

에너지 절감형 트랙터 로타리날 개발 (VII)

- 최종 요약 및 결론 -

Development of energy saving rotary blade for tractor(VII)

- Conclusion and Summary -

김기대*	박우풍**	김용우***	성현석****	진형길*****
정회원	정회원			
K. D. Kim	W. P. Park	Y. Y. Kim	H. S. Seong	H. G. Jim
김찬수*****	이현동*	서동현*	김성환*	나건영*
정회원	정회원	정회원		
C. S. Kim	H. D. Lee	D. H. Seo	S. H. Kim	G. Y. Na

1. 서론

우리나라의 농용트랙터 농가 보급률은 2000년 현재 13.9%로 약 19만대 정도이며 연간 약 2만대 정도의 농용 트랙터가 보급되고 있다. 농작업 중 가장 동력이 크게 소요되는 경운작업은 1차 경기작업과 2차 쇄토작업으로 크게 나눌 수 있는데 근래에는 이것을 동시에 작업화하여 작업시간과 에너지 및 경비를 절감할 수 있는 로타리 경운작업만 실시하는 경향으로 발전하고 있다.

현재 우리나라에는 약 18개의 로타리 공급업체와 11개의 제조업체가 있으며, 로타리날 업체는 약 5개사가 있으나 이들 날 제조업체 대부분이 중소기업들로 이들이 생산 및 제작하고 있는 로타리날은 설계 및 제작에 있어서 기본적인 표준과 기준이 확립되어 있지 않아 보다 더 혁신적이고 적극적인 로타리날 개발에 많은 어려움을 겪고 있다.

따라서, 본 연구에서는 기존 로타리날의 구조적, 메카니즘적 분석을 통하여 문제점 및 개선점을 구명하여 혁신적이고 에너지를 절감할 수 있는 로타리날을 개발하고, 로타리에 이물질의 감김 및 흙부착을 방지하기 위한 부수장치를 설계 및 제작하고, 로타리날의 설계 및 제작 기준에 활용케 하여 향후 제품의 연구 및 개발에 소요되는 인적, 물적 자원의 불필요한 낭비를 배제함에 본 연구의 목적을 두었으며 구체적인 연구목적은 다음과 같다.

- 1) 기존 로타리날의 구조적, 메카니즘적 분석을 통하여 문제점 및 개선점을 구명하여 혁신적인 에너지를 절감할수 있는 로타리날 및 부수장치를 개발하고,
- 2) 개발된 로타리날 및 부수장치의 성능시험을 하고,
- 3) 설계 및 제작 기준과 표준을 설정한다.

* 충남대학교 농업생명과학대학 농업기계공학과
** 농촌진흥청 농업기계화연구소
*** (주) 국제단조
**** (주) 우성정공
***** (주) 진형금속
***** (주) 엔에스터

2. 로타리날의 운동분석

본 연구에서 개발한 트랙터 로타리날 운동특성 분석장치는 미세 제어를 하기 위하여 트랙터 진행방향으로의 진행과 로타리날이 회전을 할 수 있도록 각각의 축에 서보모터를 장착하여 로타리 작업과 같은 형태로 미세하게 구동할 수 있게 하였다. 그림 1은 로타리날 운동특성 분석 시스템의 구성도를 나타낸 것이며 그림 2은 로타리날의 배면과 도연선의 구역을 정한 것이다. 로타리날의 회전속도에 대한 트랙터 전진속도의 비인 λ 값을 변화시켜 토양을 절단하는 분석을 실시한 결과 대부분 배면은 e - f부분에서 토양과의 접촉이 이루어졌고, 도연선은 ③부분에서 토양과 접촉하기 시작하였다. 이는 로타리 경우 작업시 토양과의 마찰을 적게하여 소요동력을 감소시키는 원인이라 사료된다.

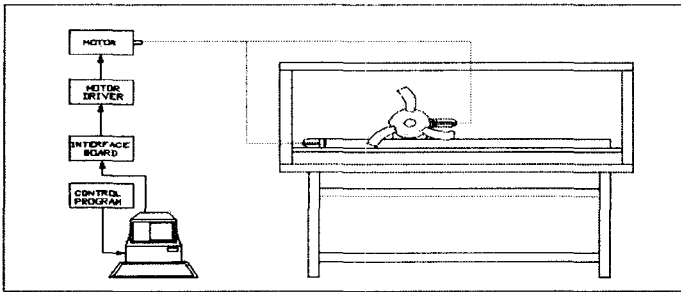


Fig. 1 Schematic diagram of system for analyzing revolution motion characteristics of rotary blade

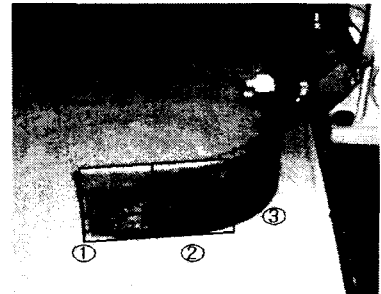


Fig. 2 Schematic diagram of C type rotary blade

3. 자동 토양 경도 측정 시스템

본 연구에서의 하드웨어는 토양경도 측정부, 측정장치 구동부, 그리고 트랙터와의 연결부로 구성되었다. 자동 토양경도 측정 시스템의 경도 측정부는 로드셀을 이용한 힘의 측정 원리를 사용하였다. 9.53 mm 직경의 관입봉 끝에 장착된 콘은 정각이 30°이며 저면의 면적이 130 mm²(저면 직경 12.83 mm)의 원추형 콘을 사용하였다.(ASAE, 2000) 그림 3는 자동 토양 경도 측정 시스템의 실제 사진이며 그림 4은 자동토양 경도 측정 시스템을 이용하여 토양의 경도를 측정하여 그래프화 한 그림이다.



Fig. 3 A view of performance test of the measuring system

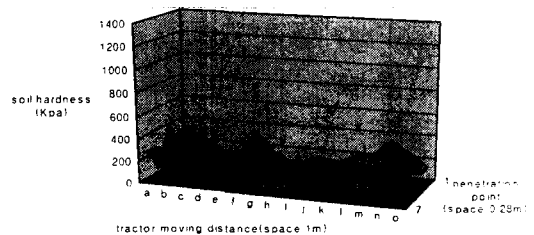


Fig. 4 The results of soil hardness measurement with automatic device (KPa)

4. 로타리 소요동력 측정장치

가. 로타리 입력축을 이용한 소요동력 측정장치

본 연구에서는 현재 우리나라에 가장 많이 보급되어 있는 중형트랙터(40-60ps)에 부착되는 로타리를 대상으로 하였으며, 로타리의 소요동력을 측정하기 위한 로타리 입력축의 토크변환

기, 로타리 입력축의 회전수 측정장치 외에 경심 측정 장치가 설계·제작되었고, 그 외에 트랙터의 주행 속도를 측정하기 위한 속도 센서가 트랙터에 부착되었다. 그림 5은 트랙터에 부착된 각각의 실험장치 및 센서를 나타낸 것이며 그림 6은 자료 수집 및 분석 장치의 구성을 나타낸 것이다.

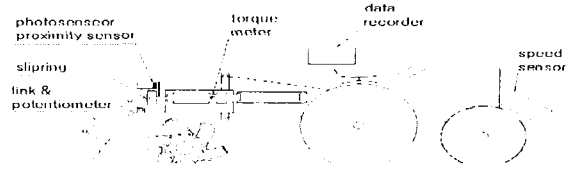


Fig. 5 Measuring instruments and sensors installed on experimental tractor and rotary

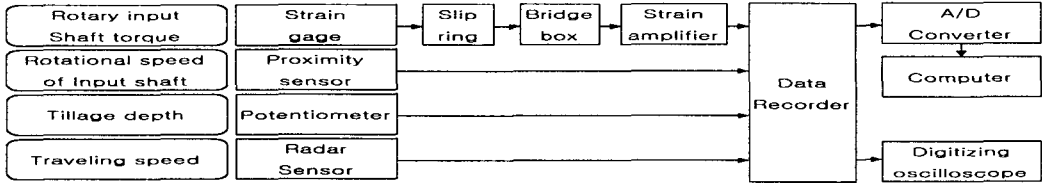
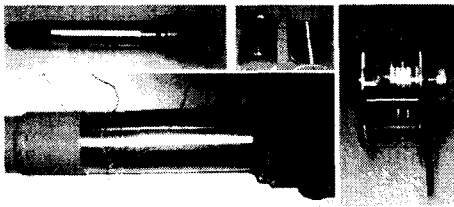


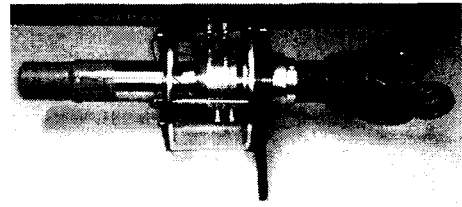
Fig. 6 Block diagram of the data acquisition and analysis system

나. 트랙터 PTO 동력전달장치를 이용한 소요동력 측정장치

본 연구에서 개발한 로타리 소요동력 측정장치는 트랙터 PTO용 유니버설 조인트, 조인트 축 토크를 측정하기 위한 스트레인 게이지, 스트레인 게이지에서 전기적인 신호를 전달해주는 슬립링(slip ring), 그리고 조인트 축의 회전속도를 측정하기 위한 근접센서 등으로 구성되었다. 그림 7은 개발한 로타리 소요동력 측정장치의 실제 모습이다.



(a)



(b)

Fig. 7 The photo of rotary power requirement measuring device (a) the parts of the device, (b) the complete unit

5. 기존 로타리날의 경운부하 측정 및 로타리날의 요인실험

그림 8은 경기도 수원시 소재의 농업기계화 연구소에 설치되어 있는 측정대차의 실제모습을 나타낸 것으로 토양조에 레일을 설치하였으며, 레일 위를 측정대차가 이동하면서 경운 위치 및 경심, 로타리 회전속도 그리고 전진속도 등을 조절할 수 있도록 설계, 제작하였으며 계측은 측정대차의 전진속도, 로타리의 회전속도, 소요토크 등을 측정할 수 있도록 하였다.

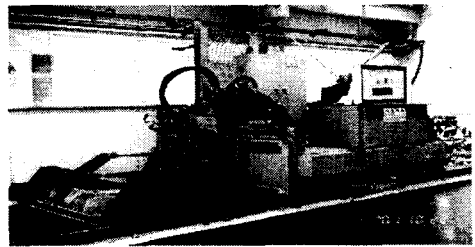
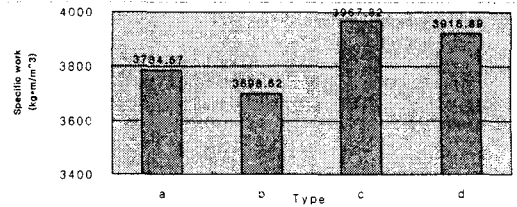
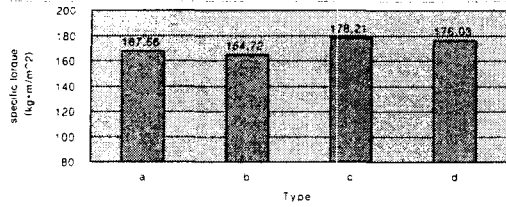


Fig. 8 The measurement car

본 시험에서는 로타리날 회사 4곳의 제품 중 트랙터 50~60마력용 C형 로타리날을 선정하여 시험에 사용하였으며 실험 결과 그림 9에서 보는바와 같이 b type의 로타리날이 비토크와 비일이 가장 작게 나왔다.



(a) (b)
 Fig. 9 The results of measuring tillage power in each type
 (a) specific torque, (b) specific work

6. 이물질 감감 방지장치 및 흙부착 방지장치

가. 이물질 감감 방지장치

본 연구에서는 로타리 경운작업시 로타리날 및 플랜지, 로타리 회전축 등에 이물질이 감기는 현상을 방지하기 위하여 이물질 감감 방지장치를 설계, 제작하였다. 로타리 축을 중심으로 15도 각도를 이루며 왼쪽 끝 플랜지에서 오른쪽 끝 플랜지까지 환봉을 연결하였다. 이는 로타리 작업시 벼짚, 잡초, 비닐, 끈 등이 플랜지나 로타리 회전축에 감길 때 원심력을 크게 하여 감기지 못하고 떨어져 나가게 하기 위한 것이다. 그림 10는 이물질 감감 방지 장치의 실제 사진이다.

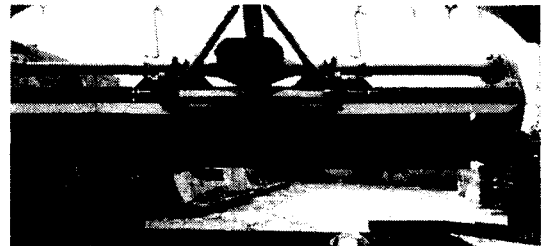


Fig. 10 The photo of developed rotary tiller for preventing an alien substance being rolled

나. 흙부착 방지장치

世良田和寛(1990) 등이 진행한 로타리 경운장치의 흙 부착 방지에 관한 연구에서는 경운장치의 커버에 흙이 부착되는 요인은 커버의 재질, 충돌각도, 충돌속도, 토성, 토양수분 등의 영향을 받는다고 보고되었다.

흙 분사장치를 설계 및 제작하여 다른 요인은 일정하게 하고 철, 테플론, 고밀도 폴리에틸렌, 저밀도 폴리에틸렌 및 수지 등의 여러가지 재질에 흙 부착 시험을 진행한 결과 고밀도 폴리에틸렌의 흙 부착율이 제일 적게 나왔다고 보고되었다. 따라서 본 연구에서는 世良田和寛(1990) 등의 연구결과를 이용하여 흙 부착 방지장치를 설계, 제작하였으며 그림 15는 흙부착 방지장치를 장착한 로타리의 사진이며 그림 12은 흙부착 방지장치에 사용된 재질이다. (위에서부터 스테인리스 스틸, 고무, P.E.) 실험결과 P.E. 재질을 사용하였을 때 46.34ps(소요동력), 2.7kg(흙부착량)으로 가장 적은 소요동력 및 흙부착량을 나타냈다.

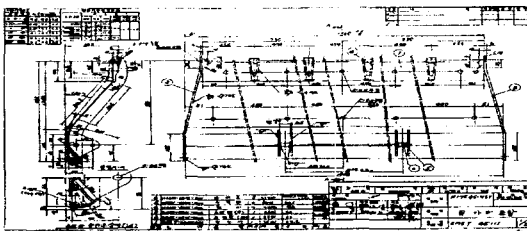


Fig. 11 The drawing of rotary tiller for preventing soil adherence

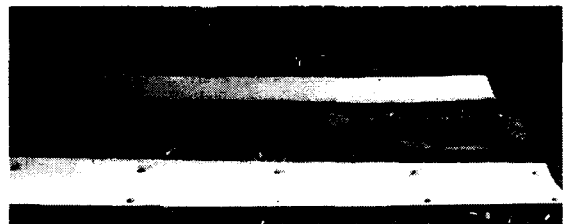


Fig. 12 The photo of rotary tiller for preventing soil adherence

7. 로타리날 최적설계 결과

최적 설계를 통하여 에너지 절감형 로타리날을 개발하고, 기존 로타리날의 요인 실험에 소요동력이 비교적 적게 나온 a type 와 b type와의 소요동력을 일반 포장에서 측정해 보았

다. 그 결과 그림 14에서 보는 바와 같이 개발된 로타리날의 소요동력이 a type와 b type 로타리날보다 소요동력이 5~7% 적게 나타났다. 또한 쇄토성 분석을 위해서 경운 후 가로, 세로 200mm내의 경심까지의 토양을 수집하여 토양직경을 20mm 이하, 20 ~ 40mm, 그리고 40mm 이상 등으로 나누어 각각의 무게를 측정해본 결과 그림 15에서 나타난 것처럼 개발날의 쇄토율이 가장 좋게 나타났다.

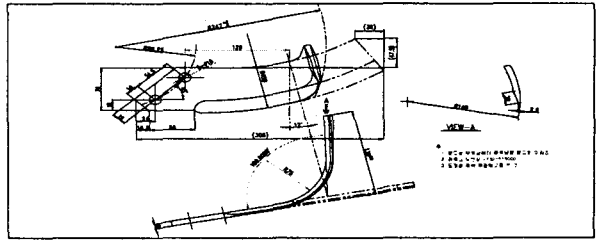


Fig. 13 A Drawing of the developed rotary blade

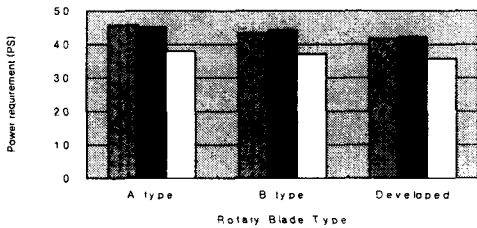


Fig. 14 The results of performance test for measuring power requirement

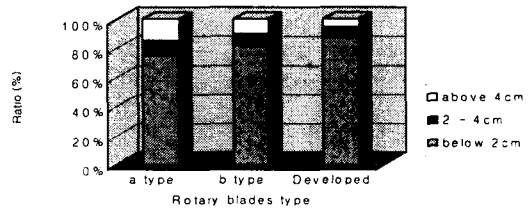


Fig. 15 The results of breaking performance of the developed and the conventional blades

8. 요약 및 결론

본 연구에서는 기존 로타리날의 운동 메카니즘 및 형상적 분석을 통하여 문제점 및 개선점을 구명하여 혁신적으로 에너지를 절감할 수 있는 트랙터용 로타리날을 개발하고, 로타리작업시 발생하는 이물질 감김 및 흙 부착을 방지할 수 있는 부수장치를 개발하여 이로 인한 소요 에너지 및 노동력의 낭비적 요소를 제거할 수 있도록 하기 위하여 본 연구를 수행하였으며, 그 구체적인 결과는 다음과 같다.

1. 기존 로타리날의 운동분석을 통하여 경운작업시 로타리날이 토양에 작용하는 상태를 분석하였다. 로타리날의 운동분석을 실시한 결과, 각 로타리별 배면이 토양에 닿는 트랙터 전진속도와 로타리 회전속도의 비율인 임계 λ 값시 토양에 닿는 로타리부위는 e와 f부분에서 토양과의 접촉이 많은 것으로 나타났다.
2. 수동식 토양경도계의 일정하지 않는 관입속도, 부정확한 관입방향, 수동식에 따른 측정자간의 차이 등으로 인한 토양경도측정의 부정확성을 개선하기 위하여 트랙터에 부착하여 기동하는 자동 토양경도 측정 시스템을 개발하였다.
3. 기존 로타리날의 경운 소요동력을 측정하여 형태에 따른 소요동력의 차이를 분석하기 위해 4종류의 기존 로타리날 경운부하 측정시험을 실시하였다. b type의 날이 비토크, 비일에서 가장 적은 $164.72 \text{ kgf} \cdot \text{m}/\text{m}^2$, $3698.62 \text{ kgf} \cdot \text{m}/\text{m}^3$ 의 값이 측정되었으며, c type의 날이 비토크, 비일에서 가장 많은 $178.21 \text{ kgf} \cdot \text{m}/\text{m}^2$, $3967.82 \text{ kgf} \cdot \text{m}/\text{m}^3$ 의 값이 측정되었다. 평균 비토크, 비일은 각각 $171.63 \text{ kgf} \cdot \text{m}/\text{m}^2$, $3842.48 \text{ kgf} \cdot \text{m}/\text{m}^3$ 으로 나타났다.
4. 로타리날 설계에 영향을 주는 요인을 분석하여 요인시험을 실시함으로써 각 요인에 따른 경운부하의 차이를 비교 분석하였다. 설계 요인으로는 만곡부 형상, 단면 θ 각을 설정하였다. 만곡부가 곡면인 경우가 평면인 경우보다 비일이 약 13.76 % 정도 감소하는 것으로 나타났다. 단면 θ 각 시험에서는 θ 각이 플러스인 경우가 마이너스인 경우보다 약 12% 정도 감소하는 것으로 나타났다.
5. 로타리 경운작업시 로타리날 및 회전축에 이물질이 감기는 현상과 로타리 커버에 흙이 부착되는 현상이 나타나 경운부하 증가의 원인이 되기에 이물질 감김 및 흙부착 방지장치를 장착한 로타리를 개발하였다. 성능시험결과 이물질 감김장치의 경우 약간의 효과는

있었으나 통계적 가설검정에 의한 분석에서는 효과가 없는 것으로 나타났다. 흙부착 방지장치의 경우 일반 로타리에 비해 소요동력은 약 11%, 흙부착량은 약 52% 정도의 감소 효과가 있는 것으로 나타났다.

6. 에너지 절감형 트랙터 로타리날을 개발하였다. 날의 고정부 폭은 70mm, 두께는 8mm, 홀 지름은 15mm, 홀 간격은 51.5mm로 설계하였다. 로타리날의 단면형상은 단면날로 설계하고, 날끝각은 2°, 날끝 두께는 2.5 mm로 설계하였다. 만곡부 형상은 곡률 반경이 140mm 인 곡면으로 설계하였고, 단곡부 굴곡각도는 80°, 굴곡부 곡률 반경은 75mm로 설계하였다. 로타리날 단면의 θ 각은 0.5° 로 설계하였으며, 경심 170mm가 가능하면서 경운토 크가 작아지도록 로타리날의 최대 회전반경을 247 mm로 설계하였다. 날의 재질은 SUP6 으로 하고, 경도가 HRC 40~45가 되도록 하여 최종 설계를 완료하였다.
7. 개발된 로타리날의 포장 성능시험결과 기존의 로타리날에 비해 경운 소요동력은 약 8~9 % 정도 감소하는 것으로 나타났으며, 쇄토성은 2cm 이하로 쇄토하는 능력이 5 ~ 7% 정도 높은 것으로 나타났다.
8. 이상의 결과를 종합해 보면, 본 연구에서 개발한 흙 부착 방지장치를 장착한 로타리를 사용하여 로타리 경운을 할 때 경운 소요동력을 측정한 결과 기존보다 약 11 %의 감소효과를 나타냈으며, 설계, 개발한 로타리날을 장착하여 로타리 경운 소요동력을 측정한 결과 기존보다 약 8~9 %의 감소효과를 나타냈다. 따라서 본 연구에서 개발된 흙부착 방지장치 및 개발 로타리날을 산업화 할 경우 연간 경운 소요에너지를 크게 절감할 수 있을 것이라 사료된다.

9. 참고문헌

1. 김기대. 1986. 트랙터로타리耕耘部の設計理論研究とCADへの応用. 博士學位論文, 九州大學, 日本福岡.
2. 서동현, 김기대, 박우풍, 김찬수, 추창환, 김성환. 2001. 에너지 절감형 트랙터 로타리 경운날 개발(I) -논의 2차 로타리 경운부하 특성-. 한국농업기계학회 하계학술대회 논문집 Vol.6(2) : 79-84.
3. 이현동, 김기대, 박우풍, 김성환, 김찬수, 서동현. 2002. 에너지 절감형 트랙터 로타리날 개발 (II) - 트랙터 부착형 자동 토양경도 측정 시스템 개발 -. 한국농업기계학회 2002 동계학술대회 논문집 Vol.7(1) : 3-8
4. 이현동, 김기대, 박우풍, 김찬수, 서일환, 오종진 .2002. 에너지 절감형 트랙터 로타리날 개발 (III) - 로타리날의 운동분석 -. 한국농업기계학회 2002 동계학술대회 논문집 Vol.7(1) : 517-522
5. 김성환, 김기대, 성현석, 이현동, 나건영, 김찬수. 2002. 에너지 절감형 트랙터 로타리날 개발 (IV) - 로타리 커버 흙 부착 방지장치의 개발 -. 한국농업기계학회 2002 하계학술대회 논문집 Vol.7(2) : 9-14
6. 오종진, 김기대, 이현동, 김찬수, 김성환, 나건영. 2002. 에너지 절감형 트랙터 로타리날 개발 (V) - 중부지방에서의 로타리 경운작업 실태조사 및 경운부하 측정실험 -. 한국농업기계학회 2002 하계학술대회 논문집 Vol.7(2) : 15-20
7. 나건영, 김기대, 박우풍, 김찬수, 이현동, 김성환. 2002. 에너지 절감형 트랙터 로타리날 개발 (VI) - 기존 로타리날의 요인실험 -. 한국농업기계학회 2002 하계학술대회 논문집 Vol.7(2) : 21-26
8. 이현동, 김기대, 김찬수, 김성환. 2002. 트랙터 부착형 자동 토양경도 측정 시스템 개발. 한국농업기계학회지 Vol.26(6) : 537-546
9. 김성환. 2003. 트랙터 로타리 경운날의 설계이론과 소요동력 측정에 관한 연구. 석사학위논문. 충남대학교
10. 오종진. 2003. 소요동력 절감을 위한 트랙터용 로타리 커버의 개발. 석사학위논문. 충남대학교