

PCT23-0067

1/3

**PCT 출원서**

(전자적 형태가 원본)

0	수리관청 전용	
0-1	국제출원번호	
0-2	국제출원일자	
0-3	수리관청 명칭 및 "PCT 국제출원"	
0-4	서식 PCT/RO/101 - PCT 출원서	
0-4-1	우측에 기재된 바와 같이 작성되었다.	<b>ePCT-Filing Version 4.12.005 MT/FOP 20231109/1.1</b>
0-5	신청	아래 서명인은 본 국제 출원서가 특허협력조약에 의해 처리될 것을 청구합니다.
0-6	출원인이 지정한 수리관청	<b>대한민국 특허청 (RO/KR)</b>
0-7	출원인 또는 대리인의 서류참조기호	<b>PCT23-0067</b>
I	발명의 명칭	심층 유전 알고리즘을 사용한 데이터베이스 튜닝 방법
II	출원인	
II-1	이 사람은	<b>오직 출원인 (applicant only)</b>
II-2	우측 지정국에 관한 출원인	<b>모든 지정국 (all designated States)</b>
II-4ko	성명	연세대학교 산학협력단
II-4en	Name:	<b>UIF (UNIVERSITY INDUSTRY FOUNDATION), YONSEI UNIVERSITY</b>
II-5ko	주소	대한민국 <b>03722</b> 서울특별시 서대문구 연세로 50
II-5en	Address:	<b>50, Yonsei-ro, Seodaemun-gu, Seoul 03722 Republic of Korea</b>
II-6	국적	대한민국 KR
II-7	거주국	대한민국 KR
II-8	전화번호	<b>+82-2-2123-5138</b>
II-10	이메일 주소	<b>patent@yonsei.ac.kr</b>
II-10(a)	이메일 사용동의	오직 전자적 형태의 통지서만 송부 (서면 통지서는 미발송)
II-10(a)	수리관청, 국제조사기관, 국제사무국, 국제예비심사기관이 필요 시 이 이메일 주소를 사용하여 이 국제 출원과 관련하여 발행된 통지서를 송부할 것에 동의한다.	
II-11	출원인 코드	<b>2-2005-009509-9</b>
III-1	출원인 및/또는 발명자	
III-1-1	이 사람은	<b>오직 발명자 (inventor only)</b>
III-1-3	우측 지정국에 관한 발명자	<b>모든 지정국 (all designated States)</b>
III-1-4ko	성명	박상현
III-1-4en	Name (LAST, First):	<b>PARK, Sang Hyun</b>
III-1-5ko	주소	대한민국 <b>08004</b> 서울특별시 양천구 오목로 300, 204동 3701호
III-1-5en	Address:	<b>204-3701, 300 Omok-ro, Yangcheon-gu, Seoul 08004 Republic of Korea</b>

PCT23-0067

2/3

**PCT 출원서**

(전자적 형태가 원본)

III-2	출원인 및/또는 발명자 III-2-1 이 사람은 III-2-3 우측 지정국에 관한 발명자 III-2-4ko 성명 III-2-4en Name (LAST, First): III-2-5ko 주소 III-2-5en Address:	오직 발명자 (inventor only) 모든 지정국 (all designated States) 김휘군 JUN, Jinhui 대한민국 03789 서울특별시 서대문구 연세로5나길 14, 403호 403, 14 Yonsei-ro 5na-gil, Seodaemun-gu, Seoul 03789 Republic of Korea
III-3	출원인 및/또는 발명자 III-3-1 이 사람은 III-3-3 우측 지정국에 관한 발명자 III-3-4ko 성명 III-3-4en Name (LAST, First): III-3-5ko 주소 III-3-5en Address:	오직 발명자 (inventor only) 모든 지정국 (all designated States) 이지은 LEE, Ji Eun 대한민국 03716 서울특별시 서대문구 동교로 291, 101동 1004호 101-1004, 291 Donggyo-ro, Seodaemun-gu, Seoul 03716 Republic of Korea
IV-1	대리인 또는 대표자 아래에 기재된 자는 관할 국제기관에 대하여 우측에 표시된 자격으로 출원인을 대리하는 것으로 선임되었다. IV-1-1ko 성명 IV-1-1en Name: IV-1-2ko 주소 IV-1-2en Address: IV-1-3 전화번호 IV-1-4 팩스번호 IV-1-5 이메일 주소 IV-1-5(a) 이메일 사용동의 수리관청, 국제조사기관, 국제사무국, 국제예비심사기관이 필요 시 이 이메일 주소를 사용하여 이 국제 출원과 관련하여 발생된 통지서를 송부할 것에 동의한다. IV-1-6 대리인 코드	대리인 특허법인 우인 WOOIN IP LAW FIRM 대한민국 06246 서울특별시 강남구 역삼로 157, 2층 (역삼동, 중평빌딩) (Yeoksam-dong, Jungpyeong Bldg.) 2Fl., 157 Yeoksamro, Gangnam-gu, Seoul 06246 Republic of Korea +82-2-541-9841 +82-2-541-9842 patent@wooinlaw.com 오직 전자적 형태의 통지서만 송부 (서면 통지서는 미발송) 9-2006-100082-1
V	지정국	
V-1	본 출원서의 제출로, 규칙 4.9(a)에 따라, 부여될 수 있는 모든 종류의 권리 보호를 위하여, 그리고 해당하는 경우 지역특허 및 국내특허 모두를 위하여 당해 국제출원일에 PCT에 기록되는 모든 체약국이 지정된다.	
VI-1	우선권 주장	없음
VII-1	국제조사기관(ISA) 선택	대한민국 특허청 (ISA/KR)

PCT23-0067

3/3

**PCT 출원서**

(전자적 형태가 원본)

VIII	선언서	선언서 개수	
VIII-1	발명자의 신원에 관한 선언	-	
VIII-2	국제출원일에 특허출원 및 특허를 받을 수 있는 출원인의 자격에 관한 선언	-	
VIII-3	국제출원일에 선출원의 우선권을 주장할 수 있는 출원인의 자격에 관한 선언	-	
VIII-4	발명자 선언(미국에 대한 지정의 경우에 한함)	-	
VIII-5	신규성을 해치지 아니하는 개시 또는 신규성 상실의 예외에 관한 선언	-	
IX	체크 리스트	용지 수	전자적 파일 첨부
IX-1	출원서(선언서 포함)	3	✓
IX-2	발명의 설명	11	✓
IX-3	청구범위	3	✓
IX-4	요약서	1	✓
IX-5	도면	11	✓
IX-6a	발명의 설명의 서열목록 부분	-	-
IX-7	용지매수 소계	29	
첨부 항목	서면 첨부	전자적 파일 첨부	
IX-8	수수료 계산 용지	-	✓
IX-20	요약서에 수반되어야 할 도면 번호	2	
IX-21	국제출원의 출원 언어	한국어	
X-1	출원인, 대리인 또는 대표자의 서명 또는 날인	/최성우/	
X-1-1	성명	특허법인 우인	
X-1-2	서명인의 성명	최성우	
X-1-3	권한 (출원서를 통해 서명자의 자격이 명백하지 않은 경우에는 그 자격도 표시)	대표변리사	

**수리관청 전용**

10-1	국제출원으로 제출된 서류의 실제 접수일	
10-2	도면	
10-2-1	접수	
10-2-2	미접수	
10-3	국제출원으로 제출된 서류를 완성하는 서류 또는 도면의 추후 기간내 제출에 따른 정정된 실제 접수일	
10-4	PCT 제11조(2)에 따라 제출이 요구된 보완서로서 기간내 제출된 보완서의 접수일	
10-5	국제조사기관(ISI)	ISA/KR
10-6	조사료 납부시까지 지연된 조사용 사본의 송부	

**국제 사무국 전용**

11-1	국제 사무국의 기록원본 접수일	
------	------------------	--

**PCT 위임장**

(전자적 형태가 원본)

<b>0-1</b>	<b>PCT 위임장 (특허 협력 조약에 의거하여 제출된 국제 출원) (PCT 규칙 제90.4조)</b>	
0-1-1	우측에 기재된 바와 같이 작성되었다.	<b>ePCT-Filing Version 4.12.005 MT/FOP 20231109/1.1</b>

<b>1</b>	아래에 서명한 출원인	<b>연세대학교 산학협력단</b>
<b>1-1-1</b>	우측에 기재된 사람을 아래의 자격으로 선임한다.	<b>특허법인 우인 WOOIN PATENT &amp; LAW FIRM</b>  <b>대한민국 06246 서울특별시 강남구 역삼로 157, 2층 (역삼동, 중평빌딩) (Yeoksam-dong, Jungpyeong Bldg.) 2Fl., 157 Yeoksamro, Gangnam-gu, Seoul 06246 Republic of Korea</b>
<b>1-2</b>	자격	<b>대리인</b>
<b>1-3</b>	우측 기관에 대하여	<b>모든 관할 국제 기관</b>
<b>1-4</b>	아래의 국제 출원에 관한 서명의 출원인을 대리함	
<b>1-4-1</b>	발명의 명칭	<b>심층 유전 알고리즘을 사용한 데이터베이스 튜닝 방법</b>
<b>1-4-2</b>	출원인 또는 대리인의 서류참조기호	<b>PCT23-0067</b>
<b>1-4-3</b>	국제출원번호(이용 가능한 경우)	
<b>1-4-4</b>	수리관청	<b>대한민국 특허청 (RO/KR)</b>
<b>1-5</b>	그리고 아래 서명인을 대신하여 지불하거나 지불받았다.	

<b>2-1</b>	출원인 서명	/김지현/
<b>2-1-1</b>	성명	<b>연세대학교 산학협력단</b>
<b>2-1-2</b>	서명인의 성명	<b>김지현</b>
<b>2-1-3</b>	권한 (출원서를 통해 서명자의 자격이 명백하지 않은 경우에는 그 자격도 표시)	<b>대표</b>
<b>3</b>	일자	<b>2023년 12월 08일 (08.12.2023)</b>

## PCT(부속문서 - 수수료 계산용지)

(전자적 형태가 원본)  
이 페이지는 국제 출원서의 일부가 아니며 페이지수에 포함되지 않는다

<b>0</b>	수리관청 전용 국제출원번호	
<b>0-2</b>	수리관청의 우편 소인 일자	

0-4	Form PCT/RO/101 (부속문서) PCT 수수료 계산 용지					
0-4-1	우측에 기재된 바와 같이 작성되었다.	<b>ePCT-Filing</b> <b>Version 4.12.005 MT/FOP 20231109/1.1</b>				
0-9	출원인 또는 대리인의 서류참조기호	<b>PCT23-0067</b>				
2	출원인	연세대학교 산학협력단				
12	규정 수수료 계산	수수료 금액/계수	총 금액 (CHF)	총 금액 (KRW)		
12-1	송달료	T	⇨	45000		
12-2-1	조사료	S	⇨	450000		
12-2-2	국제조사기관	<b>KR</b>				
12-3	국제 출원 수수료					
	최초 30장	i1	1330			
12-4	최초 30장 초과 장수	0				
12-5	최초 30장 초과 1장당 추가 수수료	(X)	0			
12-6	총 추가금액	i2	0			
12-7	i1 + i2 =	i	1330			
12-12	XML 전자출원 감면	R	-300			
12-13	총 국제출원 수수료(i-R)	I	⇨	1030		
12-19	총 금액(T+S+I+P)	⇨			1030	495000
12-21	결제 방법	기타 : 현재 지불금액이 없습니다.				

# 명세서

## 발명의 명칭: 심층 유전 알고리즘 을 사용한 데이터베이스 튜닝 방법

### 기술분야

- [1] 본 발명이 속하는 기술 분야는 심층 유전 알고리즘을 이용한 로그 구조 병합 트리 기반의 데이터베이스를 튜닝하는 방법에 관한 것이다.

### 배경기술

- [2] 본 단락에 기술된 내용은 단순히 본 실시예에 대한 배경 정보를 제공할 뿐 종래 기술을 구성하는 것은 아니다.

- [3] 키-값 기반의 데이터베이스는 센서 데이터, 소셜 네트워크 데이터 등과 같이 비정형 데이터를 다루는데 유용하다. 키-값 기반의 데이터베이스는 로그 구조 병합 트리(Log Structured Merge Tree)를 주로 사용한다.

- [4] 로그 구조 병합 트리(Log Structured Merge Tree, LSM-Tree)는 연속적인 쓰기 연산을 수행하는 워크로드를 위해 설계되었다. LSM-Tree 구조는 하나의 인메모리 데이터 구조와 여러 개의 블록(ex. 디스크 등)에 저장을 위한 이어쓰기(Append) 방식의 데이터 구조로 이루어져 있다.

- [5] LSM-Tree는 키-값 데이터베이스에서 빈번히 발생하는 삽입 및 수정을 효율적으로 수행한다. 데이터를 우선 로그 형식으로 저장하고, 로그 상의 데이터 정렬, 수정 작업의 처리 등의 병합을 미루는 쓰기 친숙형 구조(Write Friendly Structure)이다. 하지만 나중에 발생하는 병합 동작은 쓰기 증폭을 발생시키며 시스템 성능과 저장장치의 수명에 영향을 준다.

- [6] LSM-Tree는 임의적인 순서로 데이터를 쓰지 않고 순차적으로 데이터를 쓴다. 데이터를 조회할 때 주어진 데이터가 트리 내의 어느 위치에 있는지 알 수 없어서 데이터를 찾기 위해서 상위 레벨부터 순차적으로 검색해야 한다. 디스크에 데이터가 없어도 모든 레벨의 모든 파일을 읽어야 한다.

- [7] 데이터베이스 시스템에는 일반적으로 고성능을 달성하기 위해 데이터베이스 관리자가 구성해야 하는 많은 툴이 있다. RocksDB는 로그 구조의 병합 트리를 사용하여 빠른 데이터 쓰기 성능을 달성한다. RocksDB는 중요한 성능 지표인 쓰기 및 공간 증폭과 관련된 많은 성능 조절 파라미터(노브)가 포함되어 있다. 데이터베이스 노브를 조정하여 상당한 성능 향상을 달성할 수 있다. 그러나 여러 개의 노브를 동시에 조정하는 것은 잠재적인 구성 조합과 절충안이 많은 문제가 있어 힘든 태스크에 해당한다.

- [8] (특허문헌 1) 미국공개특허공보 US 2017-0344619 (2017.11.30.)

- [9] (특허문헌 2) 한국공개특허공보 KR 10-2016-0121819 (2016.10.21.)

- [10] (특허문헌 3) 미국공개특허공보 US 2018-0121121 (2018.05.03.)

- [11] 본 발명과 관련된 연구는 국가연구개발사업에 따라 수행된 것이다. 국가연구개발사업의 과제고유번호는 1711103018이고, 과제번호는 2017-0-00477-004이며, 담당 부처는 과학기술정보통신부이고, 과제관리 기관은 정보통신기획평가원이며, 연구사업명칭은 정보통신방송연구개발사업이다.

### **발명의 상세한 설명**

#### **기술적 과제**

- [12] 본 발명의 실시예들은 데이터베이스에서 가장 유사한 워크로드를 찾기 위해 워크로드에 대한 새로운 표현으로 정의하고, 결합 워크로드에 유전자 알고리즘을 적용하고 딥러닝을 통해 최적화된 파라미터를 도출하는 데 발명의 주된 목적이 있다.

- [13] 본 발명의 명시되지 않은 또 다른 목적들은 하기의 상세한 설명 및 그 효과로부터 용이하게 추론할 수 있는 범위 내에서 추가적으로 고려될 수 있다.

#### **과제 해결 수단**

- [14] 본 실시예의 일 측면에 의하면, 데이터베이스 튜닝 방법에 있어서, 워크로드 (workload)의 성능 조절 파라미터(knob), 상기 워크로드에 관한 기본 구성을 포함하는 기본 표현 정보를 나타내는 내부 메트릭(internal metric), 상기 워크로드의 성능을 나타내는 외부 메트릭(external metric)이 트리플 매칭된 복수의 기본 워크로드에 대한 데이터 리포지토리(repository)를 생성하는 단계; 상기 복수의 기본 워크로드 및 샘플 선별된 목표 워크로드에 대해서 상기 내부 메트릭을 이용하여 통계 표현 정보를 생성하는 단계; 상기 통계 표현 정보를 기반으로 유사 거리를 산출하고 상기 유사 거리에 기반한 스케일을 조절하여 상기 복수의 기본 워크로드를 종합한 결합 워크로드를 생성하는 단계; 상기 결합 워크로드로부터 최적화 모델을 통해 상기 워크로드의 최적 구성을 출력하는 단계를 포함하는 데이터베이스 튜닝 방법을 제공한다.

- [15] 상기 데이터베이스 튜닝 방법은 상기 결합 워크로드를 이용하여 학습된 외부 메트릭 예측 모델을 통해 상기 워크로드의 후보 구성을 입력받고 데이터베이스의 성능을 나타내는 적합도 스코어를 기반으로 상기 후보 구성을 평가하는 단계를 포함할 수 있다.

- [16] 상기 워크로드의 구성으로는 인덱스, 키 사이즈, 값 사이즈, 엔트리 개수, 읽기 쓰기 비율, 업데이트 정보, 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다.

- [17] 상기 내부 메트릭은 상기 기본 구성, 요청 데이터가 존재하지 않음을 나타내는 데이터베이스 캐시 미스, 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다.

- [18] 상기 외부 메트릭은 총 실행 시간, 데이터 처리 속도, 데이터 쓰기 종목 인자, 공간 종목 인자, 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다.

- [19] 상기 통계 표현 정보는 평균, 분산, 제1사분위수, 제2사분위수, 제3사분위수를 포함할 수 있다.

- [20] 상기 유사 거리를 산출하는 것은 평균값으로부터의 거리가 표준편차의 몇 배인지를 나타내는 마할라노비스 거리(mahalanobis distance)를 적용할 수 있다.
- [21] 상기 결합 워크로드를 생성하는 단계는, 상기 목표 워크로드에 대한 통계 표현 정보 및 상기 복수의 기본 워크로드에 대한 통계 표현 정보 간의 상기 유사 거리를 산출하여 유사 거리 매트릭스를 획득하고, 상기 유사 거리 매트릭스에 따른 최대 유사 거리를 기준으로 스케일을 조절하여 상기 복수의 기본 워크로드를 종합하며, 상기 결합 워크로드는 상기 성능 조절 파라미터, 상기 내부 메트릭, 상기 외부 메트릭이 트리플 매칭될 수 있다.
- [22] 상기 적합도 스코어는 상기 총 실행 시간의 기본값과 예측값, 상기 데이터 처리 속도의 기본값과 예측값, 상기 데이터 쓰기 증폭 인자의 기본값과 예측값, 상기 공간 증폭 인자의 기본값과 예측값에 각각의 비례를 구하고 가중치를 적용한 후 합하여 산출될 수 있다.
- [23] 상기 워크로드의 최적 구성을 출력하는 단계는, 상기 최적화 모델에 유전자 알고리즘을 적용하고, 상기 유전자 알고리즘의 유전자는 상기 워크로드의 성능 조절 파라미터에 해당하고, 상기 유전자 알고리즘의 염색체는 상기 워크로드의 기본 구성에 해당하도록 유전자 집단을 설정하고, 상기 외부 메트릭 예측 모델을 이용하여 산출한 상기 적합도 스코어에 따라 상기 유전자 집단의 순위를 결정하고, 상기 유전자 집단의 순위를 고려하여 상기 유전자 집단을 분류하고, 상기 성능 조절 파라미터에 대한 교차 및 변이를 적용하는 유전자 연산을 통해 상기 분류한 유전자 집단을 여러 세대를 거쳐 진화시켜서 상기 최적 구성을 찾을 수 있다.
- [24] 상기 외부 메트릭 예측 모델은, 상기 성능 조절 파라미터와 상기 기본 구성을 입력받고 복수의 선형 레이어가 연결되는 구조를 거쳐 상기 적합도 스코어를 산출 할 수 있다.
- [25] 본 실시예의 다른 측면에 의하면, 프로세서를 포함하는 데이터베이스 튜닝 장치에 있어서, 상기 프로세서는, 워크로드(workload)의 성능 조절 파라미터(knob), 상기 워크로드에 관한 기본 구성을 포함하는 기본 표현 정보를 나타내는 내부 메트릭(internal metric), 상기 워크로드의 성능을 나타내는 외부 메트릭(external metric)이 트리플 매칭된 복수의 기본 워크로드에 대한 데이터 리포지토리(repository)를 생성하고, 상기 복수의 기본 워크로드 및 샘플 선별된 목표 워크로드에 대해서 상기 내부 메트릭을 이용하여 통계 표현 정보를 생성하고, 상기 통계 표현 정보를 기반으로 유사 거리를 산출하고 상기 유사 거리에 기반한 스케일을 조절하여 상기 복수의 기본 워크로드를 종합한 결합 워크로드를 생성하고, 상기 결합 워크로드로부터 최적화 모델을 통해 상기 워크로드의 최적 구성을 출력하는 것을 특징으로 하는 데이터베이스 튜닝 장치를 제공한다.
- [26] 상기 프로세서는, 상기 결합 워크로드를 이용하여 학습된 외부 메트릭 예측 모델을 통해 상기 워크로드의 후보 구성을 입력받고 데이터베이스의 성능을 나타내는 적합도 스코어를 기반으로 상기 후보 구성을 평가할 수 있다.

[27] 상기 프로세서는, 상기 최적화 모델에 유전자 알고리즘을 적용하고, 상기 유전자 알고리즘의 유전자는 상기 워크로드의 성능 조절 파라미터에 해당하고, 상기 유전자 알고리즘의 염색체는 상기 워크로드의 기본 구성에 해당하도록 유전자 집단을 설정하고, 상기 외부 메트릭 예측 모델을 이용하여 산출한 상기 적합도 스코어에 따라 상기 유전자 집단의 순위를 결정하고, 상기 유전자 집단의 순위를 고려하여 상기 유전자 집단을 분류하고, 상기 성능 조절 파라미터에 대한 교차 및 변이를 적용하는 유전자 연산을 통해 상기 분류한 유전자 집단을 여러 세대를 거쳐 진화시켜서 상기 최적 구성을 찾을 수 있다.

### **발명의 효과**

[28] 이상에서 설명한 바와 같이 본 발명의 실시예들에 의하면, 데이터베이스에서 가장 유사한 워크로드를 찾기 위해 워크로드에 대한 새로운 표현으로 정의하고, 결합 워크로드에 유전자 알고리즘을 적용하고 딥러닝을 통해 최적화된 파라미터를 도출하여 데이터베이스 성능을 향상시킬 수 있는 효과가 있다.

[29] 여기에서 명시적으로 언급되지 않은 효과라 하더라도, 본 발명의 기술적 특징에 의해 기대되는 이하의 명세서에서 기재된 효과 및 그 잠정적인 효과는 본 발명의 명세서에 기재된 것과 같이 취급된다.

### **도면의 간단한 설명**

[30] 도 1은 로그 구조 병합 트리 기반의 데이터베이스가 데이터 컴팩션 동작을 수행하는 것을 예시한 도면이다.

[31] 도 2 및 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 데이터베이스 튜닝 방법을 예시한 블록도이다.

[32] 도 4 및 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 데이터베이스 튜닝 방법이 처리하는 워크로드의 구성을 예시한 도면이다.

[33] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 데이터베이스 튜닝 방법이 처리하는 워크로드의 기본 표현 정보를 예시한 도면이다.

[34] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 데이터베이스 튜닝 방법이 처리하는 워크로드의 통계 표현 정보를 예시한 도면이다.

[35] 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 데이터베이스 튜닝 방법이 처리하는 결합 워크로드를 예시한 도면이다.

[36] 도 9 및 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 데이터베이스 튜닝 방법이 처리하는 외부 메트릭 예측 모델을 예시한 도면이다.

[37] 도 11 및 도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 데이터베이스 튜닝 방법이 처리하는 최적화 모델을 예시한 도면이다.

[38] 도 13은 본 발명의 다른 실시예에 따른 데이터베이스 튜닝 장치를 예시한 도면이다.

[39] 도 14 내지 도 19는 실시예들에 따라 수행된 모의실험 결과를 도시한 것이다.

### **발명의 실시를 위한 형태**

- [40] 이하, 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지기능에 대하여 이 분야의 기술자에게 자명한 사항으로서 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략하고, 본 발명의 일부 실시예들을 예시적인 도면을 통해 상세하게 설명한다.
- [41] 도 1은 로그 구조 병합 트리 기반의 데이터베이스가 데이터 컴팩션 동작을 수행하는 것을 예시한 도면이다.
- [42] LSM-Tree를 이용한 대표적인 데이터베이스로는 RocksDB 등이 있다.
- [43] LSM-Tree는 삽입 연산이 수행되면 먼저 메모리 영역에 데이터를 저장한다. 메모리의 일정 용량까지 데이터가 쌓이면 메모리의 내용을 디스크로 플러시(Flush)를 수행한다. 플러시되는 데이터는 디스크에 저장되어 있던 기존 데이터와 병합 정렬을 하여 기록된다. 디스크 영역의 각 레벨이 임계치를 넘으면 병합 정렬을 실행하여 하위 레벨을 생성한다.
- [44] LSM-Tree 기반의 데이터베이스는 키-값 형태로 데이터를 저장한다. LSM-Tree 기반의 데이터베이스에 데이터의 삽입 연산 요청이 들어오면 데이터를 메모리에 기록하기 전에 우선적으로 로그 파일에 로그를 기록한다. 로그를 기록한 다음 메모리 영역에 있는 멤테이블(Memtable)에 데이터를 저장한다. 쓰기 요청이 계속되어 멤테이블(Memtable)에 데이터가 일정 용량까지 기록되면, 멤테이블(Memtable)은 변경이 불가능한 불변 멤테이블(Immutable Memtable, Read-Only Memtable)로 변경된다. 불변 멤테이블이 가득 차게 되면 블록(디스크) 영역으로 플러시가 발생한다.
- [45] 플러시 동작을 수행하면, 멤테이블의 파일은 키 순서에 따라 정렬되어 SST(Storted String Table) 파일로 변경된다. SST 파일은 복수의 블록을 갖는다. 블록의 예시로는 데이터를 저장하는 데이터 블록(Data Block), 데이터 블록의 위치를 인덱싱하는 인덱스 블록(Index Block), 인덱스 블록의 위치를 처리하는 푸터 블록(Footer Block) 등이 있다.
- [46] SST 파일은 디스크 영역에서 컴팩션(Compaction)을 통해 업데이트된다. 한 번 생성된 SST 파일은 사라지지 않을 수 있다. 하위 레벨에 상주하는 SST 파일일수록 상위 레벨의 SST 파일보다 오래된 데이터가 위치할 수 있다.
- [47] 트랜잭션 수행 도중에 시스템 오류 또는 전원 차단 등과 같은 문제가 발생하면, 아직 디스크에 반영되지 않고 버퍼에 남아있는 데이터는 유실된다. 시스템이 재부팅된 후 데이터베이스가 복구를 수행할 때, 트랜잭션이 어떤 갱신 연산을 수행했는지 기록하는 로그를 사용한다. 로그 기록 방식으로는 WAL(Write-Ahead Logging) 규칙이 있다. WAL은 트랜잭션으로 인해 변경된 데이터가 디스크에 기록되기 전에 관련된 로그를 로그 파일에 기록하는 규칙이다.
- [48] LSM-Tree 기반의 데이터베이스는 두 개의 명령어를 수행한다. 하나는 메모리에서 디스크로 넘어가는 플러시 명령어이고, 다른 하나는 디스크의 레벨들을 조정하는 컴팩션 명령어이다.

- [49] 플러시 명령어를 수행할 때, 불변 뮤테이블은 단일 SST 파일로 변경된다. 대량의 데이터가 한꺼번에 입력되면, 플러시 속도의 균형을 맞추고 SST 파일의 레벨의 용량 한계치를 유지하기 위해서 의도적으로 플러시 속도를 조절한다. 이러한 의도된 자연을 'Write Stall'이라고 한다.
- [50] LSM-Tree의 각각의 레벨은 특성이 구분된다. 컴팩션 비용과 디스크 쓰기는 특정 레벨에 집중된다. 계층적 저장 구조는 상위 레벨에서 하위 레벨로 점진적인 데이터 누적을 야기한다. SST 파일의 수명은 해당하는 레벨에서 존재하는 동안 컴팩션을 수행하는 횟수를 의미한다. 컴팩션을 수행하는 동안 SST 파일이 특정 레벨에서 삭제되지 않으면, 해당 SST 파일의 수명은 높게 나타난다.
- [51] 컴팩션 명령어를 수행한 각 레벨의 결과를 살펴보면, 데이터 컴팩션을 수행하는 짧은 시간 동안에 상위 레벨의 SST 파일들은 생성되고 삭제됨을 나타낸다.
- [52] 본 실시에는 로그 구조 병합 트리 기반의 데이터베이스에서 가장 유사한 워크로드를 신속하고 정확하게 찾기 위해 워크로드에 대한 새로운 표현으로 정의하고, 결합 워크로드에 유전자 알고리즘을 적용하고 딥러닝을 통해 최적화된 함수를 도출하여 데이터베이스 성능을 향상시킨다.
- [53] 도 2 및 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 데이터베이스 튜닝 방법을 예시한 블록도이다.
- [54] 데이터베이스 튜닝 방법은 데이터베이스 튜닝 장치에 의해 수행될 수 있다.
- [55] 단계 S10에서는 워크로드(workload)의 성능 조절 파라미터(knob), 워크로드에 관한 기본 구성을 포함하는 기본 표현 정보를 나타내는 내부 메트릭(internal metric), 워크로드의 성능을 나타내는 외부 메트릭(external metric)이 트리플 매칭된 복수의 기본 워크로드에 대한 데이터 리포지토리(repository)를 생성하는 단계를 수행할 수 있다.
- [56] 단계 S20에서는 복수의 기본 워크로드 및 샘플 선별된 목표 워크로드에 대해서 내부 메트릭을 이용하여 통계 표현 정보를 생성하는 단계를 수행할 수 있다.
- [57] 단계 S30에서는 통계 표현 정보를 기반으로 유사 거리를 산출하고 유사 거리에 기반한 스케일을 조절하여 복수의 기본 워크로드를 종합한 결합 워크로드를 생성하는 단계를 수행할 수 있다. 결합 워크로드를 목표 워크로드로 간주할 수 있다.
- [58] 단계 S40에서는 결합 워크로드로부터 최적화 모델을 통해 워크로드의 최적 구성을 출력하는 단계를 수행할 수 있다.
- [59] 단계 S50에서는 결합 워크로드를 이용하여 학습된 외부 메트릭 예측 모델을 통해 워크로드의 후보 구성을 입력받고 데이터베이스의 성능을 나타내는 적합도 스코어를 기반으로 후보 구성을 평가하는 단계를 수행할 수 있다.
- [60] 도 4는 기본 워크로드의 구성을 예시하고, 도 5는 목표 워크로드의 구성을 예시한다.
- [61] 기본 구성은 워크로드 인덱스, 키 사이즈, 값 사이즈, 엔트리 개수, 읽기 쓰기 비율, 업데이트 정보, 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다.

- [62] 기본 워크로드는 구성을 임의 생성한 워크로드이고, 목표 워크로드는 속도를 기준으로 선별한 워크로드이다.
- [63] 도 6 및 도 7은 워크로드의 내부 메트릭을 나타내며, 도 6은 기본 표현 정보를 예시하고, 도 7은 통계 표현 정보를 예시한다.
- [64] 내부 메트릭은 기본 구성, 요청 데이터가 존재하지 않음을 나타내는 데이터베이스 캐시 미스(예컨대, rocksdb.block.cache.miss), 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다.
- [65] 통계 표현 정보는 평균, 분산, 제1사분위수, 제2사분위수, 제3사분위수를 포함할 수 있다. 통계 표현 정보를 적용하면 워크로드 표현을 간략하게 하면서 검색 공간의 차원을 줄일 수 있다.
- [66] 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 데이터베이스 튜닝 방법이 처리하는 결합 워크로드를 예시한 도면이다.
- [67] 결합 워크로드는 성능 조절 파라미터, 내부 메트릭, 외부 메트릭이 트리플 매칭될 수 있다.
- [68] 결합 워크로드를 생성하는 것은 목표 워크로드에 대한 통계 표현 정보 및 복수의 기본 워크로드에 대한 통계 표현 정보 간의 유사 거리를 산출하여 유사 거리 매트릭스를 획득하고, 유사 거리 매트릭스에 따른 최대 유사 거리를 기준으로 스케일을 조절하여 복수의 기본 워크로드를 종합한다. 유사 거리를 산출하는 것은 평균값으로부터의 거리가 표준편차의 몇 배인지를 나타내는 마할라노비스 거리(mahalanobis distance)를 적용할 수 있다.
- [69] 도 9 및 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 데이터베이스 튜닝 방법이 처리하는 외부 메트릭 예측 모델을 예시한 도면이다.
- [70] 외부 메트릭은 총 실행 시간(TIME), 데이터 처리 속도(RATE), 데이터 쓰기 종목 인자(WAF), 공간 증폭 (SA), 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다.
- [71] TIME은 데이터베이스 튜닝(ex. RocksDB 튜닝)의 시작부터 끝까지의 시간 간격을 나타낸다.
- [72] RATE는 캠팩션, 압축, 읽기 및 쓰기 작업과 같이 RocksDB가 초당 처리하는 작업 수를 나타낸다.
- [73] WAF는 스토리지에 기록된 데이터의 양(물리적 데이터 크기)과 데이터베이스에 기록된 데이터의 양(논리적 데이터 크기)의 비율을 나타내는 성능 지표이다. WAF는 RocksDB를 사용하는 동안 작성되는 추가 데이터의 양을 의미한다.
- [74] [수식1]

$$WAF = \frac{\text{Physical data size}}{\text{Logical data size}}$$

- [75] SA는 실제 LSM-Tree에 기록된 데이터의 크기로 측정된다. LSM-Tree는 유효한 SST 파일과 유효하지 않은 SST 파일을 동시에 포함하기 때문에 LSM-Tree에 기

록된 데이터의 크기는 RocksDB가 이용하는 실제 물리적 공간의 크기에 대한 효과적인 지표로 사용될 수 있다.

[76] 외부 메트릭 예측 모델은, 성능 조절 파라미터와 기본 구성은 입력받고 복수의 선형 레이어가 연결되는 구조를 거쳐 상기 적합도 스코어를 산출할 수 있다.

[77] 외부 메트릭 예측 모델이 산출하는 적합도 스코어는 총 실행 시간의 기본값과 예측값, 데이터 처리 속도의 기본값과 예측값, 데이터 쓰기 종목 인자의 기본값과 예측값, 공간 종목 인자의 기본값과 예측값에 가중치를 적용한 후 합하여 산출될 수 있다.

[78] [수식2]

$$Score = \alpha_1 \frac{TIME_D}{TIME_P} + \alpha_2 \frac{RATE_P}{RATE_D} + \alpha_3 \frac{WAF_D}{WAF_P} + \alpha_4 \frac{SA_D}{SA_P}$$

[79] 도 11 및 도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 데이터베이스 튜닝 방법이 처리하는 최적화 모델을 예시한 도면이다.

[80] 워크로드의 최적 구성은 출력하는 것은 최적화 모델에 유전자 알고리즘을 적용할 수 있다.

[81] 유전자 알고리즘의 유전자는 워크로드의 성능 조절 파라미터에 해당하고, 유전자 알고리즘의 염색체는 워크로드의 기본 구성에 해당하도록 유전자 집단을 설정할 수 있다.

[82] 외부 메트릭 예측 모델을 이용하여 산출한 적합도 스코어에 따라 유전자 집단의 순위를 결정하고, 유전자 집단의 순위를 고려하여 유전자 집단을 분류할 수 있다.

[83] 성능 조절 파라미터에 대한 교차 및 변이를 적용하는 유전자 연산을 통해 분류한 유전자 집단을 여러 세대를 거쳐 진화시켜서 최적 구성은 찾을 수 있다.

[84] 본 발명의 또 다른 일 실시예에 따라, 본 발명의 외부 메트릭 예측 모델은 총 실행 시간, 데이터 처리 속도, 데이터 쓰기 종목인자, 또는 공간 종목 인자를 이용하여, 적합도 스코어를 산출할 수 있다. 적합도 스코어는 TIME, RATE, WAF, SA 값의 상대적인 비율값을 가중치에 따라 합산하여 미리 산출된 값일 수 있지만, 데이터 베이스의 사용 환경에 따라 적응적으로 결정되는 값일 수 있다. 예를 들어, 프로세서는, 접합도 스코어 산출에 있어서 가중치를 LSM-Tree 기반의 데이터베이스의 업데이트 속도 및/또는 계층적 레이어의 구조에 따라 적응적으로 결정할 수 있다. 또한, 데이터베이스에 저장되는 파일 사이즈가 클 경우에는 중간 레이어가 추가될 수 있는데, 프로세서는 사용자 요청에 따른 파일 사이즈와, 업데이트 속도 그리고 계층적 연결 구조의 변화가 있거나, 또는 컴퓨터 성능상의 이유로 업데이트 속도에 차이가 있는 경우, 서로 다른 조합의 가중치를 적용하여, 적합도 스코어를 산출할 수 있다.

- [85] 도 13은 본 발명의 다른 실시예에 따른 데이터베이스 튜닝 장치를 예시한 도면이다.
- [86] 데이터베이스 튜닝 장치(110)는 적어도 하나의 프로세서(120), 컴퓨터 판독 가능한 저장매체(130) 및 통신 버스(170)를 포함한다.
- [87] 프로세서(120)는 데이터베이스 튜닝 장치(110)를 동작하도록 제어할 수 있다. 예컨대, 프로세서(120)는 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체(130)에 저장된 하나 이상의 프로그램들을 실행할 수 있다. 하나 이상의 프로그램들은 하나 이상의 컴퓨터 실행 가능 명령어를 포함할 수 있으며, 컴퓨터 실행 가능 명령어는 프로세서(120)에 의해 실행되는 경우 데이터베이스 튜닝 장치(110)로 하여금 예시적인 실시예에 따른 동작들을 수행하도록 구성될 수 있다.
- [88] 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체(130)는 컴퓨터 실행 가능 명령어 내지 프로그램 코드, 프로그램 데이터 및/또는 다른 적합한 형태의 정보를 저장하도록 구성된다. 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체(130)에 저장된 프로그램(140)은 프로세서(120)에 의해 실행 가능한 명령어의 집합을 포함한다. 일 실시예에서, 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체(130)는 메모리(랜덤 액세스 메모리와 같은 휘발성 메모리, 비휘발성 메모리, 또는 이들의 적절한 조합), 하나 이상의 자기 디스크 저장 디바이스들, 광학 디스크 저장 디바이스들, 플래시 메모리 디바이스들, 그 밖에 데이터베이스 튜닝 장치(110)에 의해 액세스되고 원하는 정보를 저장할 수 있는 다른 형태의 저장 매체, 또는 이들의 적합한 조합일 수 있다.
- [89] 통신 버스(170)는 프로세서(120), 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체(140)를 포함하여 데이터베이스 튜닝 장치(110)의 다른 다양한 컴포넌트들을 상호 연결한다.
- [90] 데이터베이스 튜닝 장치(110)는 또한 하나 이상의 입출력 장치를 위한 인터페이스를 제공하는 하나 이상의 입출력 인터페이스(150) 및 하나 이상의 통신 인터페이스(160)를 포함할 수 있다. 입출력 인터페이스(150) 및 통신 인터페이스(160)는 통신 버스(170)에 연결된다. 입출력 장치(미도시)는 입출력 인터페이스(150)를 통해 데이터베이스 튜닝 장치(110)의 다른 컴포넌트들에 연결될 수 있다.
- [91] 데이터베이스 튜닝 장치의 프로세서는 워크로드(workload)의 성능 조절 파라미터(knob), 워크로드에 관한 기본 구성을 포함하는 기본 표현 정보를 나타내는 내부 메트릭(internal metric), 워크로드의 성능을 나타내는 외부 메트릭(external metric)이 트리플 매칭된 복수의 기본 워크로드에 대한 데이터 리포지토리(repository)를 생성할 수 있다.
- [92] 데이터베이스 튜닝 장치의 프로세서는 복수의 기본 워크로드 및 샘플 선별된 목표 워크로드에 대해서 내부 메트릭을 이용하여 통계 표현 정보를 생성할 수 있다.
- [93] 데이터베이스 튜닝 장치의 프로세서는 통계 표현 정보를 기반으로 유사 거리를 산출하고 유사 거리에 기반한 스케일을 조절하여 복수의 기본 워크로드를 종합한 결합 워크로드를 생성할 수 있다.

- [94] 데이터베이스 튜닝 장치의 프로세서는 결합 워크로드로부터 최적화 모델을 통해 상기 워크로드의 최적 구성을 출력하는 것을 특징으로 하는 데이터베이스 튜닝 장치를 제공한다.
- [95] 데이터베이스 튜닝 장치의 프로세서는 결합 워크로드를 이용하여 학습된 외부 메트릭 예측 모델을 통해 워크로드의 후보 구성을 입력받고 데이터베이스의 성능을 나타내는 적합도 스코어를 기반으로 후보 구성을 평가할 수 있다.
- [96] 데이터베이스 튜닝 장치의 프로세서는 최적화 모델에 유전자 알고리즘을 적용하고, 유전자 알고리즘의 유전자는 워크로드의 성능 조절 파라미터에 해당하고, 유전자 알고리즘의 염색체는 워크로드의 기본 구성에 해당하도록 유전자 집단을 설정하고, 외부 메트릭 예측 모델을 이용하여 산출한 적합도 스코어에 따라 유전자 집단의 순위를 결정하고, 유전자 집단의 순위를 고려하여 유전자 집단을 분류하고, 성능 조절 파라미터에 대한 교차 및 변이를 적용하는 유전자 연산을 통해 분류한 유전자 집단을 여러 세대를 거쳐 진화시켜서 최적 구성을 찾을 수 있다.
- [97] 도 14 내지 도 19는 실시예들에 따라 수행된 모의실험 결과를 도시한 것이다. 도 14는 전체 성능을 나타내고, 도 15는 워크로드 결합 여부 및 내부 메트릭 축소 여부에 따른 성능을 나타내고, 도 16은 노브의 개수에 따른 성능을 나타내고, 도 17은 적합도 스코어의 가중치에 따른 성능을 나타내고, 도 18은 코사인 유사도와 마할라노비스 거리에 따른 성능을 나타내고, 도 19는 베이지안 최적화에 따른 성능을 나타낸다.
- [98] 기본값(D)과 실제값(A)을 이용하여 총 실행 시간(TIME), 데이터 처리 속도(RATE), 데이터 쓰기 증폭 인자(WAF), 공간 증폭 인자(SA)에 관한 연산을 통해 평가 스코어를 매길 수 있다.
- [99] [수식3]
- $$Score = \sqrt[4]{\frac{TIME_D}{TIME_A} \times \frac{RATE_A}{RATE_D} \times \frac{WAF_D}{WAF_A} \times \frac{SA_D}{SA_A}}$$
- [100] 본 실시예에 의하면 데이터베이스에서 가장 유사한 워크로드를 찾기 위해 워크로드에 대한 새로운 통계 표현으로 정의하고, 유사 거리를 판단하는데 마할라노비스 거리를 적용하고, 결합 워크로드에 유전자 알고리즘을 적용하고 딥러닝을 통해 최적화된 함수를 도출하여 튜닝 시간을 줄이면서 데이터베이스 성능을 향상시킬 수 있다.
- [101] 데이터베이스에 포함된 구성요소들이 분리되어 연결될 수 있고, 복수의 구성요소들은 상호 결합되어 적어도 하나의 모듈로 구현될 수 있다. 구성요소들은 장치 내부의 소프트웨어적인 모듈 또는 하드웨어적인 모듈을 연결하는 통신 경로에

연결되어 상호 간에 유기적으로 동작한다. 이러한 구성요소들은 하나 이상의 통신 버스 또는 신호선을 이용하여 통신한다.

- [102] 데이터베이스는 하드웨어, 펌웨어, 소프트웨어 또는 이들의 조합에 의해 조직화로 내에서 구현될 수 있고, 범용 또는 특정 목적 컴퓨터를 이용하여 구현될 수도 있다. 장치는 고정배선형(Hardwired) 기기, 필드 프로그램 가능한 게이트 어레이(Field Programmable Gate Array, FPGA), 주문형 반도체(Application Specific Integrated Circuit, ASIC) 등을 이용하여 구현될 수 있다. 또한, 장치는 하나 이상의 프로세서 및 컨트롤러를 포함한 시스템온칩(System on Chip, SoC)으로 구현될 수 있다.
- [103] 데이터베이스는 하드웨어적 요소가 마련된 컴퓨팅 디바이스에 소프트웨어, 하드웨어, 또는 이들의 조합하는 형태로 탑재될 수 있다. 컴퓨팅 디바이스는 각종 기기 또는 유무선 통신망과 통신을 수행하기 위한 통신 모뎀 등의 통신장치, 프로그램을 실행하기 위한 데이터를 저장하는 메모리, 프로그램을 실행하여 연산 및 명령하기 위한 마이크로프로세서 등을 전부 또는 일부 포함한 다양한 장치를 의미할 수 있다.
- [104] 도 2에서는 각각의 과정을 순차적으로 실행하는 것으로 기재하고 있으나 이는 예시적으로 설명한 것에 불과하고, 이 분야의 기술자라면 본 발명의 실시예의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서도 5에 기재된 순서를 변경하여 실행하거나 또는 하나 이상의 과정을 병렬적으로 실행하거나 다른 과정을 추가하는 것으로 다양하게 수정 및 변형하여 적용 가능할 것이다.
- [105] 본 실시예들에 따른 동작은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능한 매체에 기록될 수 있다. 컴퓨터 판독 가능한 매체는 실행을 위해 프로세서에 명령어를 제공하는 데 참여한 임의의 매체를 나타낸다. 컴퓨터 판독 가능한 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다. 예를 들면, 자기 매체, 광기록 매체, 메모리 등이 있을 수 있다. 컴퓨터 프로그램은 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템 상에 분산되어 분산 방식으로 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드가 저장되고 실행될 수도 있다. 본 실시예를 구현하기 위한 기능적인(Functional) 프로그램, 코드, 및 코드 세그먼트들은 본 실시예가 속하는 기술분야의 프로그래머들에 의해 용이하게 추론될 수 있을 것이다.
- [106] 본 실시예들은 본 실시예의 기술 사상을 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시예에 의하여 본 실시예의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아니다. 본 실시예의 보호 범위는 아래의 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술 사상은 본 실시예의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

## 청구범위

- [청구항 1] 데이터베이스 튜닝 방법에 있어서,  
 워크로드(workload)의 성능 조절 파라미터(knob), 상기 워크로드에 관한 기본 구성을 포함하는 기본 표현 정보를 나타내는 내부 메트릭(internal metric), 상기 워크로드의 성능을 나타내는 외부 메트릭(external metric)이 매칭된 복수의 기본 워크로드에 대한 데이터 리포지토리(repository)를 생성하는 단계;  
 상기 복수의 기본 워크로드 및 샘플 선별된 목표 워크로드에 대해서 상기 내부 메트릭을 이용하여 통계 표현 정보를 생성하는 단계;  
 상기 통계 표현 정보를 기반으로 유사 거리를 산출하고 상기 유사 거리에 기반한 스케일을 조절하여 상기 복수의 기본 워크로드를 종합한 결합 워크로드를 생성하는 단계; 및  
 상기 결합 워크로드로부터 최적화 모델을 통해 상기 워크로드의 최적 구성을 출력하는 단계를 포함하는 데이터베이스 튜닝 방법.
- [청구항 2] 제1항에 있어서, 상기 워크로드의 최적 구성을 출력하는 단계는,  
 상기 최적화 모델에 유전자 알고리즘을 적용하는 단계와,  
 상기 결합 워크로드를 이용하여 학습된 외부 메트릭 예측 모델을 통해 상기 워크로드의 후보 구성을 입력받고 데이터베이스의 성능을 나타내는 적합도 스코어를 기반으로 상기 후보 구성을 평가하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 데이터베이스 튜닝 방법.
- [청구항 3] 제2항에 있어서,  
 상기 워크로드의 기본 구성을 워크로드 인덱스, 키 사이즈, 값 사이즈, 엔트리 개수, 읽기 쓰기 비율, 업데이트 정보, 또는 이들의 조합을 포함하는 것을 특징으로 하는 데이터베이스 튜닝 방법.
- [청구항 4] 제2항에 있어서,  
 상기 내부 메트릭은 상기 기본 구성, 요청 데이터가 존재하지 않음을 나타내는 데이터베이스 캐시 미스, 또는 이들의 조합을 포함하는 것을 특징으로 하는 데이터베이스 튜닝 방법.
- [청구항 5] 제2항에 있어서,  
 상기 외부 메트릭은 총 실행 시간, 데이터 처리 속도, 데이터 쓰기 증폭 인자, 공간 증폭 인자, 또는 이들의 조합을 포함하는 것을 특징으로 하는 데이터베이스 튜닝 방법.
- [청구항 6] 제2항에 있어서,  
 상기 통계 표현 정보는 평균, 분산, 제1사분위수, 제2사분위수, 제3사분위수를 포함하는 것을 특징으로 하는 데이터베이스 튜닝 방법.
- [청구항 7] 제2항에 있어서,

상기 유사 거리를 산출하는 것은 평균값으로부터의 거리가 표준편차의 몇 배인지를 나타내는 마할라노비스 거리(mahalanobis distance)를 적용하는 것을 특징으로 하는 데이터베이스 튜닝 방법.

[청구항 8]

제2항에 있어서,

상기 결합 워크로드를 생성하는 단계는,  
 상기 목표 워크로드에 대한 통계 표현 정보 및 상기 복수의 기본 워크로드에 대한 통계 표현 정보 간의 상기 유사 거리를 산출하여 유사 거리 매트릭스를 획득하고, 상기 유사 거리 매트릭스에 따른 최대 유사 거리를 기준으로 스케일을 조절하여 상기 복수의 기본 워크로드를 종합하며,  
 상기 결합 워크로드는 상기 성능 조절 파라미터, 상기 내부 메트릭, 상기 외부 메트릭이 트리플 매칭되는 것을 특징으로 하는 데이터베이스 튜닝 방법.

[청구항 9]

제5항에 있어서,

상기 적합도 스코어는 상기 총 실행 시간의 기본값과 예측값, 상기 데이터 처리 속도의 기본값과 예측값, 상기 데이터 쓰기 증폭 인자의 기본값과 예측값, 상기 공간 증폭 인자의 기본값과 예측값에 가중치를 적용한 후 합하여 산출되는 것을 특징으로 하는 데이터베이스 튜닝 방법.

[청구항 10]

제2항에 있어서,

상기 워크로드의 최적 구성을 출력하는 단계는,  
 상기 최적화 모델에 유전자 알고리즘을 적용하고,  
 상기 유전자 알고리즘의 유전자는 상기 워크로드의 성능 조절 파라미터에 해당하고, 상기 유전자 알고리즘의 염색체는 상기 워크로드의 기본 구성에 해당하도록 유전자 집단을 설정하고,  
 상기 외부 메트릭 예측 모델을 이용하여 산출한 상기 적합도 스코어에 따라 상기 유전자 집단의 순위를 결정하고,  
 상기 유전자 집단의 순위를 고려하여 상기 유전자 집단을 분류하고,  
 상기 성능 조절 파라미터에 대한 교차 및 변이를 적용하는 유전자 연산을 통해 상기 분류한 유전자 집단을 여러 세대를 거쳐 진화시켜서 상기 최적 구성을 찾는 것을 특징으로 하는 데이터베이스 튜닝 방법.

[청구항 11]

제10항에 있어서,

상기 외부 메트릭 예측 모델은,  
 상기 성능 조절 파라미터와 상기 기본 구성을 입력받고 복수의 선형 레이어가 연결되는 구조를 거쳐 상기 적합도 스코어를 산출하는 것을 특징으로 하는 데이터베이스 튜닝 방법.

[청구항 12]

프로세서를 포함하는 데이터베이스 튜닝 장치에 있어서,

상기 프로세서는,

워크로드(workload)의 성능 조절 파라미터(knob), 상기 워크로드에 관한 기본 구성을 포함하는 기본 표현 정보를 나타내는 내부 메트릭(internal

metric), 상기 워크로드의 성능을 나타내는 외부 메트릭(external metric)이 매칭된 복수의 기본 워크로드에 대한 데이터 리포지토리(repository)를 생성하고,

상기 복수의 기본 워크로드 및 샘플 선별된 목표 워크로드에 대해서 상기 내부 메트릭을 이용하여 통계 표현 정보를 생성하고,

상기 통계 표현 정보를 기반으로 유사 거리를 산출하고 상기 유사 거리에 기반한 스케일을 조절하여 상기 복수의 기본 워크로드를 종합한 결합 워크로드를 생성하고,

상기 결합 워크로드로부터 최적화 모델을 통해 상기 워크로드의 최적 구성을 출력하는 것을 특징으로 하는 데이터베이스 튜닝 장치.

[청구항 13] 제12항에 있어서,

상기 프로세서는,

상기 최적화 모델에 유전자 알고리즘을 적용하고,

상기 결합 워크로드를 이용하여 학습된 외부 메트릭 예측 모델을 통해 상기 워크로드의 후보 구성을 입력받고 데이터베이스의 성능을 나타내는 적합도 스코어를 기반으로 상기 후보 구성 평가하는 것을 특징으로 하는 데이터베이스 튜닝 장치.

[청구항 14] 제13항에 있어서,

상기 프로세서는,

상기 최적화 모델에 유전자 알고리즘을 적용하고,

상기 유전자 알고리즘의 유전자는 상기 워크로드의 성능 조절 파라미터에 해당하고, 상기 유전자 알고리즘의 염색체는 상기 워크로드의 기본 구성에 해당하도록 유전자 집단을 설정하고,

상기 외부 메트릭 예측 모델을 이용하여 산출한 상기 적합도 스코어에 따라 상기 유전자 집단의 순위를 결정하고,

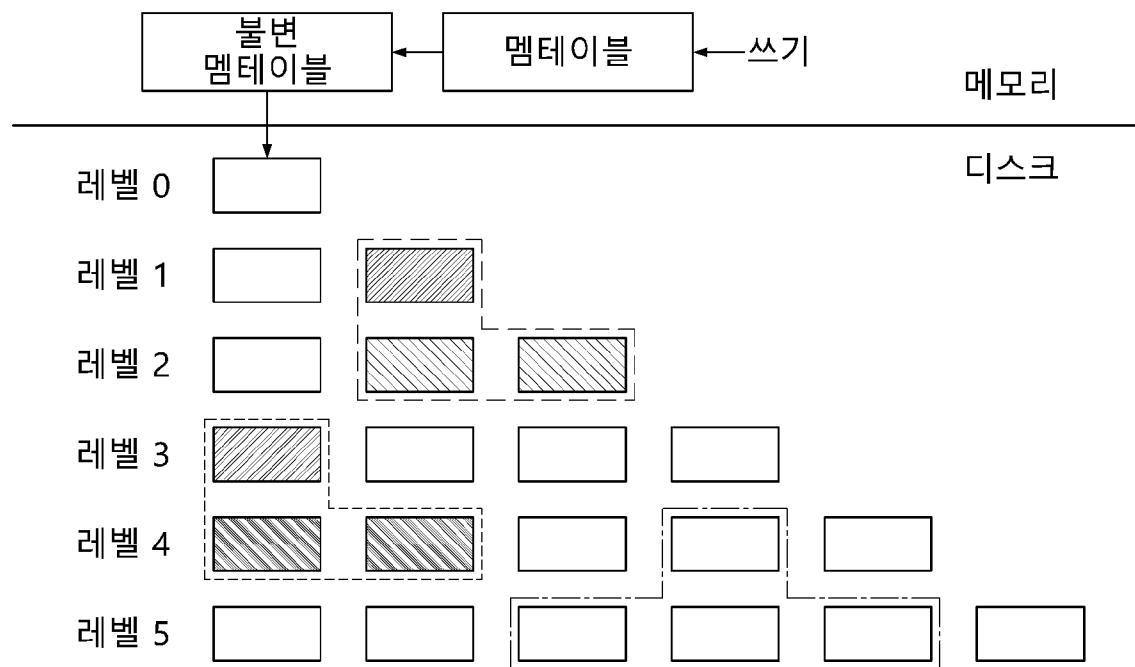
상기 유전자 집단의 순위를 고려하여 상기 유전자 집단을 분류하고,

상기 성능 조절 파라미터에 대한 교차 및 변이를 적용하는 유전자 연산을 통해 상기 분류한 유전자 집단을 여러 세대를 거쳐 진화시켜서 상기 최적 구성을 찾는 것을 특징으로 하는 데이터베이스 튜닝 장치.

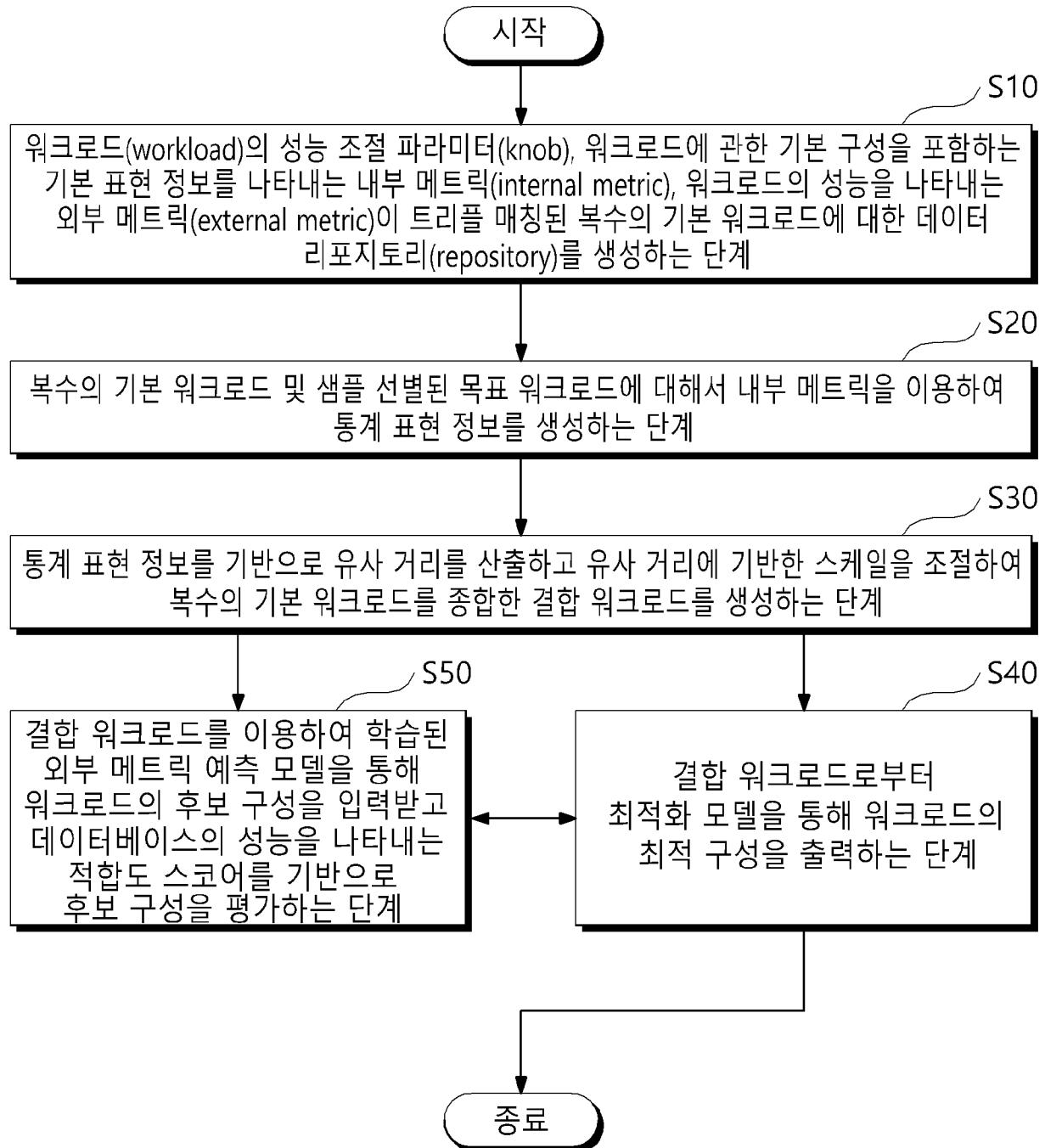
## 요약서

본 실시예들은 데이터베이스에서 가장 유사한 워크로드를 찾기 위해 워크로드에 대한 새로운 표현으로 정의하고, 결합 워크로드에 유전자 알고리즘을 적용하고 딥러닝을 통해 최적화된 파라미터를 도출하여 데이터베이스 성능을 향상시킬 수 있는 데이터베이스 튜닝 방법을 제공한다.

[도1]

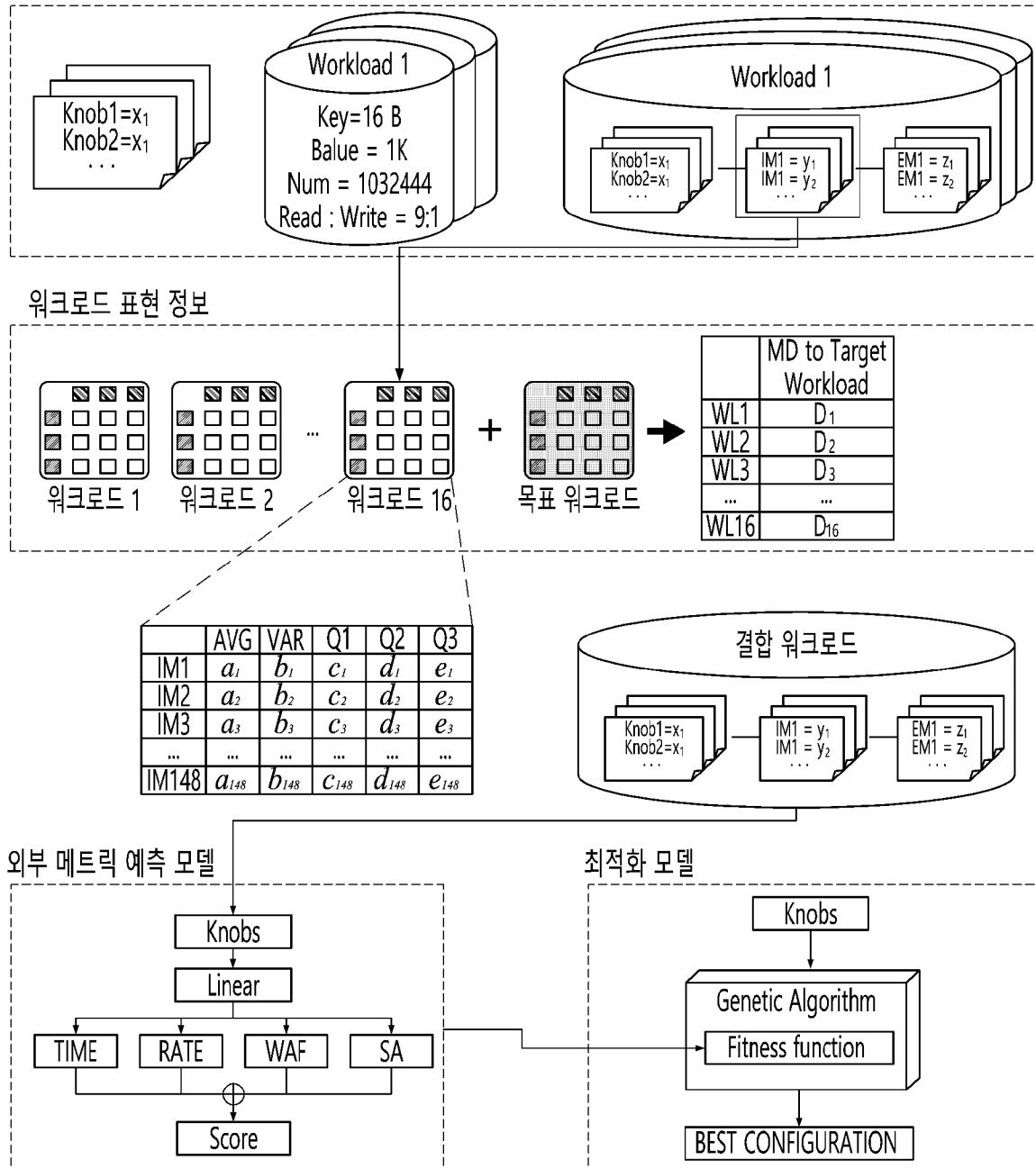


[도2]



## [도3]

## 데이터 생성



## [도4]

워크로드 인덱스	값 사이즈 (B), 엔트리 개수	읽기 쓰기 비율	업데이트 정보
0	1024,1032444	9 : 1	-
1	1024,1032444	1 : 1	-
2	1024,1032444	1 : 9	-
3	1024,1032444	-	TRUE
4	4096,261124	9 : 1	-
5	4096,261124	1 : 1	-
6	4096,261124	1 : 9	-
7	4096,261124	-	TRUE
8	16384,65472	9 : 1	-
9	16384,65472	1 : 1	-
10	16384,65472	1 : 9	-
11	16384,65472	-	TRUE
12	65536,16380	9 : 1	-
13	65536,16380	1 : 1	-
14	65536,16380	1 : 9	-
15	65536,16380	-	TRUE

## [도5]

워크로드 인덱스	값 사이즈 (B), 엔트리 개수	읽기 쓰기 비율	업데이트 정보
16	8192,130816	7 : 3	-
17	8192,130816	3 : 7	-
18	8192,130816	-	TRUE
19	32768,32752	7 : 3	-
20	32768,32752	3 : 7	-
21	32768,32752	-	TRUE

[도6]

구성 #	1	2	...	20000
IM 1	12965	13040	...	14586
IM 2	1239	837	...	297
...	...	...	...	...
IM n	44	63	78	208

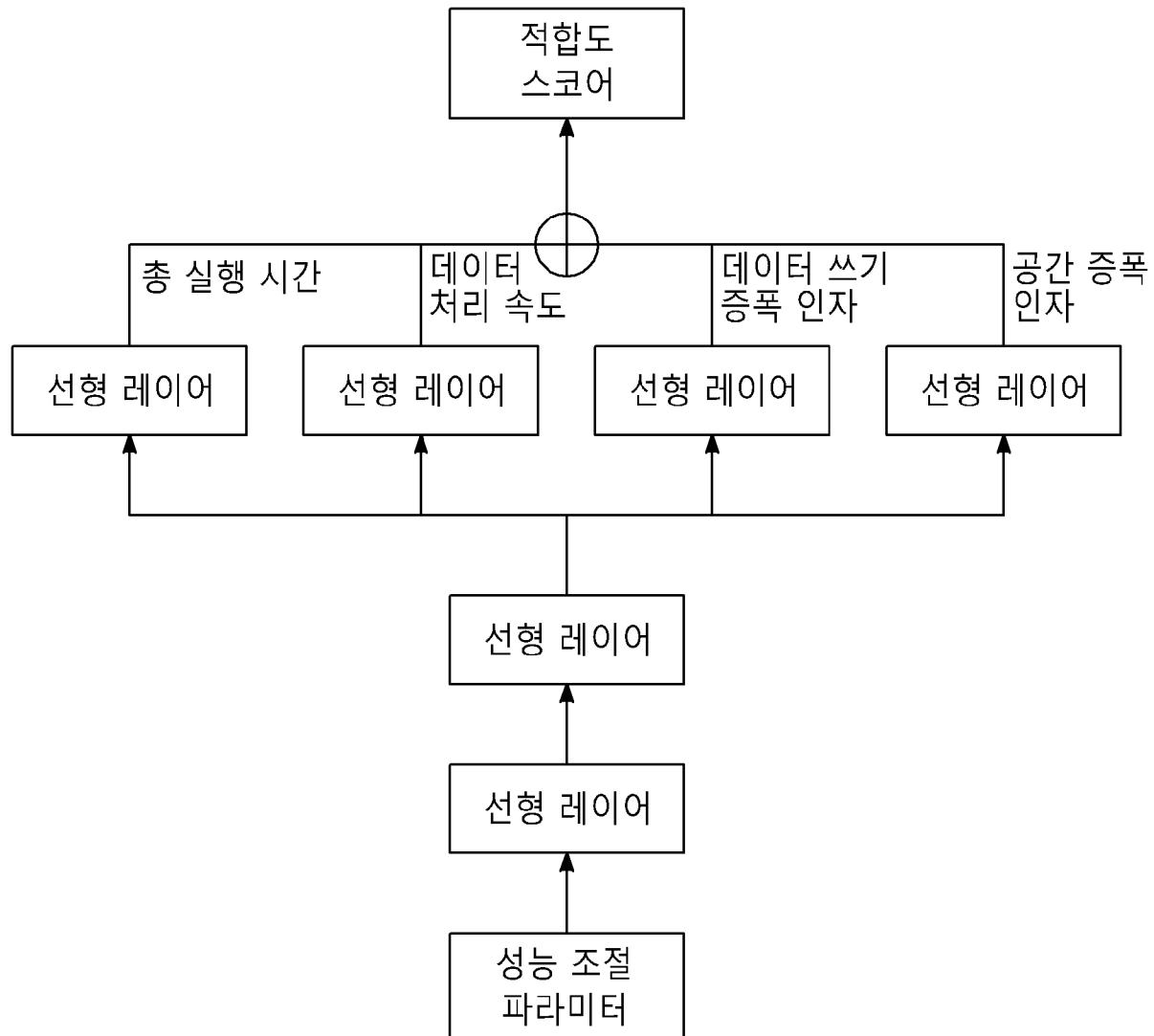
[도7]

구성 #	평균	분산	제1사분위수	제2사분위수	제3사분위수
IM 1	13544	55615	10513	13448	15798
IM 2	834	2315	564	912	1132
...	...	...	...	...	...
IM n	80	1213	68	81	121

[도8]

$$\begin{aligned}
 & \text{결합 워크로드} = \left\{ \begin{array}{l}
 \text{워크로드 } 0 \\
 \vdots \\
 \text{워크로드 } 1 \\
 \vdots \\
 \text{워크로드 } 15
 \end{array} \right. \\
 & \times \frac{MD_{max} - MD_0}{\sum_{i=0}^{15} (MD_{max} - MD_i)} \\
 & \times \frac{MD_{max} - MD_1}{\sum_{i=0}^{15} (MD_{max} - MD_i)} \\
 & \quad \vdots \\
 & \times \frac{MD_{max} - MD_{15}}{\sum_{i=0}^{15} (MD_{max} - MD_i)}
 \end{aligned}$$

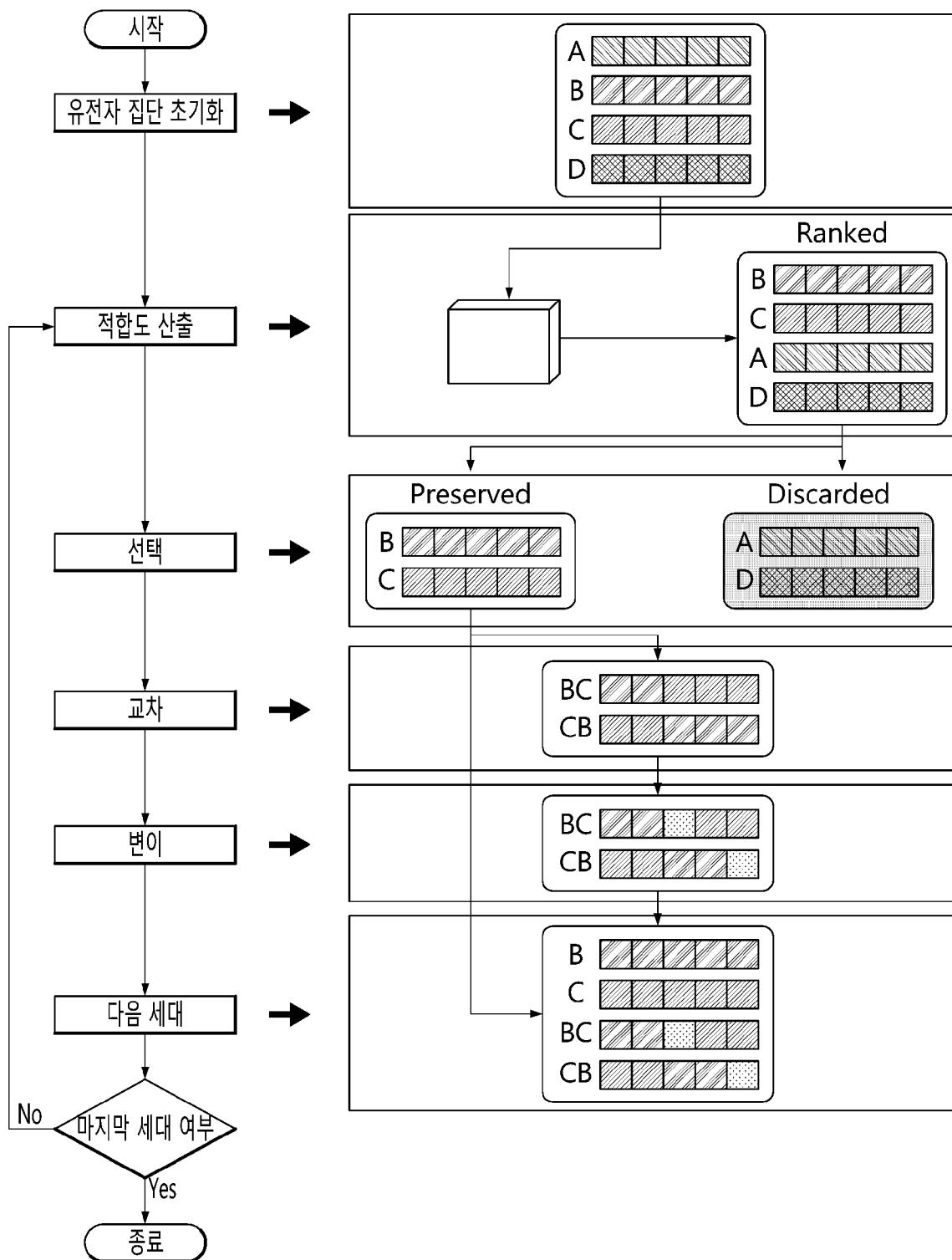
[도9]



[도10]

최적화	Adamw
학습률	0.0002
훈련 사이클	300
손실 함수	MSE
X 스케일러	MinMaxScaler
Y 스케일러	StandarScaler
레이어	(22, 64, 16, 1)
활성화 함수	ReLU

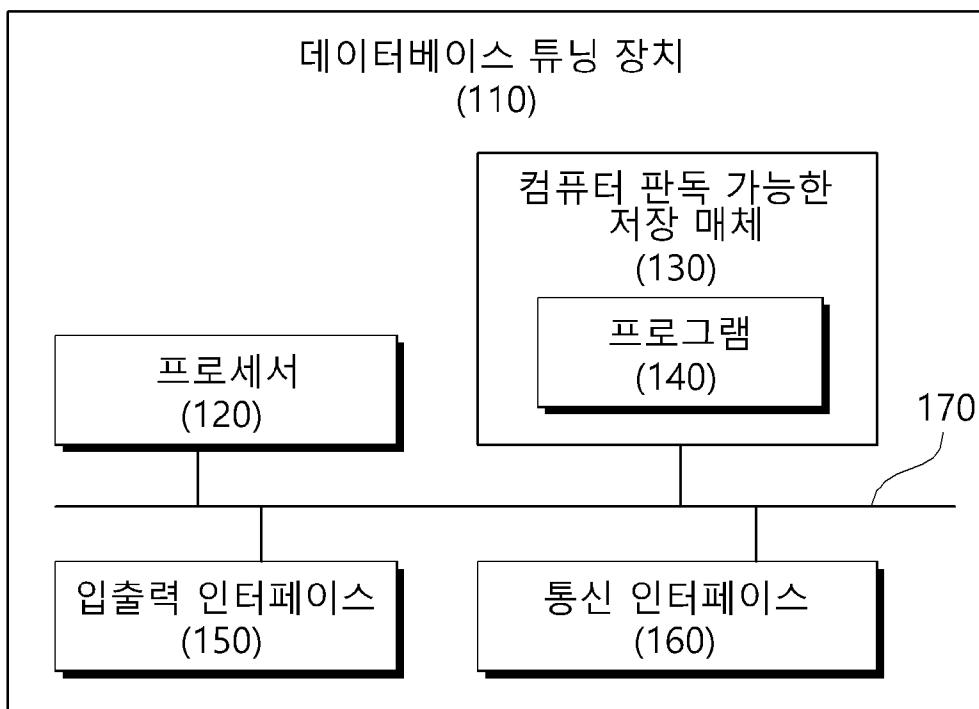
[도11]



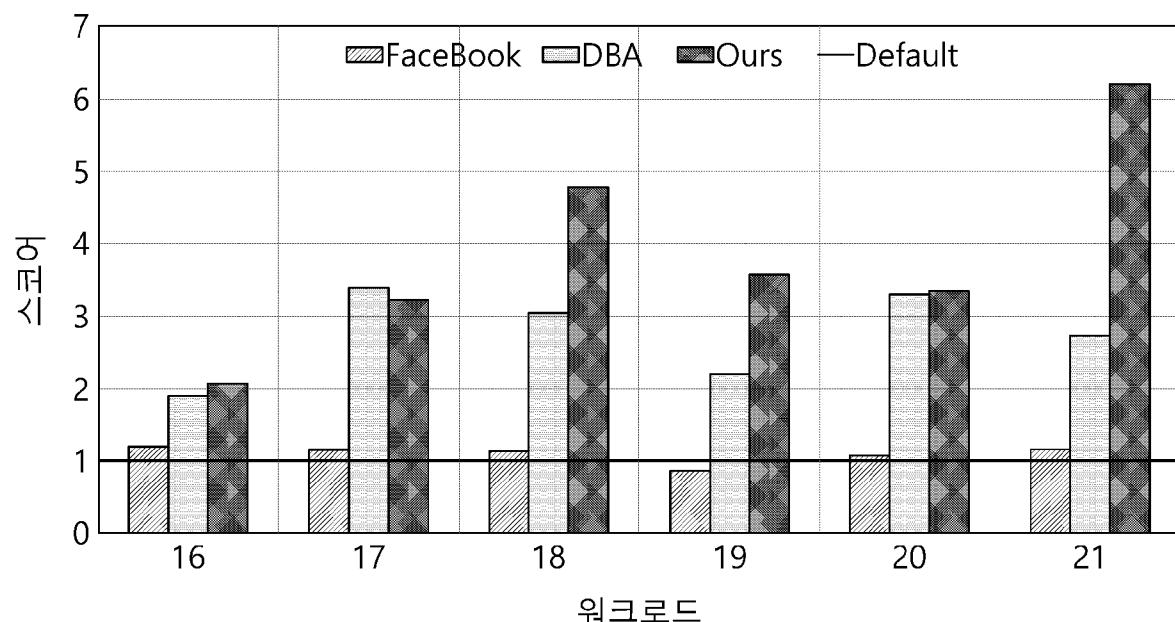
[도12]

변이 비율	0.4
교차 비율	0.5
유전자 집단 사이즈	128
세대	1000
선택 알고리즘	Rank Selection
선택 사이즈	64

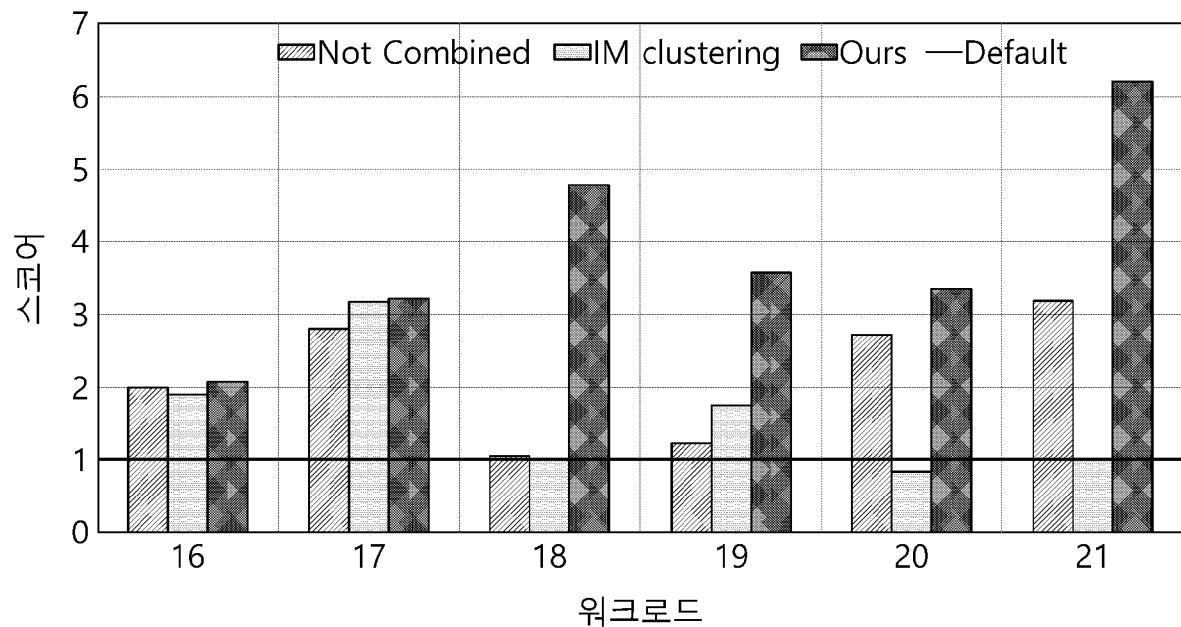
[도13]



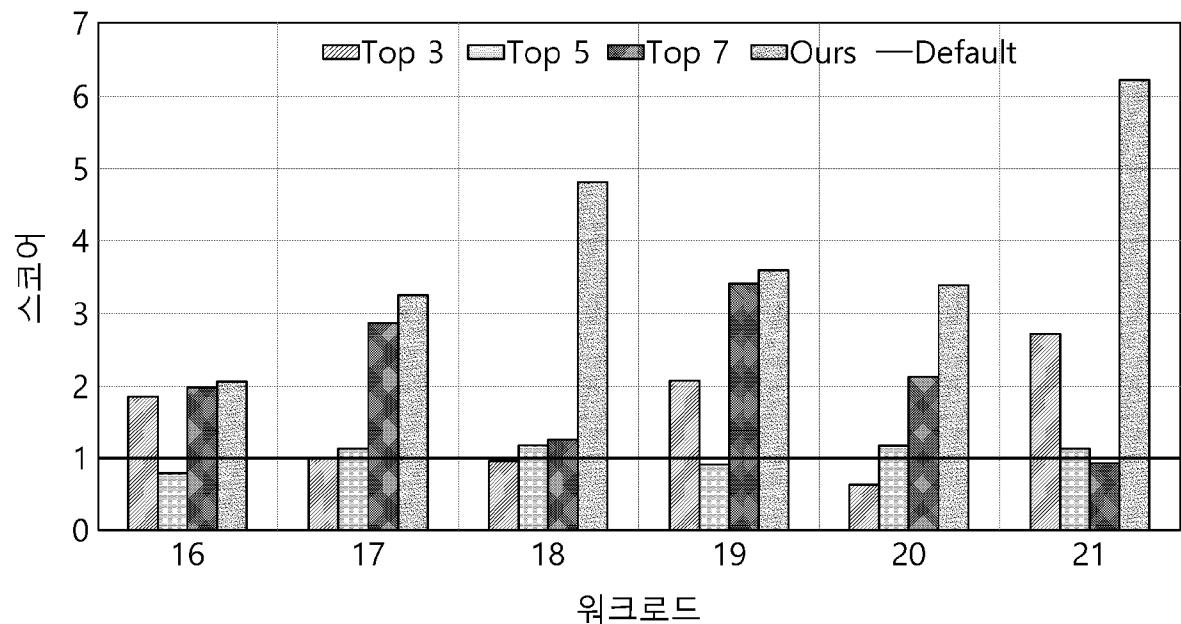
[도14]



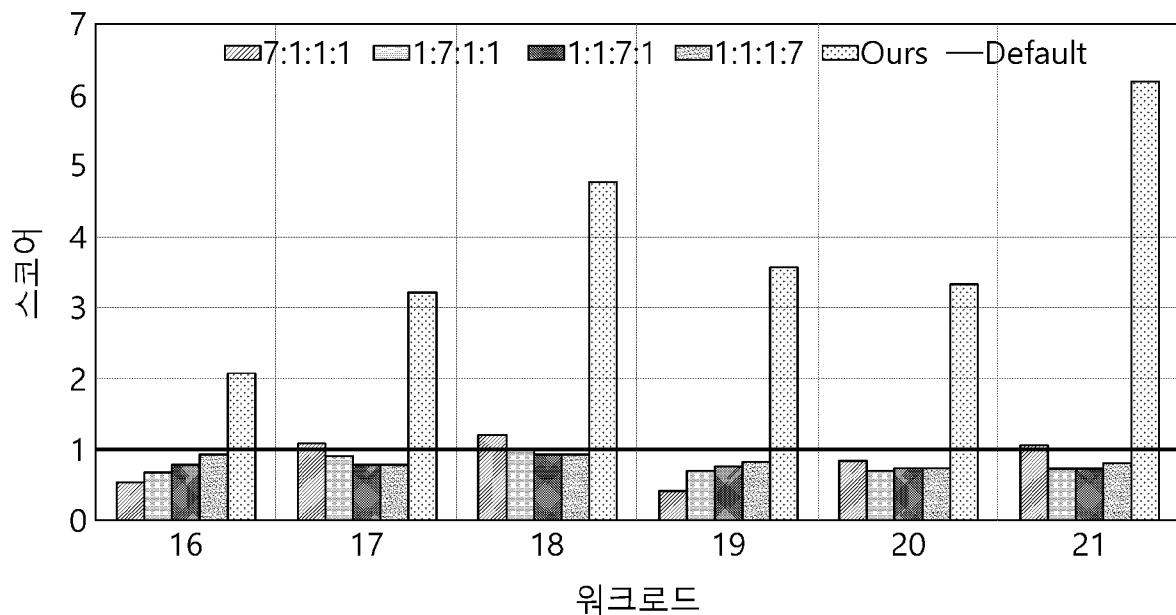
[도15]



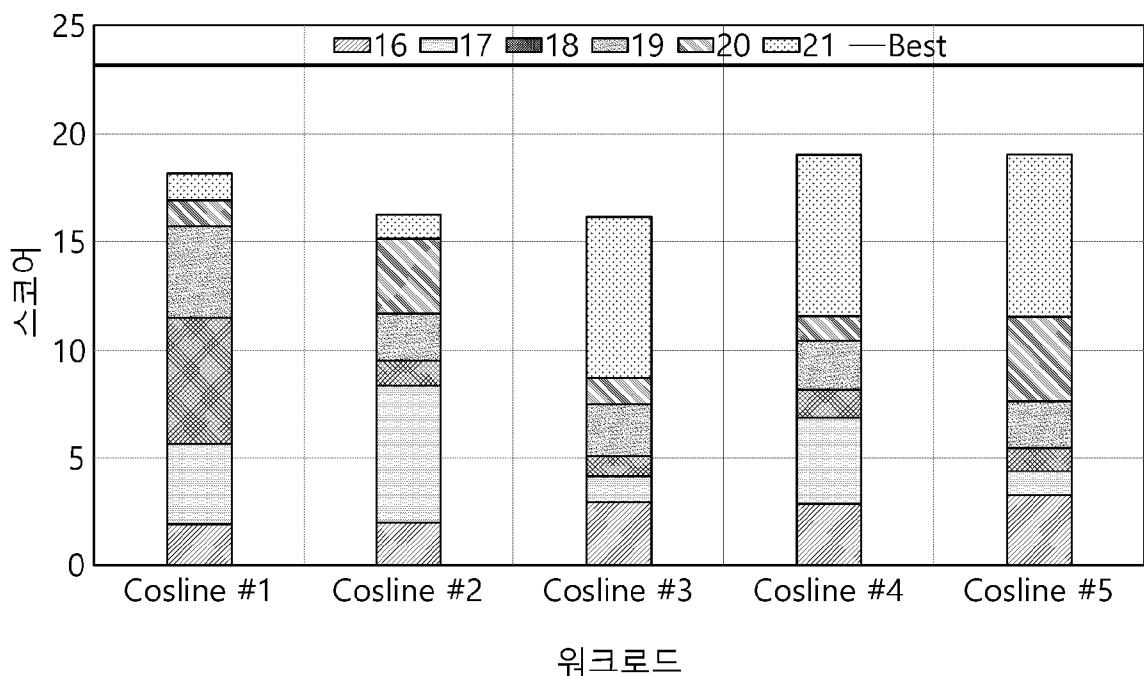
[도16]



[도17]



[도18]



[도19]

