일체식 철도 교대 개발을 위한 수동 지반반력계수 평가

Evaluation of Passive Soil Stiffness for the Development of Integral Abutments for Railways

김대상* · 김웅진**

Kim, Dae Sang*, and Kim, Ung Jin**

Abstract

An integral bridge, which is constructed without expansion joints and bearings, is an economical technology that permits slender abutment and footing design to decrease the associated maintenance and construction costs. In this study, a geosynthetic reinforced integral abutment (IA) for railways and a conventional reinforced concrete abutment (CA) are modeled, considering the two types of foundations, using the finite element method. The passive soil stiffness of the foundations was evaluated through the application of a uniform horizontal load in four separate models. The passive soil stiffness of the IA model is approximately 70% of that of the CA model. Additionally, we confirmed that the passive soil stiffness was affected by changes in the thickness of the abutment, size of the footing, number of installation piles, and elastic modulus of the ground.

Key words : Passive Soil Stiffness, Geosynthetic Reinforced, Integral Abutment, Maintenance Costs

요 지

일체식 교량(Integral Bridge, IB)은 교량 상부구조, 교대와 접속부를 일체화하여 신축이음과 교량 받침을 배제하고 교대 및 기초를 슬림화하여 유지보수 및 건설비용 절감이 가능한 경제적인 기술이다. 본 논문에서는 접속부 침하 저감이 가능한 토목섬유와 시멘트 처리된 자갈로 보강된 Integral Abutment (IA) 구조와 기존 철근콘크리트 교대(Conventional reinforced concrete Abutment, CA) 구조를 기초 형식을 고려하여 유한요소법으로 4종류에 대하여 모델링하고, 수평하중 재하시험을 모사한 수치해석을 실시하여 수동 지반반력계수를 평가하였다. IA 구조는 CA구조와 비교하여 70% 수준의 수동 지반반력계수를 가지며, 교대 구체 두께, 기초 저판의 크기, 말뚝 설치 수와 원지반의 강성 변화가 수동 지반반력계수에 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다.

핵심용어 : 수동 지반반력계수, 토목섬유 보강, 일체식 교대, 유지보수 비용

1. 서 론

교량 상부구조와 교대 및 접속부를 일체화한 구조물이 도로를 중심으로 적용되고 있다. 최근 해외철도에서도 Fig. 1과 같은 교량-교대-접속부를 일체화한 구조를 운영선에 적용하고 그 성능을 평가하고 있다. 철도노반 구조물로서의 동 구조물의 장점은 교량 상부받침 및 신축이음의 제거를 통한 유지보수 비용의 저감 이외에 교대 배면의 수평토압을

저감시켜 교대 및 그 기초의 초기건설비용을 줄일 수 있다는 점에 있다.

Fig. 1. Concept Drawing of IB (Integral Bridge)

*교신저자, 정회원, 한국철도기술연구원 책임연구원(Tel: +82-31-460-5305, Fax: +82-31-460-5749, E-mail: kds@krri.re.kr)

Corresponding Author, Member, Principal Researcher, Advanced Railroad Civil Engineering Division, KRRI

**한국철도기술연구원 궤도노반연구팀 연구원

Researcher, Track & Roadbed Research Team, KRRI

그러나, 일체형 구조물은 거더와 교대가 분리된 교량구조와 달리 교량 상부구조의 온도변화에 따른 신축거동(Fig. 2), 열차의 시제동 하중 및 장대레일 축력 발생 등이 교대 및 접속부에 직접적으로 영향을 미치고, 수평하중에 의해 교대에 발생하는 부재력, 접속부 변형 등이 기존 교량 구조에 비해 민감하게 반응할 것으로 예상된다. 그러므로 온도하중 등으로 인한 수평하중 발생 시의 교대 및 뒤택음 접속부에서의 거동을 평가할 필요가 있다.

Fig. 2. Behavior of Bridge Deck Depending on Temperature Increase

본 논문에서 제시한 토목섬유와 철근망, 시멘트 처리된 자갈로 보강된 일체식 교대(Integral Abutment, IA)는 토공 시공 시 설치되는 보강재를 이용해 구조물과 토공의 구조적 연속화가 가능하고, 교대보다 토공을 선시공하여 교대 접속부의 침하 저감이 가능한 기술이다. 교대와 토공을 연속화하는 구조는 Kim and Jeong (2015)에 의해 제안된 바 있으며, 수치해석을 통하여 수평토압 저감 및 말뚝 설치 수 감소 가능성이 연구된 바 있다(Kim et al., 2017). 일체식 교량(Integral Bridge, IB)은 교량, 교대, 접속부를 구조적으로 일체화하는 기술로 교량 상부구조의 신축과 접속부의 변형이 밀접한 연관성을 가지고 있다. 따라서, 온도에 따른 구조물의 신축, 열차의 시제동 하중, 지진 등의 수평하중에 따른 설계인자로서 교대 및 접속부의 수평지반반력계수를 파악할 필요가 있다.

국내에서의 수평 지반반력계수 관련 연구는 주로 말뚝 분야에서 연구되었다. Ryu et al. (2012), Kang et al. (2016) 등에 의해 현장재하시험과 수치해석을 통한 말뚝의 수평지반반력계수에 관한 연구가 수행된 바 있으며, 교대의 수평하중-변위 관계는 주로 일체식 교량분야에서 연구된 바 있다. Park and Nam (2007)은 IB를 시험 시공하여 토압과 변위와의 관계를 장기계측을 통해 분석하였고, Ahn et al. (2010)은 매개변수 해석을 통해 Integral Abutment Bridge (IAB) 거동 특성을 평가하였다.

국외에서는 Nakai (1985)가 유한요소 해석을 통한 옹벽의 주동, 수동 토압 분석방법을 제시하고 소성 평형이론에 의한

결과와 비교, 분석하였다. Thomas and Luteneegger (1998)는 콘크리트 옹벽의 수동 하중재하시험을 수행하였으며, Wilson and Elgamal (2010)은 실험과 유한요소 해석을 통하여 IB의 하중-변위 관계를 분석하였다. 국내외에서 수평하중-변위 관계 및 수평지반반력계수에 관한 다양한 연구가 수행되었으나, 접속부에서의 토공 선 시공으로 잔류침하 저감이 가능한 시멘트 처리된 자갈과 보강재로 보강한 IA와 같은 일체화 구조(Fig. 3)의 수평지반반력계수에 대한 연구는 부족한 실정이다. 따라서, 본 논문에서는 2차원 수치해석을 통하여 교대 접속부에서의 수동토압 상태에서 지반반력계수를 하중 작용 패턴 및 교대 기초 형식별로 평가하였다.

Fig. 3. Concept Drawing of IA (Integral Abutment)

IA는 교대 및 접속부를 구조적으로 일체화하는 기술로 교량, 교대 및 접속부 일체화(IB) 연구의 전 단계 연구이며, 향후 일체화 구조 설계 시 온도에 따른 상부구조 및 교대의 신축, 열차의 시제동 하중 및 지진 등의 수평하중에 대한 접속부의 변형은 주요 설계인자로서 교대 및 접속부의 수평지반반력계수를 평가할 필요가 있다.

2. 수치해석 개요

일체화 구조에 대한 수평지반반력계수를 평가하기 위하여 2차원 유한요소 수치해석을 수행하였다. 수치해석은 유한요소해석 프로그램을 활용하였다. 일체식 교대(Integral Abutment, IA)와 기존 철근콘크리트 교대(Conventional reinforced concrete Abutment, CA)에 대해 수치해석을 수행하고 결과를 비교 분석하였다. 또한, 기초 형식의 영향을 파악하기 위하여 말뚝기초와 직접기초 두 가지 경우에 대하여 각각 수치해석을 수행하였다. 전체 해석 케이스를 정리하면 Table 1과 같다.

Table 1. Analyses Cases

Case No.	Type of Foundation	Type of Abutment
1	Pile Foundation	IA (Integral Abutment)
2		CA (Conventional reinforced concrete Abutment)
3	Footing Foundation	IA
4		CA

Figs. 4와 5는 말뚝기초와 직접기초에 대한 해석 단면을 보여준다. 높이 8 m의 교대를 가정하고 철도설계기준의

Fig. 4. Analyses Sections of Abutment and Transitional Zone (Pile Foundation)

Fig. 5. Analyses Sections of Abutment and Transitional Zone (Footing foundation)

고속철도 교대 접속부 재료기준을 적용하였다. 철도 교대 접속부에서는 접속부에서의 침하저감을 위하여 시멘트 처리된 자갈, 일반자갈로 구성하였으며 접속부의 길이는 높이의 4배인 32 m를 적용하였다. 원지반조건은 말뚝기초 적용 시에는 사질토 지반을, 직접기초 적용 시에는 풍화암으로 가정하고 깊이 12 m에 연암층이 존재하는 것으로 가정하였다. IA는 CA와 상이하게 넓은 저판이 필요하지 않고, 교대 구체를 슬림화할 수 있으므로 Figs. 4(a) 및 5(a)와 같이 구체와 기초를 축소한 교대를 적용하였다.

기초가 축소되어 적용 말뚝 수를 저감할 수 있으므로 $\phi 508$ mm의 말뚝 5열을 설치한 CA와 다르게 IA에서는 2열의 말뚝을 설치하였다(Fig. 6). 뒤채움, 원지반, 교대, 말뚝기초 등은 15 절점을 갖는 평면변형률 요소를 이용하여 모델링하였다.

IA 일체화구조에서의 보강재는 연직간격 0.4 m로 높이의 40% 수준인 3.2 m의 짧은 보강재와 1.6 m 연직간격으로 장보강재를 배치하였다. 보강재는 지오그리드 모델을 사용하였다. 설계 인장강도 60 kN의 토목섬유 보강재를 고려하여 스프링계수 $J = 1,000$ kN/m의 보강재 강성을 적용하였다. 뒤채움의 전면에는 높이 0.4 m, 길이 0.8 m의 기준틀을 모델링하여 교대 시공 전 보강재로 보강된 뒤채움이 연직으로 자립할 수 있도록 하였다. 교대 시공 전 뒤채움이 연직으로 자립할 수 있도록 보강하는 재료인 기준틀은 플레이트 모델

을 사용하였고, 기준틀에 사용되는 직경 13 mm의 철근을 고려하여 축강성 $EA = 1.46 \times 10^5$ kN, 휨강성 $EI = 1.542$ kN $\cdot$ m²를 각각 적용하였다. 수치해석에 사용된 각 재료의 모델과 물성값은 Table 2에 상세하게 정리하였다.

상재하중은 교량 설계 시의 거더하중 및 궤도하중을 고려하였다. 교량하중은 기존 철도 설계사례로부터 경간 길이 35 m의 교량을 고려하여 450 kPa의 등분포 하중을 교량 받침에 적용하였다. 궤도하중은 철도설계기준의 설계하중

Fig. 6. Sections of Abutments

Table 2. Material Properties

Materials	Models	Unit Weights (kN/m ³)	Cohesions (kPa)	Friction Angles (°)	Elastic Moduli (MPa)	Poisson's Ratios
Upper Subgrade	Mohr-Coulomb	19	1	35	80	0.3
Lower Subgrade	Mohr-Coulomb	19	20	25	60	0.33
Gravel	Mohr-Coulomb	20	1	40	80	0.25
Cement Treated Gravel	Mohr-Coulomb	21	50	40	120	0.2
Sandy Soil	Mohr-Coulomb	18	1	30	30	0.35
Weathered Rock	Mohr-Coulomb	21	30	33	200	0.3
Soft Rock	Mohr-Coulomb	23	300	35	1,800	0.28
Concrete	Linear Elastic	24	-	-	24,000	0.2
Reinforced Concrete	Linear Elastic	24.5	-	-	30,000	0.2
Pile	Linear Elastic	20(2D)	-	-	47,000	0.25
Reinforcement	Geogrid	J = 1,000 kN/m (Design tensile strength = 60 kN)				
Steel Frame	Plate	EA = 1.46×10 ⁵ kN, EI = 1.542 kN · m ²				

을 준용하여 15 kPa의 등분포하중을 적용하였다.

수평지반반력 산정을 위한 수평하중은 교대 전면에 등분포 하중으로 적용하였으며 50 kPa 씩 점진적으로 증가시켜 교대 배면방향으로 최대 250 kPa를 작용시켜 접촉부가 파괴되어 과도한 변형이 발생하기 전 단계까지 해석하였다. 하중 단계별로 교대배면의 높이 0 m, 4 m, 8 m 지점에서 수평변위를 측정하여 수동 수평지반반력계수를 산정하였다.

3. 해석결과 및 분석

3.1 말뚝기초

말뚝기초를 적용한 교대 접속부에 대한 해석결과 하중재하 최종단계에서의 수평변위 분포는 Fig. 7과 같다. 교대 형식과 관계없이 모든 케이스에서 교대 상부에서 변위가 크게 발생하였다. 이는 기존 연구에서 발표된 바와 같이 심도에 따른 구속압 증가로 성토체 하부에서 수평지반반력이 크며, 이에 추가하여 저판 및 말뚝기초의 저항이 교대 상부보다 하부에 상대적으로 큰 영향을 미치기 때문인 것으로 판단된다.

IA와 CA의 각 측정 높이에서의 수평하중-수평변위 관계 곡선은 Fig. 8과 같다. IA에서는 교대 배면방향으로 250 kPa 하중재하 시 높이 0 m, 4 m, 8 m에서 각각 41.7 mm,

54.6 mm, 66.1 mm의 수평변위가 발생하였고, CA에서는 높이 0 m, 4 m, 8 m에서 각각 32.2 mm, 37.6 mm, 44.1 mm의 수평변위가 발생하였다. 동일하중 조건 하에서 IA와 CA를 비교했을 때 IA에서 CA 수평변위의 1.3~1.5배의 더 큰 수평변위가 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 뒤편재의 수동 저항 이외에 교대 구체의 두께 차 및 말뚝 설치수의 증가로 인한 휨 저항 증대와 기초 저판의 크기 차로 인한 수평 활동 측면에서의 저항의 증가 때문으로 판단된다.

Fig. 8. Horizontal Load-Displacement Curve (Pile Foundation)

Fig. 7. Horizontal Displacement Distribution (Pile Foundation, Unit: mm)

3.2 직접기초

직접기초를 적용한 교대 접속부의 수치해석 결과 최종단계에서의 수평변위 분포는 Fig. 9와 같다. 말뚝기초와 마찬가지로 교대 형식과 관계없이 모든 케이스에서 교대 상부에서 변위가 크게 발생하였다. 교대 기초에서 말뚝을 제거하여도 상부에서 변위가 크게 발생하는 수평변위 분포 양상에는 변화가 없었다.

IA와 CA의 각 측정 높이에서의 수평하중-수평변위 관계 곡선은 Fig. 10과 같다. IA에서는 교대 배면방향으로 250 kPa 하중재하 시 높이 0 m, 4 m, 8 m에서 각각 14.7 mm, 25.4 mm, 34.3 mm의 수평변위가 발생하였고, CA에서는 높이 0 m, 4 m, 8 m에서 각각 11.0 mm, 16.7 mm, 26.7 mm의 수평변위가 발생하였다. 말뚝이 없는 직접기초 입에도 수평변위가 말뚝기초를 적용한 경우와 비교하여 작게 발생한 것은 원지반의 강성이 증가했기 때문이며, 직접기초의 경우 수평하중 작용 시 원지반 강성이 교대 및 접속부의 수평변위에 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다. 말뚝기초 적용 시와 마찬가지로 동일하중 조건 하에서 IA와 CA를 비교했을 때 IA에서는 CA와 비교하여 1.3~1.5배 더 큰 수평변위가 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 말뚝기초를 적용한 경우와 유사한 결과이다.

Fig. 9. Horizontal Displacement Distribution (Footing Foundation, Unit: mm)

Fig. 10. Horizontal Load-Displacement Curve (Footing Foundation)

4. 수평지반반력계수 산정

교대 배면측으로의 수평하중 재하 시 수평하중-수평변위 관계곡선으로부터 수동 수평지반반력계수를 산정할 수 있다. 수평지반반력계수 K_h 는 Eq. (1)과 같이 정의할 수 있다.

Table 3. Coefficients of Passive Horizontal Subgrade Reaction

Type of Foundation	Type of Abutment	Heights	Coefficients of Passive Horizontal Subgrade Reaction, K_h (kN/m ³)	R ² (%)
Pile Foundation	IA	0 m	6,289 (1.00)*	99.3
		4 m	4,836 (0.77)*	99.0
		8 m	4,019 (0.64)*	98.8
	CA	0 m	8,163 (1.00)*	99.2
		4 m	7,022 (0.86)*	99.0
		8 m	6,002 (0.74)*	99.0
Footing Foundation	IA	0 m	18,018 (1.00)*	99.0
		4 m	10,341 (0.57)*	99.2
		8 m	7,651 (0.42)*	99.2
	CA	0 m	23,923 (1.00)*	99.3
		4 m	15,601 (0.65)*	99.4
		8 m	10,989 (0.46)*	99.5

* Reduction rates of coefficients of passive horizontal subgrade reaction depending on heights

$$K_h = \frac{P_h}{y} \quad (1)$$

여기서, P_h : 수평하중, y : 수평변위

수평하중-수평변위관계에서 각 수평변위 y 에 상응하는 지반반력 P_h 는 변위의 크기에 따라 변화한다. 하중재하범위인 0~250 kPa범위에서의 수평하중-수평변위 곡선 변화를 등가 선형 할선법으로 수평지반반력계수를 산정한 결과는 Table 3과 같다. 최대 하중 재하 범위인 250 kPa 범위에서는 등가 선형 할선 추세선의 높은 상관성(R^2 98% 이상)을 확인할 수 있었다. 전체적으로 CA가 IA와 비교하여 동일 높이에서 1.2~1.5배 큰 값을 보였으며 이는 교대 구체의 두께, 기초 저판의 크기에 기인한 휨강성 증대에 의한 것으로 판단된다.

수치해석의 적정성을 검증하기 위하여 WSDOT (2013)에서 제안한 Eq. (2)를 이용하여 등가 스프링 강성을 산정하고 이를 수평지반반력계수로 환산하여 해석결과와 비교하였다. 산정결과 8,372 kN/m³로 말뚝기초가 적용된 CA의 0 m에서의 값과 유사한 값을 보였다. 높이가 낮을수록 수평지반반력계수는 높게 산정되므로 제안한 산정식은 수치해석결과에 비해 비교적 보수적인 결과임을 확인할 수 있었다.

$$K_{eff} = \frac{P_p}{F_w H_w} \quad (2)$$

여기서, K_{eff} : 등가 선형 할선강성계수, P_p : 수동토압, H_w : 교대의 높이(= 8 m), F_w : 흙이 극한 상태 압력에 도달하기 위한 변위의 크기, Δ/H (= 0.01)

Fig. 11은 Table 3의 IA와 CA의 수동 수평지반반력계수를 그래프로 나타내 비교한 것이다. IA의 수동 수평지반반력계수는 CA와 비교하여 상대적으로 낮게 평가되었다. 말뚝기초를 적용한 경우 IA의 수동 수평지반반력계수는 CA의 67~77% 수준이었으며, 직접기초를 적용한 경우에는 70~75% 수준의 값을 보였다. 말뚝의 수평 저항이 없음에도 불구하고 두 교대 구조에서 수평지반반력계수의 차이가 유사한 것은 교대 구조 및 말뚝 유무 등의 구조 차이 외에도 지반의 강성이 수평지반반력계수에 영향을 미치기 때문으로 판단된다. 원지반이 풍화암 조건인 IA에서 직접기초 적용 시 수동 수평지반반력계수는 말뚝기초 적용 시에 비해 1.9~2.9배, CA에서는 1.8~2.9배로 말뚝이 없는 구조임에도 불구하고 오히려 증가하였다. 따라서 말뚝기초를 적용하지 않고 원지반의 충분한 개량을 통해서도 말뚝기초와 동등 수준 이상의 수동 수평 저항 성능을 확보할 수 있을 것으로 판단되었다.

Fig. 11. Coefficient of Horizontal Subgrade Reaction according to Type of Abutment and Foundation

5. 결 론

본 논문에서는 일체식 교대구조 (IA) 개발을 위한 수동 수평지반반력계수를 평가하기 위하여 2차원 유한요소법을 이용하여 모델링하고 교대 구조, 기초 형식 및 원지반 조건에 따른 지반반력계수를 산정하고 분석하였다.

- (1) IA구조는 교대 두께, 기초 저판의 크기 및 말뚝 적용 수의 차이로부터 CA구조와 비교하여 상대적으로 낮은 약 70% 수준의 수동 수평지반반력계수를 갖는 것으로 나타났다. 따라서, 교대 접속부에서 적정 수준의 수동 수평지반반력계수를 확보하기 위해서는 뒤채움재의 강성뿐만 아니라 교대 구체 및 기초 구조를 전체적으로 고려할 필요가 있을 것으로 판단되었다.
- (2) 수평하중 재하 시 수평변위는 해석 대상 모든 구조에서 높은 곳에서 더 큰 수평변위가 발생하며, 상대적으로 작은 수동 수평지반반력계수를 보였다. 이는 교대가 기본적으로 캔틸레버형식의 구조로 높은 곳일수록 하중 작용 시 회전 변위가 크게 발생하였기 때문으로 판단되었다. 높이별 수동 수평지반반력계수 저감률은 말뚝기초에서 64~74% 수준이었으며, 직접기초에서는 42~46%로 상대적으로 더 크게 나타났다.
- (3) 원지반 강성도 수동 수평지반반력계수에 영향을 미치는 것으로 확인되었으므로, 말뚝을 적용하지 않고 지반개량을 통한 일체형 교대 설계 시 충분한 수평 저항 성능을 확보하기 위하여 개량 지반의 강성을 적정 수준 이상으로 할 필요가 있을 것으로 판단되었다.

일체식 교대에 대한 수치해석을 통하여 온도, 열차 시제동, 지진 등의 수평하중에 대한 변위 제어 성능을 검토할 수 있었다. 향후 실험대형시험 등의 추가 연구를 통하여 연구결과를 보완할 필요가 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국철도기술연구원 주요연구사업의 연구비 지원 (“ZSR (Zero Settlement Railroad) 기술개발” 연구사업)에 의해 수행되었습니다.

References

- Ahn, J.H., Yoon, J.H., Kim, S.H., and Kim, J.H. (2010). Evaluation on behavioral characteristics of PSC integral abutment bridge. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers A*, Vol. 30, No. 4A, pp. 361-373.
- Kang, B.Y., Park, M.C., Lee, S.H., Jang, K.S., Koo, J.G., and Park, K.H. (2016). A study on evaluation of modulus of horizontal subgrade reaction through field test and numerical analysis. *Journal of the Korean Geo-Environmental Society*, Vol. 17, No. 4, pp. 5-15.
- Kim, D.S., and Jeong, R.G. (2015). A study on response characteristics for the reinforced abutment for railroads by numerical analyses. *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 16, No. 11, pp. 7949-7956.
- Kim, U.J., Jeong, R.G., and Kim, D.S. (2017). Evaluation of behaviors in abutment transition zone depending on construction orders and number of piles. *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 18, No. 1, pp. 1-7.
- Nakai, T. (1985). Finite element computations for active and passive earth pressure problems of retaining wall. *Soils and Foundations*, Vol. 25, No. 3, pp. 98-112.
- Park, Y.H., and Nam, M.S. (2007). Behavior of earth pressure and movements on integral abutments. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers C*, Vol. 27, No. 3C, pp. 163-173.
- Ryu, S.Y., Kwak, N.K., Park, M.C., Jeong, S.G., and Lee, S. (2012). Estimation of coefficient of horizontal subgrade reaction by the inverse analysis on the lateral load test results. *Journal of the Korean Geo-Environmental Society*, Vol. 13, No. 8, pp. 15-24.
- Thomas Jr., T.A., and Lutenecker, A.J. (1998). Passive earth pressure tests on an integral bridge abutment. *Proceedings of Fourth International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering*, St.Louis, MO, Paper No. 5.15, pp. 733-739.
- Wilson, P., and Elgamal, A. (2010). Passive earth pressure force-displacement relationships. *Proceedings of Fifth International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics*, San Diego, CA, Paper No. 1.24b, pp.1-11.
- Washington State Department of Transportation (WSDOT). (2013). *Abutment participation as part of earthquake resisting system*.

Received	April 17, 2020
Revised	April 21, 2020
Accepted	May 22, 2020