

GPS/INS 결합 및 개인항법 응용

박 찬 국*, 조 성 운**

*서울대학교, **광운대학교

1. 서론

1970년대 초 미 국방성에 의해 개발되기 시작하여 1990년대 중반부터 본격적인 가동이 시작된 GPS는 오늘날 군용 시스템에서 민간용 시스템에 이르기까지 수많은 응용 기술이 개발되고 사용되고 있다. 이런 기술적, 시대적 흐름에 힘입어 군용, 항해용으로만 사용되던 GPS가 개인 차량용 항법 시스템(CNS: Car Navigation System), 스포츠, 레저용 개인항법시스템(PNS: Personal Navigation System), 토목용 측지 센서 등의 제품으로 상용화되고 있다. 또한 GPS와 같은 전파항법을 실내에서 사용을 위한 의사위성(pseudolight) 개발이 진행되고 있는 추세이다. 이런 비약적인 발전에도 불구하고 아직 실내에서 GPS 신호를 직접 수신하여 사용하는 기술은 현실화되지 않고 있다. 이런 한계를 극복하기 위하여 GPS 수신기 단독(stand-alone)으로 사용하여 사용자의 위치, 속도 및 시각정보 등을 얻는 기본적인 기능에서 INS, 지자기 센서, 고도계 등의 시스템과의 결합을 통해 더욱 정확하면서도 가용성이 높고, 획득할 수 있는 정보의 범위가 넓어진 결합시스템(integrated system)으로 응용 범위가 확대되었다[1,2,3,4].

대표적인 결합항법시스템은 GPS와 관성항법시스템(INS: Inertial Navigation System)을 결합한 INS/GPS 시스템이다. 장소에 상관없이 연속적으로 정확한 항법정보를 제공하지만 시간에 따라 오차가 발산하는 INS와 오차의 발산은 없지만 사용 장소에 종속적으로 가용성이 변하는 GPS의 결합은 서로 상호 보완적인 특성에 의하여 좋은 성능의 항법정보를 제공할 수 있다. INS/GPS 시스템 결합 기법은 결합 강도에 따라 약결합(loosely coupled), 강결합(tightly coupled) 및 초강결합(ultra-tightly coupled) 등의 기법으로 나눌 수 있다. 약결합 기법은 GPS 수신기에서 제공하는 위치 및 속도 등의 정보를 이용하여 INS의 오차를 보정하는 방법이다. 강결합 기법은 GPS의 의사거리(pseudorange) 및 의사거리 변화율을 이용하여 INS의 오차를 보정하는 방법으로 약결합 기법에 비해 GPS 수신기와의 결합 강도가 강해진 것이다. 그리고 초강결합 기법은 GPS 수신기 내부의 신호 추적 루프와 INS를 결합하는 방식으로 강결합 기법에 비해 GPS와 INS의 결합이 더욱 밀접해지고 복잡해진 것이다. 이런

결합 기법은 사용되는 INS와 GPS의 종류 및 사용 목적에 따라 적절하게 선택되어야 한다[1,2].

오늘날 항법에 대한 관심이 커지면서 개인용 항법시스템의 수요 및 공급이 늘고있다. 스포츠, 레저 및 가상현실 등의 목적으로 실내외에서 사용 가능한 개인항법시스템이 필요하게 되었고 이는 MEMS(Micro Electro Mechanical Systems) 기술의 발달에 의해 소형, 저전력, 저가의 센서들이 개발되면서 더욱 활발하게 개발되고 있다. 또한 INS/GPS 결합 기법 개발에 의하여 실내외에서 항법정보를 작은 오차를 갖고 제공할 수 있는 개인항법장치의 실현이 가능하게 된 것이다[5].

2. INS/GPS 결합 시스템

INS/GPS 결합 시스템은 INS의 장점과 GPS의 장점을 결합하여 각각의 시스템보다 나은 항법정보를 얻기 위한 것으로 일반적으로 선형 시스템에서 최적의 추정자로 알려진 칼만 필터를 사용한다. INS와 GPS의 정보는 서로 다른 특성을 지닌 불규칙 오차를 가지고 있기 때문에 이들을 효과적으로 제거하고 두 항법정보의 통계적인 특성에 근거하여 이들의 정보를 최적으로 결합하여 가장 좋은 추정치를 제공하는 역할을 칼만 필터가 담당한다.

INS/GPS 시스템은 약결합 기법, 강결합 기법, 초강결합 기법 등으로 구분할 수 있으며 결합하기 위한 측정치의 종류 및 GPS와 INS의 결합 강도에 따라 나누어 진다.

2.1. 약결합 INS/GPS

약결합 기법은 그림 1과 같이 구성할 수 있다. INS와 GPS 수신기는 각각 독립적인 항법해를 계산하고 칼만 필터는 INS와 GPS 수신기가 계산한 항법정보를 이용하여 INS의 오차를 추정한다. 이때 사용되는 GPS 데이터는 일반적으로 위치와 속도가 쓰인다. 추정된 오차는 필터의 종류에 따라 되먹임(feed-back) 또는 앞먹임(feed-forward)되어 보상된다. 약결합 기법은 GPS 수신기 내부에 대한 지식 없이도 쉽게 구성할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 GPS 수신기가 독립적으로 항법해를 계산하기 위해서 반드시 가시위성의 수가 4개 이상이어야 하므로 사용 장소에 따른

가용성이 떨어지는 단점이 있다.

2.2. 강결합 INS/GPS

강결합 기법은 INS만 항법해를 독립적으로 계산하고 GPS 수신기는 항법해를 직접 계산하지 않고 가시위성의 ECEF 좌표계상의 위치와 의사거리 그리고 의사거리 변화율만 제공한다. 칼만 필터를 구동하기 전에 먼저 INS의 위치정보와 GPS가 제공하는 위성의 위치정보를 이용하여 의사거리와 의사거리 변화율을 추정한다. 칼만 필터는 앞서 계산된 데이터와 GPS가 제공하는 의사거리와 의사거리 변화율을 이용하여 INS의 오차를 추정한다. 추정된 오차는 약결합 기법과 마찬가지로 되먹임 또는 앞먹임 되어 INS의 오차를 보상한다. 그림 2는 강결합 기법의 구성을 나타낸 것이다. 강결합 기법은 가시위성의 수가 4개 미만인 경우에도 구동할 수 있으므로 약결합 기법에 비해 가용성이 커지는 장점이 있다. 그러나 요즘 판매되는 저가용 GPS 수신기의 경우 대부분 의사거리 정보를 제공하지 않으므로 저가형 INS/GPS를 구성하는 경우 제약은 받는 단점이 있다.

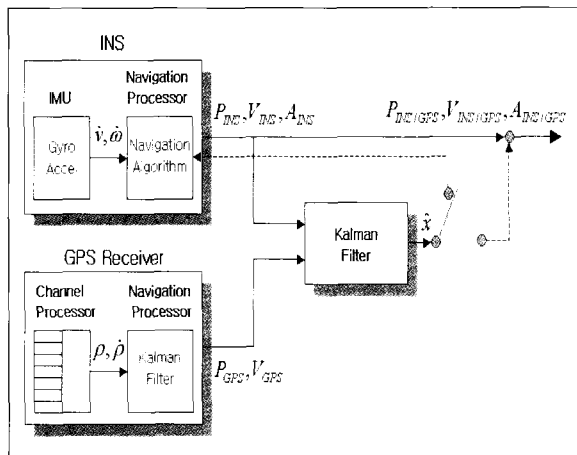


그림 1. Loosely coupled INS/GPS

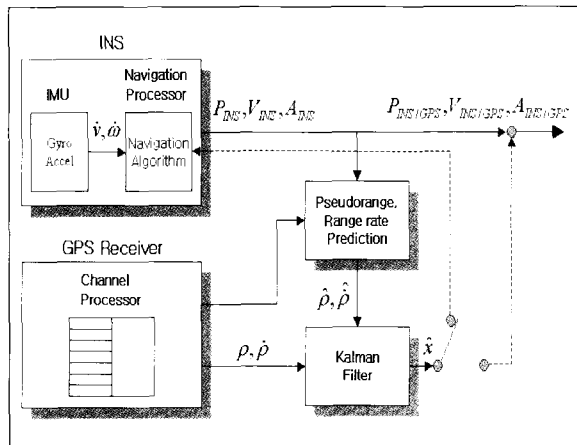


그림 2. Tightly coupled INS/GPS

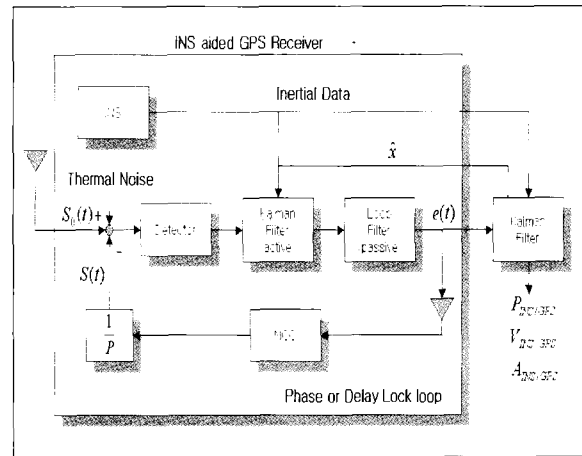


그림 3. Ultra-tightly coupled INS/GPS

2.3. 초강결합 INS/GPS

초강결합 기법은 약결합 기법과 강결합 기법에 비해 GPS 수신기 내부와 INS가 밀접하게 결합되는 방식으로 복잡한 특성을 가지고 있다. 강결합 기법은 GPS의 순수 데이터(raw data)를 사용하는 방식으로 약결합 기법보다 결합의 강도가 조금 강해진 것에 반해 초강결합 기법은 GPS 수신기 내부의 신호 추적 루프와 INS가 결합하는 방식으로 결합의 강도가 더욱 강해진 것이다(그림 3). IMU로부터 측정된 사용자의 움직임에 대한 정보를 GPS 수신기 내부의 신호 추적 루프에 전달하여 신호 추적 오차를 추정함으로써 신호 추적 루프의 추적 성능을 향상시키는 기법이다. 또한 강인해진 수신기의 추적 루프에서 획득한 저급 측정 정보를 INS 알고리즘에 적용하여 초기 자세 정렬을 수행하고 IMU의 측정 정보에 포함된 바이어스 및 드리프트 오차 성분을 추정, 보상한다. 초강결합 기법으로 설계된 시스템의 GPS 신호 추적 루프는 INS 알고리즘에서 발생하는 슈러(schuler) 효과의 영향을 받게 되고 IMU의 측정 정밀도에 민감한 경향을 나타낸다. 그리고 GPS 신호 추적 루프와 INS는 통합된 하나의 폐루프(closed loop) 시스템이므로 한쪽에서 발생하는 작은 오차가 두 시스템을 동시에 발산하게 하는 요인이 될 수 있다. 이런 문제점으로 인해 결합된 시스템의 모델링 및 추정이 어렵고 복잡할 뿐 아니라 측정 정보의 갱신 주기도 수십 밀리초 단위라서 다른 결합 방식에 비해 매우 짧기 때문에 구현하는데 어려움이 발생한다. 그러나 초강결합 기법에 의해 통합된 시스템은 각각 장단점을 가지고 있는 독립적인 항법 시스템을 완벽하게 하나로 결합하여 서로의 장점만을 가지도록 설계가 가능하므로 동적 환경 및 실내외, 시간에 영향을 받지 않는 완성도 높은 새로운 항법시스템이 될 수 있다.

3. 개인항법 시스템 응용

개인정보의 다양화와 항법시스템의 민간용 확산에 발맞추어 현재 개인의 위치 및 속도, 가고자 하는 목적지에 적합한 경로 파악 등의 개인항법정보의 필요성이 대두되고 있다. 특히 저가, 저전력의 소형화된 GPS 수신기의 개발이 개인항법을 가능하게 하는 원동력이 되었고 이런 기술적 흐름에 따라 CNS, PNS 등의 실용화가 이루어지고 있다. 그림 4와 그림 5는 상용화된 CNS와 PNS를 나타내고 있다. PDA의 보급화가 급속해 되면서 GPS 수신기와 PDA가 결합된 것으로 CF 메모리에 탑재된 지도 정보를 이용한 맵 매칭 (map matching) 기술을 이용하여 사용자의 위치 정보를 제공한다.



그림 4. 차량용 항법시스템 (CNS)

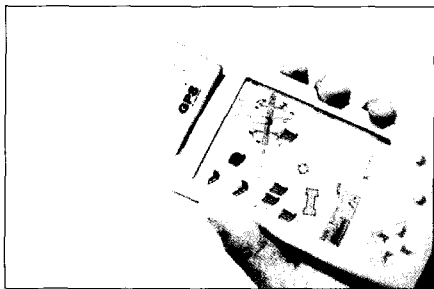


그림 5. 개인항법시스템 (PNS)

그러나 앞에서 언급한 것과 같이 GPS 신호는 실내에서 또는 가시성이 나쁜 도심지역에서는 사용할 수 없으므로 INS, 속도계, 지자계 센서 등과 결합한 결합항법시스템으로 구성해야 한다. 그리고 개인 항법용으로 사용되는 관성센서는 MEMS형 저가이므로 성능이 기존의 군용 관성센서에 비해 떨어지는 단점이 있으므로 이를 보완하기 위해 GPS와의 결합을 통한 오차보상 기법이 반드시 필요하다. 그림 6은 CNS용으로 개발된 GPS/IMU/MAP 결합 시스템이다. GPS의 신호를 사용할 수 있는 구간에서 GPS와 MAP을 이용한 항법을 수행하고 이때 추정된 IMU의 오차를 보상하여 GPS 신호를 사용할 수 없는 구간에서 이전GPS/MAP 정보에 IMU/MAP 정보를 이용하여 항법을 연속적으로 수행할 수 있도록 설계된 것이다.

CNS의 궁극적인 목적은 현재 사용자의 위치 판단과

목적지에 대한 경로를 탐색하고 안내하는 것으로 도심지역에서 주로 많이 사용되어 진다. 따라서 GPS 신호를 사용할 수 있는 곳이나 빌딩숲과 같이 GPS 위성의 가시성이 나쁜 곳에서도 정확하게 항법정보를 제공해야 한다. 이를 만족시키기 위하여 INS와 같은 사용 위치에 관계없이 독립적으로 항법해를 제공하는 시스템과의 결합이 점점 활성화되고 있고 지도정보의 정확도 및 맵 매칭 기술의 발달이 활발하게 이루어지고 있다. 그리고 CF 메모리에 탑재된 전자지도의 디스플레이 방법 또한 사용자의 편의를 위해 중요한 요인이 되며 현재 개발되어 판매되고 있는 CNS에서 사용되는 디스플레이 방법에는 진북 방향 모드(north-up display), 지도 회전 모드(heading-up display), 전방 확대 모드(front-wide display), 그리고 버드뷰 모드(bird-view display)가 대표적이다.

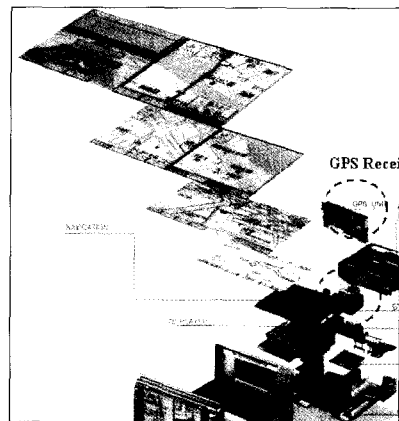


그림 6. GPS/IMU/MAP 결합 시스템

PNS는 CNS와 달리 고정된 동체의 항법정보를 제공하는 것이 아니라 유연성을 가진 사람의 항법정보를 제공해야 하므로 CNS와는 다른 하드웨어 및 항법알고리즘이 필요하다. CNS와 마찬가지로 GPS 신호가 활성화된 곳에서는 그림 5와 같이 GPS 수신기만으로 개인항법정보를 제공할 수 있으나 실내에서는 사용이 제한될 수밖에 없다. 이를 극복하기 위하여 GPS 신호와 동일한 특성을 가진 CDMA 통신망과 개인 걸음정보를 이용한 통합항법시스템이 연구 개발되고 있다. 특히 E911과 같은 응급상황에서 개인의 정확한 위치정보를 전송하기 위해 미국 FCC의 E911 phase (3차원 위치오차 12m 90%)를 만족시키기 위한 알고리즘 및 오차보상기법 연구가 세계 전역에서 활발하게 진행되고 있다. GPS/CDMA 통신망이나 GPS/보행항법시스템과 같이 다양한 정보를 결합하여 그 해를 찾기 위한 노력이 진행중이다. 여기서 GPS/CDMA 통신망 결합항법시스템 구축을 위한 가장 큰 난제는 도심지역에서의 다중경로 오차에 의한 NLOS (Non Line of Sight) 문제를 해결하는 것이다. CDMA 통신망의 경우 GPS에 비해 신호의 전송 거리가 짧고 도심지역에서의 다중경로 오차가 크므로

NLOS 문제가 심각하며 이를 해결하기 위한 솔루션 개발이 아직 시작단계에 있는 것이 현실이다. 반면 GPS/보행항법 시스템의 경우 사람의 보행 특성을 연구하고 저급 관성센서의 효율적인 사용을 통하여 좋은 연구 결과가 발표되고 있으며 미국 Point Research사의 경우 군용 보행항법시스템을 출시하고 있다.

4. 기술동향 및 발전추세 전망

항법시스템의 기술방향은 항법 센서의 발전과 관계가 있으므로 항법 센서의 동향을 알아보자. GPS 수신기는 많은 회사에서 개발하고 있으며 수신칩셋 개발 및 많은 응용 제품이 개발 판매되고 있다. 수신기는 크게 고가의 수신기와 저가의 수신기로 나눌 수 있다. Novatel, Trimble사 등에서는 고가, 고성능의 수신기를 개발, 판매하고 있다. 반면, Motorola사와 SGS-Thomson, Mitec, SiRF사 등에서 원칩화된 GPS 수신칩셋을 개발하여 판매함으로써 소형 저가의 수신기가 개발되고 있다. 그림 7은 SiRF사의 칩셋을 사용하여 Axiom사에서 개발한 GPS 수신기로 크기 31.7mm 23.5mm이다. INS와의 결합을 통한 강결합 및 초강결합 항법시스템을 구성하기 위해서는 고가의 GPS 수신기를 사용해야 하지만 개인항법이 점점 일반화되면서 소형, 저전력, 저가 수신기의 시장이 커지고 있다. PDA와의 결합을 위해 CF 타입의 GPS 수신기가 개인항법 시장을 장악하고 있으며 점점 원칩화되어 크기가 극소형화 될 것으로 기대된다.

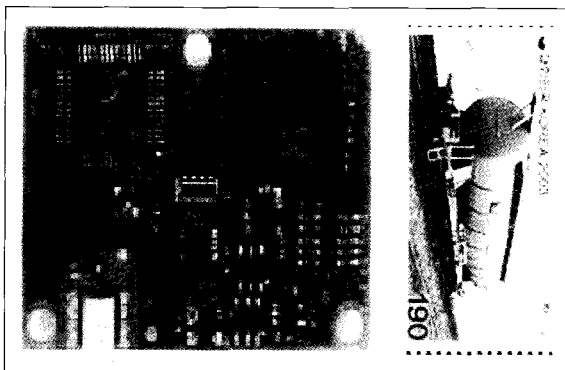


그림 7. GPS 수신기

관성센서 또한 군용, 항해용으로 사용되는 중, 고급 관성센서와 민간용 저급 관성센서로 나눌 수 있다. Litton, Honeywell사 등에서는 주로 RLG와 FOG를 이용한 중급 이상의 IMU를 개발하고 있다. 보잉767, 공중초계 경보기(AWACS), 토마호크 순항미사일 등의 중장거리 전략무기들은 RLG를 사용하고 미사일이나 어뢰 등은 FOG를 주로 사용한다. 이에 반해 Analog Device, MEMSIC, muRata,

Tokin사 등에서는 MEMS형 관성센서를 개발하고 Crossbow, Micro-infinity사 등에서는 이런 저급 관성센서를 사용하여 저급 IMU를 개발, 판매하고 있다. 개인항법시스템에 적합한 소형, 저가의 관성센서는 MEMS 기술 및 나노 기술의 발달에 힘입어 성능이 향상된 새로운 많은 제품들이 개발될 것이다.

소형 GPS 수신기와 MEMS형 관성센서의 결합을 통해 저가, 소형 INS/GPS 결합시스템이 속속 개발되고 있으며 머지않아 원칩화된 INS/GPS 결합시스템이 개발될 것이며 이를 통해 영화 속 이야기가 현실화될 것으로 기대된다.

5. 결론

지금까지 INS/GPS 결합항법시스템 및 개인항법시스템에 대하여 간략하게 살펴보았다. 요즘 개인항법정보의 필요성이 대두됨에 따라 기존 군용 항법시스템 기술의 응용을 통하여 차량용 항법시스템(CNS) 및 개인항법시스템(PNS)이 개발되고 있는 추세이다. GPS와 관성센서, CDMA 통신망 등의 결합을 통해 추구하고자 하는 정확도를 갖는 개인항법시스템이 앞으로는 일반화될 것이며 이를 이용하여 응급시 휴대폰 사용자의 위치 파악(E911) 및 스포츠, 레저, 가상현실 등에서 효율적으로 사용될 것이다.

감사의 글

본 연구는 2002년도 한국과학재단 특정기초연구과제(R01-2002-000-00329-0) 연구비의 부분적 지원으로 수행된 결과입니다.

참고문헌

1. J. A. Farrell & M. Barth, *The Global Positioning System & Inertial Navigation*, McGraw-Hill, 1999.
2. E. D. Kaplan, *Understanding GPS Principles and Applications*, Artech house, INS., 1996.
3. T. Upadhyay, S. Cotterill and A. W. Deaton, "Autonomous GPS/INS Navigation Experiment for Space Transfer Vehicle", IEEE trans. on AES, vol. 29, no. 3, July 1993.
4. H. Zdzislaw, Lewantowicz, "Architectures and GPS/INS Integration: Impact on Mission Accomplishment", IEEE AES MAGAZINE, June 1992.

5. S. Y. Cho, C. G. Park and G. I. Jee, "Measurement System of Walking Distance Using Low-cost

Accelerometers", in proceeding of the 4th ASCC, Singapore, Sep. 25~27, 2002.

저자소개



〈박 찬 국〉

- 1985년 서울대학교 제어계측공학과 졸업(공학사).
- 1987년 동 대학원 졸업(공학석사).
- 1993년 동 대학원 졸업(Ph.D.).
- 1993년 서울대학교 제어계측 신기술연구센터 박사후 연구원.
- 1998년 미국 UCLA 기계항공공학과 방문연구원.
- 1994년~2003년 2월 광운대학교 제어계측공학과 조교수/부교수.
- 2003년 3월부터 서울대학교 기계항공학부 부교수로 재직 중.
- 주요 관심분야 : 관성항법시스템 개발, GPS/INS 결합 기법, 저급 IMU 응용, 칼만필터 설계 등.



〈조 성 윤〉

- 1998년 광운대학교 제어계측공학과 졸업(공학사).
- 2000년 동 대학원 졸업(공학석사).
- 2000년~현재 동 대학원 박사과정.
- 2003년 3월부터 서울대학교 자동화시스템공동연구소 연구원.
- 주요 관심분야 : 개인항법시스템, INS/GPS 결합기법, FIR 필터 설계 등.



● 개인신상 정보 갱신 요망

- 회원님의 개인신상정보는 우리학회 홈페이지(<http://icase.or.kr>)의 인물D/B 중 본인정보수정 에서 개인 별 신상정보 수정이 가능하오니 홈페이지를 직접 방문하시어 수정 및 교정하여 주시기 바랍니다.

추후 우리학회에서는 홈페이지에 수록된 정보를 근거로 하여 각종 정보의 송부와 우편 등을 발송할 예정이오니 본인의 정보관리를 철저히 수행하여 불이익을 받지 않도록 하여 주시기 바랍니다.

● 평생회원 회비 및 납부방법

구분	자격	회비	지로/온라인납부	예금주
평생회원	정회원에 한함	500,000	신용카드 전자결재 온라인구좌	사)제어자동화시스템공학회

- 평생회원 회비는 당해년도 정회원 연회비의 15배를 기준으로 산출하고 있으며, 2003년도에는 평생회원 회비의 일부 금액이 할인되고 있으니 참고하여 주시기 바랍니다.

- 평생회원 회비는 3회 분납 가능합니다.

● 회비 및 논문구독비 납부 여부는 우리 학회 홈페이지에서 확인 가능합니다.

- 연회비 및 논문구독비 납부 후 홈페이지의 연회비납부자 구독비납부자 란에서 본인의 회비 납부여부가 가능하며, 만약 납부 후 일정기간 경과 후에도 계속 누락이 된 경우에는 본 학회로 연락하여 주시면 신속하게 해당 사실을 즉시 알려 드리도록 하겠습니다.