프로그램내의 루프(loop)의 계산을 병렬화 하는 방법, 지배방정식 또는 수치해석 부분을 병렬화 하는 방법들이 있을 수 있다. 김병욱과 양성봉(2000), Hur(2006)는 다양한 영역분할에 따른 병렬화 효과를 검토하여 대상영역을 정방형의 다차원 영역분인 경우가 병렬처리 효과면에서 뛰어남을 제시하였다. 본 논문에서는 전체 유역을 계산 단위의 격자를 기반으로 블록을 구분하여 병렬화하는 방법을 채택하였다. 또한, 병렬화 프로그래밍을 위한 툴(tool)로는 PVM(Parallel Virtual Machine), OpenMP(Open Multi-Processing), MPI(Message Passing Interface) 등 중에서 프로그래밍에 다소 어려움이 있으나 병렬화 효율성이 좋은 표준화된 MPI 라이브러리(library)를 채택하였다.

개발된 물리적기반의 병렬 분포형모형(K-DRUM; K-water hydrologic & hydraulic Distributed RUnoff Model)을 활용하여 남강댐유역을 대상으로 병렬화 계산을 수행하였다. MPI기법을 이용한 병렬화 계산의 효과를 분석하기 위하여 단일 영역에서 계산된 결과와 다수의 소영역으로 분할하여 수행되어진 계산 결과를 비교하였으며, 노드별 배열크기 감소와 그에 따른 계산속도 향상을 확인하였다. 또한 영역분할에 따라 계산오차를 최소화하기 위하여 내부영역 반복계산 횟수 및 인접영역간 통신회수를 변화시키며 최적의 반복횟수를 산정하였다.

2. 병렬 K-DRUM 모형 개발

2.1 병렬화 기법

병렬화기법이란 지역적으로 메모리를 따로 가지는 프로세스들이 데이터를 공유하기 위해 데이터를 송신, 수신하여 통신하는 방식을 이용하여 작업할당 및 데이터 분배 등으로 효율적 계산 기법으로 분포 모형 및 기상모델링 등 광범위한 지역을 대상으로 대용량 수치해석시 효과적으로 활용 가능하다. 본 연구에서 병렬화계산을 하는 이유는 물리적이고 복잡한 수치계산을 하는 분포형모형의 단점인 계산소요 문제를 해결하기 위하여, 영역분할을 통하여 대유역 적용시 계산시간을 획기적으로 단축하고자 함이다. 병렬화 계산을 위하여 필요한 구성요소는 병렬프로세서(클러스터기반)와 병렬화 코딩이 완료된 프로그램 필요하다.

본 연구에서는 K-water 물관리센터에서 보유하고 있는 병렬클러스터 시스템 카오스(CHAOS)를 원격으로 접속하여 사용하였다. 이 시스템은 8개의 컴퓨팅 노드로 구성되어 있으며, 각 노드당 4개의 프로세서(CPU)를 탑재하여 총 32개의 프로세서를 보유하고 있다. 시스템의 운영체제로 Linux를 사용하고 병렬라이브러리는 MPICH1을 사용하며 각 노드 사이에 통신을 통해 상호 정보교환이 가능하다. 각각의 프로세서는 2.3 GHz의 처리속도를 가지고 있으며 2 G DDR2 형식의 32 개 메모리를 보유하고 있다. 카오스 시스템에 대한 사양 및 규격은 표 1과 같다.

K-DRUM 모형을 병렬화 코딩하기 위하여 본 연구에서는 MPI 툴을 적용하였다. MPI는 메시지 전달 방식의 표준화 인터페이스로서 125 개의 부프로그램들로

표 1. CHAOS 시스템의 사양

Division	Contents
Processor	AMD Opteron Quad OS8356 2.3 GHz
Node number	Computing node 8 (number)
CPU core	32 (number)
Memory	Server 2 G DDR2 PC2-5300 RegEcc 32 EA
Complier	PGI 7.1-4
Parallel libraries	MPICH 1.0
Operating system	Linux

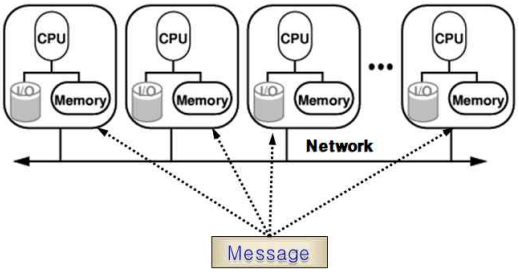


그림 1. 메시지 전달 방식의 구조

구성되어 있는 병렬 라이브러리들에 대한 표준규약이다. MPI는 약 40개 기관이 참여하는 MPI 포럼에서 관리되고 있으며, 1992년 MPI 1.0을 시작으로 현재 MPI 2.0까지 개발된 상태이며 이들 MPI를 따르는 병렬 라이브러리로는 Ohio supercomputer center에서 개발한 Lam-MPI와 Argonne National Laboratory에서 개발한 MPICH가 있다(Aoyama and Nakano, 1999). MPI는 프로세서 간 메시지 흐름과 모형의 구조 및 통신정보 배분을 프로그램 내에서 코드로 정의해야 하기 때문에 프로그래밍이 어려운 단점이 있지만, 모형의 병렬화를 극대화 시킬 수 있어 병렬화에 따른 계산효율을 최대로 높일 수 있는 장점이 있다. 그림 1에 메시지 전달모델의 구조를 나타내고 있다.

2.2 K-DRUM 모형의 병렬화

본 연구에서 활용한 모형은 레이더를 활용한 홍수유출해석모형으로 개발한 K-DRUM모형(박진혁과 허영택, 2008c, 2009a)이다. 유역내 수평 유출량산정 모듈로서 평면 분포형의 격자형을, 연직분포형으로 다층모형을 이용해서 격자기반다층유출모형을 적용한다. 연직구조는 A~B층의 수평유출량은 하천으로 유입하고, C층은 하천유량에 영향을 미치지 않는 지하수층으로 가정하였다(그림 2). K-DRUM 모형의 계산흐름은 강우자료, GIS자료, 매개변수 등의 입력자료 구축단계와 대상유역 특성에 적합한 초기변수 설정단계, 관측유출량을 이용한 초기토양수분상태 산정을 위한 웜업(Warm-up) 단계, 그리고 본 계산 및 출력단계로 구분된다.

K-DRUM 모형의 구조상 병렬화 기법을 적용할 경우 그 효과가 가장 높은 부분은 웜업계산과 본 계산 단계이다. 이 두 단계에서는 전체 격자에 대해 순차 계산 수순에 따라 각 격자별 A~C층과 하천에 대한 수치계

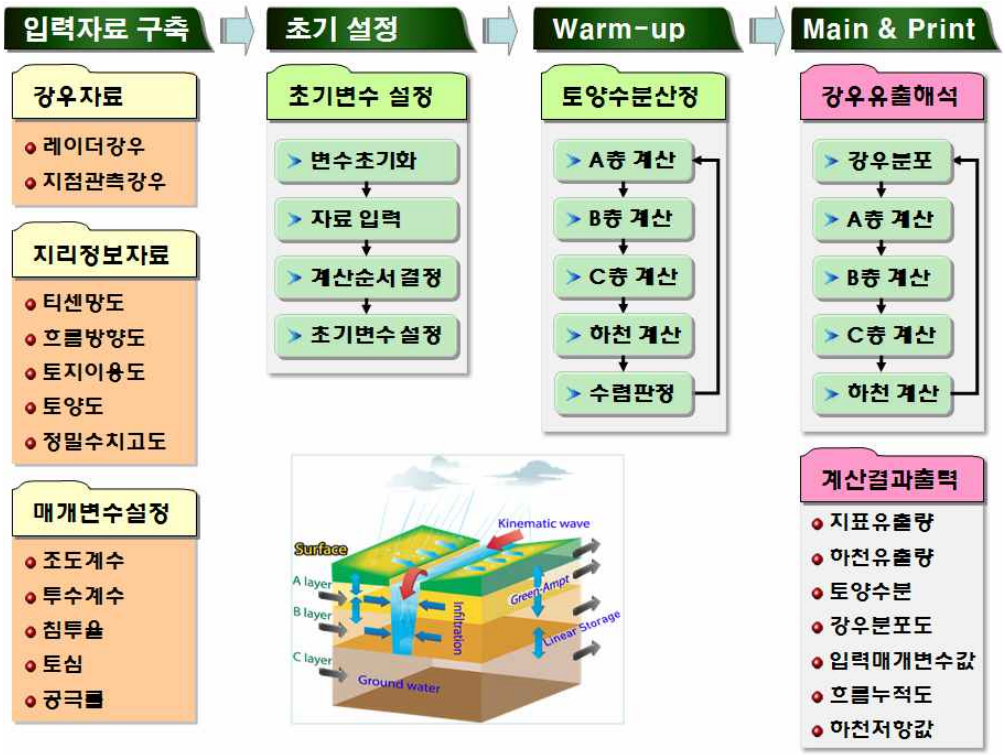


그림 2. K-DRUM 모형의 기본구조 및 계산흐름도

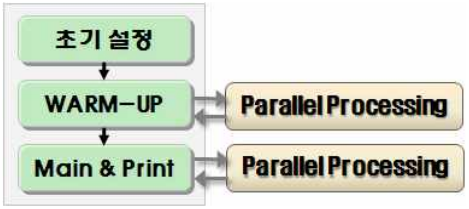


그림 3. K-DRUM 모형의 병렬화기법 적용 부분

산을 수행한다. 이는 특정 격자에서 계산이 수행되는 동안 이후 순번의 격자들에서는 이전 순번의 격자 계산이 완료 될 때까지 대기하게 되고, 이는 격자 개수가 증가할수록 계산시간이 격자개수에 비례해서 증가하는 원인이 된다. 본 연구에서는 그림 3과 같이 각 격자별 순차 계산이 수행되는 윔업계산과 본 계산 단계부분에서 영역분할을 통한 병렬화 기법을 적용하고, 병렬시스템을 이용하여 분할된 영역을 동시에 계산하게 함으로써 전체 계산수행시간을 단축시켰다.

2.3 영역분할 및 통신

분포형모형의 병렬화를 위해서는 우선, 대상유역을 격자단위의 소영역으로 분할하고 분할된 소영역 간의 공유경계(matching boundary)를 지정하여 통신을 위한 격자정보를 저장한다. 소영역은 각각 병렬시스템에서 개별적으로 단위시간 동안 수행되며 수행된 정보는 인접 소영역으로 통신을 통해 전달하게 된다. 그림 4에 대상유역을 소영역으로 분할한 형태(좌)와 소영역의 계산 범위와 통신범위를 예시로 나타내었다. 대상유역 분할을 가로 4개와 세로 4개로 분할 할 경우 총 16개의 소영역으로 가로와 세로의 크기는 동일하게 된다. 분할된 소영역에서 내부격자들은 계산대상이 되고, 외부격자들은 인접 소영역에서 통신으로 받은 정보를 이용하여 내부격자의 경계조건으로 사용되게 된다.

병렬시스템에서 각각의 소영역에 대한 계산을 담당하는 부분을 노드(node)라 부른다. 각 노드들은 단위시간동안 계산을 수행하고 미리 정의된 인접 노드와 경계부분의 정보를 상호 통신하게 되는데 이때 통신순서를 순차적으로 정의하지 않으면 통신 교착상태에 빠져 시스템이 정지하게 된다. 본 연구에서는 그림 5와 같이 노드간 통신을 수행할 경우 중앙 노드를 중심으로 그림과 같이 순번을 정하고 통신을 반대방향에 있는 인접노드와 통신하도록 하여 통신 교착상태를 방지하였다.

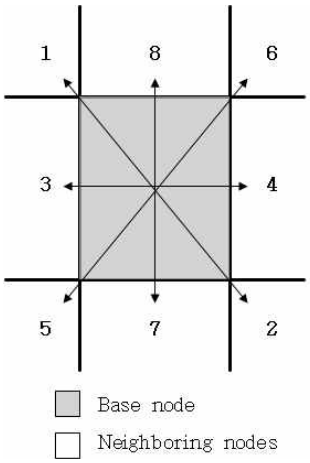
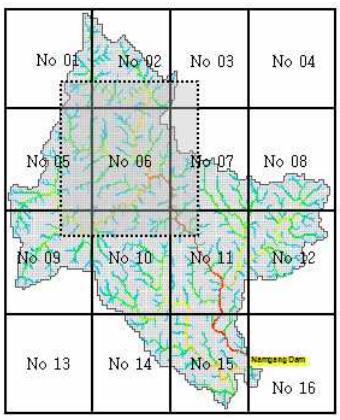


그림 5. 인접 노드간 통신 순서



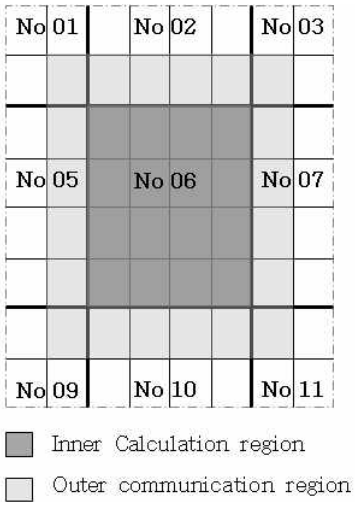


그림 4. 영역분할에 따른 내부격자 및 통신격자

표 2. 병렬화를 위해 적용한 MPI 명령어

구 분	명령어
초기병렬화 선언	include 'mpif.h'
	Call mpi_init(ierr)
	Call mpi_comm_rank(mpi_comm_world, irank, ierr)
	Call mpi_comm_size(mpi_comm_world, isize, ierr)
	Call mpi_barrier(mpi_comm_world, ierr)
입력자료 배포	Call mpi_bcast(data, 1, mpi_integer, 0, mpi_comm_world, ierr)
정보통신 및 갱신	Call communicate() • Call mpi_send(send1, ns1, mpi_real, is1, 1, mpi_comm_world, status, ierr) • Call mpi_recv(recv1, nr1, mpi_real, is1, 2, mpi_comm_world, status, ierr)
	Call bound_cange()

2.4 MPI를 이용한 병렬코드 개발

기존 단일프로세서 기반의 K-DRUM 모형을 MPI 기법을 적용한 병렬시스템 기반의 모형으로 개선하기 위하여 코드를 수정하였다. 각 노드별 통신을 위해서 MPI를 이용하였고, 초기병렬화 선언, 노드 전체에 대한 입력자료 배포, 노드간 공유경계 정보통신에 대한 명령어를 표 2에 정리하였다. 초기 병렬화 선언은 MPI 기법을 이용하여 병렬화를 위해서 공통적으로 선언해야 하는 부분이고, 입력자료 배포는 강우자료 등 전체 노드에 공유되어야 하는 정보를 배포하는 부분이다. 정보통신은 mpi_send와 mpi_recv 명령어를 이용하여 순차적으로 통신순서에 따라 노드간 공유경계 정보 통신을 하는 부분이다.

3. 병렬 K-DRUM 모형의 적용성 평가

3.1 대상유역

병렬화 기법을 적용한 분포형 모형의 적용성을 평가하기 위해 남강댐 유역을 적용대상유역으로 선정하였다. 남강댐유역은 낙동강 합류지점으로부터 약 80km 상류지점에 위치하며, 유역면적은 2,293km2로 낙동강 전체 유역면적의 9.6%를 차지하고 있다. 연평균 기온은 13℃이며 여름철에 몬순기후와 남해안의 난류가 어우러져 집중호우나 태풍을 동반하는 다우지역으로서 연평균 강우량이 1,416mm나 된다. 남강유역의 행정구역은 3도 1시 11군 68개 읍면동에 달하며 주된 산업은 농업과 임업이며 진주시 일원에 일부 공업이 발달되어 있다(한국대댐회, 2006). 남강댐유역의 지형지세 및 하도, 강우 및 수위관측소 등 기본현황은 그림 6에 나타나 있다(한국수자원공사, 2006).

3.2 GIS 수문매개변수 구축

유역의 수문학적인 특성은 지형, 토지피복, 토양 등에 의해 크게 좌우된다. 본 연구에서는 한국수자원공사

그림 6. Study area

의 유역조사 정보제공시스템으로부터 30m 해상도의 DEM, 토지피복도 및 토양도를 이용하여 HEC-GeoHMS를 ArcView에 탑재하여 K-DRUM모형의 입력인자로서 ASCII포맷의 공간분포형 수문매개변수들을 추출하였다. 계산단위해상도는 하천망 재현정도, 수문매개변수 해상도, 강우자료 해상도 및 계산시간을 고려하여 적절한 크기로 결정하게 된다. 본 연구에서는 계산단위해상도를 500 m 단위로 결정하였고, 각각의 수문매개변수 자료를 계산단위해상도로 변환하였다. 표 3은 K-DRUM모형에서 입력자료로 사용되는 수문매개변수 산정을 위한 원시자료의 출처, 매개변수명, 산정방법 및 기준에 대하여 정리하였다.

남강댐 유역 30m해상도의 토양자료를 모형의 격자해상도(500m)에 맞게 리샘플링한 후 문헌에 나온 값(Vieux, 2004)을 초기치로 토심 및 Green-Ampt 매개

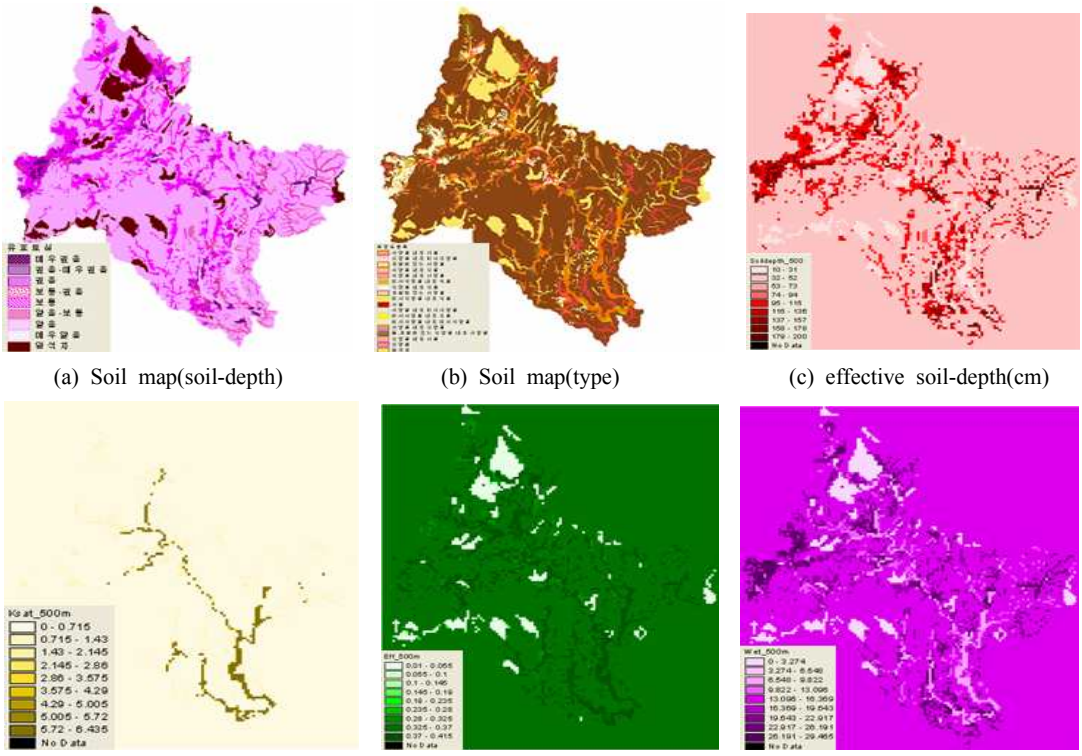
표 3. 수문 매개변수 및 산정방법

Original data	Hydrological parameters	Remark
DEM	Basin slope	ArcView (Spatial Analysis)
	Riverbed slope	ArcView (Spatial Analysis)
	Flow direction	HEC-GeoHMS
Land Cover	Roughness coefficient of land covers	Reclassify as 8 types
Soil Map	Efficient soil depth	Green-Ampt infiltration process
	Saturated conductivity	
	Wetting front suction	
	Effective porosity	
Grid resolution		500 m

변수인 습윤전선(wetting front suction), 포화 투수계수 그리고 유효공극율과 같은 침투 매개변수를 산정하여 모형의 입력포맷인 ASCII파일로 변환하여 출력하였다. 그림 7에는 토양도(토심)로부터 유효토심 매개변수를, 토양도(종류)로부터 유효공극율, 습윤전선, 포화투수계수를 산정한 결과를 나타내었다.

3.3 과거사상 재현성 검토

남강댐유역에서 태풍 '에위니아' 사상(2006년 7월 8일 15시 ~ 7월 11일 12시)을 대상으로 병렬화 기법을 적용한 K-DRUM 모형을 이용하여 유출해석을 수행하여, 대상유역 내에 위치한 남강댐 지점에서의 관측 유출량과 수치모의를 통한 계산 유출량을 비교한 결과를 그림 8에 나타내었다. 비교 결과 K-DRUM 모형을 이용한 유역내 강우에 대한 유출량의 재현성은 양호한 것으로 나타나고 있다.



(a) Soil map(soil-depth) (b) Soil map(type) (c) effective soil-depth(cm)

(d) Effective Porosity (e) Wetting Front suction(cm) (f) Saturated Hydraulic Conductivity(cm/hr)

그림 7. 남강댐 유역 토양매개변수

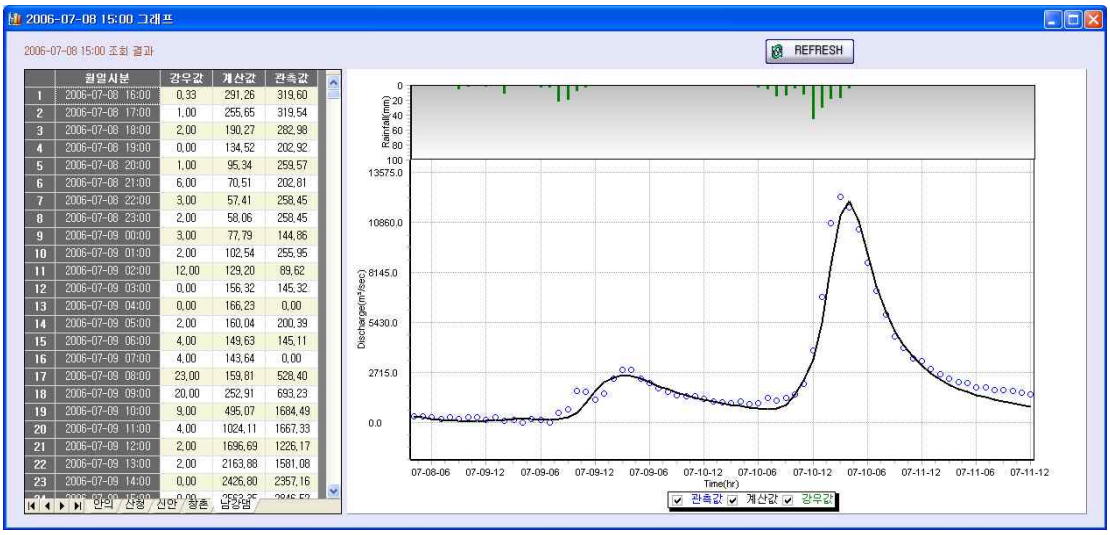


그림 8. 남강지점 유출량 계산결과

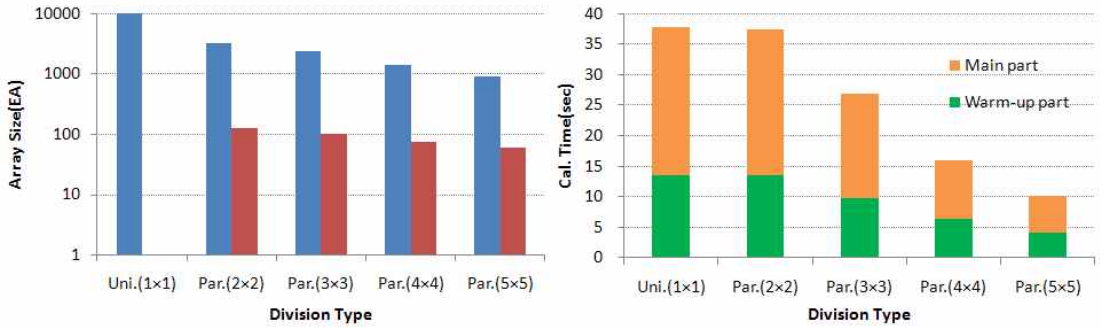
표 4. 계산조건 및 영역분할 개수에 따른 계산시간

Division	Contents				
Space interval(m)	500				
Time interval(sec)	1200				
Total calculation grid number(EA)	9,163				
Domain division type	Square division				
Domain division number(W×H, EA)	1×1=1	2×2=4	3×3=9	4×4=16	5×5=25
Calculation time (sec)	38.06	37.62	27.20	16.05	10.68

3.4 병렬화효과 분석

대상영역을 소유역으로 분할하여 병렬화 계산을 수행할 경우 분할 개수에 따른 계산수행 시간을 통해 병렬화 계산의 효과를 검토하였다. 영역분할은 단일프로세스 계산부터 가로 및 세로방향으로 분할 개수를 1개씩 증가하여 최대 25개의 다중프로세서 계산을 수행하였다. 모의에 사용된 계산 조건과 영역분할 개수(계산에 사용된 프로세서의 개수) 및 계산수행 시간은 표 4와 같다. 계산단위시간은 강우자료 단위시간과 차분방정식의 발생오차를 고려하여 전체 계산시간을 최소화할 수 있도록 1200초로 설정하였다.

그림 9(a)는 분할 형태에 따른 각 노드당 할당된 배열크기와 노드간 통신에 필요한 격자개수를 나타내고 있다. 분할 개수가 증가할수록 각 노드의 할당 배열크



(a) 계산 및 통신 배열크기 (b) 계산시간

그림 9. 영역분할 개수에 따른 배열크기 및 계산시간 변화

기가 감소하고 있고 통신에 필요한 격자개수 역시 감소하고 있음을 알 수 있다.

그림 9(b)는 분할형태에 따른 계산시간을 웜업단계와 본 계산단계에 소요되는 계산시간을 구분하여 나타내고 있다. 웜업은 초기토양수분량을 산정하는 과정으로서 대상유역의 초기상태에 따라 계산시간이 단축 혹은 증가할 수 있다. 분할개수가 1일 경우 단일프로세서로 계산한 것과 같으며 계산시간은 약 38.06 초가 소요되지만 분할개수가 증가할수록 계산시간은 감소하고 있으며 최대 25개의 영역분할로 25개의 프로세서가 분할계산 할 경우 계산시간은 약 10.68 초로 영역분할을 통한 병렬화 기법의 효과가 매우 크다는 것을 알 수 있다. 일반적으로 병렬형태나 사용노드개수에 따라 순수하게 계산에 필요한 시간 이외로 노드간 통신 등 시스템 구동에 소비되는 시간이 증가하여 노드개수의 증가에 비해 계산시간 감소효과가 줄어들 수 있다. 본 연구에서 사용한 노드 개수 및 영역분할 형태의 병렬화는 노드수가 제곱형태로 증가함에 따라 배열크기와 계산시간은 급격하게 감소하고 있어 병렬화 효과가 양호하게 나타나고 있음을 알 수 있다.

3.5 공유경계 처리기법

본 연구에서 사용한 K-DRUM 모형의 계산순서는 최상류 격자를 시작으로 하류격자 방향으로 계산하는 순차적 차분방법을 사용하고 있다. 이러한 방법은 단위계산시간을 다소 증가시켜도 계산오차 발생이 크지 않다는 장점이 있다. 그러나 영역병렬화를 통한 병렬계산을 수행할 경우 영역간 통신이 단위시간에 1회에 한정되어 있어 순차적 차분계산은 소영역 내에서만 완료되게 된다. 이는 인접영역 또는 전체영역에서의 연속적인 순차계산이 단절되어 단절회수가 많을수록 유출량 오차가 증가하게 된다. 그림 10은 흐름방향도를 이용하여 격자별 순차계산을 수행할 경우 인접영역간 공유경계에서의 정보교환 단계를 나타내고 있다. 그림에서 B영역에서 A영역으로 공유경계를 가로지르는 흐름이 존재하고 이후 A영역에서 B영역으로 다시 공유경계를 가로지르는 흐름이 존재하고 있다. 단위계산시간 동안 B영역에서 계산된 결과는 공유경계를 통해 A영역으로 전달이 되어 A영역에서는 정확한 경계정보를 이용한 계산이 수행되지만, B영역의 경우 A영역에서 전달받은 자료는 전시간 단계에서 계산된 정보이기 때문에 부정확한 계산이 이루어지게 된다. 이러한 구조적 오차발생을 방지하기 위해 본 연구에서는 단위 계산시간 동안 영역내 계산과 통신을 수회 반복하게 하여 인접 영역간 오차발생을 최소화 하도록 하였다.

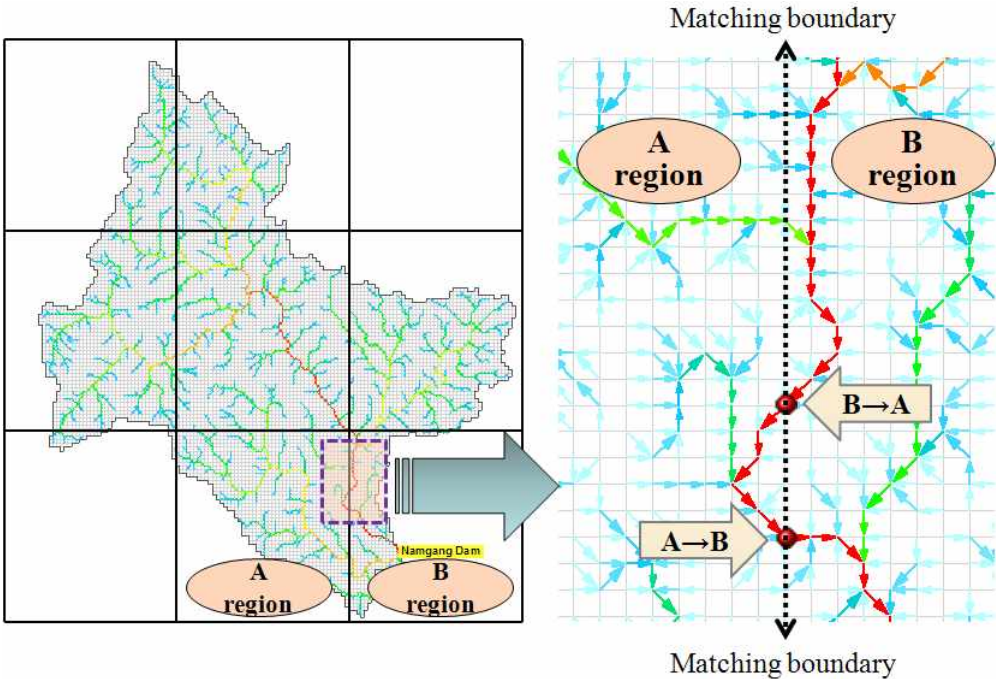


그림 10. 인접영역간 공유경계면에서의 순차계산 흐름도

영역간 연속적 순차계산의 단절에 따른 유출량 오차를 최소화 할 수 있는 최적의 영역간 통신과 영역내 계산 횟수 산정을 위해 오차분석을 하였다. 오차분석은 단일 노드로 계산한 유출량과 다양한 영역분할에 따른 계산 유출량을 다음 식 1과 같이 오차백분율(QER)로 나타내었다.

$$QER = \left| \frac{Q_1 - Q_n}{Q_n} \right| \times 100 \quad (1)$$

여기서, Q_1, Q_n은 각각 단일노드계산 유출량과 n개 노드사용계산 유출량이다.

그림 11은 영역분할을 25개로 고정하고 반복횟수를 1회에서 6회까지 증가시키며 계산한 결과를 오차백분율로 나타내었다. 그림에서 반복횟수가 증가할수록 오차가 감소하고 있고 특히, 3회 이상인 경우 오차는 5% 이하로 감소하고 있음을 알 수 있다.

그림 12은 반복횟수를 3회로 고정하고 영역분할 개수를 4에서 25까지 증가시키며 계산한 결과를 오차백분율로 나타내었다. 영역분할 개수가 증가할수록 영역간 순차계산의 단절횟수가 증가하게 되고 이에 따라 유출량 오차 역시 증가하고 있음을 알 수 있다. 즉 영역분할 개수가 증가할수록 반복횟수 역시 증가시켜야 함을 알 수 있다.

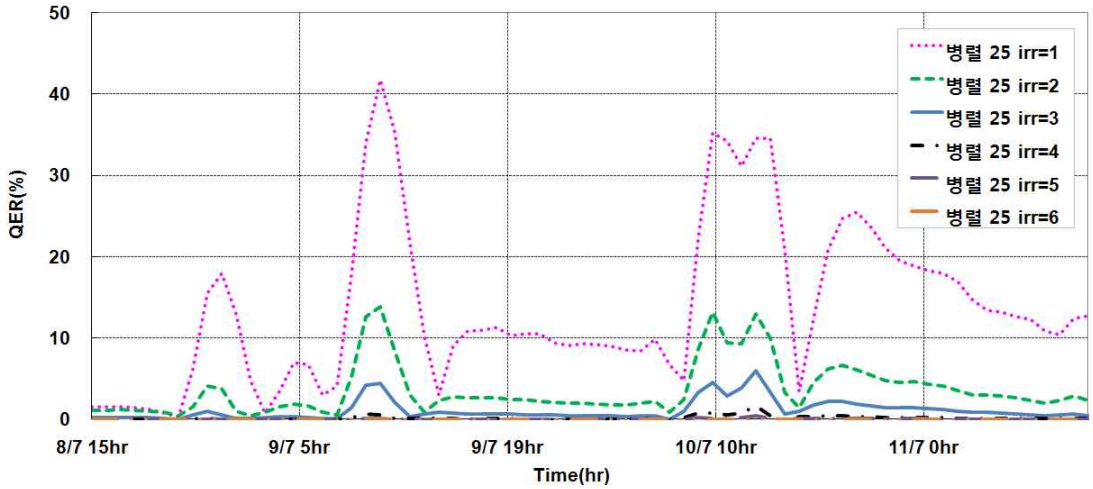


그림 11. 단위계산 시간당 반복횟수에 따른 오차백분율 비교

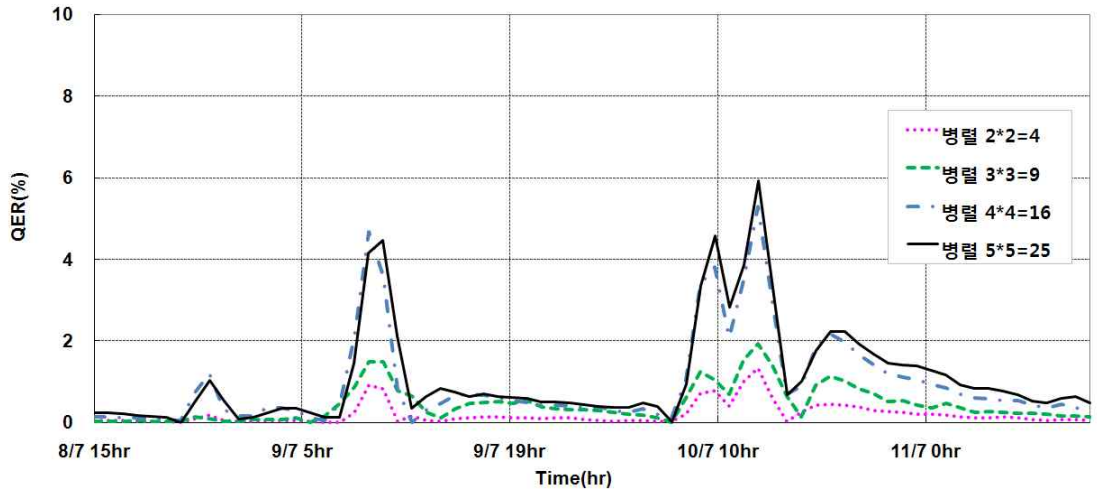


그림 12. 영역분할 개수에 따른 오차백분율 비교

4. 결 론

본 연구에서는 물리적이고 복잡한 수치계산을 하는 분포형모형의 단점의 하나인 계산소요 문제를 해결하기 위하여 분포형 강우유출모형인 K-DRUM 모형을 기반으로 MPI 병렬화 기법을 적용한 병렬 분포형 강우유출모형을 개발하였다. 병렬화 기법의 적용효과를 분석하기 위하여 남강댐유역에서 2006년 태풍 '에위니아' 사상을 대상으로 유출계산을 수행하였다. 단일 영역에서 계산된 결과와 다수의 영역분할에 의해 계산된 결과를 비교한 결과, 계산에 요구되는 노드별 배열크기 및 수행시간은 영역분할 개수가 증가함에 따라 급격히 감소하여 병렬화 효과가 우수함을 알 수 있었다. 그러나 영역분할 개수가 증가함에 따라 순차적 차분계산의 단절에 따른 계산오차 발생 역시 증가하였고, 이를 최소화하기 위하여 단위계산시간당 반복회수를 증가시키며 검토한 결과 이번 연구에서 적용한 조건에서는 최소 3회 이상의 반복계산이 필요함을 알 수 있었다.

본 연구에서 개발한 병렬 강우유출모형은 향후 수계통합 등 대유역을 대상으로 강우유출 해석시 요구되는 계산수행 시간을 획기적으로 단축 가능하여 대유역 적용시 실무에서 적용 가능성이 높을 것으로 기대된다. 특히, 유역관리 개념의 변화에 따라 통합유역관리의 필요성이 증대되면서 댐상 · 하류를 포함한 유역전체의 유출계산이 요구됨에 따라 향후에는 대유역권을 대상으로 연구를 지속적으로 추진할 필요가 있다. 또한 강우사상별, 유역 크기별, 분할개수에 따른 프로세서의 사용개수별, 병렬화 형태 및 다양한 병렬기법 적용에 따른 병렬효과를 분석하여 최적의 병렬화 기법 선정이 필요하다고 사료된다.

참고문헌

1. 김병욱, 양성봉, 2000, "MPI 기반의 병렬 성층회전 난류 시뮬레이션", 정보처리논문지, Vol.7, No.1, pp.57-64.
2. 박진혁, 허영택, 2008a, "유역특성을 반영한 공간격자기반의 분포형모형 개선", 대한토목학회지, 28권, 3D호, pp.431-436.
3. 박진혁, 허영택, 2008b, "초기토양조건에 대한 분포형모형 유출민감도 분석", 대한토목학회지, 28권, 4B호, pp.375-381.
4. 박진혁, 허영택, 2008c, "홍수유출해석을 위한 운동파기반의 분포형모형 개발 및 적용", 한국수자원학지, 41권, 5호, pp.455-462.
5. 박진혁, 허영택, 2009a, "K-DRUM 개선을 위한 초기토양함수 자동보정기법 개발" 한국지형공간정보학회지, 17권, 2호, pp.71-79.
6. 박진혁, 허영택, 2009b, "물리적기반의 분포형모형을 활용한 임진강유역 홍수유출모의", 한국수자원학회지, 42권, 1호, pp.51-60.
7. 정성영, 박진혁, 허영택, 정관수, 2010, "분포형 강우유출모형 병렬화 처리기법 적용", 한국수자원학회지, 43권, 8호, pp.747-755.
8. 한국대댐회 홈페이지, http://www.kncold.or.kr/korean/dam/k_dam9.html.
9. 한국수자원공사, 2006, "레이더 강수를 이용한 단기강수 및 유출예측시스템 개발(3차년도)", 연구보고서, pp.68.
10. Aoyama Y., Nakano J., 1999, "RS/6000 SP: Practical MPI Programming", IBM Corp., www.ewdbooks.ibm.com.
11. Vieux, B.E., 2004, "Distributed Hydrologic Modeling Using GIS", Second Edition, ISBN: 1-4020-2459-2, Kkuwer Academic Publishers, The Netherlands.
12. Hur Y. T., 2006, "Cavity Formation and Its Remote Sensing in Sand Layer", Ph. D. thesis, Kyoto University.