

절사센서의 표면거칠기 특성에 관한 연구 Study on Surface Roughness Characteristics of Cutting Thread Sensors

손재환*, 이호영*, 박철우*, 노준호*, 한창우**, 오창환***, 서민교****
Jae-Hwan Son*, Ho-Young Lee*, Chul-Woo Park*, Joon-Ho Roh*,
Chang-Woo Han**, Chang-Hwan Oh***, Min-Kyo Seo****

<Abstract>

These days, various and complex threads are developed, so it is necessary to develop the cutting a thread sensors for checking a cut thread in severe environment and it is very important to evaluate the quality of the cutting a thread sensors. The analysis of variance(ANOVA) method is very useful method on the quality evaluation field. In this study, the quality is evaluated by one way layout ANOVA method with the surface roughness data. The experiment is carried out by 3 sensors and the result show that the sensors have the good quality in precision.

Keywords : 분산분석(ANOVA) 방법, 표면거칠기(surface roughness), 절사센서(cutting a thread sensors), 일원배치법(one way layout)

1. 서 론

현재 국내에서 생산되고 있는 절사(切絲)센서의 종류는 광전식, 정전용량식, 레버식 3가지가 주류를 이루고 있다. 각각 장·단점을 가지고 있는데, 광전방식의 경우는 포토 LED이나 포토 트랜지스터(TR)를 이용하며 투과식과 반사식으로 나누어지는데, 투과식은 비교적 가는 실까지 센싱(sensing)할 수가 있지만 구조적으로 먼지가 많은 섬유공장 환경에서 청소가 용이하지

않고, 반사식은 구조상 청소가 유리한 반면 감도가 낮다는 단점이 있다. 정전용량식은 실이나 금속 등 어떤 물체가 지나갈 때 정전용량의 변화를 감지하는 방식인데 습도와 같은 외란의 영향을 많이 받는다. 레버식은 기계식으로 섬유 기계의 진동으로 인해 수명이 짧고 실에 직접적으로 손상을 줄 수 있다는 단점이 있다.¹⁾ 최근에는 섬유소재의 다양화와 고품질을 위해 여러 종류의 실과 복합사들의 끊어짐까지 감지하는 기능변화와, 외란에도 영향을 받지 않는 정

* 교신저자, 정회원, 대구기계부품연구원, 工博
E-mail : sjhwan@dmi.re.kr

** 영남이공대학, 교수

*** 신양엔지니어링

**** (주) 대구텍

* Corresponding Author, Daegu Machinery Institute of Components & Materials

** Dept. of Automobile, Yeungnam College of Science & Technology

*** Shinyang Co. Ltd.,

**** Taegutec Ltd.

밀한 센서의 개발이 요구되고 있다. 일반적으로 제품의 표면상태는 다양한 방법에 의해 생성되고, 표면의 형상에 따라 여러 가지 품질 특성이 달라진다.²⁾ Norio Takahasi 등³⁾은 다구찌기법과 같은 실험계획법을 사용하여 초기치와 구속조건을 결정하여 선형 모터(linear motor) 영구자석에 대해 최적의 설계변수 결정 및 특성해석을 수행하였고, 손⁴⁾은 KOLAS 역학시험(표면거칠기)분야의 시험자간의 시험능력을 비교·평가한 후 ANOVA 통계분석을 통하여 시험소(試驗所)의 신뢰성 및 시험결과의 공정성과 정확성을 개선하였다.

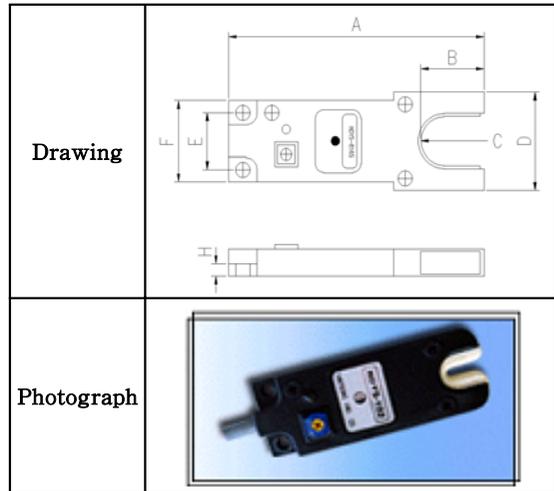
본 연구에서는 절사센서에서 실 통과용 세라믹 부분의 표면거칠기의 영향을 평가하기 위하여 일원배치법에 의한 분산분석 통계기법을 이용하였다. 신뢰성 및 시험결과의 공정성과 정확성을 확보하기 위하여 절사센서의 표면거칠기 측정 방법은 KS B 0161 : 1999 규격으로 측정을 실시하고, 그 결과를 분석·고찰하고자 한다.

2. 절사센서 및 품질평가 방법

2.1 절사센서 특징

레버식은 미세한 진동에도 영향을 받아 오작동을 일으키고 접촉되는 실 통과용 세라믹 부분을 상하게 하는 문제점이 있다. 광전방식은 스파이나 필라멘트사의 감지기능이 떨어질 수 있으며 보푸라기가 발생하는 면사의 경우 보푸라기가 투·수광부에 흡착되므로 감도가 저하되어 오동작을 일으킬 뿐 아니라, 위사나 트레이스 바(traverse bar)가 정지되었을 때에도 위사가 투광 빔을 차단하면서 위사 감지신호가 입력되므로 오동작을 일으킬 수 있다. 압전소자를 이용한 진동은 적용 기계 자체의 진동으로 오작동을 발생하고 소자가 약해 충격에 파손되는 단점이 있다. 본 연구에서 섬유 절사 센서는 실과 복합사들의 끊어짐까지 감지하는 실 통과용 세라믹 부분의 표면거칠기 정밀도를 향상시킨 제품으로 실이 접촉되는 헤드(head) 부분의 비금속 재질인 세라믹 섬유 절사의 접촉성 마모를 방지할 뿐만 아니라 비접촉으로도 정전용량 값이 전달되도록 하고, 케이스(case) 내부를 몰딩(molding)시켜 먼지, 주위온도 등 열악한 환경의 영향을 받지 않도록 하는 특성을 가지고 있다. 또한 출력 표시 램프(lamp)와 감도 조정용 가변저항기는 케이스의 바깥으로 노출시켜

감도조정과 최초의 동작상태를 확인할 수 있는 이점도 있다. Fig. 1(a)는 절사센서의 외형도 및 사진을 나타내고 있으며, (b)는 섬유 절사에 적용된 사례이다. 표 1은 절사센서의 외형별 치수(dimensions)를 나타내었다.



(a)



(b)

Fig. 1. 절사센서의 외형도(a) 및 적용사례(b).

Table 1. 절사센서의 외형별 치수 (unit : mm)

A	B	C (surface roughness, μm)	D	E	F	H
88.5	22.0	1.0	32.0	18.5	26.5	4.0

2.2 표면거칠기

표면거칠기(surface roughness)는 표면에 생성된 미세한 요철(凹凸)의 정도로서 거칠다 매끄럽다 하는 감각의 근본이 된다. 표면거칠기의 정도는 가공에 사용되는 공구, 가공법의 적부(適否), 표면에 굽힌 흠, 녹 등에 의해서 결정된다. Fig. 2는 가공방법에 따른 표면의 특성을

나타내고 있다.⁵⁾ 이러한 표면거칠기는 단면곡선(profile)의 진폭 값을 통계적으로 처리하여 정량화 시킨다. 표면거칠기를 나타내는 통계적인 값으로 Fig. 3에서 처럼 일반적으로 최대높이(R_{max}), 제곱평균평방근(R_q), 중심선평균거칠기(R_a)의 3가지로 표시되며, 대표적 표면거칠기 표현법을 정리하면 표 2.1 및 2.2에 나타난 바와 같다⁶⁾. 가공면의 표면거칠기를 평가하는데 있어서 표면의 특성에 따라 서로 다른 표면거칠기 표현법을 사용한다. Fig. 3과 같이 연삭면, 연마면, 래핑면과 같은 특성을 가진 표면의 표면거칠기는 주로 R_a , R_q 로서 표현을 하며 선삭면과 같은 주기성을 가진 표면거칠기는 주로 최대거칠기(R_{max})로서 표현을 한다. 본 논문에서는 중심선평균거칠기(R_a)를 통하여 절삭센서의 특성을 분석하였다.

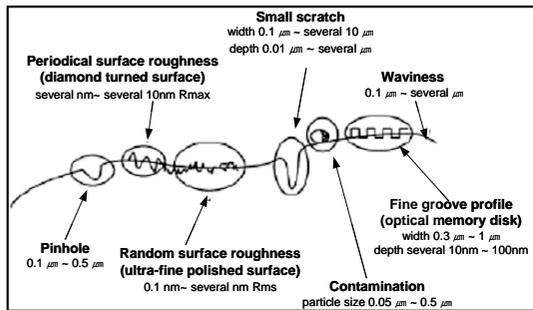


Fig.2 가공방법에 따른 표면의 특성

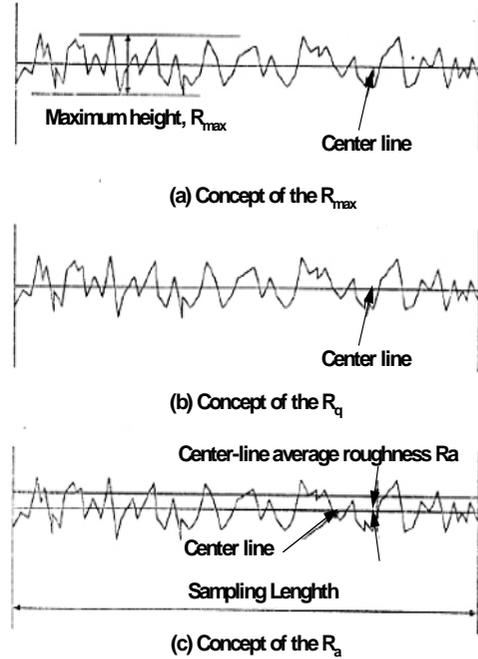


Fig.3 표면거칠기 통계적 표현방법

2.3 분산분석(ANOVA)에 의한 품질평가

여러 집단을 총괄적으로 분석할 수 있는 분산분석(analysis of variance : ANOVA)은 실험 계획법(experimental design)과 회귀분석(regression analysis)에 주로 사용되어 왔다.

Table 2.1 표면거칠기 파라메타

Term	Definition	Calculation	Use
R_a	Arithmetic Mean Deviation	$R_a = \frac{1}{MN} \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N z(x_i, y_i) $	Roughness of a machined surface
R_q	Root-Mean-Square Deviation	$R_q = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N z^2(x_i, y_i)}$	Finish of an optical surface

Table 2.2 표면거칠기 파라메타

Term	Definition	Calculation	Use
R_z	Ten Point Height	$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 z_i + \sum_{i=1}^5 z_{wi} }{5}$	Overall roughness of a surface
R_{sk}	Skewness of Topography Height Distribution	$R_{sk} = \frac{1}{MNS_\alpha^3} \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N z^3(x_i, y_i)$	Measure of the sharpness of a surface height distribution
R_{ku}	Kurtosis of Topography Height Distribution	$R_{ku} = \frac{1}{MNS_\alpha^4} \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N z^4(x_i, y_i)$	Measure of the sharpness of a surface height distribution

분산분석은 두 표본 이상의 평균치에 대한 차이를 검정하는 통계기법이다.

본 실험에 사용된 표면거칠기 측정 실험장치 (surface roughness measuring machine)는 Fig. 5의 Taylor Hobson Ltd社의 모델 Taylsurf PGI 120을 이용하였다. 실험장치의 주요사양은 측정길이 10 mm, 이송길이 120 mm, 정밀도 2 % ± 0.4 nm, 분해능 12.8 nm, 축침 1.5 ~ 2.5 μm, 축침압력 70 ~ 100 mgf(가변)이며, 제품의 표면형상과 거칠기를 동시에 측정할 수 있는 접촉식 프로파일러(Profiler)이다.

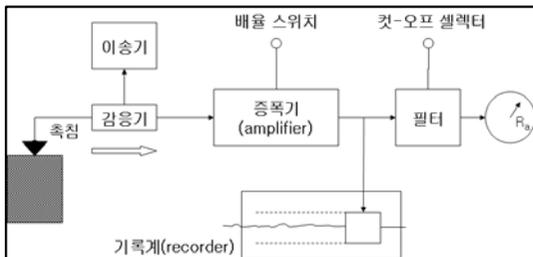


Fig. 4. 표면거칠기 측정 순서도.



Fig. 5. 표면거칠기 실험장치.

Table 3. 시료별 표면거칠기(R_a) (unit : μm)

시험품 횟수	절사센서 (A 시료)	절사센서 (B 시료)	절사센서 (C 시료)	Total	평균의 분산
1	0.74	0.99	0.68	-	
2	0.63	0.99	0.76	-	
3	0.55	1.07	0.83	-	
4	0.78	0.70	0.74	-	
5	0.56	0.68	0.58	-	
합계	3.260	4.430	3.590	11.3	
평균	0.652	0.886	0.718	0.75	0.014556
분산	0.011	0.033	0.009	0.053	
편차	0.104	0.182	0.094	-	

3.2 실험방법

본 연구에서는 절사센서의 실 통과용 세라믹 부분의 표면거칠기 정밀도 평가를 하였으

며, 임의의 시료 3개를 각각 5회씩 측정하였다. 표면거칠기 측정은 거칠기곡선에서 기준길이 전체에 걸쳐 평균선으로부터 벗어나는 모든 봉우리와 골짜기의 편차 평균값을 표면거칠기로 사용한 중심선평균거칠기(R_a , arithmetical average roughness)를 이용하여 실험하였다.

가. 분산분석(ANOVA)

본 연구에서 정밀도 검증을 위해서는 절사센서(sensor)의 표면거칠기 품질 평가를 KS B 0161 : 1999 한국산업규격을 적용하였으며, 시험결과치의 비교를 위해 일원배치법에 의한 분산분석(ANOVA)을 이용하였고, 절사센서(sensor)의 정밀도 평가를 표 3과 같이 중심선 표면거칠기(R_a) 측정값으로 비교·분석하여, 신뢰성 및 시험결과치의 공정성과 정확성을 확보할 수 있었다.

나. 결과분석 및 품질평가

1) 시험결과치의 정밀도 일치성을 Cochran 방법으로 검정

가장 큰 실내분산 $V_{max} = 0.033$, 각 시험결과치의 분산합계 $V_{total} = 0.053$, C 통계량

$C = \frac{V_{max}}{V_{total}} = 0.627$, 여기서 기각한계값 (ℓ , n : a) ℓ 은 시험자수, n은 데이터 수, a는 위험률 이다.

(위험률 0.01) $C = (3, 5 : 0.01) = 0.834$,

(위험률 0.05) $C = (3, 5 : 0.05) = 0.746$

이다.

따라서, Cochran⁷⁾의 통계량 = 0.627 < 0.834 (0.746 ; 신뢰수준 95%) 이므로 신뢰수준 99% 및 95%에서 각 시험자의 Data는 정밀도의 차이가 없으며 등분산 이라고 판단된다.

2) 각 시험결과치의 평균값을 Grubbs 방법으로 검정

총 평균에서 가장 떨어진 data의 평균 $\bar{X}_{max} = 0.89$, 총 평균 $\bar{X} = 0.75$, 평균의 분산 0.014556 이다.

T 통계량 $T = \frac{\bar{X}_{max} - \bar{X}}{\sqrt{V}} = 1.111$ 에서 기각한계값 (위험률 n, 0.01) (3, 0.01) = 1.155

이며, 위험률 $(n, 0.05) (3, 0.05) = 1.153$ 이다. 여기서 T는 통계량을 나타낸다.

Grubbs⁸⁾의 통계량이 $1.111 < 1.155(1.153 : \text{신뢰수준 } 95\%)$ 기각한계 값 이므로 각 시험결과 평균값은 99% 및 95% 신뢰수준에서 이상치 라고 판단되는 평균값은 없다.

3) 시험결과 data 분석 값 산출

① 각 시험결과 분산값 산출

$$V_a = \frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{x})^2 = 0.01087,$$

$$V_b = \frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{x})^2 = 0.03313,$$

$$V_c = \frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{x})^2 = 0.00882 \text{ 이다.}$$

② 각 시험자의 data에 대한 최대값 (X_{\max})의 검정

$$T_a = \frac{X(a)_{\max} - \bar{X}(a)}{\sqrt{V_a}} = 1.228,$$

$$T_b = \frac{X(b)_{\max} - \bar{X}(b)}{\sqrt{V_b}} = 1.011,$$

$$T_c = \frac{X(c)_{\max} - \bar{X}(c)}{\sqrt{V_c}} = 1.193 \text{ 이다.}$$

T통계량 및 Grubbs 방법에 의한 기각한계치 값 $G(n ; \alpha) = G(5 : 0.05) = 1.672$ 을 비교하였을 때 $T < G$ 이므로 유의수준(0.05)에서 최대값에 이상치가 없다고 판단된다.

③ 각 시험자의 시험 data에 대한 최소값 (X_{\min})의 검정

$$T_a = \frac{\bar{X}(a) - X(a)_{\min}}{\sqrt{V_a}} = 0.978,$$

$$T_b = \frac{\bar{X}(b) - X(b)_{\min}}{\sqrt{V_b}} = 1.132,$$

$$T_c = \frac{\bar{X}(c) - X(c)_{\min}}{\sqrt{V_c}} = 1.469 \text{ 이다.}$$

T통계량 및 Grubbs 방법에 의한 기각한계치 값 $G(n ; \alpha) = G(5 : 0.05) = 1.672$ 을 비교하였을 때 $T < G$ 이므로 유의수준(0.05)에서 최소값에 이상치가 없다고 판단된다.

Table 4. 요약표

인자의 수준	관측 수	Total	평균	분산
절사센서 (A 시료)	5	3.260	0.652	0.011
절사센서 (B 시료)	5	4.430	0.886	0.033
절사센서 (C 시료)	5	3.590	0.718	0.009

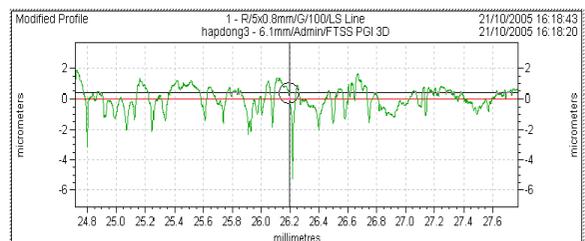
Table 5. 분산분석

변동의 요인	제공합	자유도	제공평균	F 비	P-값	F 기각치
처리	0.00101333	2	0.00050667	4.13366	0.15314522	3.88529
잔차	0.00276	12	0.00023			
계	0.00377333	14				

4) 일원배치법에 의한 분산분석

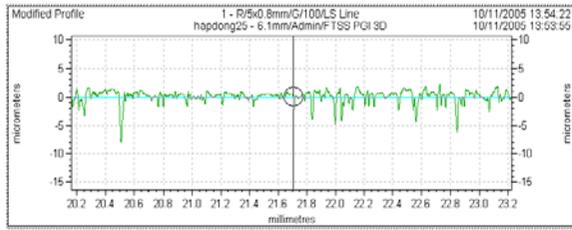
일원배치법에 의한 분산분석(ANOVA) 결과 F비 < F기각치 이므로 시험품 3개의 분산비가 F기각치 보다 크므로 유의수준 5%로 시험결과 사이의 차이가 있는 것으로 나타났다.

Fig. 6는 절사 센서의 3개의 시료군에 대한 측정된 대표적인 표면거칠기의 형상을 나타낸 것으로 데이터 구간에 따른 표면거칠기가 틀려지고 있으므로 중심선평균거칠기(R_a)를 사용하였다. 측정 데이터에서 x축으로 0.1 mm 간격으로 10 구간(총 1 mm) 이동하고, y축으로 최대 거칠기와 최저 거칠기의 평균값을 중심선 평균거칠기(R_a) 측정값에 대한 결과로서 Fig. 6(a)에서는 $0.55 \mu\text{m}$, (b)에서는 $0.68 \mu\text{m}$, (c)에서는 $0.58 \mu\text{m}$ 로 나타났다. 이와 같은 결과는 목표규격치인 $1.0 \mu\text{m}$ 에 비해 표면거칠기 측정값이 향상되어 정밀한 제품이 개발되어졌다고 고려된다.



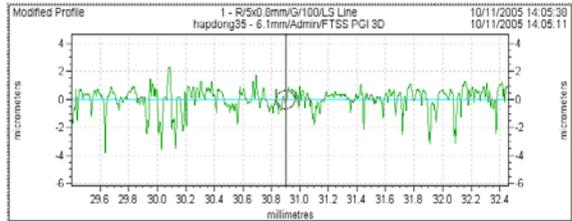
Ra	0.5538 μm	Rz	3.8594 μm
Rz1max	6.8878 μm	Rp	7.1238 μm
		Rt	

(a)



Ra	0.6782 μm	Rz	6.9505 μm
Rz1max	9.1222 μm	Rp	1.5694 μm
Rt	10.2538 μm		

(b)



Ra	0.5777 μm	Rz	4.7890 μm
Rz1max	5.9326 μm	Rp	1.5484 μm
Rt	6.1360 μm		

(c)

Fig. 6. 절사 센서(sensor) 시료별 평균 표면거칠기 raw data : (a) A시료 best raw data R_a 0.55 μm , (b) B시료 best raw data R_a 0.68 μm , (c) C시료 best raw data R_a 0.58 μm

4. 결론

본 연구에서는 절사센서 표면거칠기를 측정 한 결과 임의의 시료(A, B, C 시료)에 대한 중심선평균거칠기(R_a) 비교시험 결과에 대하여 해석의 예비검토 단계로 등분산성을 검정하기 위하여 Cochran방법을 이용하였고, 이상값의 유·무를 검정하기 위하여 Grubbs 방법을 사용하였다. 또한 좀더 정밀하게 시험결과간 비교시험 결과를 분석하기 위하여 일원배치 분산분석법(One-way ANOVA)을 사용하여 평가하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 절사센서의 중심선 평균거칠기(arithmetical average roughness, R_a)를 측정한 결과 평균치가 A 시료 0.652 μm , B 시료 0.886 μm , C 시료 0.718 μm 의 범위를 나타내었으며 표면거칠기 정밀도 기능에는 만족하였다.
2. 일원배치 분산분석 결과에서 F비는 시험자 간의 잔차에 대한 평균제곱을 나머지 잔차의 평균제곱으로 나눈 값이고, F-기각치는 유의수준 5%에서 F-분포표로부터 얻어진

F-기각값 이다. 소재의 표면거칠기의 1개 항목(R_a) 비교시험 data에 대해 분산분석 결과 모두 계산된 F비가 F-기각치 보다 작 은 것으로 나타났다.

3. 시료별 비교시험 결과의 등분산성(Cochran) 분석, Grubbs 방법에 의한 이상치 검정 및 일원배치법에 의한 분산분석(One-way ANOVA)을 통해 유의수준 5%(신뢰수준 95%)로 절사센서(A, B, C시료)의 시험 data 차이가 없었으며 정밀도 능력 면에서 품질이 우수하였다.

참고문헌

1. 손재환 외 2, “정전용량식과 광전방식을 결합한 복합센서 개발에 관한 최종보고서”, 산업자원부 (위탁기관 : 대구기계부품연구원), 2005.
2. 김태완 · 이상돈 · 조용주, “표면거칠기의 변화에 따른 미끄럼 마찰 특성”, 한국기계가공학회지, Vol. 3, No 2, pp18-24, 2004.
3. Norio Takahashi, Mitsutoshi Natsumeda and Kazuhiro Muramatsu, “Optimization of permanent magnet type of retarder using 3-D finite element method and direct method,” IEEE Trans. on Magn., Vol 34, No 5, pp 2996-2999, 1998.
4. 손재환, “시험자간 비교시험 프로그램 결과 보고서(KOLAS 역학시험 : 표면거칠기 분야)”, 대구기계부품연구원, 2005.
5. Takashi MIYOSHI, “The latest optical precision measurement technology fraunhofer diffraction method”, JSPE, 1992.
6. 김승우, “정밀측정공학(기본원리, 평가방법, 응용시스템 설계)”, 한국과학기술원
7. Slavings, R.: Cochran, N.: Bowen, C. W. Chem, Educator[Online] 1997, 2(1) : DOI 10, 1007/s00897970118a.
8. Yun, J. : Marinez, E. R. : Grubbs, R. H. “A New Ruthenium-Based Olefin Metathesis Catalyst Coordinated with 1, 3-Dimesityl-1, 4, 5, 6-tetrahydropyrimidin -2-ylidene : Synthesis, X-ray Structure, and Reactivity” Organometallics, 23, 4172(2004).

(2007년 2월 2일 접수, 2007년 11월 9일 채택)